



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
04.10.2023 Patentblatt 2023/40

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21B 5/06 ^(2006.01) **C21B 13/00** ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **22194331.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21B 5/06; C21B 13/0073; C21B 2100/26;
C21B 2100/282; C21B 2100/284; C21B 2100/80;
C21B 2300/04

(22) Anmeldetag: **07.09.2022**

(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

(72) Erfinder:
• **Millner, Robert**
3382 Loosdorf (AT)
• **Fleischanderl, Alexander**
4645 Gruenau (AT)
• **Weiss, Bernd**
4020 Linz (AT)

(30) Priorität: **30.03.2022 EP 22165598**

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

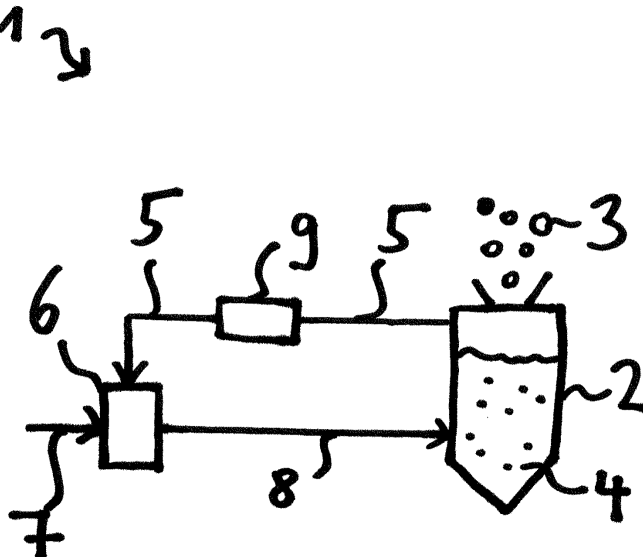
(71) Anmelder: **Primetals Technologies Austria GmbH**
4031 Linz (AT)

(54) **REDUKTION METALLOXIDHALTIGEN MATERIALS AUF BASIS VON AMMONIAK NH₃**

(57) Verfahren zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material (2), wobei unter Nutzung von Ammoniak NH₃ erhaltenes Reduktionsgas eingesetzt wird, und wobei das Reduktionsgas einem das metalloxidhaltige Material enthaltenden Reduktionsreaktor (2) zugeführt wird, und aus dem Reduktionsreaktor ein Topgas ausgeleitet wird. Zumindest eine Teilmenge des Topgases wird, gegebenenfalls nach einer Aufbereitung des Topgases, als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt. Eine Vorrichtung (1) zur Reduktion von metall-

oxidhaltigem Material (3) umfasst einen Reduktionsreaktor (2), eine Topgasausleitung (4) zur Ausleitung von Topgas aus dem Reduktionsreaktor (2), zumindest eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag (7), eine Zubereitungsanlage (6) zur Zubereitung von Reduktionsgas, in welche zumindest eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag (7) mündet, eine Zufuhrleitung (8) zur Zufuhr von Reduktionsgas und/oder eines Vorläufers des Reduktionsgases zum Reduktionsreaktor (2). Die Topgasausleitung (5) mündet in die Zubereitungsanlage (6).

Fig. 2



Beschreibung

Gebiet der Technik

- 5 **[0001]** Die Anmeldung betrifft Verfahren und Vorrichtung zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material, wobei unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhaltenes Reduktionsgas eingesetzt wird.

Stand der Technik

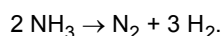
- 10 **[0002]** Es ist bekannt, metalloxidhaltiges, beispielsweise eisenoxidhaltiges, Material - wie beispielsweise Erze - mittels reduzierenden Gases zu reduzieren. So etwa mittels Direktreduktion mit Reduktionsgas in einem Reduktionsaggregat, wie beispielsweise einem Reduktionsschacht; auch im Hochofenverfahren wirkt beispielsweise Kohlenmonoxid CO als reduzierendes Gas im Reduktionsaggregat Hochofen. Bei derzeit großindustriell angewendeten, herkömmlichen Verfahren basiert das reduzierende Gas überwiegend auf Erdgas. Daher fallen dabei große Mengen Kohlendioxid CO_2 an, was unter anderem aus umweltpolitischen Gründen unerwünscht ist.

- 15 **[0003]** Zur Verminderung des CO_2 -Ausstoßes bei der Reduktion von metalloxidhaltigem Material ist es bekannt, Wasserstoff H_2 als reduzierendes Gas zu verwenden. Dabei kann Wasserstoff als einziges Reduktionsgas verwendet werden, oder in Kombination mit anderen Gasen, beispielsweise erdgasbasierten Reduktionsgasen. Je größer der Anteil von CO_2 neutralem Wasserstoff H_2 im Reduktionsgas ist, desto weniger CO_2 wird emittiert.

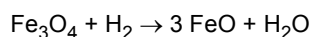
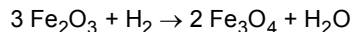
- 20 **[0004]** Speicherung von Wasserstoff H_2 und Transport vom Ort seiner Erzeugung zu Verbrauchern ist jedoch aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften problematisch und mit großem Aufwand verbunden.

- [0005]** Zur Verminderung des CO_2 -Ausstoßes bei der Reduktion von metalloxidhaltigem Material ist es auch bekannt, Ammoniak NH_3 als Reduktionsmittel einzusetzen. Ammoniak bietet bezüglich Speicherung und Transport deutliche Vorteile gegenüber Wasserstoff H_2 .

- 25 **[0006]** Ammoniak kann in Stickstoff und Wasserstoff gespalten werden

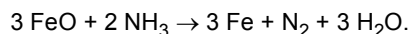
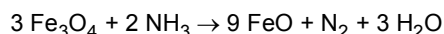
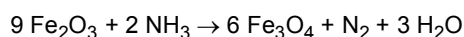


- 30 **[0007]** Wasserstoff H_2 kann als Reduktionsmittel mit den Metalloxiden, beispielsweise Eisenoxiden, reagieren:



- 35 $\text{FeO} + \text{H}_2 \rightarrow \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}.$

- [0008]** Ammoniak kann aber auch selbst als Reduktionsmittel wirken:



- 45 **[0009]** Grundsätzlich kann also unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhaltenes Reduktionsgas zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material eingesetzt werden; so ein Reduktionsgas kann beispielsweise Ammoniak NH_3 sein, oder eine Mischung von Ammoniak NH_3 mit einem oder mehreren anderen Gasen - wobei bevorzugt eines oder mehrere auf metalloxidhaltiges Material reduzierend wirken können -, was beispielsweise bei einer Mischung von Ammoniak und seinen Spaltungsprodukten Wasserstoff H_2 und Stickstoff N_2 der Fall wäre, wobei natürlich auch noch andere Gase in der Mischung enthalten sein könnten. Es kann sich bei unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhaltenem Reduktionsgas aber auch um ein Reduktionsgas handeln, das keinen Ammoniak NH_3 enthält, aber das aus einer Spaltung erhaltene Spaltungsprodukt Wasserstoff H_2 - allein oder gemeinsam mit dem Spaltungsprodukt Stickstoff N_2 - enthält, gegebenenfalls in Mischung mit einem oder mehreren anderen Gasen - wobei bevorzugt eines oder mehrere auf metalloxidhaltiges Material reduzierend wirken können.

- 55 **[0010]** Solche Reduktionsreaktionen zur Erzeugung von metallischem Eisen Fe mit Wasserstoff H_2 und mit Ammoniak NH_3 , und auch die Spaltung von Ammoniak in Stickstoff N_2 und Wasserstoff H_2 sind endotherm. Entsprechend besteht das Problem, wie bei industrieller Durchführung zum Ablauf solcher Reaktionen ausreichende Energiemengen ressourcenschonend zugeführt werden können.

[0011] Bei der Spaltung von Ammoniak und bei seiner Wirkung als Reduktionsmittel entstehen neben dem Wasserstoff H_2 erhebliche Mengen Stickstoff N_2 . Entsprechend besteht das Problem, wie bei industrieller Durchführung der anfallende Stickstoff dem Verfahren zuträglich genutzt werden kann.

5 Zusammenfassung der Erfindung

Technische Aufgabe

[0012] Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, einen Beitrag zur Lösung für zumindest einige der vorgenannten Probleme vorzustellen.

10

Technische Lösung

15

[0013] Die Aufgabe wird gelöst durch ein

Verfahren zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material, wobei unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhaltenes Reduktionsgas eingesetzt wird, wobei das Reduktionsgas einem das metalloxidhaltige Material enthaltenden Reduktionsreaktor zugeführt wird, und aus dem Reduktionsreaktor ein Topgas ausgeleitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass

20 zumindest eine Teilmenge des Topgases, gegebenenfalls nach einer Aufbereitung des Topgases, als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt wird.

20

[0014] Bei dem metalloxidhaltigen Material handelt es sich bevorzugt um eisenoxidhaltiges Material.

[0015] Das Verfahren zur Reduktion ist beispielsweise ein Verfahren zur Direktreduktion.

25

[0016] Das Reduktionsgas wird unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhalten.

