



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 103 25 111 A1 2005.01.05

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: 103 25 111.1
(22) Anmeldetag: 02.06.2003
(43) Offenlegungstag: 05.01.2005

(51) Int Cl.7: F02C 3/34

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

(72) Erfinder:
Bartlett, Michael Adam, Farsta, SE; Griffin,
Timothy, Dr., Ennetbaden, CH; Holmberg, Daniel,
Baden, CH

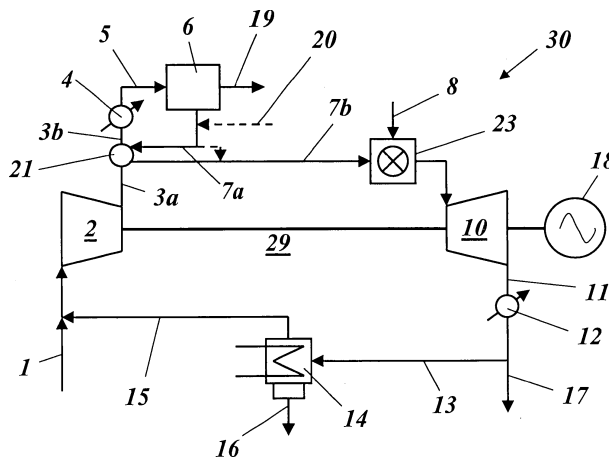
(74) Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241
München

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

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

(57) Zusammenfassung: Bei einem Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer eine Gasturbine (29) umfassenden Energieerzeugungsanlage (30) wird in einem ersten Schritt ein Luft (1) enthaltendes Gas in einem ersten Verdichter (2) der Gasturbine (29) verdichtet, wird in einem zweiten Schritt das verdichtete Gas (3, 3a, 3b; 5; 7a, 7b) unter Zugabe von Brennstoff (8) in einer Brennkammer (23) einer Verbrennung zugeführt, wird in einem dritten Schritt das heiße Rauchgas (9) aus der Brennkammer (23) in einem Expansionsteil bzw. einer einen Generator (18) antreibenden Turbine (10) der Gasturbine (29) unter Arbeitsleistung entspannt, und wird in einem vierten Schritt ein Teilstrom des entspannten Rauchgases (11) zum Eingang des ersten Verdichters (2) zurückgeführt und dem Luft (1) enthaltenden Gas zugemischt. Aus dem verdichteten Gas (3, 3a, 3b; 5; 7a, 7b) wird vor dem dritten Schritt in einem CO₂-Separator (6) Kohlendioxid (CO₂) abgetrennt.

Bei einem solchen Verfahren wird eine Reduzierung der Baugröße und Energiekosten dadurch erreicht, dass zur Ermöglichung erhöhter CO₂-Konzentrationen im CO₂-Separator (6) nicht mehr als etwa 70% des im verdichteten Gas (3, 3a, 3b; 5; 7a, 7b) enthaltenen Kohlendioxids aus dem verdichteten Gas (3, 3a, 3b; 5; 7a, 7b) entfernt werden.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf das Gebiet der Energieerzeugungstechnik. Sie betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Energie gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Sie betrifft weiterhin eine Energieerzeugungsanlage zur Durchführung des Verfahrens gemäss dem Oberbegriff des Anspruchs 19.

[0002] Ein solches Verfahren und eine solche Anlage sind z. B. aus der WO-A1-02/103176 bekannt.

STAND DER TECHNIK

[0003] Während des vergangenen Jahrzehnts ist das Interesse an umweltfreundlichen Kraftwerken mit niedriger Emission erheblich gestiegen. Als Antwort auf eine möglicherweise hinsichtlich des Kohlenstoffs beschränkte Ökonomie ist die Möglichkeit von besonderem Interesse, Energie aus fossilen Brennstoffen mit niedriger Kohlendioxid-Emission zu erzeugen. 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 Kohlenstoffentreichung 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“): Bei diesen wird nahezu reiner Sauerstoff anstelle von Luft als Oxidationsmittel verwendet, wodurch ein Rauchgas aus Kohlendioxid und Wasser entsteht.

[0004] In einem herkömmlichen ausgangsseitigen Abfangprozess (s.o. Variante (1)) wird das CO₂ abgefangen, nachdem das Rauchgas im Entspannungsteil bzw. der Turbine der Gasturbine entspannt worden ist, d.h., der Absorptionsdruck beträgt 1 atm. Der hauptsächlichste Nachteil dieser Randbedingung besteht darin, dass der CO₂-Partialdruck wegen der geringen CO₂-Konzentration im Rauchgas (typischerweise 3-4 Vol.-%) sehr klein ist und daher grosse und aufwendige Vorrichtungen zur Entfernung des CO₂ benötigt werden. Die CO₂-Konzentration am Schornstein und damit der Partialdruck könne zwar durch teilweise Rückführung des Rauchgases zum Verdichter der Gasturbine erhöht werden (siehe dazu z. B. die US-A-5,832,712), sie bleiben jedoch ziemlich gering (ca. 6-10 Vol.-%).

[0005] Eine neue Variation der ersten Variante, die auf Gasturbinen-Kreisprozesse mit Rauchgasrückführung anwendbar ist, verschiebt den Ort der CO₂-Abtrennung hinter den Verdichter oder zu einer Zwischenkühlungsstufe. Dadurch wird der Partialdruck des Kohlendioxids deutlich angehoben und so die treibende Kraft für die Abtrennung verbessert. Darüber hinaus wird das Volumen des zu behandelnden Gases beträchtlich reduziert. Diese beiden Faktoren führen zu einer Reduktion der Grösse der CO₂-Abtrennvorrichtung sowie deren Energieströmen und verringern so die Kosten pro nicht emittierter Tonne Kohlendioxid. Um die Abgabe von Kohlendioxid an die Atmosphäre weiter zu verringern, können die Verbrennungsgase mit Sauerstoff angereichert werden, was ein höheres Rauchgasrückführungsverhältnis und einen geringeren Massenstrom zum Schornstein ermöglicht. Darüber hinaus können Wärmequellen wie die Zwischenkühlung zum Betrieb des Abtrennungsprozesses herangezogen werden. Diese Art der Prozessführung wird als Hochdruck-Abtrennung bezeichnet und ist in den **Fig. 2** und **3** der eingangs genannten WO-A1-02/103176 dargestellt.

[0006] Wie eine genauere Betrachtung der Hochdruck-Abtrennung zeigt, ist es das Ziel dieser Entwicklung, den Partialdruck des Kohlendioxids in der Abtrenneinheit anzuheben. Wenn der überwiegende Anteil des Kohlendioxids (80-95%) im komprimierten Arbeitsmedium entfernt wird, ergeben sich niedrige Kohlendioxidkonzentrationen im Abgas und folgerichtig in der Rückführung zum Verdichter und der Kohlendioxid-Abtrenneinheit. Diese Strategie einer hohen Abtrennungsrate reduziert die Menge des Kohlendioxids, das den Kreisprozess im nicht zurückgeführten Abgas verlässt, während der Aufbau einer Kohlendioxidkonzentration im Kreisprozess verhindert wird. Die Einlassluft kann zwar mit Sauerstoff angereichert werden, um so ein höheres Rauchgas-Rückführungsverhältnis zu ermöglichen. Der hauptsächlichste Effekt ist es jedoch, die Kohlendioxidemissionen weiter zu begrenzen, anstatt die Kohlendioxidkonzentration zu erhöhen. Zusammenfassend kann gesagt werden, dass eine Abtrennung eines Grossteils des Kohlendioxids nach dem Verdichter in einer Hochdruck-Abtrennung zu eher geringen Kohlendioxid-Partialdrücken während der Abtrennung führt, was dem Entwicklungsziel entgegenwirkt. Eine solche Konfiguration ist in der Druckschrift WO-A1-02/103176 beschrieben

und in der nachfolgenden Tabelle 1 durch die Fälle 1 und 3 für einen Kreisprozess mit Luft bzw. Sauerstoff-angereicherter Luft erfasst.

[0007] Wenn nur ein Teil des Kohlendioxids in einem Hochdruck-CO₂-Abtrennungsprozess entfernt wird, ist es möglich, den CO₂-Partialdruck in der Abtrenneinheit deutlich anzuheben, insbesondere, wenn die Sauerstoffanreicherung eingesetzt wird. Die Tabelle 1 illustriert diesen Effekt, wobei die CO₂-Konzentration von 5% (molar) im Fall 3 auf 14% im Fall 4 ansteigt. Dieser Anstieg in der Konzentration kompensiert teilweise die niedrigere CO₂-Abtrennrates und ermöglicht es so, 53% des im Kreisprozess erzeugten Kohlendioxids abzufangen, obgleich nur 20% des im Arbeitsmedium enthaltenen CO₂ entfernt wird. Wenn der Kreisprozess ausschliesslich mit Luft betrieben wird, ist der Aufbau des CO₂ im Kreisprozess durch die geringere Menge an rückgeführtem Rauchgas begrenzt; daher ist die Methode der teilweisen Abtrennung weniger effektiv (siehe die Fälle 1 und 2 in Tabelle 1).

[0008] Während die Kohlendioxidemissionen ansteigen, wenn nur ein Teil des Kohlendioxids aus dem Arbeitsmedium abgetrennt wird, können Einsparungen bei den Ausrüstungskosten durch eine Verringerung der Abtrennanforderungen und eine Erhöhung der den Prozess treibenden Kräfte erreicht werden. Die optimale Abtrenneffektivität ergibt sich aus einem Kompromiss zwischen den durch einen erhöhten Kohlendioxidausschuss in die Atmosphäre verursachten Kosten (bei Annahme einer CO₂-Steuer) und den Einsparungen bei den Betriebs- und Ausrüstungskosten gegenüber einem noch besseren Abtrennprozess.

