



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
02.08.2023 Patentblatt 2023/31

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21B 13/00 (2006.01) C21B 13/02 (2006.01)
C21B 13/08 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22020024.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21B 13/0073; C21B 13/0033; C21B 13/02;
C21B 13/08; C21B 2100/22; C21B 2100/26;
C21B 2100/282; C21B 2100/44; C21B 2100/62

(22) Anmeldetag: **28.01.2022**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

- **Lemme, Volkmär**
82049 Pullach (DE)
- **Mayerhofer, Matthias**
82049 Pullach (DE)
- **Kloyer, Leopold**
82049 Pullach (DE)

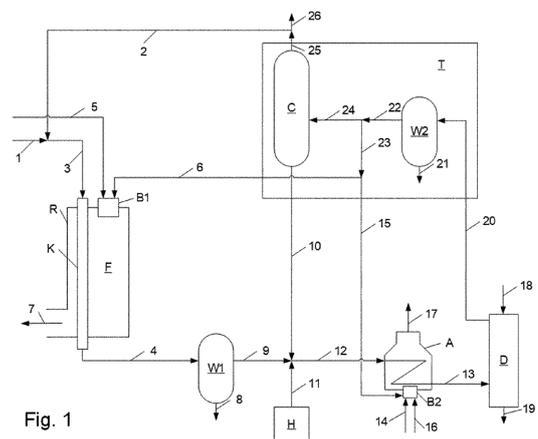
(71) Anmelder: **Linde GmbH**
82049 Pullach (DE)

(74) Vertreter: **Fischer, Werner**
Linde GmbH
Intellectual Property EMEA
Dr.-Carl-von-Linde-Straße 6-14
82049 Pullach (DE)

(72) Erfinder:
• **Ranke, Harald**
82049 Pullach (DE)

(54) **EISENDIREKTREDUKTION MIT REDUZIERTER KOHLENDIOXIDFREISETZUNG**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Gewinnung von metallischem Eisen (19), bei dem ein methanreicher Einsatz (1) unter Zuführung von Kohlendioxid (2) reformiert wird, um Wasserstoff und Kohlenmonoxid für die Bildung eines Reduktionsgases (12) zu erhalten, das mit einem definierten Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenmonoxid in einen mit Eisenerz (18) beschickten Reaktor (D) eingeleitet wird, wo bei der Direktreduktion von Eisenerz (18) neben metallischem Eisen (19) ein Wasserstoff, Kohlenmonoxid sowie Kohlendioxid und Wasser enthaltendes Reduktionsabgas (20) entsteht, von dem ein kohlendioxidreicher Stoffstrom (2) zur Verwendung bei der Reformierung des methanreichen Einsatzes (1) sowie ein Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltendes Restgas (10) zur Verwendung bei der Bildung des Reduktionsgases (12) abgetrennt werden. Kennzeichnen hierbei ist, dass Wasserstoff (11) durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder durch die Pyrolyse von Methan erzeugt und zur Einstellung des Wasserstoff/Kohlenmonoxid-Verhältnisses im Reduktionsgas (12) eingesetzt wird.



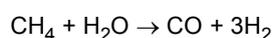
Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung von metallischem Eisen, bei dem ein methanreicher Einsatz unter Zuführung von Kohlendioxid reformiert wird, um Wasserstoff und Kohlenmonoxid für die Bildung eines Reduktionsgases zu erhalten, das mit einem definierten Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenmonoxid in einen mit Eisenerz beschickten Reaktor eingeleitet wird, wo bei der Direktreduktion von Eisenerz neben metallischem Eisen ein Wasserstoff, Kohlenmonoxid sowie Kohlendioxid und Wasser enthaltendes Reduktionsabgas entsteht, von dem ein kohlendioxidreicher Stoffstrom zur Verwendung bei der Reformierung des methanreichen Einsatzes sowie ein Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltendes Restgas zur Verwendung bei der Bildung des Reduktionsgases abgetrennt werden.

