

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

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Dezember 2006 (07.12.2006)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2006/128426 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B01D 53/22 (2006.01) *H01M 8/06* (2006.01)
C01B 13/02 (2006.01) *F23L 7/00* (2006.01)

(74) Gemeinsamer Vertreter: FORSCHUNGSZENTRUM
JÜLICH GMBH; Fachbereich Patente, 52425 Jülich
(DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2006/000906

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

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Mai 2006 (26.05.2006)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2005 025 345.8 31. Mai 2005 (31.05.2005) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US*): FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH [DE/DE]; Wilhelm-Johnen-Strasse, 52425 Jülich (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): BLUM, Ludger [DE/DE]; Meyburginsel 27b, 52428 Jülich (DE). SCHNEIDERS, Christoph [DE/DE]; Bulmannstrasse 53, 90459 Nürnberg (DE). RIENSCHKE, Ernst [DE/DE]; Am Wasserwerk 18, 52428 Jülich (DE).

(84) Bestimmungsstaaten (*soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart*): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: POWER STATION HAVING HOT CO₂ GAS RECYCLING AND METHOD FOR OPERATING THE SAME

(54) Bezeichnung: KRAFTWERK MIT CO₂-HEISSGASRÜCKFÜHRUNG SOWIE VERFAHREN ZUM BETREIBEN DESSELBEN

(57) Abstract: The invention relates to an improved power station having hot CO₂ gas recycling which recycles CO₂ from the combustion process at high temperature. For this, compared with the previously known power station designs, two improvements have been made. Firstly, the flue gas/air heat exchanger was matched to the requirements of the high temperature membrane and connection to the high temperature membrane designed in such a manner that the hot gas and the air now flow in countercurrent through these components. The hot flue gas flows in this case first through the membrane and then is cooled in the heat exchanger, the air in contrast is first heated in the heat exchanger and reaches the membrane with sufficiently high temperature. The gas temperatures in the membrane are virtually constant and the temperature differences between flue gas and air in the membrane are advantageously low. The abovementioned connection succeeds in producing a region within the hot gas circuit having considerably decreased temperature of approximately 500°C. By shifting position of the circulation fan to this region, the problem of previously absent implementation of a hot gas fan is solved.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein verbessertes Kraftwerk mit CO₂-Heißgasrückführung, welches CO₂ aus dem Verbrennungsprozess mit hoher Temperatur zurückführt. Dazu wurden gegenüber den bislang bekannten Kraftwerkskonzepten zwei Verbesserungen vorgenommen. Zum einen wurde der Rauchgas/Luft-Wärmetauscher an die Erfordernisse der Hochtemperatur-Membran angepasst und die Verschaltung mit der Hochtemperatur-Membran so konzipiert, dass das Heißgas und die Luft diese Bauteile nun im Gegenstrom durchströmen. Das heiße Rauchgas durchströmt dabei zuerst die Membran und wird dann im Wärmetauscher abgekühlt, die Luft hingegen wird zuerst im Wärmetauscher aufgeheizt und erreicht die Membran mit ausreichend hoher Temperatur. Die Gas-temperaturen in der Membran sind nahezu konstant und die Temperaturdifferenzen zwischen Rauchgas und Luft in der Membran sind vorteilhaft gering. Durch die vorgenannte Verschaltung ist es gelungen, innerhalb des Heißgaskreislaufes einen Bereich mit erheblich abgesenkter Temperatur von ca. 500°C zu schaffen. Durch Positionsverschiebung des Kreislaufgebläses in diesen Bereich ist nun das Problem für bislang fehlende Realisierung eines Heißgasgebläses gelöst.

WO 2006/128426 A1



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

B e s c h r e i b u n g
Kraftwerk mit CO₂-Heißgasrückführung
sowie Verfahren zum Betreiben desselben

Die Erfindung betrifft ein Kraftwerk, insbesondere ein effektives Hochtemperatur-Membrankraftwerk mit Heißgasrückführung. Die Erfindung betrifft ferner ein Verfahren zum Betreiben eines solchen Kraftwerkes.

