

(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
3. September 2009 (03.09.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/106026 A2

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**
F23L 7/00 (2006.01) *F23C 9/00* (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/DE2009/000107
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**
27. Januar 2009 (27.01.2009)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**
10 2008 010 928.2
25. Februar 2008 (25.02.2008) DE
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH [DE/DE]; 52425 Jülich (DE).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** NAZARKO, Jewgeni [UA/DE]; Bretzelnweg 80, 52353 Düren (DE). RIENSCHKE, Ernst [DE/DE]; Am Wasserwerk 18, 52428 Jülich (DE). BLUM, Ludger [DE/DE]; Meyburginsel 27b, 52428 Jülich (DE).
- (74) **Anwalt:** FORSCHUNGSZENTRUM JÜLICH GMBH; Fachbereich Patente, 52425 Jülich (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.
- (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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, 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:**
— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)

(54) **Title:** FIRING SYSTEM AND METHOD FOR OPERATING THE SAME

(54) **Bezeichnung:** FEUERUNGSANLAGE UND VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER SOLCHEN

(57) **Abstract:** The invention relates to a firing system, as that which can be found in a power plant, for example, for generating electric energy, comprising a combustion chamber for generating steam, and a high-temperature O₂ membrane, which according to the invention is disposed inside a combustion or gasification chamber. A firing system, in which coal is burned or gasified using nearly pure oxygen, and the combustion waste gas is optionally scrubbed and partially returned to the combustion process, is operated such that the oxygen employed is obtained by separating it from air using a high-temperature O₂ membrane, wherein a pre-heating of the air is advantageously eliminated according to the invention, and the operating temperature of the high-temperature O₂ membrane can be set variably between approximately 800°C and the maximum temperature present in the chamber for each position inside the combustion or gasification chamber. The firing system according to the invention can advantageously be used in a coal power plant or steel works.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft eine Feuerungsanlage, wie sie beispielsweise in einem Kraftwerk zur Erzeugung elektrischer Energie zu finden ist, mit einer Verbrennungskammer zur Erzeugung von Dampf und einer Hochtemperatur-O₂-Membran, die erfindungsgemäß innerhalb einer Verbrennungs- oder Vergasungskammer angeordnet ist. Eine Feuerungsanlage, in dem Kohle mit Hilfe von nahezu reinem Sauerstoff verbrannt oder vergast wird, das Verbrennungsabgas gegebenenfalls gereinigt und zum Teil wieder der Verbrennung zugeführt wird, wird derart betrieben, dass der eingesetzte Sauerstoff durch Abtrennung aus Luft mit Hilfe einer Hochtemperatur-O₂-Membran erhalten wird, wobei eine Vorwärmung der Luft erfindungsgemäß vorteilhaft entfällt und die Betriebstemperatur der Hochtemperatur-O₂-Membran je nach Position innerhalb der Verbrennungs- bzw. Vergasungskammer variabel zwischen ca. 800 °C und der in der Kammer maximal herrschenden Temperatur eingestellt werden kann. Die erfindungsgemäße Feuerungsanlage kann vorteilhaft in einem Kohlekraftwerk oder einem Stahlwerk eingesetzt werden.

WO 2009/106026 A2

B e s c h r e i b u n g

Feuerungsanlage und Verfahren zum Betreiben einer solchen

Die Erfindung betrifft eine Feuerungsanlage, insbesondere eine solche, wie sie typischerweise in Kraftwerken vorliegt, sowie ein Verfahren zum Betreiben dieser Feuerungsanlage. Bei der Feuerungsanlage handelt es sich dabei insbesondere um solche, die mit einer Hochtemperatur-O₂-Membran kombiniert sind.

Stand der Technik

Feuerungsanlagen, in denen kohlenstoffhaltiger Brennstoff verbrannt wird, dienen in der Regel der Erzeugung von Wärme und/oder Energie. Dementsprechend finden sich Feuerungsanlagen insbesondere in Kraftwerken, aber auch bei der Stahlerzeugung. Häufig wird bei der Verbrennung in der Feuerungsanlage eine sauerstoffhaltige Atmosphäre benötigt. Der dafür benötigte Sauerstoff kann einerseits über eine Luftzerlegungsanlage, alternativ aber auch über eine Hochtemperatur-O₂-Membran, zur Verfügung gestellt werden.

Kraftwerke sind typische Einsatzgebiete von Feuerungsanlagen. Die dabei eine wichtige Rolle spielende Abtrennung von CO₂ aus typischen Kohlekraftwerksprozessen ist grundsätzlich über drei verschiedene Konzepte denkbar. Neben dem Post-Combustion-Capture und dem Pre-Combustion-Capture ist der OXYFUEL-Prozess ein sehr Erfolg versprechendes Konzept.

Post-Combustion-Capture:

Hierbei wird ein konventionelles Dampfkraftwerk mit Kohle und Luft gespeist. Es schließt sich eine herkömmliche Rauchgasreinigung an. Die Abtrennung von CO₂ aus dem Rauchgas nach der Verbrennung wird durch geeignete Wäschen bzw. langfristig durch Membransysteme realisiert. Der Nachteil dieses Verfahrens liegt darin, dass hohe Volumenströme an Rauchgas mit vergleichsweise geringer CO₂-Konzentration gereinigt werden müssen. Membranen zur Abtrennung des CO₂ werden deshalb einen hohen Bedarf an Membranfläche aufweisen.