[0002] Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0003] Die Direktreduktion von Eisenerz wird seit vielen Jahren zur Gewinnung von Roheisen eingesetzt. Ein Reduktionsreaktor, bei dem es sich meist um einen Schachtofen handelt, der aber auch als Drehrohr- oder Wirbelschichtofen ausgeführt sein kann, wird dabei mit Eisenerz beschickt, das auf seinem Weg durch den Reaktor mit einem heiß zugeführten, die Reduktionsmittel Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltenden Reduktionsgas in intensiven Kontakt gebracht wird. Die im Erz enthaltenen Eisenoxide werden durch Wasserstoff und Kohlenmonoxid zu Eisen reduziert, wodurch ein weitgehend aus metallischem Eisen bestehendes, als Eisenschwamm bezeichnetes Zwischenprodukt entsteht, das aus dem Reduktionsreaktor ausgetragen wird, um zu Stahl weiterverarbeitet zu werden.

[0004] Nach dem Stand der Technik wird das Reduktionsgas aus einem Syntheserohgas gebildet, das durch die Dampfreformierung von Erdgas gewonnen wird, wobei die folgende, insgesamt endotherme Reaktion abläuft:

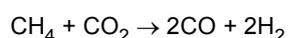


[0005] Das Syntheserohgas, das neben Wasserstoff und Kohlenmonoxid auch erhebliche Mengen Wasser sowie ca. 5mol-% nicht umgesetzte Kohlenwasserstoffe wie insbesondere Methan enthält, wird in einem ersten Schritt abgekühlt, um Wasser auszukondensieren, ehe es mit einem Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltenden Recyclegas zum Reduktionsgas gemischt wird. Im indirekten Wärmetausch gegen heiße, durch die Verbrennung von Erdgas oder eines anderen fossilen Energieträgers erzeugte Rauchgase und ggf. durch partielle Oxidation von im Reduktionsgas vorliegenden Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen wird das Reduktionsgas anschließend auf eine Temperatur von ca. 1100°C aufgeheizt, mit der es in den Reduktionsreaktor eintritt.

[0006] Neben den beiden Reduktionsmitteln Wasserstoff und Kohlendioxid, die in einem definierten, für den Reduktionsprozess optimierten Verhältnis zueinander vorliegen, umfasst das Reduktionsgas auch ca. 15mol-% Methan, das nur schwach als Reduktionsmittel wirkt und von dem im Reduktionsreaktor lediglich ein kleiner Teil oxidiert wird. Aus dem Reduktionsreaktor kann daher ein im Folgenden als Reduktionsabgas bezeichnetes Gasgemisch abgezogen werden, das Wasser, Kohlendioxid sowie Methan enthält und das zu einem großen Teil aus nicht umgesetztem Wasserstoff und Kohlenmonoxid besteht.

[0007] Um die im Reduktionsabgas enthalten Wertstoffe nutzen zu können, wird ein Kreislauf aufgebaut, aus dem nach der Entfernung von Staub und Wasser ein Teil des Reduktionsabgases als Purgegas ausgeschleust wird, um die Akkumulation von Inertgasen wie Stickstoff, der ebenfalls mit Erdgas in den Prozess gelangt, zu verhindern. Während das Purgegas für die Erzeugung von Energie zur Anwärmung des Reduktionsgases und/oder die Dampfreformierung verbrannt wird, wird der verbleibende Teil des Reduktionsabgases weiter getrocknet und durch Sauegaswäsche in ein überwiegend aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan bestehendes Restgas, das als Recyclegas bei der Bildung des Reduktionsgases verwendet wird, und einen kohlendioxidreichen Stoffstrom zerlegt, der ohne weitere Nutzung in die Atmosphäre entlassen wird. Eine genaue Analyse zeigt, dass ca. 45% der Kohlendioxidemissionen des beschriebenen Prozesses in diesem kohlendioxidreichen Stoffstrom enthalten sind, wogegen die Beheizung des Dampfreformers ca. 30% liefert und die Anwärmung des Reduktionsgases die restlichen ca. 25% beisteuert. Bei einer typischen Produktionskapazität von 230t/h Eisenschwamm gelangen daher allein durch den kohlendioxidreichen, aus dem Reduktionsabgas abgetrennten Stoffstrom einer einzigen Anlage zur Direktreduktion von Eisenerz etwa 54t/h des Treibhausgases in die Umwelt.