5

Stand der Technik

Als Kraftwerke mit Heißgasrückführung sind unter anderem fossil betriebene Dampfkraftwerke oder auch Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit Anodengas- oder Kathodengasrückführung bekannt. Aus der Verfahrenstechnik ist ferner bekannt, dass eine zumindest teilweise Rückführung von Gasströmen zu verbesserten Konzepten führen kann, bzw. ist diese in manchen Fällen sogar zwingend notwendig. Die Rückführung von Gasströmen geschieht in der Regel mit einem Gebläse bzw. einem Verdichter, welche das Gas zurückfördern. Nach dem bisherigen Stand der Technik sind derartige Kreislaufgebläse allerdings nur bis zu einer Betriebstemperatur von ca. 500 °C verfügbar. Bei sehr heißen zurückzuführenden Gasen mit Temperaturen oberhalb von 500 °C müssen deshalb spezielle Problemlösungen gesucht werden.

Bei den oben erwähnten Hochtemperatur-Brennstoffzellen mit Anodengas- oder Kathodengasrückführung trifft das heiße rückgeführte Gas in der Regel auf kaltes Feedgas. Dadurch entsteht ein Bereich mit abgesenkter Temperatur im Gaskreislauf. Bei diesen Systemen kann das Problem eines besonders temperaturbeständigen Heißgasgebläses dadurch entschärft werden, dass das Gebläse in diesen kälteren Hauptstrom des Gaskreislaufes positioniert wird. Obwohl nun das Gebläse den eintretenden Gasstrom nach vorn fördert, wird dennoch der Gasfluss im gesamten Kreislauf angeregt und somit auch das rückzuführende Gas gefördert.

Schwieriger ist die Ausgangssituation bei einem anderen Anlagenkonzept, auf dem diese Erfindung basiert. Dessen Grundkonzept weist einen notwendigerweise heißen zurückzuführenden Gasstrom auf. In diesem Fall ist
5 aber auch das Feedgas heiß, so dass sich nach der Mischung keine Temperaturabsenkung ergibt und somit keine Möglichkeit, in der Praxis ein nur bis 500 °C belastbares Gebläse einzusetzen.

Derzeitiger Stand der Kraftwerkskonzepte mit CO₂-Abtrennung

10 Längerfristig wird weltweit angestrebt, durch Entwicklung geeigneter Verfahren CO₂ aus Kraftwerken abzutrennen und damit den CO₂-Ausstoß erheblich zu senken. Die Abtrennung von CO₂ aus Kraftwerksprozessen ist grundsätzlich über 3 Technologierouten erzielbar [1]:

15 1.a "Post-Combustion-Capture": Abtrennung von CO₂ aus dem Rauchgas nach der Verbrennung durch geeignete Wäschen bzw. langfristig durch Membransysteme

Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass hohe Volumenströme an
20 Rauchgas mit vergleichsweise geringer CO₂-Konzentration gereinigt werden müssen. Membranen zur Abtrennung des CO₂ werden deshalb einen hohen Bedarf an Membranfläche aufweisen.

25 1.b "Pre-Combustion-Capture": Abtrennung von CO₂ in einem Zwischenschritt nach Kohlevergasung (bzw. Erdgasreformierung), aber noch vor der Verbrennung mit Luft

Die verschiedenen bisher entwickelten Kohlevergasungsverfahren werden bevorzugt mit Sauerstoff oder angereicherter Luft (und Dampf) unter
30 Druck (ca. 20-30 bar) betrieben. Deshalb weist das Kohlegas im Hinblick auf eine CO₂-Abtrennung zwei entscheidende Vorteile auf. Zum einen ist der reale Volumenstrom (mit wenig Stickstoff und bei hohem Druck) etwa

um das 100-fache geringer als bei den Rauchgasen üblicher Dampfkraftwerke. Dies führt unmittelbar zu hohen Partialdrücken der Hauptkomponenten CO und H₂. Nach einer zusätzlichen CO-Konvertierung nach CO₂ und H₂ mittels Dampfzufuhr (Shift-Reaktor) zur Konditionierung des Kohlegases für eine CO₂-Abtrennung eröffnen sich zwei Optionen:

- Abtrennung von CO₂ z. B. mit einer Wäsche oder
- Abtrennung einer hinreichenden Menge H₂ mittels einer Membran, wobei im Retentat ein CO₂-reiches Gas zurückbleibt, geeignet für eine Verflüssigung und Deponierung.

Bei beiden Optionen wird der Wasserstoff anschließend in einem Gas- und Dampfturbinen-Prozess (GuD-Prozess) (mit H₂-Turbine, die z. B. bei SIEMENS entwickelt wird) verstromt.

1.c "Oxyfuel-Prozess": Sehr einfache CO₂-Abtrennung nach Verbrennung mit reinem Sauerstoff

Dieses Verfahren hat einen entscheidenden Vorteil. Verbrennung in reinem Sauerstoff liefert als Verbrennungsprodukt nur CO₂ und Wasserdampf, der beim Abkühlen des Gasgemisches auf sehr einfache Weise durch Kondensation vom CO₂ getrennt werden kann.