[0017] So ein Reduktionsgas kann beispielsweise Ammoniak NH_3 sein, oder eine Mischung von Ammoniak NH_3 mit einem oder mehreren anderen Gasen - wobei bevorzugt eines oder mehrere auf metalloxidhaltiges Material reduzierend wirken können -, was beispielsweise bei einer Mischung von Ammoniak und seinen Spaltungsprodukten Wasserstoff H_2 und Stickstoff N_2 der Fall wäre, wobei natürlich auch noch andere Gase in der Mischung enthalten sein könnten. Es kann sich bei unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhaltenem Reduktionsgas aber auch um ein Reduktionsgas handeln, das keinen Ammoniak NH_3 enthält, aber das aus einer Spaltung erhaltene Spaltungsprodukt Wasserstoff H_2 - alleine oder gemeinsam mit dem Spaltungsprodukt Stickstoff N_2 - enthält, gegebenenfalls in Mischung mit einem oder mehreren anderen Gasen - wobei bevorzugt eines oder mehrere auf metalloxidhaltiges Material reduzierend wirken können.

30

[0018] Das Reduktionsgas kann also Ammoniak umfassen; es kann dabei teilweise oder vollständig aus Ammoniak bestehen.

35

[0019] Wenn es nur teilweise aus Ammoniak besteht, enthält es weitere Komponenten; ein Aspekt der Nutzung des Ammoniaks ist dann die Vermischung mit den weiteren Komponenten; beispielsweise kann Ammoniak den weiteren Komponenten so zugegeben werden, dass er mehr als 0,5 Vol% des nach seiner Zumischung erhaltenen Gasstromes ausmacht. Als weitere Komponenten sind sowohl solche möglich, die unter den im Reduktionsreaktor herrschenden Bedingungen bezüglich Reaktionen mit dem metalloxidhaltigen Material inert sind - beispielsweise Stickstoff N_2 -, als auch solche, die unter den im Reduktionsreaktor herrschenden Bedingungen mit dem metalloxidhaltigen Material reagieren. Diesbezüglich sind auf das metalloxidhaltigen Material reduzierend wirkende Komponenten bevorzugt; es kann sich beispielsweise um kohlenwasserstoffhaltige Gase, kohlenstoffhaltige Gase, wasserstoffhaltige Gase, Wasserstoff handeln.

40

[0020] Reduktionsgas kann auch unter Nutzung von Ammoniak erhalten werden, indem Ammoniak gespalten wird, und das dabei entstehende Gasgemisch aus Stickstoff und Wasserstoff - gegebenenfalls nach einer Anreicherung oder Abreicherung von Stickstoff oder von Wasserstoff - mit weiteren Komponenten des Reduktionsgases vermischt wird.

45

[0021] Reduktionsgas kann auch unter Nutzung von Ammoniak erhalten werden, indem Ammoniak gespalten wird, und der dabei entstehende Wasserstoff nach einer Abtrennung vom Stickstoff mit weiteren Komponenten des Reduktionsgases vermischt wird, oder das gesamte Reduktionsgas - gegebenenfalls mit verbliebenen geringen Mengen von bei der Spaltung entstandenem Stickstoff - stellt.

50

[0022] Grundsätzlich kommt Ammoniak jeglicher "Farbe" in Frage. Unter "Farbe" ist damit die Farbgebung in Zusammenhang mit der zugrundeliegenden Produktionsart zu verstehen. Oftmals ist die Farbe des Ammoniaks mit der Farbe des bei der Produktion eingesetzten Wasserstoffs verbunden. Der Ammoniak kann beispielsweise grün sein, beispielsweise wenn er mittels grünen Wasserstoffs erzeugt wurde; er kann blau sein, beispielsweise, wenn er mittels unter Sequestrierung von entstehendem Kohlendioxid CO_2 gewonnenen Wasserstoffs erzeugt wurde. Der Ammoniak kann auch mittels türkisen Wasserstoffs erzeugt werden, beispielsweise, wenn der Wasserstoff unter Abscheidung von entstehendem Kohlenstoff C erzeugt wird; er kann mittels pinken Wasserstoffs erzeugt werden, beispielsweise, wenn der

55

Wasserstoff unter Verwendung von Atomstrom erzeugt wird. Ebenso in Frage kommt ein Gemisch aus einem oder mehreren dieser "Farben" des Ammoniaks, beziehungsweise ein Gemisch von Farben des dem Ammoniak zugrundeliegenden Wasserstoffs.

[0023] Das Reduktionsgas ist das in den Reduktionsreaktor beziehungsweise seinen metalloxidhaltiges Material enthaltenden Innenraum - in dem die Reduktionsreaktionen stattfinden - eingeleitete Gas mit seiner bei der Einleitung vorliegenden Zusammensetzung und Temperatur. Bevor diese Zusammensetzung und Temperatur gegeben sind, liegt ein Vorläufer des Reduktionsgases vor, auf dessen Basis das Reduktionsgas zubereitet wird. Die Zubereitung kann beispielsweise durch Hinzugabe weiterer Komponenten oder Erhitzung erfolgen. Die Zubereitung kann auch durch im Vorläufer ohne äußeres Zutun ablaufende chemische Reaktionen erfolgen, welche beispielsweise die chemische Zusammensetzung beziehungsweise die Temperatur ändern.

[0024] Bei dem Reduktionsreaktor handelt es sich beispielsweise um einen Reduktionsschacht - zum Beispiel bei Durchführung eines Direktreduktionsverfahrens mit einem ein Festbett von metalloxidhaltigem Material enthaltenden Reduktionsschacht. Bei dem Reduktionsreaktor handelt es sich beispielsweise um einen Fließbettreaktor - zum Beispiel bei Durchführung eines Direktreduktionsverfahrens mit einem ein Fließbett von metalloxidhaltigem Material enthaltenden Reduktionsreaktor. Der Fließbettreaktor kann dabei auch mehrere einzelne Teilreaktoren umfassen, die beispielsweise parallel oder sequenziell geschaltet sind und gemeinsam den Fließbettreaktor bilden.

[0025] Bei dem Reduktionsreaktor handelt es sich beispielsweise um einen Wirbelschichtreaktor - zum Beispiel bei Durchführung eines Direktreduktionsverfahrens mit einem ein Wirbelschicht von metalloxidhaltigem Material enthaltenden Reduktionsreaktor. Der Wirbelschichtreaktor kann dabei auch mehrere einzelne Teilreaktoren umfassen, die beispielsweise parallel oder sequenziell geschaltet sind und gemeinsam den Wirbelschichtbettreaktor bilden.

[0026] Bei dem Reduktionsreaktor kann es sich auch um einen Hochofen handeln, der ein metalloxidhaltiges Material umfassendes Festbett enthält - beim Betrieb eines Hochofens kann Ammoniak beispielsweise PCI-Kohle oder fossile Reduktionsgase ersetzen.

[0027] Aus dem Reduktionsreaktor wird ein Topgas ausgeleitet. Das Topgas entsteht aus dem Reduktionsgas beim Durchströmen des Reduktionsreaktors aufgrund der im Reduktionsreaktor stattfindenden Reaktionen seiner Komponenten mit dem metalloxidhaltigen Material beziehungsweise den bei diesen Reaktionen entstehenden Produkten, beispielsweise dem entstehenden metallischen Eisen. Das Topgas besitzt infolge der im Reduktionsreaktor stattgefundenen Reduktionsreaktionen weniger Reduktionskraft als das Reduktionsgas.

[0028] Zumindest eine Teilmenge des Topgases wird - gegebenenfalls nach einer Aufbereitung - als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt. Nutzung einer Teilmenge liegt sowohl vor, wenn bei unveränderter Zusammensetzung des Topgases nur eine Teilmenge des anfallenden Topgasvolumens genutzt wird, als auch, wenn nicht alle Bestandteile des anfallenden Topgases genutzt werden - also beispielsweise, wenn eine Anreicherung eines Bestandteiles - beispielsweise Anreicherung von Wasserstoff - stattfindet und der entsprechend angereicherte Gasstrom vollständig oder teilweise genutzt wird.

[0029] Ein Schritt bei der Zubereitung des Reduktionsgases ist also - wenn keine Aufbereitung erfolgt - die Vermischung von Topgas mit anderen Komponenten des Reduktionsgases; entweder bildet die dabei erhaltene Gasmischung das Reduktionsgas, oder das Reduktionsgas wird auf Basis dieser Gasmischung zubereitet, wobei noch weitere Schritte wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Komponenten oder Erhitzung auf die bei der Einleitung in den Reduktionsreaktor gewünschte Temperatur, oder zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen erfolgen.

[0030] Gegebenenfalls wird das Topgas einer Aufbereitung unterzogen.

[0031] Die Aufbereitung kann eine oder mehrere Stufen umfassen. Mögliche Stufen sind beispielsweise:

- Entstaubung- die trocken oder nass durchgeführt werden kann,
- Kühlung,
- Einstellung des Gehaltes an Wasserdampf auf ein gewünschtes Niveau, gegebenenfalls mittels Kühlung,
- Verdichtung,
- Erhitzung,
- Entschwefelung; beispielsweise bei Reduktion von schwefelhaltigem Material, speziell wenn bei der Zubereitung von Reduktionsgas Reformen genutzt werden.