Pre-Combustion-Capture:

Hier ist das Integrated Gasification Combined Cycle (IGCC)-Verfahren zu nennen, bei dem die Abtrennung von CO₂ in einem Zwischenschritt nach der Kohlevergasung, bzw. der Erdgasreformierung erfolgt, dem sich der Prozessschritt der Gasreinigung (CO-Shift) anschließt, aber noch vor der Verbrennung mit Luft. Die verschiedenen bisher entwickelten Kohlevergasungsverfahren werden bevorzugt mit Sauerstoff oder angereicherter Luft (und Dampf) unter Druck 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 (Shiftreaktor) zur Konditionierung des Kohlegases für eine CO₂-Abtrennung eröffnen sich zwei Optionen, einerseits die Abtrennung von CO₂ beispielsweise mit einem Wäscher oder die Abtrennung einer hinreichenden Menge H₂ mittels einer Membran, wobei im Retentat ein CO₂-reiches Gas zurückbleibt, die geeignet ist für eine Verflüssigung und Deponierung. Bei beiden Optionen kann der Wasserstoff anschließend in einem Gas und Dampfkraftwerk (GuD-Prozess), beispielsweise mit Hilfe einer H₂-Turbine, verstromt werden.

Oxyfuel-Prozess:

Hier erfolgt die einfache CO₂-Abtrennung durch Kondensation nach Verbrennung der Kohle in einem Kessel mit reinem Sauerstoff und dem sich daran anschließenden Schritt einer Rauchgasreinigung an. Dieses Verfahren hat einen entscheidenden Vorteil. Verbrennung in reinem Sauerstoff liefert als Verbrennungsprodukte nur CO₂ und Wasserdampf, der beim Abkühlen des Gasgemisches auf sehr einfache Weise durch Kondensation vom CO₂ getrennt werden kann. Das CO₂ und der Wasserdampf werden vorteilhaft im Kreislauf geführt, und zusammen mit dem Sauerstoffstrom dem Kessel wieder zugeführt. Der reine Sauerstoff kann dabei entweder durch eine konventionelle kryogene Luftzerlegung erzeugt werden oder mittels einer O₂-Membran, wobei das rückgeführte CO₂/Wasserdampfgemisch als Spülgas dienen kann.

30

Ein großes Entwicklungspotential wird Hochtemperatur-O₂-Membranen zugesprochen, insbesondere aufgrund von energetischen Gesichtspunkten. Voraussetzung dafür ist, dass kostengünstige Membranen zur Verfügung stehen. Hier können so genannte dichte Mischleiter, z. B.

Perowskite, eingesetzt werden. Bei diesen erfolgt die Gastrennung O_2/N_2 nicht über die Trennwirkung von Poren, sondern über die besonderen Transportmechanismen im Bulkmaterial. Sauerstoffionen wandern in Richtung ihres Konzentrationsgradienten. An der Membranoberfläche verlassen die Elektronen die Sauerstoffionen und wandern zurück.

5

Die Herausforderungen bei der Membran- und Membranmodul-Entwicklung sowie bei der Konzeptentwicklung sind dabei ein möglichst hoher Abtrenngrad, eine möglichst hohe Reinheit der abgetrennten Komponente sowie ein möglichst geringer Energieaufwand bei der Konditionierung des Feedgases und des Permeatstromes, z. B. durch Druckanhebung oder
10 Vakuum. Damit soll eine geringe Einbuße beim Netto-Wirkungsgrad, bei gleichzeitig möglichst hoher Flussdichte der permeierenden Komponente, bewirkt werden. Gleichzeitig stehen ein geringer Flächenbedarf der Membran und ein möglichst geringer apparativer Aufwand in der Membranumgebung im Vordergrund, die nur geringe zusätzliche Investitionskosten erfordern. Schließlich wird ein Modul- und Verfahrenskonzept angestrebt, welches zudem die
15 hohen Anforderungen an Stabilität und Lebensdauer in Anbetracht der hohen Betriebstemperatur erfüllt.

Diese vorgenannten Forderungen sind sehr komplex und teilweise gegenläufig. Hohe Ansprüche werden daher einerseits an die eingesetzten Membranen in Form von hoher Permeabilität
20 und Selektivität gestellt, und andererseits an die Verfahrenstechnik in Form der Bereitstellung günstiger Prozessbedingungen längs eines optimalen Membrantrennprozesses bei geringem, zusätzlichem verfahrenstechnischen Aufwand. Die unvermeidlich hohe Membran-Betriebstemperaturen von typischerweise 700 - 1000°C stellen dabei konstruktiv und konzeptionell eine besonders große Herausforderung. Diese wird bei solchen Kraftwerkskonzepten
25 noch weiter verschärft, bei denen ein Druckbetrieb an der Hochtemperatur-Membran und den Hochtemperatur-Wärmetauschern der Membranumgebung angestrebt wird.

Da bislang noch kein Membran-Kraftwerk existiert, erschöpft sich der Stand der Technik in Konzeptvorschlägen aus der Literatur. Als Stand der Technik ist das Konzept für eine Oxyfuel-Kraftwerkstechnik mit konventioneller O_2 -Abtrennung aus der Luft, der so genannten
30 kryogenen Luftzerlegungsanlage (LZA) von Vattenfall bekannt. Eine 30 MWth-Anlage wird derzeit gebaut. Figur 1 zeigt das Prinzipschaltbild eines solchen Oxyfuel-Kraftwerkes mit vorgeschalteter Luftzerlegungsanlage.

