

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. Februar 2006 (23.02.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/018389 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F02C 3/34**

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2005/053838

(22) Internationales Anmeldedatum:
4. August 2005 (04.08.2005)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2004 039 164.5 11. August 2004 (11.08.2004) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **ALSTOM TECHNOLOGY LTD** [CH/CH]; Brown Boveri Strasse 7, CH-5400 Baden (CH).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **ABBOTT, David John** [GB/GB]; 15 Lark Close, Littleover, Derby Derbyshire D23 2TE (GB). **BÜCKER, Dominikus** [DE/DE];

Gaiglstrasse 8, 80335 München (DE). **GRIFFIN, Timothy** [US/CH]; Bachtalstrasse 15, CH-5408 Ennetbaden (CH).

(74) **Gemeinsamer Vertreter: ALSTOM TECHNOLOGY LTD**; CHTI Intellectual Property, Brown Boveri Str. 7/699/5, CH-5401 Baden (CH).

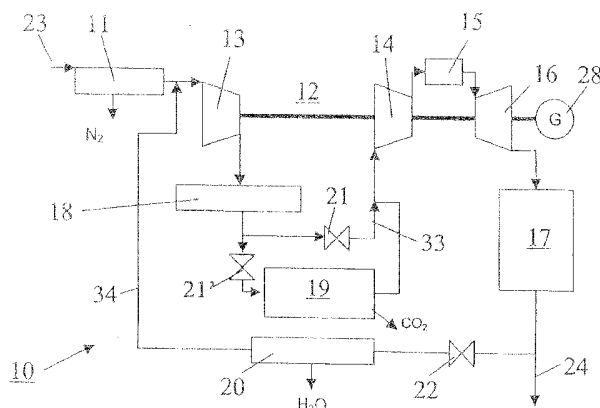
(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR GENERATING ENERGY IN AN ENERGY GENERATING INSTALLATION COMPRISING A GAS TURBINE, AND ENERGY GENERATING INSTALLATION FOR CARRYING OUT SAID METHOD

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON ENERGIE IN EINER EINE GASTURBINE UMFASSENDEN EN- ERGIEERZEUGUNGSANLAGE SOWIE ENERGIEERZEUGUNGSANLAGE ZUR DURCHFÜHRUNG DES VERFAHRENS



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for generating energy in an energy generating installation (10) comprising a gas turbine (12). According to said method, in a first step, a gas containing oxygen is compressed in a compressor (13, 14) of the gas turbine (12); in a second step, the compressed gas is supplied to a combustion chamber (15), with addition of fuel, in view of a combustion; in a third step, the hot waste gas from the combustion chamber (15) is expanded in a turbine (16) of the gas turbine (12), under the effect of work output; and in a fourth step, a branched-off partial current of the expanded waste gas is redirected into a part of the gas turbine (12) located upstream of the combustion engine (15), and compressed. One such method enables a reduction of the CO₂ emission with a minimum loss of efficiency, by the separation of carbon dioxide (CO₂) from the circulating gas in a CO₂ separator (19), and by measures taken to compensate the loss of efficiency in the gas turbine continuous process, related to the CO₂ separation.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2006/018389 A1



ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer Gasturbine (12) umfassenden Energieerzeugungsanlage (10) wird in einem ersten Schritt ein Sauerstoff enthaltendes Gas in einem Verdichter (13, 14) der Gasturbine (12) verdichtet, in einem zweiten Schritt das verdichtete Gas unter Zugabe von Brennstoff in einer Brennkammer (15) einer Verbrennung zugeführt, in einem dritten Schritt das heiße Rauchgas aus der Brennkammer (15) in einer Turbine (16) der Gasturbine (12) unter Arbeitsleistung entspannt, und in einem vierten Schritt ein abgezweigter Teilstrom des entspannten Rauchgases in einen stromaufwärts der Brennkammer (15) liegenden Teil der Gasturbine (12) zurückgeführt und verdichtet. Bei einem solchen Verfahren wird eine Reduktion der CO₂-Emission mit minimalen Einbußen an Wirkungsgrad dadurch erreicht, dass aus dem zirkulierenden Gas in einem CO₂-Separator (19) Kohlendioxid (CO₂) abgetrennt wird, und dass Massnahmen zum Ausgleich der mit der CO₂-Abtrennung verbundenen Wirkungsgradverluste im Gasturbinen-Kreisprozess getroffen werden.

VERFAHREN ZUR ERZEUGUNG VON ENERGIE IN EINER EINE GASTURBINE UMFASSENDE
ENERGIEERZEUGUNGSANLAGE SOWIE ENERGIEERZEUGUNGSANLAGE ZUR DURCHFÜHRUNG DES
VERFAHRENS

5

TECHNISCHES GEBIET

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Energieerzeugungstechnik. Sie betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer eine Gasturbine umfassenden Energieerzeugungsanlage gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Energieerzeugungsanlage zur Durchführung des Verfahrens.

15

STAND DER TECHNIK

Aufgrund ihrer breiten Verfügbarkeit und ihres niedrigen Preises werden fossile Brennstoffe nach Vorhersagen die Hauptenergiequelle für die Stromerzeugung für die nächsten 20 bis 50 Jahre bleiben. Der Bedarf an elektrischer Energie wird in diesem Zeitraum mit etwa 2-3% pro Jahr zunehmen. Zur gleichen Zeit ist es erforderlich, das von Kraftwerken abgegebene CO₂ deutlich zu reduzieren, um die CO₂-Konzentration in der Atmosphäre zu stabilisieren.

Gestiegene CO₂-Konzentrationen in der Atmosphäre sind mit der globalen Erwärmung in Verbindung gebracht worden. Aus diesem Grund erwägen internationale Agenturen und lokale Regierungen derzeit die Einrichtung von Abgabensystemen und werden möglicherweise Begrenzungen für die zukünftigen CO₂-Emissionen von Kraftwerken einführen. Es werden daher technologische Optionen benötigt, welche die fortdauernde Nutzung von fossilen Brennstoffen ohne die damit verbundenen hohen CO₂-Emissionen ermöglichen. Gleichzeitig werden ein hoher Wirkungsgrad und niedrige Anlagenkosten massgebliche Faktoren beim Bau und Betrieb eines Kraftwerks bleiben.

Es sind bereits verschiedene Projekte mit dem Ziel gestartet worden, auf Gasturbinen basierende Prozesse mit geringer Emission zu entwickeln. Es gibt drei herkömmliche Wege zur Reduzierung der CO₂-Emission aus solchen Kraftwerken:

- 5 1. Methoden zum ausgangsseitigen Abfangen des CO₂: Bei diesen Methoden wird das während der Verbrennung erzeugte CO₂ aus den Abgasen durch einen Absorptionsprozess, Membranen, kältetechnische Prozesse oder Kombinationen davon entfernt.
- 10 2. Methoden zur Kohlenstoffanreicherung des Brennstoffs: Bei diesen Methoden wird der Brennstoff vor der Verbrennung in H₂ und CO₂ umgewandelt und es wird so möglich, den Kohlenstoffgehalt des Brennstoffs vor dem Eintritt in die Gasturbine abzufangen.
- 15 3. Sauerstoff-Brennstoff-Prozesse („oxy-fuel process“) mit Abgasrückführung: Bei diesen wird nahezu reiner Sauerstoff anstelle von Luft als Oxidationsmittel verwendet, wodurch ein Rauchgas aus Kohlendioxid und Wasser entsteht.

Jeder dieser Wege ist jedoch mit Nachteilen behaftet, die sich in einer Verringerung des Wirkungsgrades, in einer Zunahme der Kapitalkosten für das Kraftwerk oder in notwendigen Umbaumaßnahmen für die Turbomaschinen niederschlagen.

Es besteht daher ein grosser Bedarf für einen Gasturbinen-Kreisprozess mit maximalem Wirkungsgrad, niedrigen Gesamtkosten und einer Option für die Entfernung von CO₂.