Tabelle 1

Fall	O ₂ -Quelle	CO ₂ -Entfernung in Abtrenneinheit (in %)	CO ₂ -Entfernung insgesamt (in %)	Molarer Anteil CO ₂ zur Abtrenneinheit
1	Luft	80	61	0,04
2	Luft	20	26	0,08
3	angereicherte	80	93	0,05
	Luft (66% O ₂)			
4	angereicherte Luft (66% O ₂)	20	53	0,14

[0009] Im vorangegangenen Abschnitt wurde die konzeptionelle Verbesserung der herkömmlichen Hochdruck-Abtrennung beschrieben. Es können jedoch durch den Einsatz einer als Teilstromabtrennung bezeichneten Methode weitere thermodynamische und ökonomische Verbesserungen erzielt werden. Ein Nachteil der Hochdruck-CO₂-Abtrennung ist es, dass grosse Wärmetauscher benötigt werden, um das Arbeitsmedium abzukühlen und wieder aufzuwärmen, wenn ein kalter CO₂-Abtrennungsprozess benutzt wird, wie z. B. das sogenannte „amine scrubbing“. Für einen guten Wirkungsgrad des Kraftwerks ist es wichtig, die Auslasstemperatur des Verdichters beizubehalten und so den Brennstoffverbrauch gering zu halten. Wenn man berücksichtigt, dass eine niedrige Abtrennrates für das Kohlendioxid wünschenswert ist (s.o.), kann eine neue Abtrennstrategie formuliert werden, um die Kapitalkosten zu verringern, den Wirkungsgrad des Kreisprozesses zu erhöhen und, insbesondere im Fall der Einspeisung von angereicherter Luft, den Partialdruck des zu entfernenden CO₂ zu erhöhen, nämlich:

- eine hohe CO₂-Abtrennrates bei einem Teilstrom am Verdichterausgang.

[0010] Eine entsprechende Konfiguration ist in den später noch erläuterten **Fig. 3** und **4** wiedergegeben. Wie man an den Figuren sehen kann, ist das Arbeitsmedium nach dem Verdichter in zwei Ströme unterteilt. Der eine Strom geht in den CO₂-Abtrennprozess, während der andere direkt zur Brennkammer geschickt wird. Aus diesem Grunde wird die Einlasstemperatur der Verbrennung für den Kreisprozess mit Teilstromabtrennung nicht so sehr reduziert wie im Vollstromfall der **Fig. 1** und **2**. Da nur ein Teilstrom in der Trenneinheit behandelt wird, ergeben sich deutlich geringere Baugrößen der Wärmetauscher und der sonstigen Anlagenteile für den Prozess. Der Trennprozess selber wird allerdings anspruchsvoller. Ggf. ist eine Membran in Verbindung mit dem CO-Abtrennprozess notwendig, um die Übernahme von Verunreinigungen in die Turbomaschinen zu verringern. Wenn die Luft mit einem hochreinen Sauerstoffstrom angereichert wird, der z.B. aus einer kältetechnischen Anlage stammt, sollte der Sauerstoff vorgewärmt werden, um die Temperaturverluste des Arbeitsmediums vor der Verbrennung zu reduzieren. Wenn Zwischenkühlung eingesetzt wird, sollte die abgeführte Wärme benutzt werden, um das Lösungsmittel zu regenerieren (siehe **Fig. 4**). Dies ist eine wichtige Möglichkeit

zur Ausnutzung der Wärme, die normalerweise in Kombikraftwerken nicht genutzt werden kann.

[0011] Ein wesentlicher Vorteil des Hochdruck-Abtrennungs-Konzeptes gegenüber beispielsweise den Sauerstoff-Brennstoff-Konzepten besteht darin, dass die vorhandenen Turbomaschinen mit nur geringen Änderungen genutzt werden können. Dies geht deshalb, weil die Eigenschaften des Arbeitsmediums sehr ähnlich zu denen in vorhandenen Gasturbinen sind. Inhärent ist den Hochdruck-Abtrennungs-Konzepten jedoch die Tatsache, dass das Arbeitsmedium zwischen dem Verdichter und der Turbine entnommen wird. Wenn vorhandene Turbomaschinen verwendet werden, bedeutet dies einen beträchtlichen Verlust an Ausgangsleistung als Folge sowohl der Abnahme des Massenstroms im Expansionsteil als auch der Tatsache, dass der Druck in den Expansionsteil hinein abfallen muss, um einen konstanten Volumenstrom aufrechtzuerhalten. Folglich sollte der Massenstrom des Arbeitsmediums erhöht werden, damit die Bedingungen im Auslegungspunkt wiederhergestellt werden können. Dies kann durch eine der beiden folgenden Massnahmen erreicht werden:

- Sauerstoffeinspritzung, oder
- Befeuchtung.

[0012] Die Sauerstoffeinspritzung ist bereits weiter oben als Mittel zur Begrenzung der CO₂-Emissionen besprochen worden. Sie dient jedoch – wenn sie nach der Verdichtung durchgeführt wird – auch dazu, die konstruktiv vorgegebenen Bedingungen (Druck, Massenstrom) am Einlass des Expansionsteils aufrechtzuerhalten. Die Befeuchtung kann entweder durch Wassereinspritzung, Dampfeinspritzung oder durch Einsatz eines Befeuchtungsturmes realisiert werden. Alle drei Methoden kompensieren den Verlust des CO₂ aus dem Arbeitsmedium durch das Hinzufügen von Wasserdampf. Wie bei der Sauerstoffinjektion werden dadurch die konstruktiv vorgegebenen Bedingungen am Einlass des Expansionsteils wiederhergestellt und der Wirkungsgrad des Kreisprozesses wird massiv verbessert. Diese Methode sollte sowohl bei den herkömmlichen Hochdruck-Abtrennungs-Prozessen als auch solchen mit Teilstrom-Abtrennung angesetzt werden.

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0013] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer Gasturbine umfassenden Energieerzeugungsanlage anzugeben, bei welchem nach dem Hochdruck-Abtrenn-Konzept Kohlendioxid entfernt wird, und welches sich durch eine verringerte Baugrösse der Abtrenneinrichtungen sowie reduzierte Energie- und Anlagenkosten auszeichnet, sowie eine Energieerzeugungsanlage zur Durchführung des Verfahrens anzugeben.

[0014] Die Aufgabe wird durch die Gesamtheit der Merkmale der Ansprüche 1 und 20 gelöst. Die Erfindung gibt ein Verfahren an, mit welchem die für eine CO₂-Abtrennung benötigte Ausrüstung in einem Kraftwerk mit halbgeschlossenem Kreisprozess durch Hochdruck-CO₂-Abtrennung verringert werden kann. Darüber hinaus können die Energiekosten für die CO₂-Abtrennung reduziert werden. Die Erfindung macht Gebrauch von der CO₂-Abtrennung bei erhöhten Drücken, d.h., nach dem Verdichter oder ggf. zwischen zwei Verdichterstufen, wenn eine Zwischenkühlung vorhanden ist. Wichtig ist, dass nur ein Teil (10-70%) des Kohlendioxids in dem verdichteten Arbeitsmedium abgetrennt wird, so dass sich das während der Verbrennung gebildete Kohlendioxid im Kreisprozess anreichern kann. Im Vergleich zu Prozessen mit einem hohen Grad an Kohlendioxidabtrennung aus dem verdichteten Arbeitsmedium sind die treibenden Kräfte für die Abtrennung höher und die Grösse der CO₂-Abtrennvorrichtung kann weiter verringert werden. Dies führt zu Einsparungen sowohl bei den Ausrüstungskosten als auch beim Energieverbrauch des Abtrennprozesses. Eine wichtige Abänderung besteht darin, einen Teil des Gases vom Verdichter direkt zur Brennkammer zu führen, und nur den Rest zur CO₂-Abtrennvorrichtung. Aus dieser Art der Prozessführung erwachsen zahlreiche Vorteile; so kann beispielsweise die Grösse der CO₂-Abtrennvorrichtung und des Gas-Wärmetauschers verringert werden, weil ein kleinerer Gasstrom verarbeitet wird. Nach der CO₂-Abtrennung kann der verbleibende Teilstrom zur Brennkammer geführt oder sogar zur Kühlung der Turbine herangezogen werden. In beiden Fällen wird die Brennkammereintrittstemperatur erhöht und dadurch der Brennstoffverbrauch verringert, so dass der thermische Wirkungsgrad der Gasturbine im Vergleich zu vorbekannten Hochdruck-Abtrennungsverfahren verbessert wird.

[0015] Eine Weiterbildung der Erfindung stellt Verfahren vor, welche die Ausgangsleistung und den mit der Hochdruck-CO₂-Abtrennung verbundenen Anlagen-Wirkungsgrad verbessern. Sauerstoff oder Wasserdampf werden dabei durch verschiedene Verfahren nach dem Verdichter zugesetzt, um den Verlust von Arbeitsmedium zwischen Verdichter und Expansionsteil zu kompensieren. Dies ermöglicht den Einsatz von vorhandenen Gasturbinen für die Hochdruck-CO₂-Abtrennung, ohne dass der Expansionsteil der Gasturbine angepasst werden muss oder andere Nachteile bei der Ausgangsleistung oder dem Anlagen-Wirkungsgrad in Kauf genommen werden müssen.

[0016] Alle Teile der Erfindung sind dabei für den Einsatz bei einem einfachen Gasturbinenprozess oder einem Kombiprozess vorgesehen, sofern nicht ausdrücklich etwas anderes gesagt wird. Der einfache Gasturbinenprozess ist derjenige, bei dem die Wärme der Abgase aus der Gasturbine nicht zur Erzeugung zusätzlicher Energie benutzt werden, während der Kombiprozess mit Hilfe der Abgase Dampf für eine Dampfturbine erzeugt.

[0017] Eine erste bevorzugte Ausgestaltung des Verfahrens nach der Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass der gesamte Strom des verdichteten Gases durch den CO₂-Separator geführt wird, und dass zwischen 10% und 70% des im verdichteten Gas enthaltenen Kohlendioxids aus dem verdichteten Gas entfernt werden.

[0018] Hierbei wird das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas entweder direkt zur Brennkammer geleitet, oder das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas entzieht zunächst in einem Gas/Gas-Wärmetauscher dem aus dem ersten Verdichter kommenden verdichteten Gas Wärme und wird dann zur Brennkammer geleitet, oder das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas wird in einem zweiten Verdichter der Gasturbine weiter verdichtet, und das weiter verdichtete Gas wird der Brennkammer zugeführt.

[0019] Eine zweite bevorzugte Ausgestaltung des erfindungsgemässen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass der gesamte Strom des verdichteten Gases in einen grösseren und kleineren Teilstrom unterteilt wird, und dass nur der kleinere Teilstrom durch den CO₂-Separator geführt und dort mehr als 50%, vorzugsweise zwischen 70% und 99%, des im verdichteten Gas enthaltenen Kohlendioxids aus dem verdichteten Gas entfernt werden.

