



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
30.10.2024 Patentblatt 2024/44

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

(21) Anmeldenummer: **23170323.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
**C21B 13/0073; C21B 2100/22; C21B 2100/26;
 C21B 2100/282; C21B 2100/44**

(22) Anmeldetag: **27.04.2023**

(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 ME MK MT NL
 NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**
 Benannte Erstreckungsstaaten:
BA
 Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

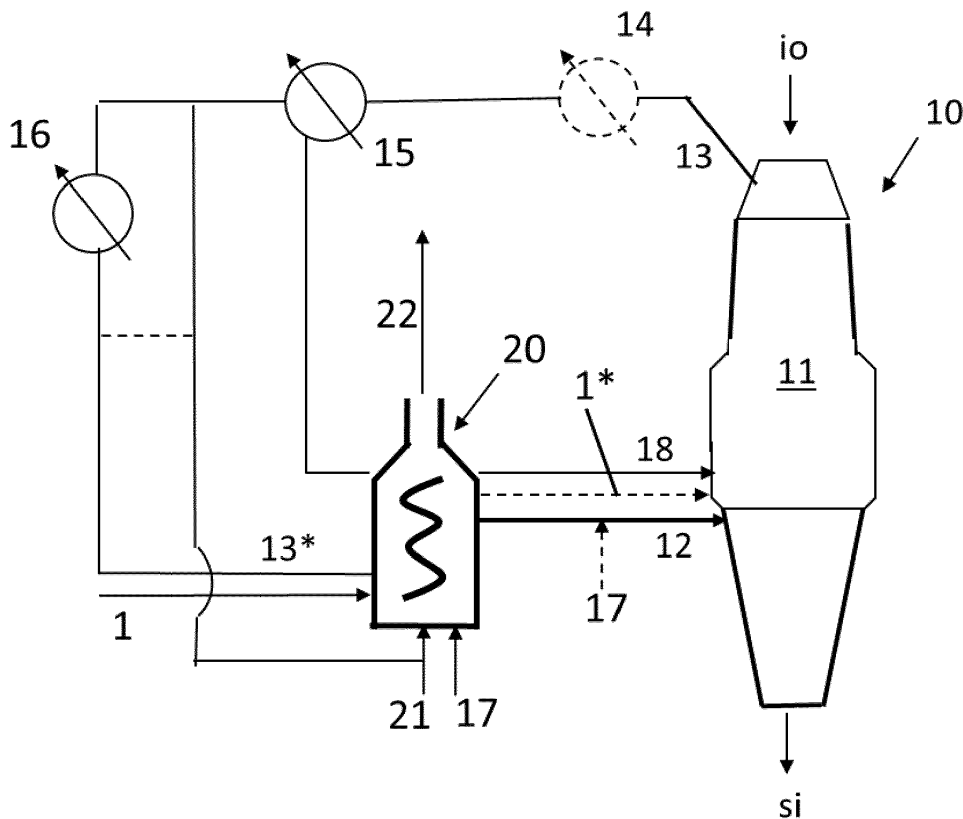
(72) Erfinder:
 • **FABRY, Matthias Jonas**
48147 Münster (DE)
 • **SUER, Julian**
46348 Raesfeld (DE)
 • **WEINBERG, Matthias**
47809 Krefeld (DE)

(71) Anmelder: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
47166 Duisburg (DE)

(74) Vertreter: **ThyssenKrupp Steel Europe AG**
Patente/Patent Department
Kaiser-Wilhelm-Straße 100
47166 Duisburg (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM REDUZIEREN VON EISENERZTRÄGER ZU EISENSCHWAMM**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reduzieren von Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) nach Anspruch 1.



Figur 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Reduzieren von Eisenerzträger zu Eisenschwamm in einem Reaktor.

[0002] Beim Direktreduktionsverfahren findet eine heterogene Reaktion zwischen den Eisenerzträgern und dem Reduktionsgas statt, bei der Sauerstoff aus dem Eisenerz entfernt wird. Die Reaktion findet unterhalb des Schmelzpunktes des Eisenerzes statt, sodass die äußere Form der Erze unverändert bleibt. Da es bei der Entfernung von Sauerstoff zu einer Gewichtsreduktion von etwa 1/4 bis 1/3 kommt, ergibt sich eine wabenförmige Mikrostruktur des Reaktionsproduktes (festes poröses Eisen mit vielen luftgefüllten Zwischenräumen). Daher wird das direktreduzierte Eisen ("direct reduced iron") häufig auch als Eisenschwamm ("sponge iron") bezeichnet. Klassisch wird beim Direktreduktionsverfahren ein Schachtofen als Reaktor mit einer Reduktionszone verwendet, durch welche der Eisenerzträger entgegen dem Reduktionsgas durchläuft. Bei einer speziellen Variante des Verfahrens ist die Reduktionszone oberhalb einer Kühlzone im Schachtofen angeordnet, wobei die Kühlzone mit einem Kühlgas durchströmt wird. Der Eisenerzträger durchläuft dann den Schachtofen in vertikaler Richtung von oben nach unten. Derartige Schachtofen ermöglichen eine gute Durchströmung der Eisenerzträger mit Reduktionsgas und optionalem Kühlgas aufgrund des zugrundeliegenden Kamineffektes. Insbesondere durchströmt das Reduktionsgas die Reduktionszone entgegen einer Bewegungsrichtung des Eisenerzträgers. Entsprechend durchströmt das Kühlgas die Kühlzone ebenfalls entgegen einer Bewegungsrichtung des erzeugten Eisenschwamms. Sowohl in der Reduktionszone als auch in der optionalen Kühlzone wird demnach das Gegenstromprinzip eingesetzt, um eine effiziente Reaktion zwischen den Gasen und den Feststoffen zu erreichen.