[0032] Bevorzugt wird die Entstaubung trocken durchgeführt, da der Wärmeinhalt des Gases dann besser als bei Nassentstaubung im Verfahren genutzt werden kann. Beispielsweise kann die Wärme zur Verdampfung des Ammoniaks

genutzt werden. Die Wärme kann im Verfahren auch an anderer Stelle genutzt werden,- gegebenenfalls über ein Wärmeträgermedium -, beispielsweise zur Erzeugung von Heißwasser und/oder Dampf.

[0033] Einstellung des Gehaltes an Wasserdampf auf ein gewünschtes Niveau ist beispielsweise dann vorteilhaft, wenn bei der Zubereitung von Reduktionsgas Erdgas mit Wasserdampf in einem Reformer reformiert wird. Einstellung des Gehaltes an Wasserdampf auf ein gewünschtes Niveau ist auch deshalb vorteilhaft, weil sie sich auf die Reduktionsgasqualität - ausgedrückt als das Verhältnis der Volumsprozent-Gehalte von Kohlenmonoxid CO, Wasserstoff H₂, Kohlendioxid CO₂, Wasser H₂O $(CO+H_2)/(CO_2+H_2O)$ beziehungsweise von Wasserstoff H₂ und Wasser H₂O H_2/H_2O - auswirkt.

[0034] Das nach dem Aufbereitungsschritt beziehungsweise den Aufbereitungsschritten erhaltene Gas wird im Rahmen der vorliegenden Anmeldung Aufbereitungsgas genannt.

[0035] Wenn Topgas aufbereitet wird, wird Aufbereitungsgas als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt - Topgas wird dann also indirekt über das auf Basis des Topgases erhaltene Aufbereitungsgas bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt. Ein Schritt bei der Zubereitung des Reduktionsgases ist dann die Vermischung des Aufbereitungsgases mit anderen Komponenten des Reduktionsgases; entweder bildet die dabei erhaltene Gasmischung das Reduktionsgas, oder das Reduktionsgas wird auf Basis dieser Gasmischung zubereitet, wobei noch weitere Schritte erfolgen wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Komponenten oder Erhitzung auf die bei der Einleitung in den Reduktionsreaktor gewünschte Temperatur, oder zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen.

Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

[0036] Das Topgas besitzt zwar infolge der im Reduktionsreaktor stattgefundenen Reduktionsreaktionen weniger Reduktionskraft als das Reduktionsgas, aber es enthält immer noch reduzierend wirkende Komponenten - wie beispielsweise Wasserstoff H₂ -, seine Reduktionskraft ist noch nicht erschöpft. Außerdem hat es aufgrund seiner Temperatur einen Energieinhalt.

[0037] Es ist günstig, die im Topgas noch vorhandene Reduktionskraft für das Reduktionsverfahren zu nutzen. Es ist auch günstig, den Energieinhalt für das Reduktionsverfahren zu nutzen; mit steigender Nutzung sinkt der zusätzliche Energiebedarf für Erhitzungsschritte, mit denen die benötigte Temperatur des Reduktionsgases eingestellt wird.

[0038] Speziell bei im Reduktionsreaktor ablaufenden endothermen Reaktionen, ist Energiezufuhr in den Reduktionsreaktor zur Aufrechterhaltung der Reaktionen wichtig. Die Energie kann über das Reduktionsgas zugeführt werden, und dabei beispielsweise über zugeführte Menge und Temperatur des Reduktionsgases verändert werden. Bei der Direktreduktion von Eisenoxiden ist es bevorzugt, wenn das Reduktionsgas eine Temperatur über 750 °C aufweist, bevorzugt über 800 °C. Bei Verwendung eines Reduktionsgases, das nur auf Basis von Wasserstoff H₂ und/oder Ammoniak NH₃ reduziert, ist es bei der Direktreduktion von Eisenoxiden beispielsweise bevorzugt, wenn die in den Reduktionsreaktor eingeleitete spezifische Reduktionsgasmenge über 2000 Nm³/Tonne direktreduziertes Eisen DRI, bevorzugt über 2200 Nm³/tDRI liegt. Wenn ein Reduktionsgas verwendet wird, das auch auf Erdgas basierende reduzierende Komponenten enthält, ist beispielsweise ein niedrigerer Wert bevorzugt, zum Beispiel 1500 - 1600 Nm³/tDRI.

[0039] Eine Nutzung des Topgases - direkt als Topgas und/oder indirekt über auf Basis des Topgases erhaltenes Aufbereitungsgas - zur Zubereitung des Reduktionsgases ermöglicht die Nutzung von im Topgas verbliebenen Reduktionspotential und die Nutzung des Wärmeinhalts des Topgases.

[0040] Der im Topgas enthaltene Stickstoff kann im Verfahren als Wärmeträgermedium genutzt werden. Auch wenn der Stickstoff bezüglich der Reduktionsreaktionen inert ist, trägt er somit zur ressourcenschonenden Durchführung des Verfahrens bei. Energie, die von Stickstoff über seinen Wärmeinhalt in den Reduktionsreaktor getragen wird, muss nicht von anderen Substanzen in den Reduktionsreaktor eingebracht werden; beispielsweise nicht von den ein Reduktionspotential aufweisenden Komponenten des Reduktionsgases. Diese Komponenten - beispielsweise Ammoniak NH₃, Wasserstoff H₂, Kohlenwasserstoffe - sind teurer und aufwändiger bereitzustellen als der ohnehin bei der Spaltung von Ammoniak NH₃ anfallende Stickstoff N₂ - auf 3 Volumenanteile Wasserstoff H₂ kommt ein Volumenanteil Stickstoff N₂ -, und sollten daher nicht unbedingt allzu überstöchiometrisch verwendet werden. Diese Komponenten sollten in erster Linie für den Reduktionszweck genutzt werden; ihre Nutzung ohne wesentlichen Beitrag am Reaktionsumsatz lediglich für den Eintrag von Wärmeinhalt ist im Vergleich zur Nutzung von Stickstoff wenig ressourcenschonend und aufwändig.

[0041] Nach einer Ausführungsform umfasst die Aufbereitung des aus dem Reduktionsreaktor abgezogenen Topgases einen Verfahrensschritt zur Verminderung des Gehaltes an Stickstoff.

[0042] Das Topgas wird dabei einer Aufbereitung unterzogen, die zumindest eine Verminderung des Gehaltes des Topgases an Stickstoff umfasst. Der Stickstoff wird dabei nicht vollständig abgetrennt. Die Verminderung geschieht, um eine aufgrund der Nutzung des Topgases erfolgende Anreicherung von Stickstoff im Reduktionsgas und damit einhergehende Verminderung der Reduktionskraft des Reduktionsgases zu bremsen.

[0043] Zur Verminderung des Gehaltes an Stickstoff kommen beispielsweise Verfahren unter Nutzung unterschiedlicher Permeationsraten, Verfahren unter Nutzung unterschiedlicher Adsorptionskräfte, Verfahren unter Nutzung unter-

schiedlicher Siedetemperaturen zur sortierten Verflüssigung der einzelnen Fraktionen in Frage. Es kommen auch Kombinationen mehrerer dieser Verfahren in Frage.

[0044] Es handelt sich zum Beispiel um Verfahren wie Membrantrennung beispielsweise mit Hohlfasermembranen oder mit Trennmembranen auf Basis porösen Graphens oder mit ein- oder mehrstufigen anorganischen Membranen, Verfahren wie Druckwechseladsorption - englisch Pressure Swing Adsorption PSA -, Verfahren wie kryogene Destillation in Frage. Ein dabei anfallender Gasstrom mit erhöhtem Stickstoffgehalt kann verwertet werden, beispielsweise thermisch in einem Reduktionsgasofen oder in einem Reformier. Der anfallende Gasstrom mit - aufgrund der Abtrennung des inerten Stickstoffs - erhöhtem Gehalt an reduzierenden Komponenten - beispielsweise erhöhtem Wasserstoffgehalt - wird bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt.

[0045] Vorteilhaft erfolgt die Verminderung des Stickstoffgehaltes derart geregelt, dass das Reduktionsgas weniger als 40 Vol%, bevorzugt weniger als 30 Vol%, besonders bevorzugt weniger als 20 Vol% Stickstoff enthält.

[0046] Die Menge des im Topgas enthaltenen Stickstoffs wird bei der Aufbereitung des Topgases zwar vermindert, aber das Aufbereitungsgas enthält noch verbleibenden Stickstoff. Auf diese Weise wird der Wärmeinhalt dieses Stickstoffs im Verfahren genutzt. Auch wenn dieser Stickstoff bezüglich der Reduktionsreaktionen inert ist, trägt er somit zur ressourcenschonenden Durchführung des Verfahrens bei.

[0047] Der Stickstoffgehalt im Reduktionsgas kann auch dadurch auf einen Sollwert gesteuert und/oder geregelt werden, dass die Topgas-Teilmenge - gegebenenfalls nach einer Aufbereitung des Topgases -, die nicht als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt wird, entsprechend gesteuert und/oder geregelt wird. Diese Teilmenge wird aus dem Kreislauf der Zubereitung von Reduktionsgas ausgeschleust; das ausgeschleuste Ausschleusegas kann beispielsweise in einem Gasofen, Reduktionsgasofen, Reformier thermisch genutzt werden. Bevorzugt ist es, wenn Ausschleusegas nach einer Kühlung des Topgases ausgeschleust wird.