25

Um den Wirkungsgrad von mit Gasturbinen ausgestatteten Kombikraftwerken zu erhöhen und die Kosten zu verringern, sind die folgenden Optionen denkbar:

- Die Erhöhung der Turbineneinlasstemperatur.
- Die Erhöhung des Gesamt-Druckverhältnisses.
- 30 - Der Einsatz eines Gasturbinen-Kreisprozesses mit Zwischenerhitzung.

Mit den ersten beiden Optionen sind gewisse physikalische Grenzen verknüpft. So nehmen beispielsweise NO_x-Emissionen mit höheren Verbrennungstemperaturen zu und die Werkstoffe der Turbinenschaufeln haben bei hohen Temperaturen ihre Festigkeitsgrenzen. Das Druckverhältnis für einen ungekühlten Ein-Wellen-
5 Verdichter ist andererseits wegen der Wirkung der hohen Temperatur der komprimierten Luft auf die Rotorwerkstoffe begrenzt.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

10

Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Erzeugung von Energie auf der Basis eines Gasturbinen-Kreisprozesses und eine Energieerzeugungsanlage zur Durchführung des Verfahrens zu schaffen, welche ohne wesentliche Einbussen beim Wirkungsgrad eine effiziente Entfernung des Kohlendioxids ermöglichen.

15

Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 25 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, eine CO₂-Abtrennung mit Teilrückführung des Rauchgases vorzusehen und gleichzeitig Massnahmen zum Ausgleich der mit der CO₂-Abtrennung verbundenen Wirkungsgradverluste im Gasturbinen-
20 Kreisprozess zu treffen.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem zirkulierenden Gas nur teilweise abgetrennt wird.

25

Durch die teilweise Abtrennung des CO₂ aus dem rückgeführten und komprimierten Rauchgas lassen sich höhere CO₂-Konzentrationen und damit eine verbesserte Effektivität bei der Abtrennung erreichen.

30

Eine andere bevorzugte Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des dem Verdichter der Gasturbine zugeführten, Sauerstoff enthaltenden Gases Luft mit Sauerstoff angereichert wird. Die Sauerstoffanreicherung verbessert die CO₂-Abtrennung. Sie würde die Brenntemperatur erhöhen, wenn nicht

gleichzeitig mehr Rauchgas zurückgeführt oder Wasser bzw. Dampf zugesetzt würde.

Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus,
5 dass das entspannte Rauchgas vor dem Abzweigen des Teilstromes in einem Abhitzedampferzeuger zur Erzeugung von Dampf eingesetzt wird.

In einer ersten alternativen Weiterbildung der Erfindung wird das Sauerstoff enthaltende Gas in dem Verdichter in wenigstens zwei hintereinander geschalteten
10 Verdichterstufen verdichtet, das Sauerstoff enthaltende Gas wird zwischen den beiden Verdichterstufen zwischengekühlt, das zurückgeführte Rauchgas wird dem Sauerstoff enthaltenden Gas vor der ersten Verdichterstufe zugegeben, und das Kohlendioxid (CO₂) wird aus dem zwischengekühlten, Sauerstoff enthaltenden Gas vor Eintritt in die zweite Verdichterstufe abgetrennt. Die CO₂-Abtrennung nach
15 der Zwischenkühlung in einem mehrstufigen Verdichter integriert die partielle CO₂-Abtrennung in einen Gasturbinen-Kreisprozess mit grossem Wirkungsgrad. Es können aus dem Luftfahrtbereich abgeleitete Komponenten eingesetzt werden, die Druckverhältnisse von über 30 bar, typischerweise 45 bar, aufweisen. Die nach der Zwischenkühlung erreichten Temperaturen (15°C bis 100°C, am besten zwischen 50°C und 60°C) eignen sich gut für Standard-CO₂-Abtrennverfahren, wie
20 z.B. CO₂-Membraneinheiten.

Insbesondere wird zum Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) das Sauerstoff enthaltende Gas durch einen CO₂-Separator geschickt, und die Menge des durch den
25 CO₂-Separator strömenden Gases wird mittels eines einstellbaren Ventils eingestellt, welches in einem Bypass zum CO₂-Separator angeordnet ist. Bevorzugt wird das auch der Regelung dienende Ventil während der Anfahrphase, während des Teillastbetriebs oder während einer Notabschaltung vollständig geöffnet, um den CO₂-Separator kurzzuschliessen.

30

Eine weitere Verbesserung ergibt sich, wenn der abgezweigte Teilstrom des Rauchgases vor der Rückführung in einem Kühler abgekühlt wird, wobei dem

Teilstrom optional Wasser entzogen wird. Hierdurch ergibt sich eine geringere Kompressionsarbeit in der ersten Verdichterstufe, sowie ein erhöhter Wasserentzug. Zusätzlich kann der Kühler verwendet werden, um die Temperatur am Eintritt in den Verdichter zu regeln.

5

Eine flexible Betriebsweise ergibt sich dadurch, dass der abgezweigte Teilstrom unterbrochen wird, wenn der Gasturbinen-Kreisprozess in einem Standardmodus ohne Abtrennung von Kohlendioxid (CO₂) gefahren werden soll.

- 10 Besonders günstig ist es, wenn das Kohlendioxid (CO₂) im CO₂-Separator mittels Membranen in einem nassen Verfahren abgetrennt wird. Hierbei sind die Membranen mit Wasser gesättigt. Als Folge davon wird der gekühlte Gasstrom mit Wasser gesättigt. Dadurch wird es möglich, den CO₂-Separator in Anlagenkonzepte mit Sprühkühlung oder mit dem sogenannten „inlet fogging“ bei mittleren
- 15 Drücken vor der Hochdruck-Verdichterstufe zu integrieren (zum „inlet fogging“ siehe z.B. den Artikel von C.B. Meher-Homji und T.R. Mee III, Gas Turbine Power Augmentation by Fogging of Inlet Air, Proc. of 28th Turbomachinery Symposium, 1999, Seiten 93-113).
- 20 Entsprechend ist es denkbar, dass zur Zwischenkühlung Wasser in den Strom des Sauerstoff enthaltenden Gases eingesprüht wird, oder dass nach Art des „inlet fogging“ am Eingang der zweiten Verdichterstufe Wasser in den Strom des Sauerstoff enthaltenden Gases eingesprüht wird.
- 25 Eine zweite alternative Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der abgezweigte Teilstrom der Rauchgase vor der Rückführung in die Gasturbine in einem separaten Verdichter komprimiert wird, wobei insbesondere das Kohlendioxid (CO₂) aus dem komprimierten Teilstrom des Rauchgases abgetrennt und der komprimierte Teilstrom anschliessend dem Sauerstoff enthaltenden Gas
- 30 vor der Brennkammer zugegeben wird, und zum Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) der komprimierte Teilstrom durch einen CO₂-Separator geschickt wird, und die Menge des durch den CO₂-Separator strömenden Gases mittels eines ein-

stellbaren Ventils eingestellt wird, welches in einem Bypass zum CO₂-Separator angeordnet ist. Weiterhin wird der komprimierte Teilstrom vor dem Eintritt in den CO₂-Separator in einem Kühler abgekühlt.

5 Auch ist es vorteilhaft, wenn der abgezweigte Teilstrom des Rauchgases vor der Rückführung in einem Kühler abgekühlt und dem Teilstrom dabei optional Wasser entzogen wird, und wenn das in der Turbine der Gasturbine entspannte Rauchgas zwischenerhitzt und in einer weiteren Turbine erneut entspannt wird, und die wei-
10 dung eines separaten Verdichters für das zurückgeführte Rauchgas ermöglicht eine höhere CO₂-Konzentration bei der CO₂-Abtrennung. Die Abtrennung erfolgt beim vollen Verdichterdruck (am besten bei etwa 30 bar) mit einer einzigen Ver-
dichterstufe. Die Zwischenerhitzung ergibt eine höhere Energiedichte im Kreispro-
zess und reduziert die NO_x-Emissionen des Prozesses. Die Zwischenerhitzung
15 (mittels einer zweiten Brennkammer) ermöglicht weiterhin eine stabilere Verbren-
nung in der ersten Brennkammer wegen des grösseren Sauerstoffüberschuss-
verhältnisses bei einer vorgegebenen Gesamtrückführungsrate. Hieraus ergibt
sich auch eine grössere Flexibilität bei der Prozessführung wie z.B. bei der Verän-
derung der Wärmefreisetzung in der ersten und zweiten Brennkammer.

