



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 103 30 859 A1** 2004.02.12

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **103 30 859.8**
(22) Anmeldetag: **09.07.2003**
(43) Offenlegungstag: **12.02.2004**

(51) Int Cl.7: **F02C 6/18**

(30) Unionspriorität:
1336/02 **30.07.2002** **CH**

(71) Anmelder:
ALSTOM (Switzerland) Ltd., Baden, CH

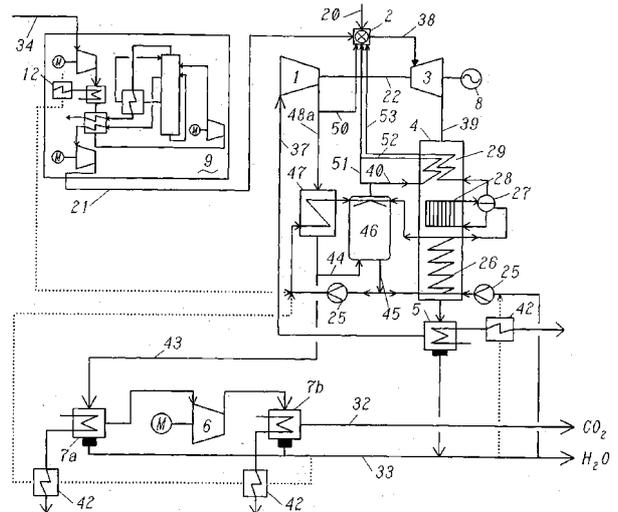
(74) Vertreter:
Rösler, U., Dipl.-Phys.Univ., Pat.-Anw., 81241 München

(72) Erfinder:
Bartlett, Michael, Farsta, SE; Griffin, Timothy, Dr., Ennetbaden, CH; Holmberg, Daniel, Baden, CH; Span, Roland, Prof. Dr., 33106 Paderborn, DE; Westermark, Mats, Prof. Dr., Taebby, SE

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betrieb von emissionsfreien Gasturbinenkraftwerken**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem halb geschlossenen CO₂-Prozess. Dabei ist wenigstens ein Kompressor (1) angeordnet, welcher Umlaufgas (48) komprimiert, das nach Passieren einer Brennkammer (2) einer Gasturbine (3) zugeführt wird, wobei ein Abhitzeessel (4) angeordnet ist, in welchem die in den entspannten Abgasen (23, 39) enthaltene Restwärme hinter der Gasturbine (3) zur Erzeugung von Dampf und/oder heißem Wasser genutzt wird. Eine vereinfachte Bauweise bei gleichzeitig gutem Wirkungsgrad wird dadurch ermöglicht, dass ein erster Teil (50) des komprimierten Umlaufgases direkt der Brennkammer (2) zugeführt wird, und ein zweiter Teil (48a) des komprimierten Umlaufgases vor der Einleitung in die Brennkammer (2) in einem Zwischenkühler (47) abgekühlt wird und anschließend vor Einleitung in die Brennkammer (2) in einem Befeuchtungsturm (46) befeuchtet wird. Wahlweise kann zusätzlich im Abhitzeessel (4) erzeugter Dampf über einen Dampfpfad (53) vor, hinter der oder in die Brennkammer (2) eingespritzt werden.



Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem halb geschlossenen CO₂-Prozess, wobei wenigstens ein Kompressor angeordnet ist, von welchem Umlaufgas komprimiert wird, dieses komprimierte Umlaufgas nach Passieren einer Brennkammer einer Gasturbine zugeführt wird, und wobei ein Abhitzekegel angeordnet ist, in welchem die in den entspannten Abgasen enthaltene Restwärme hinter der Gasturbine zur Erzeugung von Dampf und/oder heissem Wasser genutzt wird.

Stand der Technik

[0002] Im Rahmen der allgemeinen Bestrebungen, Kraftwerke zu entwickeln, welche eine möglichst geringe Umweltbelastung darstellen, gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Projekten, deren Ziel die Entwicklung emissionsfreier Gasturbinenkraftwerke mit einem halb geschlossenen CO₂/H₂O-Kreislauf ist. Der Einsatz emissionsfreier Gasturbinenkraftwerke wird heute insbesondere im Bereich der Oel- und Gasindustrie erwogen, da das separierte Kohlendioxid dort in grossem Umfang verwendet werden kann (Enhanced Oil Recovery, EOR) und zum Teil bereits empfindliche Steuern für emittiertes Kohlendioxid gezahlt werden müssen.

[0003] Dabei wird das meist als Brennstoff verwendete Erdgas mit möglichst reinem Sauerstoff verbrannt. Der reine Sauerstoff wird dazu aus einer Luftzerlegungsanlage zur Verfügung gestellt. Alternativ ist es möglich, mit so genannten Membranreaktoren zur Oxidation des Brennstoffs zu arbeiten, wie sie z. B. in der WO 98/55208 und der WO 98/55394 beschrieben sind. Unter diesen Umständen entstehen Verbrennungsgase, die praktisch nur aus Kohlendioxid und Wasser bestehen. Kondensiert man das Wasser aus dem Arbeitsmedium aus, so erhält man weitgehend reines Kohlendioxid, das durch Kompression verflüssigt und auf unterschiedliche Art und Weise verwendet oder entsorgt werden kann.

[0004] Zur Nutzung der hohen Temperaturen am Turbinenausstritt wird i.d.R. ein Dampferzeuger vorgesehen, wobei der entstehende Dampf benutzt wird, um eine Kondensationsturbine anzutreiben (bottoming steam turbine).

[0005] Alternativ kann der erzeugte Dampf in einer Gegendruckturbine vorentspannt werden (topping steam turbine), um dann vor, in, oder hinter der Brennkammer mit dem Arbeitsmedium der Gasturbine vermischt zu werden. Der eingespritzte Dampf kann dann nach Durchströmen des Abhitzekegels zusammen mit dem durch die Verbrennung entstandenen Wasser auskondensiert werden. Beide Konzepte werden im Patent EP 0 731 255 A1 detailliert beschrieben.

[0006] Die EP 0 939 199 A1 beschreibt eine Anlage, bei welcher angegeben wird, wie bei einem halb geschlossenen Gasturbinen-Zyklus eine Mischung aus Wasser und Kohlendioxid als Arbeitsmedium verwendet wird. Dabei wird unter anderem Wasser in den Verdichter, in die Brennkammer sowie in die Gasturbine eingespritzt. Die WO 99/63210 beschreibt ihrerseits einen halb geschlossenen kombinierten Zyklus, bei welchem ein stöchiometrisches Gemisch aus Wasser und Kohlendioxid als Arbeitsmedium genutzt wird.