[0020] Auch hierbei wird das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas entweder direkt zur Brennkammer geleitet, oder das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas entzieht zunächst in einem Gas/Gas-Wärmetauscher dem aus dem ersten Verdichter kommenden verdichteten Gas Wärme und wird dann zur Brennkammer geleitet, oder das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas wird zur Kühlung des Heissgaskanals der Turbine verwendet, oder das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas wird in einem zweiten Verdichter der Gasturbine weiter verdichtet, und das weiter verdichtete Gas wird der Brennkammer zugeführt.

[0021] Grundsätzlich ist es von Vorteil, dass das verdichtete Gas vor dem Eintritt in den CO₂-Separator in einem Wärmetauscher abgekühlt wird.

[0022] Weiterhin ist es denkbar, dass das in der Turbine entspannte Rauchgas in einem Wärmetauscher abgekühlt oder in einem Abhitzedampferzeuger zur Erzeugung von Dampf verwendet wird.

[0023] Auch ist es von Vorteil, wenn dem zum Eingang des ersten Verdichters zurückgeführten Teilstrom des Rauchgases vor der Vermischung mit dem Luft enthaltenden Gas in einem Kondensator Wasser entzogen wird.

[0024] Weiterhin ist es denkbar, dass dem aus dem CO₂-Separator kommenden verdichteten Gas, ggf. nach einer weiteren Verdichtung in einem zweiten Verdichter, Sauerstoff zugesetzt wird und dass als Luft mit Sauerstoff angereicherte Luft verwendet wird.

[0025] Vorteile hinsichtlich des Wirkungsgrades ergeben sich, wenn das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas in einem Gas/Gas-Wärmetauscher vor dem Eintritt in die Brennkammer durch das aus der Turbine austretende heisse Rauchgas vorgewärmt wird.

[0026] Auch kann es vorteilhaft sein, wenn mittels des aus der Turbine austretenden heissen Rauchgases Dampf erzeugt und der erzeugte Dampf teilweise in die Brennkammer eingespritzt und teilweise im CO₂-Separator verwendet wird, und wenn das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas in einem Nachverdichter nachverdichtet wird, und das nachverdichtete Gas in einem Gas/Gas-Wärmetauscher mit dem aus dem ersten Verdichter kommenden verdichteten Gas Wärme austauscht.

[0027] Weiterhin kann es von Vorteil sein, wenn das aus dem CO₂-Separator kommende verdichtete Gas vor dem Eintritt in die Brennkammer in einer Befeuchtungsvorrichtung befeuchtet wird, und das befeuchtete Gas vor dem Eintritt in die Brennkammer in einem Gas/Gas-Wärmetauscher dem aus dem ersten Verdichter austretenden verdichteten Gas Wärme entzieht.

[0028] Eine erste bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemässen Energieerzeugungsanlage ist dadurch gekennzeichnet, dass vom Ausgang des ersten Verdichters eine einzige Verbindungsleitung zum ersten Eingang der Brennkammer führt, dass der CO₂-Separator in diese Verbindungsleitung eingefügt ist, und dass der CO₂-Separator derart ausgelegt ist, dass er nicht mehr als 70% des Kohlendioxids des durch ihn strömenden Gases abtrennt.

[0029] Eine zweite bevorzugte Ausgestaltung der erfindungsgemässen Energieerzeugungsanlage ist dadurch gekennzeichnet, dass vom Ausgang des ersten Verdichters zwei Verbindungsleitungen parallel zum ersten Eingang der Brennkammer führen, und dass der CO₂-Separator in eine dieser Verbindungsleitungen eingefügt ist.

[0030] Weitere Ausgestaltungen der Energieerzeugungsanlage ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen 23 bis 27.

KURZE ERLÄUTERUNG DER FIGUREN

[0031] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit der Zeichnung näher erläutert werden. Es zeigen

[0032] **Fig. 1** ein vereinfachtes Schema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einstufiger Verdichtung und CO₂-Abtrennung aus dem Vollstrom des verdichteten Gases;

[0033] **Fig. 2** ein vereinfachtes Schema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit zweistufiger Verdichtung mit Zwischenkühlung und CO₂-Abtrennung aus dem Vollstrom des verdichteten Gases;

[0034] **Fig. 3** ein vereinfachtes Schema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einstufiger Verdichtung und CO₂-Abtrennung aus einem Teilstrom des verdichteten Gases;

[0035] **Fig. 4** ein vereinfachtes Schema einer Energieerzeugungsanlage gemäss einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit zweistufiger Verdichtung mit Zwischenkühlung und CO₂-Abtrennung aus einem Teilstrom des verdichteten Gases;

[0036] **Fig. 5** eine Energieerzeugungsanlage gemäss einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einstufiger Verdichtung und CO₂-Abtrennung aus dem Vollstrom des verdichteten Gases und Rekuperation mittels eines Gas/Gas-Wärmetauschers;

[0037] **Fig. 6** eine Energieerzeugungsanlage gemäss einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit CO₂-Abtrennung aus dem Vollstrom des verdichteten Gases sowie Dampfeinspritzung und Nachverdichtung; und

[0038] **Fig. 7** eine Energieerzeugungsanlage gemäss einem siebten Ausführungsbeispiel der Erfindung mit einstufiger Verdichtung und CO₂-Abtrennung aus dem Vollstrom des verdichteten Gases und Befeuchtung des verdichteten Gases nach der CO₂-Abtrennung.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0039] In der eingangs genannten Druckschrift WO-A1-02/103176 ist wie in der vorliegenden **Fig. 1** eine Energieerzeugungsanlage **30** mit einer Gasturbine **29** beschrieben, bei der Luft oder mit Sauerstoff angereicherte Luft **1** mit zurückgeführtem Rauchgas **15** vermischt und dann in den Verdichter **2** geleitet wird. Das verdichtete Gas **3a, 3b** strömt dann zu einem Wärmetauscher **4**, wo es auf ein für die CO₂-Absorption geeignetes Temperaturniveau (typischerweise 30-60°C) abgekühlt wird. Das relativ kühle verdichtete Gas **5** tritt dann in einen CO₂-Separator **6** ein, wo (und das ist wichtig) 80-90% des CO₂ abgetrennt werden. Das verdichtete Gas **7a, 7b** am Ausgang des CO₂-Separators **6** wird dann zur Brennkammer **23** geleitet und dort mit einem gasförmigen oder flüssigen Brennstoff **8**, üblicherweise Erdgas, verbrannt. Das heisse Rauchgas **9** wird dann in einer Turbine (bzw. einem Expansionsteil) **10** entspannt, die ihrerseits den Verdichter **2** antreibt und mittels eines Generators **18** elektrische Energie erzeugt. Nach der Entspannung in der Turbine **10** tritt das Rauchgas in einen Abhitzedampferzeuger (heat recovery steam generator HRSG) **12** ein oder wird einfach in einem Wärmetau-

scher abgekühlt. Die bevorzugte Vorgehensweise ist die Benutzung eines Abhitzedampferzeugers, der mit einer Dampfturbine verbunden ist (Kombiprozess). Hierdurch werden die Ausgangsleistung und der Wirkungsgrad der Anlage erhöht. Ein grosser Teil des kalten Rauchgases **13** wird schliesslich zurückgeführt und in einem Kondensator **14** noch weiter abgekühlt, so dass der meiste Teil des enthaltenen Wassers auskondensiert und als kondensiertes Wasser **16** entnommen werden kann. Das zurückgeführte Rauchgas **15** wird dann mit der angesaugten Luft bzw. angereicherten Luft **1** vermischt. Der Rest des kalten Rauchgases wird als emittiertes Gas **17** an einen Schornstein oder dgl. abgegeben.

[0040] Die genannte Druckschrift schliesst auch einen Kreisprozess ein, in dem die CO₂-Abtrennung zwischen zwei Verdichterstufen stattfindet (siehe **Fig. 2**; Verdichter **2a**, **2b**). Dieser Kreisprozess macht von der sogenannten Zwischenkühlung („intercooling“) Gebrauch, um den Leistungsverbrauch für den Verdichter zu verringern. Das Grundprinzip der Zwischenkühlung besteht darin, zunächst das Gas teilweise zu verdichten (Verdichter **2a**) und es anschliessend abzukühlen (Wärmetauscher **4** als Zwischenkühler), bevor die endgültige Verdichtung auf den gewünschten Druck vorgenommen wird (Verdichter **2b**). Hierdurch wird die Kompressionsarbeit verringert und so die Ausgangsleistung des Kreisprozesses erhöht. Die CO₂-Abtrennung erfolgt nach der Zwischenkühlung und vor der endgültigen Verdichtung. Dies hat zwei Vorteile gegenüber dem herkömmlichen Prozess ohne Zwischenkühlung: Der Strom **3** des verdichteten Gases vom Verdichter muss ohnehin vor der CO₂-Abtrennung (auf ca. 30-60°C) abgekühlt werden, und dies kann bei der Zwischenkühlung geschehen. Anders ausgedrückt erfüllt der Zwischenkühler zwei Aufgaben zu gleicher Zeit; er reduziert die Leistungsanforderungen an den Verdichter und kühlt gleichzeitig das Gas auf ein für die CO₂-Abtrennung wünschenswertes Temperaturniveau.

[0041] Ein Problem besteht bei der oben beschriebenen Art von Prozessabläufen: Da die CO₂-Abtrennrates ziemlich hoch ist, ist die CO₂-Konzentration im CO₂-Separator **6** relativ niedrig und führt daher zu einer grossen und viel Energie verbrauchenden Apparatur.

[0042] Die Erfindung schlägt demgegenüber vor, dass eine CO₂-Abtrennung mit niedrigem Wirkungsgrad auf das verdichtete Arbeitsmedium angewendet wird, um höhere CO₂-Konzentrationen im CO₂-Separator zu ermöglichen.