[0048] Nach einer Ausführungsform wird dem Topgas und/oder dem Aufbereitungsgas bei der Zubereitung des Reduktionsgases zumindest ein Mitglied der ersten Gruppe bestehend aus:

- Ammoniak; Einsatz ist flüssig oder gasförmig möglich
- aus Ammoniak gewonnener Wasserstoff, beispielsweise als reiner Wasserstoff oder in einem Gemisch von Stickstoff N_2 und Wasserstoff H_2 .

zugegeben.

[0049] Es können dem Topgas und/oder dem Aufbereitungsgas also ein Mitglied oder mehrere Mitglieder der ersten Gruppe zugegeben werden.

[0050] Der Ammoniak wird bevorzugt gasförmig zugegeben.

[0051] Der Ammoniak kann vor der Zugabe erwärmt werden; beispielsweise elektrisch. Erwärmung kann beispielsweise mittels Gasofen erfolgen, wobei der Gasofen beispielsweise mit elektrischer Energie beheizt werden kann, oder durch Verbrennung von Brennstoffen. In der ersten Gruppe handelt es sich um Wasserstoff, der aus Ammoniak gewonnen wurde; es ist also ammoniakbasierter Wasserstoff. Dabei ist mit umfasst, dass dieser Wasserstoff als Bestandteil eines Gasgemisches zugegeben wird - beispielsweise eines bei der Spaltung von Ammoniak entstandenen Gasgemisches von Stickstoff und Wasserstoff.

[0052] Nach einer Ausführungsform wird dem Topgas und/oder dem Aufbereitungsgas bei der Zubereitung des Reduktionsgases zumindest ein Mitglied der zweiten Gruppe bestehend aus:

- Erdgas
- Kohlenwasserstoffe, beispielsweise Ethan C_2H_6 , Propan C_3H_8 , Butan C_4H_{10} ,
- Wasserstoff,
- Kohlenmonoxid,
- Koksofengas
- Syngas umfassend mehrere Bestandteile aus der Gruppe von Bestandteilen bestehend aus CO , H_2 , CH_4 , C2-C6 Kohlenwasserstoffen, N_2 , CO_2 ,

zugegeben.

[0053] Dabei handelt es sich um Wasserstoff, aus anderen Quellen als Ammoniak gewonnen wurde; er wurde also nicht aus Ammoniak gewonnen, ist also nicht-ammoniakbasierter Wasserstoff. Dabei kann es sich beispielsweise um grünen, blauen, grauen, türkisen, pinken Wasserstoff handeln. Unter diesen "Farben" ist die Farbgebung in Zusammenhang mit der zugrundeliegenden Produktionsart zu verstehen. Grüner Wasserstoff ist beispielsweise durch Elektrolyse von Wasser mittels Strom aus erneuerbaren Energien erzeugt, oder durch Vergasung oder Vergärung von Biomasse, oder Dampfreformierung von Biogas - gemeinsam ist den Produktionsarten von grünem Wasserstoff, dass die Produktion CO_2 -frei erfolgt. Bei blauem Wasserstoff wird bei der Produktion entstehendes CO_2 gespeichert, so dass es nicht in die Atmosphäre gelangt; beispielsweise, wenn er unter Sequestrierung von entstehendem Kohlendioxid CO_2 erzeugt wurde.

Bei türkischem Wasserstoff wird unter Abscheidung von entstehendem Kohlenstoff C erzeugt. Bei pinkem Wasserstoff wird Wasserstoff unter Verwendung von Atomstrom erzeugt. Ebenso in Frage kommt ein Gemisch aus einem oder mehreren dieser "Farben" des Wasserstoffs. Bei grauem Wasserstoff wird aus fossilen Brennstoffen erzeugt - beispielsweise aus Erdgas mittels Dampfreformierung - wobei das entstehende CO_2 überwiegend in die Atmosphäre abgegeben wird.

[0054] Auch in Frage kommen andere Farben des Wasserstoffs. Ebenso in Frage kommt ein Gemisch aus einem oder mehreren dieser "Farben" des Wasserstoffs.

[0055] Unter Syngas oder Synthesegas sind industriell hergestellte Gasgemische zu verstehen, die hauptsächlich Kohlenstoffmonoxid und Wasserstoff neben wechselnden Mengen weiterer Gase, beispielsweise Kohlendioxid, enthalten. Die Herstellung von Synthesegas kann prinzipiell aus festen, flüssigen und gasförmigen Ausgangsstoffen erfolgen. Als flüssige Ausgangsstoffe für Synthesegas können beispielsweise unterschiedliche Rohödestillate eingesetzt werden, sowohl leichtsiedende als auch hochsiedende Fraktionen. Das wichtigste gasförmige Edukt zur Synthesegaserzeugung ist Erdgas.

[0056] Herstellungsmethoden sind beispielsweise Dampfreformierung von Erdgas oder flüssigen Kohlenwasserstoffen, beziehungsweise Vergasung von Kohle, Biomasse oder anderen Reststoffe.

[0057] Eine mögliche Zusammensetzung von Synthesegas ist beispielsweise Kohlenmonoxid $\text{CO}=41$ Vol%, Kohlendioxid $\text{CO}_2=14$ Vol%, Wasserstoff $\text{H}_2=34$ Vol%, Methan $\text{CH}_4=5$ Vol%, Kohlenwasserstoffe $\text{C}_2\text{-C}_6=2$ Vol%, Stickstoff $\text{N}_2=4$ Vol%.

[0058] Es können dem Aufbereitungsgas also ein Mitglied oder mehrere Mitglieder der zweiten Gruppe zugegeben werden.

[0059] Mitglieder der ersten oder der zweiten Gruppe könnten dem Topgas beziehungsweise dem Aufbereitungsgas auch vor Beginn oder vor Abschluss der Aufbereitung zugegeben werden; beim Vorliegen einer Aufbereitung ist es jedoch bevorzugt, eine Zugabe nach Abschluss der Aufbereitung, also zum Aufbereitungsgas vorzunehmen.

[0060] Es ist vorteilhaft, gleichzeitig grünen Ammoniak NH_3 und grünen Wasserstoff H_2 einzusetzen, da die Wirtschaftlichkeit besonders günstig ist und CO_2 -Belastung des Verfahrensproduktes dann besonders gut reduziert werden kann. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die eingesetzte Menge an grünem Ammoniak NH_3 erhöht wird, wenn die eingesetzte Menge an grünem Wasserstoff H_2 vermindert werden soll oder muss - beispielsweise aus Verfügbarkeits- oder Kostengründen.

[0061] Es kann auch die eingesetzte Menge an grünem Wasserstoff H_2 erhöht werden, wenn die eingesetzte Menge an grünem Ammoniak NH_3 vermindert werden soll oder muss - beispielsweise aus Verfügbarkeits- oder Kostengründen.

[0062] Nach einer Ausführungsform wird nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der ersten Gruppe dem entstandenen Gasgemisch zumindest ein Mitglied der zweiten Gruppe zugegeben. Das nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der ersten Gruppe vorliegende Gasgemisch ist ein Vorläufer des Reduktionsgases; diesem Vorläufer wird zumindest ein Mitglied der zweiten Gruppe zugegeben. Das dabei entstehende Gasgemisch kann das Reduktionsgas sein, oder ein Vorläufer des Reduktionsgases. Wenn es ein Vorläufer ist, erfolgen noch weitere Schritte wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Komponenten oder Erhitzung auf die bei der Einleitung in den Reduktionsreaktor gewünschte Temperatur oder zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen.

[0063] Bevor dem nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der ersten Gruppe entstandenen Gasgemisch zumindest ein Mitglied der zweiten Gruppe zugegeben wird, können an diesem Gasgemisch noch Veränderungen wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Komponenten oder Erhitzung oder zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen erfolgen. Erhitzung kann beispielsweise mittels elektrisch betriebener Heizvorrichtungen erfolgen.

[0064] Erhitzung kann beispielsweise indirekt über Gasbrenner erfolgen, wobei nach einer Variante auch aus dem dabei anfallenden Abgas über Wärmetauscher der Vorläufer erhitzt wird. Als Grundlage für den Brennstoff für die Gasbrenner können beispielsweise sowohl Erdgas oder Topgas dienen; Nutzung von Topgas ist günstig, da seine chemische Energie innerhalb des Reduktionsverfahren genutzt wird.

[0065] Zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen können beispielsweise mittels Reformierung des Vorläufers veranlasst werden - speziell, wenn Erdgas zugegeben wird. Erhitzung in einem dabei verwendeten Reformier kann beispielsweise indirekt über Gasbrenner erfolgen, wobei nach einer Variante auch aus dem dabei anfallenden Abgas über Wärmetauscher der Vorläufer erhitzt wird. Als Grundlage für den Brennstoff für die Gasbrenner können beispielsweise sowohl Erdgas oder Topgas dienen; Nutzung von Topgas ist günstig, da seine chemische Energie innerhalb des Reduktionsverfahren genutzt wird.

[0066] Nach einer Ausführungsform wird nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der zweiten Gruppe dem entstandenen Gasgemisch zumindest ein Mitglied der ersten Gruppe zugegeben. Das nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der zweiten Gruppe vorliegende Gasgemisch ist ein Vorläufer des Reduktionsgases; diesem Vorläufer wird zumindest ein Mitglied der ersten Gruppe zugegeben. Das dabei entstehende Gasgemisch kann das Reduktionsgas sein, oder ein

Vorläufer des Reduktionsgases. Wenn es ein Vorläufer ist, erfolgen noch weitere Schritte wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Komponenten oder Erhitzung auf die bei der Einleitung in den Reduktionsreaktor gewünschte Temperatur oder zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen.

