

(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. Februar 2011 (03.02.2011)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2011/012448 A1**

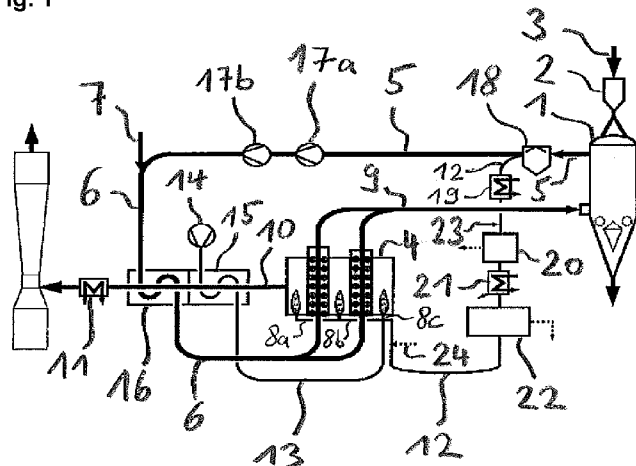
- (51) Internationale Patentklassifikation:  
C21B 13/00 (2006.01) C22B 5/12 (2006.01)  
C21B 13/02 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/060130
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
14. Juli 2010 (14.07.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:  
A 1217/2009 31. Juli 2009 (31.07.2009) AT
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): SIEMENS VAI METALS TECHNOLOGIES GMBH [AT/AT]; Turmstraße 44, A-4031 Linz (AT).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): MILLNER, Robert [AT/AT]; Porschestrasse 1, A-3382 Loosdorf (AT). PEER, Guenter [AT/AT]; Steinhuberweg 4/1, A-4623 Gunkskirchen (AT).
- (74) Anwalt: MAIER, Daniel; Postfach 22 16 34, 80506 München (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, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, 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, LR, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, 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, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: REFORMED GAS-BASED REDUCTION METHOD WITH RETURN OF THE WASTE REDUCTION GASES AND DECARBONISATION OF THE WASTE GAS COMPONENT USED AS COMBUSTION GAS FOR THE REFORMER

(54) Bezeichnung : REFORMGASBASIERTES REDUKTIONSVERFAHREN MIT RÜCKFÜHRUNG DER REDUKTIONSGASE UND DECARBONISIERUNG DES ABGASTEILS VERWENDET ALS BRENNGAS FÜR DEN REFORMER

Fig. 1



(57) Abstract: The present invention relates to a method for reducing metal oxides (3) to metallised material through contact with hot reducing gas, which is produced at least partly by catalytic reforming of a mixture of a gas that contains carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) and/or water vapour (H<sub>2</sub>O), with gaseous hydrocarbons. The combustion gas for the burners (8a, 8b, 8c) supplying heat for the endothermic reforming processes occurring during the reforming is obtained at least partly from a partial quantity of the top gas arising during the reduction of metal oxides (3) to metallised material. Before being used as a component of the combustion gas, the partial quantity of top gas is first subjected to a dust-removal process and then to a CO conversion reaction, and the conversion gas obtained during the CO conversion reaction is subjected, after cooling, to a CO<sub>2</sub> removal process. The present invention further relates to a device for carrying out the method.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/012448 A1

**Veröffentlicht:**

- mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden (3) zu metallisiertem Material durch Kontakt mit heißem Reduktionsgas, welches zumindest zum Teil durch katalytische Reformierung eines Gemisches von einem Gas, welches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, mit gasförmigen Kohlenwasserstoffen hergestellt wird, wobei das Brenngas für die Wärme für die bei der Reformierung ablaufenden endothermen Reformierungsprozesse liefernden Brenner (8a, 8b, 8c) zumindest teilweise aus einer Teilmenge des bei der Reduktion von Metalloxiden (3) zu metallisiertem Material anfallenden Toppgases gewonnen wird, wobei diese Teilmenge des Toppgases vor ihrer Nutzung als Komponente des Brenngases zunächst einer Entstaubung und dann einer CO-Konvertierungsreaktion unterzogen wird, und das bei der CO-Konvertierungsreaktion erhaltene Konvertierungsgas nach einer Abkühlung einer CO<sub>2</sub>-Entfernung unterzogen wird. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

## REFORMGASBASIERTES REDUKTIONSVERFAHREN MIT RÜCKFÜHRUNG DER REDUKTIONSABGASE UND DECARBONISIERUNG DES ABGASTEILS VERWENDET ALS BRENNGAS FÜR DEN REFORMER

- Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material durch Kontakt mit heißem Reduktionsgas, welches zumindest zum Teil durch katalytische Reformierung eines Gemisches von
- einem Gas, welches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, mit
  - gasförmigen Kohlenwasserstoffen
- hergestellt wird,
- wobei das Brenngas für die Wärme für die bei der Reformierung ablaufenden endothermen Reformierungsprozesse liefernden Brenner zumindest teilweise aus einer Teilmenge des bei der Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material anfallenden Topgases gewonnen wird, wobei diese Teilmenge des Topgases vor ihrer Nutzung als Komponente des Brenngases zunächst einer Entstaubung und dann einer CO-Konvertierungsreaktion unterzogen wird, und das bei der CO-Konvertierungsreaktion erhaltene Konvertierungsgas nach einer Abkühlung einer CO<sub>2</sub>-Entfernung unterzogen wird. Weiterhin betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.
- Ein Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material durch Kontakt mit heißem Reduktionsgas, welches durch katalytische Reformierung eines Gemisches von Erdgas mit dem aus dem Reduktionsaggregat entnommenen Topgas hergestellt wird, wobei das Brenngas für die Wärme für die bei der Reformierung ablaufenden endothermen Reformierungsprozesse liefernden Brenner aus einer Teilmenge des bei der Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material anfallenden Topgases, und Erdgas gewonnen wird, ist beispielsweise in Figur 1 der WO2006135984 beschrieben. Aufgrund immer strenger werdender gesetzlicher Umweltvorschriften ist die Abtrennung von CO<sub>2</sub> zur Erzeugung eines konzentrierten CO<sub>2</sub> Stromes aus den bei den Verfahren entstehenden Abgasen gewünscht, mit der Möglichkeit zur späteren Sequestrierung des CO<sub>2</sub> Stromes, bevor die so behandelten Abgase in die Umwelt entlassen werden. Bei einem Verfahren wie in WO2006135984 gezeigt wird das Brenngas für den Reformier mit Luft als Sauerstoffquelle verbrannt, weshalb das Verbrennungsabgas eine große Menge Stickstoff enthält. Entsprechend müssen nachfolgende Anlagen zur CO<sub>2</sub>-Entfernung aus dem Verbrennungsabgas groß dimensioniert sein. Zudem kommen für eine CO<sub>2</sub>-Entfernung aus dem Verbrennungsabgas im Wesentlichen nur chemische

Absorptionsverfahren in Frage, welche sich durch eine große Anlagengröße und hohen Verbrauch an Energie, die beispielsweise über Dampf zugeführt wird, kennzeichnen.

5 Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren bereitzustellen, welches die Vermeidung von CO<sub>2</sub> in dem Verbrennungsabgas mit kleineren Anlagen - mit entsprechend geringeren Verbrauchszahlen - und anderen CO<sub>2</sub>-Entfernungsverfahren ermöglicht, sowie eine Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens.