20

Eine dritte alternative Weiterbildung der Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem in der Turbine der Gasturbine entspannten Rauchgas abgetrennt wird, und dass nach dem Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) ein Teilstrom abgezweigt und zum Eingang des Verdichters der Gasturbine
25 zurückgeführt wird, wobei insbesondere das in der Turbine der Gasturbine ent-
spannte Rauchgas vor dem Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) in einem Kühler abgekühlt und dem Rauchgas dabei Wasser entzogen wird, und das Rauchgas in
der Turbine der Gasturbine auf wenige bar entspannt und das Rauchgas nach
dem Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) in einer Abgasturbine weiter entspannt
30 wird. Das CO₂ wird hier bei einem niedrigen Druck abgetrennt, jedoch wird durch
den Entzug von Wasser gleichwohl ein hoher CO₂-Partialdruck erreicht.

Eine bevorzugte Ausgestaltung der Energieerzeugungsanlage nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass vor dem Eingang des Verdichters der Gasturbine eine vorzugsweise Lufttrennmembranen aufweisende Sauerstoffanreicherungs-
5 vorrichtung zur Anreicherung der von dem Verdichter angesaugten Luft mit Sauerstoff angeordnet ist, und dass in der Abgasleitung ein Abhitzedampferzeuger angeordnet ist.

Ein besonders hoher Wirkungsgrad der Anlage lässt sich erreichen, wenn der Verdichter der Gasturbine zwei Verdichterstufen umfasst, wenn der CO₂-Separator
10 zwischen den beiden Verdichterstufen angeordnet ist, wenn zwischen dem Ausgang der ersten Verdichterstufe und dem Eingang des CO₂-Separators ein Zwischenkühler vorgesehen ist, und wenn die Rückführungsleitung auf den Eingang der ersten Verdichterstufe zurückgeführt ist. Bevorzugt ist der CO₂-Separator mit einem Bypass überbrückt, in welchem ein einstellbares Ventil angeordnet ist.

15 Eine Weiterbildung dieser Ausgestaltung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Rückführungsleitung auf den Eingang der Brennkammer zurückgeführt ist, dass in der Rückführungsleitung hintereinander ein separater Verdichter und der CO₂-Separator angeordnet sind, dass zwischen dem separaten Verdichter und dem
20 CO₂-Separator ein Kühler vorgesehen ist, und dass der CO₂-Separator mit einem Bypass überbrückt ist, in welchem ein einstellbares Ventil angeordnet ist.

Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

25

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

30

Fig. 1 ein vereinfachtes Anlagenschema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit ei-

nem zweistufigen Verdichter mit Zwischenkühlung in der Gasturbine;

5 Fig. 2 ein vereinfachtes Anlagenschema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer zweiten Gasturbine zur Verdichtung des rückgeführten Rauchgases; und

10 Fig. 3 ein vereinfachtes Anlagenschema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung, bei dem die Rückführung des Rauchgases nach der Abtrennung des CO₂ erfolgt.

15 WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

In Fig. 1 ist ein vereinfachtes Anlagenschema einer Energieerzeugungsanlage 10 gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung wiedergegeben. Die Energieerzeugungsanlage 10 umfasst eine Gasturbine 12 mit zwei hintereinandergeschalteten Verdichterstufen 13 und 14, einer Brennkammer 15 und einer Turbine 16, welche einen Generator 28 antreibt. Verdichterstufen 13, 14 und Turbine 16 sitzen in der üblichen Weise auf einer gemeinsamen Welle. Natürlich können die Verdichterstufen und die Turbine auch auf mehreren Wellen angeordnet sein, wobei die Turbine zusätzlich ebenfalls in zwei oder mehr Stufen unterteilt sein kann.

25 Die erste Verdichterstufe 13 saugt Luft 23 an, die vor der Kompression durch Entzug von Stickstoff N₂ in einer Sauerstoffanreicherungs Vorrichtung 11 mit Sauerstoff angereichert wird. Der optional mit Sauerstoff angereicherten Luft wird vom Ausgang der Anlage rückgeführtes Rauchgas zugemischt. Das resultierende, mit Sauerstoff angereicherte Gas wird in der ersten Verdichterstufe 13 vorverdichtet,

30 anschliessend in einem Zwischenkühler 18 zwischengekühlt und dann der zweiten Verdichterstufe 14 zur Nachverdichtung zugeführt. Bevor das zwischengekühlte Gas in die zweite Verdichterstufe 14 eintritt, wird ihm in einem CO₂-Separator 19

Kohlendioxid (CO₂) entzogen. Ein am CO₂-Separator 19 vorbeigeführter, mit einem ersten einstellbaren Ventil 21 versehener Bypass 33 ermöglicht eine Einstellung des Durchsatzes durch den CO₂-Separator 19 und damit der Menge des insgesamt abgetrennten CO₂. Ein vor dem CO₂-Separator 19 angeordnetes zweites Ventil 21' dient sowohl dem Absperren bei einem Kurzschliessen über den Bypass 33, als auch der Regelung.

Das in der Verdichterstufe 14 nachverdichtete Gas wird zur Verbrennung eines Brennstoffs in die Brennkammer 15 geleitet. Das bei der Verbrennung entstehende heisse Rauchgas wird in der Turbine 16 unter Arbeitsleistung entspannt und durchläuft anschliessend einen Abhitzedampferzeuger (Heat Recovery Steam Generator HRSG) 17, wo es Dampf für eine Dampfturbine oder andere Zwecke erzeugt. Nach dem Verlassen des Abhitzedampferzeugers 17 wird das Rauchgas über eine Abgasleitung 24 abgeführt. Von der Abgasleitung 24 abzweigend wird ein Teil des Rauchgases über eine Rückführungsleitung 34 auf den Eingang der ersten Verdichterstufe 13 zurückgeführt und – wie oben bereits beschrieben - der (optional) mit Sauerstoff angereicherten Luft zugemischt. In der Rückführungsleitung 34 sind ein Ventil 22 und ein Kühler 20 angeordnet. Mit Hilfe des Ventils 22 kann die Rückführungsrate eingestellt oder die Rückführung ganz unterbrochen werden. Der Kühler 20 verringert durch die Abkühlung des Rauchgases die Kompressionsarbeit. Er kann darüber hinaus dem rückgeführten Rauchgas Wasser entziehen.

Kern des in der Fig. 1 dargestellten Gasturbinen-Kreisprozesses ist die Kombination einer Rauchgasrückführung mit partieller Abtrennung von CO₂ und eines hoch-effizienten Turbinen-Kreisprozesses mit mehrstufiger Verdichtung und Zwischenkühlung. Die für eine stöchiometrische Verbrennung (mit $\lambda=1$) benötigte Luftmenge bestimmt das maximale Rückführungsverhältnis für das Rauchgas. Ein höheres Rückführungsverhältnis ist vorteilhaft, weil es die CO₂-Konzentration in dem durch den Zwischenkühler 18 und den CO₂-Separator 19 maximiert. Die Anreicherung der Ansaugluft mit Sauerstoff, die innerhalb der Sauerstoffanreicherungs-
vorrichtung 11 beispielsweise durch den Einsatz von bei niedrigen Tempera-

turen arbeitenden Lufttrennmembranen erreicht werden kann, ermöglicht bei vorgegebener Brenntemperatur der Gasturbine¹² eine stärkere Rückführung des Rauchgases.