[0003] Als Reduktionsgas werden Kohlenstoffmonoxid oder Wasserstoff oder ein Mischgas, umfassend Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff, verwendet. Dieses Reduktionsgas(gemisch) wird der Direktreduktionsanlage im heißen Zustand zugeführt, in welchem Eisenerzträger reduziert werden.

[0004] Aus der WO 2022/248987 A1 ist bekannt, Methanol in flüssiger Form in einen Direktreduktionsreaktor einzuspeisen. Die Einspeisung soll in einer Kühlzone des Reaktors erfolgen, sodass das flüssige Methanol neben einer Kühlung der bereits reduzierten Eisenerzträger, somit auch zur Aufkohlung des Eisenschwamms beiträgt.

[0005] In der Veröffentlichung "Methanol as a carrier of hydrogen and carbon in fossil-free production of direct reduced iron", Andersson et al., <https://doi.org/10.1016/i.ecmx.2020.100051>, ist Methanol als Wasserstoffspeicher beschrieben, welches reformiert und der daraus gewonnene Wasserstoff erwärmt und als heißes Reduktionsgas in einem Direktreduktionsprozess eingesetzt werden kann.

[0006] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein verbessertes und wirtschaftlicheres Verfahren zur Direktreduktion im Vergleich zum Stand der Technik anzugeben.

5 **[0007]** Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Weitere Aspekte der Erfindung sind in den Unteransprüchen aufgeführt.

[0008] Die Lehre betrifft somit ein Verfahren zum Reduzieren von Eisenerzträger zu Eisenschwamm in einem Reaktor, wobei zum Betreiben des Reaktors ein Gasvolumen in den Reaktor eingespeist und ein Gasvolumen aus dem Reaktor abgeführt wird, wobei mindestens ein Teilvolumen des abgeführten Gasvolumens ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer als Brenngas oder Teil eines Brenngases zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas zu einem Verbrennungsgas verbrannt wird oder mindestens ein Teilvolumen des abgeführten Gasvolumens ausgeschleust und anderweitig außerhalb dieses Verfahrens zum Reduzieren verwendet wird, wobei das verbleibende Restgasvolumen im Kreislauf geführt und dem Reaktor wieder zugeführt wird, indem es in dem mindestens einen Prozessgaserhitzer durch das Verbrennungsgas auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Gasvolumen in den Reaktor eingespeist wird, wobei das mindestens eine ausgeschleuste Teilvolumen durch Frischvolumen ersetzt wird. Dabei wird Methanol und/oder Ethanol auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und im Wesentlichen als Frischvolumen in den Reaktor eingespeist.

[0009] Methanol, Summenformel: CH₃OH, und/oder Ethanol, Summenformel: C₂H₅OH, liegt bei Raumtemperatur oder vergleichbarer (Umgebungs-)Temperatur in flüssiger Form vor. Die genannten Flüssigkeiten können mittels normalen Mitteln transportiert werden, beispielsweise über Pipelines und/oder normale Tankfahrzeuge/-schiffe, und/oder mittels normalen Mitteln gespeichert werden, beispielsweise in Großtanks respektive Reservoirs. Besondere Vorkehrungen, im Vergleich zu Wasserstoff oder LPG, müssen nicht getroffen werden.

[0010] Die Erfinder haben herausgefunden, dass der traditionell ablaufende Direktreduktionsprozess vorteilhaft mit einem alternativen Frischvolumen zum Ersetzen des ausgeschleusten Teilvolumens respektive der ausgeschleusten Teilvolumina bedient werden kann, indem erfindungsgemäß Methanol und/oder Ethanol auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und in den Reaktor eingespeist wird. Dadurch können neben den reaktionsfreudigen Bestandteilen im rückgeführten Restgasvolumen auch die reaktionsfreudigen Bestandteile im Methanol und/oder Ethanol zur gewünschten Reduktionsarbeit und auch zum gewünschten "Aufkohlen" der zu reduzierenden Eisenerzträger in vorteilhafter Weise beitragen. Somit wird im Vergleich zum Stand der Technik zum einen auf einen zusätzlichen, außerhalb des Reaktors stattfindenden Reformierungsschritt verzichtet und zum anderen muss keine weitere vom heißen Gasvolumen unabhängige "aufkohlende" und "kühlende"

Flüssigkeit in den Reaktor eingespeist werden.

