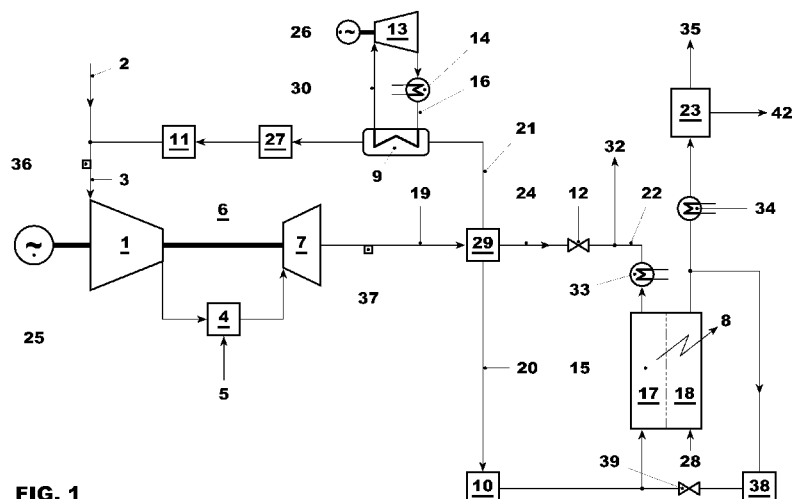


(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/139724 A1

— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(54) Bezeichnung : GASTURBINE MIT SCHMELZKARBONATBRENNSTOFFZELLE



[Fortsetzung auf der nächsten Seite]



Die Erfindung betrifft Gasturbinenkraftwerke mit Brennstoffzelle, gekennzeichnet durch eine neue Prozessführung, die eine CO_2 Abscheidung optimiert in den Kraftwerksprozess einbindet sowie ein Verfahren zum Betrieb eines derartigen Kraftwerkes. Der Kern der Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines Gasturbinen- Kraftwerks mit Abgasrezirkulation in den Ansaugstrom der Gasturbine (6) und einer Brennstoffzelle (15) wobei CO_2 aus den nicht rezirkulierten Abgasen in der Brennstoffzelle abgeschieden wird. Der Rezirkulationsmassenstrom (21) wird zur Optimierung der Gesamtleistung und des Gesamtwirkungsgrads des Kraftwerkes so geregelt, dass unter der Randbedingung eines stabilen, effizienten Gasturbinenbetriebs die Abgaszusammensetzung der Gasturbine einen optimalen Betrieb der nachgeschalteten mindestens einen Brennstoffzelle ermöglicht. Weiter ist ein Kraftwerk zur Durchführung des Verfahrens Gegenstand der Erfindung.

Gasturbine mit Schmelzkarbonatbrennstoffzelle

5

Technisches Gebiet

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb einer Gasturbine mit einer
10 Schmelzkarbonatbrennstoffzelle sowie ein Kraftwerk mit Gasturbine und
Schmelzkarbonatbrennstoffzelle.

15

Stand der Technik

Aufgrund der allgemein anerkannten Gefahr einer Klimaveränderung, besteht ein
weltweites Interesse den Ausstoss von Treibhausgasen, insbesondere an CO₂
(Kohlendioxyd) zu reduzieren. Als realistischer Schritt den CO₂ Ausstoss in die
20 Atmosphäre innerhalb relativ kurzer Zeit zu reduzieren wird die sogenannte CCS
(carbon capture and storage) oder CO₂-Sequestrierung, dass heisst die
Abtrennung des CO₂ aus dem Wärmekraftprozess eines Kraftwerkes und von der
Atmosphäre getrennte Lagerung des abgetrennten CO₂, angesehen. Die CO₂
Abtrennung erfolgt entweder aus den Abgasen nach der Verbrennung eines
25 kohlenstoffhaltigen Brennstoffes oder durch eine chemische Reaktion, bei der der
Kohlenstoff aus dem Brennstoff vor der Verbrennung abgeschieden wird. Die
Regeneration von Absorbern, Adsorbern oder anderen Mitteln zur CO₂
Abscheidung ist Bestandteil des CCS Prozesses.

30 Die Abscheidung von CO₂ nach der Verbrennung, auch Backend Capture oder
Post Combustion Capture genannt, ist eine der vielversprechendsten CCS
Technologien und auch für Gasturbinen- und Kombi-Kraftwerke anwendbar.

35

Die herkömmlichen CCS Technologien benötigen eine relative hohe Leistung. Um den negativen Einfluss von CCS auf Leistung und Wirkungsgrad zu minimieren wurde in der US7396603 die Kombination von herkömmlichen Kraftwerken mit Schmelzkarbonatbrennstoffzellen, vorgeschlagen.

5

Die Anwendung von Schmelzkarbonatbrennstoffzellen zur Reduktion der CO₂ Emissionen von Gasturbinenkraftwerken wurde weiter von J. Milewski et al. in „THE REDUCTION OF CO₂ EMISSIONS OF GAS TURBINE POWER PLANTS BY USING OF A MOLTEN CARBONATE FUEL CELL“ (ASME Turbo Expo 2007: Power Land, Sea Air, 2007, Montreal, Canada, GT2007-27030) beschrieben.

10

Die Anwendung von Schmelzkarbonatbrennstoffzellen zur Reduktion der CO₂ Emissionen von Gasturbinenkraftwerken ist jedoch nicht unproblematisch, da der CO₂- Gehalt in den Gasturbinenabgasen, wie auch von J. Milewski et al.

15

beschrieben wurde, für einen effektiven Betrieb von

Schmelzkarbonatbrennstoffzellen niedrig ist. Aufgrund des grossen zu behandelnden Abgasmassenstromes einer Gasturbine sind ausserdem grosse Anordnungen von Brennstoffzellen nötig, die mit hohen Kosten verbunden sind.

Weiter ändern sich die Abgastemperatur und Abgaszusammensetzung einer

20

Gasturbine abhängig von den Betriebsbedingungen stark. Insbesondere die Kompressoreintrittstemperatur und die Last der Gasturbine führen zu Änderungen der Abgastemperatur und Abgaszusammensetzung, so dass ein optimaler Betrieb der Brennstoffzelle nicht gewährleistet werden kann.

25

Darstellung der Erfindung

Der vorliegenden Erfindung ist die Aufgabe gestellt, ein kostengünstiges Verfahren zu einem auf Gesamtwirkungsgrad optimierten Betrieb eines

30

Gasturbinen- Brennstoffzellenkraftwerks mit CO₂ Abscheidung, sowie ein Kraftwerk zur Durchführung dieses Verfahrens vorzuschlagen.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der

35

abhängigen Ansprüche.

Als Gasturbinen- Brennstoffzellenkraftwerk wird dabei ein auf einer Gasturbine basierendes Kraftwerk bezeichnet, aus dessen Abgasen oder mindestens aus einem Teilmassenstrom der Abgase mit Hilfe mindestens einer Schmelzkarbonatbrennstoffzelle (im weiteren als Brennstoffzelle bezeichnet) CO₂ abgeschieden wird. Typischerweise wird die nutzbare Wärme oder Abwärme der Abgase in mindestens einem Abwärmekessel weiter genutzt. Der in dem mindestens einen Abwärmekessel erzeugte Dampf wird zur Erzeugung elektrischer Energie in einer Dampfturbine unter Arbeitsabgabe entspannt oder als Prozesswärme in einer Kraft- Wärmekopplung weiter genutzt.

Das wesentliche Element der CO₂- Abscheidung ist die Brennstoffzelle. Sie wird auf der Katodenseite mit Abgasen der Gasturbine versorgt und auf der Anodenseite mit Brennstoff versorgt. Bei einer Brennstoffzelle mit interner Reformierung können fossile Brenngase wie Methan oder Erdgas direkt genutzt werden. Bei anderen Brennstoffzellen wird Wasserstoff als Brenngas verwandt oder es ist eine externe Reformierung vor der Brennstoffzelle vorzusehen.

In der Brennstoffzelle reagiert der reformierte Wasserstoff der Anodenseite mit den Abgasen der Kathodenseite. Dabei wird elektrische Energie erzeugt und der grösste Teil des CO₂ auf die Anodenseite transportiert und über den Austritt der Katodenseite abgeleitet. Weiter entsteht als Reaktionsprodukt Wasser, dass ebenfalls auf der Anodenseite dampfförmig abgegeben wird. Das Wasser kann durch Kondensation leicht abgeschieden werden. Je nach weiterer Verwendung kann der CO₂ reiche Abgasstrom der Anode nach Auskondensation des Wassers direkt weiter geleitet werden oder einer weiteren Aufbereitung zugeführt werden. Aus der Katodenseite tritt Abgas mit reduziertem CO₂- und Sauerstoffgehalt aus, das über einen Kamin an die Umwelt abgegeben werden kann.

Der Kern der Erfindung ist ein Verfahren zum Betrieb eines Gasturbinen- Kraftwerks mit Abgasrezirkulation in den Ansaugstrom der Gasturbine und mindestens einer Brennstoffzelle, wobei CO₂ aus den nicht rezirkulierten Abgasen in der mindestens einen Brennstoffzelle abgeschieden wird, sowie ein Kraftwerk

zur Durchführung des Verfahrens. Das Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass der Rezirkulationsmassenstrom zur Optimierung der Gesamtleistung und des Gesamtwirkungsgrads des Kraftwerkes geregelt wird. Dafür wird der Rezirkulationsmassenstrom so geregelt, dass unter der Randbedingung eines stabilen Gasturbinenbetriebs die Abgaszusammensetzung der Gasturbine einen optimalen Betrieb der nachgeschalteten mindestens einen Brennstoffzelle ermöglicht. Für einen optimalen Betrieb der Brennstoffzelle wird der CO₂- Gehalt der Abgase durch Rezirkulation erhöht, soweit dies die damit verbundene Absenkung des Sauerstoffgehaltes zulässt.