Diese Aufgabe wird gelöst durch

10 Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material durch Kontakt mit heißem Reduktionsgas, wobei das Reduktionsgas zumindest zum Teil durch katalytische Reformierung eines Gemisches von

- einem Gas, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, mit
- gasförmigen Kohlenwasserstoffen

15 hergestellt wird, wobei die Wärme für die bei der Reformierung ablaufenden endothermen Reformierungsprozesse zumindest teilweise durch Verbrennung eines Brenngases geliefert wird, und das dabei entstehende Verbrennungsabgas abgezogen wird, wobei das Brenngas zumindest teilweise aus einer Teilmenge des bei der Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material anfallenden Topgases, gewonnen wird,  
20 dadurch gekennzeichnet, dass die Teilmenge des Topgases, aus der das Brenngas gewonnen wird, zunächst einer Entstaubung und dann einer CO-Konvertierungsreaktion unterzogen wird, und das bei der CO-Konvertierungsreaktion erhaltene Konvertierungsgas nach einer Abkühlung einer CO<sub>2</sub>-Entfernung unterzogen wird, und das dabei anfallende CO<sub>2</sub>-arme-Konvertierungsgas zumindest als Komponente des  
25 Brenngases genutzt wird.

Bevorzugterweise handelt es sich bei den Metalloxiden um Eisenoxide. Weiters können aber auch gemäß Richardson-Jeffes Diagramm beispielsweise Nickel, Kupfer, Blei, Kobalt reduziert werden.

30

Das Reduktionsgas wird zumindest zum Teil durch katalytische Reformierung eines Gemisches von

- einem Gas, das Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und/oder Wasserdampf H<sub>2</sub>O enthält, mit
- gasförmigen Kohlenwasserstoffen

hergestellt. Diese Reformierung erfolgt durch zumindest teilweise Umsetzung der gasförmigen Kohlenwasserstoffe mit  $H_2O$  und  $CO_2$  zu Wasserstoff ( $H_2$ ) und Kohlenmonoxid (CO). Die für die Reformierung benötigten Substanzen  $H_2O$  und/oder  $CO_2$  können dem Gemisch zur Reformierung jeweils einzeln oder zusammen zugegeben  
5 werden, und/oder es wird das in dem Gas, das Kohlendioxid  $CO_2$  und/oder Wasserdampf  $H_2O$  enthält, vorhandene  $H_2O$  und/oder  $CO_2$  genutzt. Bevorzugt ist es, dem Gemisch zumindest  $H_2O$  – als Wasserdampf – zuzugeben.

Unter gasförmigen Kohlenwasserstoffen sind beispielsweise Erdgas, Methan, Propan,  
10 Syngas aus Kohlevergasung, Koksofengas zu verstehen. Der Begriff gasförmige Kohlenwasserstoffe umfasst sowohl die Möglichkeit, dass lediglich eine Verbindung, beispielsweise reines Propan, vorliegt, als auch die Möglichkeit, dass ein Gemisch aus mehreren Verbindungen vorliegt, beispielsweise ein Gemisch aus Propan und Methan.

15 Das Gas, das das Kohlendioxid  $CO_2$  und/oder Wasserdampf  $H_2O$  enthält, ist beispielsweise Topgas aus dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden. Unter Topgas ist dabei das Gas zu verstehen, welches aus dem Reduktionsaggregat, in dem die Reduktion der Metalloxide zu metallisiertem Material stattfindet, abgeführt wird. Vor der Reformierung wird es gegebenenfalls noch gereinigt,  
20 beispielsweise durch Abscheidung von mitgeführtem Staub und/oder Wasser.

Das Gas, das Kohlendioxid  $CO_2$  und/oder Wasserdampf  $H_2O$  enthält, kann beispielsweise auch Exportgas aus einem anderen Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden sein, beispielsweise Schmelzreduktionsverfahren, oder Syngas aus einem Kohlevergasungsverfahren wie beispielsweise einem Lurgi Festbettvergaser oder  
25 Siemens Flugstromvergaser.

Bevorzugt ist es Topgas aus dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden.

Eine typische Zusammensetzung von Topgas aus einem Direktreduktionsverfahren ist in  
30 Tabelle 1 gezeigt:

Tabelle 1: Typische Gaszusammensetzung von DR Topgas

		Topgaszusammensetzung nach Gasreinigung
CO	[vol%]	20 - 25
CO <sub>2</sub>	[vol%]	15 - 20
H <sub>2</sub>	[vol%]	40 - 46
H <sub>2</sub> O	[vol%]	0 - 18
CH <sub>4</sub>	[vol%]	2 - 4
N <sub>2</sub>	[vol%]	1 - 2

- 5 In dem Gas, das Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und/oder Wasserdampf H<sub>2</sub>O enthält, beträgt die Untergrenze der Menge an Kohlendioxid CO<sub>2</sub> 0 Vol%, bevorzugt 5 Vol%, besonders bevorzugt 15 Vol%, und die Obergrenze der Menge an der Menge an Kohlendioxid CO<sub>2</sub> 25 Vol%, bevorzugt 30 Vol%, besonders bevorzugt 40 Vol%.
- 10 In dem Gas, das Kohlendioxid CO<sub>2</sub> und/oder Wasserdampf H<sub>2</sub>O enthält, beträgt die Untergrenze der Menge an Wasserdampf H<sub>2</sub>O 0 Vol%, bevorzugt 10 Vol%, und die Obergrenze der Menge an der Menge Wasserdampf H<sub>2</sub>O 20 Vol%, bevorzugt 55 Vol%.

15 Durch die katalytische Reformierung wird ein Reduktionsgas erhalten, welches als reduzierende Bestandteile hauptsächlich H<sub>2</sub> und CO enthält. Es ist bekannt, dass es sich bei einer solchen Reformierung um eine endotherme Reaktion handelt, weshalb dem Reformer beispielsweise durch Verbrennung von Brenngas mit Sauerstoff, in Brennern, die dem Reformer zugeordnet sind, Wärme zugeführt wird. Der Sauerstoff wird beispielsweise geliefert durch Luftzufuhr, Zufuhr eines anderen sauerstoffhaltigen

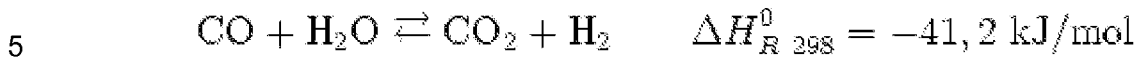
20 Gasmisches, oder Zufuhr von technisch reinem Sauerstoff.

Zur Erhöhung der Effizienz des Gesamtverfahrens wird das Brenngas zumindest teilweise aus einer Teilmenge des bei der Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material anfallenden Topgases, gewonnen. Dieses Topgas enthält noch brennbare Bestandteile

25 wie beispielsweise CO und H<sub>2</sub>, die in den Brennern des Reformers zur Erzeugung der für die Reformierung notwendigen Wärme genutzt werden.

Erfindungsgemäß wird die Teilmenge des Topgases, aus der das Brenngas gewonnen wird, einer CO-Konvertierungsreaktion, auch genannt CO-Shift- oder Wassergas-Shift-

Reaktion, unterzogen. Diese bekannte Reaktion dient dazu, den CO-Anteil im Topgas zu vermindern und gleichzeitig den H<sub>2</sub>-Anteil zu erhöhen, wobei gleichzeitig CO<sub>2</sub> gebildet wird.



Nach der CO-Konvertierungsreaktion erfolgt erfindungsgemäß eine Kühlung und Entfernung des CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O Gehaltes in einer CO<sub>2</sub> Entfernungsanlage, bevor eine Nutzung als Brenngas erfolgt. Dabei wird das CO<sub>2</sub> bereits vor der Verbrennung effizient  
10 abgeschieden. Entsprechend kann der zur Entfernung von CO<sub>2</sub> aus dem Verbrennungsabgas notwendige Aufwand reduziert werden.