[0007] Problematisch an derartigen Kohlendioxid-Zyklen ist unter anderem, dass die für konventionellen Gebrauch (d. h. normale Verbrennung unter Abgabe von Kohlendioxid an die Atmosphäre) ausgelegten Komponenten für die Verwendung in einem halb geschlossenen Kohlendioxid-Zyklus meist nicht optimal ausgelegt sind. Entsprechend kann es vorkommen, dass sich z. B. bei Verwendung einer bottoming steam turbine oder einer topping steam turbine erwartete erhöhte Wirkungsgrad respektive die zusätzliche Leistung nicht in dem Masse realisieren lässt wie gewünscht, und entsprechend auch mit der Beschaffung derartiger Turbinen verbundene Investitionen nicht gerechtfertigt sind. Der Wirkungsgrad wird zudem dadurch erniedrigt, dass die Wärme, welche bei der Abführung von Kohlendioxid und Wasser aus dem Umlaufstrom aus dem System entfernt wird, nicht nutzbringend eingesetzt werden kann. Überhaupt fällt im Rahmen von derartigen Anlagen vergleichsweise viel Niedrigtemperatur-Wärme an, welche nicht optimal eingesetzt wird.

Aufgabenstellung

DARSTELLUNG DER ERFINDUNG

[0008] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren respektive eine Vorrichtung zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem halb geschlossenen CO₂-Prozess zur Verfügung zu stellen, welcher einfach ist und für dessen Realisierung keine hohen Investitionskosten erforderlich sind, dessen Wirkungsgrad aber nach wie vor vertretbar ist. Dabei ist wenigstens ein Kompressor angeordnet, von welchem Umlaufgas komprimiert wird, dieses komprimierte Umlaufgas wird nach Passieren einer Brennkammer einer Gasturbine zugeführt, und stromab der Gasturbine ist ein Abhitzekegel angeordnet, in welchem die in den entspannten Abgasen enthaltene Restwärme zur Erzeugung von Dampf und/oder heissem Wasser genutzt wird.

[0009] Erfindungsgemäss wird diese Aufgabe dadurch gelöst, dass ein erster Teil des komprimierten Umlaufgases direkt der Brennkammer zugeführt wird, und ein zweiter Teil des komprimierten Umlaufgases vor der Einleitung in die Brennkammer in einem Zwischenkühler abgekühlt wird und anschliessend vor Einleitung in die Brennkammer in einem Befuchtungsturm befeuchtet wird.

[0010] Der Kern der Erfindung besteht somit darin, durch eine möglichst energetisch optimierte Sättigung des Umlaufgases mit Wasser vor dessen Einleitung in die Brennkammer den Massenstrom durch die Gasturbine möglichst zu vergrößern und dadurch die Leistung zu erhöhen. Auf diese Weise kann der Wirkungsgrad ohne grosse konstruktive Änderungen und Zusatzinvestitionen (keine weiteren Dampfturbinen erforderlich) erhöht werden. Die Einstellung eines optimalen Wirkungsgrades wird bei diesem Prozess ausserdem dadurch erhöht, dass, bevorzugt in regelbarer Weise, ein erster Teil des komprimierten Umlaufgases direkt der Brennkammer zugeführt wird, und ein zweiter Teil den genannten Mitteln zur Kühlung respektive zur Befeuchtung zugeführt wird. Die erforderlichen Komponenten (Abhitzekeessel, Zwischenkühler, Befeuchtungsturm) sind vergleichsweise kostengünstig und können insbesondere auch ohne grossen Aufwand an die bei Betrieb mit Kohlendioxid/Wasser veränderten Betriebsbedingungen angepasst werden.

[0011] Im Zusammenhang mit den verwendeten Begriffen muss darauf hingewiesen werden, dass unter einem Abhitzekeessel grundsätzlich ein Mittel verstanden werden soll, mit welchem die stromab der Gasturbine verfügbare Abwärme genutzt werden kann. Dies kann dabei zum Zweck der Gewinnung von Dampf oder Warmwasser erfolgen, wobei sowohl Dampf als auch Warmwasser entweder im Gasturbinenprozess selber Wiederverwendung finden können oder aber auch in einem separaten Verwendungszweck (zum Beispiel Prozesswärme für chemische Anlage). Unter einem Zwischenkühler ist grundsätzlich ein Mittel zu verstehen, welches dazu verwendet werden kann, die Temperatur des Umlaufgases zu reduzieren. Als Befeuchtungsturm ist ein Mittel zu verstehen, welches in der Lage ist, die Umlaufgase durch Verdunstung mit Wasser respektive Dampf zu befeuchten. Es können dabei unterschiedliche Bauweisen wie z. B. Füllkörperkolonnen verwendet werden, welche aus einem Turm bestehen, in welchem Füllkörper angeordnet sind, und in welchen im Gegenstromprinzip Wasser von oben nach unten rieselt und die Umlaufgase von unten nach oben geführt werden. Typischerweise wird das Umlaufgas im Befeuchtungsturm auf eine relative Feuchtigkeit von im Bereich von 10 bis 20 Massen% gebracht. Die Befeuchtung kann auch zwei- oder mehrstufig erfolgen, z.B. in nacheinandergeschalteten Befeuchtungstürmen.

[0012] Gemäss einer ersten bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden die beiden Teilströme (direkt zur Brennkammer respektive indirekt, d. h. über Zwischenkühler und Befeuchtungsturm) relativ zueinander in geregelter Weise gefahren. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, den zweiten, über Zwischenkühler und Befeuchtungsturm der Brennkammer zugeführten Teil des komprimierten Umlaufgases weniger als 50%, bevorzugt weniger als 40% und insbesondere bevorzugt im Bereich von 20 bis 30%

des gesamten komprimierten Umlaufgases stromab des Kompressors ausmachen zu lassen.

[0013] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeichnet sich dadurch aus, dass die im Zwischenkühler anfallende Abwärme für die Befeuchtung im Befeuchtungsturm verwendet wird. So kann die für die Befeuchtung erforderliche Enthalpie in effizienter Weise aus dem Zwischenkühler bezogen werden. Insbesondere bevorzugt wird dabei im Zwischenkühler Prozesswasser respektive Prozessdampf erwärmt, und dieses heisse Prozesswasser im Befeuchtungsturm zur Befeuchtung verwendet. Dabei kann dieses Prozesswasser respektive dieser Prozessdampf insbesondere bevorzugt bei Einleitung in den Befeuchtungsturm eine Temperatur von im Bereich von 150 bis 250 Grad Celsius aufweisen bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht, d.h. z.B. von im Bereich von 10 bis 35 bar. Als im Zwischenkühler verwendetes Prozesswasser kann aus dem Umlaufgas auskondensiertes Wasser und/oder vorgewärmtes Prozesswasser aus einer Luftzerlegungsanlage, und/oder vorgewärmtes Prozesswasser aus einer Einheit zur Entfernung von Kohlendioxid und/oder Wasser, und/oder vorgewärmtes Prozesswasser, welches wenigstens mittelbar bei einem Kondensator für die Umlaufgase anfällt, und/oder Restwasser aus dem Zwischenkühler, verwendet werden. Die Verwendung von bereits im Zyklus zur Verfügung stehendem Wasser weist den grossen Vorteil auf, dass so automatisch Wasser verwendet wird, welches den in Bezug auf einen Langzeitbetrieb erforderlichen Reinheitsgrad aufweist. Ansonsten ist es nämlich bei der Einspritzung von Wasser meist erforderlich, dieses entweder mit Zusätzen zu versehen um Ablagerungen zu verhindern, oder aber deionisiertes Wasser zu verwenden. Dies ist mit erheblichen Kosten verbunden und kann so vermieden werden.