10

Als stabiler Gasturbinenbetrieb wird dabei ein Betrieb verstanden, in dem die Verbrennung vollständig und ohne starke Brennkammerpulsationen, wie sie bei zu tiefer Verbrennungstemperatur und zu geringem Sauerstoffgehalt auftreten können, erfolgt.

15

In dem vorgeschlagenen neuen Verfahren kann durch die Regelung des Rezirkulationsmassenstroms die Abgaszusammensetzung für den gesamten Betriebsbereich, insbesondere auch für Teillast, an die Erfordernisse der nachgeschalteten Brennstoffzelle angepasst werden.

20

Die Abgaszusammensetzung einer Gasturbine, insbesondere die CO₂- und Sauerstoffkonzentration der Abgase oder der CO₂- Gehalt und Sauerstoffgehalt, ist von der Zusammensetzung der Verdichteransauggase sowie verschiedenen Betriebsparametern abhängig. Eine Regelung des Rezirkulationsmassenstroms

25

zur Anpassung an die Erfordernisse der nachgeschalteten Brennstoffzelle kann entsprechend als Funktion mindestens eines Betriebsparameters der Gasturbine geregelt werden. Beispielsweise kann der Rezirkulationsmassenstrom als Funktion der Last der Gasturbine und/ oder der Turbineneintrittstemperatur und/ oder der Position der mindestens einen verstellbaren Verdichtervorleitreihe zur Optimierung der Abgaszusammensetzung für die nachgeschaltete Brennstoffzelle

30

geregelt werden.

In einer weiteren Ausführung wird für die Regelung der Abgaszusammensetzung eine Online Gasanalyse der Gasturbinenabgase zwischen Gasturbine und Eintritt in die Brennstoffzelle vorgeschlagen. Alternativ kann auch eine Online Gasanalyse des Rezirkulationsmassenstroms oder der Gasturbinen- Ansaugluft nach Zumischung des Rezirkulationsmassenstromes durchgeführt werden.

Neben CO₂- und Sauerstoffgehalt Gehalt im Abgas kann ausserdem die TAT (Turbinenaustrittstemperatur) und damit die Eintrittstemperatur in die Brennstoffzelle durch Variation des Rezirkulationsmassenstroms und/ oder der Temperatur des Rezirkulationsmassenstroms nachgeregelt werden. Insbesondere kann hierfür die Temperatur, auf die der Rezirkulationsmassenstrom rückgekühlt wird, verwendet werden.

Solange die Gasturbine nicht durch ein TAT Limit begrenzt ist, ist bei konstanter relativer Last die TAT proportional zur Kompressoreintrittstemperatur. Dabei ist als relative Last das Verhältnis von aktueller Leistung zur Vollastleistung bei den gleichen ambienten Randbedingungen, insbesondere bei gleicher Eintrittstemperatur bezeichnet. Beispielsweise führt eine Erhöhung der Kompressoreintrittstemperatur bei konstanter relativer Last zur TAT- Erhöhung. Die TAT kann daher ohne in das Betriebskonzept der Gasturbine einzugreifen durch eine Regelung der Verdichtereintrittstemperatur beeinflusst oder nachgeregelt werden.

In einer weiteren Ausführung wird die Eintrittstemperatur in die Brennstoffzelle mit einem, zwischen Gasturbine und Brennstoffzelle angeordneten, Temperatur- Regel- Abwärmekessel geregelt. Dieser hat hauptsächlich die Funktion, die Gasturbinenabgase auf die für den Betrieb der Brennstoffzelle optimale Brennstoffzelleneintrittstemperatur abzukühlen. Abhängig von der Bauart der Gasturbine und deren Betriebspunkt liegt die TAT über der optimalen Brennstoffzelleneintrittstemperatur. Mit einem Abwärmekessel, dessen abgeführte Wärme regelbar ist, kann die Brennstoffzelleneintrittstemperatur über weite Lastbereiche geregelt werden. Die Brennstoffzelleneintrittstemperatur kann allein

über einen Temperatur- Regel- Abwärmekessel oder in Kombination mit der TAT- Regelung geregelt werden. Die in diesem Kessel abgeführte Abwärme wird nutzbringend zum Beispiel in einem Wasser- Dampf- Kreislauf genutzt.

- 5 Ein wichtiger Schritt zur Wirkungsgraderhöhung ist es, durch Abgasrezirkulation den CO₂- Gehalt der Abgase für einen effektiven Betrieb der Brennstoffzelle zu erhöhen. In einer weiteren Ausführung wird CO₂ aus dem Anodenaustritt der Brennstoffzelle zur Erhöhung des CO₂- Gehaltes in den Katodenmassenstrom vor oder beim Eintritt in die Brennstoffzelle rezirkuliert. Die Abzweigung zur
- 10 Rezirkulation ist unmittelbar nach der Brennstoffzelle, nach bzw. aus dem der Anode nachgeschalteten Abwärmekessel, nach der Wasserabscheidung oder nach einer weiteren Aufbereitung des Anodenabgasstroms möglich. Bei einer Abzweigung vor dem Abwärmekessel kann ein separater Abwärmekessel für den rezirkulierten CO₂- reichen Massenstrom vorgesehen werden, damit die
- 15 Eintrittstemperatur in die Brennstoffzelle in dem optimalen Betriebsbereich gehalten wird. Bei Rezirkulation von CO₂ nach der Wasserabscheidung oder nach einer weiteren Aufbereitung kann eine Vorwärmung des rezirkulierten CO₂- Stromes vor der Zumischung zu dem Katodenmassenstrom vorteilhaft sein. Dies kann beispielsweise durch Wärmetausch in einem der Abwärmekessel stattfinden
- 20 oder im Wärmetausch mit den Abgasen stattfinden. Bei einer Entnahme aus dem Abwärmekessel kann der Rezirkulationsmassenstrom direkt auf dem optimalen Temperaturniveau abgezweigt werden. Diese CO₂- Rezirkulation bietet einen zusätzlichen Parameter zur Regelung des CO₂- Gehaltes und der Temperatur des Katodenmassenstrom am Brennstoffzelleneintritt.

25

Um eine Rezirkulation von CO₂ zu ermöglichen, kann eine Reduktion der Abgasrezirkulation erforderlich sein, um einen für die Brennstoffzelle ausreichenden Sauerstoffgehalt zu gewährleisten.

- 30 Durch Regelung des Rezirkulationsmassenstroms, der Temperatur der rezirkulierten Abgase und des rezirkulierten CO₂- Stroms sowie der Temperatur des rezirkulierten CO₂- Stroms erhält man neue Regelgrößen, mit denen die TAT

bzw. die Brennstoffzellen- Eintrittstemperatur auch bei Teillast in dem für den Betrieb der Brennstoffzelle erforderlichen Temperaturbereich gehalten werden kann.

- 5 Als Randbedingung bei der Regelung des Rezirkulationsmassenstroms der Gasturbine muss gewährleistet sein, dass der Sauerstoffgehalt in der Gasturbinen- Ansaugluft zur sauberen vollständigen Verbrennung ausreicht, und dass der Sauerstoffgehalt in den Gasturbinen- Abgasen für den Betrieb der Brennstoffzelle ausreicht.

10

Je nach weiterer Verwendung der CO₂- reichen Anodenabgase kann eine Wasserabscheidung mit nachfolgender CO₂ Abscheidung erforderlich sein. Aufgrund der hohen CO₂ Konzentration in den Anodenabgasen ist eine CO₂ Abscheidung beispielsweise durch CO₂ Absorption mit relativ wenig

- 15 Energieaufwand möglich. Dies kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn die Brennstoffzelle mit unvollständiger Brennstoffumsetzung betrieben wird und ein relativ hoher Anteil an unverbrannten Brenngasen in den Anodenabgasen verbleibt. Der unverbrannte Brennstoff kann nach der CO₂ Abscheidung weiter verwendet werden. Beispielsweise kann der unverbrannte Brennstoff zusammen
20 mit anderen in dem Abgas verbleibenden Gasen nutzbringend in den Anodeneintritt rezirkuliert werden.

- Ein Betrieb der Brennstoffzelle mit unvollständiger Brennstoffumsetzung führt typischerweise zu einem höheren Wirkungsgrad des in der Brennstoffzelle
25 umgesetzten Brennstoffes, weshalb ein Betrieb mit unvollständiger Brennstoffumsetzung und CO₂ Abscheidung vorteilhaft sein kann.

- Eine weitere Möglichkeit die Brennstoffzelle mit unvollständiger Brennstoffumsetzung betreiben zu können ist die Kombination mit mindestens
30 einem katalytischen Brenner. Dieser kann entweder in den Austrittsbereich der Brennstoffzelle integriert sein oder separat in den Abgasströmen der Brennstoffzelle angeordnet sein.

Je nach Brennstoffzellenart und Betriebszustand sind die Abgase mit hohen Emissionen und Verunreinigungen belastet. Durch die nachfolgende Verbrennung in einem katalytischen Brenner kann die Reinheit der Abgase erhöht werden. Dies
5 kann insbesondere dann vorteilhaft sein, wenn als Nachbehandlung nur eine Wasserabscheidung vorgesehen ist. Damit wird der Gesamtaufbau und Prozess vereinfacht. Die bei der katalytischen Verbrennung frei werdende Wärme wird ausserdem nutzbringend in dem nachgeschalteten Abwärmekessel verwendet.

10 Ein Vorteil Vorteil des Verfahrens mit Abgasrezirkulation ist die Erhöhung des CO_2 - Gehaltes in den Abgasen, der zu einer Erhöhung des Brennstoffzellenwirkungsgrads führt. Weiter wird der Katodenmassenstrom der zu behandelnden Abgase reduziert, wodurch die Grösse der Brennstoffzelle und damit die Anlagenkosten reduziert werden können.

