



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 039 164 A1** 2006.03.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 039 164.5**

(22) Anmeldetag: **11.08.2004**

(43) Offenlegungstag: **02.03.2006**

(51) Int Cl.⁸: **F02C 3/34 (2006.01)**
F02C 6/18 (2006.01)

(71) Anmelder:
ALSTOM Technology Ltd, Baden, CH

(74) Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München

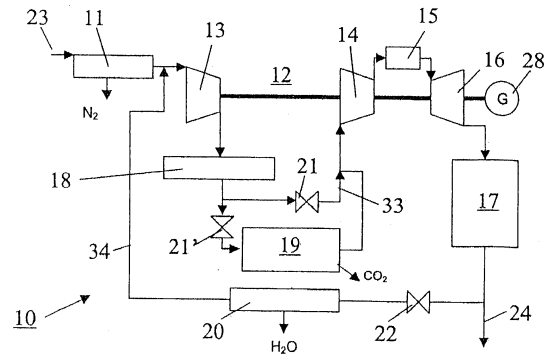
(72) Erfinder:
Abbott, David John, Dr., Derby, GB; Bucker, Dominikus, Dr., Zürich, CH; Griffin, Timothy, Dr., Ennetbaden, CH

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer eine Gasturbine umfassenden Energieerzeugungsanlage sowie Energieerzeugungsanlage zur Durchführung des Verfahrens**

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer eine 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 abgezwigter 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.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Energieerzeugungstechnik. Sie betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer Gasturbine umfassenden Energieerzeugungsanlage gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1 sowie eine Energieerzeugungsanlage zur Durchführung des Verfahrens.

STAND DER TECHNIK

[0002] 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.

[0003] 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.

[0004] 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:

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.
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.
3. Sauerstoff-Brennstoff-Prozesse („oxy-fuel process“) mit Abgasrückführung: Bei diesen wird nahezu reiner Sauerstoff anstelle von Luft als Oxida-

tionsmittel verwendet, wodurch ein Rauchgas aus Kohlendioxid und Wasser entsteht.

[0005] 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 Umbaumaassnahmen für die Turbomaschinen niederschlagen.

[0006] Es besteht daher ein grosser Bedarf für einen Gasturbinen-Kreisprozess mit maximalem Wirkungsgrad, niedrigen Gesamtkosten und einer Option für die Entfernung von CO₂.

[0007] 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.
- Der Einsatz eines Gasturbinen-Kreisprozesses mit Zwischenerhitzung.

[0008] 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-Verdichter ist andererseits wegen der Wirkung der hohen Temperatur der komprimierten Luft auf die Rotorwerkstoffe begrenzt.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0009] 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.

[0010] Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 25 gelöst. Der Kern der Erfindung besteht darin, eine CO₂-Abtrennung mit Teiltrückführung des Rauchgases vorzusehen und gleichzeitig Massnahmen zum Ausgleich der mit der CO₂-Abtrennung verbundenen Wirkungsgradverluste im Gasturbinen-Kreisprozess zu treffen.

[0011] Eine bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das Kohlendioxid (CO₂) aus dem zirkulierenden Gas nur teilweise abgetrennt wird. 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.

[0012] 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.

[0013] Eine weitere bevorzugte Ausgestaltung der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass das entspannte Rauchgas vor dem Abzweigen des Teilstromes in einem Abhitzedampferzeuger zur Erzeugung von Dampf eingesetzt wird.

[0014] In einer ersten alternativen Weiterbildung der Erfindung wird das Sauerstoff enthaltende Gas in dem Verdichter in wenigstens zwei hintereinander geschalteten 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 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 z.B. CO₂-Membraneinheiten.

[0015] Insbesondere wird zum Abtrennen des Kohlendioxids (CO₂) das Sauerstoff enthaltende Gas durch einen CO₂-Separator geschickt, und die Menge des durch den 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.

[0016] 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.

[0017] Eine flexible Betriebsweise ergibt sich dadurch, dass der abgezweigte Teilstrom unterbrochen wird, wenn der Gasturbinen-Kreisprozess in einem Standardmodus ohne Abtrennung von Kohlendioxid (CO) gefahren werden soll.

[0018] 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 Anlagenkonzepten mit Sprühkühlung oder mit dem sogenannten „inlet fogging“ bei mittleren 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).