[0008] In der Patentschrift US9534265B2 wird vorgeschlagen, die Reformierung des methanreichen Einsatzes durch kombinierte Dampf- und Trockenreformierung durchzuführen und hierfür einen Teil des aus dem Reduktionsabgas abgetrennten Kohlendioxids zuzuführen. Bei der nach der Gleichung



ebenfalls endotherm ablaufenden Trockenreformierung wird im Verhältnis zu Kohlenmonoxid deutlich weniger Wasserstoff erzeugt als bei einer Dampfreformierung, so dass das durch die kombinierte Reformierung erhaltene Syntheserohgas evtl. nicht genügend Wasserstoff für die Bildung des Reduktionsgases bereitstellen kann. In diesem Fall sieht die Patentschrift eine Wassergas-Shift vor, mit der im Syntheserohgas vorliegendes Kohlenmonoxid mit Wasser zu

Wasserstoff und Kohlendioxid umgesetzt wird, wodurch sich allerdings der durch den Kohlendioxidverbrauch bei der Reformierung erreichte Vorteil für die Umwelt wieder relativiert.

[0009] Die vorliegende Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren der gattungsgemäßen Art sowie eine Vorrichtung zu dessen Durchführung anzugeben, die es ermöglichen, die spezifische Kohlendioxidemission im Vergleich zum Stand der Technik zu verringern.

[0010] Verfahrensseitig wird die gestellte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass Wasserstoff durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder Methanpyrolyse erzeugt und zur Einstellung des Wasserstoff/Kohlenmonoxid-Verhältnisses im Reduktionsgas eingesetzt wird.

[0011] Da Wasserstoff anderweitig zur Verfügung gestellt wird, ist der methanreiche Einsatz lediglich zur Bereitstellung des für das Reduktionsgas benötigten Kohlenmonoxids erforderlich, so dass eine gegenüber dem Stand der Technik deutlich geringere Menge des methanreichen Einsatzes nötig ist. Sinnvollerweise wird die Reformierung des methanreichen Einsatzes auf eine hohe Kohlenmonoxidausbeute hin optimiert. Beispielsweise kann die Reformierung mit einem die Trockenreformierung unterstützenden Katalysator und größtmöglicher Kohlendioxidzufuhr erfolgen, wobei nicht mehr Dampf zugegeben wird, als verfahrenstechnisch - etwa zur Unterdrückung von Rußbildung - unbedingt notwendig ist. Im Idealfall erfolgt die Reformierung ohne Dampfzufuhr, vollständig trocken. Bevorzugt werden wenigstens zwei Drittel des im Reduktionsabgas vorliegenden Kohlendioxids bei der Reformierung des methanreichen Einsatzes verwendet.

[0012] Wegen der geringeren Menge des methanreichen Einsatzes kann die endotherm ablaufende Reformierung mit verminderter Wärmezufuhr erfolgen. Insbesondere dann, wenn die Wärme - wie heute meist üblich - durch die Verbrennung eines kohlenstoffhaltigen Brennstoffs erzeugt wird, ergibt sich dadurch gegenüber dem Stand der Technik eine deutlich geringere Kohlendioxidemission. Bevorzugt wird die gesamte für die Reformierung des methanreichen Einsatzes benötigte Wärme durch die Verbrennung zumindest eines Teils des getrockneten und entstaubten Reduktionsabgases erzeugt, das als Purgegas aus dem Reduktionsgas-Kreislauf ausgeschleust wird. Denkbar ist es auch, zumindest einen Teil der für die Reformierung des methanreichen Einsatzes benötigten Wärme über regenerativ gewonnenen Strom zuzuführen.

[0013] Eine besonders große Reduzierung der Kohlendioxidemissionen ergibt sich dann, wenn der für das Reduktionsgas benötigte Wasserstoff ohne Freisetzung von Kohlendioxid in die Atmosphäre erzeugt wird. Hierzu kann sowohl der Methanpyrolyse, die beispielsweise nach einem Verfahren durchgeführt wird, wie es in der Offenlegungsschrift DE102019003982A1 beschrieben ist, als auch der elektrochemischen Zerlegung von Wasser Energie ausschließlich über regenerativ gewonnenen Strom zugeführt werden.

[0014] Gewöhnlich wird aus dem methanreichen Einsatz ohne Zuführung von Kohlendioxid allein durch Dampfreformierung ein Syntheserohgas erzeugt, das einen Gehalt an nicht umgesetztem Methan von ca. 5mol-% aufweist. Bei der Aufbereitung eines solchen Syntheserohgases zum Reduktionsgas erhöht sich der Methangehalt insbesondere durch die Abtrennung von Wasser, so dass das Reduktionsgas mit einem Methangehalt von ca. 15mol-% vorliegt.

