



(11) **EP 3 581 663 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
18.12.2019 Patentblatt 2019/51

(51) Int Cl.:
C21B 13/00 (2006.01) C21B 13/02 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **18177161.9**

(22) Anmeldetag: **12.06.2018**

(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

(72) Erfinder:
• **Millner, Robert**
3382 Loosdorf (AT)
• **Boehm, Christian**
4600 Thalheim (AT)

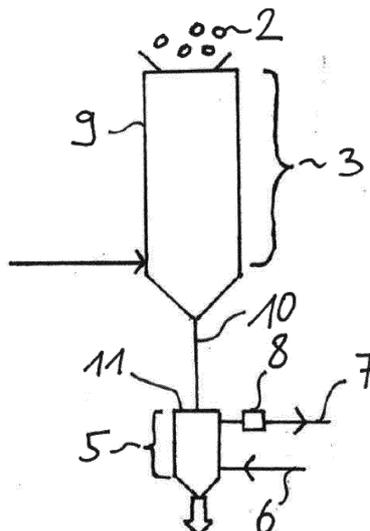
(74) Vertreter: **Metals@Linz**
Primetals Technologies Austria GmbH
Intellectual Property Upstream IP UP
Turmstraße 44
4031 Linz (AT)

(71) Anmelder: **Primetals Technologies Austria GmbH**
4031 Linz (AT)

(54) **HERSTELLUNG VON KARBURIERTEM EISENSCHWAMM MITTELS WASSERSTOFFBASIERTER DIREKTREDUKTION**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial (2). Zuerst wird mittels eines zumindest überwiegend aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert, danach mittels eines zugeleiteten Karburierungsgases der Kohlenstoffgehalt im Eisenschwamm erhöht, wonach dabei verbrauchtes Karburierungsgas unter weitgehender Vermeidung einer Vermischung mit dem Reduktionsgas zumindest teilweise abgezogen wird. Die Anlage (1) zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial (2) umfasst eine Reduktionszone (3) zur Direktreduktion von eingegebenem Eisenoxidmaterial (2) zu direktreduziertem Produkt mittels überwiegend aus H₂ bestehendem Reduktionsgas, und eine in die Reduktionszone (3) mündende Reduktionsgaszuleitung (4). Sie umfasst auch eine Karburierungszone (5) zur Karburierung des direktreduzierten Produktes, mit einer in die Karburierungszone (5) mündenden Karburierungsgaszuleitung (6) und einer von der Karburierungszone (5) ausgehenden Karburierungsabgasleitung (7) zum Abziehen von verbrauchtem Karburierungsgas aus der Karburierungszone (5), sowie zumindest eine Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas.

Figur 2



EP 3 581 663 A1

Beschreibung

Gebiet der Technik

5 **[0001]** Die Anmeldung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial, wobei mittels eines zumindest überwiegend aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert wird.

Stand der Technik

10 **[0002]** Es ist bekannt, Eisenschwamm durch Direktreduktion von Eisenoxidmaterial mit Wasserstoff herzustellen. Derartige Verfahren werden beispielsweise in WO9924625 und WO2014040989 beschrieben. Aus dem Reduktionsaggregat nach der Direktreduktion austretendes verbrauchtes Reduktionsgas - Topgas genannt - lässt sich für Reduktionszwecke sehr einfach recirculieren, da in nennenswertem Ausmaß praktisch nur Staub und Wasser von der reduzierenden Komponente Wasserstoff H₂ abgetrennt werden müssen. Das Topgas kann gegebenenfalls aufgrund Kalzinierung von eingesetztem Eisenoxidmaterial auch etwas CO₂ enthalten. Das Topgas kann bei Verwendung von Stickstoff zur Abdichtung bei der Chargierung von Eisenoxidmaterial in das Reduktionsaggregat und/oder beim Austrag von Eisenschwamm -beispielsweise ausgeführt als ein zyklisches Materialschleusensystem oder dynamisches Schleusensystem - auch etwas Stickstoff enthalten. Die Verwendung von stark wasserstoffhaltigem Reduktionsgas führt jedoch dazu, dass im Vergleich zu herkömmlicher Direktreduktion unter maßgeblicher Verwendung von Kohlenmonoxid CO oder anderen kohlenstoffhaltigen Gasen, wie zum Beispiel Methan CH₄, - beispielsweise in einer erdgasbasierten Direktreduktionsanlage - der Kohlenstoffgehalt im Eisenschwamm sehr gering ist. Das kann sich bei der weiteren Verarbeitung des Eisenschwamms, beispielsweise in EAF, nachteilig auswirken, da der Verbrauch elektrischer Energie und Elektrodenverbrauch sowie Tap-to-Tap-time für Eisenschwamm mit geringem Kohlenstoffgehalt erhöht sind. Somit ergibt sich eine wesentlich geringere Produktivität des Lichtbogenofens. Eine Erhöhung des Anteils von kohlenstoffhaltigen Gasen im Reduktionsgas kann den Kohlenstoffgehalt im Eisenschwamm zwar anheben, führt aber zu einer Anreicherung von kohlenstoffhaltigen Gaskomponenten - wie etwa CO, CO₂, CH₄ - und erhöhten CO₂-Emissionen im Topgas. Das macht bei einer Recirculierung von Topgas einen erheblichen apparativen und energetischen Aufwand zur Abtrennung von CO₂ - und anderen gegebenenfalls vorhandenen unerwünschten nicht-wässrigen Bestandteilen vom Wasserstoff H₂ notwendig.

30

Zusammenfassung der Erfindung

Technische Aufgabe

35 **[0003]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Verfahren und eine Vorrichtung bereitzustellen, die es auf einfache Weise mit wenig Aufwand erlauben, bei Direktreduktion von Eisenoxidmaterial mit überwiegend wasserstoffhaltigem Reduktionsgas einen Eisenschwamm zu gewinnen, der einen für weitere Verarbeitung günstigen Kohlenstoffgehalt aufweist.

40 Technische Lösung

[0004] Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial, wobei zuerst mittels eines zumindest überwiegend aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert wird, dadurch gekennzeichnet, dass danach mittels eines zugeleiteten Karburierungsgases der Kohlenstoffgehalt im Eisenschwamm erhöht wird, wonach dabei verbrauchtes Karburierungsgas unter weitgehender Vermeidung einer Vermischung mit dem Reduktionsgas zumindest teilweise abgezogen wird.

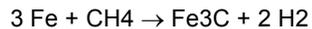
50 **[0005]** Unter Eisenoxidmaterial ist jedes als Einsatzmaterial für Direktreduktion zur Herstellung von Eisenschwamm geeignete eisenoxidhaltige Material zu verstehen. Je nach eingesetztem Verfahren zur Direktreduktion kann es sich um stückiges Material wie beispielsweise Erzpellets, Stückerz, Oxidbriketts, handeln oder um feinteilchenförmiges Material. Stückiges Material eignet sich beispielsweise zur Direktreduktion in Festbettreaktoren. Feinteilchenförmiges Material eignet sich beispielsweise zur Direktreduktion in Wirbelschichtreaktoren.

55 **[0006]** In karburiertem Eisenschwamm beträgt der Kohlenstoffgehalt zumindest 0,5 Gewichts%, und bis zu 5,0 Gewichts%, bevorzugt liegt er zwischen 1,0 und 3,5 Gewichts%, wobei die beiden Grenzen dabei mit umfasst sind. Der Kohlenstoff kann gebunden als Eisenkarbid Fe₃C vorhanden sein, und/oder frei als graphitischer Kohlenstoff C vorliegen. Chemisch gebundener Kohlenstoff als Eisenkarbid Fe₃C ist besser und effektiver für den Betrieb eines Lichtbogenofens (electric arc furnace EAF).

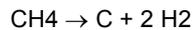
EP 3 581 663 A1

[0007] Das Eisenoxidmaterial wird zuerst mittels eines zumindest überwiegend aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert, beispielsweise in einer Reduktionszone. Der Wasserstoffgehalt des Reduktionsgases kann bis zu 100 Vol% betragen. Bevorzugt ist ein Wasserstoffgehalt von zumindest 80 Vol%, besonders bevorzugt von zumindest 90 Vol%, wobei der Rest auf 100 Vol% beispielsweise Stickstoff N₂, Kohlenmonoxid CO, Kohlendioxid CO₂, Wasserdampf H₂O, Methan CH₄ ist. Der Kohlenstoffgehalt des bei dieser Direktreduktion erhaltenen Eisenschwamms wird danach erhöht, beispielsweise in einer Karburierungszone. Zur Erhöhung wird ihm ein kohlenstoffhaltiges Gas, genannt Karburierungsgas, zugeleitet. Das Karburierungsgas enthält Kohlenstoff in kohlenstoffhaltigen Molekülen. Das Karburierungsgas kann beispielsweise Erdgas, Methan CH₄, Ethan C₂H₆, Propan C₃H₈, Butan C₄H₁₀, Kohlenmonoxid CO sein. Die kohlenstoffhaltigen Moleküle reagieren mit dem Eisenschwamm zu Eisencarbid Fe₃C, oder sie reagieren unter Freisetzung von Kohlenstoff C.