Durch diese Maßnahmen wird den Brennern des Reformers ein Brenngas zugeführt, welches als brennbare Komponente hauptsächlich Wasserstoff H<sub>2</sub> enthält. Das hat den Vorteil, dass in den Brennern weniger CO<sub>2</sub> durch Verbrennung entsteht, da der Anteil an  
15 bei der Verbrennung CO<sub>2</sub>-generierenden CO Komponenten im Brenngas gering ist.

Die CO-Konvertierungsreaktion erfolgt bevorzugterweise gemäß Hochtemperatur- oder Rohgaskonvertierungsverfahren, da beide Verfahren keine allzu hohe Empfindlichkeit gegenüber Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) -Anwesenheit im zu behandelnden Gasstrom  
20 aufweisen.

Die CO-Konvertierungsreaktion ist exotherm, kann aber auch isotherm geführt und dabei beispielsweise zur Erzeugung von Dampf genutzt werden. Zum Betrieb des CO-Konvertierungsreaktors ist je nach CO-Konvertierungsverfahren eine Eintrittstemperatur von 160-450°C, beim Hochtemperatur CO-Konvertierungsverfahren  
25 bevorzugterweise 300-450°C, einzuhalten. Im Falle einer Nasswäsche des Topgases vor der CO-Konvertierungsreaktion muss aufgrund des damit verbundenen Temperaturabfalls nach der Nasswäsche eine Aufheizung auf solche Temperaturen erfolgen. Im Falle einer Trockenentstaubung des Topgases vor der CO-Konvertierungsreaktion kann die Temperatur des Topgases gleich für die nachfolgende CO-Konvertierungsreaktion  
30 verwendet werden.

Erfindungsgemäß wird im Anschluss an die CO-Konvertierungsreaktion gekühlt und CO<sub>2</sub> sowie H<sub>2</sub>O aus dem Gasstrom des bei der CO-Konvertierungs-Reaktion erhaltenen Konvertierungsgases abgeschieden. Da der Gasstrom des Konvertierungsgases im  
35 Gegensatz zum Verbrennungsabgas nur eine geringe Stickstoffmenge enthält, und das

CO<sub>2</sub> entsprechend konzentrierter vorliegt als im Verbrennungsabgas, und weil die CO<sub>2</sub>-Entfernung vor der Verbrennung erfolgt, ist das einer CO<sub>2</sub>-Entfernung zu unterziehende Gasvolumen geringer als bei einer CO<sub>2</sub>-Entfernung aus Verbrennungsabgas. Entsprechend ist die Entfernung weniger aufwändig.

5

CO<sub>2</sub> liefert keinen Beitrag zum Brennwert des Brenngases. Bei herkömmlichen Verfahren zur Nutzung von Topgas - welches nach der Reduktion der Metalloxide bereits CO<sub>2</sub> enthält - im Brenngas ist daher oft eine Zumischung von gasförmigen Kohlenwasserstoffen, wie beispielsweise Erdgas, notwendig, um den Heizwert des Brenngases auf ein für die Erreichung der erforderlichen Flammentemperatur im Reformer erforderliches Maß anzuheben. Aufgrund der erfindungsgemäßen Entfernung des CO<sub>2</sub> vor der Verbrennung – und der damit einhergehenden Erhöhung des Heizwertes des Brenngases - kann in der Regel auf solch eine Zumischung von gasförmigen Kohlenwasserstoffen verzichtet werden. Selbstverständlich ist eine Zumischung von gasförmigen Kohlenwasserstoffen bei Bedarf weiterhin möglich.

10  
15

Eine solche Zumischung kann so erfolgen, dass dem CO<sub>2</sub>-armen-Konvertierungsgas zur Herstellung von Brenngas gasförmige Kohlenwasserstoffe zugemischt werden.

Wenn dem CO<sub>2</sub>-arme-Konvertierungsgas vor der Nutzung als Brenngas nichts zugemischt wird, ist das CO<sub>2</sub>-arme-Konvertierungsgas das Brenngas. Wenn dem CO<sub>2</sub>-arme-Konvertierungsgas etwas zugemischt wird, beispielsweise gasförmige Kohlenwasserstoffe, ist es eine Komponente des Brenngases.

20

Ein weiterer Vorteil der Erfindung besteht darin, dass das Verbrennungsabgas nach einer gegebenenfalls erfolgten Wasserabscheidung vorzüglich als Sealgas genutzt werden kann. Als Sealgas bezeichnet man ein nicht brennbares und inertes Gas zur Abdichtung von Austritt von Prozessgas und zur Bereitstellung einer inerten Atmosphäre über einem Material. Sogenanntes Sealgas wird beispielsweise bei der Rohstoffchargierung und im Schachtaustrag eines Reduktionsschachtes, oder bei Heißförderern genutzt. Das bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nach gegebenenfalls erfolgten Wasserabscheidung aus dem Verbrennungsabgas erhaltene Gas enthält als Hauptbestandteil Stickstoff und kaum CO<sub>2</sub>. Im Gegensatz dazu enthält nach einem Verfahren wie in Figur 1 der WO2006135984 gezeigtes anfallendes Verbrennungsabgas 18 bis 20 Vol% CO<sub>2</sub>, welches bei Kontakt mit Produkt des Reduktionsverfahrens, beispielsweise heißem DRI (direct reduced iron) beispielsweise im Schachtaustrag eines Reduktionsschachtes oder in

30  
35

Heißförderern zu Rückoxidation und damit zu Produktverschlechterung führen kann. Eine solche Gefahr besteht bei Verwendung des erfindungsgemäß anfallenden Verbrennungsabgases als Sealgas nicht.

- 5 Aufgrund der hohen Temperatur des entstehenden Konvertierungsgases ist es bei dem erfindungsgemäßen Verfahren notwendig, dass das Konvertierungsgas vor der CO<sub>2</sub>-Entfernung gekühlt wird, um eine für die CO<sub>2</sub>-Entfernung notwendige Temperatur, bevorzugterweise von 30-60°C, zu erreichen. Vorzugsweise wird es auch von bei der Konvertierungsreaktion eingebrachtem, aber nicht umgesetztem Wasserdampf durch  
10 Kondensation befreit.

Weiterhin ist es notwendig, die Teilmenge des Topgases, aus der Brenngas gewonnen wird, vor der CO-Konvertierungsreaktion zu entstauben um den Wartungsaufwand aufgrund von Ablagerungen und Schädigung von Anlagenkomponenten, niedrig zu halten,  
15 eine hohe Verfügbarkeit der Anlage zu gewährleisten, sowie die Umweltvorschriften für in die Umwelt entlassen Gase bezüglich Staubgehalt einzuhalten. Die Entstaubung kann nass oder trocken erfolgen. Der Vorteil einer trockenen Entstaubung besteht darin, dass der Wärmeinhalt für Zwecke der Durchführung der CO-Konvertierungsreaktion notwendige Temperatur genutzt werden kann. Die  
20 Austrittstemperatur von Topgas aus einem Reduktionsaggregat liegt typischerweise im Bereich 250-500°C. Zur optimalen Temperaturführung für die nachfolgenden Verfahrensschritte kann es erforderlich sein, die Temperatur noch etwas durch Kühlung, Heizung, oder Verdampfung von Wasser einzustellen. Vorteilhafterweise wird der Wärmeinhalt zur Erzeugung von Dampf, welcher für die Durchführung der  
25 CO-Konvertierungsreaktion benötigt wird, genutzt. Es ist auch vorteilhaft, wenn der Dampf, welcher für die Durchführung der CO-Konvertierungsreaktion benötigt wird, an anderen Stationen des erfindungsgemäßen Verfahrens gewonnen wird.