[0011] Da Methanol und/oder Ethanol in flüssiger Form bereitgestellt werden, ist eine Erwärmung erforderlich und damit einhergehend eine Phasenänderung. Methanol verdampft bei ca. 65 °C und Ethanol bei ca. 78 °C. Alternativ kann es auch in gasförmiger Form bereitgestellt werden.

[0012] Um einen Standardprozess bei der Direktreduktion aufrechtzuerhalten zu können, ist eine Erwärmung des Restgasvolumens, wie auch des Frischvolumens auf eine Temperatur zwischen 700 und 1100 °C notwendig, um ein heißes Gasvolumen, welches zum Reduzieren benötigt wird, in den Reaktor einspeisen zu können. Dabei wird das Methanol und/oder Ethanol als Frischvolumen erwärmt und verdampft somit im Zuge der Erwärmung.

[0013] Methanol und/oder Ethanol wird in flüssiger oder gasförmiger Form bereitgestellt. Dabei kann nur Methanol oder nur Ethanol oder eine Mischung aus Methanol und Ethanol, in Prozent beispielsweise zwischen 10:90 und 90:10 Methanol/Ethanol möglich, in flüssiger oder gasförmiger Form bereitgestellt werden.

[0014] Unter "im Wesentlichen" als Frischvolumen ist zu verstehen, dass das Frischvolumen einen Anteil von Methanol und/oder Ethanol von mindestens 60 %, insbesondere mindestens 70 %, vorzugsweise mindestens 80 %, bevorzugt mindestens 90 %, besonders bevorzugt mindestens 95 % und weiter bevorzugt bis zu 100 % oder sogar 100 % betragen kann, wobei Restanteile aus Methan, Ammoniak und/oder Kohlenstoffmonoxid im Frischvolumen enthalten sein können.

[0015] Gemäß einer Ausgestaltung wird Methanol und/oder Ethanol in flüssiger oder in verdampfter (gasförmiger) Form als Frischvolumen mit dem Restgasvolumen gemischt, als Mischung auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Gasvolumen in den Reaktor eingespeist. Beispielsweise kann das Mischen im Prozessgaserhitzer erfolgen, beispielsweise über eine Zuleitung, insbesondere eine Mischkugel, welche in einem Bereich des Prozessgaserhitzers angeordnet ist, in welchem das Frischvolumen (Methanol und/oder Ethanol) bereits verdampft ist und dadurch zusammen als Mischung auf die erforderliche Temperatur für den Direktreduktionsprozess erwärmt werden kann. Das Restgasvolumen kann beispielsweise auch über einen Kompressor verdichtet werden, das heißt, dass der Druck erhöht werden kann, um ein Einleiten/Zusammenführen und damit ein Mischen mit dem verdampften Frischvolumen, welches durch Erwärmung und Phasenänderung durchaus einen Druckanstieg erfahren kann, zu ermöglichen.

[0016] Gemäß einer alternativen Ausgestaltung kann das Frischvolumen auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Frischvolumen getrennt vom heißen Gasvolumen in den Reaktor eingespeist werden. Eine Mischung des heißen Gasvolumens (Restgasvolumen) mit dem heißen Frischvolumen findet somit erst im Reaktor statt. Hierbei kann in vorteilhafter Weise

temperaturunabhängig erwärmt werden, sodass das Frischvolumen heißer oder kälter, je nach Fahrweise und Bedarf in der Direktreduktionsanlage, als das heiße Gasvolumen erwärmt werden kann. Das Erwärmen kann in mindestens einem Prozessgaserhitzer, jedoch in unterschiedlichen Strängen laufend, erfolgen und damit außerhalb des Reaktors stofflich durch das Verbrennungsgas auf die jeweils erforderliche Temperatur erwärmt werden.

[0017] Die Temperatur des heißen Gasvolumens und Frischvolumens kann insbesondere mindestens 750 °C, vorzugsweise mindestens 800 °C, bevorzugt mindestens 850 °C betragen. Die Temperatur kann insbesondere auf maximal 1050 °C, vorzugsweise auf maximal 1000 °C, bevorzugt auf maximal 950 °C verringert sein.

[0018] Prozessgaserhitzer, die für das Frischvolumen insbesondere eine Phasenumwandlung von flüssig zu gasförmig ermöglichen, sind der Fachwelt bekannt. Der Prozessgaserhitzer ist somit kein Reformier. Der Prozessgaserhitzer kann beispielsweise auch mehrstufig ausgeführt sein, sodass in einer ersten Stufe ein Verdampfen erfolgt und in mindestens einer weiteren Stufe oder mehreren Stufen ein Erwärmen auf eine gewünschte Temperatur erfolgen kann. Die Erwärmung des Restgasvolumens erfolgt beispielsweise ebenfalls mittels eines der Fachwelt bekannten Wärmetauschers.