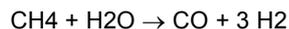
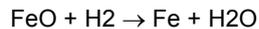
[0008] Beispielsweise läuft die Aufkohlung mit Methan wie folgt ab



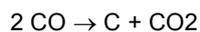
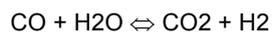
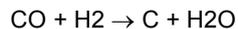
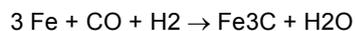
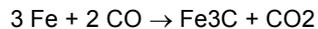
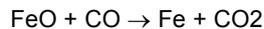
[0009] Oder es entsteht beispielsweise durch Cracken von Methan elementarer Kohlenstoff



[0010] Aufgrund der nachfolgenden Reduktionsreaktion des entstandenen Wasserstoffs H₂ mit Eisenerz entsteht Wasserdampf (H₂O) nach der folgenden Reaktion und dieser reagiert auch mit dem beispielsweise vorhandenen Methan (CH₄) über Reformierungsreaktion:



[0011] Aus dem CO entsteht in der Folge auch CO₂ und Wasserdampf



[0012] Das Produkt dieses Aufkohlungsschrittes mit gegenüber dem Produkt des ersten Schrittes - dem Direktreduktion - Eisenschwamm - erhöhtem Kohlenstoffgehalt, wird im Rahmen dieser Anmeldung karburierter Eisenschwamm genannt. Bei der Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes - hier Karburierung oder Aufkohlung genannt - wird Karburierungsgas teilweise umgesetzt. Vermischung von nicht-Wasserstoff H₂ gasförmigen Produkten wie beispielsweise CO₂, CO, der zur Karburierung führenden Reaktionen, beziehungsweise von nicht umgesetzten Teilmengen des Karburierungsgases wie beispielsweise N₂, mit dem überwiegend aus H₂ bestehenden in das Reduktionsaggregat eingeleiteten Reduktionsgas macht bei einer Rezirkulierung von Topgas gegebenenfalls Aufwand zur Abtrennung notwendig.

[0013] Um diesen Aufwand gering zu halten beziehungsweise um ihn zu vermeiden, wird verbrauchtes Karburierungsgas unter weitgehender Vermeidung einer Vermischung mit dem Reduktionsgas zumindest teilweise abgezogen. Das sogenannte verbrauchte Karburierungsgas, das zumindest teilweise - bevorzugt vollständig - abgezogen wird, enthält sowohl gasförmige Produkte der zur Karburierung führenden Reaktionen, als auch nicht umgesetzte Teilmengen des Karburierungsgases. Das Abziehen erfolgt so, dass Vermischung des verbrauchten Karburierungsgases mit dem Reduktionsgas weitgehend, bevorzugt vollständig, vermieden wird.

Eine weitgehende Vermeidung einer Vermischung mit dem Reduktionsgas ist gegeben, wenn der Anteil kohlenstoffhaltiger Gase - wie beispielsweise CO, CO₂, CH₄ oder höhere Kohlenwasserstoffe - im Topgas insgesamt unter 20 Vol% liegt, bevorzugt unter 10 Vol%, besonders bevorzugt unter 5 Vol%. Diese Werte beziehen sich auf Messungen nach einer Kühlung des Topgases und einer Kondensation von Wasserdampf aus dem Topgas. Insgesamt bedeutet, dass die Anteile der einzelnen kohlenstoffhaltigen Gase aufsummiert werden; beispielsweise wäre bei 8 Vol% CO, 7 Vol%

CO₂ und 4 Vol% CH₄ insgesamt 19 Vol% gegeben und damit unter der geforderten Grenze von 20 Vol%.

[0014] Das verbrauchte Karburierungsgas wird also zumindest teilweise, bevorzugt vollständig, abgezogen, bevor es zu einer Vermischung mit dem Reduktionsgas kommt. Das Ziel ist dabei, nur sehr geringe oder keine Gasflüsse aus der Karburierungszone in die Reduktionszone zu haben. Das kann beispielsweise dadurch erreicht werden, dass aus der Karburierungszone so viel verbrauchtes Karburierungsgas abgezogen wird und so viel verbrauchtes Karburierungsgas aus einem Kreislauf des Karburierungsgases ausgeschieden wird, dass eine Aufwärtsströmung von der Karburierungszone in die Reduktionszone nicht stattfindet. Das verbrauchte Karburierungsgas wird dabei praktisch beispielsweise seitlich aus einem oberen Bereich der Karburierungszone hinausgeleitet, bevor es die darüber liegende Reduktionszone erreicht.

[0015] Entsprechend wird im erfindungsgemäßen Verfahren beispielsweise auf eine CO₂-Verminderung des für Re-zirkulierung vorgesehenen Toppgases, beispielsweise per CO₂-Wäsche oder CO₂/H₂O-Reformer, verzichtet. Das Verfahren wird auch dann ohne CO₂-Verminderung in für Re-zirkulierung vorgesehenem Toppgas durchgeführt, falls das Toppgas aufgrund Kalzinierung von eingesetztem Eisenoxidmaterial auch etwas CO₂ enthält. Zur Vermeidung einer Anreicherung von diesem CO₂ oder von anderen gegebenenfalls im Toppgas enthaltenen bei der Re-zirkulierung unerwünschten Gaskomponenten wird eine erste Teilmenge des Toppgases von der Re-zirkulierung ausgeschlossen und aus dem Kreislauf ausgeleitet. Gegebenenfalls wird diese erste Teilmenge einer Nutzung zugeführt, beispielsweise einer Nutzung als Brenngas.

Je weniger Vermischung des Karburierungsabgases mit dem Reduktionsgas stattfindet, desto weniger Toppgas muss von der Re-zirkulierung ausgeschlossen werden - und desto energieeffizienter kann die Herstellung des karburierten direktreduzierten Eisenschwamms erfolgen.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0016] Durch die erfindungsgemäße Durchführung der Karburierung nach der Direktreduktion und das daran anschließende Abziehen von verbrauchtem Karburierungsgas kann Aufwand zur Abtrennung von ungewünschten Komponenten aus einem zu re-zirkulierenden Toppgas vermieden werden.

[0017] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird eine erste Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases nach einer Aufbereitung - wie beispielsweise einer Entstaubung - mit frischem Karburierungsgaskomponenten vereinigt wieder als Karburierungsgas zur Erhöhung des Kohlenstoffgehalts des Eisenschwamms verwendet.

Auf diese Weise kann die Karburierung ressourcenschonender und wirtschaftlicher durchgeführt werden, da im verbrauchten Karburierungsgas vorhandene nicht umgesetzte Komponenten erneut die Möglichkeit bekommen, zur Karburierung beizutragen.

[0018] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird das Karburierungsgas oder das aufbereitete verbrauchte Karburierungsgas vor oder nach einer Vereinigung mit frischen Karburierungsgaskomponenten erhitzt, bevor es mit dem Eisenschwamm in Kontakt tritt. Die Karburierungsreaktionen laufen bei höheren Temperaturen besser ab. Entsprechend wird durch die Temperaturerhöhung die Effizienz der Karburierung gesteigert.

[0019] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird eine Erhitzung des Reduktionsgases durchgeführt, bevor es mit dem Eisenoxidmaterial in Kontakt tritt. Vorteilhafterweise wird dabei eine zweite Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases, gegebenenfalls nach Entstaubung, einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Reduktionsgases zugeführt. Im verbrauchten Karburierungsgas vorhandene Komponenten mit einem Brennwert werden innerhalb des Verfahrens genutzt; das mindert den notwendigen Ressourceneinsatz und steigert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Die Nutzung innerhalb des Verfahrens kann beispielsweise auch einen Dampferzeuger oder ein Kraftwerk mit umfassen. Vorzugsweise wird das Reduktionsgas durch indirekten Wärmetausch auf über 700°C aufgeheizt. Bevorzugt erfolgt eine einstufige Erhitzung durch indirekten Wärmetausch, also Erhitzung unter Beibehaltung des Reduktionspotentials des Reduktionsgases, beziehungsweise ohne oxidative Vernichtung von Reduktionspotential des Reduktionsgases.

Es kann aber auch eine mehrstufige Erhitzung des Reduktionsgases erfolgen, bei der eine Stufe indirekter Wärmetausch ist. Beispielsweise kann in einer ersten Stufe der Erhitzung durch indirekten Wärmetausch auf eine Temperatur über 700°C aufgeheizt werden, und danach in einer zweiten Stufe eine direkte Erhitzung mittels einer anderen Erhitzungsart - beispielsweise durch partielle Oxidation - zur Einstellung einer noch höheren Temperatur erfolgen.