15 Weiter kann der CO_2 - Gehalt über einen weiten Betriebsbereich nahe des Optimums gehalten werden, so dass auch der Teillastwirkungsgrad der Brennstoffzelle und damit des Gesamtkraftwerks erhöht wird.

20 Um einen hohen Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes zu erzielen, wird in weiteren Ausführungen die nutzbare Abwärme von mindestens einem Teil der Rezirkulationsströme und der Abgasströme in mindestens einem Abwärmekessel zur Dampferzeugung genutzt. Der Dampf kann nutzbringend zur Kraft- Wärmekopplung verwendet werden oder unter Arbeitsabgabe zum Antrieb eines
25 Generators in einer Dampfturbine entspannt werden.

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

Turbinenaustrittstemperatur. Damit werden in einem weiten Betriebsbereich, typischerweise ab etwa 40 % bis 50 % relativer Last bis zu Volllast, Randbedingungen für eine Temperatur- Regel- Abwärmekessel geschaffen, die es erlauben die Katodeneintrittstemperatur der Brennstoffzelle auf die optimale
5 Temperatur ein zu stellen. Diese ist bauartspezifisch und liegt typischerweise im Bereich von etwa 550 °C bis 650 °C, beispielsweise bei etwa 600 °C.

Neben dem Verfahren ist ein Kraftwerk zur Durchführung des Verfahrens Gegenstand der Erfindung. Ein Kraftwerk zur Durchführung besteht aus
10 mindestens einer Gasturbine, mindestens einer Brennstoffzelle und mindestens einer Leitung zur Abgasrezirkulation eines Teils des Abgasstromes der Gasturbine in die Ansaugluft der Gasturbine.

Zur Regelung des Rezirkulationsmassenstroms wird im Abgasstrom der
15 Gasturbine entweder eine verstellbare Klappe, ein fester Abgasteiler mit anschliessendem Regelement, wie einer Klappe oder einem Ventil, ein regelbares Gebläse oder eine anderes geeignetes Steuerorgan vorgesehen.

Um die Abwärme der Gasturbine und/ oder der Brennstoffzelle zu nutzen, ist
20 typischerweise mindestens ein Abwärmekessel stromab der Gasturbine und/ oder stromab der Brennstoffzelle angeordnet. Typischerweise ist weiter ein Abwärmekessel in dem Rezirkulationsstrom angeordnet.

Zur besseren Kontrolle der Eingangstemperatur der Brennstoffzelle kann ein
25 Abwärmekessel zwischen Gasturbine und Katodeneintritt der Brennstoffzelle angeordnet sein. Um eine Temperaturkontrolle zu ermöglichen zeichnet sich dieser Abwärmekessel beispielsweise dadurch aus, dass die Speisewassermenge abhängig von der Austrittstemperatur der Abgase geregelt wird.

30 Um eine weitere Möglichkeit zur Regelung des CO₂- Gehalts der Katodeneintrittsgase der Brennstoffzelle zu schaffen, kann eine CO₂- Rezirkulationsleitung von den Abgasen der Anodenseite der Brennstoffzelle in Abgasleitung der Gasturbine stromauf des Katodeneintritts der Brennstoffzelle

angeordnet werden. Als Regelement kann in der Rezirkulationsleitung oder in deren Anschlüssen beispielsweise ein Ventil oder eine verstellbare Klappe in Kombination mit einem Gebläse vorgesehen werden. Alternativ kann beispielsweise ein regelbares CO₂- Rezirkulationsgebläse in der CO₂-
5 Rezirkulationsleitung oder in deren Anschlüssen angeordnet werden.

Mit diesem zusätzlichen Regelglied kann in Kombination mit der Abgasrezirkulation der Gasturbine der CO₂- Gehalt in einem weiten Betriebsbereich des Kraftwerks für einen optimierten Betrieb der Brennstoffzelle
10 geregelt werden. Als weiter Betriebsbereich ist hier typischerweise der Bereich von Volllast bis etwa 50% Last bezeichnet. Die vorgeschlagene Kombination kann je nach Auslegung der Gasturbine und der Rezirkulationsleitungen sogar eine Optimierung des CO₂- Gehaltes bis zu tieferer Teillast, beispielsweise bis zu 30% Teillast oder weniger, ermöglichen. Um die Abgaszusammensetzung noch besser
15 Regeln zu können, kann weiter eine Rezirkulation von Anodenabgas nicht nur in den Katodeneintritt der Brennstoffzelle sondern auch in den Verdichteransaugstrom der Gasturbine vorgesehen sein. Durch Regelglieder und soweit erforderlich Gebläse können die Rezirkulationsanteile geregelt werden.

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

25 Eine Ausführung zeichnet sich beispielsweise durch einen Abgasbypass um die Brennstoffzelle aus. Dieser ermöglicht einen Betrieb der Gasturbine ohne die Brennstoffzelle, solange die Abgase der Gasturbine beim Start oder sehr tiefer Teillast, d.h. Lastpunkten von Leerlauf bis zu beispielsweise etwa 30% Teillast, für
30 den Betrieb der Brennstoffzelle zu kalt sind. Ausserdem ermöglicht sie den Betrieb der Gasturbine, wenn die Brennstoffzelle beispielsweise für Wartungen ausser Betrieb ist.

Ein Gasturbinenkraftwerk im Sinne der Erfindung beinhaltet eine herkömmliche Gasturbine mit mindestens einem Verdichter, mindestens einer Brennkammer und mindestens einer Turbine oder eine Gasturbine mit einer Aufteilung des Heissgasstroms der Gasturbine in zwei Teilströme nach einer Hochdruckturbine.

- 5 Gasturbinen mit Aufteilung des Heissgasstroms der Gasturbine in zwei Teilströme nach einer Hochdruckturbine, sind in der PCT/EP2010/050606 beschrieben, welche durch Referenz in diese Anmeldung einbezogen ist. Typischerweise wird in einem derartigen Gasturbinenkraftwerk mindestens ein Teil der nutzbaren Abwärme in mindestens einem Abwärmekessel (HRSG Heat Recovery Steam
10 Generator) zur Dampferzeugung und/ oder Erzeugung von elektrischer Leistung genutzt.

- Bei Gasturbinen mit einer Aufteilung des Heissgasstroms der Gasturbine nach der Hochdruckturbine in zwei Teilströme verrichtet ein erster Teilstrom, auf
15 herkömmliche Art Expansionsarbeit in einer Turbine, bevor seine Abwärme nutzbar, zum Beispiel in einem Abwärmekessel (auch HRSG oder Heat Recovery Steam Generator genannt), abgeleitet wird und die Gase in den Ansaugstrom der Gasturbine rezirkuliert werden. Ein zweiter Teilstrom, der Abgasstrom, wird nach der Hochdruckturbine abgezweigt und gekühlt, z.B. durch Wärmeabgabe in
20 einem HRSG, bevor CO₂ aus diesem Abgasstrom auf erhöhtem Druckniveau abgeschieden wird. Bei der Anwendung in Kombination mit einer Brennstoffzelle wird diese Abkühlung auf ein Temperaturniveau durchgeführt, das für die Einleitung in Katodenseite einer Brennstoffzelle geeignet ist. Das CO₂- arme Abgas der Brennstoffzelle wird anschliessend unter Arbeitsabgabe in einer
25 Turbine auf Umgebungsdruck expandiert. Je nach Ausführungsform können die Abgase vor der Expansion durch Wärmetausch mit einem wärmeren Abgasstrom zur Leistungserhöhung erwärmt werden.

5

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in den Fig. 1 bis 3 schematisch dargestellt.

10

Es zeigen:

15

Fig. 1 ein Gasturbinenkraftwerk mit Brennstoffzelle zur CO₂ Abscheidung, einen Abgasteiler zur Aufteilung der Gasturbinenabgase in einen Rezirkulationsmassenstrom und einen Katodeneintrittsstrom,

20

Fig. 2 ein Gasturbinenkraftwerk mit Brennstoffzelle zur CO₂ Abscheidung, einen Temperatur- Regel- Abwärmekessel, einen Abgasteiler zur Aufteilung der Gasturbinenabgase in einen Rezirkulationsmassenstrom und einen Katodeneintrittsstrom, sowie in die Brennstoffzelle auf der Katoden- und Anodenseite an die Brennstoffzelle anschliessende katalytische Brenner,

25

Fig. 3 den beispielhaft den Verlauf des CO₂- Gehaltes in den Abgasen einer herkömmlichen Gasturbine ohne Rezirkulation, den Verlauf des CO₂- Gehaltes in den Abgasen einer Gasturbine eines Gasturbinenkraftwerks mit Brennstoffzelle und Abgasrezirkulation sowie den zugehörigen Verlauf der Rezirkulationsrate über relativer Last,

30

Fig. 4 ein Gasturbinenkraftwerk mit einer Gasturbine mit dampfgekühltem Strömungsteiler, Rezirkulation eines Abgasteilstroms und Abzweigung eines zweiten Abgasteilstroms für CO₂ Abscheidung in einer Brennstoffzelle.

Ausführung der Erfindung

Fig. 1 zeigt schematisch ein Gasturbinenkraftwerk mit Brennstoffzelle zur CO₂

5 Abscheidung zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens. Es besteht aus einer Gasturbine 6 und mindestens einer Brennstoffzelle 15. Die Gasturbine 6 umfasst auf an sich bekannte Weise mindestens einen Verdichter 1, mindestens eine Brennkammer 4 und mindestens eine Turbine 7. Typischerweise ist ein Generator 25 am kalten Ende der Gasturbine 6, dass heisst am Verdichter 1,
10 angekuppelt.