[0067] Bevor dem nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der zweiten Gruppe entstandenen Gasgemisch zumindest ein Mitglied der ersten Gruppe zugegeben wird, können an diesem Gasgemisch noch Veränderungen wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Komponenten oder Erhitzung auf die bei der Einleitung in den Reduktionsreaktor gewünschte Temperatur oder zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen erfolgen. Erhitzung kann beispielsweise mittels elektrisch betriebener Heizvorrichtungen erfolgen.

[0068] Erhitzung kann beispielsweise indirekt über Gasbrenner erfolgen, wobei nach einer Variante auch aus dem dabei anfallenden Abgas über Wärmetauscher der Vorläufer erhitzt wird. Als Grundlage für den Brennstoff für die Gasbrenner können beispielsweise sowohl Erdgas oder Topgas dienen; Nutzung von Topgas ist günstig, da seine chemische Energie innerhalb des Reduktionsverfahren genutzt wird.

[0069] Zu einer Veränderung der Zusammensetzung führende chemische Reaktionen können beispielsweise mittels Reformierung des Vorläufers veranlasst werden - speziell, wenn Erdgas zugegeben wird. Erhitzung in einem dabei verwendeten Reformer kann beispielsweise indirekt über Gasbrenner erfolgen, wobei nach einer Variante auch aus dem dabei anfallenden Abgas über Wärmetauscher der Vorläufer erhitzt wird. Als Grundlage für den Brennstoff für die Gasbrenner können beispielsweise sowohl Erdgas oder Topgas dienen.

[0070] Zugabe von Ammoniak kann in Topgas erfolgen, im Aufbereitungsgas erfolgen, in Vorläufer des Reduktionsgases erfolgen. Bei Verwendung eines Reduktionsreaktors, der zur Einleitung von Reduktionsgas in den metalloxydhaltiges Material enthaltenden Innenraum - in dem die Reduktionsreaktionen stattfinden - eine Bustle aufweist, kann Ammoniak beispielsweise in das Gas die zur Bustle führt, zugegeben werden.

[0071] Nach einer Ausführungsform handelt es sich um ein Verfahren zur Reduktion von metalloxydhaltigem Material, das in einem Reduktionsreaktor mit einer Kühlzone und/oder einem Produktkühler durchgeführt wird,

wobei es dadurch gekennzeichnet ist, dass

Ammoniak in die Kühlzone des Reduktionsreaktors und/oder den Produktkühler eingebracht wird.

[0072] Der Ammoniak wird dabei bevorzugt gasförmig eingebracht. Der Ammoniak wird im Reduktionsreaktor gespalten, wobei die ablaufenden Reaktionen überwiegend endotherm sind. Spaltung erfolgt bereits in der Kühlzone. In die Kühlzone eingebrachter Ammoniak trägt also einerseits zur Kühlung bei, weil er endotherm gespalten wird, und er trägt andererseits zu Reduktionsreaktionen im Reduktionsreaktor bei.

[0073] Die Kühlung mittels Ammoniak kann dabei beispielsweise so geregelt werden, dass die Temperatur des aus dem Reduktionsreaktor entnommenen reduzierten Materials eine für weitere Verarbeitung angestrebte Temperatur aufweist. Falls beispielsweise das heiße aus dem Reduktionsreaktor entnommene DRI - HDRI - anschließend kompaktiert wird, wird gegebenenfalls eine andere Temperatur angestrebt werden, als wenn es einem EAF zugeführt wird.

[0074] Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist eine Vorrichtung zur Reduktion von metalloxydhaltigem Material, umfassend:

- einen Reduktionsreaktor,
- eine Topgasausleitung zur Ausleitung von Topgas aus dem Reduktionsreaktor,
- zumindest eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag,
- eine Zubereitungsanlage zur Zubereitung von Reduktionsgas, in welche zumindest eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag mündet,
- eine Zufuhrleitung zur Zufuhr von Reduktionsgas und/oder eines Vorläufers des Reduktionsgases zum Reduktionsreaktor,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Topgasausleitung in die Zubereitungsanlage mündet.

[0075] Die Vorrichtung zur Reduktion von metalloxydhaltigem Material kann einen oder mehrere Reduktionsreaktoren umfassen.

[0076] Die Vorrichtung zur Reduktion von metalloxydhaltigem Material kann eine oder mehrere Topgasausleitungen umfassen.

[0077] Die Vorrichtung zur Reduktion von metalloxydhaltigem Material kann eine oder mehrere Zuleitungen für Ammoniakbeitrag umfassen; diese sind zur Zugabe von flüssigem Ammoniak geeignet, oder zur Zugabe von gasförmigem Ammoniak geeignet, oder sowohl zur Zugabe von flüssigem Ammoniak als auch zur Zugabe von gasförmigem Ammoniak geeignet, oder zur Zugabe von aus Ammoniak durch Spaltung enthaltenem Wasserstoff H_2 - rein oder in einem Gemisch mit Stickstoff N_2 - geeignet.

[0078] Die Vorrichtung zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material kann eine oder mehrere Zufuhrleitungen umfassen.

[0079] Mit einer solchen Vorrichtung kann Ammoniak NH_3 genutzt werden, um Reduktionsgas zu erhalten. Das Reduktionsgas wird in der Zubereitungsanlage unter Nutzung von Ammoniak NH_3 zubereitet. Die Zubereitungsanlage kann dazu eine oder mehrere Spaltungsanlagen zur Spaltung von Ammoniak umfassen. Die Zubereitungsanlage kann dazu auch eine oder mehrere Mischvorrichtungen umfassen, die Ammoniak - flüssig oder gasförmig - und/oder zumindest eines seiner Spaltungsprodukte Wasserstoff H_2 und Stickstoff N_2 mit weiteren Komponenten vermischen; sie können auch Gemische der Spaltungsprodukte mit weiteren Komponenten vermischen. Die Zubereitungsanlage kann auch eine oder mehrere Komponentenzuleitungen zur Zufuhr von bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzten Komponenten umfassen. Die Zubereitungsanlage kann auch eine oder mehrere Trennvorrichtungen zur Trennung des bei der Spaltung von Ammoniak erhaltenen Gasgemisches von Wasserstoff H_2 und Stickstoff N_2 umfassen; dabei ist unter Trennung nicht nur vollständige Trennung zu verstehen, sondern auch Anreicherung beziehungsweise Abreicherung von Wasserstoff H_2 beziehungsweise Stickstoff N_2 . Beispielsweise kann in der Zubereitungsanlage eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag in eine Topgas führende Leitung münden, wobei die Mündung als Mischvorrichtung zu verstehen ist. Somit kann Reduktionsgas unter Nutzung von Ammoniak und von Topgas als Komponente zubereitet werden.

[0080] Beispielsweise kann in der Zubereitungsanlage eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag in eine Aufbereitungsgas führende Leitung münden, wobei die Mündung als Mischvorrichtung zu verstehen ist. Somit kann Reduktionsgas unter Nutzung von Ammoniak und von Aufbereitungsgas als Komponente zubereitet werden. Beispielsweise kann in der Zubereitungsanlage eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag in eine Vorläufer des Reduktionsgases führende Leitung münden, wobei die Mündung als Mischvorrichtung zu verstehen ist. Somit kann Reduktionsgas unter Nutzung von Ammoniak zubereitet werden.

[0081] Wenn beispielsweise ein Reduktionsreaktor mit Bustle verwendet wird, wird dem Reduktionsreaktor beziehungsweise seiner Bustle über die Zufuhrleitung Reduktionsgas zugeführt, welches durch Zugabe von Ammoniak über eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag in eine Topgas führende Leitung entsteht. Dabei dient die Zufuhrleitung auch als Zubereitungsanlage und Mischvorrichtung, da sich Topgas und Ammoniak beim Durchströmen mischen und das Reduktionsgas zubereitet wird. Die Zufuhrleitung kann auch auf andere Weise Teil der Zubereitungsanlage sein; beispielsweise, wenn in die Zufuhrleitung Zuspeisleitungen zur Zuspeisung zusätzlicher Komponenten in das Vorläufergas münden, oder wenn Erhitzungsvorrichtungen in der Zufuhrleitung vorhanden sind.

[0082] Gegebenenfalls umfasst die Zubereitungsanlage Vorrichtungen zur Erwärmung von Ammoniak, damit Ammoniak vor einer Zugabe zu Topgas und/oder Aufbereitungsgas erwärmt werden kann.

[0083] Gegebenenfalls umfasst die Topgasausleitung eine oder mehrere Aufbereitungsanlagen; dann wird der Zubereitungsanlage durch die Topgasausleitung Aufbereitungsgas zugeführt. Bei den Aufbereitungsanlagen kann es sich beispielsweise um eine Entstaubungsvorrichtung - trocken oder nass - handeln, oder um eine Kühlungsvorrichtung, oder um eine Verdichtungsvorrichtung, oder um eine Erhitzungsvorrichtung, oder um eine Kühlungsvorrichtung, oder um eine Vorrichtung zur Einstellung des Wasserdampfgehaltes, oder eine Entschwefelungsvorrichtung. Es ist auch möglich, dass eine Aufbereitungsanlage mehrere Aufbereitungsfunktionen erfüllt - beispielsweise kann eine Kühlungsvorrichtung auch als Vorrichtung zur Einstellung des Wasserdampfgehaltes wirken.