[0014] Eine weitere Erhöhung der Flexibilität der Fahrweise kann gem. einer anderen bevorzugten Ausführungsform dadurch erreicht werden, dass zusätzlich im Abhitzekeessel erzeugter Dampf vor oder in die Brennkammer eingebracht wird, wobei bevorzugt dieser Dampf im Abhitzekeessel stufenweise zunächst in einem Economizer, dann in einem Verdampfer unter Zuhilfenahme einer Dampftrommel und dann in einem Überhitzer erzeugt wird. Die Einspritzung von Dampf erhöht auf der einen Seite den Massenstrom in der Gasturbine und reduziert auf der anderen Seite die Temperatur in der Brennkammer. Beides hat zur Folge, dass die verfügbare Leistung an der Gasturbine erhöht werden kann. Dabei erweist es sich als vorteilhaft, den zusätzlich in die Brennkammer eingespritzten Dampfstrom weniger als 20 Massen% resp. 30 Vol% der gesamten komprimierten, der Brennkammer zugeführten Gasströme ausmachen zu lassen, wobei der Dampfstrom insbesondere bevorzugt im Bereich von 10 bis 30 Massen% resp. 20 bis 40 Vol% dieser Gasströme ausmacht.

[0015] Gemäss einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der Erfindung wird zur Befeuchtung des Umlaufgases im Befeuchtungsturm Wasser und/oder Dampf verwendet, welcher im Abhitzekegel vorgewärmt wurde, wobei diese Vorwärmung bevorzugt stufenweise zunächst in einem Economizer und dann einem Verdampfer erfolgt, und wobei dieses Wasser respektive dieser Dampf insbesondere bevorzugt bei Einleitung in den Befeuchtungsturm eine Temperatur von im Bereich von 150 bis 250 Grad Celsius aufweisen bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht, d.h. z.B. von im Bereich von 10 bis 35 bar. In dieser Ausführungsform wird also die im Abhitzekegel anfallende Wärme dazu genutzt, die für die Befeuchtung erforderliche Enthalpie bereitzustellen. Insbesondere in Kombination mit Prozesswasser, welches bereits im Zwischenkühler erwärmt wurde, kann so ein sehr effizienter Prozess mit hohem Wirkungsgrad sichergestellt werden. Auch hier, wie bereits weiter oben erwähnt, erweist es sich in Bezug auf Ablagerungen als vorteilhaft, im wesentlichen ausschliesslich aus dem Umlaufgas auskondensiertes Wasser für die Befeuchtung im Befeuchtungsturm respektive für die Dampfeinspritzung in die Brennkammer zu verwenden.

[0016] Eine weitere bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass das befeuchtete Umlaufgas stromab des Befeuchtungsturms im Abhitzekegel, bevorzugt in einer Überhitzerstufe, vor Einleitung in die Brennkammer weiter erhitzt wird, wobei das Umlaufgas nach der Überhitzung insbesondere bevorzugt eine Temperatur von im Bereich von 500 bis 650 Grad Celsius aufweisen bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht, d.h. z.B. von im Bereich von 10 bis 35 bar. Dieses "Reheating" in einer Überhitzerstufe kann dazu verwendet werden, den Wirkungsgrad weiter zu verbessern. Dabei kann wiederum die Flexibilität der Anlage dadurch erhöht werden, dass der Umlaufgas-Strom, welcher stromab des Befeuchtungsturms zur Verfügung steht, in regelbarer Weise in zwei Teilströme aufgeteilt wird, wobei der eine direkt der Brennkammer zugeführt wird, und der andere über die genannte Überhitzerstufe im Abhitzekegel weiter erhitzt und erst dann der Brennkammer zugeführt wird. Insbesondere in Kombination mit der regelbaren direkten Zuführung von Umlaufgas unmittelbar hinter dem Kompressor in die Brennkammer und mit der ebenfalls einstellbaren zusätzlichen Einspritzung von Dampf aus dem Abhitzekegel in die Brennkammer lässt sich so der Prozess optimal einstellen, dies insbesondere in Bezug auf den Wirkungsgrad auch bei Komponenten, welche für konventionellen Betrieb ausgelegt sind.

[0017] Gemäss einer anderen Ausführungsform der Erfindung wird stromab des Zwischenkühlers und vor dem Befeuchtungsturm ein Teilstrom der komprimierten Umlaufgase abgezweigt und einer Einheit zugeführt, in welcher Kohlendioxid und/oder Wasser aus

dem Umlaufgas entfernt werden. Dadurch, dass diese Abzweigung hinter dem Zwischenkühler erfolgt, kann die durch die Abzweigung in die Einheit zur Separation von Kohlendioxid und Wasser verlorene Wärme stark reduziert werden. Dabei macht bevorzugt dieser Teilstrom weniger als 20 Massen%, insbesondere bevorzugt weniger als 15 Massen% des gesamten Umlaufstroms aus.

[0018] Eine andere bevorzugte Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass zur Reduktion der Kompressionsarbeit ausserdem das Umlaufgas in einem Intercooler oder durch Wassereinspritzung abgekühlt wird, wobei insbesondere bevorzugt bei Verwendung eines Intercoolers die dabei anfallende Abwärme wenigstens mittelbar zur Befeuchtung im Befeuchtungsturm eingesetzt wird.

[0019] Grundsätzlich kommen für die Bereitstellung von reinem Sauerstoff unterschiedliche Verfahren in Frage. Normalerweise wird der in der Brennkammer verwendete Sauerstoff in einer separaten Luftzerlegungsanlage bereitgestellt. Das kann sich bei der Luftzerlegungsanlage um eine kryogene, eine absorptive oder eine Membranbasierte Luftzerlegungsanlage handeln. Alternativ kann aber auch der in der Brennkammer verwendete Sauerstoff in einem integrierten Membranmodul zur Verfügung gestellt werden.

[0020] Weitere bevorzugte Ausführungsformen des erfindungsgemässen Verfahrens sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

[0021] Ausserdem betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens, wie es oben beschrieben wurde. Dabei umfasst die Vorrichtung einen halbgeschlossenen CO₂-Prozess, wobei wenigstens ein Kompressor angeordnet ist, von welchem Umlaufgas komprimiert wird, dieses komprimierte Umlaufgas nach Passieren einer Brennkammer einer Gasturbine zugeführt wird, und wobei ein Abhitzekegel angeordnet ist, in welchem die in den entspannten Abgasen enthaltene Restwärme hinter der Gasturbine zur Erzeugung von Dampf und/oder heissem Wasser genutzt wird. Insbesondere sind Mittel angeordnet, über welche ein erster Teil des komprimierten Umlaufgases direkt der Brennkammer zugeführt werden, und ein Zwischenkühler angeordnet, in welchem ein zweiter Teil des komprimierten Umlaufgases vor der Einleitung in die Brennkammer abgekühlt wird und ausserdem ein Befeuchtungsturm angeordnet ist, in welchem das abgekühlte komprimierte Umlaufgas vor Einleitung in die Brennkammer befeuchtet wird.

[0022] Weitere bevorzugte Ausführungsformen der erfindungsgemässen Vorrichtung sind in den abhängigen Ansprüchen beschrieben.