Der Brennstoff 5, Gas oder Oil, wird in der Brennkammer 4 mit im Verdichter 1 komprimierten Gasen vermischt und verbrannt. Die Heissgase werden unter Arbeitsabgabe in der nachfolgenden Turbine 7 entspannt. Erfindungsgemäss
15 werden die Abgase der Gasturbine in einem Abgasteiler 29 in zwei Teilmassenströme geteilt. Ein erster Teilmassenstrom, der Rezirkulationsmassenstrom 21 wird nach Abgabe der nutzbaren Wärme in einem ersten Abwärmekessel 9 und Rückkühlung in einem Abgasrezirkulations-Rückkühler 27 in die Ansaugluft 2 rezirkuliert. Der Abgasrezirkulations-
20 Rückkühler 27 verfügt typischerweise über einen Kondensatabscheider (nicht dargestellt). Es sind verschiedene Arten von Abgasrezirkulations- Rückkühler 27 bekannt. Beispielsweise können sie als Luft- Wärmetauscher ausgeführt sein und die Abwärme an die Umgebungsluft abgegeben. Wenn ausreichende Mengen an Kühlwasser verfügbar sind, ist eine Wasserkühlung vorteilhaft. Insbesondere,
25 wenn damit an heissen Tagen die Eintrittstemperatur in die Gasturbine abgesenkt werden kann, um deren Leistung zu verbessern. Ausserdem ist die Baugrösse kleiner.

Der Frischdampf 30 des Abwärmekessels 9 wird zur Leistungsabgabe an eine
30 Dampfturbine 13 geleitet. Die Dampfturbine 13 treibt in dem gezeigten Beispiel über eine Welle einen zweiten Generator 26 an. Der Abwärmekessel 9 mit Dampfkreislauf ist stark vereinfacht dargestellt. Kondensator, Speisewasserpumpen und weitere bekannte Komponenten des Dampfkreislaufes sind zur Vereinfachung nicht dargestellt. Typischerweise wird der Dampfkreislauf
35 als Mehrdruckkreislauf durchgeführt.

Ein zweiter Teilmassenstrom, der wird als Katodenmassenstrom 20 in die Kathode 17 der Brennstoffzelle 15 geleitet. Die CO₂ armen Austrittsgase der Kathode 17 werden in einen zweiten Abwärmekessel 33 geleitet, wo sie ihre nutzbare Wärme zur Dampferzeugung abgeben. Dieser Dampf kann zur Leistungsabgabe an eine Dampfturbine oder nutzbringend für Kraft-Wärmekopplung genutzt werden. Der Abwärmekessel 33 kann mit dem Wasserdampfkreislauf des ersten Abwärmekessels 9 verbunden sein (nicht dargestellt) und damit eine gemeinsame Dampfturbine angetrieben werden. Die Katodenabgase werden als CO₂ armes Abgas 22 von dem zweiten Kessel 33 über ein Kamin 32 an die Umgebung abgegeben.

Die Abgase oder ein Teil der Abgase der Gasturbine können von dem Abgasteiler 29 über einen Abgasbypass 24 auch direkt zum Kamin 32 geleitet werden. Dies wird beispielsweise über eine Bypassklappe oder ein Bypassventil 12 geregelt. Damit können beispielsweise zum Anfahren der Gasturbine deren Abgase direkt über den Kamin 32 abgegeben werden, solange diese für den Betrieb der Brennstoffzelle 22 noch zu kalt sind. Ausserdem erlaubt der Bypass 24 den Betrieb der Gasturbine 6, wenn die Brennstoffzelle 15 zum Beispiel für Wartungszwecke abgeschaltet ist. Der Bypass 24 erlaubt weiter in Kombination mit dem Rezirkulationsmassenstrom eine flexible Regelung des Abgasmassenstroms, der durch die Brennstoffzelle 15 geleitet wird.

Die Anode 18 der Brennstoffzelle 15 wird mit Brennstoff für Brennstoff 28 versorgt. Der Brennstoff 28 ist auf die Art der Brennstoffzelle 15 abzustimmen. Beispielsweise kann Wasserstoff genutzt werden. Bei Brennstoffzellen 15 mit interner Reformierung kann Erdgas oder reines Methan genutzt werden. Der Brennstoff 28 reagiert in der Brennstoffzelle 15 unter Abgabe elektrischer Leistung 8.

Die CO₂ reichen Austrittsgase der Anode 18 werden in einem dritten Abwärmekessel 34 geleitet, wo sie ihre nutzbare Wärme zur Dampferzeugung abgeben. Dieser Dampf kann zur Leistungsabgabe an eine Dampfturbine oder nutzbringend für Kraft-Wärmekopplung genutzt werden. Der Abwärmekessel 34 kann mit dem Wasserdampfkreislauf des ersten Abwärmekessels 9 und/ oder des zweiten Abwärmekessels 33 verbunden werden (nicht dargestellt) und damit eine gemeinsame Dampfturbine antreiben.

Die in den Abgasen der Anodenseite der Brennstoffzelle 15 enthaltene Feuchtigkeit wird nach dem dritten Kessel 34 in einem Wasserabscheider 23 entfernt. Die verbleibenden Anodenabgase 35 haben eine hohe CO₂ Konzentration. In dem gezeigten Beispiel werden sie direkt zur weiteren
5 Verwendung, beispielsweise zur Kompression für Transport und Entlagerung geleitet. Sie können aber auch einer weiteren Aufbereitung zugeführt werden.

In dem gezeigten Beispiel ist weiter eine Rezirkulation von CO₂ reichen Anodenabgasen der Brennstoffzelle 15 in deren Kathodeneintritt vorgesehen.

10 Durch die gezeigte CO₂- Rezirkulationsleitung können mit Hilfe eines CO₂- Rezirkulationsgebläses 38 ein Teil der CO₂ reichen Anodenabgase der Brennstoffzelle 15 zu dem Kathodeneintritt gefördert werden. Der CO₂- Rezirkulationsstrom kann über das CO₂- Rezirkulationsgebläse 38 geregelt werden und/ oder über die Klappe oder das Ventil für den CO₂-
15 Rezirkulationsstrom 39. Wenn keine CO₂- Rezirkulation erforderlich ist, kann das Rezirkulationsgebläse 38 abgeschaltet werden und durch Schliessen der Klappe oder des Ventils für den CO₂- Rezirkulationsstrom 39 ein ungewollter Bypass der Gasturbinenabgase um die Brennstoffzelle 15 in deren Anodenabgase 35 unterbunden werden.

20 In einer weitem Ausführung sind der zweite und dritte Abwärmekessel 33/ 34 in einem Kessel zusammengefasst. Weiter können der zweite und/ oder der dritte Abwärmekessel mit dem ersten Abwärmekessel 9 zusammengefasst werden.

25 In dem gezeigten Beispiel ist ein Abgasgebläse für den Rezirkulationsmassenstrom 11 vorgesehen und ein Abgasgebläse für den Katodenmassenstrom 10 vorgesehen. Je nach Überdruck der Abgase aus der Turbine 7 und den Druckverlusten in den Strömungswegen der beiden Teilströme kann auf die Gebläse verzichtet werden.

30 Um eine gut Regelung der Gaszusammensetzung für Gasturbine 6 und Brennstoffzelle 15 zu realisieren sind in dem gezeigten Beispiel eine Ansaugluft CO₂ und/ oder O₂ Messinstrument 36 sowie ein Gasturbinenabgas CO₂ und/ oder O₂ Messinstrument 37 vorgesehen.

Fig. 2 zeigt schematisch ein zweites Beispiel für ein Gasturbinenkraftwerk mit Brennstoffzelle zur CO₂ Abscheidung. In diesem Beispiel ist zwischen Turbine 7 und Abgasteiler 29 zusätzlich ein Temperatur- Regel- Abwärmekessel 43 angeordnet. Durch Regelung der Abwärme, die den Gasturbinenabgasen 19 entzogen wird, wird die Eintrittstemperatur der Gase der Katode 17 der Brennstoffzelle geregelt.

Weiter ist in der Fig. 2 eine Brennstoffzelle 15 mit stromab angeordnetem katalytischen Brenner 40 auf der Anodenseite und mit stromab angeordnetem katalytischen Brenner 41 auf der Katodenseite dargestellt. Die katalytischen Brenner erlauben den Betrieb einer Brennstoffzelle 15 mit unvollständiger Brennstoffumsetzung. Als Brennstoffumsetzung wird dabei der Anteil des vollständig oxydierten Brennstoffes an dem gesamten Brennstoff 28 für die Brennstoffzelle 15 bezeichnet.

Eine Brennstoffzelle 15 kann beispielsweise unter den Randbedingungen, wie sie durch die Gasturbinenabgase 19 gegeben sind, bei teilweiser Brenngasumsetzung einen höheren Wirkungsgrad bezogen auf das umgesetzte Brenngas für die Brennstoffzelle 28 erzielen, als wenn eine praktisch vollständige Brenngasumsetzung angestrebt wird. Als vollständige Brenngasumsetzung kann typischerweise eine Umsetzung von mehr als 99% des Brenngases 28 angesehen werden. Weiter kann durch eine Reduktion der Brennstoffumsetzung die Zellspannung und die Leistungsdichte der Brennstoffzelle 15 erhöht werden und damit die Baugrösse der Brennstoffzelle 15 reduziert werden.

Je nach Verlauf des Brennstoffzellenwirkungsgrades über Umsetzung des Brenngases 28 in der Brennstoffzelle 15 und des nachgeschalteten dritten Abwärmekessels 34 mit zugehörigem Wasserdampfkreislauf, wird die optimale Umsetzung beispielsweise bei 80% bis 90% liegen. Die Umsetzung für einen optimalen Gesamtwirkungsgrad des Kraftwerkes liegt tiefer, je besser die bei der katalytischen Verbrennung frei werdende Wärme im anschliessenden Wasserdampfkreislauf genutzt werden kann.

Die übrigen Teile der in Fig. 2 gezeigten Kraftwerksanlage entsprechen den Teilen mit gleichem Bezugszeichen aus der Fig. 1.