Bei allen Oxyfuel-Prozessen wird ein Teil des Rauchgases mit Temperaturen unter 1000 °C zurückgeführt, um die Temperaturen in der Brennkammer auf 1500 °C zu begrenzen. Eine Verbrennung mit reinem Sauerstoff ohne ein Luft/Stickstoffgemisch bzw. ohne rückgeführtes CO₂-Gas würde regelmäßig zu Verbrennungstemperaturen von weit über 2000 °C führen. Dieses Rauchgas enthält überwiegend CO₂. Das Temperaturniveau des rückgeführten Rauchgases kann je nach Konzept sehr unterschiedlich ausfallen.

Auch hinsichtlich der Sauerstofferzeugung existieren prinzipiell unterschiedliche Verfahren:

2.a Konzept mit Luftzerlegungsanlage (LZA)

Der Sauerstoff kann mittels Tieftemperaturzerlegung in einer LZA gewonnen werden, allerdings unter hohem Energieaufwand. Das mittels Gebläse zurückgeführte Rauchgas weist eine niedrige Temperatur auf [2]. Diese variiert zwischen 160 und 340 °C bei den verschiedenen publizierten Varianten.

2.b Konzept mit Hochtemperatur-O₂-Membran

10

Höchste O₂/N₂-Trennselektivität kann durch sog. „dichte“ Membransysteme auf Basis von Mischleitern mit gleichzeitiger Elektronen- und Sauerstoffionen-Leitfähigkeit erreicht werden. Modifizierte Perowskite, wie sie heute als Kathodenmaterialien für Hochtemperatur-Brennstoffzellen eingesetzt werden, sind dafür besonders geeignet. Allerdings ist eine hohe Betriebstemperatur von mindestens ca. 800 °C erforderlich [3, Seite 62].

15

2.c Konzept mit Niedertemperatur-O₂-Membran

20

Alternative poröse Niedertemperatur-O₂-Membransysteme kommen vorläufig noch nicht in Frage, da hier noch ein sehr hoher Entwicklungsbedarf vorhanden ist.

25

Ausgangspunkt dieser Erfindung ist das Hochtemperatur-Membran-Kraftwerkskonzept des Verbundvorhabens „OXYCOAL-AC“ der RWTH Aachen. Dort wird das CO₂ aus dem Verbrennungsprozess mit hoher Temperatur zurückgeführt, um eine ausreichend hohe Temperatur in der Membran aufrechterhalten zu können [4]. Im Gleichstrom mit dem Rauchgas erfolgt die Vorwärmung der Luft zunächst in einem Wärmetauscher und anschließend auch innerhalb der Membran.

30

Dieses Konzept weist derzeit jedoch noch zwei Nachteile auf:

- Die gewählte Verschaltung wird innerhalb der Membran zu inhomogenen Temperaturverläufen führen.
- In dieser Anordnung ist ein Kreislaufgebläse bei sehr hoher Temperatur (850°C) zu betreiben. Die Realisierung dieser Komponente stellt ein schwerwiegendes Problem dar und erfordert erheblichen Forschungsbedarf [4].

Bei moderaten Betriebstemperaturen bis 500 °C können für die Gasförderung für hohe Volumenströme mit einer nur geringen Druckerhöhung bis ca. 800 mbar Ventilatoren eingesetzt werden. Für Druckerhöhungen über 800 mbar werden Kompressoren verwendet. Bis zu einem Druckverhältnis von 7 werden Gasströme einstufig ohne Zwischenkühlung verdichtet.

Demgegenüber müssten für eine Heißgasförderung Spezialgebläse, wie beispielsweise riemengetriebene Radialventilatoren, eingesetzt werden, die aufgrund der hohen Betriebstemperaturen und den daraus resultierenden technischen Gegebenheiten nur einen geringen Druckaufbau zulassen. In der Regel werden Heißgasgebläse im Gegensatz zu normalen Gebläsen mit einem deutlich schlechteren Wirkungsgrad (60 %) simuliert.

Aufgabe und Lösung

Aufgabe dieser Erfindung ist es, ein effektives und gegenüber dem Stand der Technik verbessertes Kraftwerk mit CO₂-Heißgasrückführung zur Verfügung zu stellen, welches CO₂ aus dem Verbrennungsprozess mit hoher Temperatur zurückführt, und welches konstruktiv kein Problem mit einem Heißgasgebläse aufweist.