Ausführungsbeispiel

KURZE ERLÄUTERUNG DER ERFINDUNG

[0023] Die Erfindung soll nachfolgend anhand von

Ausführungsbeispielen im Zusammenhang mit den Figuren näher erläutert werden. Es zeigen:

[0024] **Fig. 1** ein Schema eines emissionsfreien Gasturbinenkraftwerkes mit bottoming steam turbine nach dem bekannten Stand der Technik;

[0025] **Fig. 2** ein Schema eines emissionsfreien Gasturbinenkraftwerkes mit topping steam turbine nach dem bekannten Stand der Technik;

[0026] **Fig. 3** ein Schema eines emissionsfreien Gasturbinenkraftwerkes mit Zwischenkühlung und Befeuchtung und

[0027] **Fig. 4** ein Schema eines weiteren emissionsfreien Gasturbinenkraftwerkes mit Zwischenkühlung und Befeuchtung eines Teilstromes der komprimierten Luft und Dampfeinspritzung.

WEGE ZUR AUSFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0028] **Fig. 1** zeigt als bekannter Stand der Technik eine schematische Darstellung einer halb geschlossenen Gasturbinenanlage mit Abhitzekegel **4** und Dampfturbine **10**. Die Anlage verfügt über einen Verdichter **1**, der das Arbeitsmedium (Umlaufgas) komprimiert. Das komprimierte Umlaufgas **48** wird anschliessend in eine Brennkammer **2** geführt, dort wird Brennstoff verbrannt und die heissen Umlaufgase anschliessend in einer Turbine **3** entspannt und die erzeugte mechanische Energie mit einem Generator **8** zur Erzeugung von elektrischer Energie verwendet. Der Brennstoff wird über eine Brennstoffleitung **20** zugeführt. Als Oxidationsmittel findet im wesentlichen reiner Sauerstoff Anwendung, welcher in einer Luftzerlegungsanlage **9** verfügbar gemacht und über eine Leitung **21** zugeführt wird. Bei der Luftzerlegungsanlage **9** kann es sich um eine Anlage nach dem Stand der Technik handeln. So kommen z. B. Verfahren wie kryogene Separation, pressure swing absorption (PSA) in Frage, es ist aber auch möglich an Stelle einer separaten Luftzerlegungsanlage **9** einen integrierten Membranreaktor zu verwenden. Die Luftzerlegungsanlage **9** wird über eine Leitung **34** mit Frischluft versorgt und verfügt in der Regel unter anderem wenigstens über einen Kühler **12**, bei welchem Abwärme erzeugt wird, welche üblicherweise von geringem Wert (niedrige Temperatur) ist.

[0029] Die heissen Abgase der Gasturbine **3** werden über eine Leitung **23** einem Abhitzekegel **4** zugeführt, wo die in den Abgasen enthaltene Restwärme genutzt wird. Im Gegenlaufprinzip wird in diesem Abhitzekegel **4** Wasser zunächst in einem Economizer **26** erwärmt, anschliessend in einem Verdampfer **28** unter Zuhilfenahme einer Dampftrommel **27** verdampft und zuletzt in einem Überhitzer **29** weiter erhitzt. Der Wasserkreislauf wird dabei von einer Pumpe **25** angetrieben und in einem Speisewasserbehälter **24** wird das Prozesswasser bereitgehalten respektive ggf. entgast. Das im Abhitzekegel **4** erhitzte, dampfförmige Wasser wird anschliessend einer Kondensationsdampfturbine **10** zugeführt, und in dieser entspannt. Dabei wird ein Generator **11** angetrie-

ben. Hinter der Dampfturbine **10** wird der Dampf einem Kondensator **30** zugeführt, und das kondensierte Prozesswasser über eine Pumpe **31** wiederum in den Speisewasserbehälter **24** gefördert.

[0030] Der im Abhitzekegel **4** abgekühlte Umlaufgas-Strom wird hinter dem Abhitzekegel **4** einem Kühler oder Kondensator **5** zugeführt. Beim Umlaufgas handelt es sich im wesentlichen um ein Gemisch von Kohlendioxid und Wasser, das heisst es besteht aus einem Gemisch der Reaktionsprodukte der Verbrennung von z. B. Erdgas mit Sauerstoff. Entsprechend kondensiert im Kondensator **5** Wasser aus, und dieses wird über eine Abführleitung **33** abgeführt. Das Umlaufgas wird hinter dem Kondensator **5** wiederum dem Verdichter **1** zugeführt.

[0031] Ein Teil **49** des komprimierten Umlaufgases **48** wird hinter dem Verdichter **1** über eine Leitung einer Einheit zugeführt, in welcher sowohl Wasser als auch Kohlendioxid aus dem System entfernt wird. Diese Einheit verfügt über einen ersten Kühler **7a**, bei welchem im wesentlichen Wasser auskondensiert wird. Dieses Wasser wird über die Leitung **33** aus dem System entfernt. Hinter dem ersten Kühler **7a** wird dieser Anteil des Umlaufgases in einem Kompressor **6** weiter verdichtet und in einem zweiten Kühler **7b** wird anschliessend nochmals Wasser auskondensiert sowie aber auch Kohlendioxid, welches über eine Leitung **32** aus dem System entfernt wird. Das Kohlendioxid kann anschliessend fachgerecht entsorgt werden.

[0032] Bei der in **Fig. 1** dargestellten Anlage handelt es sich um einen halb geschlossenen, emissionsfreien, kombinierten Kreislauf mit Gasturbine, Abhitzekegel und Dampfturbine. Die Dampfturbine wird dabei üblicherweise als bottoming steam turbine bezeichnet. Die in den heissen Abgasen der Gasturbine enthaltene Abwärme wird im Abhitzekegel zur Erzeugung von Dampf für die Dampfturbine genutzt.

[0033] Nachteilig ist bei einem derartigen Aufbau unter anderem auch die Tatsache, dass vergleichsweise viel Abwärme durch die Abzweigung eines Teilstroms **49** zur Separation verloren geht. Der gesamte Wirkungsgrad der Anlage wird durch diese Prozessführung reduziert.

[0034] **Fig. 2** zeigt eine entsprechende halb geschlossene, emissionsfreie Anlage, bei welcher die in den heissen Abgasen **23** der Gasturbine enthaltene Abwärme nicht in einem separaten Dampfkreislauf wie in **Fig. 1** genutzt wird, sondern vielmehr zur Erzeugung von Dampf verwendet wird, welcher zunächst über eine Gegendruckdampfturbine **35** (so genannte topping steam turbine) entspannt wird. Dabei wird bei der Entspannung des Dampfes in der Turbine **50** an einem Generator **11** elektrische Energie erzeugt. Stromab der Dampfturbine **50** wird der Dampf anschliessend entweder vor oder in der Brennkammer **2** dem komprimierten Umlaufgas **48** zugeführt. Durch die Zuführung von Dampf in das Umlaufgas erhöht sich der Massenstrom und damit die Leistung, welche von der Gasturbine respektive

dem Generator **8** erzeugt werden kann. Auch im Zusammenhang mit einem Aufbau gemäss **Fig. 2** (bekannter Stand der Technik) stellt sich aber das oben genannte Problem, dass auch hier durch den abgezweigten Teilstrom **49** relativ viel Wärme ungenutzt aus dem System entfernt wird, wodurch sich der Wirkungsgrad erniedrigt.