[0020] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird eine weitere Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases, gegebenenfalls nach Entstaubung, einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Karburierungsgases zugeführt. Im verbrauchten Karburierungsgas vorhandene Komponenten mit einem Brennwert werden innerhalb des Verfahrens genutzt; das mindert den notwendigen Ressourceneinsatz und steigert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

[0021] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird die Aufheizung des Reduktionsgases und die Aufheizung des Karburierungsgases im selben Heizaggregat durchgeführt. Das benötigt weniger apparativen Aufwand und macht die Durchführung des Verfahrens einfacher.

[0022] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird verbrauchtes Reduktionsgas als Toppgas abgezogen, und eine

erste Teilmenge des Toppgases einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Reduktionsgases und/oder des Karburierungsgases zugeführt. Im Toppgas vorhandene Komponenten mit einem Brennwert werden innerhalb des Verfahrens genutzt; das mindert den notwendigen Ressourceneinsatz und steigert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

[0023] Nach einer bevorzugten Ausführungsform enthält das Karburierungsgas exotherm mit dem direktreduzierten Eisenschwamm reagierende Komponenten. Die Karburierungsreaktionen laufen bei höheren Temperaturen besser ab. Entsprechend wird durch die Temperaturerhöhung die Effizienz der Karburierung gesteigert.

[0024] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird der Eisenschwamm aufgeheizt, bevor und/oder während das Karburierungsgas zugeleitet wird. Die Karburierungsreaktionen laufen bei höheren Temperaturen besser ab. Entsprechend wird durch die Temperaturerhöhung die Effizienz der Karburierung gesteigert.

[0025] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird dem Eisenschwamm fester Kohlenstoff C zugemengt, bevor und/oder während und/oder nachdem das Karburierungsgas zugeleitet wird. Das ergänzt die Erhöhung des Kohlenstoffgehaltes mittels des Karburierungsgases.

[0026] Das unterstützt auch gegebenenfalls angestrebte Konstanthaltung des Kohlenstoffgehalts im Eisenschwamm - beispielsweise bei späterer Verwendung in einem EAF ist konstanter Kohlenstoffgehalt gewünscht.

Beispielsweise erfolgt



[0027] Der feste Kohlenstoff kann beispielsweise Anthrazit sein.

[0028] Zur Einstellung eines möglichst konstanten C Gehaltes im Eisenschwamm kann elementarer Kohlenstoff in dosierter Form - beispielsweise mittels Dosierschnecke oder Zellenrad - zugegeben werden. Optional kann zusätzlich zur Zugabe auch noch mit dem Eisenschwamm vermischt werden - beispielsweise in einer Mischkammer oder einem Mischer um eine Durchmischung und einen erhöhten Anteil an Eisenkarbid zu erhalten. Dabei ist unter einem Mischer ein Aggregat mit bewegten Einbauten zu verstehen, wohingegen eine Mischkammer keine bewegten Einbauten aufweist.

[0029] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird die Größe der zweiten Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases in Abhängigkeit von CO₂ und/oder CO und/oder CH₄ Gehalt im Toppgas geregelt.

Bevorzugt erfolgt die Regelung in Abhängigkeit des Gehaltes am Austritt aus der Reduktionszone.

Eine Vermischung des verbrauchten Karburierungsgases mit dem Kreislauf des Reduktionsgases soll weitgehend, bevorzugt vollständig, vermieden werden.

Eine Überwachung das Toppgases auf Komponenten, die auf eine erfolgte Vermischung hinweisen - CO₂ und/oder CO und/oder CH₄ - warnt vor einer Vermischung. Vergrößerung der zweiten Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases trägt dazu bei, eine gegebenenfalls stattfindende Vermischung zu unterbinden.

[0030] Nach einer bevorzugten Ausführungsform wird die Größe der ersten Teilmenge des Toppgases in Abhängigkeit von N₂ und/oder CO₂ und/oder CO und/oder CH₄ Gehalt im Toppgas geregelt.

Eine Anreicherung dieser Komponenten im rezirkulierten Toppgas wäre für die Effizienz der Direktreduktion nachteilig. Daher sollen solche Komponenten zumindest teilweise aus dem Rezirkulationskreislauf ausgeschleust werden. Überwachung das Toppgases auf Komponenten, die auf eine erfolgte Vermischung von verbrauchtem Karburierungsgas und Reduktionsgas hinweisen - CO₂ und/oder CO und/oder CH₄ - warnt vor einer Vermischung. Die negativen Auswirkungen einer gegebenenfalls erfolgten Vermischung von Karburierungsgas beziehungsweise verbrauchtem Karburierungsgas mit dem Reduktionsgas können mittels Vergrößerung der ersten Teilmenge des Toppgases vermindert werden.

Die Nutzung des ausgeschleusten Gases als erste Teilmenge erlaubt seine energetische Nutzung bei der Erhitzung. Im Toppgas vorhandene Komponenten mit einem Brennwert werden innerhalb des Verfahrens genutzt; das mindert den notwendigen Ressourceneinsatz und steigert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

[0031] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Anmeldung ist eine Anlage zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial,

umfassend eine Reduktionszone zur Direktreduktion von eingegebenem Eisenoxidmaterial zu direktreduziertem Produkt mittels überwiegend aus H₂ bestehendem Reduktionsgas, und umfassend eine in die Reduktionszone mündende Reduktionsgaszuleitung,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Anlage auch umfasst

eine Karburierungszone zur Karburierung des direktreduzierten Produktes, mit einer in die Karburierungszone mündenden Karburierungsgaszuleitung und einer von der Karburierungszone ausgehenden Karburierungsabgasleitung zum Abziehen von verbrauchtem Karburierungsgas aus der Karburierungszone,

sowie zumindest eine Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas.

Es können auch mehrere Vorrichtungen zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas vorhanden sein.

Eine Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem

EP 3 581 663 A1

Karburierungsgas kann beispielsweise so ausgeführt sein:

- Regelorgan, wie beispielsweise ein Regelventil, in der Karburierungsabgasleitung,
- 5 - ein Kompressor beziehungsweise ein Gebläse, zur Ausschleusung aus der Karburierungszone und damit zur Vermeidung des Eintrags von Karburierungsgas in den Reduktionsgaskreislauf
- Reduktionszone und Karburierungszone getrennt durch eine mit Eisenschwamm gefüllte Leitung - beispielsweise mit oder ohne Gasschleuse, mit oder ohne Materialflussaggregat wie ein Lock-hopper-System z, einen Hot Rotary Feeder, oder eine Schwerkraftförderung.

Nach einer bevorzugten Ausführungsform mündet die Karburierungsabgasleitung in eine Rezirkulierungsvorrichtung zur Aufbereitung - wie beispielsweise Reinigung, Verdichtung, Aufheizung - und Rezirkulierung von verbrauchtem Karburierungsgas in die Karburierungsgaszuleitung.

15 Eine derartige Rezirkulierungsvorrichtung kann zur Aufbereitung beispielsweise zumindest eine Entstaubungsvorrichtung enthalten.

Eine derartige Rezirkulierungsvorrichtung umfasst eine Rezirkulatleitung, die in die Karburierungsgaszuleitung mündet, um aufbereitetes verbrauchtes Karburierungsgas als Teilmenge des Karburierungsgases zur Verfügung zu stellen.

20 Auf diese Weise kann die Karburierung ressourcenschonender und wirtschaftlicher durchgeführt werden, da im verbrauchten Karburierungsgas vorhandene nicht umgesetzte Komponenten erneut die Möglichkeit bekommen, zur Karburierung beizutragen.

[0032] Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist in der Karburierungsgaszuleitung und/oder in der Rezirkulatleitung eine Gaserhitzungsvorrichtung vorhanden. Die Karburierungsreaktionen laufen bei höheren Temperaturen besser ab. Entsprechend wird durch die Temperaturerhöhung die Effizienz der Karburierung gesteigert.

25 **[0033]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist in der Reduktionsgaszuleitung eine Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung vorhanden. Bevorzugt handelt es sich um eine einstufige Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung. Bevorzugt handelt es sich um einen indirekten Wärmetauscher. Es kann sich aber auch eine mehrstufige Erhitzungsvorrichtung handeln, bei der eine Stufe ein indirekter Wärmetauscher ist.

30 **[0034]** Vorteilhafterweise geht von der Karburierungsabgasleitung und/oder der Rezirkulierungsvorrichtung eine in die Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung mündende Brenngasleitung aus. Vorteilhafterweise geht von der Karburierungsabgasleitung und/oder der Rezirkulierungsvorrichtung eine in die Gaserhitzungsvorrichtung mündende Brenngaszuleitung aus. Bevorzugt handelt es sich um eine einstufige Gaserhitzungsvorrichtung. Bevorzugt handelt es sich um einen indirekten Wärmetauscher. Im verbrauchten Karburierungsgas vorhandene Komponenten mit einem Brennwert können dann innerhalb des Verfahrens genutzt werden; das mindert den notwendigen Ressourceneinsatz und steigert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens. Nach einer bevorzugten Ausführungsform sind die Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung und die Gaserhitzungsvorrichtung beide in einer Heizvorrichtung integriert, und die Brenngasleitung und/oder die Brenngaszuleitung und/oder münden in die Heizvorrichtung. Das benötigt weniger apparativen Aufwand.