[0019] 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.

[0020] 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 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 einstellbaren 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.

[0021] 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 weitere Turbine zum Antrieb des separaten Verdichters verwendet wird. Die Verwendung 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 Verdichterstufe. Die Zwischenerhitzung ergibt eine höhere Energiedichte im Kreisprozess und reduziert die NOx-Emissionen

des Prozesses. Die Zwischenerhitzung (mittels einer zweiten Brennkammer) ermöglicht weiterhin eine stabilere Verbrennung in der ersten Brennkammer wegen des grösseren Sauerstoffüberschussverhältnisses bei einer vorgegebenen Gesamtrückführungsrate. Hieraus ergibt sich auch eine grössere Flexibilität bei der Prozessführung wie z.B. bei der Veränderung der Wärmefreisetzung in der ersten und zweiten Brennkammer.

[0022] 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 zurückgeführt wird, wobei insbesondere das in der Turbine der Gasturbine entspannte 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 wird. Das CO₂ wird hier bei einem niedrigen Druck abgetrennt, jedoch wird durch den Entzug von Wasser gleichwohl ein hoher CO₂-Partialdruck erreicht.

[0023] Eine bevorzugte Ausgestaltung der Energieerzeugungsanlage nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass vor dem Eingang des Verdichters der Gasturbine eine vorzugsweise Lufttrennmembranen aufweisende Sauerstoffanreicherungsanordnung zur Anreicherung der von dem Verdichter angesaugten Luft mit Sauerstoff angeordnet ist, und dass in der Abgasleitung ein Abhitzedampferzeuger angeordnet ist.

[0024] Ein besonders hoher Wirkungsgrad der Anlage lässt sich erreichen, wenn der Verdichter der Gasturbine zwei Verdichterstufen umfasst, wenn der CO₂-Separator 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.

[0025] 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 CO₂-Separator ein Kühler vorgesehen ist, und dass der CO₂-Separator mit einem Bypass überbrückt ist, in welchem ein einstellbares

Ventil angeordnet ist.

[0026] Weitere Ausgestaltungen ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0027] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

[0028] [Fig. 1](#) ein vereinfachtes Anlagenschema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einem zwei-stufigen Verdichter mit Zwischenkühlung in der Gasturbine;

[0029] [Fig. 2](#) ein vereinfachtes Anlagenschema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einer zweiten Gasturbine zur Verdichtung des rückgeführten Rauchgases; und

[0030] [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.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0031] 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. Die erste Verdichterstufe **13** saugt Luft **23** an, die vor der Kompression durch Entzug von Stickstoff N₂ in einer Sauerstoffanreicherungsanordnung **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, 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 Absperrn bei einem Kurzschliessen über den Bypass **33**, als auch der Regelung.

[0032] 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 zuge-mischt. 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.

[0033] 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 Temperaturen arbeitenden Lufttrennmembranen erreicht werden kann, ermöglicht bei vorgegebener Brenntemperatur der Gasturbine **12** eine stärkere Rückführung des Rauchgases.

[0034] 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.
- 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 Schnellabschal-

tung kann das Ventil **21** voll geöffnet werden, um den CO₂-Separator **19** kurzzuschliessen.

- Das Ventil **22** in der Rückführungsleitung **34** kann während Störungen, im 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 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.

- 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.

- Die optionale Anreicherung mit Sauerstoff ermöglicht eine verstärkte Rückführung des Rauchgases (Anmerkung: Das angereicherte O₂ erhöht die Brenntemperatur, wenn nicht gleichzeitig der verdünnende Bestandteil erhöht wird, was entweder durch eine verstärkte Rauchgasrückführung oder durch Zusatz von Wasser oder Dampf geschehen kann).

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

[0035] 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 wieder-

um 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 **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.

[0036] 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:

- 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.
- 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 im ersten und zweiten Brenner (Zwischenerhitzer **27**).

[0037] 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 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.

[0038] Das Anlagenschema des in [Fig. 3](#) gezeigten Ausführungsbeispiels offenbart eine Energieerzeugungsanlage **32** mit einer Gasturbine **12** mit Verdichter **25'**, Brennkammer **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 Sauerstoffanreicherungsvorrichtung **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.