[0035] Die genannten Probleme lassen sich durch ein für konventionelle offene Gasturbinenanlagen auch unter dem Namen Humid Air Turbine bekanntes Vorgehen vermeiden. Ein Ausführungsbeispiel eines derartigen Verfahrens ist in **Fig. 3** dargestellt.

[0036] Der Gasstrom **37** (Umlaufgas) besteht im wesentlichen aus Kohlendioxid (CO₂) und Wasser (H₂O) und kleinen Anteilen weiterer Komponenten. Im Verdichter **1** wird das Umlaufgas bis auf den Arbeitsdruck der Gasturbine **3** komprimiert. Der heisse Gasstrom **48** wird anschliessend in einem Zwischenkühler **47** gekühlt, indem Wärme an durch dem Zwischenkühler **47** geführtes Wasser übertragen wird.

[0037] Stromab des Zwischenkühlers **47** wird das komprimierte Umlaufgas aufgeteilt, wobei ein Grossteil über die Leitung **44** einem Befeuchtungsturm **46** zugeführt wird (üblicherweise mehr als 80%), und ein kleinerer Anteil über die Leitung **43** einer Einheit zur Separation zugeführt wird. In dieser Einheit wird das Gas zunächst durch einen Kondensator **7a** geleitet, in welchem im wesentlichen das gesamte Wasser aus dem Gas auskondensiert wird. Das Wasser wird anschliessend über die Leitung **33** entweder aus dem System entfernt oder einer weiteren Verwendung innerhalb des Systems verfügbar gemacht. Hinter dem ersten Kondensator **7a** wird das Gas, welches im wesentlichen nur noch aus Kohlendioxid besteht, in einem Kompressor **6** weiter komprimiert und in einem zweiten Kondensator **7b** weiter komprimiert. Dabei wird nochmals etwas Wasser auskondensiert und über die Leitung **33** abgeführt, und das resultierende Kohlendioxid wird über die Leitung **32** entweder entsorgt oder anders verwendet. Die in den beiden Kondensatoren **7** aus dem Gas entfernte Abwärme kann dabei über Wärmetauscher **42** einem Prozesswasserstrom zugeführt werden. Dieses warme Wasser, welches üblicherweise bei einer Temperatur von 60 bis 100 Grad Celsius vorliegt, kann in weiteren Prozessen innerhalb des Systems verwendet werden (vgl. weiter unten).

[0038] Im Befeuchtungsturm **46** wird der Hauptteil des Umlaufgases mit Wasser respektive Dampf so stark wie möglich befeuchtet. Üblicherweise ist der Gasstrom **40** hinter dem Befeuchtungsturm mit Wasser gesättigt. Dabei wird darauf geachtet, dass die für die Verdampfung des Wassers erforderliche Enthalpie im wesentlichen durch das Wasser zur Verfügung gestellt wird, d. h. dass das Wasser zur Befeuchtung mit einer möglichst hohen Temperatur zugeführt wird. Das zur Befeuchtung verwendete Wasser stammt auf der einen Seite aus dem Zwischenkühler **47**. Das im Zwischenkühler **47** zur Kühlung des Umlaufgases verwendete Prozesswasser weist eine erhöhte Tem-

peratur auf und kann im Befeuchtungsturm infolgedessen direkt verwendet werden unter optimaler Ausnützung der Wärme. Alternativ oder zusätzlich wird dem Befeuchtungsturm **46** Wasser zugeführt, welches aus dem Abhitzekeessel **4** stammt. Auf diese Weise kann Wärme, welche im Zwischenkühler **47** und im Abhitzekeessel **4** anfällt, optimal für den Verdampfungsprozess eingesetzt werden und die Befeuchtung des Umlaufgases führt zu einer Erhöhung des Massenstroms in der Gasturbine mit der damit verbundenen Erhöhung der Leistung.

[0039] Überschüssiges Wasser aus dem Befeuchtungsturm **46** wird über die Leitung **45** abgeführt und entweder dem Eingang des Abhitzekeessels **4** zugeleitet oder dem Eingang des Zwischenkühlers **47**. Bevorzugt wird als Prozesswasser für den Wärmetausch im Zwischenkühler Wasser verwendet, welches bereits wenigstens leicht erwärmt ist. In Frage kommt dazu unter anderem Wasser aus dem Luftzerlegungsprozess **9** (z. B. Wasser mit vergleichsweise niedrigwertiger Wärme aus einem Kühler **12**), Wasser aus der Einheit zur Separation, d. h. Wasser aus den Wärmetauschern **42**, oder aber auch aus einem Wärmetauscher **42**, welcher einem Kondensator **5** für das Umlaufgas nachgeschaltet ist.

[0040] Stromab des Befeuchtungsturms **46** wird das gesättigte Umlaufgas **40** in einer Überhitzerstufe **29** (Rekuperatorstufe) im Abhitzekeessel **4** weiter erhitzt. Dabei werden üblicherweise Temperaturen von im Bereich von 500 bis 650 Grad Celsius aufweisen bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht, d.h. z.B. von im Bereich von 10 bis 35 bar. Dieses erhitzte und befeuchtete Umlaufgas wird anschliessend der Brennkammer **2** zugeführt. Die Befeuchtung des Umlaufgases führt durch das zugefügte Wasser zu einer Erhöhung des Massenstroms durch die Gasturbine und damit auch zu einer Erhöhung der erzielbaren Leistung bei gleicher Temperatur in der Brennkammer respektive bei gleicher Turbineneintrittstemperatur.

[0041] Ebenfalls der Brennkammer **2** zugeführt wird Sauerstoff **21** aus einer Luftzerlegungsanlage **9** sowie Brennstoff über eine Leitung **20**. Beim Brennstoff handelt es sich vorzugsweise um Erdgas, es kann sich aber auch um flüssige Brennstoffe handeln. Die Verbrennung wird durch eine Regelung von Brennstoff und Sauerstoff so eingestellt, dass im wesentlichen der gesamte zugeführte Sauerstoff verwendet wird und stromab der Gasturbine **3** im wesentlichen kein Sauerstoff mehr im Umlaufgas vorhanden ist. Die Zuflüsse **20**, **21**, **40** zur Brennkammer **2** werden so geregelt, dass der erforderliche Leistungsausschuss der Gasturbine eingestellt wird und dass die Temperatur der heissen Verbrennungsgase in der Brennkammer **2** und der entspannten heissen Verbrennungsgase **39** hinter der Gasturbine **3** nicht so hoch werden, dass thermisch besonders belastete Teile über die Massen erhitzt werden. Selbstverständlich können derartige besonders thermisch belastete Teile durch eine zusätzliche Kühlung (z. B.

Filmkühlung oder Dampfkühlung) gekühlt werden. Diese zusätzlichen Möglichkeiten der Kühlung sind in **Fig. 3** aber nicht dargestellt. Grundsätzlich kommen für eine derartige Kühlung aber Gasflüsse respektive Dampfströme mit niedriger Temperatur in Frage, wie sie z. B. hinter dem Zwischenkühler **47** oder an anderen Stellen anfallen.