Ferner ist es die Aufgabe der Erfindung, ein Verfahren zum Betreiben des vorgenannten verbesserten Kraftwerkes zur Verfügung zu stellen.

Die Aufgaben der Erfindung werden gelöst durch ein Kraftwerk mit CO₂-Heißgasrückführung und weiteren Merkmalen gemäß Hauptanspruch so-

wie durch ein Verfahren zum Betreiben dieses Kraftwerks gemäß Nebenanspruch. Vorteilhafte Ausführungsformen des Kraftwerks und des Verfahrens zum Betreiben desselben finden sich in den jeweils rückbezogenen Ansprüchen.

5

Gegenstand der Erfindung

Der Gegenstand der Erfindung ist ein Kraftwerk mit CO₂-Heißgasrückführung mit der Gesamtheit an Merkmalen des Hauptanspruchs. Dabei sind unter dem Begriff Kraftwerke sowohl mit Kohle oder auch mit Gas betriebene Dampfkraftwerke, als auch beispielsweise Hochtemperatur-Brennstoffzellen-Kraftwerke mit umfasst.

10

Das Kraftwerk umfasst dabei eine Zufuhr für Brennstoff, eine Zufuhr für Oxidationsmittel sowie eine Reaktionskammer. Bei einem Dampfkraftwerk entspricht die Reaktionskammer dabei der Brennerkammer bzw. dem Dampferzeuger, während sie bei einer Hochtemperatur-Brennstoffzelle der eigentlichen Membran-Elektroden-Einheit entspricht, in der die elektrochemische Umsetzung stattfindet. Aus der Reaktionskammer wird CO₂-haltiges heißes Rauchgas, bzw. Anoden- und Kathodenabgas abgeleitet. Für das Rauchgas ist eine Kreislaufführung (Heißgasrückführung) vorgesehen, die wenigstens einen Wärmetauscher, eine Hochtemperaturmembran zur Abtrennung von O₂ aus Luft sowie ein Gebläse umfasst. Das Gebläse dient der Kompression und der Gasförderung in der Kreislaufführung. Das für die Realisierung der Heißgasrückführung an günstiger Position angeordnete Gebläse, bzw. der Verdichter ist dadurch gekennzeichnet, dass als Gebläse ein lediglich bis zu 500°C ausgelegtes Gebläse eingesetzt wird.

15

20

25

30

Gegenüber dem aus der Literatur bekannten Kraftwerkskonzept OXYCOAL-AC (400 MW) unterscheidet sich die Erfindung durch konstruktive Maßnahmen zur Temperaturbeeinflussung im Gaskreislauf, insbe-

sondere für die Schaffung einer lokalen Temperaturabsenkung für eine günstige Gebläsepositionierung. Dabei wurde die Aufgabe der Erfindung insbesondere durch Kombination zweier Maßnahmen gelöst.

5 A) Anpassung des Rauchgas/Luft-Wärmetauschers an die Erfordernisse der Hochtemperatur-Membran

Die Verschaltung der Hochtemperatur-Membran mit dem zugehörigen Wärmetauscher wurde so konzipiert, dass die Membran unter optimalen Bedingungen (hohe Temperatur, niedrige Temperaturgradienten) betrieben werden kann. Das Heißgas und die Luft durchströmen diese Bauteile nun im
10 Gegenstrom. Das heiße Rauchgas durchströmt dabei zuerst die Membran und wird dann im Wärmetauscher abgekühlt, die Luft hingegen wird zuerst im Wärmetauscher aufgeheizt und erreicht die Membran mit ausreichend hoher Temperatur, so dass nahezu konstante hohe Gastemperaturen in der
15 Membran vorhanden sind. Auch die Temperaturdifferenzen zwischen Rauchgas und Luft in der Membran sind gering, so dass konstruktive Probleme aufgrund von Wärmespannungen nicht zu erwarten sind.

20 B) Positionsverschiebung des Kreislaufgebläses in den neu geschaffenen kälteren Bereich des Gaskreislaufs

Durch diese Verschaltung ist es außerdem gelungen, innerhalb des Heißgaskreislaufes einen Bereich mit erheblich abgesenkter Temperatur von ca. 500°C zu schaffen. Durch Positionsverschiebung des Kreislaufgebläses
25 in diesen Bereich (nach Membran und Wärmetauscher und vor der Brennkammer) ist nun das Problem für bislang fehlende Realisierung eines Heißgasgebläses gelöst. Es ergibt sich nur ein geringer Nachteil durch den an dieser Stelle des Kreislaufs etwas vergrößerten Volumenstrom infolge des hinzugekommenen Sauerstoffs.