[0019] Beim Reduzieren vom Eisenerzträger zu Eisenschwamm nimmt das elementare Eisen zu und lässt sich durch den Metallisierungsgrad beschreiben: Metallisierungsgrad [%] = $100 \cdot \text{Fe}_{\text{elementar}} [\%] / \text{Fe}_{\text{total}} [\%]$. Aufgrund des Kontakts der Eisenerzträgeroberfläche mit dem heißen Gasvolumen (inkl. Frischvolumen) beginnen die Reaktionsvorgänge und letztendlich das Metallisieren von außen nach innen. Eine vollständige Reduktion, sprich ein Metallisierungsgrad von 100 %, ist zwar theoretisch möglich, in der Praxis spielt die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle und somit die Zeit für das Reduzieren, sodass ein Metallisierungsgrad bis zu 100 %, insbesondere eher bis zu 98 % angestrebt wird. Ein Metallisierungsgrad von mindestens 80 %, insbesondere 85 %, vorzugsweise mindestens 88 %, bevorzugt mindestens 90 % und besonders bevorzugt 92 %, wird im Direktreduktionsprozess angestrebt.

[0020] Eisenerzträger können in Form von Sinter, Pellets und/oder Eisen-/Stückerz bereitgestellt werden. Der Eisen bzw. Eisenoxid enthaltende Eisenerzträger kann vorteilhaft als Katalysator für die Reformierung des gasförmigen Frischvolumens (Methanol/Ethanol) in dem Reaktor wirken. Es ist aber zudem möglich, die Eisenerzträger zu beschichten, zum einen um beispielsweise sogenanntes Sticking (Verkleben der Eisenerzträger respektive Eisenschwamm) zu minimieren und zum anderen kann eine Beschichtung ausgewählt werden, die gute katalysatorische Eigenschaften für die Reformierung des Frischvolumens aufweist, wie z. B. Al_2O_3 . Das Beschichten zur Minimierung von Sticking ist der Fachwelt bekannt.

[0021] Gemäß einer Ausgestaltung kann das abge-

fürte Gasvolumen in mindestens einer Abscheideeinheit von Stäuben/Feststoffen befreit und damit entstaubt werden. Dadurch kann sichergestellt werden, dass weitere im Verlauf vom abgeführten Gasvolumen durchströmte Einheiten nicht durch im Gas vorhandene Feststoffe zugesetzt und/oder beschädigt werden. Aufbau, Prinzip und Funktionsweise von Einheiten zur Entstaubung sind der Fachwelt bekannt.

[0022] Gemäß einer Ausgestaltung wird das abgeführte und optional entstaubte Gasvolumen in mindestens einer Abscheideeinheit von Wasser/Wasserdampf befreit und damit (im Wesentlichen) getrocknet, sodass mindestens ein (weiteres) Teilvolumen des Gasvolumens in Form von Wasser/Wasserdampf entfernt bzw. ausgeschleust wird. In der mindestens einen Abscheideeinheit wird Wasserdampf beispielsweise vollständig, insbesondere bis zu 95 %, vorzugsweise bis zu 90 %, bevorzugt bis zu 85 %, jedoch mindestens 40 % des Wasserdampfanteils aus dem Gas, beispielsweise über einen Wäscher, entfernt, sodass abhängig vom Wasserdampfanteil im Gas durchaus ein Teilvolumen zwischen 10 % und bis zu 40 % aus dem abgeführten Gasvolumen ausgeschleust werden kann. Daher kann es sein, dass wenn nicht weitere Gase und/oder Wasserdampf in den Reaktor eingespeist werden, das bedingt durch Wasser/Wasserdampf ausgeschleuste Teilvolumen durch Frischvolumen ersetzt werden muss. Es kann zugelassen werden, dass ein geringer Anteil von Wasser/Wasserdampf im Gasvolumen nach Trocknung verbleibt mit bis zu 15 %, insbesondere bis zu 12 %, vorzugsweise bis 10 % auf das Gesamtvolumen des Gasvolumens. Aufbau, Prinzip und Funktionsweise von Einheiten zur Trocknung sind der Fachwelt bekannt.