Im Oxyfuel-Prozess wird die Kohle nicht mit Luft, sondern in einer Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und rezykliertem Rauchgas verbrannt. In nachfolgenden Behandlungsschritten fällt, wie im konventionellen Kraftwerksprozess, Asche aus. Es folgt die Entstaubung und
5 Abtrennung der Flugasche. Ein großer Teil, bis zu 75 %, des bei der Verbrennung entstehenden Rauchgases wird beim Oxyfuel-Prozess in Form von CO₂ und Wasserdampf in den Kessel zurückgeführt. Schwefelverbindungen werden dem Rauchgasstrom in Form von Gips als Nebenprodukt durch die Entschwefelung entzogen. Schließlich wird der restliche, mit der Kohle eingetragene Wasserdampf auskondensiert, so dass das restliche Rauchgas aus annähernd reinem CO₂ besteht. Das Kohlendioxid kann dann für eine weitere Verwendung
10 und/oder Speicherung auf über 100 bar verdichtet werden.

Nachteilig ist bei diesem Konzept der hohe Energiebedarf der kryogenen Luftzerlegungsanlage (LZA), wodurch eine Wirkungsgradeinbuße von derzeit geschätzten 10 %-Punkten (inkl.
15 CO₂-Verflüssigung) zu erwarten ist.

Eine mögliche Variante der Oxyfuel-Kraftwerkstechnik mit O₂-Membran wird derzeit im Projekt OXYCOAL-AC entwickelt. Charakteristisch ist die Membran-Betriebsweise mit zwei verfahrenstechnischen Maßnahmen zur Erzielung hoher Triebkräfte für den Permeatstrom.
20 Erstens wird die Luft auf der Feedseite auf ca. 20 bar verdichtet, um die O₂-Partialdrücke auf ca. 2 bis 4 bar zu erhöhen, und zweitens wird eine Rauchgas-Spülung im Gegenstrom auf der Permeatseite (1 bar) zur Senkung der O₂-Partialdrücke (ca. 30 - 300 mbar) eingesetzt. Daraus ergibt sich der Vorteil hoher lokaler O₂-Partialdruckverhältnisse von typischerweise 13:1 (4 bar / 0,3 bar) und darüber.

25 Eine Weiterentwicklung des Konzeptes dieses Oxycoal-Prozesses sieht vor, dass die Feedseite der O₂-Membran mit atmosphärischer Luft betrieben wird. Die Vorwärmung erfolgt über nahezu den gesamten Temperaturbereich rekuperativ, typischerweise im Bereich von 20 bis 750°C. Sinnvolle Membrantemperaturen liegen aus heutiger Sicht zwischen 700 und 1000 °C.

30 Auf eine Spülung der Membran auf der Permeatseite mit rezykliertem, rückgeführtem Rauchgas wird verzichtet, da dieses in der Regel Reste an Verbrennungsprodukten aus der Kohleverbrennung enthält, die sich nachteilig auf die Membran auswirken können.

Allen bisherigen Membrankonzepten ist gemeinsam, dass für eine effektive O₂ Abtrennung in der O₂-Membran eine hohe Temperatur von deutlich über 800 °C benötigt wird. Das Temperaturniveau von 800 bis 850 °C wird mit heutigen Konzepten gerade noch erreicht. Dazu ist es jedoch notwendig, einerseits das Rauchgas nach der Gasreinigung vor Eintritt in das Membranmodul gezielt wieder zu erwärmen, und/oder andererseits die der Membran zugeführte, verdichtete Luft zuvor durch einen Dampferzeuger oder Wärmetauscher ebenfalls vorzuwärmen. Aus der noch nicht veröffentlichten DE 102 007 056 841 ist auch schon bekannt, das Vorwärmung der Luft optional auch durch die Verbrennungskammer selbst erfolgen kann.

10

Diese Art der Sauerstoffabtrennung weist jedoch einige konstruktive Nachteile auf. Einerseits erfordert die zusätzliche externe Feuerung für die Luftvorwärmung einen erheblichen konstruktiven Aufwand und bewirkt einen zusätzlichen Brennstoffverbrauch. Durch vielfache Wärmeübertragung auf hohem Temperaturniveau entstehen regelmäßig nicht unerhebliche Energieverluste, die ebenfalls zu einer Minderung der Effektivität des Kraftwerks führt. Andererseits muss das eigentliche Membranmodul zwecks Verringerung der Wärmeverluste aufwändig isoliert werden.

15

20

Aufgabe und Lösung der Erfindung

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Prozessführung für das Betreiben einer Feuerungsanlage, wie beispielsweise ein Oxyfuel-Kraftwerk mit einer O₂-Membran bereit zu stellen, die die vorgenannten Nachteile überwindet, d. h. eine Reduzierung der Wärmeverluste ermöglicht. Dabei bleiben die Grundanforderungen an den Prozess erhalten, wie beispielsweise ein möglichst hoher Abtrenngrad von CO₂ aus dem Rauchgas, eine möglichst hohe Reinheit der abgetrennten Komponente bei einem möglichst geringen Energieaufwand, d. h. einen möglichst hohen Netto-Wirkungsgrad.

25

30

Ferner ist es die Aufgabe des Verfahrens, eine zur Durchführung des vorgenannten Verfahrens geeignete Vorrichtung zu schaffen.

Die Aufgaben der Erfindung werden gelöst durch eine Feuerungsanlage gemäß Hauptanspruch, sowie durch ein Verfahren zum Betrieb dieser Anlage gemäß Nebenanspruch. Vor-

teilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens und der Vorrichtung finden sich in den darauf rückbezogenen Ansprüchen wieder.

5 Gegenstand der Erfindung

Die Erfindung basiert auf dem Konzept des Oxyfuel-Prozesses, ohne aber darauf eingeschränkt zu sein. Insbesondere werden durch diese Erfindung alle Konzepte / Anlagen erfasst, in welchen ein kohlenstoffhaltiger Brennstoff beim Temperaturniveau über 800 °C in einer Feuerungsanlage umgesetzt wird und eine sauerstoffreiche Atmosphäre prozessbedingt zur
10 Anwendung kommt, wobei der Sauerstoff über ein Membranmodul zur Verfügung gestellt wird.