[0039] 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 [Fig. 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.

[0040] Andere Möglichkeiten ergeben sich, wenn ein Kreisprozess mit einem hohen Mass an Wassereinspritzung (Sprüh-Zwischenkühlung, Wasser- oder Dampfeinspritzung in die Brennkammer) mit dem Schema der partiellen Rauchgasrückführung kombiniert wird:

- 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 Prozesse, als auch bei der Abtrennung im Mittel druckbereich gemäss [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#).

– 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.

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

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer Gasturbine (**12**) umfassenden Energieerzeugungsanlage (**10, 30, 32**), bei welchem Verfahren in einem ersten Schritt ein Sauerstoff enthaltendes Gas in einem Verdichter (**13, 14; 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 strom-

aufwärts der Brennkammer (**15**) liegenden Teil der Gasturbine (**12**) zurückgeführt und verdichtet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass aus dem zirkulierenden Gas in einem CO-Separator (**19**) Kohlendioxid (CO) abgetrennt wird, und dass Massnahmen zum Ausgleich der mit der CO-Abtrennung verbundenen Wirkungsgradverluste im Gasturbinen-Kreisprozess getroffen werden.

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

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.

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.

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 gekenn-

zeichnet, 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 abgezweigte 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 abgezweigte 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 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 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 die weitere Turbine (16') zum Antrieb des separaten Verdichters (25') verwendet wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, 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 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 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.

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

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

28. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 25 bis 27, dadurch gekennzeichnet, dass der Verdichter der Gasturbine (12) zwei Verdichterstufen (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 Zwischenhitzer (27) und eine weitere Turbine (16') angeordnet sind.

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

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

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.

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.

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.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