[0043] Ein erstes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in **Fig. 1** dargestellt und ähnelt vom Schema her der Lösung aus der Druckschrift WO-A1-02/103176 mit dem entscheidenden Unterschied, dass ein geringerer Anteil an Kohlendioxid (etwa 10-70%) aus dem verdichteten Arbeitsmedium entfernt wird. Diese Abtrennungsstrategie gibt eine wesentlich höhere CO₂-Konzentration während des Abtrennprozesses, insbesondere bei Einspeisung von mit Sauerstoff angereicherter Luft, und reduziert so die Abtrennanforderungen an den Prozess. Diese Faktoren reduzieren im Vergleich zum herkömmlichen Hochdruck-Abtrenn-Konzept die Grösse der notwendigen Ausrüstung und die benötigten Energieströme und damit die Kosten. Zusätzlich ist in **Fig. 1** ein Gas/Gas-Wärmetauscher **21** vorgesehen, in welchen das verdichtete Gas **3a** Wärme an das aus dem CO₂-Separator **6** kommende verdichtete Gas **7a** abgibt. Das abgetrennte CO₂ **19** kann in einer an sich bekannten Weise deponiert oder anderweitig behandelt werden.

[0044] In gleicher Weise ist ein zweites Ausführungsbeispiel der Erfindung (**Fig. 2**) vom Schema her ähnlich zum zweiten Prozess der WO-A1-02/103176. Auch hier besteht der wesentliche Unterschied wiederum darin, dass das Kohlendioxid mit einer deutlich geringeren Effektivität aus dem verdichteten Arbeitsmedium entfernt wird. Darüber hinaus kann die im Zwischenkühler entzogene Wärme in der CO₂-Abtrennsäule dazu benutzt werden, das Lösungsmittel zu regenerieren, wenn die CO₂-Abtrennung beispielsweise auf dem „amine scrubbing“ basiert. Dies bedeutet, dass weniger, oder im besten Falle kein, Dampf aus dem Dampfkreislauf für den CO₂-Abtrennprozess benötigt wird. Wie beim ersten Ausführungsbeispiel reduzieren diese Faktoren die Grösse der Ausrüstung und der benötigten Energieströme, und damit die Kosten, im Vergleich zu herkömmlichen Hochdruck-Abtrenn-Konzepten.

[0045] Das dritte Ausführungsbeispiel der Erfindung bezieht sich auf eine verfeinerte Konfiguration zur Ausführung der beim ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Kohlendioxid-Abtrennung. In diesem Beispiel wird eine niedrige Abtrennrates dadurch erreicht, dass nur ein Teilstrom (10-90%) des Arbeitsmediums dem Abtrennprozess unterzogen wird (siehe **Fig. 3**), und dass in diesem Teilstrom ein weit überwiegender Teil (70-99%) des vorhandenen Kohlendioxids entfernt wird. Der Gasstrom nach dem Verdichter **2** wird aufgeteilt und ein erster Teilstrom **3a** des verdichteten Gases wird direkt zur Brennkammer **23** geführt, während ein zweiter Teilstrom **3b** des verdichteten Gases zum CO₂-Separator **6** weitergeleitet wird. Durch diese Art des Vorgehens können Grösse und Kosten der CO₂-Abtrennvorrichtung gegenüber dem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung weiter verringert werden. Das Konzept begrenzt auch die thermodynamischen Verluste durch eine

Minimierung des Temperaturabfalls zwischen dem Ausgang des Verdichters **2** und dem Eingang der Brennkammer **23**. Es muss daher weniger Brennstoff verbrannt werden, um die gewünschte Verbrennungstemperatur zu erreichen, und der Wirkungsgrad ist höher im Vergleich zur Vollstromanordnung der **Fig. 1**. Eine Abänderung des Konzeptes besteht darin, einen Teil des aus dem CO₂-Separator austretenden, CO₂-armen Gas zu verwenden, um damit den Heissgaskanal der Turbine **10** zu kühlen (gestrichelter Pfeil zur Turbine **10** in **Fig. 3**). Dies hat den thermodynamischen Vorteil, dass durch die Herabsetzung der Temperatur des abgegebenen Gases der für die Kühlung der Turbine benötigte Massenstrom reduziert wird, während gleichzeitig die Einlass-temperatur der Verbrennung durch den Abtrennprozess unbeeinflusst bleibt.

[0046] Ein viertes Ausführungsbeispiel der Erfindung benutzt die Teilstrom-Konfiguration des zuvor beschriebenen dritten Ausführungsbeispiels und wendet sie auf die Konfiguration gemäss dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung, d.h., den Gasturbinen-Kreisprozess mit Zwischenkühlung an (**Fig. 4**). Die Mischung von Luft (oder Sauerstoff-angereicherter Luft) **1** und zurückgeführtem Rauchgas **15** wird zunächst in einem ersten Verdichter **2a** verdichtet und dann heruntergekühlt (Wärmetauscher bzw. Zwischenkühler **4**). Ein Teilstrom **5b** des verdichteten Gases **5a** strömt zum CO₂-Separator **6**, wo ein weit überwiegender Teil (80-99%) des Kohlendioxids entfernt wird. Das so behandelte verdichtete Gas **7a** und das nicht behandelte verdichtete Gas **5c** werden wieder zusammengeführt und in einen zweiten Verdichter **2b** gegeben, wo sie auf den gewünschten Arbeitsdruck verdichtet werden und dann als verdichtetes Gas **7c** zur Brennkammer **23** gelangen. Wie bei der Verbesserung von Ausführungsbeispiel eins auf Ausführungsbeispiel drei werden durch diese Art der Prozessführung die Anforderungen an die Energie und die Ausrüstung für die CO₂-Abtrennung gegenüber Ausführungsbeispiel zwei reduziert. Die bei der Zwischenkühlung abgenommene Wärme kann auch hier in der CO₂-Abtrennsäule verwendet werden, um den thermodynamischen Einfluss des Abtrennprozesses auf den Kreisprozess zu minimieren.

[0047] Ein fünftes Ausführungsbeispiel der Erfindung bezieht sich auf einen Hochdruck-CO₂-Abtrennungsprozess mit Rekuperation (**Fig. 5**). Das heisse Rauchgas **11** aus dem Expansionsteil (Turbine **10** der Gasturbine **29** wird in diesem Fall zur Aufheizung des verdichteten Gases **7**, welches den CO₂-Separator **6** verlässt, in einem Gas/Gas-Wärmetauscher oder Rekuperator **21** verwendet und tritt als Rauchgas **11b** aus. Ein anderer Teilstrom **11c** des Rauchgases **11** wird in einem Wärmetauscher **12** abgekühlt, dem kalten Rauchgas **13** wird in einem Kondensator **14** Wasser entzogen und als zurückgeführtes Rauchgas **15** mit der angesaugten Luft **1** vermischt. Dadurch kann die Temperatur zur Brennkammer **23** hin wegen der im Vergleich zur Verdichterauslasstemperatur höheren Temperatur am Ausgang der Turbine **10** erhöht werden. Das bedeutet, dass weniger Brennstoff verbrannt werden muss, um die gewünschte Verbrennungstemperatur zu erreichen, und dass so der Wirkungsgrad der Anlage zunimmt. Ein weiterer Vorteil dieses Konzeptes ist, dass die Baugrösse des Gas/Gas-Wärmetauschers bzw. Rekuperators **21** verringert werden kann, weil die treibende Kraft der Temperatur in diesem Falle im Vergleich zu den vorherigen Fällen grösser ist. Der einzige wirkliche Nachteil bei dieser Verfahrenskonfiguration ist, dass sie nur auf einfache und nicht auf Kombi-Kreisprozesse angewendet werden kann. Der Grund dafür ist darin zu suchen, dass die Temperatur aus dem Rekuperator heraus viel zu niedrig für eine effektive Nutzung in einem Abhitzedampferzeuger ist. In **Fig. 5** ist durch die gestrichelten Pfeile angedeutet, dass optional Wasser **24** im Wärmetauscher **4** durch das verdichtete Gas **3** in Dampf **28** umgewandelt und der Dampf im CO₂-Separator **6** verwendet werden kann.

[0048] Ein sechstes Ausführungsbeispiel der Erfindung macht Gebrauch von der Dampfeinspritzung in die Gasturbine **29** zur Erhöhung der Ausgangsleistung des Hochdruck-CO₂-Abtrennungsprozesses (**Fig. 6**). Da ein Teil des Arbeitsmediums (CO₂ und Wasser) aus dem verdichteten Gas entfernt wird, nimmt der Massenstrom des verdichteten Gases **7c** in die Turbine **10** hinein ab; dadurch fällt der Druck am Eintritt der Turbine **10**. Dies führt zu einer Abnahme der in der Turbine **10** erzeugten Leistung. Eine Möglichkeit, dies zu umgehen, besteht darin, vor der Expansion in der Turbine **10** eine Dampfeinspritzung vorzunehmen. Um heutige Gasturbinen auf das neue Hochdruck-CO₂-Abtrennungskonzept mit Dampfeinspritzung umzurüsten, kann es notwendig sein, einen Nachverdichter **26** zwischen dem CO₂-Separator **6** und dem Gas/Gas-Wärmetauscher **21** einzufügen. Der Nachverdichter **26** verdichtet das aus dem CO₂-Separator **6** kommende verdichtete Gas **7a** nach, das nachverdichtete Gas **7b** tauscht in dem Gas/Gas-Wärmetauscher **21** mit dem aus dem Verdichter **2** kommenden verdichteten Gas **3** Wärme aus und wird dann als Strom **7c** zur Brennkammer **23** geführt. Der eingespritzte Dampf **28**, der durch das heisse Rauchgas in einem Wärmetauscher bzw. Dampferzeuger **12a** erzeugt wird, erhöht im besten Fall den Eintrittsdruck der Turbine **10** auf den Nenndruck. Dies bedeutet in Verbindung mit den Druckverlusten in den Wärmetauschern **4** und **21** und dem CO₂-Separator **6** zwischen dem Verdichter **2** und der Turbine **10**, dass der Verdichter einen höheren Druck liefern muss, als den, für den er eigentlich konzipiert ist. Die „surge margin“ des Verdichters kann dadurch gefährdet sein. Eine Möglichkeit besteht daher darin, einen Nachverdichter **26** vorzusehen, der den Druck ausreichend erhöht, um den Druckverlust in den erwähnten Anlagenteilen auszugleichen. Der Dampf für die Einspritzung kann durch die Wärmequellen des

Kreisprozesses erzeugt werden, wie z.B. das Rauchgas oder sogar das heisse verdichtete Gas am Ausgang des Verdichters. Dieses Verfahren kann auf das erste bis fünfte Ausführungsbeispiel der Erfindung angewendet werden, d.h., in Verbindung mit der Vollstrom- und Teilstrom-CO₂-Abtrennung mit Zwischenkühlung und Rekuperation.