Beispielsweise wird in einem Membrankraftwerk zur Erzeugung elektrischer Energie oder Wärme das Membranmodul zur O₂/N₂-Trennung innerhalb oder oberhalb der Verbrennungskammer, ähnlich wie der Dampferzeuger, angeordnet. Dadurch kann vorteilhaft auf die Vorwärmung der Luft verzichtet werden. Zudem ermöglicht diese Anordnung sogar Betriebstemperaturen des Membranmoduls bis zu ca. 1300 °C, so wie sie typischerweise in der Verbrennungskammer eines derzeitigen Steinkohlekraftwerkes vorliegen. Es hat sich gezeigt, dass die O₂/N₂-Trennung unter sonst gleichen Rahmenbedingungen umso effektiver verläuft, je höher
15 die Temperatur ist. Beispielsweise führt eine Erhöhung der Betriebstemperatur der Membran von ca. 800 auf 900 °C zu einer erheblichen Erhöhung der Permeationsrate (bis zu einem Faktor 5). Dies bedeutet wiederum, dass gleichzeitig vorteilhaft der Flächenbedarf der Membran verringert werden kann.

Die Erfindung sieht daher vor, dass wenigstens ein Membranmodul zur O₂/N₂-Trennung innerhalb oder oberhalb der Verbrennungskammer einer Verbrennungsanlage angeordnet wird. Da sich innerhalb der Verbrennungskammer naturgemäß unterschiedliche Temperaturniveaus ausbilden, sieht eine vorteilhafte Ausgestaltung der Erfindung vor, dass wenigstens ein Membranmodul variabel und/oder mehrere Module an unterschiedlichen Stellen innerhalb
20 oder oberhalb der Verbrennungskammer angeordnet werden. Dadurch kann die optimale Betriebstemperatur des Membranmoduls, bzw. eines in diverse Stufen aufgeteiltes Membranmodul, durch die Positionierung im Feuerungsraum durch die heißen Rauchgase gewährleistet werden. Der zusätzliche konstruktive Aufwand für Wärmetauscher, eine externe Feuerung

oder die Isolierung der Membranmodule kann vorteilhaft entfallen. Bei der Anordnung des oder der Module im Verbrennungsraum ist natürlich eine ebenfalls innerhalb der Verbrennungskammer schon vorhandene Vorrichtung zur Dampferzeugung zu beachten.

5 Neben dem Membranmodul selbst sind bei der erfindungsgemäßen Feuerungsanlage wenigstens eine Zuführungsleitung für Luft von außerhalb der Verbrennungskammer bis zur Feedseite des Moduls und wenigstens eine Abführungsleitung für die abgereicherte Luft von der Retentatseite der Membran nach außen hin vorgesehen. Ferner ist eine weitere Leitung von der Permeatseite des Membranmoduls zur Abführung des abgetrennten Sauerstoffs vor-
10 gesehen. Der abgetrennte Sauerstoff wird anschließend direkt wieder der Verbrennung zugeführt. Dabei kann es sich möglicherweise als vorteilhaft erweisen, den Sauerstoff zunächst aus der Verbrennungskammer herauszuführen, und außerhalb mit dem rezyklierten Rauchgas zu vermischen, um dann anschließend an geeigneter Stelle der Verbrennung zugeführt zu werden.

15

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben einer Feuerungsanlage sieht vor, dass die Sauerstoffabtrennung aus der Luft, über eine O₂-Membran innerhalb oder oberhalb einer Verbrennungskammer oder einer Vergasungskammer erfolgt. Eine Vorwärmung der Luft kann entfallen. Die Betriebstemperatur der O₂-Membran kann auf einfache Weise auf Tempe-
20 raturen oberhalb von 600 °C, insbesondere auf oberhalb von 800 °C, und maximal bis zu der in der Kammer herrschenden Temperatur erhöht und gehalten werden.

Die Erfindung eignet sich ausdrücklich sowohl für eine Anwendung des Membranmoduls unter Druck, unter atmosphärischem Druck und als auch in der Vakuumvariante. Das bedeu-
25 tet, dass sowohl verdichtete Luft (typischerweise bis zu 40 bar), als auch Luft unter Atmosphärendruck in die Membran geleitet werden kann. Für den Fall der Betriebsweise mit Vakuum würde in einer Ausgestaltung der Erfindung eine Vakuumpumpe den abgetrennten Sauerstoff zunächst aus dem Permeatraum des Membranmoduls absaugen. Anschließend könnte eine Verdichtung, beispielsweise auf Atmosphärendruck, erfolgen, um eine Zudosierung zum
30 Rauchgas zu erleichtern.

Das Absaugen von O₂ mittels Vakuumpumpe ist vergleichbar mit dem Absaugen von CO₂ beim Post-combustion-Kraftwerk mit CO₂-Membran am kalten Rauchgasende. So lassen erste Abschätzungen zum Energiebedarf der Vakuumpumpe erwarten, dass die Wirkungsgradeinbuße (inkl. CO₂-Verflüssigung) bei ca. 6 % liegen wird (Vakuumpumpe und CO₂-Verflüssigung etwa mit gleichen Anteilen).

Die Erfindung ist insbesondere in Kraftwerken einzusetzen, da dort regelmäßig ein kohlenstoffhaltiger Brennstoff bei einem Temperaturniveau über 800 °C in einer Feuerungsanlage umgesetzt wird und eine sauerstoffreiche Atmosphäre prozessbedingt zur Anwendung kommt, wobei der Sauerstoff über eine Membranmodul zur Verfügung gestellt wird.