[0023] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung kann das in der Abscheideeinheit abgeschiedene Wasser oder Wasser aus anderer Quelle auf eine Temperatur von mindestens 120 °C bis zu 800 °C erwärmt und damit verdampft und als heißer Wasserdampf in den Reaktor eingespeist werden. In vorteilhafter Weise kann der in den Reaktor heiß eingespeiste Wasserdampf getrennt vom Frischvolumen (Methanol und/oder Ethanol) im Reaktor eine Reformierung von $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} = 3 \text{H}_2 + \text{CO}_2$ und/oder $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{H}_2\text{O} = 6 \text{H}_2 + 2 \text{CO}_2$ in Gang setzen, wobei durch das getrennte Einspeisen daher eine Vermischung bevorzugt erst im Reaktor stattfindet, da der Eisenerzträger, teilreduzierte Eisenerzträger und/oder Eisenschwamm im Reaktor in vorteilhafter Weise katalytisch wirken kann. Der dadurch im Reaktor entstehende Wasserstoff reduziert die Eisenerzträger und generiert so weiteren Wasserdampf, welcher dann wieder weitere Anteile des Frischvolumens (Methanol und/oder Ethanol) reformiert. Wasserdampf sollte bevorzugt eine möglichst hohe Temperatur bis zu 800 °C, insbesondere mindestens 200 °C, vorzugsweise mindestens 300 °C, bevorzugt mindestens 400 °C, aufweisen, um möglichst viel Energie in den Prozess bringen zu können. Das Erwärmen des Wassers/Wasserdampfs kann ebenfalls über den mindestens einen Prozessgaserhit-

zer, selbstverständlich in getrenntem Strang, erfolgen.

[0024] Gemäß einer bevorzugten Ausgestaltung wird mindestens ein Teilvolumen des abgeführten, optional entstaubten und getrockneten Gasvolumens ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer als Brenngas oder Teil eines Brenngases zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas zu einem Verbrennungsgas verbrannt.

[0025] Gemäß einer Ausgestaltung wird das abgeführte, optional entstaubte und getrocknete Gasvolumen in mindestens einer Abscheideeinheit von Kohlenstoffdioxid befreit, sodass mindestens ein (weiteres) Teilvolumen des Gasvolumens in Form von Kohlenstoffdioxid ausgeschleust wird. Beispielsweise ist die Abscheideeinheit eine Aminwäsche. Aufbau, Prinzip und Funktionsweise von Kohlenstoffabscheideeinheiten sind der Fachwelt bekannt.

[0026] Gemäß einer alternativen oder zusätzlichen Ausgestaltung wird mindestens ein Teilvolumen des abgeführten, optional entstaubten, getrockneten und von Kohlenstoffdioxid befreiten Gasvolumens ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer als Brenngas oder Teil eines Brenngases zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas zu einem Verbrennungsgas verbrannt. Dabei kann entweder alternativ ein Teilvolumen für die Verbrennung vorgesehen sein, welches ausgeschleust aus dem abgeführten Gasvolumen und optional entstaubt, getrocknet und von Kohlenstoffdioxid befreit ist, oder eine Mischung des Vorgenannten mit einem Teilvolumen, ausgeschleust aus dem abgeführten Gasvolumen, welches nur optional entstaubt und getrocknet ist.

[0027] Um ein Anreichern von störenden Bestandteilen, wie zum Beispiel Inertgasen, des im Kreislauf geführten Gasvolumens/Restgasvolumens zu vermeiden, verlässt somit ein Teilvolumen den Prozess. Dieses Teilvolumen kann der Verbrennung im Prozessgaserhitzer zugeführt werden, unabhängig vom Ort des Ausschleusens (Entnahme), und beträgt mindestens 1 %, insbesondere mindestens 2 % des abgeführten Gasvolumens, welches wiederum durch Frischvolumen ersetzt werden soll. Alternativ kann das den Prozess verlassende Teilvolumen auch anderweitig außerhalb dieses Verfahrens zum Reduzieren Verwendung finden und somit nicht als Brenngas für den Prozessgaserhitzer dienen, und beispielsweise in ein Gasnetz eines Hüttenwerks eingespeist werden, um weiteren Prozessen, insbesondere für Wärmezwecke, zugeführt werden zu können. Je nach Fahrweise kann auch bis zu 100 % ausgeschleust werden, wobei dann auch entsprechend mehr bis zu vollständig Frischgasvolumen zugeführt werden müsste. Dieses Teilvolumen kann beispielsweise bis zu 50 %, insbesondere bis zu 40 %, vorzugsweise bis zu 50 %, bevorzugt bis zu 20 % des abgeführten Gasvolumens betragen.

[0028] Näher erläutert wird die Erfindung anhand der folgenden Ausführungsbeispiele in Verbindung mit den Figuren.

[0029] In **Figur 1** wird die Erfindung am Beispiel einer Direktreduktionsanlage, umfassend einen Reaktor (10) in Form eines Schachtofens, erläutert. In dem Reaktor (10) wird Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) mittels eines heißen Gasvolumens (1*, 12). Das heiße Gasvolumen (1*, 12) erwärmt und reduziert die Eisenerzträger (io). Eisenerzträger in Form von beispielsweise Pellets und/oder Stück-/Eisenerz "iron ore" (io) werden am oberen Ende des Reaktors (10) eingebracht. Am unteren Ende des Reaktors (10) wird der erzeugte Eisenschwamm "sponge iron" (si) entnommen. Im Reaktor (10) ist eine Reduktionszone (11) angeordnet. Das heiße Gasvolumen (1*, 12) durchströmt den in der Reduktionszone (11) befindlichen Eisenerzträger (io) im Gegenstromprinzip, somit entgegen einer Bewegungsrichtung des Eisenerzträgers (io).