[0049] Ein siebtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist sehr ähnlich zum oben besprochenen sechsten Ausführungsbeispiel; anstelle der Dampfeinspritzung wird jedoch in diesem Prozess das Arbeitsmedium in einer vor der Brennkammer angeordneten Befeuchtungseinrichtung (Befeuchtungsturm **22**) befeuchtet (**Fig. 7**). Der Unterschied zwischen der Dampfeinspritzung und der Befeuchtung liegt darin, dass man im letztgenannten Fall geringwertige Energie für die Befeuchtung benutzen kann und so den Wirkungsgrad der Anlage steigert. Kaltes Wasser **22a,b** wird in den Wärmetauschern **4** und **12b** durch das verdichtete Gas **3a,b** und das heisse Rauchgas **11a** erwärmt und als warmes Wasser **22c,d** im Befeuchtungsturm **22** mit dem Arbeitsmedium im Gegenstrom in einem „packed bed“ in Kontakt gebracht. Ein Teil des Wassers verdampft und das im Turm herabfließende Wasser wird gekühlt. Die Energie zum Aufwärmen des Wassers kann – wie bereits erwähnt – dem Rauchgas **11a** entnommen werden, oder dem in den CO₂-Separator **6** eintretenden verdichteten Gas **3a,b,c**, oder von einem im Kreisprozess vorhandenen Zwischenkühler (siehe **Fig. 2** und **4**). Der Vorteil der Verwendung von niedrigwertiger Energie für die Verdampfung ist noch deutlicher für Kombianlagen, wo es im Fall der Dampfeinspritzung notwendig ist, den Dampf abzuzweigen, der sonst in der Dampfturbine eingesetzt würde. Dieses Verfahren kann auf das erste bis fünfte Ausführungsbeispiel der Erfindung angewendet werden, d.h. in Kombination mit der Vollstrom- und Teilstrom-CO₂-Abtrennung mit Zwischenkühlung und Rekuperation.

[0050] Die CO₂-Abtrennungsprozesse könnten in all den beschriebenen Konzepten beispielsweise einen chemischen Absorptionsprozess umfassen, der ein Amin-basiertes Lösungsmittel oder ein Natriumcarbonat-Lösungsmittel o. ä. verwendet. In herkömmlicher Weise würde das Arbeitsmedium mit dem Lösungsmittel in einem Absorptionsturm in Kontakt gebracht werden, wo CO₂ aus dem Gas in die flüssige Phase übertragen wird und ein CO₂-armes Gas austritt. Alternativ kann eine Membran als Kontaktelement wirken. Dies hat den Vorteil, dass die beiden Ströme getrennt gehalten werden und einen Übertritt des Lösungsmittels in den Gasstrom verhindern und so die Turbomaschinen geschützt werden. Darüber hinaus können Baugröße, Gewicht und Kosten reduziert werden. Das aus dem Absorber oder der Membraneinheit austretende, mit CO₂ angereicherte Lösungsmittel wird in einer Trennsäule regeneriert und für den erneuten Gebrauch zurückgeführt. Andere Beispiele für einen CO₂-Abtrennungsprozess sind die Physikalische Absorption, Kombinationen von chemischer und physikalischer Absorption, Adsorption auf Festkörper, und Kombinationen davon.

[0051] In den **Fig. 1** bis **4** ist durch einen gestrichelten Pfeil angedeutet, dass dem Prozess nach der CO₂-Abtrennung und ggf. nach einer weiteren Verdichtung in einem zweiten Verdichter **2b** Sauerstoff **20** zugesetzt werden kann, wie dies bereits am Anfang erläutert worden ist.

Bezugszeichenliste

1	Luft (bzw. angereicherte Luft)
2,2a,2b	Verdichter
3,3a,3b,3c	verdichtetes Gas
4	Wärmetauscher
5,5a,5b,5c	verdichtetes Gas
6	CO ₂ -Separator
7,7a,7b,7c	verdichtetes Gas
8	Brennstoff
9	heisses Rauchgas
10	Expansionsteil (Turbine)
11,11a,11b,11c	Rauchgase
12,12a,b	Wärmetauscher, Abhitzedampferzeuger (HRSG)
13	kaltes Rauchgas
14	Kondensator
15	zurückgeführtes Rauchgas
16	kondensiertes Wasser
17	emittiertes Rauchgas
18	Generator
19	abgetrenntes CO ₂
20	Sauerstoff
21	Gas/Gas-Wärmetauscher

22	Befeuchtungsturm
22a,22b	kaltes Wasser
22c,22d	warmes Wasser
23	Brennkammer
24	Wasser
25	Kühlluft
26	Nachverdichter
27	CO ₂
28	Dampf
29	Gasturbine
30	Energieerzeugungsanlage

Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Energie in einer eine Gasturbine (**29**) umfassenden Energieerzeugungsanlage (**30**), bei welchem Verfahren in einem ersten Schritt ein Luft (**1**) enthaltendes Gas in einem ersten Verdichter (**2, 2a**) der Gasturbine (**29**) verdichtet wird, in einem zweiten Schritt das verdichtete Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) unter Zugabe von Brennstoff (**8**) in einer Brennkammer (**23**) einer Verbrennung zugeführt wird, in einem dritten Schritt das heisse Rauchgas (**9**) aus der Brennkammer (**23**) in einem Expansionssteil bzw. einer einen Generator (**18**) antreibenden Turbine (**10**) der Gasturbine (**29**) unter Arbeitsleistung entspannt wird, und in einem vierten Schritt ein Teilstrom des entspannten Rauchgases (**11**) zum Eingang des ersten Verdichters (**2, 2a**) zurückgeführt und dem Luft (**1**) enthaltenden Gas zugemischt wird, und bei welchem Verfahren aus dem verdichteten Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) vor dem dritten Schritt in einem CO₂-Separator (**6**) Kohlendioxid (CO₂) abgetrennt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Ermöglichung erhöhter CO₂-Konzentrationen im CO₂-Separator (**6**) nicht mehr als etwa 70% des im verdichteten Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) enthaltenen Kohlendioxids aus dem verdichteten Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) entfernt werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der gesamte Strom des verdichteten Gases (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) durch den CO₂-Separator (**6**) geführt wird, und dass zwischen 10% und 70% des im verdichteten Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) enthaltenen Kohlendioxids aus dem verdichteten Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) entfernt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der gesamte Strom des verdichteten Gases (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) in einen grösseren und kleineren Teilstrom (**3a, 5c** bzw. **3b, 5b**) unterteilt wird, und dass nur der kleinere Teilstrom (**3b, 5b**) durch den CO₂-Separator (**6**) geführt und dort mehr als 50%, vorzugsweise zwischen 70% und 99%, des im verdichteten Gas (**3b, 5b**) enthaltenen Kohlendioxids aus dem verdichteten Gas (**3b, 5b**) entfernt werden.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das verdichtete Gas (**3, 3a, 3b, 3c; 5, 5a, 5b, 5c; 7, 7a, 7b, 7c**) vor dem Eintritt in den CO₂-Separator (**6**) in einem Wärmetauscher (**4**) abgekühlt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das in der Turbine entspannte Rauchgas (**11**) in einem Wärmetauscher (**12, 12a,b**) abgekühlt oder in einem Abhitzedampferzeuger (**12**) zur Erzeugung von Dampf verwendet wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass dem zum Eingang des ersten Verdichters (**2, 2a**) zurückgeführten Teilstrom des Rauchgases vor der Vermischung mit dem Luft (**1**) enthaltenden Gas in einem Kondensator (**14**) Wasser entzogen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) direkt zur Brennkammer (**23**) geleitet wird.

8. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) zunächst in einem Gas/Gas-Wärmetauscher (**21**) dem aus dem ersten Verdichter (**2**) kommenden verdichteten Gas (**3a**) Wärme entzieht und dann zur Brennkammer (**23**) geleitet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) in einem zweiten Verdichter (**2b**) der Gasturbine (**29**) weiter verdichtet wird, und dass das

weiter verdichtete Gas (**7b**) der Brennkammer (**23**) zugeführt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) direkt zur Brennkammer (**23**) geleitet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) zunächst in einem Gas/Gas-Wärmetauscher (**21**) dem aus dem ersten Verdichter (**2**) kommenden verdichteten Gas (**3b**) Wärme entzieht und dann zur Brennkammer (**23**) geleitet wird.

12. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) zur Kühlung des Heissgaskanals der Turbine (**10**) verwendet wird.

13. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) in einem zweiten Verdichter (**2b**) der Gasturbine (**29**) weiter verdichtet wird, und dass das weiter verdichtete Gas (**7c**) der Brennkammer (**23**) zugeführt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass dem aus dem CO₂-Separator (**6**) kommenden verdichteten Gas (**7a**), ggf. nach einer weiteren Verdichtung in einem zweiten Verdichter (**2b**), Sauerstoff (**20**) zugesetzt wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Luft (**1**) mit Sauerstoff angereicherte Luft verwendet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7**) in einem Gas/Gas-Wärmetauscher (**21**) vor dem Eintritt in die Brennkammer (**23**) durch aus der Turbine (**10**) austretende heißen Rauchgas (**11**) vorgewärmt wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass mittels des aus der Turbine (**10**) austretenden heißen Rauchgases (**11**) Dampf erzeugt und der erzeugte Dampf teilweise in die Brennkammer (**23**) eingespritzt und teilweise im CO₂-Separator (**6**) verwendet wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) in einem Nachverdichter (**26**) nachverdichtet wird, und dass das nachverdichtete Gas (**7b**) in einem Gas/Gas-Wärmetauscher (**21**) mit dem aus dem ersten Verdichter (**2**) kommenden verdichteten Gas (**3**) Wärme austauscht.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass das aus dem CO₂-Separator (**6**) kommende verdichtete Gas (**7a**) vor dem Eintritt in die Brennkammer (**23**) in einer Befeuchtungsvorrichtung (**22**) befeuchtet wird, und dass das befeuchtete Gas vor dem Eintritt in die Brennkammer (**23**) in einem Gas/Gas-Wärmetauscher (**21**) dem aus dem ersten Verdichter (**2**) austretenden verdichteten Gas (**3a**) Wärme entzieht.