35 **[0035]** Die Anlage zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial umfasst eine Topgasleitung zum Abziehen von verbrauchtem Reduktionsgas aus der Reduktionszone. Nach einer bevorzugten Ausführungsform mündet die Topgasleitung in eine Recyclevorrichtung zur Aufbereitung und Rezyklierung von Topgas in die Reduktionsgaszuleitung.

40 Eine derartige Recyclevorrichtung kann zur Aufbereitung beispielsweise zumindest eine Entstaubungsvorrichtung - bevorzugt eine Trockenentstaubungsvorrichtung, da in diesem Fall im Vergleich zu einer ebenfalls möglichen Nassentstaubungsvorrichtung auf aufwändige Reinigung von Prozessabwasser aus der Nassentstaubung verzichtet werden kann - enthalten.

Eine derartige Recyclevorrichtung umfasst eine Rezirkulatleitung, die in die Reduktionsgaszuleitung mündet, um aufbereitetes Topgas als Teilmenge des Reduktionsgases zur Verfügung zu stellen.

Auf diese Weise kann die Direktreduktion ressourcenschonender und wirtschaftlicher durchgeführt werden, da im Topgas vorhandene nicht umgesetzte Komponenten erneut die Möglichkeit bekommen, zur Direktreduktion beizutragen.

50 Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Anlage zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial auch eine von der Topgasleitung und/oder der Recyclevorrichtung ausgehende Brennstoffleitung, die in die Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung und/oder in die Gaserhitzungsvorrichtung und/oder die Heizvorrichtung mündet. Im Topgas vorhandene Komponenten mit einem Brennwert können dann innerhalb des Verfahrens genutzt werden; das mindert den notwendigen Ressourceneinsatz und steigert die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

55 Wenn eine Entstaubungsvorrichtung in der Recyclevorrichtung vorhanden ist, ist es bevorzugt, dass die Brennstoffleitung in Strömungsrichtung des Topgases von der Reduktionszone gesehen nach der Entstaubungsvorrichtung ausgeht. Das schont später durchlaufene Anlagenteile wie beispielsweise Kompressoren.

[0036] Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist zwischen der Reduktionszone und der Karburierungszone eine Heizanlage zur Aufheizung des direktreduzierten Produktes vor Eintritt in die Karburierungszone vorhanden. Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist in der Karburierungszone eine Heizanlage zur Aufheizung des direktreduzierten Produktes vorhanden.

5 **[0037]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist zwischen der Reduktionszone und der Karburierungszone eine Kohlenstoffzugabevorrichtung vorhanden. Nach einer bevorzugten Ausführungsform ist in der Karburierungszone eine Kohlenstoffzugabevorrichtung vorhanden. Nach einer bevorzugten Ausführungsform von der Reduktionszone aus in Strömungsrichtung des direktreduzierten Produktes gesehen hinter der Karburierungszone eine Kohlenstoffzugabevorrichtung vorhanden.

10 Die Kohlenstoffzugabevorrichtung ist geeignet zur Zugabe von festem Kohlenstoff. Sie kann Dosiervorrichtungen wie beispielsweise Dosierschnecke oder Zellenrad umfassen. Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst sie auch Mischvorrichtungen wie beispielsweise Mischkammer oder Mischer um eine Durchmischung und einen erhöhten Anteil an Eisenkarbid zu ermöglichen.

15 **[0038]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Anlage auch eine Regelvorrichtung zur Regelung des Gasflusses in der Brenngasleitung und/oder der Brenngaszuleitung in Abhängigkeit von aus dem Topgas gewonnenen Messwerten. So eine Regelvorrichtung kann eine der Vorrichtungen zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas sein.

[0039] Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Anlage auch eine Regelvorrichtung zur Regelung des Gasflusses in der Brennstoffleitung in Abhängigkeit von aus dem Topgas gewonnenen Messwerten.

20 **[0040]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Anlage keine Vorrichtung zur CO₂-Verminderung des für Rezyklierung vorgesehenen Topgases.

[0041] Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die erfindungsgemäße Anlage eine Ausschleusleitung zum Ausschleusen von Topgas aus der Rezyklierung.

25 **[0042]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform sind die Reduktionszone und die Karburierungszone innerhalb eines Aggregats untergebracht. Beispielsweise kann das Aggregat ein Schacht sein, in dessen oberem Teil sich die Reduktionszone befindet, und in dessen unteren Teil sich die Karburierungszone befindet. Eisenoxidmaterial wird oben in den Schacht eingegeben und durchwandert ihn der Schwerkraft folgend nach unten. Dabei wird es direktreduziert. Nach Durchlaufen der Reduktionszone tritt direktreduziertes Produkt in die Karburierungszone ein. Nach Durchlaufen der Karburierungszone tritt es aus dem Schacht aus.

30 **[0043]** Nach einer bevorzugten Ausführungsform sind die Reduktionszone und die Karburierungszone in unterschiedlichen Aggregaten untergebracht. Beispielsweise kann das direktreduzierte Produkt aus einem die Reduktionszone enthaltenden Direktreduktionsaggregat entnommen werden und danach in ein separates, die Karburierungszone enthaltendes Karburierungsaggregat eingeführt werden. Das direktreduzierte Produkt ist Eisenschwamm. Direktreduktionsaggregat und Karburierungsaggregat sind über eine Lieferleitung zur Lieferung von Eisenschwamm in das Karburierungsaggregat verbunden.

35 Die zumindest eine Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas kann beispielsweise in der Lieferleitung vorhanden sein. Sie kann auch im lieferleistungsseitigen Ende des Direktreduktionsaggregates vorhanden sein. Sie kann auch im lieferleistungsseitigen Ende des Karburierungsaggregates vorhanden sein, Sie kann auch am dem Direktreduktionsaggregat zugewandten Ende der Lieferleitung, oder am dem Karburierungsaggregat zugewandten Ende der Lieferleitung vorhanden sein.

40

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

45 **[0044]** Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand mehrerer schematischer Figuren beispielhaft beschrieben.

Figur 1 zeigt schematisch eine Variante einer erfindungsgemäßen Anlage zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial .

50 Figur 2 zeigt schematisch eine andere Variante einer erfindungsgemäßen Anlage zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial.

Figuren 3 bis 8 zeigen in Anlehnung an die Figuren 1 und 2 diverse Varianten.

55 Figur 9 zeigt schematisch ein herkömmliches Verfahren zur Herstellung von direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial, wobei mittels eines aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert wird.