Eine alternative Ausgestaltung der Erfindung sieht zudem vor, dass das O₂-Membranmodul nicht nur innerhalb einer Verbrennungs- oder Vergasungskammer als wärmeabgebender Prozess in einer Feuerungsanlage angeordnet sein muss, sondern das Modul kann im Rahmen der Erfindung auch vorteilhaft benachbart, insbesondere oberhalb der Verbrennungs- oder Vergasungskammerangeordnet sein. Wichtig und entscheidend ist nur, dass die in der Kammer erzeugte Wärme direkt für die Beheizung des O₂-Membranmoduls genutzt und auf eine zusätzliche Luftvorwärmung verzichtet werden kann.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Betreiben einer Feuerungsanlage mit einem kohlenstoffhaltigen Brennstoff, bei dem prozessbedingt eine Sauerstoffatmosphäre im Feuerungsraum benötigt wird, und dieser Sauerstoff durch Abtrennung über eine Hochtemperatur-Membran zur Verfügung gestellt werden kann, ergeben sich die Vorteile aus der hohen Betriebstemperatur der durch die Kammer beheizten Membran, die eine besonders hohe Effektivität verspricht, verbunden mit einer konstruktiven Einsparung an Wärmtauschern, die andernfalls zur Vorwärmung der Luft benötigt würden, und an Isolationsmaterial, welches andernfalls für eine Membrananordnung an einer anderen, kühleren Stelle notwendig gewesen wäre.

Spezieller Beschreibungsteil

Die Erfindung wird nachfolgend anhand einiger Figuren näher erläutert, ohne dass dadurch eine Einschränkung der Erfindung auf die vorgenannten Ausführungsformen gesehen wird.

- 5 Die Figuren beziehen sich insbesondere auf Feuerungsanlagen in Kraftwerken, wobei die Erfindung aber nicht auf Kraftwerke beschränkt ist.

In den Figuren 1 bis 4 bedeuten:

- 1 Verbrennungskammer mit Dampfkessel,
- 10 2 Reinigung des Abgases, in der Regel umfassend Entstaubung ggf. Entstickung, und weitere Abgasbehandlung
- 3 Kondensation des Rauchgases bzw. Wasserdampfabtrennung,
- 4 Luftzerlegungsanlage,
- 5 Hochtemperatur-O₂-Membran (OTM = Oxygen Transport Membrane)
- 15 6 rekuperativer Wärmetauscher
- 7 Kreislaufgebläse
- 8 Kompressor, Vakuumpumpe
- 9 Vergasungskammer
- 10 Reinigungsstufe
- 20 11 Shift-Stufe zur Umwandlung in CO₂
- 12 CO₂-Abtrennung, z. B. durch eine H₂-Membran
- 13 Brennkammer/Wärmetauscher zur Luftvorwärmung
- 14 Brennkammer
- 15 Gasturbine mit
- 25 15a Kompressor
- 15b Welle
- 15c Turbine

- 30 In Figur 1 ist das aus dem Stand der Technik bekannte Konzept des Oxyfuel-Prozesses dargestellt. Die Kohle wird in einer Atmosphäre aus angereichertem Sauerstoff und rezykliertem Rauchgas in der Verbrennungskammer mit dem Dampfkessel (1) der Feuerungsanlage verbrannt. Aus dem erzeugten Dampf wird Strom erzeugt. Das Verbrennungsabgas wird in nachfolgenden Reinigungsschritten (2) entstaubt und gegebenenfalls weiter behandelt. Der

größte Teil des bei der Verbrennung entstehenden Rauchgases wird in Form von hauptsächlich CO_2 und Wasserdampf mit Temperaturen um $200\text{ }^\circ\text{C}$ in die Verbrennungskammer (1) zurückgeführt. Aus dem übrigen Abgasstrom wird der mit der Kohle eingetragene Wasserdampf auskondensiert (3), so dass annähernd reines CO_2 abgetrennt werden kann. Der eingesetzte Sauerstoff wird in einer Luftzerlegungsanlage (4) kryogen erzeugt.

Figur 2 stellt das Oxycoal-Verfahren dar. Auch hier wird die Kohle in einer Atmosphäre aus reinem Sauerstoff und rezykliertem Rauchgas in der Verbrennungskammer mit dem Dampfkessel (1) verbrannt. Aus dem erzeugten Dampf wird Strom erzeugt. Das Verbrennungsabgas wird in nachfolgenden Reinigungsschritten (2) heiß entstaubt und ggf. weiter behandelt. Das Rauchgas wird in Form von hauptsächlich CO_2 und Wasserdampf nunmehr jedoch einer Hochtemperatur- O_2 -Membran (5) zugeführt, in der das Rauchgas mit Sauerstoff angereichert wird. Der Sauerstoff wird dabei der Luft entzogen, welche zunächst durch einen Kompressor (8) auf 20 bar verdichtet wird. Die Luft erwärmt sich dabei auf ca. $400\text{ }^\circ\text{C}$. Ein rekuperativer Wärmetauscher (6) wärmt dabei die der Hochtemperatur- O_2 -Membran zugeführte Luft mit Hilfe des aus der Membran austretenden Rauchgases auf ca. $750\text{ }^\circ\text{C}$ vor. Die abgereicherte Luft wird wieder entspannt und abgeleitet. Das mit Sauerstoff angereicherte Rauchgas gelangt wieder in die Verbrennungskammer mit dem Dampfkessel (1) zurück.