Im Fall einer Nassentstaubung muss vor der Durchführung der CO-Konvertierungs-  
30 Reaktion gegebenenfalls eine Erwärmung des Topgasstromes erfolgen, um eine für die CO-Konvertierungsreaktion notwendige Temperatur des Gasstromes zu gewährleisten.

Die Entstaubung kann so erfolgen, dass das gesamte Topgas entstaubt wird, und nach dieser Entstaubung eine Teilmenge zur Gewinnung von Brenngas abgezweigt wird, oder

es kann die Entstaubung nach der Abzweigung der Teilmenge zur Gewinnung von Brenngas erfolgen.

Das bei der CO<sub>2</sub>-Entfernung anfallende CO<sub>2</sub> kann beispielsweise verdichtet, kondensiert  
5 und/oder sequestriert werden, um die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Verfahrens, welche an die Umweltatmosphäre abgegeben werden, zu senken.

Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist eine  
10 Vorrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens, mit einem Reduktionsaggregat zur Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material, einem Reformier zur Durchführung katalytischer Reformierung eines Gemisches von

- einem Gas, welches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, mit
- gasförmigen Kohlenwasserstoffen,

15 wobei der Reformier mit einer Gemischzufuhrleitung zur Zufuhr des Gemisches versehen ist, und wobei der Reformier mit Brennern zur Lieferung von Wärme durch Verbrennung von Brenngas versehen ist, welche mit einer Sauerstoffzufuhrleitung verbunden sind, einer Abzugsleitung zum Abziehen von Verbrennungsabgas aus dem Reformier, einer Reduktionsgaszufuhrleitung für heißes Reduktionsgas aus dem Reformier in das  
20 Reduktionsaggregat, einer Abfuhrleitung zur Abfuhr von Topgas aus dem Reduktionsaggregat, wobei die Brenner über eine von der Abfuhrleitung abzweigende Verbindungsleitung mit der Abfuhrleitung verbunden sind, und wobei zumindest

25 in der Abfuhrleitung zwischen Reduktionsaggregat und der von ihr abzweigenden Verbindungsleitung,  
oder in der Verbindungsleitung eine Entstaubungsvorrichtung vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, dass  
30 in der Verbindungsleitung, zwischen der gegebenenfalls vorhandenen Entstaubungseinrichtung und den Brennern, von der Abfuhrleitung aus gesehen aufeinanderfolgend ein CO-Konvertierungs-Reaktor, eine Gaskühlungsvorrichtung, und eine CO<sub>2</sub>-Entfernungsvorrichtung vorhanden sind.

Bei den gasförmigen Kohlenwasserstoffen handelt es sich typischerweise um Erdgas, Methan, Propan.

5 Nach einer Ausführungsform mündet eine Kohlenwasserstoffzuleitung für gasförmige Kohlenwasserstoffe in die Verbindungsleitung, wodurch bei Bedarf die Zumischung von gasförmigen Kohlenwasserstoffen erfolgen kann, um ein Brenngas mit gewünschtem Heizwert zu erhalten.

10 Dabei kann die Kohlenwasserstoffzuleitung für gasförmige Kohlenwasserstoffen von der Abfuhrleitung aus gesehen hinter der CO<sub>2</sub>-Entfernungs-Vorrichtung in die Verbindungsleitung münden.

15 Nach einer Ausführungsform ist die Entstaubungsvorrichtung eine Trockenentstaubungsvorrichtung wie beispielsweise ein Zyklon, Heißgasfilter, Schlauchfilter.

Nach einer anderen Ausführungsform ist die Entstaubungsvorrichtung eine Nassentstaubungsvorrichtung.

20 Es kann auch mehr als eine Entstaubungsvorrichtung vorhanden sein. Diese können beispielsweise sowohl in der Abfuhrleitung zwischen Reduktionsaggregat und der von ihr abzweigenden Verbindungsleitung, und in der Verbindungsleitung angeordnet sein.

25 Gemäß einer Ausführungsform ist dabei beispielsweise eine Nassentstaubungsvorrichtung in der Abfuhrleitung zwischen Reduktionsaggregat und der von ihr abzweigenden Verbindungsleitung, und eine Trockenentstaubungsvorrichtung in der Verbindungsleitung angeordnet.

30 Dabei ist bevorzugterweise zwischen der Nassentstaubungsvorrichtung und dem CO-Konvertierungs-Reaktor eine Gaserwärmungsvorrichtung in der Verbindungsleitung vorhanden.

Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand mehrerer schematischer Figuren näher erklärt.

5 Figur 1 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung, bei der eine Nassentstaubung vorhanden ist.

Figur 2 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit kombinierter Naß- und Trockenentstaubung.

Figur 3 zeigt eine erfindungsgemäße Vorrichtung mit reiner Trockenentstaubung und Kühlung des Topgases.

10 Figur 4 zeigt ein Verfahren entsprechend Figur 2, wobei das Gas, welches Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und/oder Wasserdampf ( $\text{H}_2\text{O}$ ) enthält, aus einer anderen Quelle als in Figur 2 stammt.

In Figur 1 werden einem Reduktionsaggregat 1, hier einem Festbettreduktionsschacht, 15 werden über die Oxidzugabevorrichtung 2 Metalloxide 3 – im vorliegenden Fall Eisenoxide - zugegeben, beispielsweise als Pellets oder stückiges Erz. Über die Abfuhrleitung 5 wird das Topgas, welches in dem Reduktionsaggregat bei der Reduktion der Metalloxide zu metallisiertem Material aus dem Reduktionsgas entsteht, aus dem Reduktionsaggregat abgeführt. In der Abfuhrleitung 5 sind Verdichter 17a 17b vorhanden, 20 um den in der Anlage entstehenden Druckabfall zu überwinden. In einen Reformier 4 zur katalytischen Reformierung eines Gemisches aus Topgas und gasförmigen Kohlenwasserstoffen werden über eine Gemischzufuhrleitung 6 ein Gemisch von Topgas und gasförmige Kohlenwasserstoffe, in diesem Fall Erdgas, zugeführt. Das Erdgas wird dabei über die Erdgasleitung 7 zugeführt. Der Reformier 4 ist mit Brennern 8a, 8b, 8c zur 25 Lieferung von für die Reformierung notwendiger Wärme durch Verbrennung von Brenngas versehen. Das im Reformier 4 gebildete heiße Reduktionsgas wird über die Reduktionsgaszufuhrleitung 9 dem Reduktionsaggregat 1 zugeführt. Über eine Abzugsleitung 10 zum Abziehen des bei der Verbrennung von Brenngas im Reformier anfallenden Verbrennungsabgases wird das Verbrennungsabgas aus dem Reformier 30 abgezogen. Das Verbrennungsabgas strömt dabei aus dem Reformier 4 heraus.

Die Abzugsleitung 10 enthält eine Vorrichtung 11 zum Kühlen des Verbrennungsabgases und zur Befreiung des Verbrennungsabgases von Wasser. Kühlung und Befreiung von Wasser erfolgen in derselben Vorrichtung. Die Abzugsleitung 10 führt in einen Kamin, durch den das Verbrennungsabgas in die Umwelt entlassen werden kann.

Durch die Vorrichtung 11 oder durch weitere Prozessabwärmen, beispielsweise aus Topgas oder dem Konvertierungsgas nach der CO-Konvertierung, kann auch Dampf produziert werden, der für die CO Konvertierung genutzt werden kann.