Während ein Heißgasgebläse für Temperaturen um 850°C einen erheblichen Forschungsbedarf aufweist, sind Gebläse bei 500°C prinzipiell mit vorhandener Technologie darstellbar.

5

Spezieller Beschreibungsteil

Nachfolgend wird der Gegenstand der Erfindung anhand von Figuren näher erläutert, ohne dass der Gegenstand der Erfindung dadurch beschränkt wird. Es zeigen

10 Figur 1: Oxycoal-Konzept mit O₂ aus LZA (920 MW): CO₂-Rückführung bei niedriger Temperatur und Verbrennung mit O₂/CO₂

Figur 2: Kraftwerkskonzept OXYCOAL-AC (400 MW): CO₂-Heißgasrückführung mit Heißgas-Gebläse, Rauchgas/Luft-Wärmetauscher im Gleichstrom

15 Figur 3: Membran-Kraftwerk "Oxycoal-FZJ" (Simulation mit PRO/II): CO₂-Heißgasrückführung, Gegenstrom-Wärmetauscher und Kreislauf-Gebläse im Hauptstrom bei mittlerer Temperatur

20 Alle drei Konzepte basieren auf dem Oxyfuel-Prozess, bei dem die Verbrennung mit reinem Sauerstoff als Verbrennungsprodukte nur CO₂ und Wasserdampf liefert, der beim Abkühlen des Gasgemisches auf sehr einfache Weise durch Kondensation vom CO₂ getrennt werden kann. Ein großes Entwicklungspotential wird Hochtemperatur-O₂-Membranen zugesprochen, insbesondere aufgrund von energetischen Gesichtspunkten. Voraussetzung dafür ist, dass kostengünstige Membranen zur Verfügung stehen.

25

Die Figur 1 stellt ein denkbares zukünftiges Kraftwerkskonzept dar, bei dem der eingesetzte Sauerstoff zunächst in einer Luftzerlegungsanlage (LZA) bereitgestellt wird. Das die Brennkammer bzw. den Dampferzeuger verlassende Rauchgas weist bei verschiedenen Konzeptvarianten niedrige

30

Temperaturen zwischen 160 und 340 °C auf. An hier einzusetzende Gebläse sind keine herausragenden Anforderungen zu stellen.

In den Figuren 2 und 3 sind jeweils Konzepte dargestellt, bei denen der benötigte Sauerstoff direkt aus der komprimierten Luft über O₂-Membranen abgetrennt wird, während das vorwiegend aus CO₂ bestehende rezirkulierte Rauchgas als Spülgas eingesetzt wird. Dadurch wird ein niedriger CO₂-Partialdruck auf der Permeatseite erreicht, was für eine aussichtsreiche Triebkraft der O₂-Permeation wichtig ist. Die Hochtemperaturmembranen sind direkt im Heißgaskreislauf angeordnet.

Gemäß dem Konzept in Figur 2 wird das heiße Gas in einem Gleichstrom-Wärmetauscher zunächst leicht abgekühlt, durchläuft die Hochtemperaturmembran und wird mit O₂ angereichert der Brennkammer wieder zugeführt. Die Temperatur im Gaskreislauf variiert dabei nur relativ geringfügig von ca. 850 °C beim Verlassen der Brennkammer bis auf ca. 700 – 800 °C beim Wiedereintritt in dieselbe. Unabhängig davon, ob das für die Rückführung benötigte Gebläse in Strömungsrichtung direkt hinter der Brennkammer oder zwischen Wärmetauscher und Hochtemperaturmembran oder zwischen Hochtemperaturmembran und der Brennkammer angeordnet werden würde, es müsste in jedem Fall Temperaturen oberhalb von 700 °C standhalten.

Ferner wird die Effizienz der Hochtemperaturmembran dadurch herabgesetzt, dass die beiden Gasströme, die zugeführte Luft und das Heißgas deutlich unterschiedliche Temperaturen aufweisen. So wird die zugeführte Luft zwar über einen Wärmetauscher auf ca. 600 – 700 °C vorgewärmt, allerdings wird gleichzeitig die Temperatur des Rauchgases auf ca. 700 – 800 °C abgesenkt. Hochtemperaturmembranen arbeiten aber erst ab ca. 800 °C effektiv. Zudem würden die großen Temperaturgradienten über die Membran nachteilig zu mechanischen Belastungen und möglicherweise Rissen in der Membran führen.