[0015] Genauso wie ein ausschließlich durch Dampfreformierung erzeugtes Syntheserohgas, enthält auch das erfindungsgemäß durch eine weitgehend oder vollständig trocken durchgeführte Reformierung erhaltene Syntheserohgas nicht umgesetztes Methan, weist aber deutlich weniger Wasser auf, so dass das Reduktionsgas schon allein deshalb mit einem weit niedrigeren Methangehalt vorliegt. Die Aufheizung des erfindungsgemäß erzeugten Reduktionsgases kann daher mit einem im Vergleich zum Stand der Technik geringeren Energieaufwand und reduzierter Kohlendioxidemission erfolgen. Vorzugsweise wird zur Aufheizung des Reduktionsgases der Teil des Purgegases eingesetzt, der nicht für die Bereitstellung von Wärme für die Reformierung des methanreichen Einsatzes benötigt wird. Möglich ist es auch, zur Aufheizung des Reduktionsgases regenerativ gewonnenen Strom einzusetzen.

[0016] Weiterhin betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Gewinnung von metallischem Eisen, mit einem Reformier, mit dem ein methanreicher Einsatz unter Zuführung von Kohlendioxid reformiert werden kann, um Kohlenmonoxid für die Bildung eines Reduktionsgases zu erhalten, einem mit Eisenerz beschickbaren Reduktionsreaktor, dem das Reduktionsgas mit einem definierten Verhältnis von Kohlenmonoxid zu Wasserstoff zur Direktreduktion von Eisenerz zu metallischem Eisen zuführbar ist, sowie einer Trenneinrichtung, mit der von einem im Reduktionsreaktor erhältlichen, Wasserstoff, Kohlenmonoxid sowie Kohlendioxid enthaltenden Reduktionsabgas ein kohlendioxidreicher Stoffstrom zur Verwendung bei der Reformierung des methanreichen Einsatzes sowie ein Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltendes Restgas zur Verwendung bei der Bildung des Reduktionsgases abgetrennt werden können.

[0017] Die gestellte Aufgabe wird vorrichtungsseitig erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass sie eine Wasserstoffquelle umfasst, die Wasserstoff durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder durch die Pyrolyse von Methan erzeugen und für die Einstellung des Wasserstoff/Kohlenmonoxid-Verhältnisses im Reduktionsgas zur Verfügung stellen kann.

[0018] Bevorzugt umfasst die Wasserstoffquelle einen Elektrolyseur zur elektrochemischen Wasserzerlegung und/oder einen Reaktor zur Durchführung einer Methanpyrolyse, wie er beispielsweise aus der Offenlegungsschrift DE102019003982A1 bekannt ist.

[0019] Weiterhin bevorzugt verfügt die Trenneinrichtung, die einen Teil eines Reduktionsgas-Kreislaufs bildet, über zumindest eine Trocknungseinrichtung mit der Wasser beispielsweise durch Abkühlung des Reduktionsabgases unter

den Taupunkt und Abscheidung des auskondensierten Wassers getrocknet werden kann, sowie eine vorteilhaft als Sauer gaswäsche oder Druckwechseladsorber ausgeführte CO₂-Abtrenneinrichtung, in der aus dem abgekühlten und von Wasser befreiten Reduktionsabgas der kohlendioxidreiche Stoffstrom und das Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltende Restgas abgetrennt werden können. Stromabwärts der zumindest einen Trocknungseinrichtung und stromaufwärts der CO₂-Abtrenneinrichtung ist in der Trenneinrichtung sinnvollerweise eine Einrichtung angeordnet, über die ein Teil des abgekühlten und von Wasser befreiten Reduktionsabgases als Purgegas aus dem Reduktionsgas-Kreislauf ausgeschleust werden kann.

[0020] Zweckmäßigerweise umfasst der Reformier ein oder mehrere mit einem die Trockenreformierung unterstützenden Katalysator gefüllte Reformierrohre, denen über zumindest einen Brenner und/oder eine elektrische Heizeinrichtung die für die Reformierung des methanreichen Einsatzes erforderlichen Wärme zugeführt werden kann. Eine vorteilhafte Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Vorrichtung sieht vor, den oder die Brenner des Reformiers so mit der Trenneinrichtung zu verbinden, dass zumindest ein Teil des im Prozess anfallenden Purgegases zur Beheizung des Reformiers verbrannt werden kann.