- 5 Fig. 3 zeigt über der relativen Last P_{rel} der Gasturbine 6 beispielhaft den Verlauf des CO_2 - Gehaltes in den Abgasen einer herkömmlichen Gasturbine ohne Rezirkulation GT- CO_2 , den Verlauf des CO_2 - Gehaltes in den Abgasen einer Gasturbine eines Gasturbinenkraftwerks mit Brennstoffzelle und Abgasrezirkulation R- CO_2 sowie den zugehörigen Verlauf der Rezirkulationsrate r_r . Der CO_2 - Gehalt der Abgase ist in dem Beispiel sowohl für die herkömmliche Gasturbine als auch für die Gasturbine mit Rezirkulation mit dem CO_2 - Gehalt bei Volllast der Gasturbine mit Rezirkulation normiert.

15 Die Rezirkulationsrate r_r ist mit der Rezirkulationsrate bei Volllast der Gasturbine mit Rezirkulation normiert. Als Rezirkulationsrate ist der Quotient aus Rezirkulationsmassenstrom 21 durch den Gesamtabgasmassenstrom der Gasturbine bezeichnet.

20 In dem gezeigten Beispiel wird der CO_2 - Gehalt der Abgase mit Rezirkulation R- CO_2 im gesamten Lastbereich deutlich über dem CO_2 - Gehalt ohne Rezirkulation GT- CO_2 gehalten. Bei Teillast unter etwa 60% P_{rel} wird in diesem Beispiel die Rezirkulationsrate r_r reduziert um eine vollständige, stabile Verbrennung der Gasturbine zu gewährleisten. Verbunden mit einer bei Teillast sinkenden CO_2 Produktion der Gasturbine führt dies zu einer spürbaren Reduktion des CO_2 - Gehaltes in den Abgasen mit Abgasrezirkulation R- CO_2 . Der CO_2 - Gehalt in den Abgasen bei Abgasrezirkulation R- CO_2 bleibt aber weiter deutlich über dem CO_2 - Gehalt ohne Abgasrezirkulation GT- CO_2 .

30 Da der Rest- Sauerstoffgehalt in den Abgasen bei Abgasrezirkulation umgekehrt proportional zu dem CO_2 - Gehalt in den Abgasen ist, kann in diesem Beispiel unterhalb von etwa 60% P_{rel} eine CO_2 - Rezirkulation von dem Anodenaustritt der Brennstoffzelle 15 in den Katodeneintritt durchgeführt werden und damit der CO_2 - Gehalt auch bei tiefer Teillast auf den für die Brennstoffzelle 15 optimalen Wert eingestellt werden.

Die möglichen Ausführungen der Erfindung sind nicht auf die hier dargestellten Beispiele beschränkt. Anhand der Beispiele eröffnen sich dem Fachmann eine Vielzahl von Möglichkeiten äquivalente Kombinationen von Gasturbinen mit Brennstoffzellen und Verfahren zu deren Betrieb zu realisieren. Insbesondere bei
5 der Anordnung der verschiedenen Komponenten des Kraftwerkes, der Ausnutzung von Abwärme für Kraft-Wärmekopplung, auch Cogeneration genannt, oder beispielsweise zur Brenngasvorwärmung sind viele Möglichkeiten gegeben. Beispielsweise kann der Temperatur- Regel- Abwärmekessel 43 auch zwischen dem Abgasverteiler 29 und der Brennstoffzelle 15 angeordnet sein. Weiter ist
10 auch für die Nachbehandlung der Abgase und des CO₂ reichen Abgasstromes eine grosse Anzahl von Kombinationen möglich.

In einem weiteren Ausführungsbeispiel, bei dem die Rezirkulationsrate r_r bei Teillast nicht wie es in dem in Fig. 3 dargestellten Beispiel durch eine instabile
15 Verbrennung eingeschränkt wird, kann der CO₂- Gehalt den Gasturbinenabgasen 19 bis zu tiefer Teillast durch erhöhen der Rezirkulationsrate r_r auf dem für die Brennstoffzelle 15 optimalen Niveau gehalten werden. So kann auf eine Rezirkulation um die Brennstoffzelle (15) auch bei tiefer Teillast verzichtet werden.

20 In einem Ausführungsbeispiel mit hoher Rezirkulationsrate r_r bei tiefer Teillast, steigen aber typischerweise die CO Emissionen der Gasturbine 6. Als hoch sind CO Emissionen (Kohlenmonoxid- Emissionen) typischerweise von 10 ppm und mehr angesehen. Dabei können die CO Emissionen bei Teillast mit hohem Rezirkulationsmassenstrom schnell auf über 100 ppm oder sogar einige hundert
25 ppm ansteigen.

Aufgrund der vorteilhaften erfindungsgemässen Anordnung werden die Gasturbinenabgase 19 mit den hohen CO Emissionen in die Brennstoffzelle 15 geleitet. Dort reagiert das CO mit Wasserdampf weiter zu CO₂ und Wasserstoff
30 H₂. Der Wasserstoff wird weiter auf der Kathodenseite reagieren. Aufgrund der niedrigen CO Konzentrationen und daraus resultierenden niedrigen Wasserstoffkonzentrationen wird die Wasserstoffumsetzung problemlos toleriert. Weiter ist eine katalytische Umsetzung des CO mit Restsauerstoff der Abgase 19 zu CO₂ möglich. Dafür ist beispielsweise ein Katalytischer Brenner 41 auf der
35 Katodenseite geeignet, der als Oberflächenkatalysator mit Nickel ausgeführt ist. Das CO₂ tritt entsprechend der Umsetzung in der Brennstoffzelle 15 aus der Anode 18 der Brennstoffzelle 15 aus.

Fig. 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemässes Gasturbinenkraftwerk zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens. Es umfasst eine Gasturbinenanlage mit Strömungsteilung nach einer Hochdruckturbine. Diese Gasturbinenanlage umfasst auf an sich bekannte Weise
5 einen Verdichter 1, eine Brennkammer 4, eine Turbine, sowie einen Generator 25. Typischerweise ist der Generator 25 am kalten Ende der Gasturbine 6', dass heisst am Verdichter 1 angekuppelt. Die Turbine ist in eine Hochdruckturbine 7 und Niederdruckturbine 107 aufgeteilt. Die Turbine treibt über eine Welle den Verdichter 1 und den Generator 25 an.

10 Der Brennstoff 5, Gas oder Oil, wird in der Brennkammer 4 mit im Verdichter 1 komprimierten Gasen vermischt und verbrannt. Die Heissgase werden unter Arbeitsabgabe in der mindestens einen nachfolgenden Turbine entspannt. Erfindungsgemäss wird ein erster Teil der Heissgase nach der Hochdruckturbine 7
15 abgezweigt und ein zweiter Teil wird in der Niederdruckturbine 107 unter Leistungsabgabe entspannt und nach Abgabe der nutzbaren Wärme und Rückkühlung rezirkuliert.

Zur Rückführung des rückgeköhlten Rezirkulationsstroms 21 und Vermischung
20 des rückgeköhlten Rezirkulationsstroms 21 mit der Ansaugluft 2, umfasst das Kraftwerk eine Rückführungsleitung, einen HRSG 9 und einen Kühler mit Kondensatabscheider 27. Der Frischdampf 30 des HRSGs 9 wird zur Leistungsabgabe an eine Dampfturbine 13 oder nutzbringend für Kraft-
Wärmekopplung, auch Cogeneration genannt, eingesetzt. Die Dampfturbine 13
25 treibt in dem gezeigten Beispiel über eine Welle einen Generator 26 an. Der HRSG 9 mit Dampfkreislauf ist stark vereinfacht dargestellt. Kondensator, Speisewasserpumpen und bekannte Komponenten des Dampfkreislaufes sind zur Vereinfachung nicht dargestellt. Typischerweise wird der Dampfkreislauf als Mehrdruckkreislauf durchgeführt.

30 Der abgezweigte erste Teilstrom wird in einem HRSG 104 gekühlt und dann der Brennstoffzelle 15 als Kathodenmassenstrom 20 zugeführt. Anschliessend werden die CO₂ armen Abgase 22 unter Leistungsabgabe in der Abgasturbine 116 entspannt, bevor sie als CO₂-armes Abgas über einen Kamin 32 an die
35 Umgebung abgegeben werden. Zur Nutzung der Restwärme der CO₂ armen Abgase 22 kann stromab der Abgasturbine 116 ein weiterer HRSG mit Dampfkreislauf oder Einbindung an einen der vorhandenen Dampfkreisläufe

vorgesehen werden (nicht dargestellt). Die Brennstoffzelle 15 entspricht beispielsweise den Ausführungen aus Fig. 1 oder Fig. 2. Da die Brennstoffzelle 15 in diesem Beispiel unter Druck betrieben wird, kann sie kleiner gebaut werden als in den Beispielen aus Fig. 1 und 2, was zu einer Kostenreduktion führt. Die

5 Abgasturbine 116 treibt beispielsweise einen Generator 129 an. Die Brennstoffzelle 15 wird ausserdem mit einem Brennstoff 28 versorgt. Das Anodenabgas 35 kann teilweise in den Katodeneintritt rezirkuliert werden. Der weitere Teil des Anodenabgases wird aufbereitet und als CO₂-Strom typischerweise zum Transport oder Lagerung komprimiert.

10

Bei der Kühlung des Entnahmestroms in dem HRSG 104 wird Dampf erzeugt, der in einer Dampfturbine 123 eines Dampfkreislaufes Leistung abgibt. In diesem Beispiel wird die Leistung über eine Welle an einen Generator 119 übertragen. Dieser Dampf oder ein weiterer Dampfstrom wird in einem dampfgekühlten

15 Diffusor 128 und/ oder Leitungen durch die der Entnahmestrom aus der Turbine abgezweigt wird, überhitzt. Weitere Komponenten des Dampfkreislaufs, wie Hilfssysteme, Kondensator und Speisewasserpumpen sind zur Vereinfachung hier und in den folgenden Bildern nicht dargestellt.