[0030] Zum Betreiben des Reaktors (10) wird somit ein Gasvolumen (1*, 12) in den Reaktor (10) eingespeist und ein Gasvolumen (13) aus dem Reaktor (10) abgeführt. Das abgeführte Gasvolumen (15) kann in mindestens einer Abscheideeinheit (14) von Stäuben/Feststoffen befreit und damit entstaubt werden. Das abgeführte und optional entstaubte Gasvolumen (15) wird in mindestens einer Abscheideeinheit (15) von Wasser/Wasserdampf befreit und damit getrocknet, sodass mindestens ein Teilvolumen des Gasvolumens (15) in Form von Wasser/Wasserdampf ausgeschleust wird.

[0031] Mindestens ein Teilvolumen des abgeführten, optional entstaubten und getrockneten Gasvolumens (13) wird ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer (20) als Brenngas (21) oder Teil eines Brenngases (21) zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas (17) zu einem Verbrennungsgas (22) verbrannt.

[0032] Das abgeführte, optional entstaubte und getrocknete Gasvolumen (15) wird in mindestens einer Abscheideeinheit (16) von Kohlenstoffdioxid befreit, sodass mindestens ein weiteres Teilvolumen des Gasvolumens (15) in Form von Kohlenstoffdioxid ausgeschleust wird.

[0033] Dabei kann ein Teilvolumen des abgeführten, optional entstaubten, getrockneten und von Kohlenstoffdioxid befreiten Gasvolumens (13) ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer (20) als Brenngas (21) oder Teil eines Brenngases (21) zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas (17) zu einem Verbrennungsgas (22) verbrannt werden, wenn der Brennwert höher sein soll und/oder wenn das Kohlenstoffdioxid weiter genutzt werden soll.

[0034] Das Zuführen des ausgeschleusten Teilvolumens zum Prozessgaserhitzer kann entweder vor der Einheit (16) oder nach der Einheit (16) erfolgen. Es kann auch eine Mischung von Teilvolumina vorgesehen sein, wobei ein Teilstrom vor der Einheit (16) und ein Teilstrom nach der Einheit (16) ausgeschleust wird und als Mischung bereitgestellt werden kann.

[0035] Alternativ und hier nicht dargestellt kann mindestens ein Teilvolumen des abgeführten Gasvolumens (13) ausgeschleust und anderweitig außerhalb des Ver-

fahrens zum Reduzieren verwendet werden. Dabei wird mindestens ein Teilvolumen aus dem abgeführten, optional entstaubten, optional getrockneten und optional von Kohlenstoffdioxid befreiten Gasvolumen (15) ausgeschleust und nicht als Brenngas (21) dem Prozessgaserhitzer (20) zugeführt, sondern anderweitig außerhalb des Verfahrens zum Reduzieren verwendet. Beispielsweise kann das Teilvolumen in ein optional bestehendes Gasnetz eingespeist werden und optional in einem Kraftwerk verstromt werden oder anderen Prozessen zugeführt werden. Als Brenngas (21) käme dann beispielsweise Erdgas oder anderes geeignetes Gas zur Anwendung.

[0036] In dem mindestens einen Prozessgaserhitzer (20) wird das Brenngas (21) mit einem sauerstoffhaltigen Gas (17), welches Luft oder Sauerstoff sein kann, verbrannt und das Verbrennungsgas (22) erwärmt das Restgasvolumen (13*), sowie das Frischvolumen, welches in flüssiger Form (1) oder in gasförmiger Form im Wesentlichen Methanol, Ethanol oder eine Mischung aus Methanol und Ethanol enthält und bereitgestellt wird, auf eine Temperatur von mindestens 700 °C und bis zu 1100 °C.

[0037] Dabei kann das Methanol und/oder Ethanol in flüssiger oder in gasförmiger Form im Wesentlichen als Frischvolumen mit dem Restgasvolumen (13*) gemischt und als Mischung auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Gasvolumen (12) in den Reaktor (10) eingespeist werden.

[0038] Alternativ kann das Methanol und/oder Ethanol separat auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Frischvolumen (1*) getrennt vom heißen Gasvolumen (12) in den Reaktor (10) eingespeist werden.