[0084] Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Topgasausleitung zumindest eine Aufbereitungsanlage, die eine Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes ist. Somit kann der Stickstoffgehalt des Topgases vermindert werden, und ein Aufbereitungsgas mit gegenüber Topgas vermindertem Stickstoffgehalt bereitgestellt werden.

[0085] Dabei kann es sich beispielsweise um eine Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes auf Basis unterschiedlicher Permeationsraten, um eine Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes unter Nutzung unterschiedlicher Adsorptionskräfte - wie beispielsweise Druckwechseladsorption -, um eine Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes unter Nutzung unterschiedlicher Siedetemperaturen handeln.

[0086] Nach einer bevorzugten Ausführungsform umfasst die Zubereitungsanlage zumindest eine Zuspeisleitung zur Zuspeisung eines oder mehrerer Mitglieder der Gruppe bestehend aus:

- Erdgas
- Kohlenwasserstoffe, beispielsweise Ethan C_2H_6 , Propan C_3H_8 , Butan C_4H_{10} ,
- Wasserstoff,
- Kohlenmonoxid,
- Koksofengas,
- Syngas .

[0087] Also beispielsweise eine Erdgaszuspeisleitung, eine Wasserstoffzuspeisleitung, eine Kohlenmonoxidzuspeisleitung, eine Koksofengaszuspeisleitung, eine Syngaszuspeisleitung, eine Kohlenwasserstoffzuspeisleitung.

[0088] Eine oder mehrere oder alle Zuspeisungsleitungen können auch geeignet sein zur Zuspeisung mehrerer Gruppenmitglieder, beispielsweise eine Erdgas/Syngas/Koksofengaszuspeisleitung.

[0089] Aufgrund des Vorhandenseins der Zusp eisleitungen - und gegebenenfalls von Mischvorrichtungen - können Mitglieder der zweiten Gruppe dem Topgas und/oder dem Aufbereitungsgas zugegeben werden.

[0090] Nach einer bevorzugten Ausführungsform weist der Reduktionsreaktor eine Kühlzone und/oder einen Produktkühler auf, und mündet eine Ammoniakzuleitung in die Kühlzone und/oder den Produktkühler.

[0091] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Anmeldung ist eine Signalverarbeitungseinrichtung mit einem maschinenlesbaren Programmcode, dadurch gekennzeichnet, dass er Regelbefehle zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist. Bei einem weiteren Gegenstand handelt es sich um eine Signalverarbeitungseinrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

[0092] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Anmeldung ist ein maschinenlesbarer Programmcode für eine Signalverarbeitungseinrichtung, dadurch gekennzeichnet, dass der Programmcode Regelbefehle aufweist, welche die Signalverarbeitungseinrichtung zur Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens veranlassen. Bei einem weiteren Gegenstand handelt es sich um ein Computerprogrammprodukt umfassend Befehle für eine Signalverarbeitungseinrichtung, die bei der Ausführung des Programms für die Signalverarbeitungsvorrichtung diese veranlassen, das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7 durchzuführen.

[0093] Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Anmeldung ist ein Speichermedium mit einem darauf gespeicherten erfindungsgemäßen maschinenlesbaren Programmcode. Bei einem weiteren Gegenstand handelt es sich um ein Speichermedium mit einem darauf gespeicherten Computerprogramm zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0094] Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand mehrerer schematischer Figuren beispielhaft beschrieben.

Figur 1 zeigt schematisch die Durchführung einer Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens in einer Variante der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material

Figuren 2 zeigt schematisch eine weitere Variante.

Figuren 3 zeigt eine weitere Variante.

Figur 4 zeigt schematisch eine weitere Variante.

Figur 5 zeigt schematisch eine weitere Variante.

Beschreibung der Ausführungsformen

Beispiele

[0095] Figur 1 zeigt schematisch die Durchführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 1 zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material.

[0096] In einen Reduktionsreaktor 2, hier ein Reduktionsschacht, wird metalloxidhaltiges Material 3, hier eisenoxidhaltiges Material, eingegeben und bildet dort ein Festbett 4. Zur Reduktion des metalloxidhaltigen Materials 3 im Reduktionsreaktor 2 wird Reduktionsgas eingesetzt. Aus dem Reduktionsreaktor 2 wird Topgas mittels Topgasausleitung 5 ausgeleitet. Die Topgasausleitung 5 mündet in die Zubereitungsanlage 6 zur Zubereitung von Reduktionsgas. In die Zubereitungsanlage 6 mündet eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag 7. In der Zubereitungsanlage 6 erfolgt Zubereitung von Reduktionsgas unter Nutzung von Ammoniak NH_3 und unter Nutzung von Topgas als Komponente. Das unter Nutzung von Ammoniak und Topgas erhaltene Reduktionsgas wird über die Zufuhrleitung 8 dem das metalloxidhaltige Material 3 enthaltenden Reduktionsreaktor 2 zugeführt. In der Zubereitungsanlage 6 wird Topgas mit Ammoniak gemischt, und die dabei erhaltene Gasmischung ist das Reduktionsgas. Das Topgas wird also direkt bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt.

[0097] Figur 2 zeigt weitgehend analog zu Figur 1 schematisch eine Variante, in der das Topgas indirekt bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt wird. Der Zubereitungsanlage 6 wird über die Topgasausleitung 5 Aufbereitungsgas zugeführt. Das Aufbereitungsgas wird durch Aufbereitung des Topgases gewonnen; in der Topgasausleitung 5 ist eine Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes 9 vorhanden, ein bezüglich Stickstoff abgereicherter Strom von Aufbereitungsgas wird der Zubereitungsanlage über die Topgasausleitung 5 zugeführt. In der Zubereitungsanlage 6 wird das Aufbereitungsgas mit Ammoniak gemischt, und die dabei erhaltene Gasmischung ist das Reduktionsgas. In Figur 2 wird infolge der Verminderung des Stickstoffgehaltes also eine Teilmenge des Topgases als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt.

[0098] Figur 3 zeigt weitgehend analog zu Figur 2 schematisch eine Variante, in der die Zubereitungsanlage 6 eine Zusp eisleitung für Erdgas 10 umfasst. Dadurch ist es möglich, nach Vereinigung von Aufbereitungsgas und Ammoniak dem entstandenen Gasgemisch Erdgas zuzumischen, oder nach Vereinigung von Aufbereitungsgas und Erdgas dem entstandenen Gasgemisch Ammoniak zuzumischen. Das dabei erhaltene Gasgemisch kann als Vorläufer des Reduk-

tionsgases dienen und in einem nicht extra dargestellten Reformers zu Reduktionsgas umgesetzt werden.

[0099] Figur 4 zeigt weitgehend analog zu Figur 2 schematisch eine Variante, in der eine Ammoniakzuleitung 11 in die Kühlzone 12 des Reduktionsreaktors 2 mündet. Dadurch kann bei der Direktreduktion im Reduktionsreaktor 2 Ammoniak in die Kühlzone eingebracht werden.

[0100] Figur 5 zeigt weitgehend analog zu Figur 1 schematisch eine Variante, in der auch die Bustle 13 des Reduktionsreaktors dargestellt ist. Reduktionsgas wird der Bustle 13 über Zufuhrleitung 8 zugeführt. Zur Zubereitung des Reduktionsgases wird Ammoniak in die Topgas führende Leitung 14 über eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag 7 zugeleitet. Die Zufuhrleitung 8 zählt dabei auch als Zubereitungsanlage und als Mischvorrichtung, da in ihr Ammoniak und Topgas gemischt werden.

Liste der Bezugszeichen

[0101]

- | | |
|----|---|
| 1 | Vorrichtung zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material |
| 2 | Reduktionsreaktor |
| 3 | metalloxidhaltiges Material |
| 4 | Festbett |
| 5 | Topgasausleitung |
| 6 | Zubereitungsanlage |
| 7 | Zuleitung für Ammoniakbeitrag |
| 8 | Zufuhrleitung |
| 9 | Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes |
| 10 | Zuspeisleitung für Erdgas |
| 11 | Ammoniakzuleitung |
| 12 | Kühlzone |
| 13 | Bustle |
| 14 | Topgas führende Leitung |

Patentansprüche

1. Verfahren zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material (2),

wobei unter Nutzung von Ammoniak NH_3 erhaltenes Reduktionsgas eingesetzt wird, wobei das Reduktionsgas einem das metalloxidhaltige Material enthaltenden Reduktionsreaktor (2) zugeführt wird, und aus dem Reduktionsreaktor ein Topgas ausgeleitet wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest eine Teilmenge des Topgases, gegebenenfalls nach einer Aufbereitung des Topgases, als Komponente bei der Zubereitung des Reduktionsgases genutzt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Aufbereitung des aus dem Reduktionsreaktor (2) abgezogenen Topgases einen Verfahrensschritt zur Verminderung des Gehaltes an Stickstoff umfasst.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Topgas und/oder dem Aufbereitungsgas bei der Zubereitung des Reduktionsgases zumindest ein Mitglied der ersten Gruppe bestehend aus:

- Ammoniak,
- aus Ammoniak gewonnener Wasserstoff,

zugegeben wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** dem Topgas und/oder dem Aufbereitungsgas bei der Zubereitung des Reduktionsgases zumindest ein Mitglied der zweiten Gruppe bestehend aus:

- Erdgas,
- Kohlenwasserstoffe,
- Wasserstoff,

- Kohlenmonoxid,
- Koksofengas,
- Syngas umfassend mehrere Bestandteile aus der Gruppe von Bestandteilen bestehend aus CO, H₂, CH₄, C₂-C₆ Kohlenwasserstoffen, N₂, CO₂,

zugegeben wird.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der ersten Gruppe dem entstandenen Gasgemisch zumindest ein Mitglied der zweiten Gruppe zugegeben wird.

6. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** nach Vereinigung von Topgas beziehungsweise Aufbereitungsgas und zumindest einem Mitglied der zweiten Gruppe dem entstandenen Gasgemisch zumindest ein Mitglied der ersten Gruppe zugegeben wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei es in einem Reduktionsreaktor (2) mit einer Kühlzone (12) und/oder einem Produktkühler durchgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** Ammoniak in die Kühlzone (12) des Reduktionsreaktors (2) und/oder den Produktkühler eingebracht wird.

8. Vorrichtung (1) zur Reduktion von metalloxidhaltigem Material (3),

umfassend:

- einen Reduktionsreaktor (2),
- eine Topgasausleitung (4) zur Ausleitung von Topgas aus dem Reduktionsreaktor (2),
- zumindest eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag (7),
- eine Zubereitungsanlage (6) zur Zubereitung von Reduktionsgas, in welche zumindest eine Zuleitung für Ammoniakbeitrag (7) mündet,
- eine Zufuhrleitung (8) zur Zufuhr von Reduktionsgas und/oder eines Vorläufers des Reduktionsgases zum Reduktionsreaktor (2),

dadurch gekennzeichnet, dass

die Topgasausleitung (5) in die Zubereitungsanlage (6) mündet.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Topgasausleitung (5) zumindest eine Aufbereitungsanlage, die eine Vorrichtung zur Verminderung des Stickstoffgehaltes (9) ist, umfasst.

10. Vorrichtung nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zubereitungsanlage (6) zumindest eine Zuspelisleitung (10) zur Zuspelung eines oder mehrerer Mitglieder der Gruppe bestehend aus:

- Erdgas,
- Kohlenwasserstoffe,
- Wasserstoff,
- Kohlenmonoxid,
- Koksofengas,
- Syngas,

umfasst.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 bis 10, wobei der Reduktionsreaktor (2) eine Kühlzone (12) und/oder einen Produktkühler aufweist, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ammoniakzuleitung (11) in die Kühlzone (12) und/oder den Produktkühler mündet.

12. Signalverarbeitungseinrichtung mit einem maschinenlesbaren Programmcode, **dadurch gekennzeichnet, dass** er Regelbefehle zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 aufweist.

13. Maschinenlesbarer Programmcode für eine Signalverarbeitungseinrichtung, **dadurch gekennzeichnet, dass** der

EP 4 253 572 A1

Programmcode Regelbefehle aufweist, welche die Signalverarbeitungseinrichtung zur Durchführung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 7 veranlassen.