20. Energieerzeugungsanlage (**30**) zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, umfassend eine Gasturbine (**29**) mit einem ersten Verdichter (**2, 2a**) mit einem Ein- und Ausgang, mit einer Brennkammer (**23**), welche einen ersten Eingang für verdichtetes Gas (**7b, 7c**), einen zweiten Eingang für Brennstoff (**8**) und einen Ausgang für das heiße Rauchgas (**9**) aufweist, und mit einer Turbine (**10**) mit einem Ein- und Ausgang, wobei der Ausgang der Brennkammer (**23**) mit dem Eingang der Turbine (**10**) verbunden ist, der Ausgang der Turbine (**10**) über einen Kondensator (**14**) mit dem Eingang des ersten Verdichters (**2, 2a**) in Verbindung steht, der Ausgang des ersten Verdichters (**2, 2a**) mit dem ersten Eingang der Brennkammer (**23**) in Verbindung steht, und an den Ausgang des ersten Verdichters (**2, 2a**) ein CO₂-Separator (**6**) eingangsseitig über einen Wärmetauscher (**4**) angeschlossen ist und ausgangssseitig mit dem ersten Eingang der Brennkammer (**23**) in Verbindung steht, dadurch gekennzeichnet, dass der CO₂-Separator (**6**) derart angeschlossen und/oder ausgelegt ist, dass er nicht mehr als 70% des Kohlendioxids des aus dem ersten Verdichter (**2, 2a**) kommenden verdichteten Gases abtrennt.

21. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass vom Ausgang des ersten Verdichters (**2, 2a**) eine einzige Verbindungsleitung zum ersten Eingang der Brennkammer (**23**) führt, dass der CO₂-Separator (**6**) in diese Verbindungsleitung eingefügt ist, und dass der CO₂-Separator (**6**) derart ausgelegt ist, dass er nicht mehr als 70% des Kohlendioxids des durch ihn strömenden Gases abtrennt.

22. Energieerzeugungsanlage nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, dass vom Ausgang des ersten Verdichters (**2, 2a**) zwei Verbindungsleitungen parallel zum ersten Eingang der Brennkammer (**23**) führen, und dass der CO₂-Separator (**6**) in eine dieser Verbindungsleitungen eingefügt ist.

23. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 20 bis 22, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ausgang des ersten Verdichters (**2, 2a**) und dem CO₂-Separator (**6**) ein erster Wärmetauscher (**4**) angeordnet ist, und dass zwischen dem Ausgang der Turbine (**10**) und dem Kondensator (**14**) ein zweiter Wärmetauscher oder Abhitzedampferzeuger (**12, 12a,b**) angeordnet ist.

24. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 20 bis 23, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ausgang des CO₂-Separators (**6**) und dem ersten Eingang der Brennkammer (**23**) ein zweiter Verdichter (**2b**) angeordnet ist.

25. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 20 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ausgang des CO₂-Separators (**6**) und dem ersten Eingang der Brennkammer (**23**) ein mit dem Ausgang der Turbine (**10**) in Verbindung stehender Gas/Gas-Wärmetauscher (21) angeordnet ist.

26. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass am Ausgang der Turbine (**10**) eine Vorrichtung (**12a**) zur Dampferzeugung angeordnet ist, die mit der Brennkammer (**23**) und dem CO₂-Separator (**6**) in Verbindung steht, und dass zwischen dem Ausgang des CO₂-Separators (**6**) und dem ersten Eingang der Brennkammer (**23**) ein Nachverdichter (**26**) und ein nachfolgender Gas/Gas-Wärmetauscher (21) angeordnet sind.

27. Energieerzeugungsanlage nach einem der Ansprüche 20 bis 25, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen dem Ausgang des CO₂-Separators (**6**) und dem ersten Eingang der Brennkammer (**23**) eine Befeuchtungsvorrichtung (**22**) angeordnet ist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