[0021] Weiterhin bevorzugt umfasst die erfindungsgemäße Vorrichtung einen Erhitzer, durch den das Reduktionsgas geführt und dabei angewärmt werden kann. Wie der Reformier, kann auch dem Erhitzer mit wenigstens einem Brenner und/oder einer elektrischen Heizeinrichtung zur Wärmeerzeugung ausgeführt sein und wie dieser im Vergleich zum Stand der Technik deutlich kompakter und kostengünstiger ausgeführt werden.

[0022] Die erfindungsgemäße Vorrichtung weiterbildend wird vorgeschlagen, die Trennvorrichtung so mit dem Erhitzer zu verbinden, dass ein Teil des im Prozess anfallenden Purgegases zumindest einem Brenner des Prozessgaserhitzers als Brennstoff zuführbar ist.

[0023] Der Reduktionsreaktor der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann als Drehrohrofen oder als Wirbelschichtofen ausgeführt sein. Vorzugsweise handelt es sich aber bei dem Reduktionsreaktor um einen Schachtofen, der von oben mit Eisenerz beschickt werden kann, und von dessen unterem Ende Eisenschwamm abziehbar ist. In seinem mittleren Bereich ist eine Zuführeinrichtung angeordnet, über die heißes Reduktionsgas in den Schachtofen eingeleitet werden kann, um mit dem sich in einem Festbett nach unten bewegenden Eisenerz in intensiven Kontakt gebracht zu werden. Kopfseitig weist der Schachtofen eine Abzugsvorrichtung zur Abführung des Reduktionsabgases in die Trenneinrichtung auf.

[0024] Im Folgenden soll die Erfindung anhand eines in der **Figur 1** schematisch dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert werden.

[0025] Die Figur 1 zeigt eine Vorrichtung zur Reduktion von Eisenerz, die in einer bevorzugten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens betrieben werden kann.

[0026] Der über Leitung 1 zugeführte methanreiche Einsatz, bei dem es sich beispielsweise um Erdgas oder um ein aus Erdgas und Dampf bestehendes Stoffgemisch handelt, wird mit einem kohlendioxidreichen Stoffstrom 2 zum Reformereinsatz 3 gemischt, der in die im Feuerraum F des Reformier R angeordneten Reformierrohre K eingeleitet wird, um Methan zu Wasserstoff und Kohlenmonoxid zu reformieren. Die Reformierung ist auf eine hohe Kohlendioxidausbeute hin optimiert, wozu in erster Linie in den Reformierrohren K ein Katalysator eingesetzt wird, der die Trockenreformierung unterstützt und auch dann zuverlässig im Dauerbetrieb funktioniert, wenn der Reformereinsatz 3 nur wenig oder keinen Dampf enthält. Aus dem Reformier R kann daher ein kohlenmonoxidreiches, wasserarmes und nicht umgesetztes Methan enthaltendes Syntheserohgas 4 abgezogen werden. Die für die endotherm ablaufende Reformierung benötigte Wärme wird über Brenner B1 geliefert, die Brennerluft 5 und ein Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan enthaltendes Brenngas 6 zu einem heißen Rauchgas umsetzen, das einen Großteil seines Wärmehalts an die Reformierrohre K abgibt, ehe es als abgekühltes Rauchgas 7 den Feuerraum F des Reformiers R verlässt.

[0027] Aus dem Syntheserohgas 4 wird in einer ersten Trocknungseinrichtung W1 Wasser 8 abgetrennt, so dass ein wasserfreies Syntheserohgas 9 erhalten wird, das mit dem Recyclegas 10, das weitgehend aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan besteht, sowie aus der Wasserstoffquelle H zugeführtem, vorteilhaft ohne die Bildung von Kohlendioxid durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder Methanpyrolyse erzeugten Wasserstoff 11 zum Reduktionsgas 12 gemischt wird. Das Reduktionsgas 12, in dem Wasserstoff und Kohlenmonoxid in einem definierten Verhältnis vorliegen, wird im Erhitzer A angewärmt, ehe es mit einer Temperatur von ca. 1000°C über Leitung 13 in den Reduktionsreaktor D eingeleitet wird. Der Erhitzer A wird über den Brenner B2 beheizt, dessen heißes, durch die Verbrennung von Erdgas 14 und eines Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan enthaltenden Gasgemisches 15 mit Luft 16 erzeugtes Rauchgas indirekt Wärme an das Reduktionsgas 12 abgibt, bevor es als abgekühltes Rauchgas 17 in die Atmosphäre entlassen wird.