5 Die in Fig. 1 dargestellte Anlage hat folgende Eigenschaften und Vorteile:

- Durch die partielle Abtrennung des CO₂ aus dem rückgeführten und vorverdichteten Rauchgas können mit dem CO₂-Separator 19 höhere CO₂-Konzentrationen und damit bessere Wirkungsgrade bei der CO₂-Abtrennung erreicht werden.
- 10 - Mit dem Ventil 21 ist es möglich, den Anteil des durch den CO₂-Separator 19 gehenden Gases optimal einzustellen. Während der Anfahrphase, im Teillastbetrieb oder bei einer Schnellabschaltung kann das Ventil 21 voll geöffnet werden, um den CO₂-Separator 19 kurzzuschliessen.
- Das Ventil 22 in der Rückführungsleitung 34 kann während Störungen, im
15 Teillastbetrieb oder in der Anfahrphase dazu benutzt werden, den Prozess im Standardmodus ohne CO₂-Abtrennung zu fahren.
- Die Anordnung des CO₂-Separators 19 nach dem Zwischenkühler 18 eines mehrstufigen Verdichters 13, 14 integriert die CO₂-Abtrennung in einen Gasturbinen-Kreisprozess mit hohem Wirkungsgrad. Es können aus der
20 Luftfahrttechnik stammende Komponenten mit Druckverhältnisses oberhalb 30, typischerweise mit 45 bar, eingesetzt werden. Die am Ausgang des Zwischenkühlers 18 erreichten Temperaturen (20°C bis 100°C, insbesondere zwischen 50°C und 60°C) sind denen des Standard- CO₂-Abtrennprozesses, wie z.B. in einer CO₂-Membraneinheit, angepasst.
- 25 - Bestimmte CO₂-Membraneinheiten werden üblicherweise in einem nassen Modus (gesättigt mit Wasser) betrieben. Folglich sättigen die Membranen den gekühlten Gasstrom mit Wasser. Der CO₂-Separator 19 kann somit in Konzepte mit Sprüh-Zwischenkühlung oder mit „inlet fogging“ bei mittleren Drücken vor der Nachverdichterstufe integriert werden.
- 30 - Die optionale Anreicherung mit Sauerstoff ermöglicht eine verstärkte Rückführung des Rauchgases (Anmerkung: Das angereicherte O₂ erhöht die Brenntemperatur, wenn nicht gleichzeitig der verdünnende Bestandteil er-

hört wird, was entweder durch eine verstärkte Rauchgasrückführung oder durch Zusatz von Wasser oder Dampf geschehen kann).

- Der Kühler bzw. Kondensator 20 in der Rückführungsleitung 34 ermöglicht eine verstärkte Rückgewinnung von Wasser zu Lasten einer stärkeren Kühlung.

5

Das Anlagenschema des in Fig. 2 gezeigten Ausführungsbeispiels umfasst in einer Energieerzeugungsanlage 30 zwei Gasturbinen 12 und 12'. Die erste Gasturbine 12 umfasst einen Verdichter 25, eine Brennkammer 15 und eine Turbine 16, die einen ersten Generator 28 antreibt. Auch hier wird in der Gasturbine 12 angesaugte Luft 23 (optional) in einer Sauerstoffanreicherungs Vorrichtung 11 mit Sauerstoff angereichert, im Verdichter 25 verdichtet und zur Verbrennung von Brennstoff in der Brennkammer 15 herangezogen. Die heissen Rauchgase werden zunächst in der Turbine 16 der ersten Gasturbine 12 und anschliessend in der Turbine 16' der zweiten Gasturbine 12' entspannt. Zwischen den beiden Turbinen 16 und 16' kann optional eine zusätzliche Erhitzung in einem Zwischenerhitzer 27 (sequentielle Verbrennung) vorgenommen werden. Das entspannte Rauchgas wird anschliessend durch einen Abhitzedampferzeuger 17 geleitet und in einer Abgasleitung 24 abgeführt. Ein Teil des Rauchgases wird wiederum rückgeführt und direkt vor der Brennkammer 15 der mit Sauerstoff angereicherten und verdichteten Luft zugemischt. Die notwendige Verdichtung erfolgt in dem Verdichter 25' der zweiten Gasturbine 12', die zugleich einen zweiten Generator 28' antreiben kann. Ähnlich wie in Fig. 1 wird das rückgeführte Rauchgas nach der Verdichtung in einem Kühler 26' abgekühlt und anschliessend in einem CO₂-Separator 19 partiell vom Kohlendioxid befreit. Zur Einstellung der Abtrennrates kann auch hier ein Bypass 33 mit Ventil 21 vorgesehen werden. Zur Regelung und Absperrung des Stromes durch den CO₂-Separator 19 ist wiederum ein zweites Ventil 21' vor dem CO₂-Separator 19 einsetzbar. Vor dem Kühler 26' kann zusätzlich ein regenerativer Wärmetauscher 26 angeordnet werden, in dem auf thermodynamisch effiziente Weise das CO₂-arme Gas, das den CO₂-Separator 19 verlässt, vor der Verbrennung vorgewärmt und so ein grosser Teil der Kühlleistung des Wärmetauschers 26 zurückgewonnen wird. Das Ventil 22 und der Kühler 20 in der Rückführungsleitung

10

15

20

25

30

34 erfüllen dieselben Funktionen wie in Fig. 1. Der Bypass 33 sollte unbedingt den CO₂-Separator 19 und die beiden Kühler 26 und 26' überbrücken, da sonst vor der Brennkammer 15 gekühlt wird, was thermodynamisch ungünstig ist.

5 Der separate Verdichter 25' ermöglicht eine höhere CO₂-Konzentration und damit eine Steigerung in der Effektivität der CO₂-Abtrennung. Gleichzeitig erhöht sich der Wirkungsgrad des Prozesses durch die Zwischenerhitzung. Die in Fig. 2 dargestellte Anlage hat entsprechend folgende Eigenschaften und Vorteile:

- 10 - Die CO₂-Abtrennung erfolgt aufgrund des separaten Verdichters bei vollem Verdichterdruck (optimalerweise bei etwa 30 bar) mit einer einzigen Verdichterstufe.
- Der Einsatz der Zwischenerhitzung gibt eine grössere Energiedichte im Prozess.
- Der Einsatz der Zwischenerhitzung reduziert die NO_x-Emission im Prozess.
- 15 - Der Einsatz der Zwischenerhitzung ermöglicht wegen des grösseren Sauerstoffüberschuss-Verhältnisses bei vorgegebener gesamthafter Rückführungsrate eine stabilere Verbrennung im ersten Brenner (Brennkammer 15). Dadurch ergibt sich eine grössere Flexibilität bei der Steuerung des Prozesses, d.h., ein grösserer Variationsbereich bei der Wärmefreisetzung
- 20 im ersten und zweiten Brenner (Zwischenerhitzer 27).

Die Verdichter und Turbinen können im übrigen auch in einer von Fig. 2 abweichenden Art und Weise miteinander verbunden werden, um den Einsatz einer frei (auf einer separaten Welle) laufenden Leistungsturbine zu ermöglichen. Weiterhin
25 ist es auch denkbar, eine mehrstufige Verdichtung mit Zwischenkühlung des rückgeführten Rauchgases vorzusehen. In diesem Fall würde die CO₂-Abtrennung bei einem niedrigeren Druck stattfinden, jedoch liesse sich insgesamt ein höherer Systemdruck erreichen. Der Bypass würde dann nur die CO₂-Absorbereinheit umfassen, nicht jedoch die Kühler, die ausserdem nicht regenerativ ausgeführt wären.