Beschreibung der Ausführungsformen

Beispiele

- 5 **[0045]** Figur 1 zeigt schematisch eine Variante einer erfindungsgemäßen Anlage 1 zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial 2.,
 Sie umfasst eine Reduktionszone 3 zur Direktreduktion von eingegebenem Eisenoxidmaterial 2 zu direktreduziertem Produkt mittels überwiegend aus H₂ bestehendem Reduktionsgas. Sie umfasst auch eine in die Reduktionszone 3 mündende Reduktionsgaszuleitung 4. Sie umfasst auch eine Karburierungszone 5 zur Karburierung des direktreduzierten Produktes. In die Karburierungszone 5 mündet eine Karburierungs-gaszuleitung 6. Von der Karburierungszone 5 geht eine Karburierungsabgasleitung 7 zum Abziehen von verbrauchtem Karburierungsgas aus der Karburierungszone 5 aus. Die Anlage umfasst auch zumindest eine Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas, hier ein Gebläse 8 in der Karburierungsabgasleitung 7. Durch das Gebläse 8 wird verbrauchtes Karburierungsgas zumindest teilweise aus der Karburierungszone herausbefördert und dadurch eine Vermischung mit dem Reduktionsgas weitgehend vermieden. Zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial 2 wird es zuerst mittels des zumindest überwiegend aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert, während es die Reduktionszone 3 der Schwerkraft folgend von oben nach unten durchwandert. Danach tritt das direktreduzierte Produkt Eisenschwamm der Schwerkraft folgend in die Karburierungszone 5 ein, wo mittels eines zugeleiteten Karburierungsgases der Kohlenstoffgehalt im direktreduzierten Produkt Eisenschwamm erhöht wird, während sie der Schwerkraft folgend von oben nach unten durchlaufen wird. Dabei verbrauchtes Karburierungsgas wird unter weitgehender Vermeidung einer Vermischung mit dem Reduktionsgas zumindest teilweise mittels des Gebläses 8 aus der Karburierungszone 5 über die Karburierungsabgasleitung abgezogen und hinausgeleitet. Entnahme von karburiertem Eisenschwamm aus der Karburierungszone ist mit einem Blockpfeil angedeutet.
- 10
 15
 20
 25 **[0046]** Figur 2 zeigt schematisch eine andere Variante einer erfindungsgemäßen Anlage 1 zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial 2. Im Gegensatz zu Figur 1 sind Karburierungszone 5 und Reduktionszone 3 in unterschiedlichen Aggregaten untergebracht. Das direktreduzierte Produkt Eisenschwamm wird aus einem die Reduktionszone enthaltenden Direktreduktionsaggregat - im dargestellten Fall ein Festbettreaktor 9 - entnommen und danach über die Lieferleitung 10 in ein separates, die Karburierungszone enthaltendes Karburierungsaggregat 11 eingeführt. In der Lieferleitung 10 kann auch ein zusätzliches Förderorgan, wie beispielsweise eine Zellradschleuse, oder eine dynamische Gassperre vorhanden sein. Zu Figur 1 analoge Anlagenteile sind mit denselben Bezugszeichen bezeichnet. Die Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas und/oder verbrauchtem Karburierungsgas - im dargestellten Fall beispielhaft durch das Gebläse 8 dargestellt - könnte statt der - oder zusätzlich zur - dargestellten Anordnung in der Karburierungsabgasleitung auch in der Lieferleitung vorhanden sein, oder im lieferleitungsseitigen Ende des Direktreduktionsaggregates, oder im lieferleitungsseitigen Ende des Karburierungsaggregates vorhanden sein, oder am dem Direktreduktionsaggregat zugewandten Ende der Lieferleitung, oder am dem Karburierungsaggregat zugewandten Ende der Lieferleitung. Zur besseren Übersichtlichkeit sind diese Varianten nicht dargestellt. Entnahme von karburiertem Eisenschwamm aus der Karburierungszone ist mit einem Blockpfeil angedeutet.
- 30
 35
 40 **[0047]** Figur 3 zeigt beispielhaft in einer zu einem Ausschnitt der Figur 2 weitgehend analogen Darstellung, wie die Karburierungsabgasleitung 7 aus Figur 2 in eine Rezirkulierungsvorrichtung 12 zur Aufbereitung - wie beispielsweise Reinigung, Verdichtung, Aufheizung - und Rezirkulierung von verbrauchtem Karburierungsgas in die Karburierungs-gaszuleitung 6 mündet. Eine erste Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases wird nach einer Aufbereitung - wie beispielsweise einer Entstaubung - über die Rezirkulatleitung 13 mit frischem Karburierungsgaskomponenten vereinigt wieder als Karburierungsgas zur Erhöhung des Kohlenstoffgehalts des Eisenschwamms verwendet. Die Zusp eisung der frischen Karburierungsgaskomponenten ist durch den Pfeil 14 angedeutet. Entnahme von karburiertem Eisenschwamm aus der Karburierungszone ist mit einem Blockpfeil angedeutet.
- 45
 50 **[0048]** In Figur 3 ist auch angedeutet, dass eine Gaserhitzungsvorrichtung 15 in der Karburierungsgaszuleitung 6 vorhanden ist. Sie könnte stattdessen oder zusätzlich auch in der Rezirkulatleitung 13 vorhanden sein. Das Karburierungsgas wird erhitzt, bevor es mit dem Eisenschwamm in Kontakt tritt.
- [0049]** Figur 4 zeigt beispielhaft in einer zu Figur 1 weitgehend analogen Darstellung, wie in der Reduktionsgaszuleitung eine Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung vorhanden ist, im dargestellten Fall ein indirekter Wärmetauscher 16 zur einstufigen Erhitzung des Reduktionsgases bevor es mit dem Eisenoxidmaterial 2 in Kontakt tritt. Eine zweite Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases wird nach Aufbereitung einer Nutzung als Brenngas für die Erhitzung des Reduktionsgases zugeführt. Dazu geht von der Rezirkulierungsvorrichtung 12 eine in die Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung 16 mündende Brenngasleitung 17 aus.
- 55 **[0050]** Figur 5 zeigt in einer Abwandlung der Darstellung in Figur 4, wie von der Rezirkulierungsvorrichtung 12 eine in die Gaserhitzungsvorrichtung 15 mündende Brenngaszuleitung 18 ausgeht. Eine weitere Teilmenge des verbrauchten

Karburierungsgases, wird dabei einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Karburierungsgases zugeführt.

[0051] Figur 6 zeigt in einer zu Figur 1 weitgehend analogen Darstellung, wie eine Topgasleitung 19 zum Abziehen von verbrauchtem Reduktionsgas aus der Reduktionszone ausgeht. Eine Brennstoffleitung 20 geht von ihr aus und kann - zur besseren Übersichtlichkeit nicht extra dargestellt, in eine Gaserhitzungsvorrichtung 15 oder eine Reduktionsgaserhitzungsvorrichtung wie beispielsweise in den Figuren 3 und 4 dargestellt münden, um eine erste Teilmenge des Topgases einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Reduktionsgases und/oder des Karburierungsgases zuzuführen.

[0052] Figur 7 zeigt in Anlehnung an Figur 2 schematisch, wie mittels einer in der Lieferleitung 10 vorhandenen Heizanlage 21 Eisenschwamm vor Eintritt in die Karburierungszone aufgeheizt werden kann.

[0053] Figur 8 zeigt in Anlehnung an Figur 2 schematisch, wie mittels einer Kohlenstoffzugabevorrichtung 22 Kohlenstoff in die Karburierungszone 5 eingegeben werden kann.

[0054] Figur 9 zeigt schematisch ein herkömmliches Verfahren zur Herstellung von direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial, wobei mittels eines aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert wird. Das H₂-Reduktionsgas wird über die Reduktionsgaszuleitung 23 in den Reduktionsreaktor 24 eingeleitet. Eisenschwamm 25 wird unten aus dem Reduktionsreaktor 24 entnommen. Nach der Reduktion verbrauchtes Reduktionsgas wird als Topgas über die Topgasleitung 26 oben aus dem Reduktionsreaktor 24 entnommen. Das Topgas wird nach Auskondensation von Wasser und Reinigung in einem Wäscher 27 größtenteils recirkuliert, während eine Teilmenge als Brennstoff einem Reduktionsgasofen 28 zugeleitet wird. Dem recirkulierten Topgas wird frischer Wasserstoff 29 zugemischt. Nach einer Vorwärmung mit Abgas aus dem Reduktionsgasofen 28 wird im Reduktionsgasofen 28 erhitzt und danach in das Reduktionsaggregat eingeleitet. CO₂-Entfernung ist in dem Rezirkulierungskreislauf nicht notwendig.

[0055] Obwohl die Erfindung im Detail durch die bevorzugten Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

Liste der Bezugszeichen

[0056]

- 1 Anlage zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial
- 2 Eisenoxidmaterial
- 3 Reduktionszone
- 4 Reduktionsgaszuleitung
- 5 Karburierungszone
- 6 Karburierungsgaszuleitung
- 7 Karburierungsabgasleitung
- 8 Gebläse
- 9 Festbettreaktor
- 10 Lieferleitung
- 11 Karburierungsaggregat
- 12 Rezirkulierungsvorrichtung
- 13 Rezirkulatleitung
- 14 Zuspeisung
- 15 Gaserhitzungsvorrichtung
- 16 Indirekter Wärmetauscher
- 17 Brenngasleitung
- 18 Brenngaszuleitung
- 19 Topgasleitung
- 20 Brennstoffleitung
- 21 Heizanlage
- 22 Kohlenstoffzugabevorrichtung
- 23 Reduktionsgaszuleitung
- 24 Reduktionsreaktor
- 25 Eisenschwamm
- 26 Topgasleitung
- 27 Wäscher
- 28 Reduktionsgasofen