20 Typischerweise werden ein Abgasverteiler und Abgasbypass um die Brennstoffzelle 15 vorgesehen, der es erlaubt den Kathodenmassenstrom 20 direkt von dem HRSG 104 der Abgasturbine 116 zuzuführen.

Bezugszeichenliste

	1	Verdichter
5	2	Umgebungsluft
	3	Verdichteransauggas
	4	Brennkammer
	5	Brennstoff für GT
	6	Gas Turbine GT
10	7	Turbine, Hochdruckturbine
	8	Elektrische Leistung
	9	erster Abwärmekessel (HRSG Heat Recovery Steam Generator)
	10	Abgasgebläse für Katodenmassenstrom (zur Brennstoffzelle)
	11	Abgasgebläse für Rezirkulationsmassenstrom (Abgasrezirkulation)
15	12	Bypassklappe oder Bypassventil
	13	Dampfturbine
	14	Kondensator
	15	Brennstoffzelle
	16	Speisewasser
20	17	Kathode
	18	Anode
	19	Gasturbinenabgase
	20	Katodenmassenstrom (Abgasleitung zur Brennstoffzelle)
	21	Rezirkulationsmassenstrom (Leitung zur Abgasrezirkulation)
25	22	CO ₂ armes Abgas
	23	Wasserabscheider
	24	Abgasbypass
	25	Erster Generator
	26	Zweiter Generator
30	27	Abgasrezirkulations- Rückkühler (für den Rezirkulationsmassenstrom)
	28	Brennstoff für Brennstoffzelle
	29	Abgasverteiler
	30	Frischdampf
	31	
35	32	Kamin
	33	Zweiter Abwärmekessel (für Katodenaustritt)
	34	Dritter Abwärmekessel (für Anodenaustritt)

	35	Anodenabgas
	36	Ansaugluft- CO ₂ und/ oder O ₂ Messinstrument
	37	Gasturbinenabgas- CO ₂ und/ oder O ₂ Messinstrument
	38	CO ₂ - Rezirkulationsgebläse
5	39	Klappe oder Ventil für CO ₂ - Rezirkulationsstrom
	40	Katalytischer Brenner, Anodenseite
	41	Katalytischer Brenner, Katodenseite
	42	Wasser
	43	Abwärmekessel zur Abgas-Temperaturregelung
10	6'	Gasturbine mit Aufteilung des Heissgasstroms
	104	HRSG (Heat Recovery Steam Generator)
	107	Niederdruckturbine
	116	Abgasturbine
	119	Generator
15	123	Dampfturbine
	128	Dampfgekühlter Diffusor/ Leitungen
	129	Generator
	130	Frischdampf
20	P _{rel}	Relative Last der Gasturbine
	r _r	Rezirkulationsrate
	GT-CO ₂	CO ₂ Konzentration der Gasturbinenabgase ohne Rezirkulation
	R- CO ₂	CO ₂ Konzentration der Gasturbinenabgase mit Rezirkulation

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines Gasturbinenkraftwerkes mit Brennstoffzelle (15)
5 zur CO₂ Abscheidung aus dem Abgasstrom der Gasturbine (6, 6'), dadurch gekennzeichnet, dass die Gasturbinenabgase (19) vor Einleitung in die Brennstoffzelle (15) in einen Katodenmassenstrom (20) und einen Rezirkulationsmassenstrom (21) aufgeteilt werden, der Katodenmassenstrom (20) in den Katodeneintritt der Brennstoffzelle (15) eingeleitet wird und der
10 Rezirkulationsmassenstrom (21) gekühlt wird und in den Ansaugstrom der Gasturbine (3) rezirkuliert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die CO₂- und/ oder Sauerstoff- Konzentration der Gasturbinenabgase (19) durch Regelung des
15 Rezirkulationsmassenstroms geregelt wird.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Rezirkulationsmassenstrom als Funktion eines Betriebsparameters der Gasturbine (6, 6') geregelt wird.
20
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Rezirkulationsmassenstrom als Funktion der Last der Gasturbine (6, 6') und/ oder der Turbineneintrittstemperatur und/ oder der Position der mindestens einen verstellbaren Verdichtervorleitreihe geregelt wird.
25
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1, 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, dass die CO₂- und/ oder Sauerstoff- Konzentration der Gasturbinenabgase (19) und/ oder der Verdichteransaugluft der Gasturbine (3) gemessen werden und dieser Messwert als Eingabe für die Regelung des
30 Rezirkulationsmassenstroms genutzt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Eintrittstemperatur des Katodenmassenstroms (20) in die Katodenseite der Brennstoffzelle (15) durch Regelung des Rezirkulationsmassenstroms (21) und/ oder einer Rückkühltemperatur des Rezirkulationsmassenstroms (21)
35 nachgeregelt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Gasturbine (6, 6') und Brennstoffzelle (15) mindestens ein Temperatur- Regel- Abwärmekessel (43) mit regelbarer Abwärmeleistung angeordnet ist und die Eintrittstemperatur des Katodenmassenstroms (20) in die Katodenseite der Brennstoffzelle (15) über die Regelung der Abwärmeleistung dieses Temperatur- Regel- Abwärmekessels (43) geregelt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Regelung der CO₂ Konzentration des Katodenmassenstroms (20) in den Katodeneintritt der Brennstoffzelle (15) ein Teil eines Austrittsstromes aus der Anode (18) in den Katodenmassenstrom (20) rezirkuliert wird und oder in das Verdichteransauggas rezirkuliert wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 dadurch gekennzeichnet, dass die Umsetzung des Brennstoffs der Brennstoffzelle (28) in der Brennstoffzelle (15) unvollständig ist und ein Rest dieses Brennstoffs der Brennstoffzelle (28) in mindestens einem katalytischen Brenner (40, 41), der in oder stromab der Brennstoffzelle (15) angeordnet ist, verbrannt wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass nutzbare Abwärme aus dem Katodenmassenstrom (20) und/ oder dem Rezirkulationsmassenstrom (21) und/ oder mindestens einem der Abgasströme der Brennstoffzelle (15) in mindestens einem Abwärmekessel (9, 33, 34, 43) zur Dampferzeugung genutzt wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Katodenmassenstrom (20) enthaltenes CO in der Brennstoffzelle (15) reagiert und als CO₂ aus der Anode (18) der Brennstoffzelle austritt.
12. Ein Gasturbinenkraftwerk mit Brennstoffzelle zur CO₂ Abscheidung umfassend mindestens eine Gasturbine (6, 6'), mindestens einer Brennstoffzelle (15), mindestens eine Rezirkulationsleitung die vor dem Kathodeneintritt der Brennstoffzelle (15) abzweigt und zu der Verdichteransaugseite der Gasturbine (6, 6') führt und mindestens eine Leitung zu dem Katodeneintritt der Brennstoffzelle (15) führt.

13. Ein Kraftwerk nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Gasturbine (6, 6') und Brennstoffzelle (15) mindestens ein Temperatur-Kontroll- Abhitzekeessel (43) zur Regelung der Eintrittstemperatur des
5 Katodenmassenstroms (20) in die Katodenseite der Brennstoffzelle (15) angeordnet ist.
14. Ein Kraftwerk nach Anspruch 12 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eine Rezirkulationsleitung von dem Anodenaustritt zu dem
10 Katodeneintritt der Brennstoffzelle (15) und/ oder zu der Verdichteransaugseite führt.
15. Ein Kraftwerk nach einem der Ansprüche 11 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein katalytischer Brenner (40, 41) zur Verbrennung von
15 Brennstoffresten in den Austrittsgasen der Brennstoffzelle (15) in oder stromab der Brennstoffzelle (15) angeordnet ist.