[0042] Die heissen Verbrennungsgase **38** werden hinter der Brennkammer **2** einer Turbine **3** zugeführt, und darin entspannt. Die erzeugte mechanische Energie wird in einem Generator **8** in elektrische Energie umgewandelt. Hinter der Gasturbine **3** werden die entspannten heissen Verbrennungsgase **39** in einem Abhitzekegel **4** im Gegenstromprinzip zur Erwärmung von Wasser respektive Dampf, wie dies weiter oben bereits beschrieben ist, genutzt. Das abgekühlte Umlaufgas wird hinter dem Abhitzekegel **4** in einem Kondensator **5** gekühlt, wobei gleichzeitig der Hauptteil des Wassers auskondensiert und über die Leitung **33** abgeführt wird. Das über die Leitung **33** abgeführte Wasser wird, wenn immer möglich, als Prozesswasser im Zyklus wiederverwendet. Der Vorteil dabei besteht darin, dass das aus dem Umlaufgas auskondensierte Wasser im wesentlichen frei von Verunreinigungen und Mineralien ist, welche bei einer Einbringung in das Umlaufgas gegebenenfalls zu Ablagerungen oder Verschmutzungen führen könnten. Während nämlich üblicherweise bei einer Wassereinspritzung darauf geachtet werden muss, das eingebrachte Wasser entweder mit Zusätzen zu versehen oder zu reinigen respektive zu deionisieren, wird hier relativ sauberes Wasser direkt durch den Prozess selber zur Verfügung gestellt, was die Reinigung wesentlich vereinfacht. Hinter dem Kondensator **5** wird das Umlaufgas wiederum über die Leitung **37** dem Eingang des Kompressors **1** zugeleitet.

[0043] Im Vergleich zu Fahrweise nach dem Stand der Technik weist der vorgeschlagene Prozess den grossen Vorteil auf, dass der Umlaufgas-Strom vor der Abzweigung **43** für die Separation in einem Zwischenkühler **47** heruntergekühlt wird, und dass die dabei anfallende Abwärme dem Prozess im Befeuchtungsturm **46** wieder zugeführt wird. So kann der durch die Abzweigung **43** resultierende Energieverlust um mindestens 2/3 reduziert werden im Vergleich zur konventionellen Fahrweise, wie sie z. B. in den **Fig. 1** und **2** dargestellt ist. Ausserdem kann die Temperatur der Umlaufgase am Austritt des Abhitzekegels weiter reduziert werden als bei Verwendung eines konventionellen Dampferzeugers.

[0044] Grundsätzlich erlaubt das Verfahren eine im Vergleich zur Verwendung von einer bottoming oder einer topping steam turbine wesentlich billigere Lösung bei vergleichbarem Wirkungsgrad (ein Abhitzekegel und ein Befeuchtungsturm sind vergleichsweise billige Komponenten und ausserdem wenig empfindlich). Ausserdem weist das vorgeschlagene Verfahren den Vorteil auf, im Vergleich zur Verwendung von weiteren Dampfturbinen leichter einstellbar zu sein, d. h. der optimale Wirkungsgrad lässt sich auch

unter den veränderten Bedingungen eines halb geschlossenen Kohlendioxid/Wasser-Kreislaufs noch gut einstellen.

[0045] Alternativ kann zu einer weiteren Erhöhung des Wirkungsgrads gegebenenfalls stromab des Überhitzers in der Leitung **40** eine Dampfturbine angeordnet werden (vgl. topping steam turbine).

[0046] Eine weiter erhöhte Flexibilität eines derartigen Prozess kann dadurch erreicht werden, dass neue Pfade für das komprimierte Umlaufgas zur Verfügung gestellt werden, und dass insbesondere die unterschiedlichen Pfade in regelbarer Weise ausgestaltet sind. Dies ist für ein weiteres Ausführungsbeispiel in **Fig. 4** dargestellt. Im wesentlichen handelt es sich um einen Aufbau gemäss **Fig. 3**, hier wird nun aber der heisse komprimierte Umlaufgasstrom stromab des Kompressors **1** in zwei Teilströme aufgeteilt. Ein erster Teilstrom **50** wird direkt und ohne weitere Abkühlung oder Befeuchtung der Brennkammer **2** zugeführt. Der zweite Teilstrom **48a** wird im wesentlichen in einer dem Verfahren gemäss **Fig. 3** entsprechender Weise zunächst einem Zwischenkühler **47** zugeführt und anschliessend einem Befeuchtungsturm **46**. Wiederum wird zwischen Zwischenkühler **47** und Befeuchtungsturm **46** ein Teil **43** des Umlaufgases abgezweigt um diesen Anteil durch eine Kondensation des darin enthaltenen Wassers und Kohlendioxids letzten Endes über die Leitungen **33** respektive **32** aus dem System zu entfernen. Hinter dem Befeuchtungsturm **46** wird das komprimierte und befeuchtete Umlaufgas wiederum als Option in zwei Teilströme aufgeteilt. Entweder wird der gesättigte Gasstrom **40** einer Überhitzerstufe **29** im Abhitzekegel **4** zugeführt und anschliessend in die Brennkammer **2** geleitet. Oder aber es wird keine weitere Überhitzung vorgenommen und der gesättigte Gasstrom wird direkt über den Pfad **51** der Brennkammer **2** zugeführt. Während üblicherweise der Pfad **40** (respektive **52**) mit Überhitzung einen besseren Wirkungsgrad des Prozesses erlaubt, zeigt es sich, dass die direkte Einleitung **51** in die Brennkammer **2** eine höhere maximale Leistung ermöglicht. Entsprechend kann die Balance der beiden Pfade **40** respektive **51** nach diesen Kriterien eingestellt werden.

[0047] Ein weiterer Unterschied zum Prozess gemäss **Fig. 3** besteht darin, dass die Verdampferstufe **28** in Kombination mit der nachfolgenden Überhitzerstufe **29** in dieser Prozessführung nun zudem dazu verwendet wird, einen zusätzlichen Dampf Pfad **53** zu eröffnen, welcher die Brennkammer **2** mit Dampf zu beaufschlagen erlaubt. Der Dampf kann dabei entweder in die Brennkammer eingebracht werden, oder aber auch stromauf oder stromab der Brennkammer. Diese Zuführung von Dampf **53** zur Brennkammer erlaubt es wiederum den Massenstrom durch die Gasturbine **3** zu erhöhen.

[0048] Auch hier ist es möglich, um die Effizienz zusätzlich zu erhöhen, in der Leitung **53** Dampf zu erzeugen, dessen Druck wesentlich oberhalb des Betriebsdrucks der Gasturbine **3** liegt. Entsprechend

kann dann in der Leitung **53** eine Gegendruckturbine (topping steam turbine, in **Fig. 4** nicht dargestellt) eingebaut werden, über welcher der Dampf entspannt und mit welcher ein zusätzlicher Generator angetrieben werden kann. Selbstverständlich kann der in der Leitung **53** respektive im Bereich des Dampferzeugers **27** zur Verfügung gestellte Dampf wenigstens teilweise auch in anderen Prozessen Verwendung finden (so genannte Co-Generation).