Die Brenner 8a, 8b, 8c sind mit Vorrichtungen zur Zuführung von Brenngas, dargestellt  
5 durch die von der Abfuhrleitung 5 abzweigende Verbindungsleitung 12, versehen. Durch die Verbindungsleitung 12 wird den Brennern 8a, 8b, 8c Brenngas zugeleitet.

Über die Sauerstoffzufuhrleitung 13 zur Zufuhr von Sauerstoff - in diesem Fall mittels Luftzufuhr - wird den Brennern 8a, 8b, 8c der für die Verbrennung des Brenngases notwendige Sauerstoff zugeführt. Die Luft wird mittels Gebläse 14 in die  
10 Sauerstoffzufuhrleitung eingespeist.

In der Abzugsleitung 10 ist eine Vorrichtung zur Erwärmung der in der Sauerstoffzufuhrleitung 13 geführten Luft, in diesem Fall ein Rekuperator 15 für indirekten Wärmeaustausch der Luft in der Sauerstoffzufuhrleitung 13 mit dem Verbrennungsabgas  
15 in der Abzugsleitung 10, vorhanden.

Weiterhin ist in der Abzugsleitung 10 eine Vorrichtung zur Erwärmung des Gemisches aus Topgas und gasförmigen Kohlenwasserstoffen in der Gemischzufuhrleitung 6, in diesem Fall ein Rekuperator 16 für indirekten Wärmeaustausch zwischen dem Gemisch aus Topgas und gasförmigen Kohlenwasserstoffen in der Gemischzufuhrleitung 6 und dem  
20 Verbrennungsabgas in der Abzugsleitung 10, vorhanden.

In der Abfuhrleitung 5 ist zwischen Reduktionsaggregat 1 und der Abzweigung der Verbindungsleitung 12 eine Entstaubungsvorrichtung 18, in diesem Fall eine Nassentstaubungsvorrichtung, vorhanden.

In der Verbindungsleitung 12 sind von der Abzweigung aus der Abfuhrleitung 5 aus  
25 gesehen hintereinander eine Gaserwärmungsvorrichtung 19, in diesem Fall ein Rekuperator zum indirekten Wärmeaustausch, ein CO-Konvertierungs-Reaktor 20, eine Gaskühlungsvorrichtung 21 und eine CO<sub>2</sub>-Entfernungsvorrichtung 22 vorhanden.

Von der Abzweigung aus der Abfuhrleitung 5 aus gesehen mündet dabei vor dem CO-Konvertierungs-Reaktor 20 eine Dampfzufuhrleitung 23 in die Verbindungsleitung 12.

30 Eine Ausfuhr von produziertem Dampf aus dem CO-Konvertierungs-Reaktor 20 ist mit einem von diesem ausgehenden strichlierten Pfeil angedeutet. Eine Ausfuhr von Kondensat aus der Gaskühlungsvorrichtung 21 ist durch einen von dieser ausgehenden Pfeil dargestellt. Die Ausfuhr eines CO<sub>2</sub>-reichen Gasstromes aus der CO<sub>2</sub>-Entfernungsvorrichtung 22 ist durch einen von dieser ausgehenden strichlierten Pfeil  
35 dargestellt. Der CO<sub>2</sub>-reiche Gasstrom kann beispielsweise sequestriert werden.

Von der Abfuhrleitung aus gesehen hinter der CO<sub>2</sub>-Entfernungsvorrichtung 22 mündet eine Kohlenwasserstoffzuleitung 24 für gasförmige Kohlenwasserstoffe in die Verbindungsleitung 12.

- 5 Die im Reduktionsaggregat 1 reduzierten Metalloxide 3 werden, wie durch einen Pfeil angedeutet, aus dem Reduktionsaggregat 1 entnommen.
- Das bei der Reduktion anfallende Topgas wird durch die Abfuhrleitung 5 aus dem Reduktionsaggregat ausgeführt. Nach der Entstaubung in der Entstaubungsvorrichtung 5 wird eine Teilmenge des Topgases in der Verbindungsleitung 12 zu den Brennern 8a, 8b,  
10 8c geführt, wobei es zunächst in der Gaserwärmungsvorrichtung 19 auf eine Temperatur erwärmt wird, die zur Funktion des CO-Konvertierungs-Reaktors 20 notwendig ist, und nach Dampfzufuhr über die Dampfzufuhrleitung 23 im CO-Konvertierungs-Reaktors 20 der CO-Konvertierungsreaktion unterworfen wird. Das dabei erhaltene Produkt, genannt Konvertierungsgas, wird in der Gaskühlungsvorrichtung 21 gekühlt und durch  
15 Kondensation von mitgeführten Dampf befreit, und anschließend in der CO<sub>2</sub>-Entfernungsvorrichtung 22 von CO<sub>2</sub> befreit. Das CO<sub>2</sub>-arme Produkt dieses Schrittes, genannt CO<sub>2</sub>-armes-Konvertierungsgas, wird nach Zumischung von gasförmigen Kohlenwasserstoffen durch die Kohlenwasserstoffzuleitung 24 in den Brennern 8a, 8b, 8c als Brenngas verwendet. Der zur Verbrennung notwendige Sauerstoff wird über die  
20 Sauerstoffzufuhrleitung 13 in Form von mittels Gebläse 14 komprimierter Luft zugeführt. Im Reformier 4 wird heißes Reduktionsgas durch Reformierung eines Gemisches aus Topgas und gasförmiger Kohlenwasserstoffe hergestellt, und über die Reduktionsgaszufuhrleitung 9 dem Reduktionsaggregat zugeleitet.
- 25 Figur 2 zeigt eine Vorrichtung analog zu Figur 1, wobei der Unterschied besteht, dass keine Entstaubungsvorrichtung 18 und keine Gaserwärmungsvorrichtung 19 vorhanden sind. Stattdessen sind
- in der Abfuhrleitung 5 vom Reduktionsaggregat 1 aus gesehen hinter der Abzweigung der Verbindungsleitung 12 eine Entstaubungsvorrichtung 25, die als  
30 Nassentstaubungsvorrichtung ausgeführt ist, und
  - in der Verbindungsleitung 12 zwischen der Abzweigung der Verbindungsleitung 12 aus der Abfuhrleitung 5 und dem CO-Konvertierungsreaktor 20 eine Entstaubungsvorrichtung 26, die als Trockenentstaubungsvorrichtung ausgeführt ist,

vorhanden. Da in der Entstaubungsvorrichtung 26 kein Temperaturverlust auftritt, ist keine Gaserwärmungsvorrichtung 19 zur Gewährleistung der für den CO-Konvertierungsreaktor notwendigen Temperatur notwendig. Zur besseren Übersichtlichkeit sind nur die in Figur 2 gegenüber Figur 1 hinzugekommenen Vorrichtungsteile mit Bezugszeichen versehen.

5

Figur 3 zeigt eine Vorrichtung analog zu Figur 1, wobei der Unterschied darin besteht, dass keine Entstaubungsvorrichtung 18 und keine Gaserwärmungsvorrichtung 19 vorhanden sind.

Stattdessen sind

- 10 - in der Abfuhrleitung 5 vom Reduktionsaggregat 1 aus gesehen vor der Abzweigung der Verbindungsleitung 12 eine Entstaubungsvorrichtung 27, die als Trockenentstaubungsvorrichtung ausgeführt ist, und
- in der Abfuhrleitung 5 vom Reduktionsaggregat 1 aus gesehen hinter der Abzweigung der Verbindungsleitung 12 eine Vorrichtung zur Kühlung des  
15 Topgases, umfassend das als Rekuperator ausgeführte Kühlelement 28 und den mit Kühlwasser 29 betriebenen Gaskühler 30,

vorhanden.