Dem gegenüber wurden in dem erfinderischen Kraftwerkskonzept in Figur 3 zwei entscheidende Veränderungen vorgenommen.

5 Zum einen wurde die Verschaltung der Hochtemperaturmembran und des dazugehörigen Wärmetauschers verändert. Das Heißgas und die Luft durchströmen diese Bauteile nicht mehr im Gleichstrom, sondern im Gegenstrom. Das heiße Rauchgas durchströmt dabei zunächst die Membran und wird erst anschließend im Wärmetauscher abgekühlt. Die Luft wird
10 entsprechend erst im Wärmetauscher ausreichend aufgeheizt, bevor sie die Membran durchströmt. Dadurch wird vorteilhaft das Temperaturniveau an der Membran gesteigert. Zudem wird durch diese Strömungsführung die mittlere Temperaturdifferenz über die Membran erheblich verringert, was zu deutlich geringeren konstruktiven Problemen aufgrund von Wärmespannungen führt.

15 Als zweite Prozessveränderung wurde das Gebläse, bzw. der Verdichter, welches für die Umwälzung des Rauchgases zuständig ist, von der heißen Seite des Rauchgasstromes entfernt und an die Stelle nach der Membran und dem Wärmetauscher angeordnet, wo der Gastrom deutlich abgekühlt
20 vorliegt. Der Verdichter muss einen großen Volumenstrom mit einem kleinen Druckverhältnis verdichten. Der Nachteil des durch den hinzugekommenen Sauerstoff vergrößerten Stoffstroms wird durch die von ca. 850 °C auf ca. 500 °C abgesunkene Temperatur überkompensiert. Während ein Heißgasgebläse für Temperaturen um 850 °C noch einen erheblichen Forschungsbedarf aufweisen würde, sind Gebläse, die für eine Betriebstemperatur von ca. 500 °C ausgelegt sind, prinzipiell schon vorhanden.
25

In dieser Anmeldung zitierte Literatur

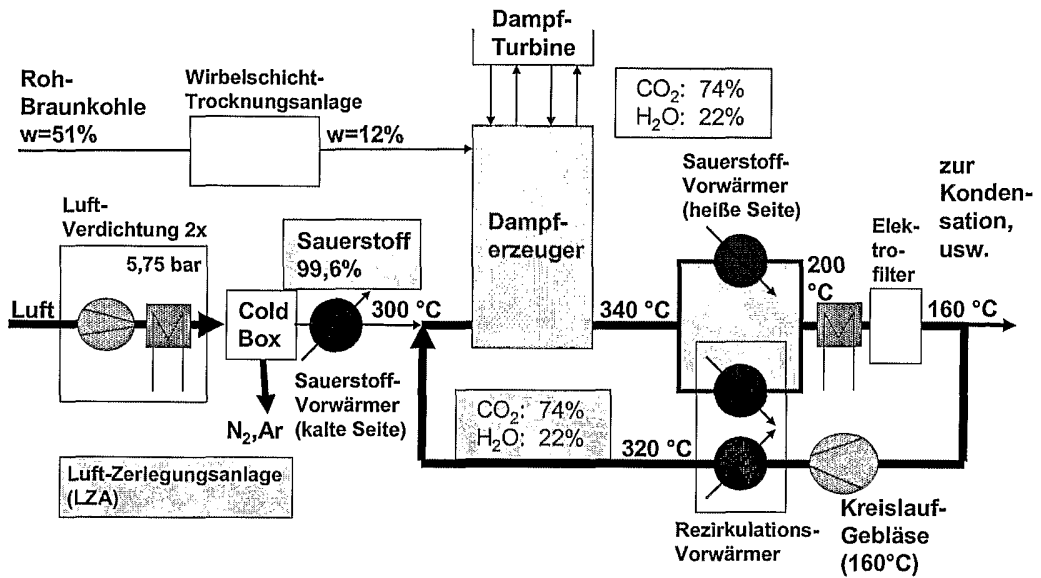
- 5 [1] J. Ewers, W. Renzenbrink, F. Hannemann, G. Haupt, G. Zimmermann, Entwicklung von Kombikraftwerkskonzepten zur CO₂-freien Stromerzeugung, XXXVI. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, TU Dresden, 19.-20. Okt. 2004, Beitrags-Nr. V27.
- [2] S. Hellfritsch et al., Fortschritte bei der Weiterentwicklung des Oxyfuel-Prozesses am Beispiel eines Braunkohlekraftwerkes, XXXVI. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, TU Dresden, 19.-20. Okt. 2004, Beitrags-Nr. V41.
- 10 [3] Th. Melin, R. Rautenbach, Membranverfahren – Grundlagen der Modul- und Anlagenauslegung, Springer-Verlag Berlin, 2. Aufl., 2004.
- [4] U. Renz, Entwicklung eines CO₂-emissionsfreien Kohleverbrennungsprozesses zur Stromerzeugung in einem Verbundvorhaben der RWTH Aachen, XXXVI. Kraftwerkstechnisches Kolloquium, TU Dresden, 19.-
15 20. Okt. 2004, Beitrags-Nr. V42.