[0028] Der vorzugsweise als Schachtofen ausgeführte Reduktionsreaktor D wird mit Eisenerz 18 beschickt, das mit dem heißen Reduktionsgas 13 in intensiven Kontakt gebracht wird, wobei die im Eisenerz 18 vorliegenden Eisenoxide durch Wasserstoff und Kohlenmonoxid zu metallischem Eisen reduziert werden, das in Form von Eisenschwamm 19 erhalten wird. Während Wasserstoff zu Wasser und Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid oxidiert werden, bleibt der weit überwiegende Teil des im Reduktionsgas 13 enthaltenen, nur schwach als Reduktionsmittel wirkenden Methans unverändert, so dass aus dem Reduktionsreaktor D ein Reduktionsabgas 20 abgezogen wird, das Wasser, Kohlendioxid

sowie Methan enthält und das zu einem großen Teil aus nicht umgesetztem Wasserstoff und Kohlenmonoxid besteht. Um die im Reduktionsabgas 20 enthaltenen Wertstoffe Wasserstoff und Kohlenmonoxid nutzen zu können, wird das Reduktionsabgas in die Trenneinrichtung T geleitet, die Teil eines Reduktionsgas-Kreislaufs ist, aus dem nach der Entfernung von Staub und Wasser 21 in der zweiten Trocknungseinrichtung W2 ein Teil des trockenen und staubfreien Reduktionsabgases 22 als Purgegas 23 ausgeschleust wird, um die Akkumulation von Inertgasen wie Methan und Stickstoff, der ebenfalls mit dem eingesetzten Erdgas in den Prozess gelangen kann, zu verhindern. Da Wasserstoff aus der Wasserstoffquelle H zugeführt wird, muss der Reformier R lediglich das für das Reduktionsgas 12 benötigte Kohlenmonoxid bereitstellen, wofür eine im Vergleich zum Stand der Technik erheblich reduzierte Menge an Reformereinsatz 3 erforderlich ist. Der Brenngasbedarf des Reformers R kann daher vollständig durch das Purgegas 23 gedeckt werden, von dem ein erster Teil 6 im Reformier R und ein zweiter Teil 15 im Erhitzer A verbrannt wird.