Da in der Entstaubungsvorrichtung 27 kein Temperaturverlust auftritt, ist keine Gaserwärmungsvorrichtung 19 zur Gewährleistung der für den CO-Konvertierungsreaktor  
20 notwendigen Temperatur notwendig. Zur besseren Übersichtlichkeit sind nur die in Figur 2 gegenüber Figur 1 hinzugekommenen Vorrichtungsteile mit Bezugszeichen versehen.

Figur 4 zeigt eine Vorrichtung analog zu Figur 2, mit dem Unterschied, dass als Gas, welches Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, nicht Topgas, sondern Syngas aus einem Kohlevergasungsverfahren mit bis zu 40 Vol% Kohlendioxid und bis zu  
25 55 Vol% Wasserdampf verwendet wird. Dieses Syngas aus einem nicht dargestellten Kohlevergasungsverfahren wird über die in die Gemischzufuhrleitung 6 mündende Syngasleitung 31 in die Gemischzufuhrleitung 6 eingeleitet. Das in der  
30 Gemischzufuhrleitung 6 dabei generierte Gemisch von Syngas und Erdgas wird im Reformier 4 reformiert. Zur besseren Übersichtlichkeit sind nur die in Figur 4 gegenüber Figur 2 hinzugekommenen Vorrichtungsteile sowie die Erdgasleitung 7 mit Bezugszeichen versehen.

35

## Bezugszeichenliste:

	1	Reduktionsaggregat
	2	Oxidzugabevorrichtung
	3	Metalloxide
5	4	Reformer
	5	Abfuhrleitung
	6	Gemischzufuhrleitung
	7	Erdgasleitung
	8a, 8b, 8c	Brenner
10	9	Reduktionsgaszufuhrleitung
	10	Abzugsleitung
	11	Vorrichtung zum Kühlen/Befreiung von H <sub>2</sub> O
	12	Verbindungsleitung
	13	Sauerstoffzufuhrleitung
15	14	Kompressor
	15	Rekuperator
	16	Rekuperator
	17a, 17b	Verdichter
	18	Entstaubungsvorrichtung
20	19	Gaserwärmungsvorrichtung
	20	CO-Konvertierungsreaktor
	21	Gaskühlungsvorrichtung
	22	CO <sub>2</sub> -Entfernungsvorrichtung
	23	Dampfzufuhrleitung
25	24	Erdgaszuleitung
	25	Entstaubungsvorrichtung
	26	Entstaubungsvorrichtung
	27	Entstaubungsvorrichtung
	28	Kühlelement
30	29	Kühlwasser
	30	Gaskühler
	31	Syngasleitung

Patentansprüche:

- 5 1) Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material durch Kontakt mit heißem Reduktionsgas, wobei das Reduktionsgas zumindest zum Teil durch katalytische Reformierung eines Gemisches von  
- einem Gas, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, mit  
- gasförmigen Kohlenwasserstoffen  
hergestellt wird, wobei die Wärme für die bei der Reformierung ablaufenden  
10 endothermen Reformierungsprozesse zumindest teilweise durch Verbrennung eines Brenngases geliefert wird, und das dabei entstehende Verbrennungsabgas abgezogen wird,  
wobei das Brenngas zumindest teilweise aus einer Teilmenge des bei der Reduktion von Metalloxiden zu metallisiertem Material anfallenden Topgases,  
15 gewonnen wird,  
dadurch gekennzeichnet, dass die Teilmenge des Topgases, aus der das Brenngas gewonnen wird, zunächst einer Entstaubung und dann einer CO-Konvertierungsreaktion unterzogen wird, und das bei der CO-Konvertierungsreaktion erhaltene Konvertierungsgas nach einer Abkühlung einer  
20 CO<sub>2</sub>-Entfernung unterzogen wird, und das dabei anfallende CO<sub>2</sub>-arme Konvertierungsgas zumindest als Komponente des Brenngases genutzt wird.
- 2) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, Topgas aus dem  
25 Verfahren zur Reduktion von Metalloxiden ist.
- 3) Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Gas, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, Exportgas aus einem Schmelzreduktionsverfahren oder Syngas aus einem Kohlevergasungsverfahren  
30 ist.
- 4) Verfahren nach Anspruch 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass dem CO<sub>2</sub>-armen Konvertierungsgas zur Gewinnung von Brenngas gasförmige Kohlenwasserstoffe zugemischt werden.

5) Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Entstaubung trocken erfolgt.

6) Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Entstaubung nass erfolgt.

7) Vorrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 6, mit einem Reduktionsaggregat (1) zur Reduktion von Metalloxiden (3) zu metallisiertem Material,

einem Reformier (4) zur Durchführung katalytischer Reformierung eines Gemisches von

- einem Gas, das Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und/oder Wasserdampf (H<sub>2</sub>O) enthält, mit  
- gasförmigen Kohlenwasserstoffen,

wobei der Reformier (4) mit einer Gemischzufuhrleitung (6) zur Zufuhr des Gemisches versehen ist, und wobei der Reformier mit Brennern (8a,8b,8c) zur Lieferung von Wärme durch Verbrennung von Brenngas versehen ist, welche mit einer Sauerstoffzufuhrleitung (13) verbunden sind, einer Abzugsleitung (10) zum Abziehen von Verbrennungsabgas aus dem Reformier (4),

einer Reduktionsgaszufuhrleitung (9) für heißes Reduktionsgas aus dem Reformier (4) in das Reduktionsaggregat (1), einer Abfuhrleitung (5) zur Abfuhr von Topgas aus dem Reduktionsaggregat (1), wobei die Brenner (8a,8b,8c) über eine von der Abfuhrleitung (5) abzweigende Verbindungsleitung (12) mit der Abfuhrleitung (5) verbunden sind, und wobei zumindest in

der Abfuhrleitung (5) zwischen Reduktionsaggregat (1) und der von ihr abzweigenden Verbindungsleitung (12), oder in der Verbindungsleitung (12) eine Entstaubungsvorrichtung (18) vorhanden ist, dadurch gekennzeichnet, dass

in der Verbindungsleitung (12), zwischen der gegebenenfalls vorhandenen Entstaubungseinrichtung (18) und den Brennern (8a,8b,8c), von der Abfuhrleitung (5) aus gesehen aufeinanderfolgend ein CO-Konvertierungs-Reaktor (20), eine Gaskühlungsvorrichtung (21), und eine CO<sub>2</sub>-Entfernungsvorrichtung (22) vorhanden sind.

- 8) Vorrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass eine Kohlenwasserstoffzuleitung (24) für gasförmige Kohlenwasserstoffe in die Verbindungsleitung (12) mündet.
- 5 9) Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kohlenwasserstoffzuleitung (24) für gasförmige Kohlenwasserstoffe von der Abfuhrleitung (5) aus gesehen hinter der CO<sub>2</sub>-Entfernungs-Vorrichtung (22) in die Verbindungsleitung (12) mündet.
- 10 10) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Entstaubungsvorrichtung (18) eine Trockenentstaubungsvorrichtung ist.
- 11) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Entstaubungsvorrichtung (18) eine Nassentstaubungsvorrichtung ist.
- 15 12) Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Nassentstaubungsvorrichtung und dem CO-Konvertierungsreaktor (20) eine Gaserwärmungsvorrichtung (19) in der Verbindungsleitung vorhanden ist.
- 20 13) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Reduktionsaggregat (1) eine Wirbelschichtkaskade ist.
- 14) Vorrichtung nach einem der Ansprüche 7 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Reduktionsaggregat (1) ein Festbettreduktionsschacht ist.