P a t e n t a n s p r ü c h e

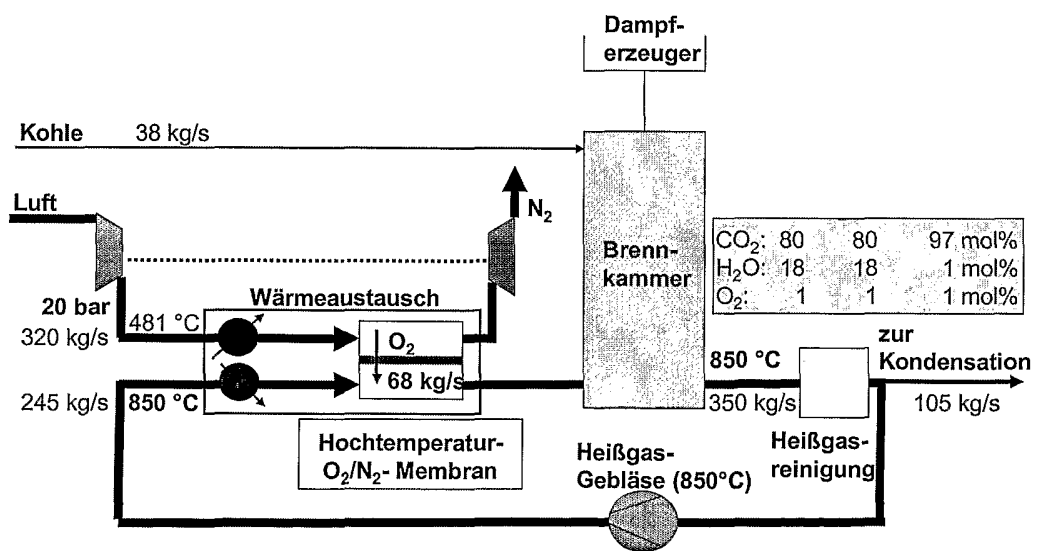
-
1. Kraftwerk umfassend eine Zufuhr für Brennstoff (1), eine Zufuhr für Oxidationsmittel (2), eine Reaktionskammer (3), einen Gaskreislauf (4), wenigstens einen Wärmetauscher (5) sowie eine Hochtemperaturmembran (6) zur Trennung von O₂ und N₂ sowie ein im Gaskreislauf angeordnetes Gebläse (7),
5 dadurch gekennzeichnet, dass als Gebläse ein bis zu 500 °C ausgelegtes Gebläse angeordnet ist.
 2. Kraftwerk nach vorhergehendem Anspruch 1, bei dem die Hochtemperaturmembran (6) zur Abtrennung von O₂ aus Luft als Gegenstromvariante ausgelegt ist.
10
 3. Kraftwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 2, bei dem der Wärmetauscher (5) im Gaskreislauf zwischen der Hochtemperaturmembran (6) und der Reaktionskammer (3) angeordnet ist.
 4. Kraftwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3 mit
15 einem weiteren Wärmetauscher (5), der in Strömungsrichtung des zugeführten Oxidationsmittels vor der Hochtemperaturmembran (6) angeordnet ist.
 5. Kraftwerk nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 4, bei dem das Gebläse zwischen dem Wärmetauscher (5) und der Reaktionskammer (3) angeordnet ist.
20
 6. Verfahren zum Betreiben eines Kraftwerkes nach einem der Ansprüche 1 bis 5, bei dem das heiße Gas aus der Reaktionskammer (3) zunächst in einem Wärmetauscher (5) abgekühlt und anschließend durch das Gebläse geleitet wird, bevor es erneut der Brennkammer (3) zugeführt wird.
25
 7. Verfahren nach Anspruch 6, bei dem das heiße Gas aus der Brennkammer (3) vor dem Durchlaufen des Wärmetauschers durch die

Hochtemperaturmembran (6) geleitet wird.