[0029] Der im Reduktionsgas-Kreislauf verbleibende Teil 24 des Reduktionsabgases wird nach einer optionalen weiteren Trocknung durch Sauer gaswäsche C in ein überwiegend aus Wasserstoff, Kohlenmonoxid und Methan bestehendes Restgas 10, das als Recyclegas bei der Bildung des Reduktionsgases 12 verwendet wird, und einen kohlendioxidreichen Stoffstrom 25 zerlegt, von dem der größte Teil 2 zur Bildung des Reformereinsatzes 3 verwendet wird, während nur ein kleiner Teil 26 in die Atmosphäre gelangt.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Gewinnung von metallischem Eisen (19), bei dem ein methanreicher Einsatz (1) unter Zuführung von Kohlendioxid (2) reformiert wird, um Wasserstoff und Kohlenmonoxid für die Bildung eines Reduktionsgases (12) zu erhalten, das mit einem definierten Verhältnis von Wasserstoff zu Kohlenmonoxid in einen mit Eisenerz (18) beschickten Reaktor (D) eingeleitet wird, wo bei der Direktreduktion von Eisenerz (18) neben metallischem Eisen (19) ein Wasserstoff, Kohlenmonoxid sowie Kohlendioxid und Wasser enthaltendes Reduktionsabgas (20) entsteht, von dem ein kohlendioxidreicher Stoffstrom (2) zur Verwendung bei der Reformierung des methanreichen Einsatzes (1) sowie ein Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltendes Restgas (10) zur Verwendung bei der Bildung des Reduktionsgases (12) abgetrennt werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** Wasserstoff (11) durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder durch die Pyrolyse von Methan erzeugt und zur Einstellung des Wasserstoff/Kohlenmonoxid-Verhältnisses im Reduktionsgas (12) eingesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reformierung des methanreichen Einsatzes (1) unter größtmöglicher Kohlendioxidzufuhr (2) erfolgt, wobei nicht mehr Dampf zugegeben wird, als verfahrenstechnisch unbedingt notwendig ist.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Teil des Reduktionsabgases (23) verbrannt wird, um Wärme für Anwärmung (A) des Reduktionsgases (12) und/oder die Reformierung (R) des methanreichen Einsatzes (1) bereitzustellen.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Bildung des Reduktionsgases (12) benötigter Wasserstoff (11) durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder die Pyrolyse von Methan unter Einsatz von regenerativ gewonnenem Strom erzeugt wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Eisenerz (18) in einem Festbett oder einer Wirbelschicht durch den Reduktionsreaktor (D) geführt wird.
6. Vorrichtung zur Gewinnung von metallischem Eisen (19), mit einem Reformier (R), mit dem ein methanreicher Einsatz (1) unter Zuführung von Kohlendioxid (2) reformiert werden kann, um Kohlenmonoxid für die Bildung eines Reduktionsgases (12) zu erhalten, einem mit Eisenerz (18) beschickbaren Reduktionsreaktor (D), dem das Reduktionsgas (12) mit einem definierten Verhältnis von Kohlenmonoxid zu Wasserstoff zur Direktreduktion von Eisenerz (18) zu metallischem Eisen (19) zuführbar ist, sowie einer Trenneinrichtung (T), mit der von einem im Reduktionsreaktor (D) erhältlichen, Wasserstoff, Kohlenmonoxid sowie Kohlendioxid enthaltenden Reduktionsabgas (20) ein kohlendioxidreicher Stoffstrom (2) zur Verwendung bei der Reformierung des methanreichen Einsatzes (1) sowie ein Wasserstoff und Kohlenmonoxid enthaltendes Restgas (10) zur Verwendung bei der Bildung des Reduktionsgases (12) abgetrennt werden können, **dadurch gekennzeichnet, dass** sie eine Wasserstoffquelle (H) umfasst, die Wasserstoff (11) durch elektrochemische Zerlegung von Wasser und/oder durch die Pyrolyse von Methan erzeugen und für die Einstellung des Wasserstoff/Kohlenmonoxid-Verhältnisses im Reduktionsgas (12) zur Verfügung stellen kann.

EP 4 219 772 A1

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Trenneinrichtung (T) mit einer Sauer gaswäsche (C) oder einen Druckwechseladsorber zur Abtrennung von Kohlendioxid (25) aus dem Reduktionsabgas (24) ausgeführt ist.
- 5 8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reformer (R) so mit der Trenneinrichtung (T) verbunden ist, dass ein Teil (6) des Reduktionsabgases (20) zur Bereitstellung von Wärme für die Reformierung des methanreichen Einsatzes (1) verbrannt werden kann.
- 10 9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Gaserhitzer (A) so mit der Trenneinrichtung (T) verbunden ist, dass ein Teil (15) des Reduktionsabgases (20) zur Bereitstellung von Wärme für die Anwärmung des Reduktionsgases (12) verbrannt werden kann.
- 15 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Reduktionsreaktor (D) als Schachtofen oder als Drehrohrofen oder als Wirbelschichtofen ausgeführt ist.