In der Figur 3 ist eine vorteilhafte Ausführung der Erfindung dargestellt, bei der die Hochtemperaturmembran (5) innerhalb der Verbrennungskammer (1) des Kraftwerkes, ähnlich wie der Dampferzeuger, angeordnet ist. Für die Zuführung der Luft kann auf Wärmetauscher verzichtet werden. Die abgetrennte Luft wird in diesem Fall aus der Verbrennungskammer mit der Nutzung der darin enthaltenen Wärme herausgeführt. Der erzeugte Sauerstoff wird dem rezyklierten Rauchgas vor Eintritt in die Verbrennungskammer zugeführt.

Die Figuren 4 und 5 stellen jeweils eine Kohlevergasungsanlage zur Stromerzeugung dar. In Figur 4 ist der derzeitige Stand der Technik wiedergegeben. Die Kohle wird hierbei in einer Mischung aus partieller (teilweiser) Oxidation und Vergasung mit Wasserdampf zu einem Gemisch aus CO und Wasserstoff (Synthesegas) umgesetzt (9). Es schließt sich die Reinigung (10) an, in der insbesondere Ruß und Schwefelverbindungen aus dem Synthesegas entfernt werden. Es folgt eine Stufe, in der das CO hauptsächlich in CO_2 umgewandelt wird (11), welches dann in einer Abtrennstufe (12) vom energiereichen, H_2 -haltigen Gas abgetrennt wird.

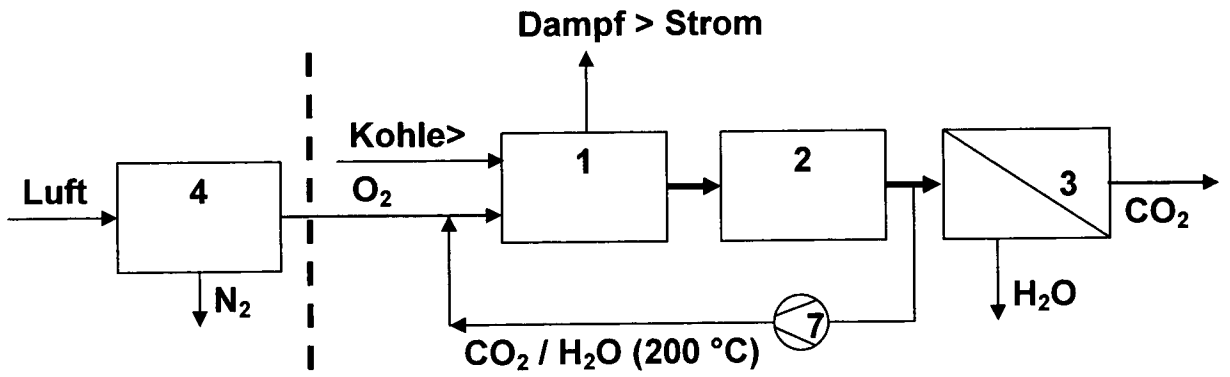
- Diese Abtrennung kann beispielsweise über eine H₂-Membran erfolgen. Das letztgenannte H₂-reiche Gas wird zum einen für die Luftvorwärmung eingesetzt, in dem ein Teil davon verbrannt wird (13). Die so vorgewärmte Luft wird einer O₂-Membran zugeleitet, in der der Luft ein großer Anteil an Sauerstoff entzogen wird. Die Sauerstoff abgereicherte Luft wird anschließend zusammen mit dem restlichen H₂-reichen Gas in der Brennkammer (14) einer Gasturbine (15b) verbrannt, die über eine Welle (15c) mit dem Luftverdichter (15a) in Verbindung steht. Das die Turbine verlassende etwas kühlere Rauchgas wird anschließend zur Dampferzeugung und weiter zur Stromerzeugung genutzt.
- 10 In der Figur 5 ist nun die erfindungsgemäße Umsetzung dargestellt. Die zur Sauerstoffgenerierung notwendige O₂-Membran (5) ist in der Vergasungsanlage (9) untergebracht, wo reiner Sauerstoff benötigt wird. Auf eine Teilverbrennung des wasserstoffreichen Gases zur Luftvorwärmung kann so vorteilhaft verzichtet werden. Das gesamte H₂-reiche Gas kann in der Turbine, bzw. für die Dampferzeugung genutzt werden. Der in der O₂-Membran gewonnene
- 15 Sauerstoff wird über eine externe Leitung ggf. verdichtet und der Vergasungsanlage an entsprechender Stelle zugeführt.