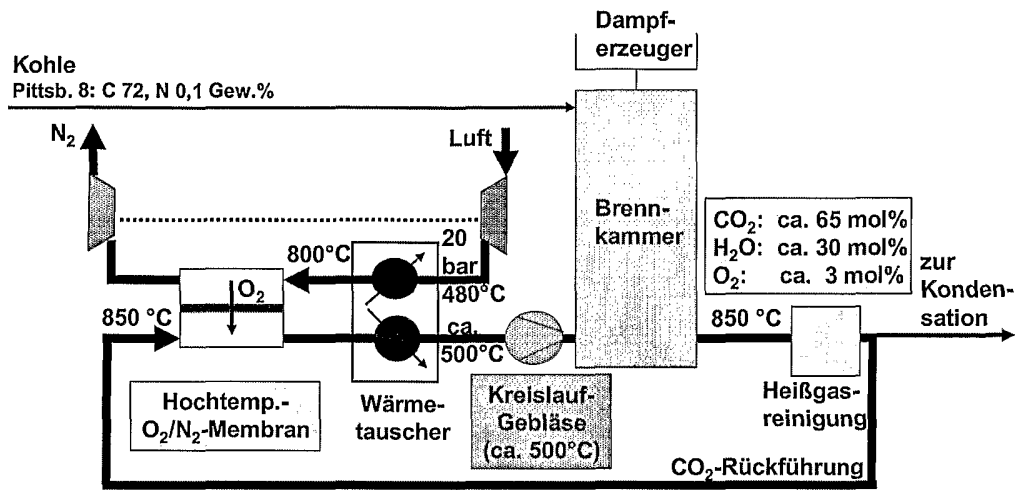
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 7, bei dem die Hochtemperaturmembran (6) im Gegenstrom betrieben wird.



Figur 1 aus [2]



Figur 2 aus [4]



Figur 3 aus [4] mit erfinderischer Modifikation

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/DE2006/000906

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B01D53/22 C01B13/02 H01M8/06 F23L7/00

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)

B01D C01B H01M F23L

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, PAJ, COMPENDEX

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 197 256 A (ALSTOM LTD) 17 April 2002 (2002-04-17) paragraphs [0018] - [0022]; figures 1,3	1-8
X	US 2004/209129 A1 (CARREA ELISABETTA [CH]) 21 October 2004 (2004-10-21) paragraphs [0017] - [0021]; figure 1	1-8
A	EP 1 327 823 A (THE BOC GROUP, INC) 16 July 2003 (2003-07-16) the whole document	1-8

 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.

Z document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

29 August 2006

Date of mailing of the international search report

05/09/2006

Name and mailing address of the ISA/

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

Authorized officer

Persichini, C

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No PCT/DE2006/000906

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 1197256 A	17-04-2002	NO 20014981 A	15-04-2002
US 2004209129 A1	21-10-2004	EP 1446610 A1 WO 03029725 A1	18-08-2004 10-04-2003
EP 1327823 A	16-07-2003	US 2005223891 A1 US 2003138747 A1	13-10-2005 24-07-2003

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE2006/000906

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B01D53/22 C01B13/02 H01M8/06 F23L7/00

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchiertes Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
B01D C01B H01M F23L

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, PAJ, COMPENDEX

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 197 256 A (ALSTOM LTD) 17. April 2002 (2002-04-17) Absätze [0018] - [0022]; Abbildungen 1,3 -----	1-8
X	US 2004/209129 A1 (CARREA ELISABETTA [CH]) 21. Oktober 2004 (2004-10-21) Absätze [0017] - [0021]; Abbildung 1 -----	1-8
A	EP 1 327 823 A (THE BOC GROUP, INC) 16. Juli 2003 (2003-07-16) das ganze Dokument -----	1-8

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen Siehe Anhang Patentfamilie

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> * 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 | <ul style="list-style-type: none"> *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 *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist |
|---|--|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 29. August 2006	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts 05/09/2006
---	---

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Bevollmächtigter Bediensteter Persichini, C
---	---

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE2006/000906

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 1197256	A	17-04-2002	NO 20014981 A
US 2004209129	A1	21-10-2004	EP 1446610 A1 18-08-2004 WO 03029725 A1 10-04-2003
EP 1327823	A	16-07-2003	US 2005223891 A1 13-10-2005 US 2003138747 A1 24-07-2003