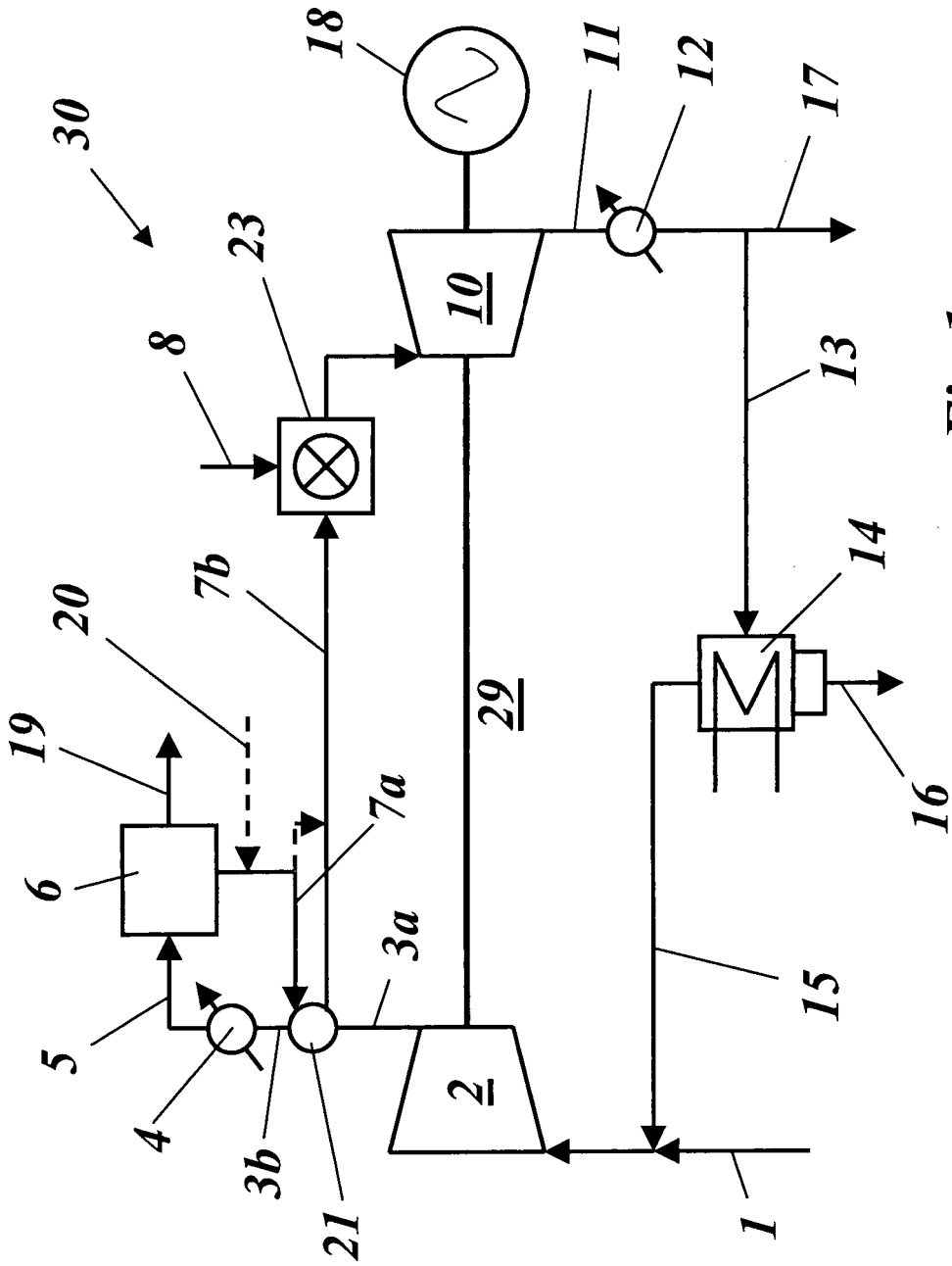


Fig.1

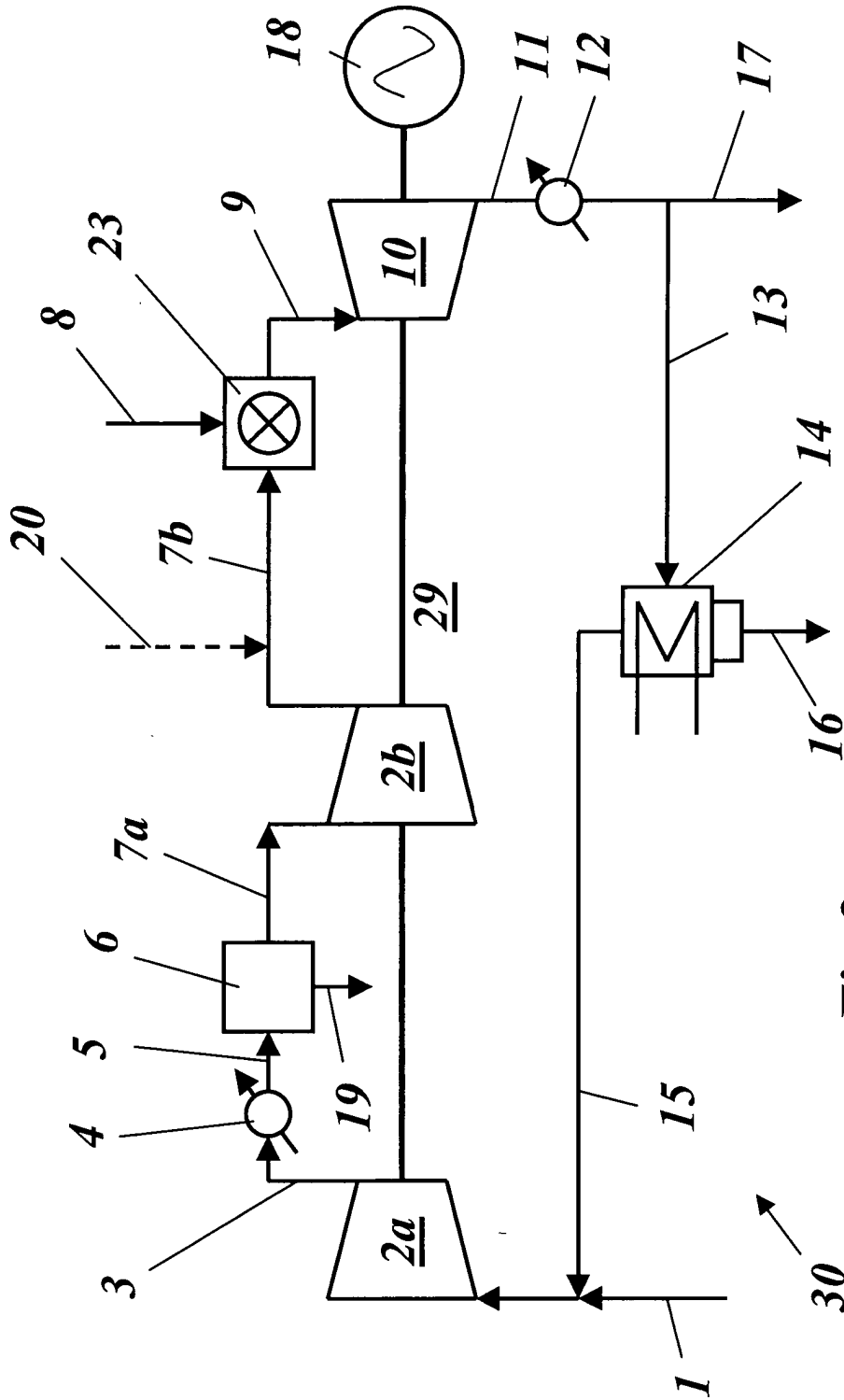


Fig. 2

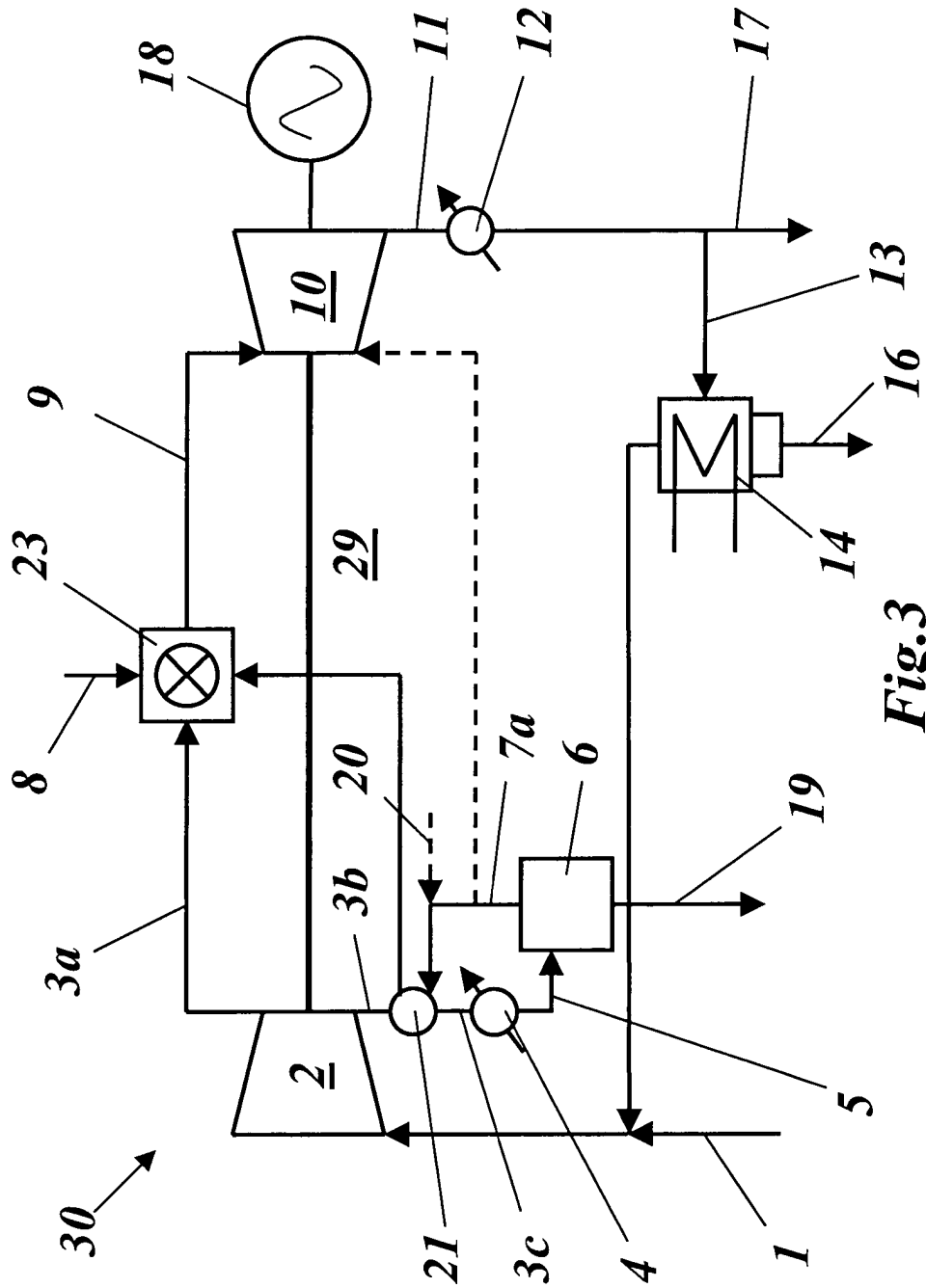


Fig.3

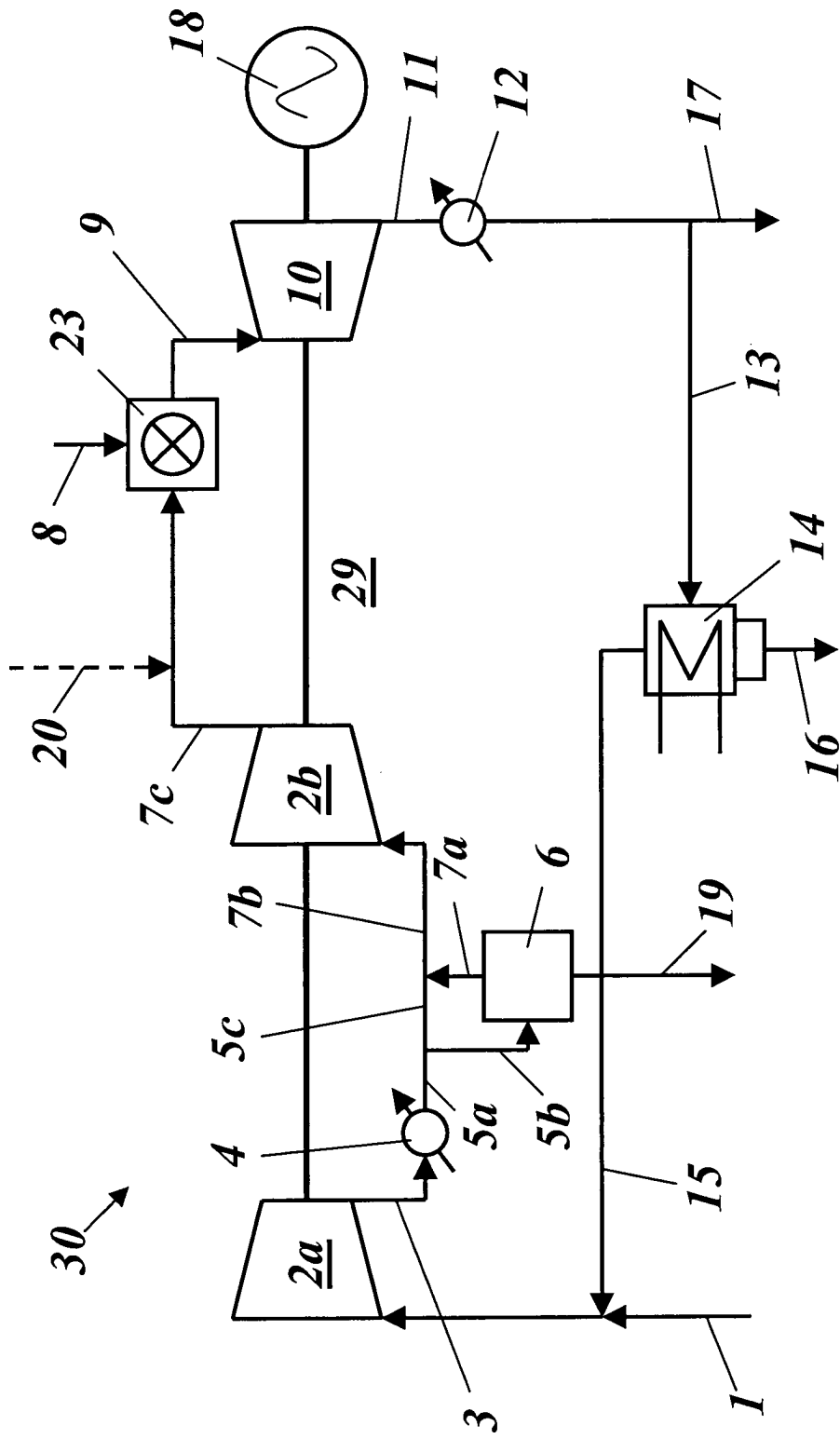