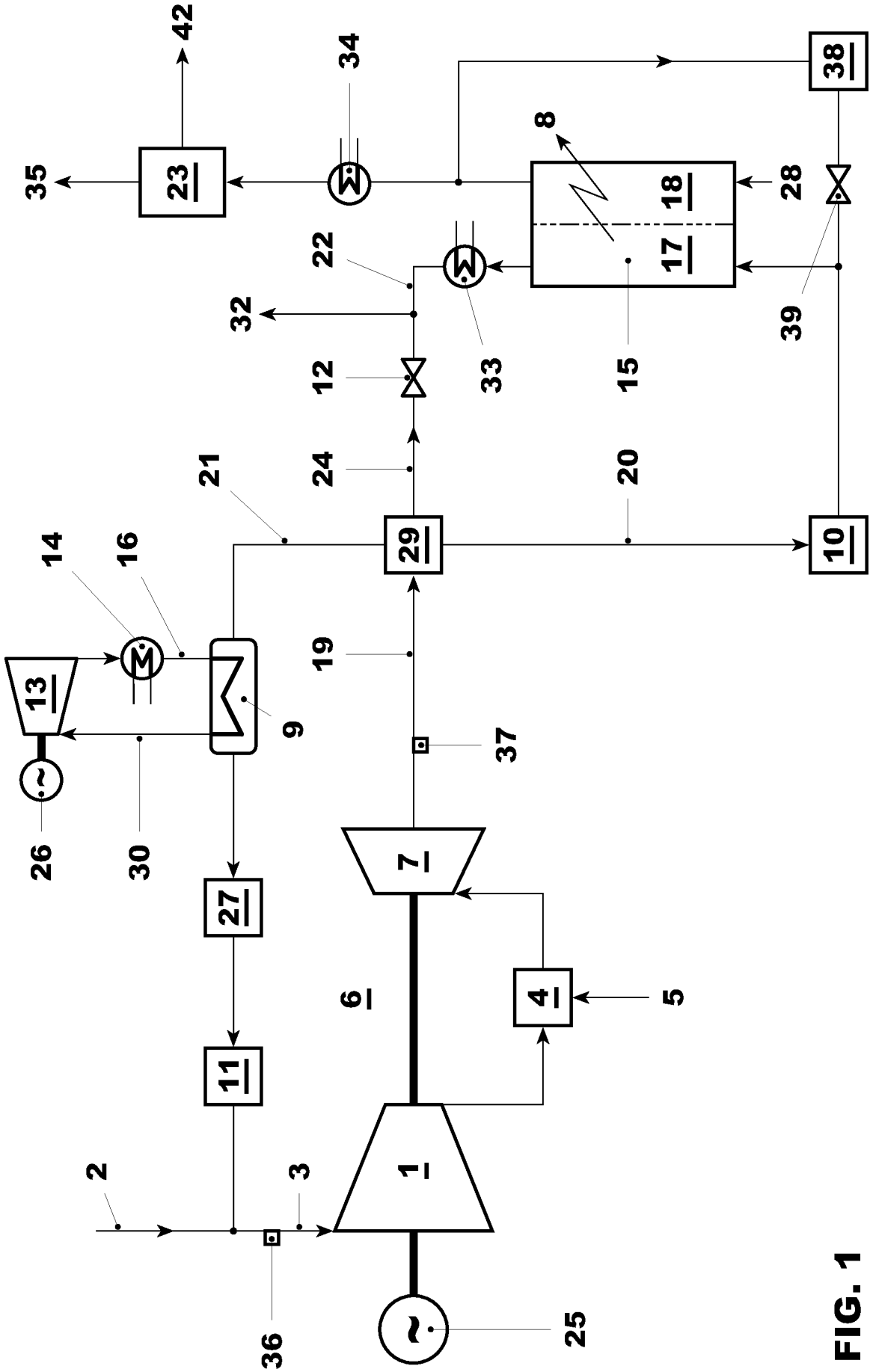


FIG. 1

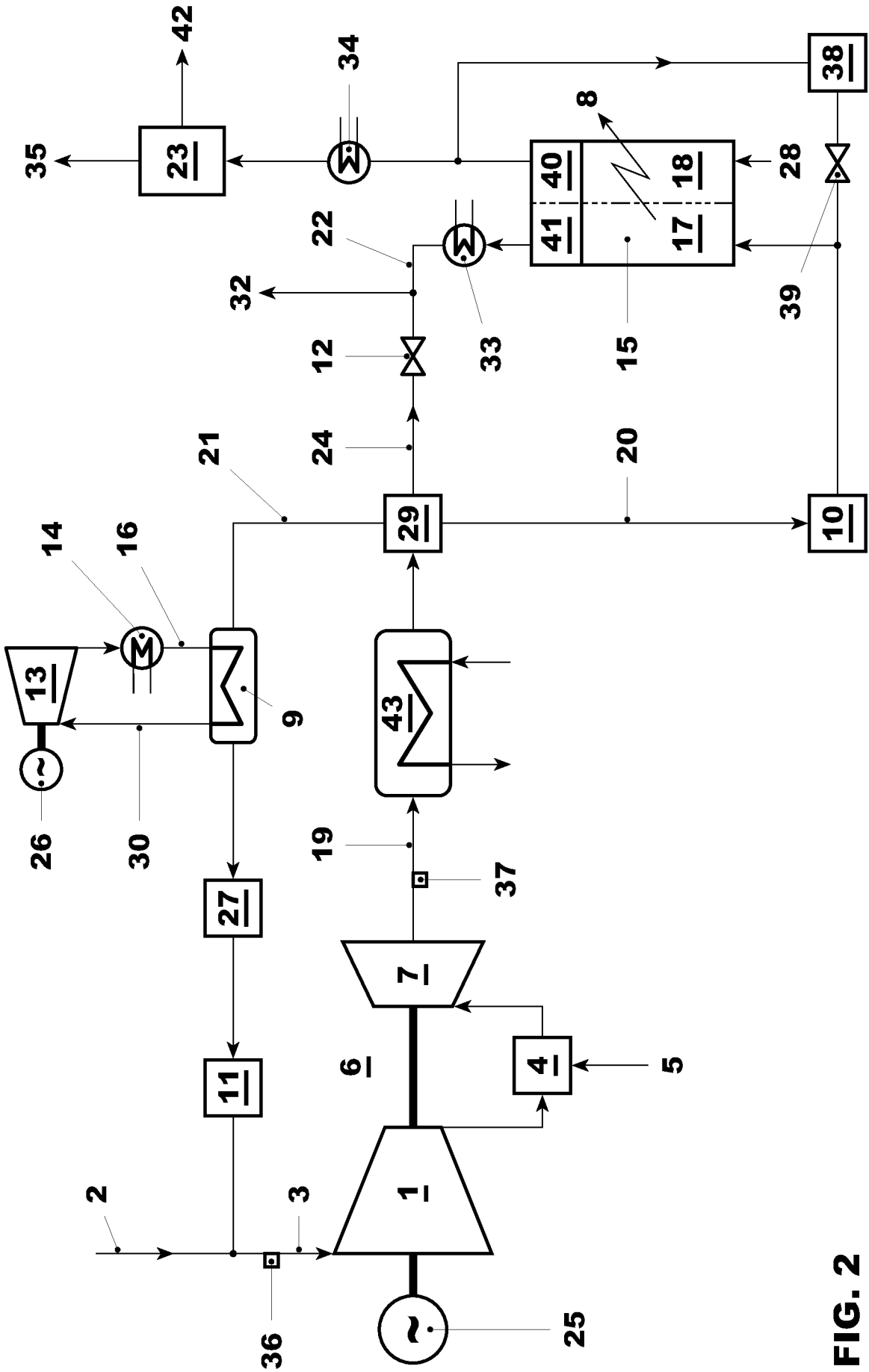


FIG. 2

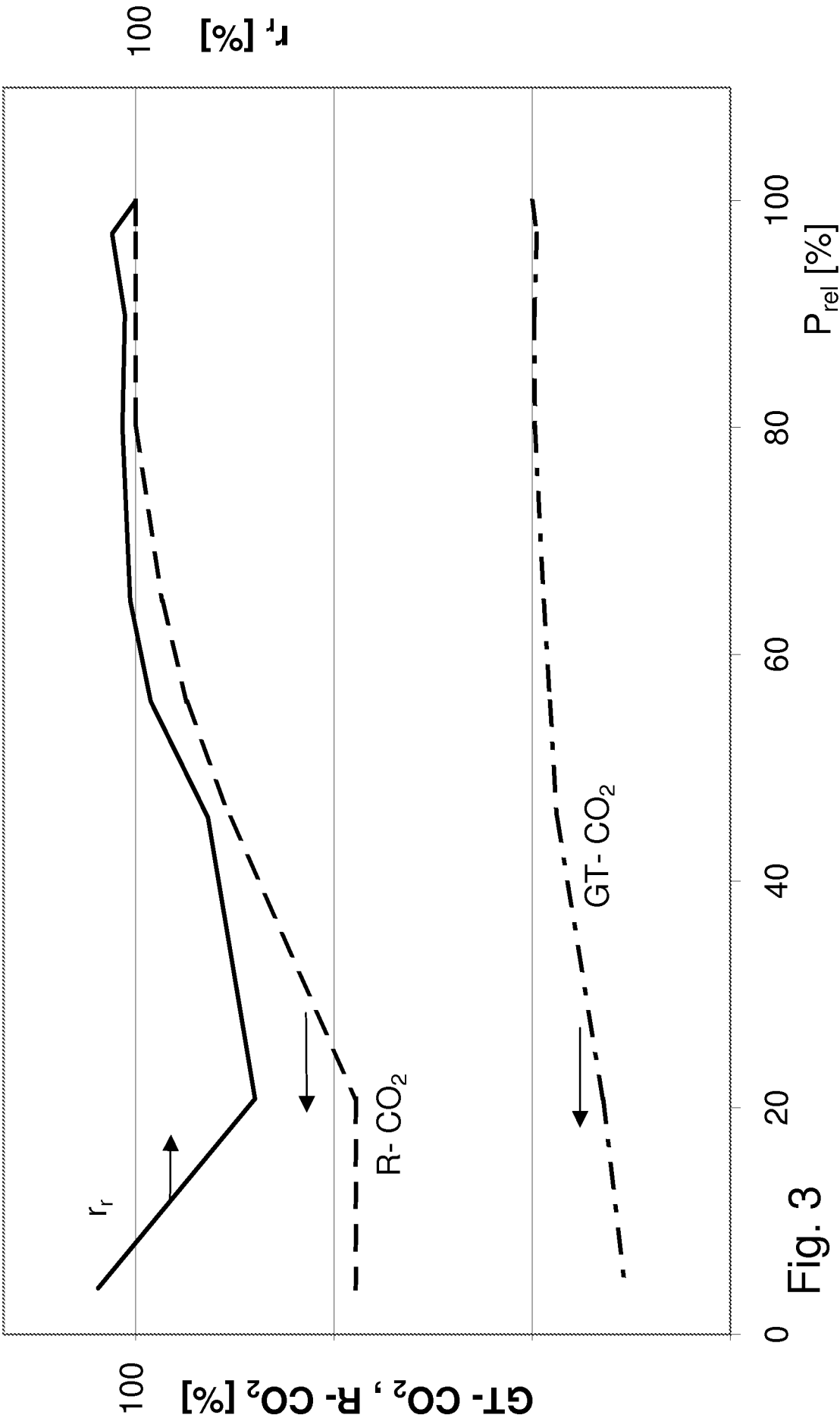


Fig. 3

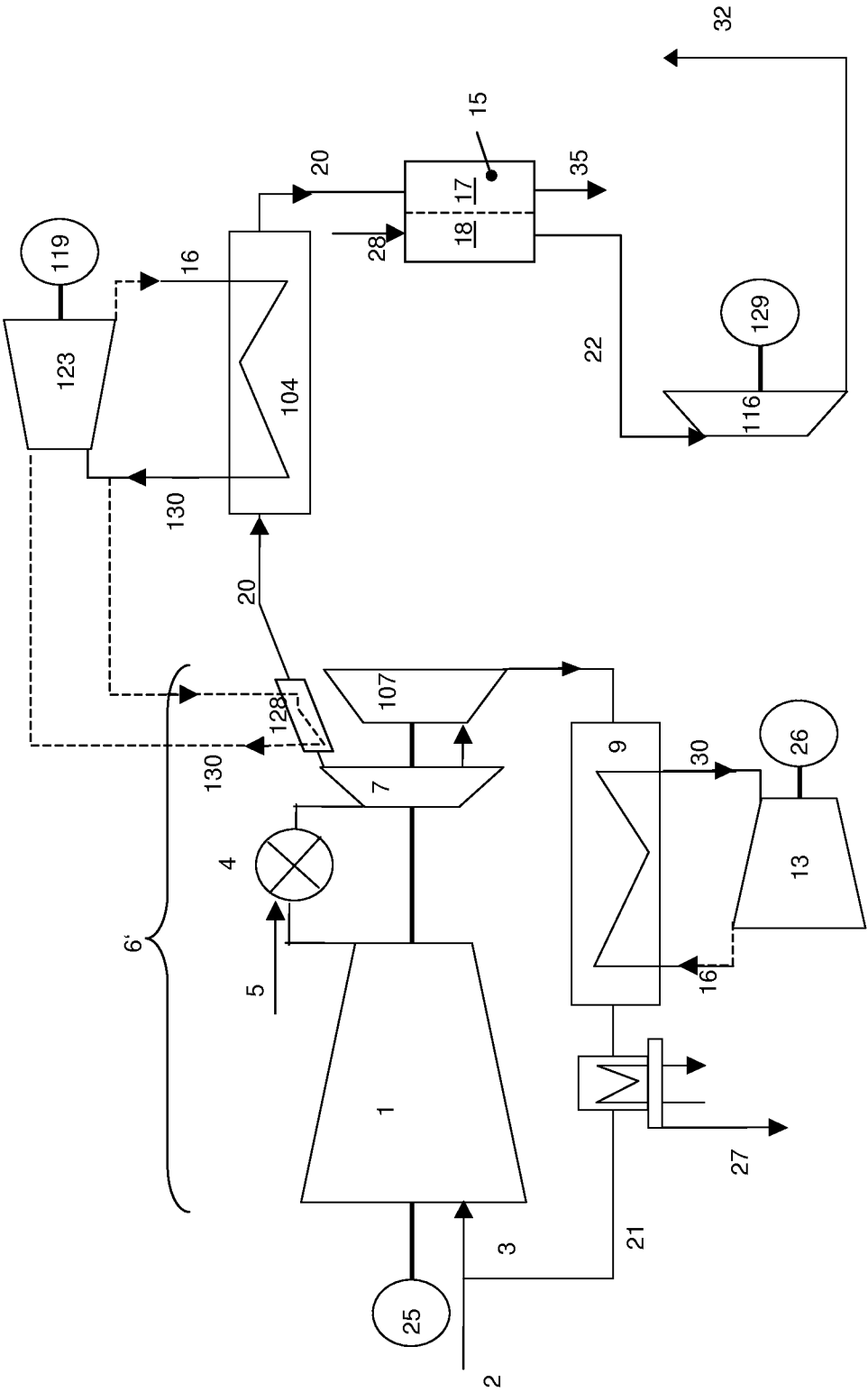


Fig. 4

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2010/057705

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. F02C3/34 F02C6/18 H01M8/04
ADD.

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

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
F02C H01M

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

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

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US 5 319 925 A (HENDRIKS RUDOLF [NL] ET AL) 14 June 1994 (1994-06-14) column 4, line 23 - line 44; figures 1,2	1-15
Y	DE 10 2005 015151 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 26 October 2006 (2006-10-26) the whole document	1-3,8,9, 11-13
Y	WO 2008/155242 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; BRAUTSCH ANDREAS [CH]; WINKLER DIETER [DE]) 24 December 2008 (2008-12-24) the whole document	4-7,10
A		1-3,12, 13
	----- -/--	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

26 July 2010

Date of mailing of the international search report

05/08/2010

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Koch, Rafael

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/057705

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 40 32 993 C1 (MANNESMANN AG, 4000 DUESSELDORF, DE; K.T.I. GROUP B.V., ZOETERMEER, NL) 7 May 1992 (1992-05-07)	7,14
A	pages 6-8; figure 4	1,6,8, 10,12,13
Y	GB 2 283 284 A (US ENERGY [US]) 3 May 1995 (1995-05-03)	9,15
A	figure 1	1,6,8, 10-12,14
Y	WO 2005/088103 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; FERRARI FLAVIO [CH]; GORTYCHOV ALEXEI [CH]) 22 September 2005 (2005-09-22)	6
	page 9	
A	JP 2006 100197 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 13 April 2006 (2006-04-13) * abstract; figures 1-3	1,7, 10-13
A	EP 1 429 000 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16 June 2004 (2004-06-16)	1-5,10, 12
	figure 1	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/057705

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 5319925	A	14-06-1994	NONE	
DE 102005015151	A1	26-10-2006	EP 1752616 A2	14-02-2007
			US 2007034171 A1	15-02-2007
WO 2008155242	A	24-12-2008	EP 2158388 A1	03-03-2010
			US 2010115960 A1	13-05-2010
DE 4032993	C1	07-05-1992	AT 110888 T	15-09-1994
			CA 2094129 A1	16-04-1992
			CN 1060741 A	29-04-1992
			CS 9103100 A3	12-08-1992
			WO 9207392 A1	30-04-1992
			DE 59102772 D1	06-10-1994
			DK 0553125 T3	03-10-1994
			EP 0553125 A1	04-08-1993
			ES 2059152 T3	01-11-1994
			HU 63712 A2	28-09-1993
			JP 6504873 T	02-06-1994
			NO 931354 A	13-04-1993
			PL 292029 A1	15-06-1992
			RU 2119700 C1	27-09-1998
			SK 279757 B6	12-03-1999
			US 5417051 A	23-05-1995
GB 2283284	A	03-05-1995	CA 2133809 A1	29-04-1995