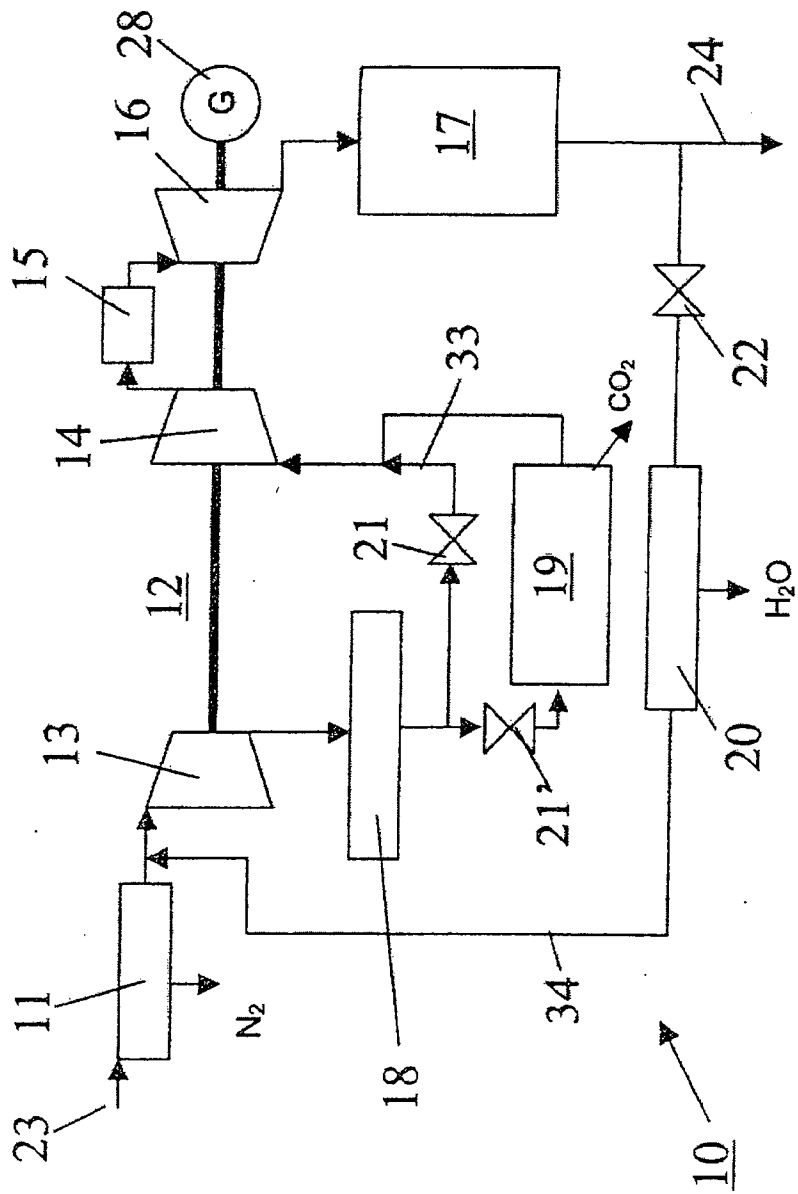


Fig. 1

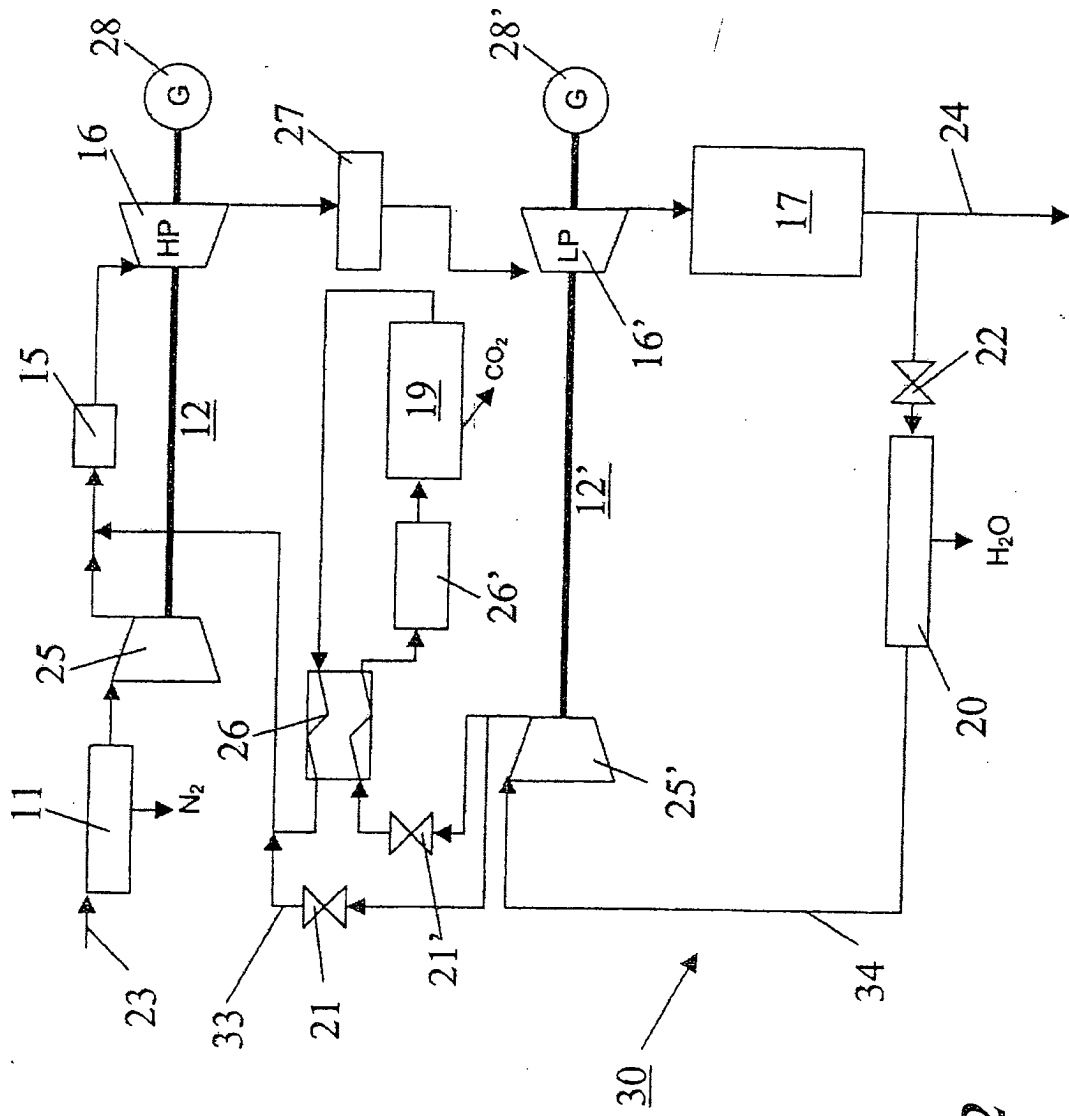