Liste der Anführungen

Patentliteratur

- 5 [0057] WO9924625
 [0058] WO2014040989

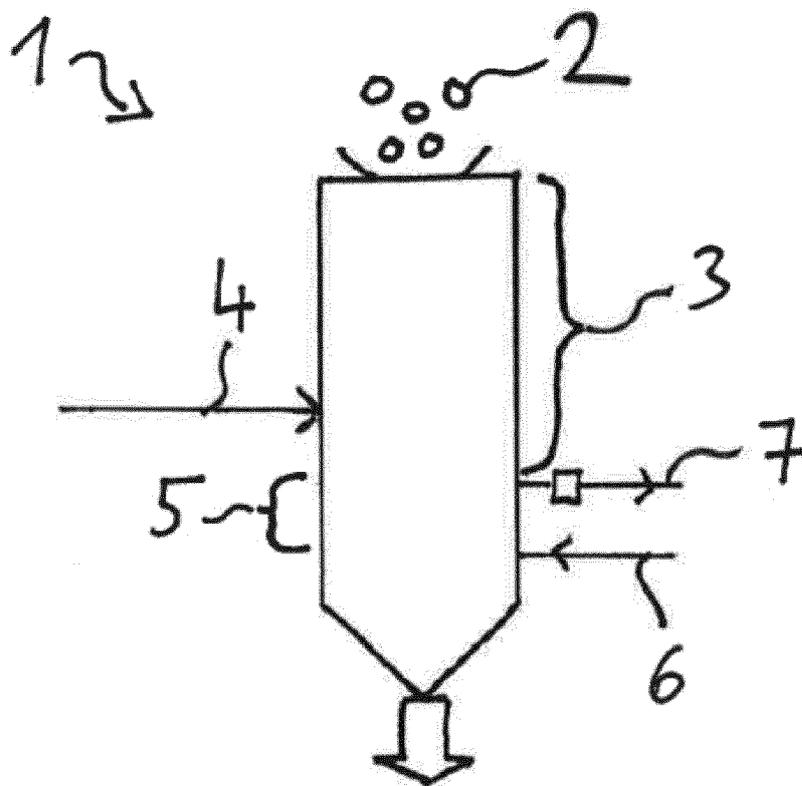
Patentansprüche

- 10
1. Verfahren zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial (2), wobei zuerst mittels eines zumindest überwiegend aus H₂ bestehenden Reduktionsgases direktreduziert wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** danach mittels eines zugeleiteten Karburierungsgases der Kohlenstoffgehalt im Eisenschwamm erhöht wird,
 15 wonach dabei verbrauchtes Karburierungsgas unter weitgehender Vermeidung einer Vermischung mit dem Reduktionsgas zumindest teilweise abgezogen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases nach einer Aufbereitung mit frischem Karburierungsgaskomponenten vereinigt wieder als Karburierungsgas zur Erhöhung des Kohlenstoffgehalts des Eisenschwamms verwendet wird.
 20
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Karburierungsgas oder das aufbereitete verbrauchte Karburierungsgas vor oder nach einer Vereinigung mit frischen Karburierungsgaskomponenten erhitzt wird, bevor es mit dem Eisenschwamm in Kontakt tritt.
 25
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Karburierungsgas exotherm mit dem direktreduzierten Eisenschwamm reagierende Komponenten enthält.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Eisenschwamm aufgeheizt wird, bevor und/oder während das Karburierungsgas zugeleitet wird.
 30
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Eisenschwamm fester Kohlenstoff C zugemengt wird, bevor und/oder während und/oder nachdem das Karburierungsgas zugeleitet wird.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei verbrauchtes Reduktionsgas als Topgas abgezogen, und das Reduktionsgas erhitzt wird, bevor es mit dem Eisenoxidmaterial in Kontakt tritt, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine zweite Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Reduktionsgases zugeführt wird,
 35 wobei vorzugsweise die Größe der zweiten Teilmenge des verbrauchten Karburierungsgases in Abhängigkeit von CO₂ und/oder CO und/oder CH₄ Gehalt im Topgas geregelt wird.
 40
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei verbrauchtes Reduktionsgas als Topgas abgezogen, und das Reduktionsgas erhitzt wird, bevor es mit dem Eisenoxidmaterial in Kontakt tritt, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine erste Teilmenge des Topgases einer Nutzung als Brenngas für die Aufheizung des Reduktionsgases und/oder des Karburierungsgases zugeführt wird;
 45 wobei vorzugsweise die Größe der ersten Teilmenge des Topgases in Abhängigkeit von N₂ und/oder CO₂ und/oder CO und/oder CH₄ Gehalt im Topgas geregelt wird.
9. Anlage (1) zur Herstellung von karburiertem direktreduzierten Eisenschwamm aus Eisenoxidmaterial (2),
 50 umfassend eine Reduktionszone (3) zur Direktreduktion von eingegebenem Eisenoxidmaterial (2) zu direktreduziertem Produkt mittels überwiegend aus H₂ bestehendem Reduktionsgas, und umfassend eine in die Reduktionszone (3) mündende Reduktionsgaszuleitung (4), **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage (1) auch umfasst
 55 eine Karburierungszone (5) zur Karburierung des direktreduzierten Produktes, mit einer in die Karburierungszone (5) mündenden Karburierungsgaszuleitung (6) und einer von der Karburierungszone (5) ausgehenden Karburierungsabgasleitung (7) zum Abziehen von verbrauchtem Karburierungsgas aus der Karburierungszone (5), sowie zumindest eine Vorrichtung zur Vermeidung einer Vermischung von Reduktionsgas mit Karburierungsgas

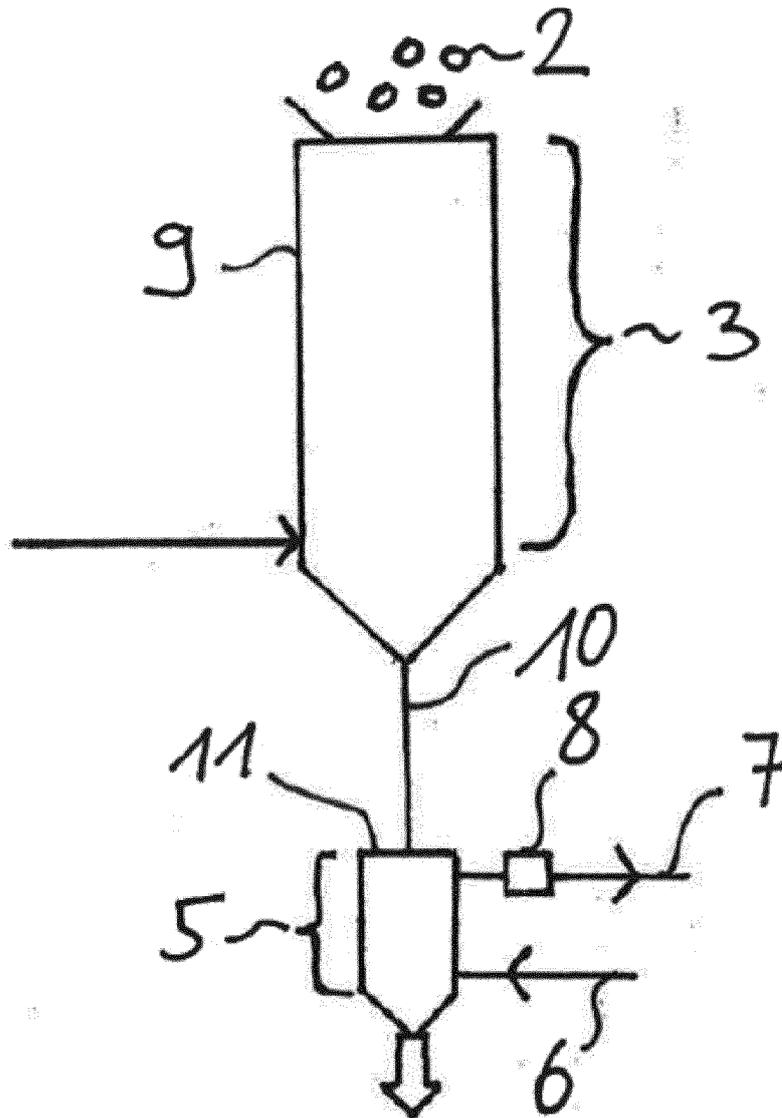
und/oder verbrauchtem Karburierungsgas.

- 5
10. Anlage nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Karburierungsabgasleitung (7) in eine Rezirkulierungsvorrichtung (12) zur Aufbereitung und Rezirkulierung von verbrauchtem Karburierungsgas in die Karburierungsgaszuleitung (6) mündet.
11. Anlage nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Karburierungsgaszuleitung (6) eine Gaserhitzungsvorrichtung (15) vorhanden ist.
- 10
12. Anlage nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Reduktionszone (3) und der Karburierungszone (5) eine Heizanlage zur Aufheizung des direktreduzierten Produktes vor Eintritt in die Karburierungszone (5) vorhanden ist und/oder in der Karburierungszone (5) eine Heizanlage (21) zur Aufheizung des direktreduzierten Produktes vorhanden ist.
- 15
13. Anlage nach einem der Ansprüche 9 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der Reduktionszone (3) und der Karburierungszone (5) eine Kohlenstoffzugabevorrichtung (22) vorhanden ist, und/oder
- 20
- in der Karburierungszone (5) eine Kohlenstoffzugabevorrichtung (22) vorhanden ist, und/oder von der Reduktionszone (3) aus in Strömungsrichtung des direktreduzierten Produktes gesehen hinter der Karburierungszone (5) eine Kohlenstoffzugabevorrichtung (22) vorhanden ist.
14. Anlage nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reduktionszone (3) und die Karburierungszone (5) innerhalb eines Aggregats untergebracht sind.
- 25
15. Anlage nach einem der Ansprüche 9 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Reduktionszone (3) und die Karburierungszone (5) in unterschiedlichen Aggregaten untergebracht sind.
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55