Fig.4

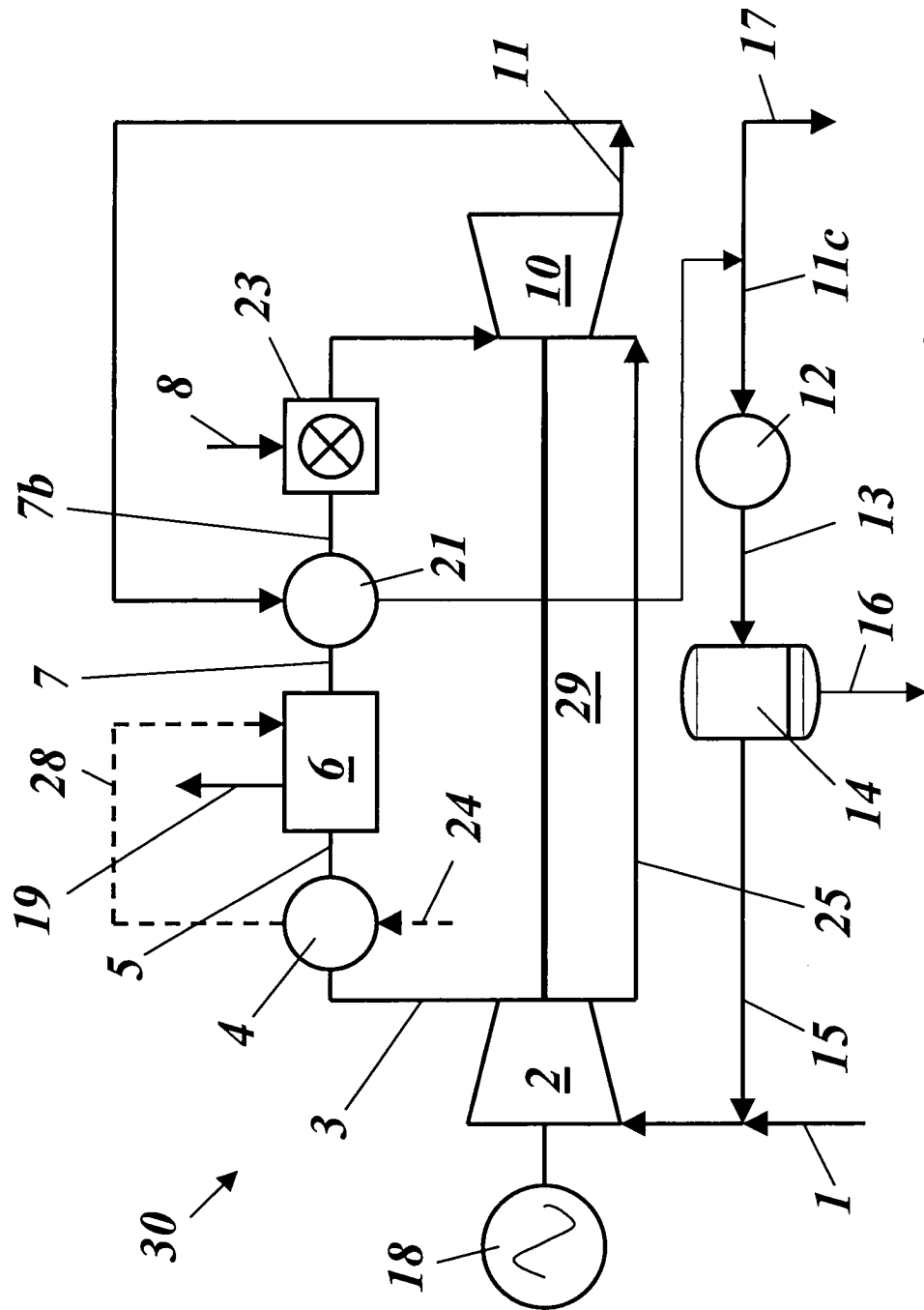


Fig.5

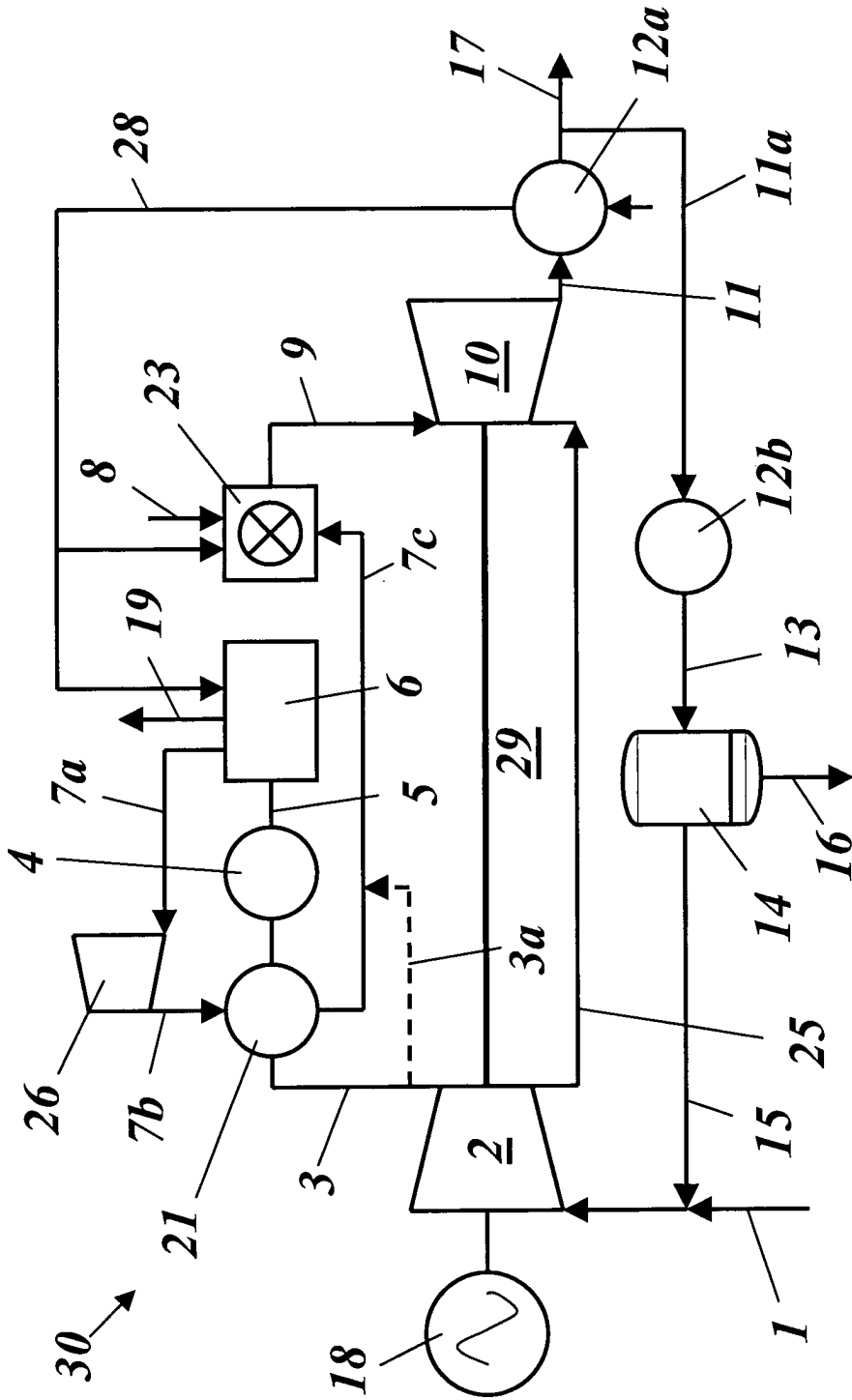


Fig. 6

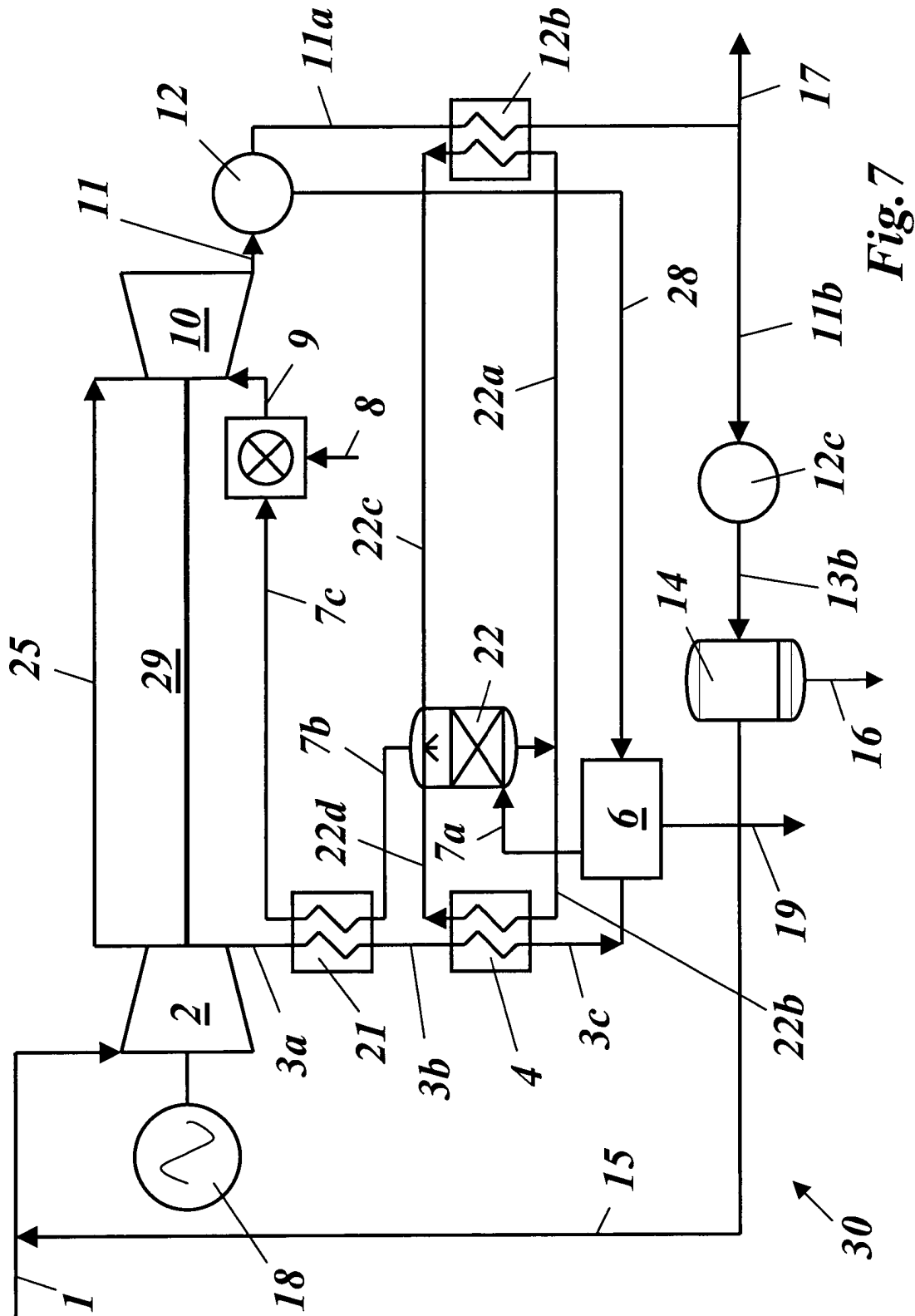


Fig. 7