Fig. 1

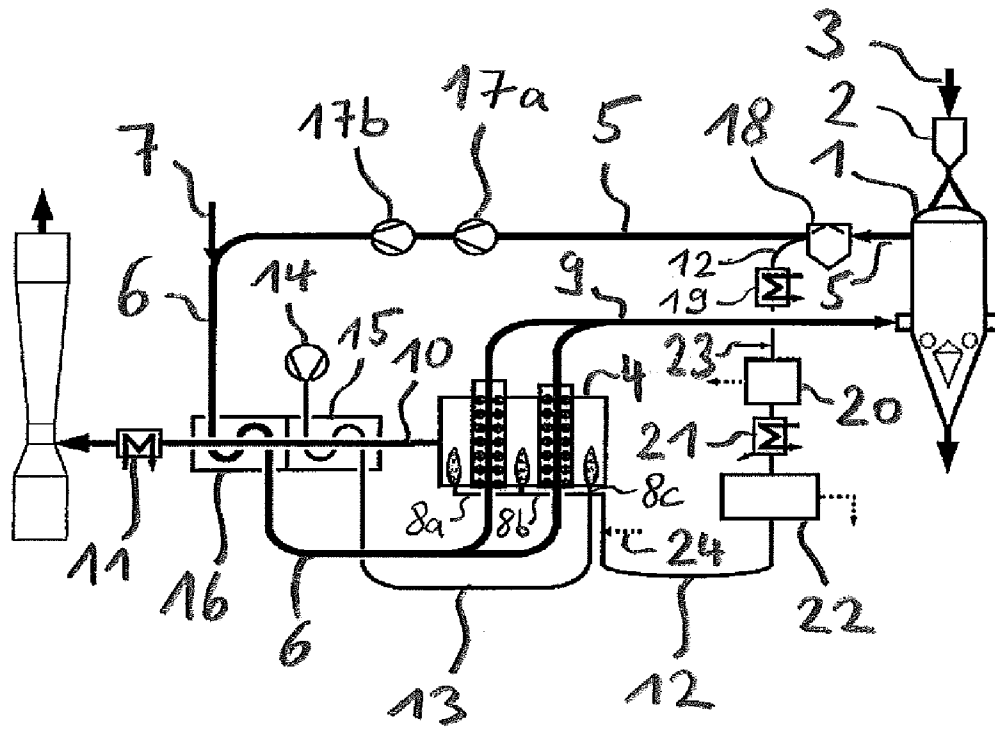


Fig. 2

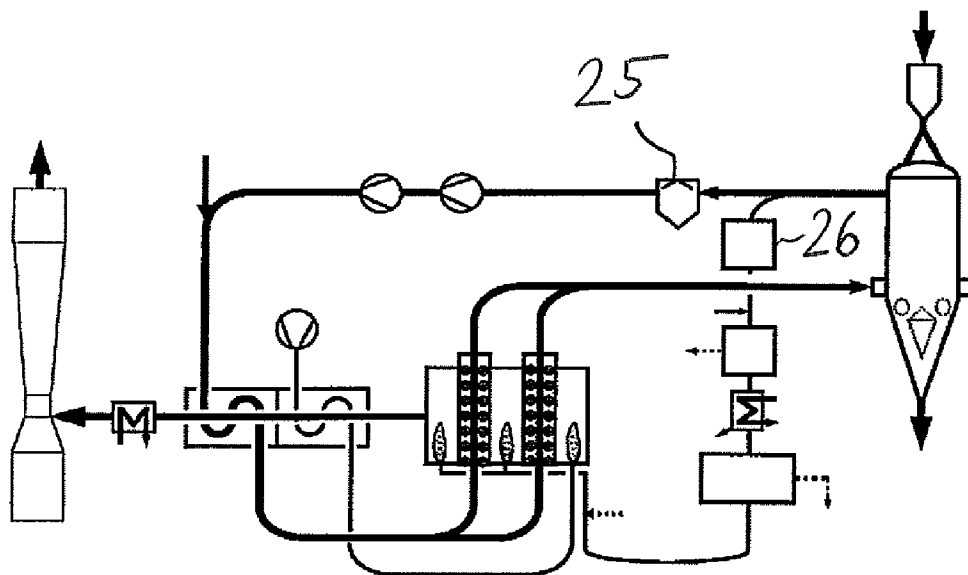


Fig. 3

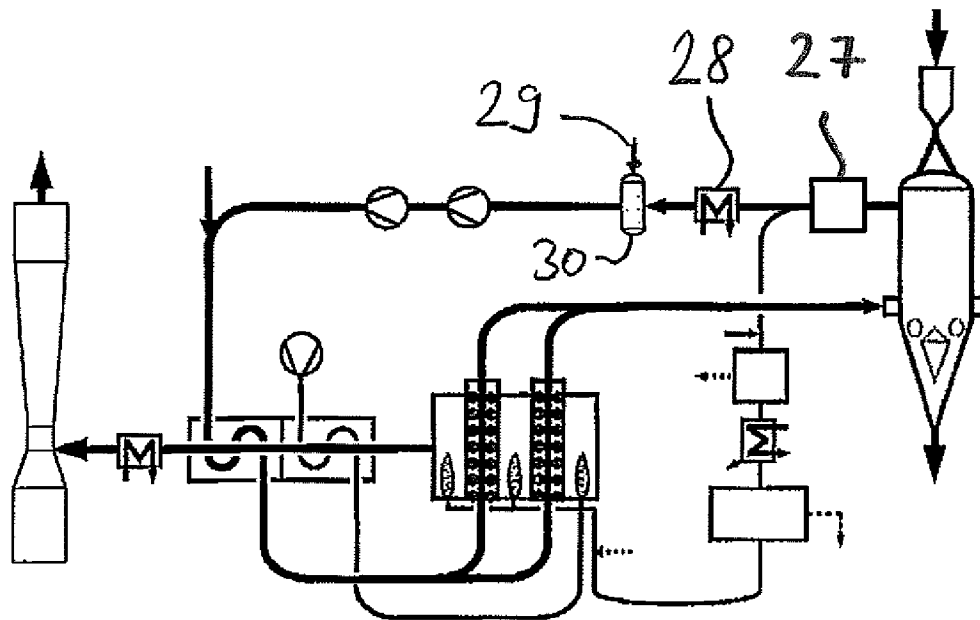
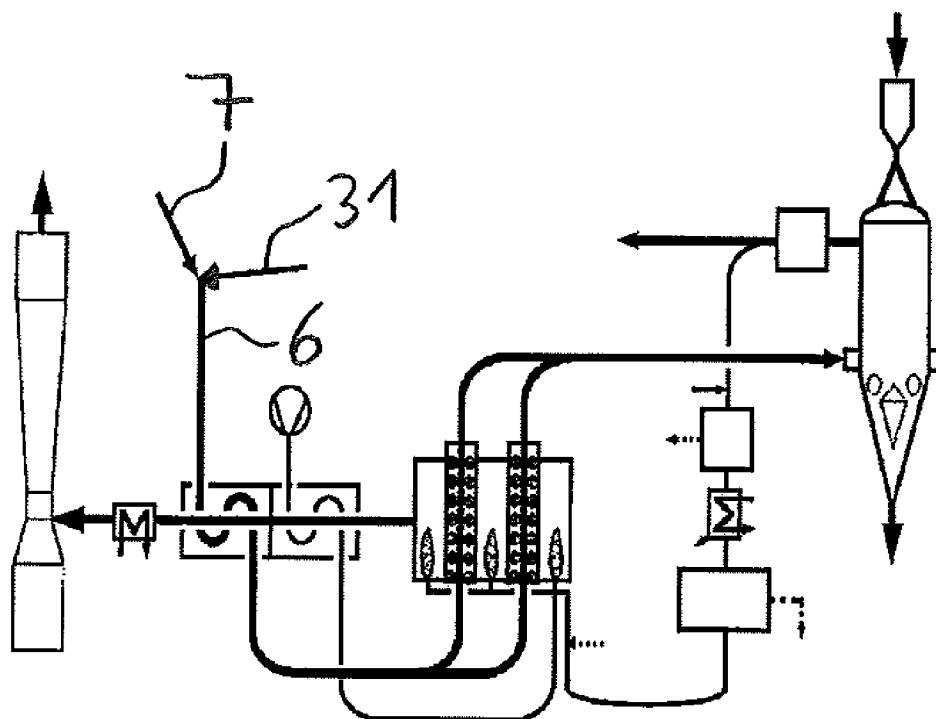