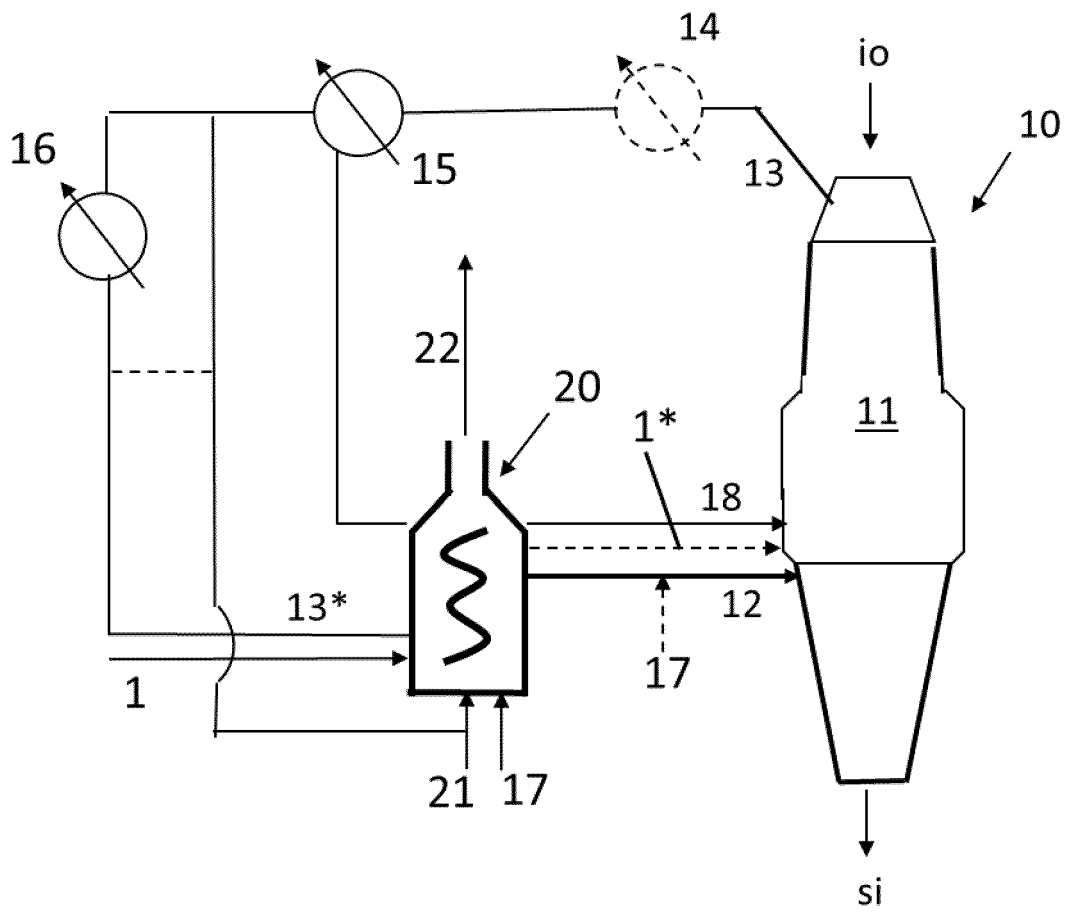
[0039] Beispielsweise über Einlässe, beispielsweise nicht dargestellte Lanzen bzw. Koaxiallanzen, kann zusätzlich Wasserdampf (18) in den Reaktor (10) eingespeist werden, um die Reformierung von $\text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O} = 3 \text{H}_2 + \text{CO}_2$ und/oder $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3 \text{H}_2\text{O} = 6 \text{H}_2 + 2 \text{CO}_2$ zu begünstigen respektive in Gang zu setzen. Dabei kann das Wasser aus der Abscheideeinheit (15) oder Wasser aus anderer Quelle auf eine Temperatur von bis zu 800 °C erwärmt und damit verdampft, und als heißer Wasserdampf (18) in den Reaktor (10) eingespeist werden. Um den Wärmeeintrag zu erhöhen, kann zudem erhitzter Stickstoff, nicht dargestellt, in den Reaktor (10) eingespeist werden.

[0040] Ein sauerstoffhaltiges Gas (17), Luft oder Sauerstoff, kann dem heißen Gasvolumen (12) vor dem Einspeisen in den Reaktor (10) beigemischt werden, insbesondere wenn eine Temperaturerhöhung zweckmäßig sein sollte.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Reduzieren von Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) in einem Reaktor (10), wobei zum Betreiben des Reaktors (10) ein Gasvolumen