15

20

25

30

35

40

45

50

55

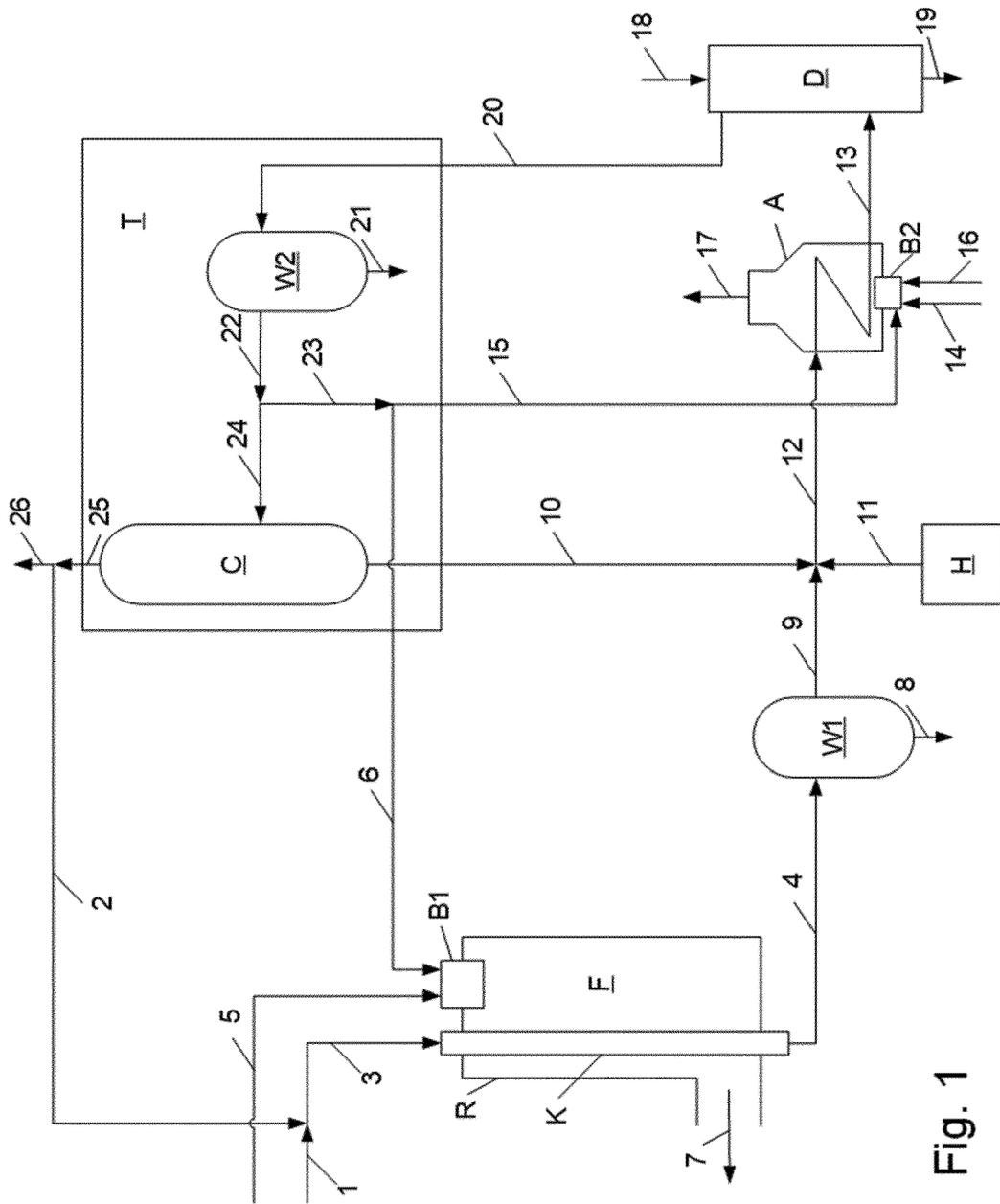


Fig. 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 22 02 0024

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	<p>WO 2021/220555 A1 (JFE STEEL CORP [JP]) 4. November 2021 (2021-11-04) * Abbildung 2 * * Absätze [0029] - [0031], [0056], [0060] *</p> <p style="text-align: center;">-----</p>	1-10	<p>INV. C21B13/00 C21B13/02 C21B13/08</p>
			<p>RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)</p>
			<p>C21B</p>
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
<p>Recherchenort Den Haag</p>		<p>Abschlußdatum der Recherche 29. Juni 2022</p>	<p>Prüfer Porté, Olivier</p>
<p>KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE</p> <p>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur</p>		<p>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument</p> <p>..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument</p>	

1
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 22 02 0024

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten
 Patentedokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

29-06-2022

	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
10	WO 2021220555 A1	04-11-2021	JP 7028373 B1	02-03-2022
			JP WO2021220555 A1	04-11-2021
15			TW 202140804 A	01-11-2021
			WO 2021220555 A1	04-11-2021
20	-----			
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- US 9534265 B2 [0008]
- DE 102019003982 A1 [0013] [0018]