[0049] Wesentlich im Zusammenhang mit dem Verfahren gemäss **Fig. 4** ist nun u.a., dass die unterschiedlichen Pfade **48a**, **50**, **41**, **52**, **53** zur Brennkammer **2** alle in regelbarer Weise zur Verfügung stehen. Entsprechend ist es möglich, ohne konstruktive Änderungen an den einzelnen Komponenten wie zum Beispiel Abhitzekeessel **4**, Befeuchtungsturm **46** oder Zwischenkühler **47** (mit anderen Worten es können problemlos Standardkomponenten aus dem Bereich der konventionellen Gasturbinenanlagen verwendet werden), einen halb geschlossenen, emissionsfreien Prozess bei hohem Wirkungsgrad zu fahren. Grundsätzlich werden diese unterschiedlichen Pfade so eingestellt, dass der gewünschte Leistungslevel am Generator **8** erreicht wird, und dass die Temperaturen in der Brennkammer **2**, in der Gasturbine **3** sowie im Pfad **39** kritische Werte nicht überschreiten.

[0050] Folgende konkrete Werte können als Beispiel für die Wasser- und Dampfströme, bezogen auf einen konstanten Kompressor-Massenstrom, angegeben werden:

Dampfstrom im Überhitzer **29**: 15–25%

Massenstrom (**40+51–44**) im Befeuchter **46**: 0–7,5%

Massenstrom **50**: 65–85%

Massenstrom **44**: 0–25%

Massenstrom **43**: 10–15%

[0051] Dieser Prozess liefert

– 5–10% mehr Leistung als ein Prozess nach dem Schema gemäss **Fig. 2** bei ca. 1% besserem Wirkungsgrad,

– 35–70% mehr Leistung als ein Prozess nach dem Schema gemäss **Fig. 1** bei ca. 2,5–3,5 schlechterem Wirkungsgrad und

– 20–55% mehr Leistung als ein Prozess nach dem Schema gemäss **Fig. 3** bei ca. 1,5–2,5% schlechterem Wirkungsgrad.

[0052] Selbstverständlich ist die Erfindung nicht auf die beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Als Option ist es möglich, den Kühler **47** wegzulassen, und damit die Umlaufgase dem Befeuchtungsturm ungekühlt zuzuführen.

Bezugszeichenliste

1	Verdichter
2	Brennkammer
3	Turbine
4	Abhitzekeessel
5	Kühler, Kondensator
6	Kompressor

7a,b	Kühler
8	Generator
9	Luftzerlegungsanlage
10	Kondensationsdampfturbine
11	Generator
12	Kühler
20	Brennstoffzufuhr
21	Sauerstoffzufuhr
22	Welle
23	Leitung zum Abhitzekeessel
24	Speisewasserbehälter
25	Pumpe
26	Economizer
27	Dampftrommel
28	Verdampfer
29	Überhitzer (Rekuperator)
30	Kondensator
31	Wassererhitzer
32	Abführleitung für Kohlendioxid
33	Abführleitung für Wasser
34	Frischlufzufuhr
35	Gegendrucktampfturbine
36	Dampfeinspritzung vor Brennkammer
37	Rückführung zum Kompressor
38	heisse Verbrennungsgase
39	entspannte heisse Verbrennungsgase
40	gesättigter Gasstrom
41	Wasser
42	Wärmetauscher
43	komprimierte Gase (abgeführter Anteil)
44	komprimierte Gase (zu befeuchtender Anteil)
45	Restwasser
46	Befeuchtungsturm
47	Zwischenkühler
48	komprimiertes Umlaufgas
48a	komprimiertes Umlaufgas, indirekter Teilstrom
49	abgezwigter Teilstrom des Umlaufgases für Separation
50	direkter Teilstrom
51	gesättigter Gasstrom ohne Überhitzung
52	gesättigter Gasstrom mit Überhitzung
53	zusätzlicher Dampfpfad (Einspritzung vor, in oder hinter Brennkammer)

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb einer Kraftwerksanlage mit einem halb geschlossenen CO₂-Prozess, wobei wenigstens ein Kompressor (**1**) angeordnet ist, von welchem Umlaufgas komprimiert wird, dieses komprimierte Umlaufgas (**48**) nach Passieren einer Brennkammer (**2**) einer Gasturbine (**3**) zugeführt wird, und wobei ein Abhitzekeessel (**4**) angeordnet ist, in welchem die in den entspannten Abgasen (**23,39**) enthaltene Restwärme hinter der Gasturbine (**3**) zur Erzeugung von Dampf und/oder heissem Wasser ge-

nutzt wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein erster Teil (50) des komprimierten Umlaufgases direkt der Brennkammer (2) zugeführt wird, und ein zweiter Teil (48a) des komprimierten Umlaufgases vor der Einleitung in die Brennkammer (2) in einem Zwischenkühler (47) abgekühlt wird und anschliessend vor Einleitung in die Brennkammer (2) in einem Befeuchtungsturm (46) befeuchtet wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Teil (48a) des komprimierten Umlaufgases weniger als 50%, bevorzugt weniger als 40%, und insbesondere bevorzugt im Bereich von 20 bis 30% des gesamten komprimierten Umlaufgases stromab des Kompressors (1) ausmacht.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die im Zwischenkühler (47) anfallende Abwärme für die Befeuchtung im Befeuchtungsturm (46) verwendet wird, wobei bevorzugt im Zwischenkühler (47) Prozesswasser erwärmt wird, und dieses heisse Prozesswasser im Befeuchtungsturm (46) zur Befeuchtung verwendet wird, wobei dieses Prozesswasser respektive dieser Prozessdampf insbesondere bevorzugt bei Einleitung in den Befeuchtungsturm (46) eine Temperatur von im Bereich von 150 bis 250 Grad Celsius aufweist bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Prozesswasser im Zwischenkühler (47) aus dem Umlaufgas auskondensiertes Wasser (33) und/oder vorgewärmtes Prozesswasser aus einer Luftzerlegungsanlage (9), und/oder vorgewärmtes Prozesswasser aus einer Einheit (6, 7, 42) zur Entfernung von Kohlendioxid (32) und/oder Wasser (33), und/oder vorgewärmtes Prozesswasser, welches wenigstens mittelbar bei einem Kondensator (5) für die Umlaufgase anfällt, und/oder Restwasser (45) aus dem Zwischenkühler (47), verwendet wird.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Befeuchtung des Umlaufgases im Befeuchtungsturm (46) Wasser und/oder Dampf verwendet wird, welcher im Abhitzeessel (4) vorgewärmt wurde, wobei diese Vorwärmung in einem Economizer (26) erfolgt, und wobei dieses Wasser respektive dieser Dampf insbesondere bevorzugt bei Einleitung in den Befeuchtungsturm (46) eine Temperatur von im Bereich von 150 bis 250 Grad Celsius aufweist bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zusätzlich im Abhitzeessel (4) Dampf erzeugt wird, welcher über einen Dampfpfad (53) vor, hinter der oder in die