P a t e n t a n s p r ü c h e

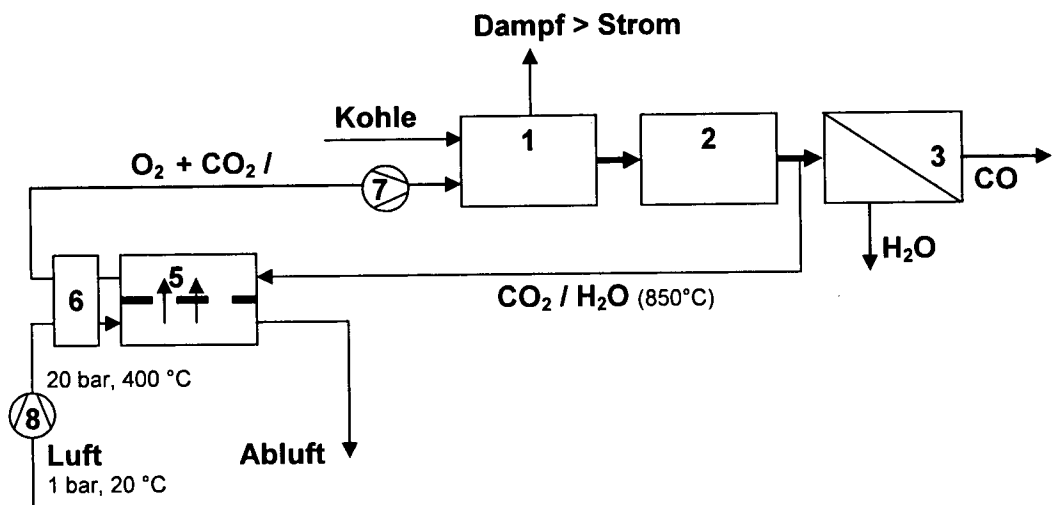
1. Verfahren zum Betreiben einer Feuerungsanlage, bei dem kohlenstoffhaltiger Brennstoff mit Hilfe von nahezu reinem / angereichertem Sauerstoff verbrannt oder vergast wird, und wobei der eingesetzte Sauerstoff durch Abtrennung aus Luft mit Hilfe einer Hochtemperatur-O₂-Membran erhalten wird,
5 dadurch gekennzeichnet,
dass die O₂-Abtrennung aus der Luft über die O₂-Membran innerhalb oder direkt benachbart zu einem Wärme abgebenden Prozesses der Feuerungsanlage erfolgt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die O₂-Abtrennung aus der Luft über die O₂-Membran innerhalb oder oberhalb einer Verbrennungskammer erfolgt.
- 10 3. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die O₂-Abtrennung aus der Luft über die O₂-Membran innerhalb oder oberhalb einer Vergasungskammer erfolgt.
4. Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, bei dem feedseitig die O₂-Membran mit atmosphärischer Luft bis maximal 1 bar betrieben wird, und permeatseitig ein Unterdruck von maximal 0,1 bar angelegt wird.
- 15 5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem der Unterdruck mit Hilfe einer Vakuumpumpe eingestellt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, bei dem feedseitig die Membran mit verdichteter Luft, insbesondere mit Luft bis maximal 40 bar, betrieben wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, bei dem Kohle als der kohlenstoffhaltiger
20 Brennstoff eingesetzt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem das abgetrennte O₂ zunächst verdichtet und erst dann dem Verbrennungs- bzw. Vergasungsprozess zugeleitet wird.
9. Feuerungsanlage zur Erzeugung elektrischer Energie oder Wärme mit einer Verbrennungskammer zur Erzeugung vom Dampf und wenigstens einer Hochtemperatur-O₂-
25 Membran zur Abtrennung von Sauerstoff aus Luft,
dadurch gekennzeichnet,

dass die Hochtemperatur-O₂-Membran innerhalb oder oberhalb der Verbrennungskammer oder einer Vergasungsanlage angeordnet ist.

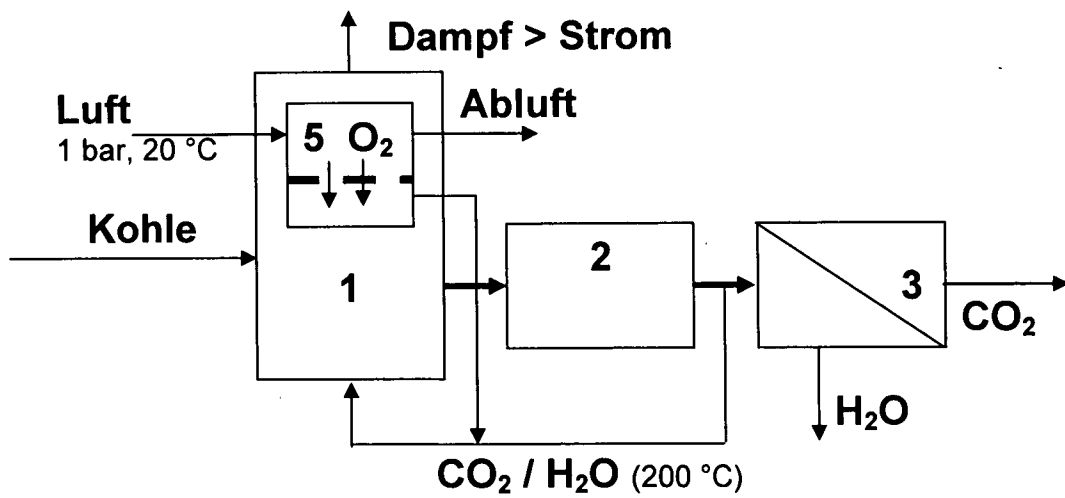
10. Feuerungsanlage nach Anspruch 9, bei dem wenigstens eine Zuführungsleitung für Luft von außerhalb der Verbrennungskammer bzw. Vergasungskammer bis zur Feedseite des O₂-Membranmoduls und wenigstens eine Abführungsleitung für die abgereicherte Luft von der Retentatseite des Membranmoduls aus der Kammer heraus vorgesehen sind.
11. Feuerungsanlage nach einem der Ansprüche 9 bis 10, bei dem eine weitere Leitung von der Permeatseite des Membranmoduls zur Abführung des abgetrennten Sauerstoffs aus der Verbrennungs- bzw. Vergasungskammer heraus vorgesehen ist.
12. Feuerungsanlage nach Anspruch 11, bei dem in der weiteren Leitung eine Vakuumpumpe vorgesehen ist.
13. Feuerungsanlage nach einem der Ansprüche 11 bis 12, bei dem die weitere Leitung mit einer Leitung für rezykliertes Rauchgases verbunden ist.
14. Feuerungsanlage nach einem der Ansprüche 11 bis 13, bei dem in der weiteren Leitung einen Kompressor und/oder Turbine vorgesehen ist.
15. Verwendung einer Feuerungsanlage nach einem der Ansprüche 9 bis 14, in einem Kohlekraftwerk oder in einem Stahlwerk.