14. Speichermedium mit einem darauf gespeicherten maschinenlesbaren Programmcode nach Anspruch 13.

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

Fig. 1

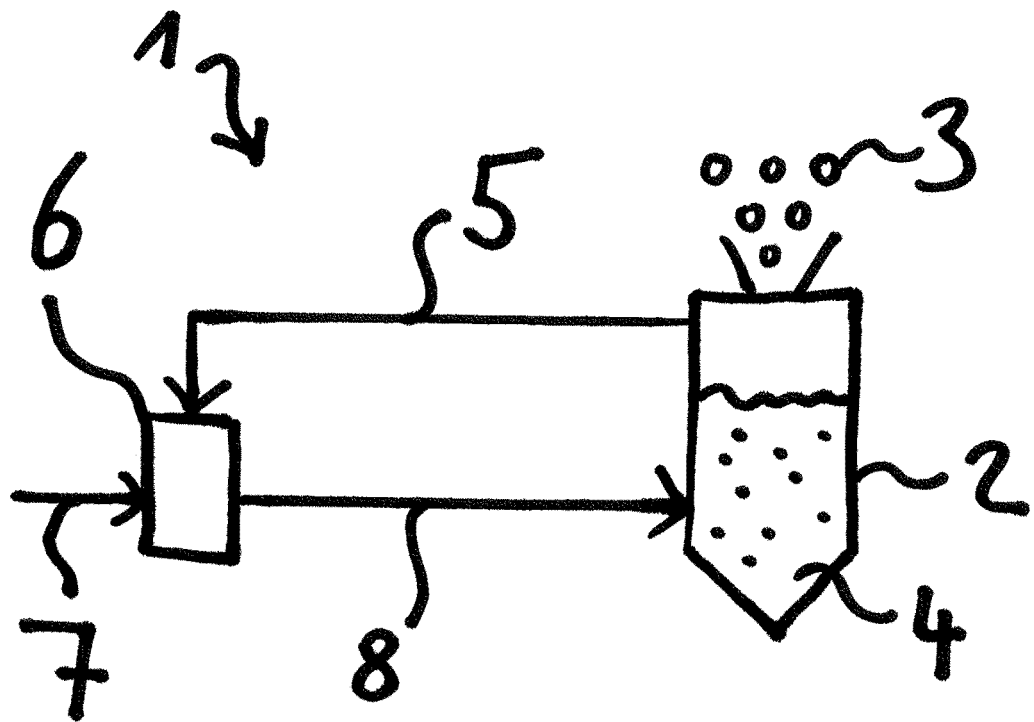


Fig. 2

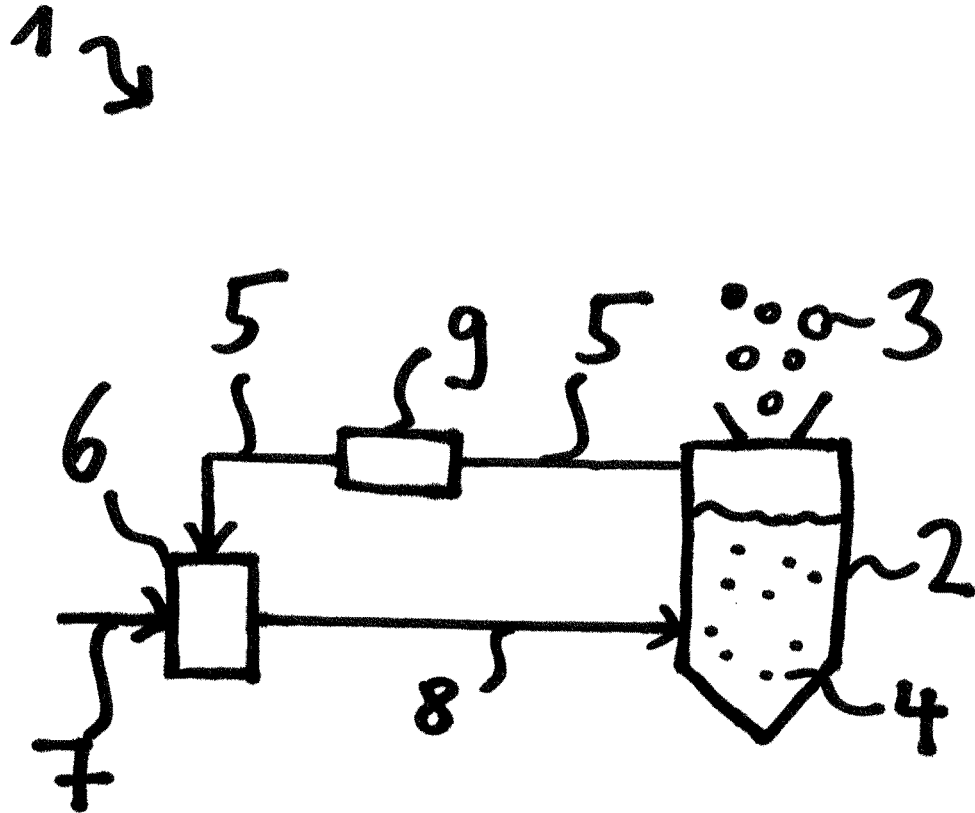


Fig. 3

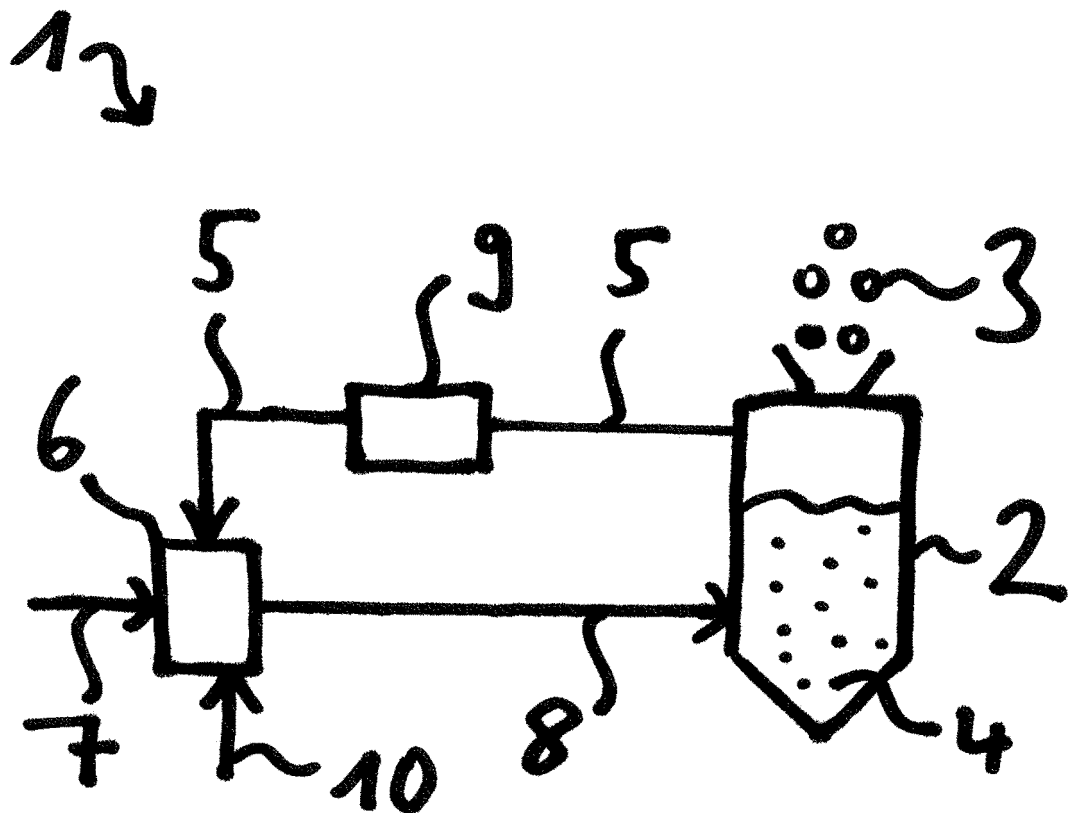


Fig. 4

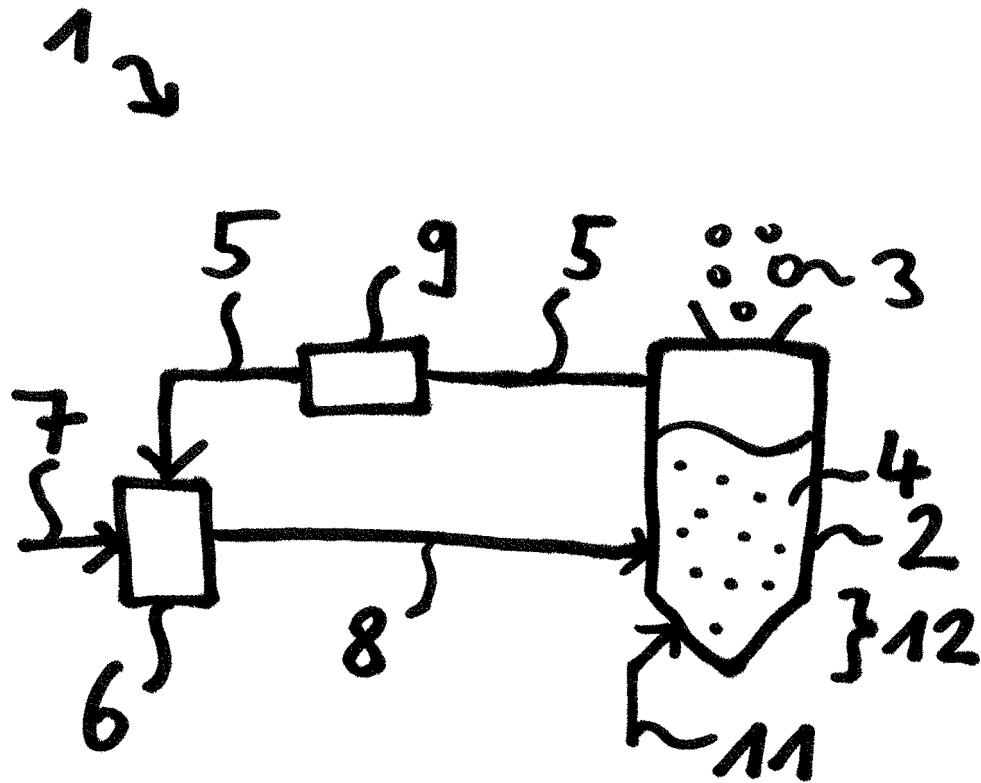
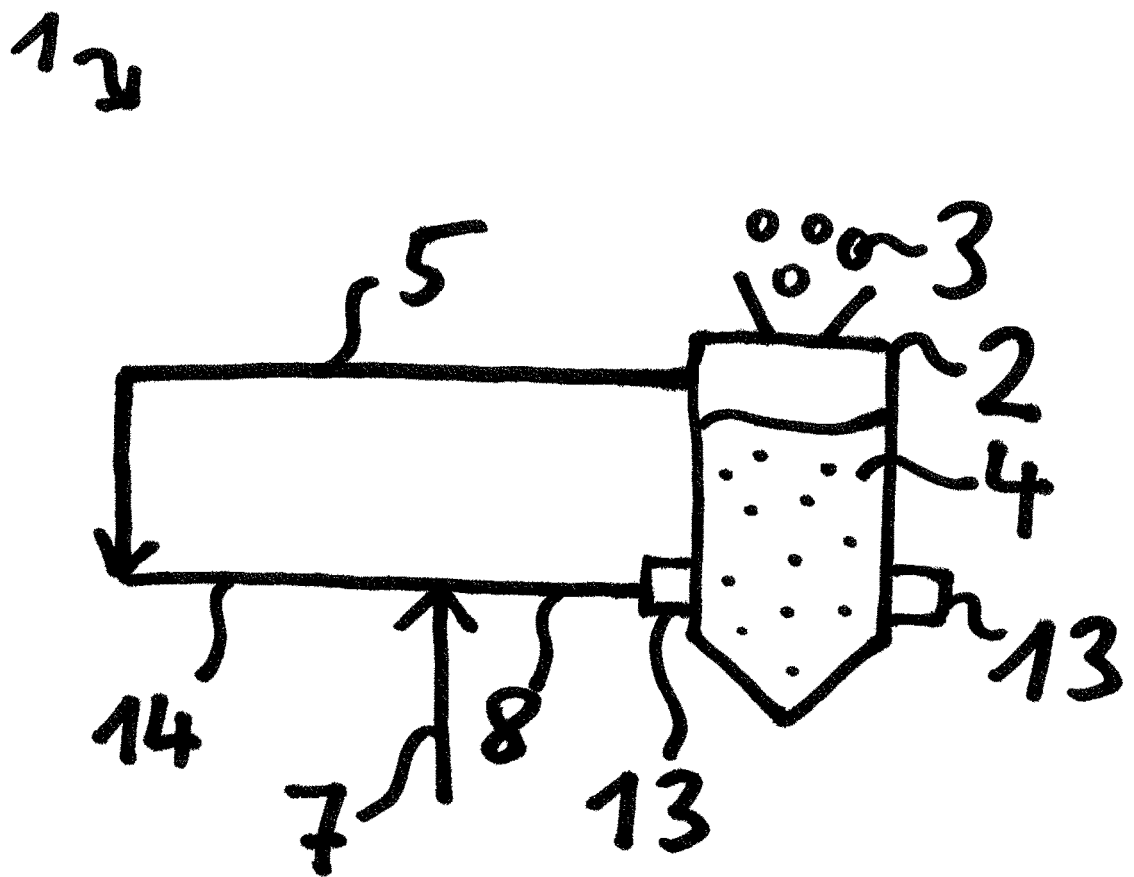


Fig. 5





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 22 19 4331

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

3

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	WO 2021/241272 A1 (NIPPON STEEL CORP [JP]) 2. Dezember 2021 (2021-12-02)	1, 2, 4, 7-14	INV. C21B5/06
A	* Abbildung 10 *	3, 5, 6	C21B13/00

X	JP 2013 216929 A (JFE STEEL CORP) 24. Oktober 2013 (2013-10-24)	1, 2, 4, 7-14	
A	* Abbildung 1 *	3, 5, 6	

A	CN 112 813 219 A (UNIV SCIENCE & TECHNOLOGY LIAONING; UNIV WESTERN AUSTRALIA ET AL.) 18. Mai 2021 (2021-05-18)	1-14	
	* Abbildung 1 *		

			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 19. Juli 2023	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	

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

EP 22 19 4331

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.

19-07-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
WO 2021241272 A1	02-12-2021	AU 2021281774 A1	01-12-2022
		BR 112022021744 A2	06-12-2022
		CA 3176589 A1	02-12-2021
		CN 115552042 A	30-12-2022
		EP 4159879 A1	05-04-2023
		JP WO2021241272 A1	02-12-2021
		KR 20220158079 A	29-11-2022
		TW 202200797 A	01-01-2022
		US 2023167517 A1	01-06-2023
		WO 2021241272 A1	02-12-2021
JP 2013216929 A	24-10-2013	KEINE	
CN 112813219 A	18-05-2021	KEINE	

EPO FORM P0461

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