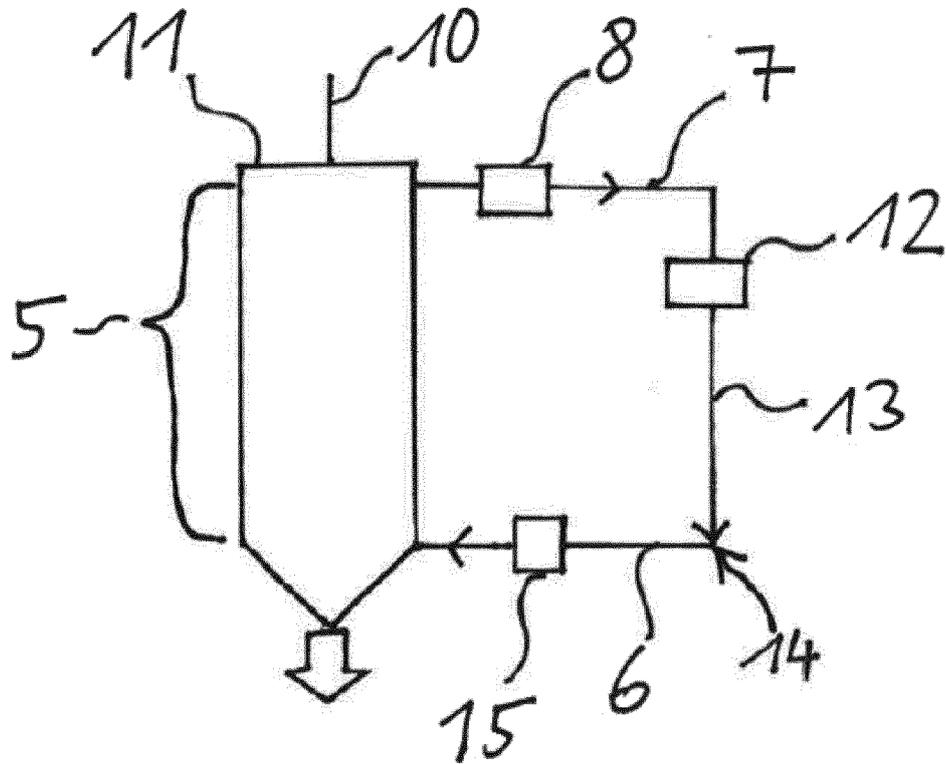
Figur 1



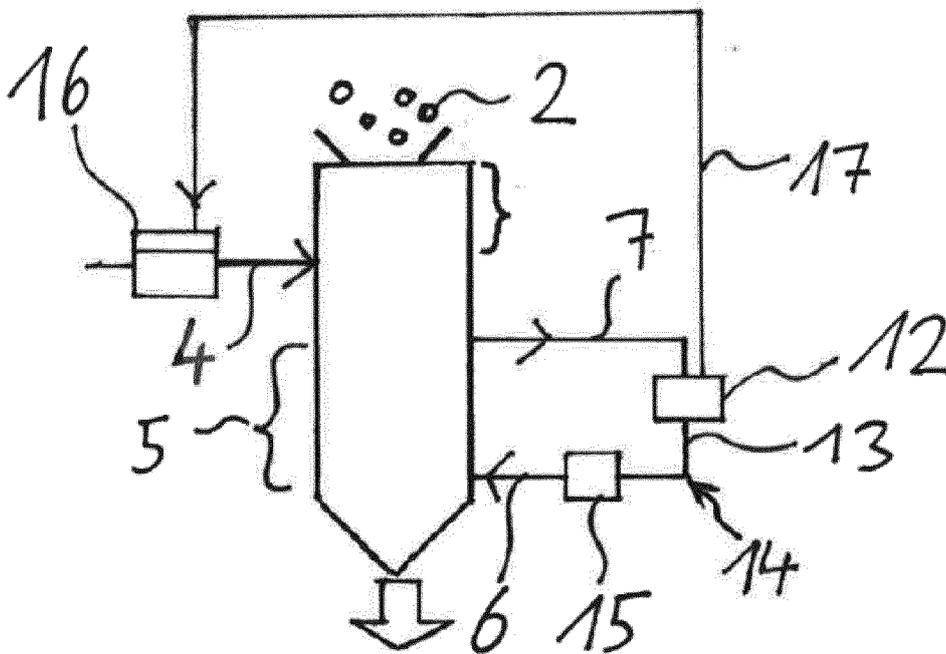
Figur 2



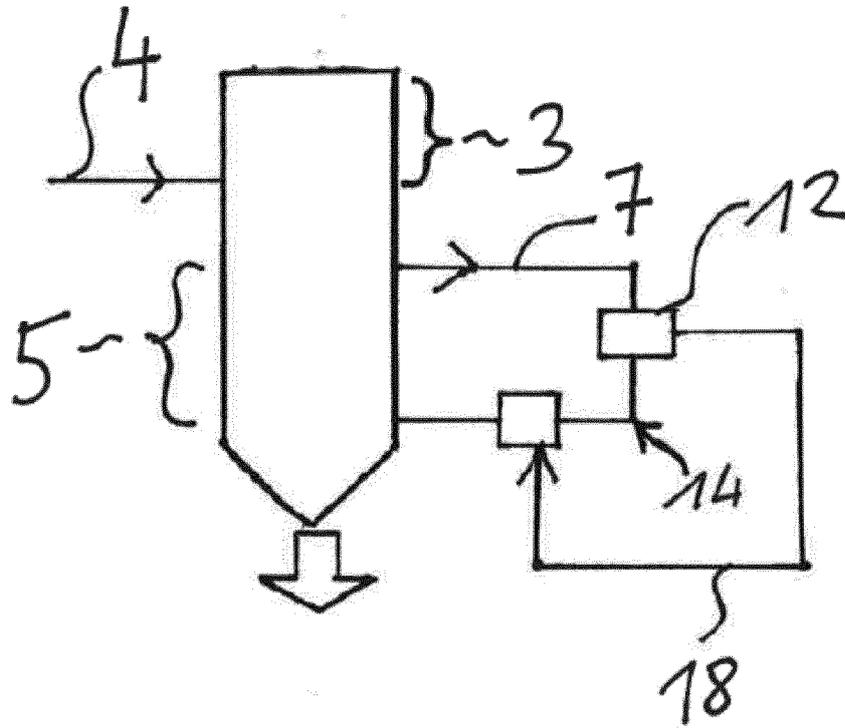
Figur 3



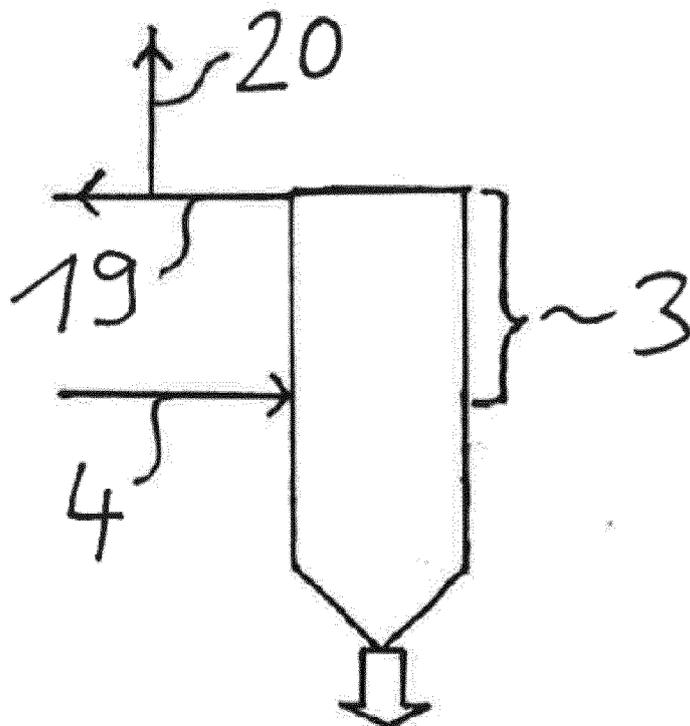
Figur 4



Figur 5

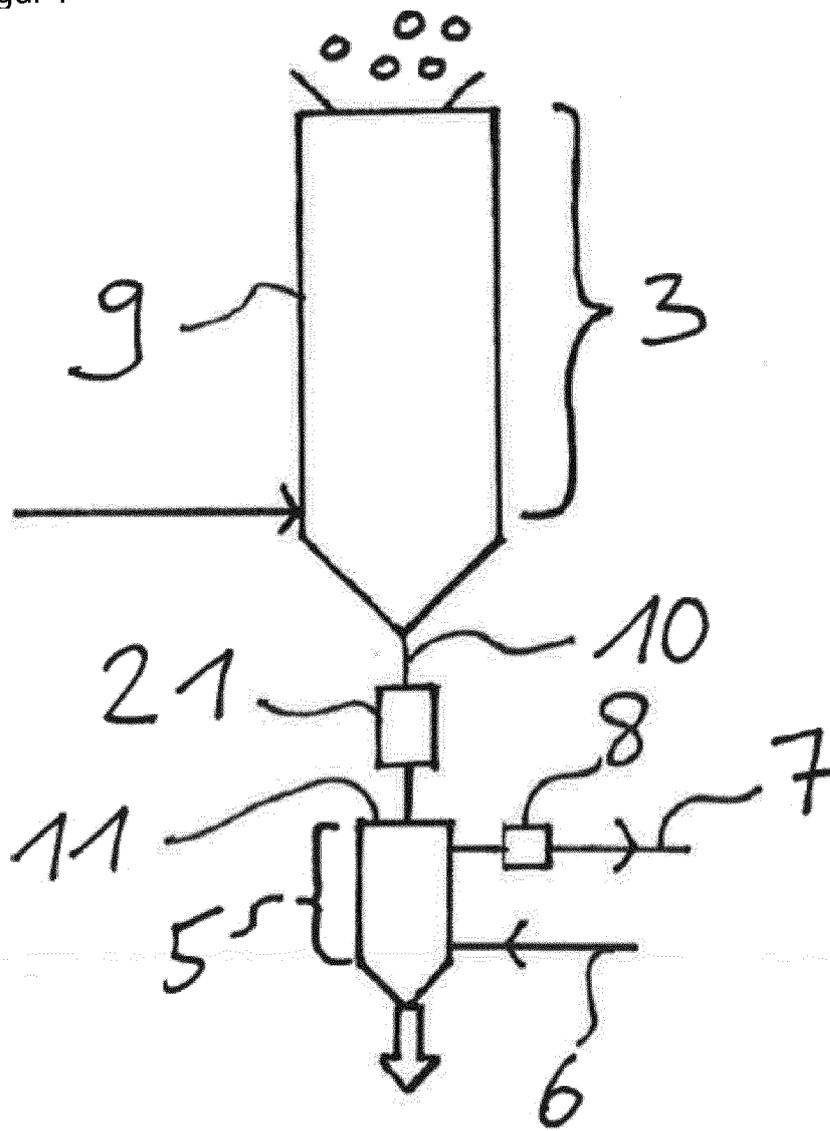


Figur 6

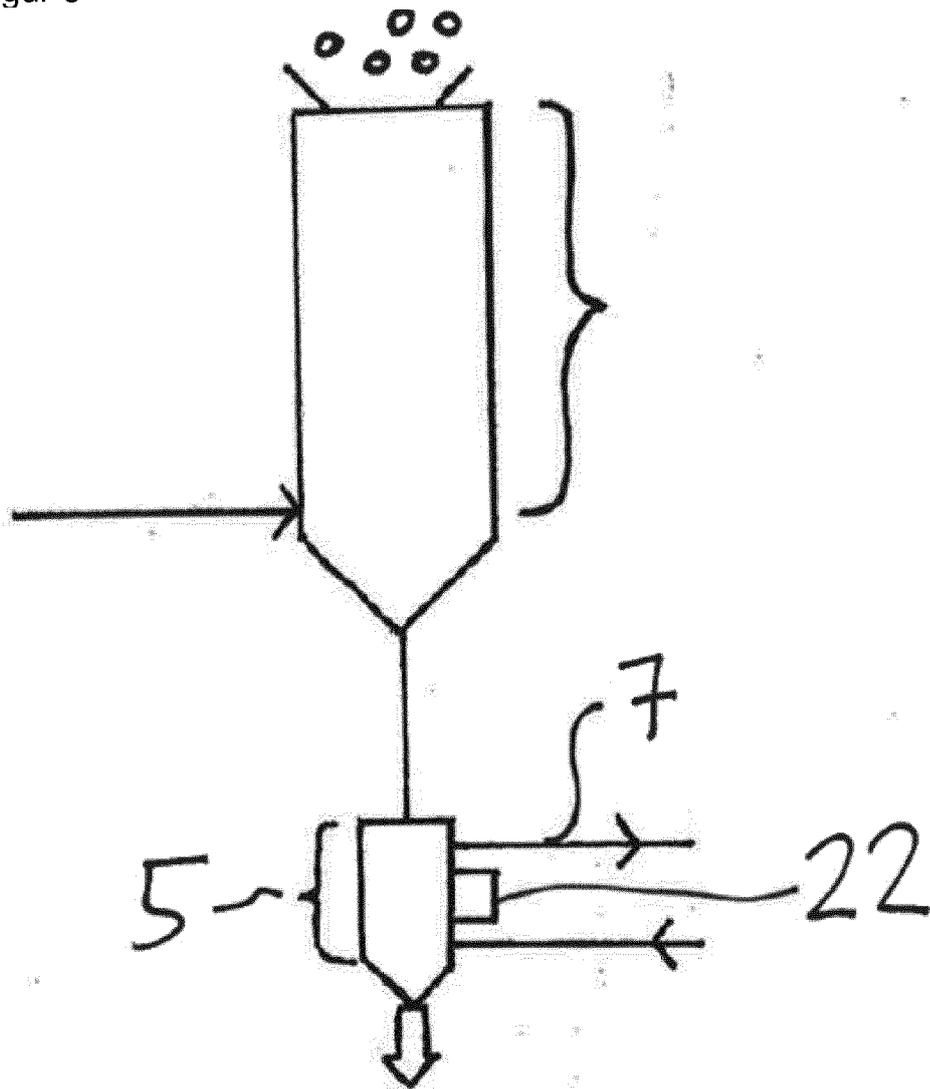


...

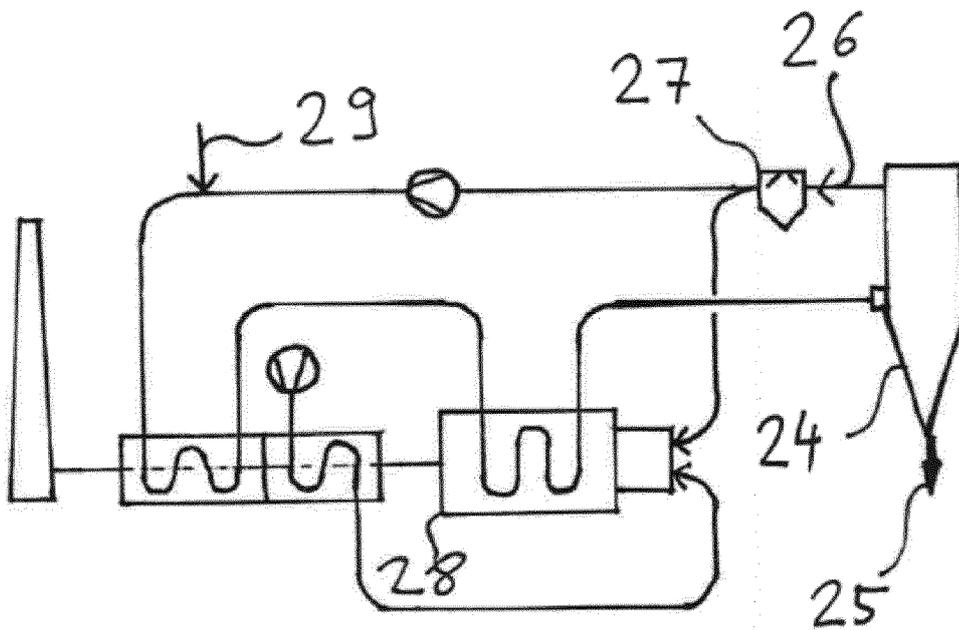
Figur 7



Figur 8



Figur 9





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 18 17 7161

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 A	WO 2011/012964 A2 (HYL TECHNOLOGIES SA DE CV [MX]; DANIELI & C OFFICCINE MECCANICHE S P A) 3. Februar 2011 (2011-02-03) * Abbildung 2 * * Seite 4 - Seite 5 * * Seite 7, Zeile 22 - Zeile 26 *	1-3, 7-10,14, 15 4-6, 11-13	INV. C21B13/00 C21B13/02
X	WO 2007/088166 A1 (DANIELI OFF MECC [IT]; MARTINIS ALESSANDRO [IT]; TAVANO ANDREA [IT]; F) 9. August 2007 (2007-08-09) * Abbildung 1 *	1-3, 7-10,14, 15	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 13. November 2018	Prüfer Gimeno-Fabra, Lluís
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 : nichtschriftliche 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	

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 18 17 7161

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente 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.

13-11-2018

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2011012964 A2	03-02-2011	BR 112012002266 A2	08-08-2017
		CN 102712959 A	03-10-2012
		EP 2459755 A2	06-06-2012
		JP 5696967 B2	08-04-2015
		JP 2013501140 A	10-01-2013
		KR 20120056262 A	01-06-2012
		RU 2012107698 A	10-09-2013
		US 2012125157 A1	24-05-2012
		WO 2011012964 A2	03-02-2011
		-----	-----
WO 2007088166 A1	09-08-2007	AT 454477 T	15-01-2010
		BR PI0706710 A2	05-04-2011
		EG 25443 A	08-01-2012
		EP 1991711 A1	19-11-2008
		US 2009013828 A1	15-01-2009
		WO 2007088166 A1	09-08-2007
-----	-----	-----	-----

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 9924625 A [0002] [0057]
- WO 2014040989 A [0002] [0058]