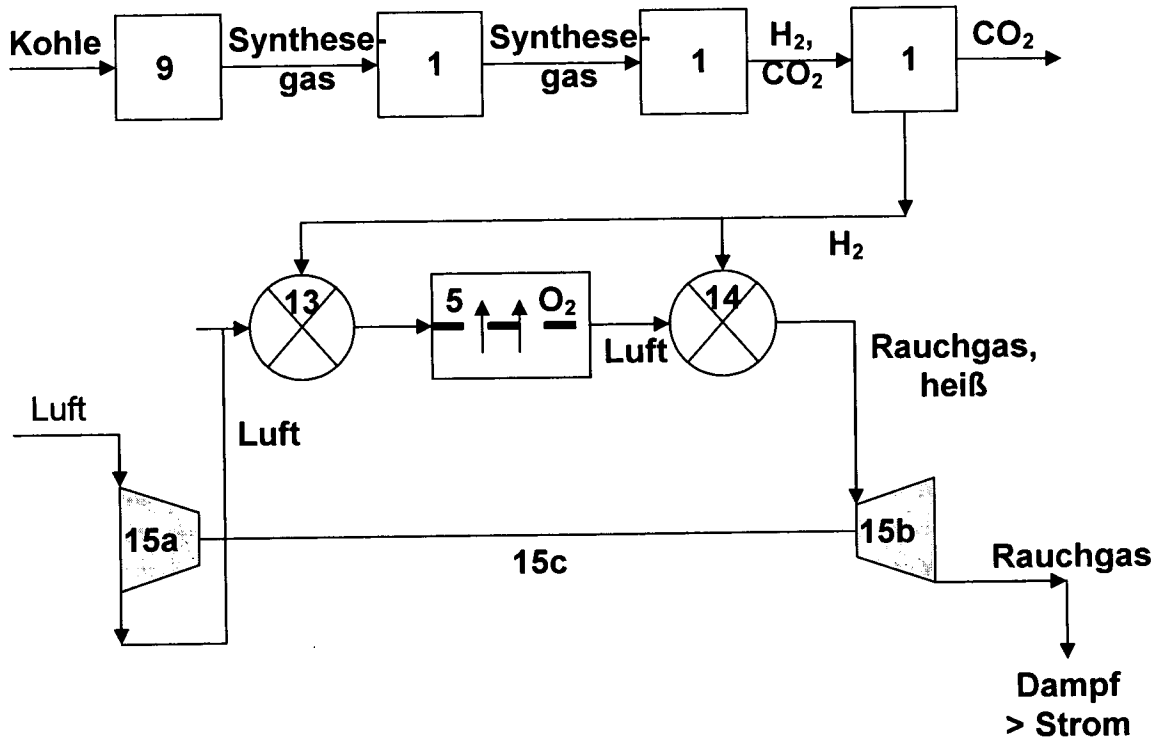
Figur 1



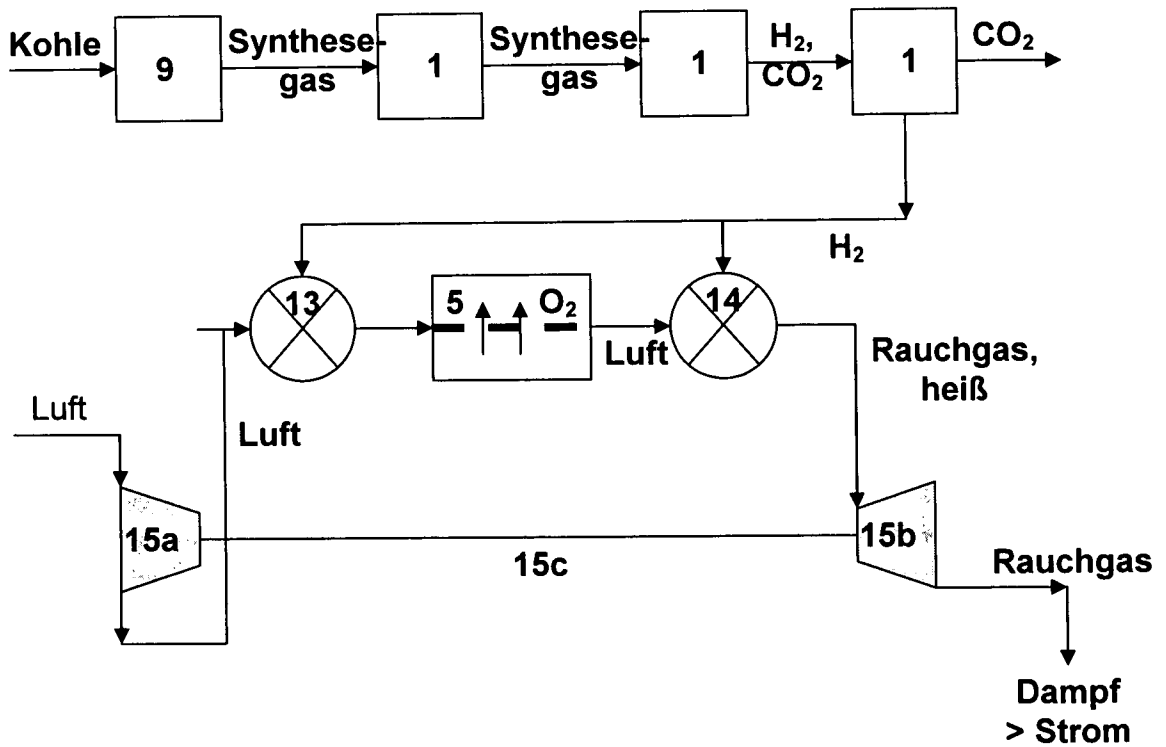
Figur 2



Figur 3



Figur 4



Figur 5