30

Das Anlagenschema des in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiels offenbart eine Energieerzeugungsanlage 32 mit einer Gasturbine 12 mit Verdichter 25', Brenn-

kammer 15 und Turbine 16 und nachgeschaltetem Abhitzedampferzeuger 17. Nach Durchlaufen des Abhitzedampferzeugers 17 wird das Rauchgas in einem Kühler 20 entwässert und anschliessend partiell im CO₂-Separator 19 vom Kohlendioxid befreit. Erst nach der CO₂-Abtrennung wird ein Teil des Rauchgases über die Rückführungsleitung 34 auf den Eingang des Verdichters 25' zurückgeführt und mit der angesaugten und mit Sauerstoff angereicherten Luft 23 vermischt. Der Rest des Rauchgases kann in einer optionalen, nachgeschalteten Abgasturbine 29 weiter entspannt werden. Zusätzlich kann die am Eingang anstehende und in der Sauerstoffanreicherungs Vorrichtung 11 mit Sauerstoff angereicherte Luft 23 in einem Verdichter 25 vorverdichtet und in einem Zwischenkühler 35 optional zwischengekühlt werden. So könnte beispielsweise ein Druckverhältnis von 10 in der Vorverdichtung (Verdichter 25) des Sauerstoff enthaltenden Gases und ein Druckverhältnis von 10-20 in der Hauptverdichtung (25') gewählt werden. Wenn dann sehr stark angereicherte Luft verwendet wird, kann so ein effizienter Prozess erreicht werden.

In dieser Version wird das Kohlendioxid vor der Rückführung abgetrennt. Obgleich das CO₂ bei einem niedrigeren Druck abgetrennt wird, ergibt sich durch die Entwässerung ein hoher CO₂-Partialdruck. Die in Fig. 3 dargestellte Anlage hat entsprechend folgende Eigenschaften und Vorteile:

- Anders als bei Fig. 1 und 2 wird das Rauchgas insgesamt einer CO₂-Abtrennung unterzogen. Ein Teil des Rauchgases wird dann zurückgeführt. Diese Vorgehensweise kann aber auch bei Konzepten mit Zwischenkühlung (ähnlich wie Fig. 1) und Zwischenerhitzung (ähnlich wie Fig. 2) eingesetzt werden.
- Es kann Wasser eingespritzt werden (in Fig. 3 nicht dargestellt), um die NO_x-Emissionen der Verbrennung zu reduzieren und den für eine vorgegebene CO₂-Abgaskonzentration erforderlichen Grad an Rauchgasrückführung zu reduzieren.

30

Andere Möglichkeiten ergeben sich, wenn ein Kreisprozess mit einem hohen Mass an Wassereinspritzung (Sprüh-Zwischenkühlung, Wasser- oder Dampfeinsprit-

zung in die Brennkammer) mit dem Schema der partiellen Rauchgasrückführung kombiniert wird:

- 5 - Wenn der hohe Anteil an Wasser in Rauchgas entfernt wird, erhöht sich die CO₂-Konzentration. Dadurch verbessert sich die Effizienz der CO₂-Abtrennung, und zwar sowohl bei der „tail-end“-Konfiguration gemäss Fig. 3, d.h. bei einer Lösung mit nachgeschalteter CO₂-Abtrennung am Prozessende, als auch bei der Abtrennung im Mitteldruckbereich gemäss Fig. 1 und 2.
- 10 - Die Zugabe von Wasser ermöglicht dieselbe Brenntemperatur mit weniger Rauchgasrückführung. Dies kann in Fällen, in denen die Wasserversorgung unkritisch ist, Auswirkungen auf den Wirkungsgrad haben.
- 15 - Die Wassereinspritzung kann auch bei Prozessen ohne Rauchgasrückführung eingesetzt werden, um nach der Wasserkondensation eine effiziente „tail-end“-CO₂-Abtrennung zu erlauben. Im Grenzfall könnte ausreichend Wasser zum Prozess hinzugefügt werden, um eine Verbrennung mit λ nahe 1 bei vernünftigen Temperaturen ohne Rauchgasrückführung zu ermöglichen.

BEZUGSZEICHENLISTE

	10, 30, 32	Energieerzeugungsanlage
	11	Sauerstoffanreicherungsanlage
5	12, 12'	Gasturbine
	13, 14	Verdichterstufe
	15	Brennkammer
	16, 16'	Turbine
	17	Abhitzedampferzeuger (HRSG)
10	18, 35	Zwischenkühler
	19	CO ₂ -Separator
	20, 26'	Kühler
	21, 21', 22, 31	Ventil
	23	Luft
15	24	Abgasleitung
	25, 25'	Verdichter
	26	regenerativer Wärmetauscher
	27	Zwischenerhitzer
	28, 28'	Generator
20	29	Abgasturbine
	33	Bypass
	34	Rückführungsleitung

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer eine Gasturbine (12) umfassenden Energieerzeugungsanlage (10, 30, 32), bei welchem Verfahren in einem ersten Schritt ein Sauerstoff enthaltendes Gas in einem Verdichter (13, 14; 5 25, 25') der Gasturbine (12) verdichtet wird, in einem zweiten Schritt das verdichtete Gas unter Zugabe von Brennstoff in einer Brennkammer (15) einer Verbrennung zugeführt wird, in einem dritten Schritt das heiße Rauchgas aus der Brennkammer (15) in einer Turbine (16) der Gasturbine (12) unter Arbeitsleistung entspannt wird, und in einem vierten Schritt ein abgezweigter Teilstrom des entspannten Rauchgases in einen stromaufwärts der Brennkammer (15) liegenden Teil der Gasturbine (12) zurückgeführt und verdichtet wird, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem zirkulierenden Gas in einem CO₂-Separator (19) Kohlendioxid (CO₂) abgetrennt wird, und dass Massnahmen zum Ausgleich der mit der CO₂- 10 Abtrennung verbundenen Wirkungsgradverluste im Gasturbinen-Kreisprozess getroffen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem zirkulierenden Gas nur teilweise abgetrennt wird. 20

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zur Erzeugung des dem Verdichter (13, 14, 25) der Gasturbine (12) zugeführten, Sauerstoff enthaltenden Gases Luft mit Sauerstoff angereichert wird.

25 4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Anreicherung der Luft mit Sauerstoff in einer Sauerstoffanreicherungs Vorrichtung (11) unter Verwendung von bei niedrigen Temperaturen arbeitenden Lufttrennmembranen durchgeführt wird.

30 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das entspannte Rauchgas vor dem Abzweigen des Teilstromes in einem Abhitzedampferzeuger (17) zur Erzeugung von Dampf eingesetzt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Sauerstoff enthaltende Gas in dem Verdichter in wenigstens zwei hintereinander geschalteten Verdichterstufen (13, 14) verdichtet wird, und dass das Sauerstoff enthaltende Gas zwischen den beiden Verdichterstufen (13, 14) zwischengekühlt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass das zurückgeführte Rauchgas dem Sauerstoff enthaltenden Gas vor der ersten Verdichterstufe (13) zugegeben wird, und dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem zwischengekühlten, Sauerstoff enthaltenden Gas vor Eintritt in die zweite Verdichterstufe (14) abgetrennt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) das Sauerstoff enthaltende Gas durch einen CO₂-Separator (19) geschickt wird, dass die Menge des durch den CO₂-Separator (19) strömenden Gases mittels eines ersten, einstellbaren Ventils (21) eingestellt wird, welches in einem Bypass (33) zum CO₂-Separator (19) angeordnet ist, und dass der durch den CO₂-Separator (19) geleitete Stroms mittels eines vor dem CO₂-Separator (19) angeordneten zweiten Ventils (21') abgesperrt oder geregelt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Ventil (21) im Bypass (33) während der Anfahrphase, während des Teillastbetriebs oder während einer Notabschaltung vollständig geöffnet wird, um den CO₂-Separator (19) kurzzuschliessen.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der abgezwigte Teilstrom des Rauchgases vor der Rückführung in einem Kühler (20) abgekühlt wird, wobei dem Teilstrom optional Wasser entzogen wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der abgezwigte Teilstrom unterbrochen wird, wenn der Gasturbinen-