- (1*,12) in den Reaktor (10) eingespeist und ein Gasvolumen (13) aus dem Reaktor (10) abgeführt wird, wobei mindestens ein Teilvolumen des abgeführten Gasvolumens (15) ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer (20) als Brenngas (21) oder Teil eines Brenngases (21) zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas (17) zu einem Verbrennungsgas (22) verbrannt wird oder mindestens ein Teilvolumen des abgeführten Gasvolumens (13) ausgeschleust und anderweitig außerhalb dieses Verfahrens zum Reduzieren verwendet wird, wobei das verbleibende Restgasvolumen (13*) im Kreislauf betrieben und dem Reaktor (10) wieder zugeführt wird, indem es in dem mindestens einen Prozessgaserhitzer (20) durch das Verbrennungsgas (22) auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Gasvolumen (12) in den Reaktor (10) eingespeist wird, wobei das mindestens eine ausgeschleuste Teilvolumen durch Frischvolumen ersetzt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** Methanol und/oder Ethanol auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und im Wesentlichen als Frischvolumen in den Reaktor (10) eingespeist wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Methanol und/oder Ethanol in flüssiger Form (1) bereitgestellt wird, in flüssiger oder in verdampfter Form als Frischvolumen mit dem Restgasvolumen (13*) gemischt wird, als Mischung auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Gasvolumen (12) in den Reaktor (10) eingespeist wird.
 3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei Methanol und/oder Ethanol in flüssiger Form (1) bereitgestellt wird, auf eine Temperatur von mindestens 700 °C erwärmt und als heißes Frischvolumen (1*) getrennt vom heißen Gasvolumen (12) in den Reaktor (10) eingespeist wird.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Methanol in flüssiger Form (1) oder gasförmiger Form bereitgestellt wird.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei Ethanol in flüssiger Form (1) oder gasförmiger Form bereitgestellt wird.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei eine Mischung aus Methanol und Ethanol in flüssiger Form (1) oder gasförmiger Form bereitgestellt wird.
 7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das abgeführte Gasvolumen (13) in mindestens einer Abscheideeinheit (14) von Stäuben/Feststoffen befreit und damit entstaubt wird.
 8. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das abgeführte und optional entstaubte Gasvolumen (15) in mindestens einer Abscheideeinheit (15) von Wasser/Wasserdampf befreit und damit getrocknet wird, sodass mindestens ein Teilvolumen des Gasvolumens (15) in Form von Wasser/Wasserdampf ausgeschleust wird.
 9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei das in der Abscheideeinheit (15) abgeschiedene Wasser oder Wasser aus anderer Quelle auf eine Temperatur von mindestens 120 °C bis zu 800 °C erwärmt und damit verdampft wird, und als heißer Wasserdampf (18) in den Reaktor (10) eingespeist wird.
 10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei mindestens ein Teilvolumen des abgeführten, optional entstaubten und getrockneten Gasvolumens (13) ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer (20) als Brenngas (21) oder Teil eines Brenngases (21) zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas (17) zu einem Verbrennungsgas (22) verbrannt wird.
 11. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das abgeführte, optional entstaubte und getrocknete Gasvolumen (13) in mindestens einer Abscheideeinheit (16) von Kohlenstoffdioxid befreit wird, sodass mindestens ein weiteres Teilvolumen des Gasvolumens (15) in Form von Kohlenstoffdioxid ausgeschleust wird.
 12. Verfahren nach Anspruch 11, wobei mindestens ein Teilvolumen des abgeführten, optional entstaubten, getrockneten und von Kohlenstoffdioxid befreiten Gasvolumens (13) ausgeschleust und mindestens einem Prozessgaserhitzer (20) als Brenngas (21) oder Teil eines Brenngases (21) zugeführt und zusammen mit einem sauerstoffhaltigen Gas (17) zu einem Verbrennungsgas (22) verbrannt wird.



Figur 1



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 17 0323

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	CN 106 521 074 A (LIU DONGDONG) 22. März 2017 (2017-03-22) * Abbildungen 1, 2 * * das ganze Dokument * -----	1-12	INV. C21B13/00
X	WO 2021/183022 A1 (HYBRIT DEV AB [SE]) 16. September 2021 (2021-09-16) * Abbildungen 1-2c * * Seite 1, Zeile 1 - Zeile 5 * * Seite 3, Zeile 25 - Seite 10, Zeile 9 * * Seite 11, Zeile 9 - Seite 25, Zeile 24 * -----	1-12	
A	WO 2022/248915 A1 (ARCELORMITTAL [LU]) 1. Dezember 2022 (2022-12-01) * Abbildung 1 * * Absatz [0020] - Absatz [0030] * -----	1-12	
A	DE 10 2021 112922 A1 (THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG [DE]) 8. Dezember 2022 (2022-12-08) * Abbildung 1 * * Absatz [0025] - Absatz [0033] * -----	1-12	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21B C21C
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 5. Oktober 2023	Prüfer Jung, Régis
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		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 & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

1
EPO FORM 1503 03.82 (F04C03)

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

EP 23 17 0323

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.

05-10-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
CN 106521074 A	22-03-2017	KEINE	

WO 2021183022 A1	16-09-2021	CA 3171104 A1	16-09-2021
		EP 4118244 A1	18-01-2023
		SE 2030072 A1	11-09-2021
		US 2023175086 A1	08-06-2023
		WO 2021183022 A1	16-09-2021

WO 2022248915 A1	01-12-2022	WO 2022248915 A1	01-12-2022
		WO 2022248987 A1	01-12-2022

DE 102021112922 A1	08-12-2022	DE 102021112922 A1	08-12-2022
		WO 2022253683 A1	08-12-2022

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

- WO 2022248987 A1 [0004]

In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur

- **ANDERSSON et al.** *Methanol as a carrier of hydrogen and carbon in fossil-free production of direct reduced iron,* <https://doi.org/10.1016/i.ecmx.2020.100051> [0005]