Fig. 2

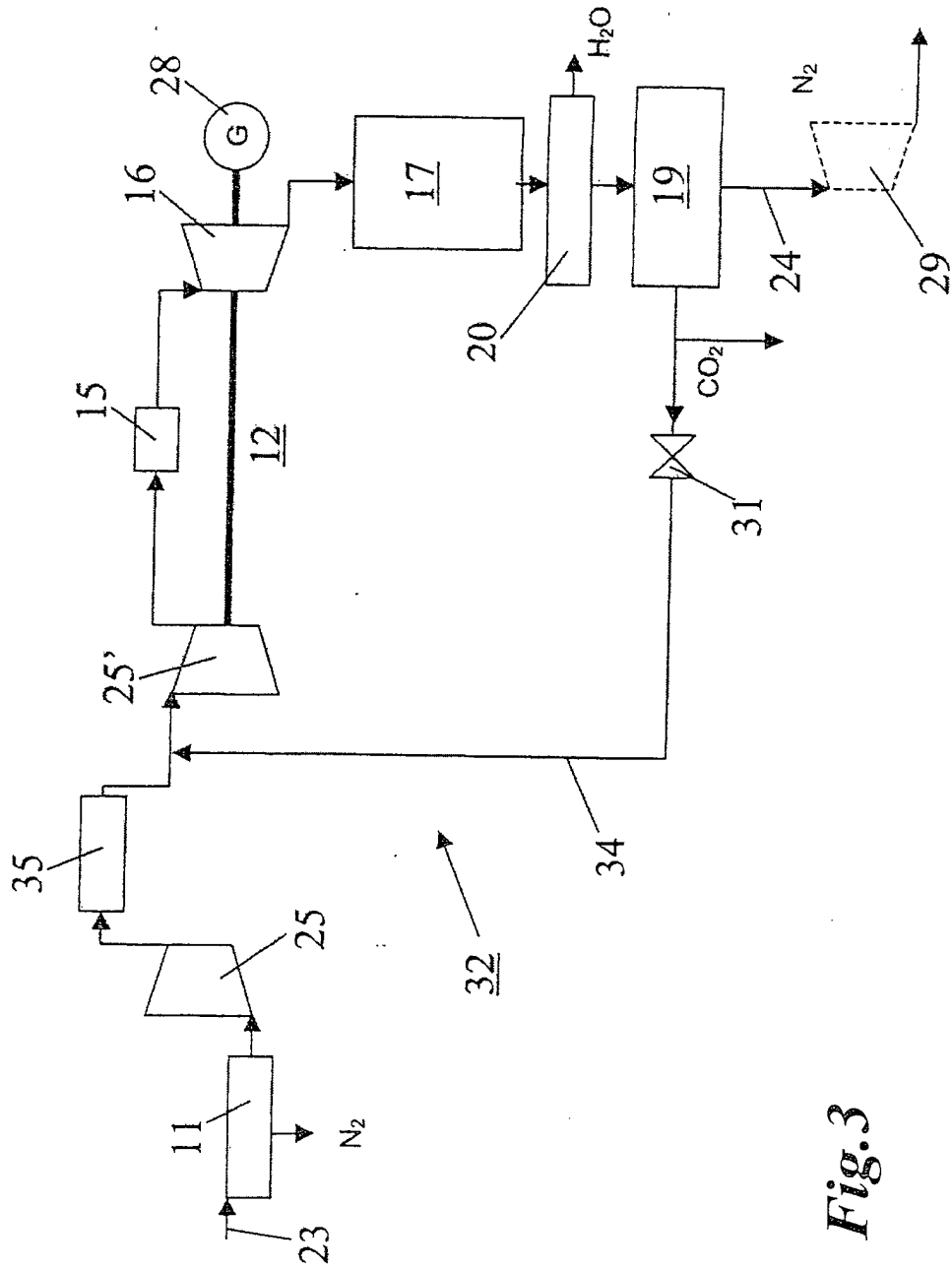


Fig. 3