Kreisprozess in einem Standardmodus ohne Abtrennung von Kohlendioxid (CO₂) gefahren werden soll.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Kohlendioxid (CO₂) im CO₂-Separator (19) mittels Membranen in einem nassen Verfahren abgetrennt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass zur Zwischenkühlung Wasser in den Strom des Sauerstoff enthaltenden Gases eingesprüht wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass nach Art des „inlet fogging“ am Eingang der zweiten Verdichterstufe Wasser in den Strom des Sauerstoff enthaltenden Gases eingesprüht wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass der abgezweigte Teilstrom der Rauchgase vor der Rückführung in die Gasturbine (12) in einem separaten Verdichter (25') komprimiert wird.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem komprimierten Teilstrom des Rauchgases abgetrennt und der komprimierte Teilstrom anschliessend dem Sauerstoff enthaltenden Gas vor der Brennkammer (15) zugegeben wird.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass zum Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) der komprimierte Teilstrom durch einen CO₂-Separator (19) geschickt wird, dass die Menge des durch den CO₂-Separator (19) strömenden Gases mittels eines ersten, einstellbaren Ventils (21) eingestellt wird, welches in einem Bypass (33) zum CO₂-Separator (19) angeordnet ist, und dass der durch den CO₂-Separator (19) geleitete Stroms mittels eines vor dem CO₂-Separator (19) angeordneten zweiten Ventils (21') abgesperrt oder geregelt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der komprimierte Teilstrom vor dem Eintritt in den CO₂-Separator (19) in einem Kühler (26') abgekühlt wird, und dass der komprimierte Teilstrom vor dem Eintritt in den Kühler (26') in einem regenerativen Wärmetauscher (26) vorgekühlt und nach dem
5 Verlassen des CO₂-Separators (19) in dem regenerativen Wärmetauscher (26) vorgewärmt wird.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass der abgezweigte Teilstrom des Rauchgases vor der Rückführung in einem Kühler (20) abgekühlt und dem Teilstrom dabei optional Wasser entzogen
10 wird.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass das in der Turbine (16) der Gasturbine (12) entspannte Rauchgas zwischenerhitzt und in einer weiteren Turbine (16') erneut entspannt wird, und dass
15 die weitere Turbine (16') zum Antrieb des separaten Verdichters (25') verwendet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet,
20 dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem in der Turbine (16) der Gasturbine (12) entspannten Rauchgas abgetrennt wird, und dass nach dem Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) ein Teilstrom abgezweigt und zum Eingang des Verdichters (25') der Gasturbine (12) zurückgeführt wird.

22. Verfahren nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass das in der
25 Turbine (16) der Gasturbine (12) entspannte Rauchgas vor dem Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) in einem Kühler (20) abgekühlt und dem Rauchgas dabei optional Wasser entzogen wird.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22, dadurch gekennzeichnet, dass
30 das Rauchgas in der Turbine (16) der Gasturbine (12) auf wenige bar entspannt

wird, und dass das Rauchgas nach dem Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) in einer Abgasturbine (29) weiter entspannt wird.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 21 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass das Sauerstoff enthaltende Gas vor der Verdichtung in der Gasturbine (12) in einem weiteren Verdichter (25) vorverdichtet und anschliessend in einem Zwischenkühler (35) zwischengekühlt wird.

25. Energieerzeugungsanlage (10, 30, 32) zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, umfassend eine Gasturbine (12) mit einem Verdichter (13, 14; 25), einer Turbine (16) und einer zwischen dem Ausgang des Verdichters (13, 14; 25) und dem Eingang der Turbine (16) angeordneten Brennkammer (15), sowie eine an den Ausgang der Turbine (16) angeschlossene Abgasleitung (24) und eine von der Abgasleitung (24) abzweigende, in einen stromaufwärts der Brennkammer (15) liegenden Teil der Gasturbine (12) zurückführende Rückführungsleitung (34), dadurch gekennzeichnet, dass innerhalb des durch die Rückführungsleitung (34) gebildeten Gaskreislaufs ein CO₂-Separator (19) angeordnet ist, und dass Mittel zum Ausgleich der mit der CO₂-Abtrennung verbundenen Wirkungsgradverluste im Gasturbinen-Kreisprozess vorgesehen sind.

20

26. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Eingang des Verdichters (13, 14; 25) der Gasturbine (12) eine vorzugsweise Lufttrennmembranen aufweisende Sauerstoffanreicherungsanordnung (11) zur Anreicherung der von dem Verdichter (13, 14; 25) angesaugten Luft mit Sauerstoff angeordnet ist.

25

27. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 25 oder 26, dadurch gekennzeichnet, dass in der Abgasleitung (24) ein Abhitzedampferzeuger (17) angeordnet ist.

30

28. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdichter der Gasturbine (12) zwei Verdichter-

stufen (13, 14) umfasst, dass der CO₂-Separator (19) zwischen den beiden Verdichterstufen (13, 14) angeordnet ist, dass zwischen dem Ausgang der ersten Verdichterstufe (13) und dem Eingang des CO₂-Separators (19) ein Zwischenkühler (18) vorgesehen ist, und dass die Rückführungsleitung (34) auf den Eingang der ersten Verdichterstufe (13) zurückgeführt ist.

29. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass der CO₂-Separator (19) mit einem Bypass (33) überbrückt ist, in welchem ein erstes, einstellbares Ventil (21) angeordnet ist, und dass vor dem CO₂-Separator (19) ein zweites Ventil (21') zum Absperren oder Regeln des durch den CO₂-Separator (19) geleiteten Stromes angeordnet ist.

30. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Rückführungsleitung (34) auf den Eingang der Brennkammer (15) zurückgeführt ist, und dass in der Rückführungsleitung (34) hintereinander ein separater Verdichter (25') und der CO₂-Separator (19) angeordnet sind.

31. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem separaten Verdichter (25') und dem CO₂-Separator (19) ein Kühler (26') vorgesehen ist, und dass vor dem Kühler (26') ein regenerativer Wärmetauscher (26) angeordnet ist, durch welchen das rückgeführte Gas zum Kühler (26') und das aus dem CO₂-Separator (19) austretende Gas zur Brennkammer (15) strömt.

32. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 30 oder 31, dadurch gekennzeichnet, dass der CO₂-Separator (19) mit einem Bypass (33) überbrückt ist, in welchem ein erstes, einstellbares Ventil (21) angeordnet ist, und dass vor dem CO₂-Separator (19) ein zweites Ventil (21') zum Absperren oder Regeln des durch den CO₂-Separator (19) geleiteten Stromes angeordnet ist.

33. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 30 bis 32, dadurch gekennzeichnet, dass in der Abgasleitung (24) hintereinander ein Zwischenerhitzer (27) und eine weitere Turbine (16') angeordnet sind.

5 34. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 33, dadurch gekennzeichnet, dass in der Rückführungsleitung (34) ein Ventil (22) angeordnet ist.

10 35. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 34, dadurch gekennzeichnet, dass in der Rückführungsleitung (34) ein Kühler (20) angeordnet ist.

15 36. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der CO₂-Separator (19) in der Abgasleitung (24) angeordnet ist, und dass die Rückführungsleitung (34) vom Ausgang des CO₂-Separators (19) auf den Eingang des Verdichters (25') der Gasturbine (12) zurückgeführt ist, und dass in der Rückführungsleitung (34) ein Ventil (31) vorgesehen ist.

20 37. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Eingang des CO₂-Separators (19) ein Kühler (20) angeordnet ist, und dass in der Abgasleitung am Ausgang des CO₂-Separators (19) eine Abgasturbine (29) vorgesehen ist.

25 38. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 36 oder 37, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Eingang des Verdichters (25') der Gasturbine (12) ein weiterer Verdichter (25) mit einem nachfolgenden Zwischenkühler (35) angeordnet ist.