			DE 4438624 A1	04-05-1995
			JP 7201349 A	04-08-1995
			US 5449568 A	12-09-1995
WO 2005088103	A	22-09-2005	DE 102004012080 A1	13-10-2005
JP 2006100197	A	13-04-2006	NONE	
EP 1429000	A1	16-06-2004	US 2004244381 A1	09-12-2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/057705

A. KLASSTIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. F02C3/34 F02C6/18 H01M8/04
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

F02C H01M

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	US 5 319 925 A (HENDRIKS RUDOLF [NL] ET AL) 14. Juni 1994 (1994-06-14) Spalte 4, Zeile 23 - Zeile 44; Abbildungen 1,2	1-15
Y	DE 10 2005 015151 A1 (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]) 26. Oktober 2006 (2006-10-26) das ganze Dokument	1-3,8,9, 11-13
Y	WO 2008/155242 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; BRAUTSCH ANDREAS [CH]; WINKLER DIETER [DE]) 24. Dezember 2008 (2008-12-24)	4-7,10
A	das ganze Dokument	1-3,12, 13
	----- -/--	



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :

"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

26. Juli 2010

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

05/08/2010

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Koch, Rafael

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 40 32 993 C1 (MANNESMANN AG, 4000 DUESSELDORF, DE; K.T.I. GROUP B.V., ZOETERMEER, NL) 7. Mai 1992 (1992-05-07)	7,14
A	Seiten 6-8; Abbildung 4	1,6,8, 10,12,13
Y	GB 2 283 284 A (US ENERGY [US]) 3. Mai 1995 (1995-05-03)	9,15
A	Abbildung 1	1,6,8, 10-12,14
Y	WO 2005/088103 A (ALSTOM TECHNOLOGY LTD [CH]; FERRARI FLAVIO [CH]; GORTYCHOV ALEXEI [CH]) 22. September 2005 (2005-09-22) Seite 9	6
A	JP 2006 100197 A (MITSUBISHI HEAVY IND LTD) 13. April 2006 (2006-04-13) * Zusammenfassung; Abbildungen 1-3	1,7, 10-13
A	EP 1 429 000 A1 (SIEMENS AG [DE]) 16. Juni 2004 (2004-06-16) Abbildung 1	1-5,10, 12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/057705

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5319925 A	14-06-1994	KEINE	
DE 102005015151 A1	26-10-2006	EP 1752616 A2	14-02-2007
		US 2007034171 A1	15-02-2007
WO 2008155242 A	24-12-2008	EP 2158388 A1	03-03-2010
		US 2010115960 A1	13-05-2010
DE 4032993 C1	07-05-1992	AT 110888 T	15-09-1994
		CA 2094129 A1	16-04-1992
		CN 1060741 A	29-04-1992
		CS 9103100 A3	12-08-1992
		WO 9207392 A1	30-04-1992
		DE 59102772 D1	06-10-1994
		DK 0553125 T3	03-10-1994
		EP 0553125 A1	04-08-1993
		ES 2059152 T3	01-11-1994
		HU 63712 A2	28-09-1993
		JP 6504873 T	02-06-1994
		NO 931354 A	13-04-1993
		PL 292029 A1	15-06-1992
		RU 2119700 C1	27-09-1998
		SK 279757 B6	12-03-1999
		US 5417051 A	23-05-1995
GB 2283284 A	03-05-1995	CA 2133809 A1	29-04-1995
		DE 4438624 A1	04-05-1995
		JP 7201349 A	04-08-1995
		US 5449568 A	12-09-1995
WO 2005088103 A	22-09-2005	DE 102004012080 A1	13-10-2005
JP 2006100197 A	13-04-2006	KEINE	
EP 1429000 A1	16-06-2004	US 2004244381 A1	09-12-2004