Fig. 4



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

International application No  
PCT/EP2010/060130

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
INV. C21B13/00 C21B13/02 C22B5/12  
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)  
C21B C22B

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.
A	DE 26 51 309 A1 (MIDREX CORP) 18 May 1977 (1977-05-18) page 15, line 11 - page 17, line 2; claims 1,2,5-7; figure 1	1-14
A	WO 2006/135984 A1 (TECH RESOURCES PTY LTD [AU]; HAYMAN CHRISTOPHER MARTIN [BR]; CONNOR AN) 28 December 2006 (2006-12-28) cited in the application page 11, line 8 - line 23; figure 1	1-14
A	WO 2005/054520 A1 (POSCO [KR]; VOEST ALPINE IND ANLAGEN [AT]; KANG CHANG OH [KR]; KIM DEU) 16 June 2005 (2005-06-16) page 16, line 13 - line 22; figure 1	1
	----- -/--	

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

20 October 2010

Date of mailing of the international search report

27/10/2010

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

Bombeke, Martin

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2010/060130

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	GB 748 167 A (VETROCOKE) 25 April 1956 (1956-04-25) claims 1-6; figure 1 -----	1,7,14
A	US 6 183 535 B1 (DE-GYVES-DE-LA-PENA ALE [VE] ET AL) 6 February 2001 (2001-02-06) column 4, line 28 - column 5, paragraph 35; figure 1 -----	1-14
A	JP 61 099613 A (NIPPON STEEL CORP; NITTETSU PLANT DESIGNING CORP) 17 May 1986 (1986-05-17) figures 1-4 -----	1-14
A	WO 2009/037587 A2 (HYL TECHNOLOGIES S A DE C V [MX]; ZENDEJAS-MARTINEZ EUGENIO [MX]; DUAR) 26 March 2009 (2009-03-26) figure 1 -----	1-6

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2010/060130

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
DE 2651309	A1	18-05-1977	AR 212641 A1 31-08-1978
			AU 524945 B2 14-10-1982
			AU 1909976 A 04-05-1978
			BE 890549 A7 18-01-1982
			BR 7607326 A 20-09-1977
			CA 1081468 A1 15-07-1980
			ES 453173 A1 16-11-1977
			GB 1504270 A 15-03-1978
			JP 1118768 C 28-10-1982
			JP 52060214 A 18-05-1977
			JP 57010928 B 01-03-1982
			KE 3107 A 13-02-1981
			MY 29281 A 31-12-1981
			US 4032120 A 28-06-1977
			US 4087275 A 02-05-1978
			ZA 7606553 A 26-10-1977
WO 2006135984	A1	28-12-2006	AR 054517 A1 27-06-2007
			BR PI0611894 A2 05-10-2010
WO 2005054520	A1	16-06-2005	AU 2004295629 A1 16-06-2005
			BR PI0414335 A 07-11-2006
			EP 1689892 A1 16-08-2006
GB 748167	A	25-04-1956	NONE
US 6183535	B1	06-02-2001	NONE
JP 61099613	A	17-05-1986	NONE
WO 2009037587	A2	26-03-2009	NONE

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/060130

## A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. C21B13/00 C21B13/02 C22B5/12  
ADD.

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

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole )  
C21B C22B

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.
A	DE 26 51 309 A1 (MIDREX CORP) 18. Mai 1977 (1977-05-18) Seite 15, Zeile 11 - Seite 17, Zeile 2; Ansprüche 1,2,5-7; Abbildung 1 -----	1-14
A	WO 2006/135984 A1 (TECH RESOURCES PTY LTD [AU]; HAYMAN CHRISTOPHER MARTIN [BR]; CONNOR AN) 28. Dezember 2006 (2006-12-28) in der Anmeldung erwähnt Seite 11, Zeile 8 - Zeile 23; Abbildung 1 -----	1-14
A	WO 2005/054520 A1 (POSCO [KR]; VOEST ALPINE IND ANLAGEN [AT]; KANG CHANG OH [KR]; KIM DEU) 16. Juni 2005 (2005-06-16) Seite 16, Zeile 13 - Zeile 22; Abbildung 1 ----- -/--	1

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

- |   |   |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :</li> <li>"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist</li> <li>"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist</li> <li>"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)</li> <li>"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht</li> <li>"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>"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</li> <li>"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderscher Tätigkeit beruhend betrachtet werden</li> <li>"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderscher 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 nahelegend ist</li> <li>"&amp;" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist</li> </ul> |
|---|---|

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absenddatum des internationalen Recherchenberichts
20. Oktober 2010	27/10/2010
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  Bombeke, Martin

## C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	GB 748 167 A (VETROCOKE) 25. April 1956 (1956-04-25) Ansprüche 1-6; Abbildung 1 -----	1,7,14
A	US 6 183 535 B1 (DE-GYVES-DE-LA-PENA ALE [VE] ET AL) 6. Februar 2001 (2001-02-06) Spalte 4, Zeile 28 - Spalte 5, Absatz 35; Abbildung 1 -----	1-14
A	JP 61 099613 A (NIPPON STEEL CORP; NITTETSU PLANT DESIGNING CORP) 17. Mai 1986 (1986-05-17) Abbildungen 1-4 -----	1-14
A	WO 2009/037587 A2 (HYL TECHNOLOGIES S A DE C V [MX]; ZENDEJAS-MARTINEZ EUGENIO [MX]; DUAR) 26. März 2009 (2009-03-26) Abbildung 1 -----	1-6

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2010/060130

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 2651309	A1	18-05-1977	AR 212641 A1 31-08-1978
			AU 524945 B2 14-10-1982
			AU 1909976 A 04-05-1978
			BE 890549 A7 18-01-1982
			BR 7607326 A 20-09-1977
			CA 1081468 A1 15-07-1980
			ES 453173 A1 16-11-1977
			GB 1504270 A 15-03-1978
			JP 1118768 C 28-10-1982
			JP 52060214 A 18-05-1977
			JP 57010928 B 01-03-1982
			KE 3107 A 13-02-1981
			MY 29281 A 31-12-1981
			US 4032120 A 28-06-1977
			US 4087275 A 02-05-1978
			ZA 7606553 A 26-10-1977
WO 2006135984	A1	28-12-2006	AR 054517 A1 27-06-2007
			BR PI0611894 A2 05-10-2010
WO 2005054520	A1	16-06-2005	AU 2004295629 A1 16-06-2005
			BR PI0414335 A 07-11-2006
			EP 1689892 A1 16-08-2006
GB 748167	A	25-04-1956	KEINE
US 6183535	B1	06-02-2001	KEINE
JP 61099613	A	17-05-1986	KEINE
WO 2009037587	A2	26-03-2009	KEINE