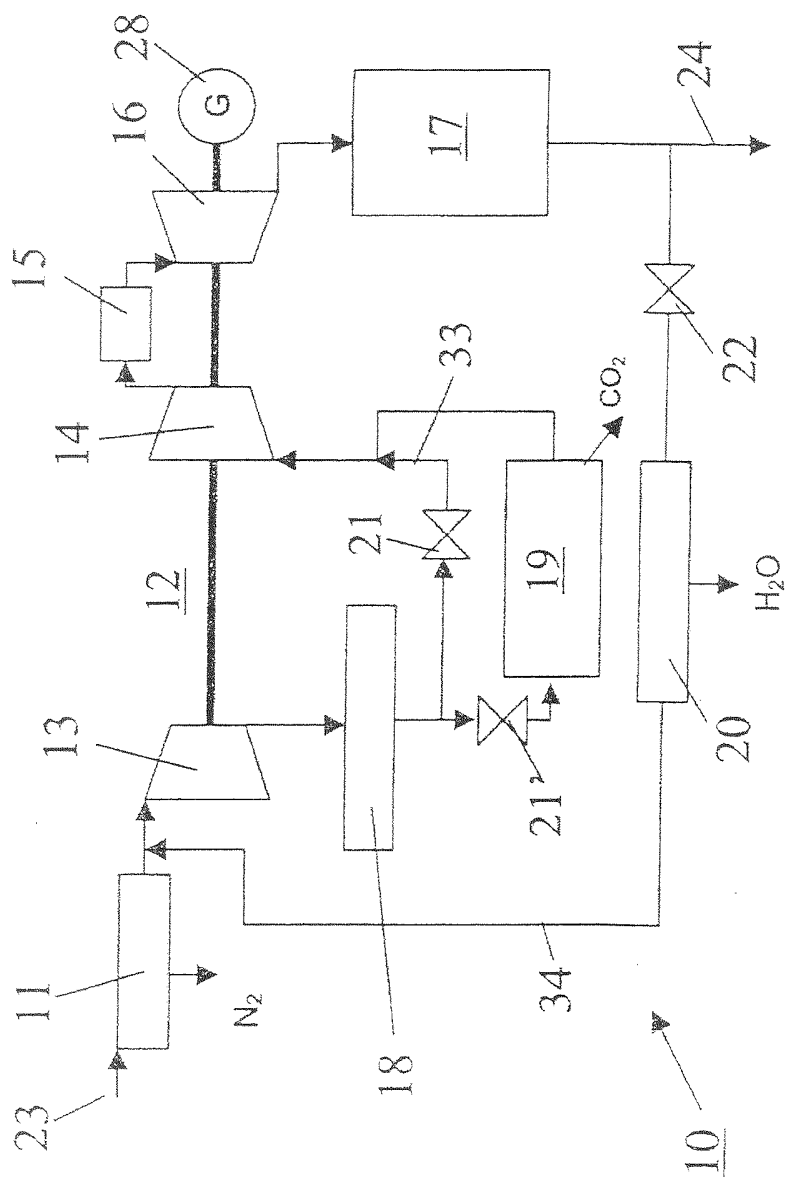


Fig. 1

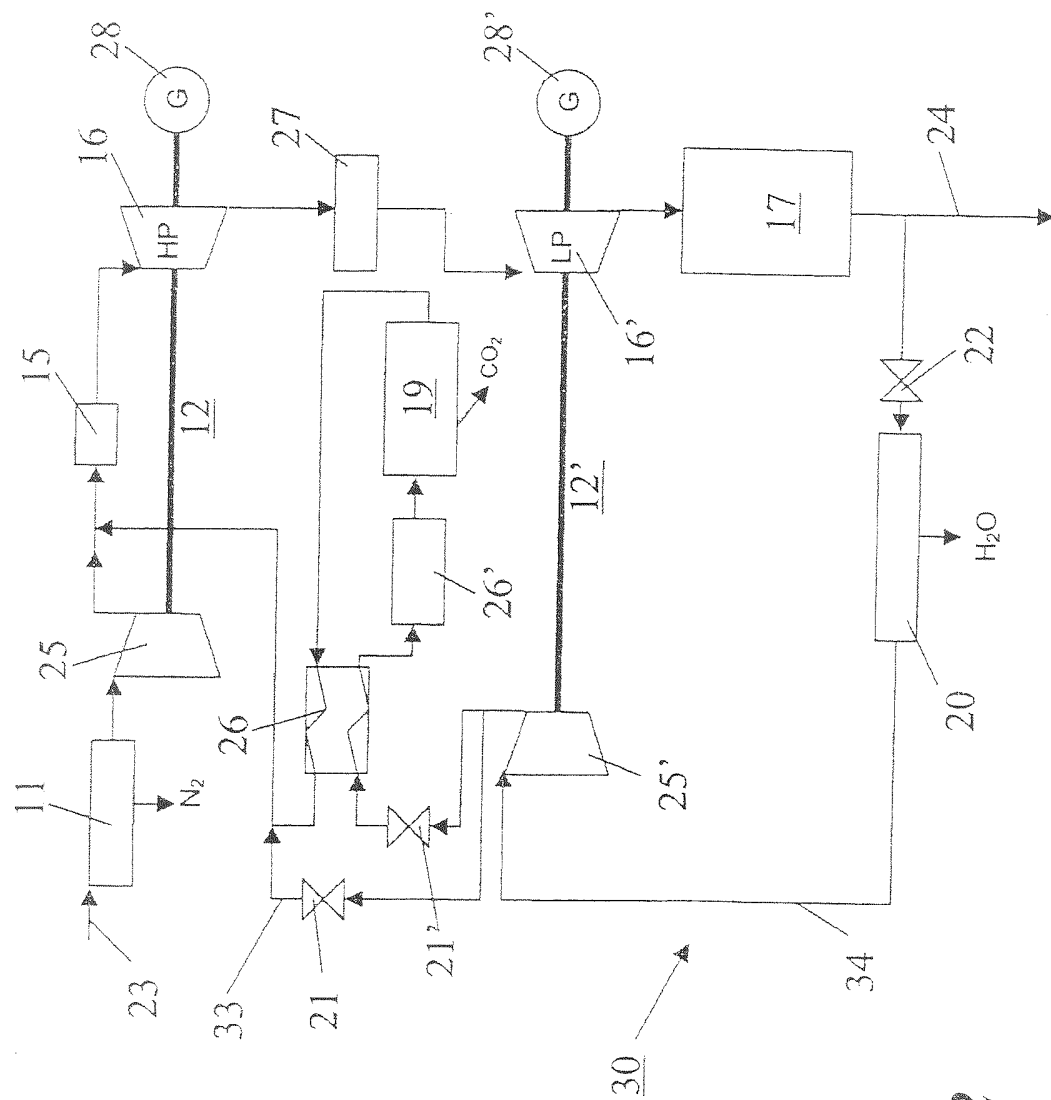


Fig. 2

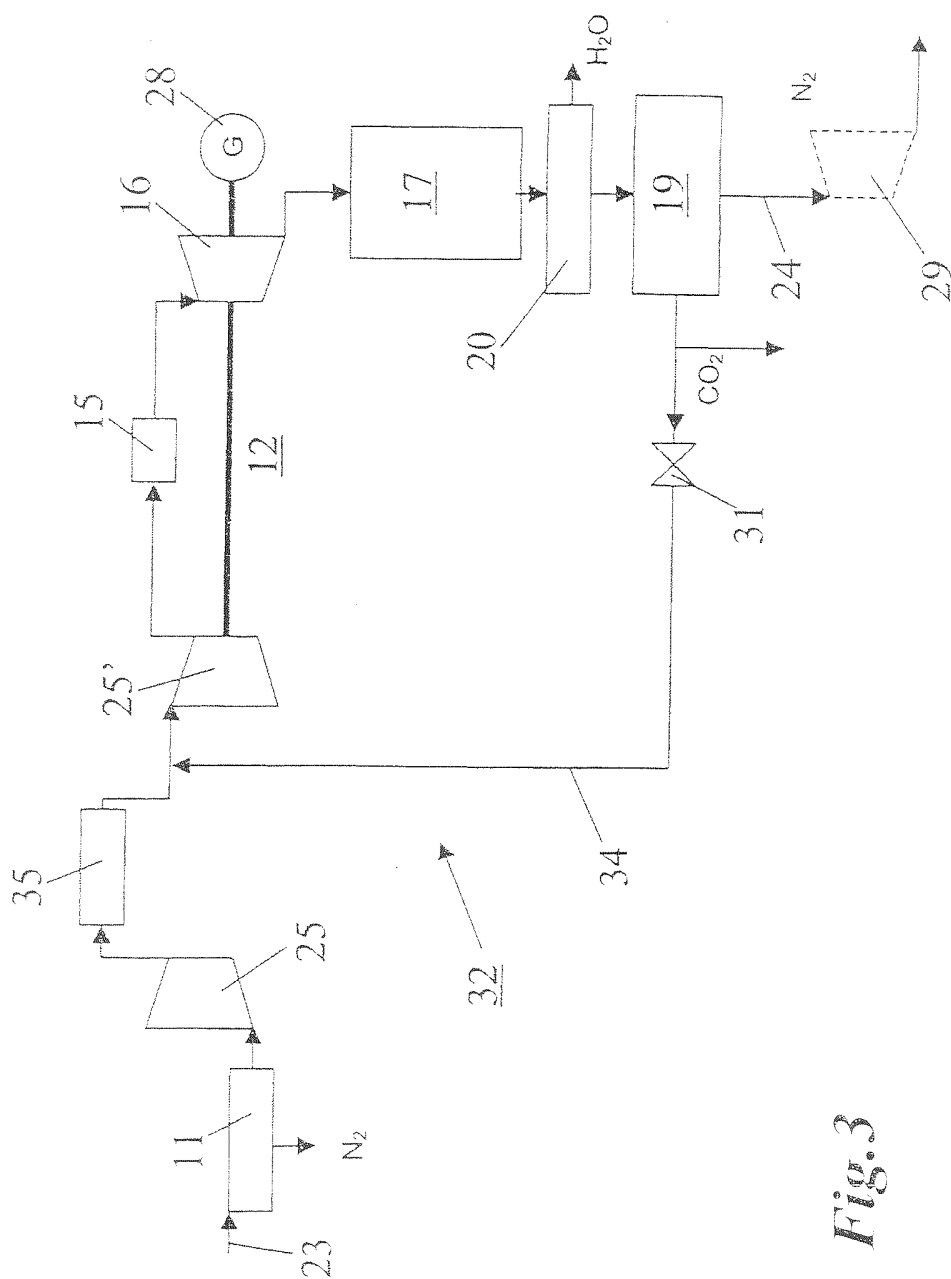


Fig.3

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP2005/053838

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
F02C3/34

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02C F01C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
P,X	EP 1 484 102 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD) 8 December 2004 (2004-12-08) paragraphs '0004!, '0010!, '0021! - '0029!, '0039! - '0043!; figures 4-6	1-13, 16-19, 21,22, 25-29, 32,34-36
P,X	WO 2005/064232 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD; BUECKER, DOMINIKUS; GRIFFIN, TIMOTHY; WINKLER,) 14 July 2005 (2005-07-14) page 9 - page 10; figures 3-6 ----- -/--	1,2, 5-12, 15-17, 19-23, 25, 27-32, 34,35,37

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

18 November 2005

Date of mailing of the international search report

25/11/2005

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Teusch, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP2005/053838

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 02/103176 A (INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE; LEBAS, ETIENNE; ROJEY, ALEXANDRE; MARTIN) 27 December 2002 (2002-12-27) page 6, lines 19-23; figure 2 page 8, line 8 - page 10, line 19 page 11, lines 10-14	1-7, 10-12, 16,19, 21,22, 25-28,35
X	US 2002/043063 A1 (KATAOKA MASAKI ET AL) 18 April 2002 (2002-04-18) paragraphs '0168! - '0190!; figure 17	1,2,5, 14,21, 25,27,36
P,X	WO 2004/083615 A (FLUOR CORPORATION; RAO, ASHOK) 30 September 2004 (2004-09-30) figures 1,3	1,2,5, 10,12, 16,18, 19,22, 25,27,35
X	LOMBARDI L: "Life cycle assessment (LCA) and exergetic life cycle assessment (ELCA) of a semi-closed gas turbine cycle with CO2 chemical absorption" ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, OXFORD, GB, vol. 42, no. 1, 1 January 2001 (2001-01-01), pages 101-114, XP004215107 ISSN: 0196-8904 figure 1	1,2,5, 13,25,27

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No PCT/EP2005/053838

Patent document cited in search report	A	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1484102	A	08-12-2004	DE 10325111 A1 JP 2004360694 A US 2005028529 A1	05-01-2005 24-12-2004 10-02-2005
WO 2005064232	A	14-07-2005	DE 10360951 A1	28-07-2005
WO 02103176	A	27-12-2002	EP 1402161 A1 FR 2825935 A1 JP 2004530097 T US 2004170935 A1	31-03-2004 20-12-2002 30-09-2004 02-09-2004
US 2002043063	A1	18-04-2002	NONE	
WO 2004083615	A	30-09-2004	AU 2003220393 A1	11-10-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2005/053838

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES F02C3/34		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE		
Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) F02C F01C		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, PAJ, WPI Data		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
P, X	EP 1 484 102 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD) 8. Dezember 2004 (2004-12-08) Absätze '0004!, '0010!, '0021! - '0029!, '0039! - '0043!; Abbildungen 4-6	1-13, 16-19, 21, 22, 25-29, 32, 34-36
P, X	WO 2005/064232 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD; BUECKER, DOMINIKUS; GRIFFIN, TIMOTHY; WINKLER,) 14. Juli 2005 (2005-07-14) Seite 9 - Seite 10; Abbildungen 3-6 ----- -/--	1, 2, 5-12, 15-17, 19-23, 25, 27-32, 34, 35, 37
<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		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen 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
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist		"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)		"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer 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
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht		"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 18. November 2005		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 25/11/2005
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Teusch, R

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	<p>WO 02/103176 A (INSTITUT FRANCAIS DU PETROLE; LEBAS, ETIENNE; ROJEY, ALEXANDRE; MARTIN) 27. Dezember 2002 (2002-12-27)</p> <p>Seite 6, Zeilen 19-23; Abbildung 2 Seite 8, Zeile 8 - Seite 10, Zeile 19 Seite 11, Zeilen 10-14</p>	<p>1-7, 10-12, 16,19, 21,22, 25-28,35</p>
X	<p>US 2002/043063 A1 (KATAOKA MASAKI ET AL) 18. April 2002 (2002-04-18)</p> <p>Absätze '0168! - '0190!; Abbildung 17</p>	<p>1,2,5, 14,21, 25,27,36</p>
P,X	<p>WO 2004/083615 A (FLUOR CORPORATION; RAO, ASHOK) 30. September 2004 (2004-09-30)</p> <p>Abbildungen 1,3</p>	<p>1,2,5, 10,12, 16,18, 19,22, 25,27,35</p>
X	<p>LOMBARDI L: "Life cycle assessment (LCA) and exergetic life cycle assessment (ELCA) of a semi-closed gas turbine cycle with CO2 chemical absorption" ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS, OXFORD, GB, Bd. 42, Nr. 1, 1. Januar 2001 (2001-01-01), Seiten 101-114, XP004215107 ISSN: 0196-8904 Abbildung 1</p>	<p>1,2,5, 13,25,27</p>

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2005/053838

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1484102	A	08-12-2004	DE 10325111 A1	05-01-2005
			JP 2004360694 A	24-12-2004
			US 2005028529 A1	10-02-2005
WO 2005064232	A	14-07-2005	DE 10360951 A1	28-07-2005
WO 02103176	A	27-12-2002	EP 1402161 A1	31-03-2004
			FR 2825935 A1	20-12-2002
			JP 2004530097 T	30-09-2004
			US 2004170935 A1	02-09-2004
US 2002043063	A1	18-04-2002	KEINE	
WO 2004083615	A	30-09-2004	AU 2003220393 A1	11-10-2004