Brennkammer (2) eingebracht wird, wobei bevorzugt dieser Dampf im Abhitzeessel (4) stufenweise zunächst in einem Economizer (26), dann in einem Verdampfer (28) unter Zuhilfenahme einer Dampftrommel (27) und dann in einem Überhitzer (29) erzeugt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass der Dampfstrom (53) weniger als 20 Massen% resp. 30 Vol% der gesamten komprimierten, der Brennkammer (2) zugeführten Gasströme (50–53) ausmacht.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im wesentlichen ausschliesslich aus dem Umlaufgas auskondensiertes Wasser (33) für die Befeuchtung im Befeuchtungsturm (46) respektive für die Dampfeinspritzung (53) in die Brennkammer (2) verwendet wird.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das befeuchtete Umlaufgas (40) stromab des Befeuchtungsturms (46) im Abhitzeessel (4), bevorzugt in einer Überhitzerstufe (29) vor Einleitung in die Brennkammer (2) weiter erhitzt wird, wobei das Umlaufgas nach der Überhitzung insbesondere bevorzugt eine Temperatur von im Bereich von 500 bis 650 Grad Celsius aufweist bei einem Druck, welcher im wesentlichen dem Eintrittsdruck der Gasturbine entspricht.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass stromab des Zwischenkühlers (47) und vor dem Befeuchtungsturm (46) ein Teilstrom (43) der komprimierten Umlaufgase abgezweigt und einer Einheit (6, 7, 42) zugeführt wird, in welcher Einheit Kohlendioxid (32) und/oder Wasser (33) aus dem Umlaufgas entfernt werden, wobei bevorzugt dieser Teilstrom (43) weniger als 20 Massen%, insbesondere bevorzugt weniger als 15 Massen% des gesamten Umlaufstroms ausmacht.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Reduktion der Kompressionsarbeit ausserdem das Umlaufgas in einem Intercooler oder durch Wassereinspritzung abgekühlt wird, wobei insbesondere bevorzugt bei Verwendung eines Intercoolers die dabei anfallende Abwärme wenigstens mittelbar zur Befeuchtung im Befeuchtungsturm (46) eingesetzt wird.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der in der Brennkammer (2) verwendete Sauerstoff (21) in einer separaten Luftzerlegungsanlage (9) bereitgestellt wird, wobei es sich bei der Luftzerlegungsanlage (9) um eine kryogene, eine absorptive oder eine Memb-

ranbasierte Luftzerlegungsanlage (9) handeln kann, oder dass der in der Brennkammer (2) verwendete Sauerstoff (21) in einem integrierten Membranmodul zur Verfügung gestellt wird.

13. Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung einen halb geschlossenen CO₂-Prozess umfasst, wobei wenigstens ein Kompressor (1) angeordnet ist, von welchem Umlaufgas komprimiert wird, dieses komprimierte Umlaufgas (48) nach Passieren einer Brennkammer (2) einer Gasturbine (3) zugeführt wird, und wobei ein Abhitze-kessel (4) angeordnet ist, in welchem die in den entspannten Abgasen (23, 39) enthaltene Restwärme hinter der Gasturbine (3) zur Erzeugung von Dampf und/oder heissem Wasser genutzt wird, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel angeordnet sind, über welche ein erster Teil (50) des komprimierten Umlaufgases direkt der Brennkammer (2) zugeführt werden, und dass ein Zwischenkühler (47) angeordnet ist, in welchem ein zweiter Teil (48a) des komprimierten Umlaufgases vor der Einleitung in die Brennkammer (2) abgekühlt wird und ausserdem ein Befeuchtungsturm (46) angeordnet ist, in welchem das abgekühlte komprimierte Umlaufgas (44) vor Einleitung in die Brennkammer (2) befeuchtet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

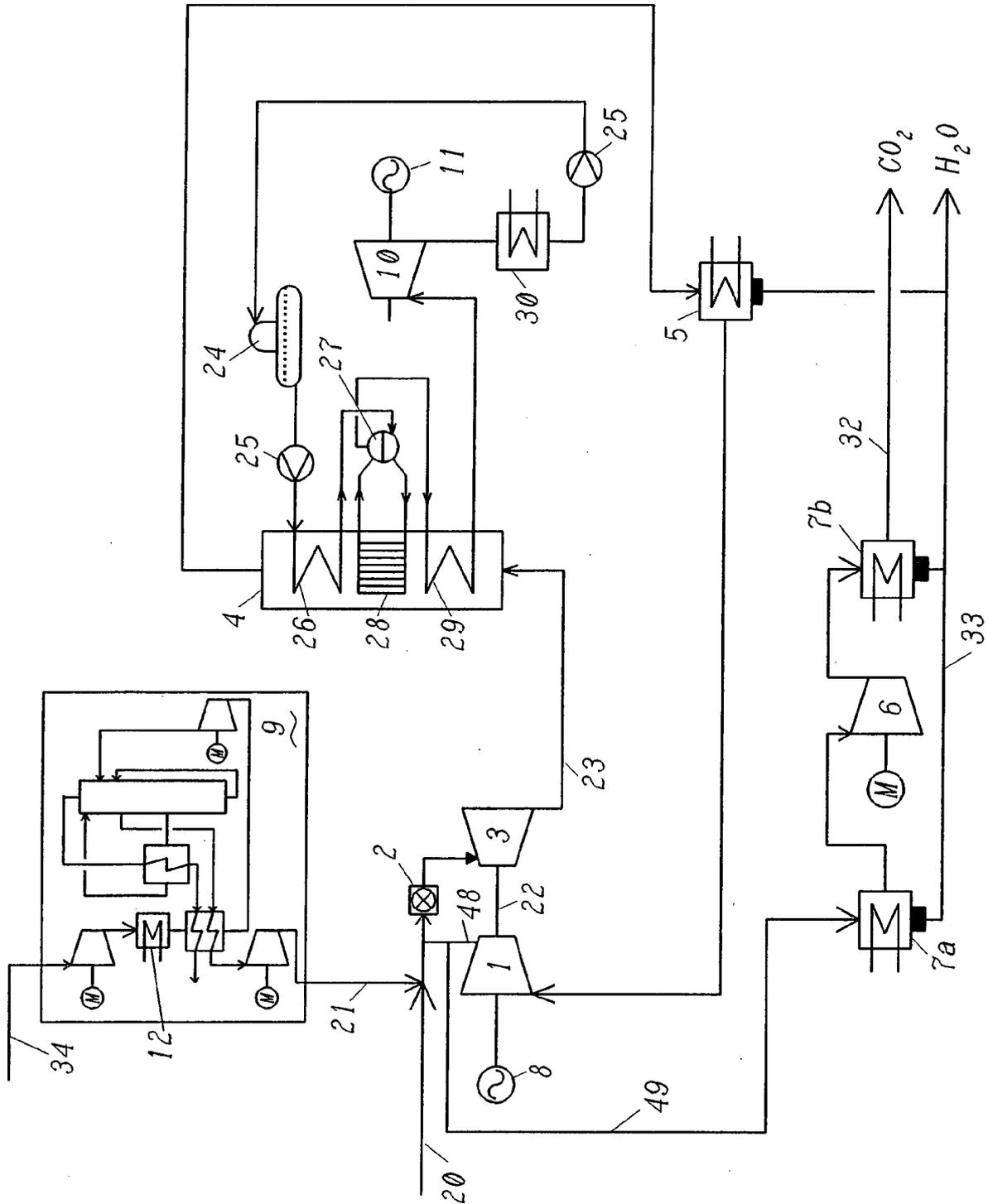


Fig. 1

