



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**08.02.2023 Patentblatt 2023/06**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**C21B 13/00<sup>(1968.09)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **21189193.2**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**C21B 13/0073**

(22) Anmeldetag: **02.08.2021**

(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:  
 • **Sattler, Hans Thomas**  
**4040 Linz (AT)**  
 • **Millner, Robert**  
**3382 Loosdorf (AT)**

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

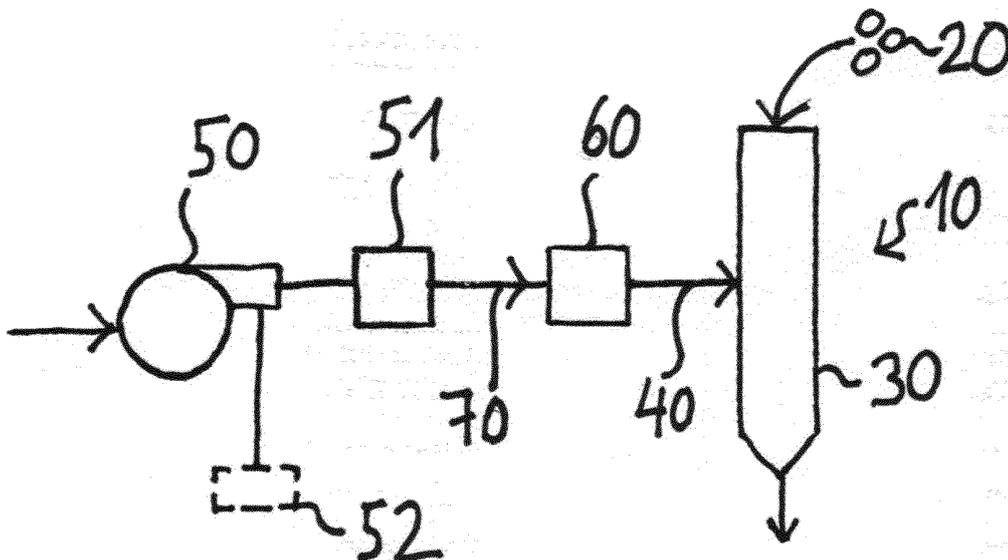
(74) Vertreter: **Metals@Linz**  
**Primetals Technologies Austria GmbH**  
**Intellectual Property Upstream IP UP**  
**Turmstraße 44**  
**4031 Linz (AT)**

(54) **GASKOMPRESSION BEI WASSERSTOFFBASIERTER DIREKTREDUKTION**

(57) Direktreduktionsanlage (10) umfassend einen katalytischen Reformer (60) und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage (50) mit einem oder mehreren Kompressoren, wobei die Gaskompressionsanlage (50) zumindest eine Kompressionsstufe (A,B) umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler (51) für komprimiertes Gas vorhanden ist. Von der Gaskompressionsanlage (50) beziehungsweise dem Gaskühler (51) geht eine Direkteinleitung (70) zur Einleitung von Gas

direkt in den Reformer (60) und/oder in den Gasofen aus. An zumindest einem der Kompressoren ist ein Bypass (130) vorgesehen. Beim Betrieb erfolgt Kühlung zumindest einer Teilmenge des komprimierten Gases und es wird komprimiertes Gas aus der Gaskompressionsanlage (50) oder dem Gaskühler (51) direkt in den Reformer (60) und/oder den Gasofen eingeleitet. Zumindest zeitweilig wird eine Teilmenge eines von einem Kompressor komprimierten Gases mittels Bypass (130) rückgeführt.

Fig. 1



## Beschreibung

### Gebiet der Technik

**[0001]** Die Anmeldung betrifft eine Direktreduktionsanlage umfassend einen katalytischen Reformier- und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage mit einem oder mehreren Kompressoren, wobei die Gaskompressionsanlage zumindest eine Kompressionsstufen umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler für komprimiertes Gas vorhanden ist. Sie betrifft auch ein Verfahren zum Betrieb einer Direktreduktionsanlage umfassend einen katalytischen Reformier und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage mit einem oder mehreren Kompressoren, wobei die Gaskompressionsanlage zumindest eine Kompressionsstufe umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler für komprimiertes Gas vorhanden ist, wobei nach Gaskompression Reduktionsgas in ein Reduktionsaggregat eingeleitet wird.

### Stand der Technik

**[0002]** Es ist bekannt, metalloxidhaltiges, beispielsweise eisenoxidhaltiges, Erz mittels Direktreduktion in einem Reduktionsaggregat, wie beispielsweise einem Reduktionsschacht, mittels Reduktionsgas zu reduzieren. Bei derzeit großindustriell angewendeten, herkömmlichen Verfahren basiert das Reduktionsgas überwiegend auf Erdgas. Dabei fällt eine große Menge Kohlendioxid CO<sub>2</sub> an, was unter anderem aus umweltpolitischen Gründen unerwünscht ist. Zur Verminderung des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes bei Direktreduktion ist es bekannt, Wasserstoff als Reduktionsgas 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<sub>2</sub> neutralem Wasserstoff H<sub>2</sub> im Reduktionsgas ist, desto weniger CO<sub>2</sub> wird emittiert.

**[0003]** Derzeit ist die wirtschaftlich verfügbare Wasserstoffmenge jedoch gering, was dauerhaften Betrieb nur mit Wasserstoff H<sub>2</sub> als Reduktionsgas kaum gewährleisten lässt. Entsprechend ist das Hauptaugenmerk auf die Verwendung von Wasserstoff H<sub>2</sub> zumindest zeitweise gemeinsam mit anderen Gasen, beispielsweise erdgasbasierten Reduktionsgasen, gerichtet.

**[0004]** Grundsätzlich ist es daher wünschenswert, Direktreduktionsanlagen so auszulegen und zu betreiben, dass sie sowohl mit erdgasbasiertem Reduktionsgas arbeiten können als auch mit Wasserstoff sowie Mischungen von erdgasbasiertem Reduktionsgas und Wasserstoff. Dann kann je nach Verfügbarkeit der verschiedenen Reduktionsgase auf verschiedene Arten produziert werden.

**[0005]** Bei Betrieb von Direktreduktionsanlagen müssen das Reduktionsgas beziehungsweise die Vorläufer des Reduktionsgases vor dem Eintritt des Reduktionsgases in das Reduktionsaggregat zur Überwindung des

Druckverlustes der Anlage komprimiert werden. Bei der Kompression beziehungsweise Verdichtung wird Energie in das zu komprimierende Gas eingebracht, wodurch auch seine Temperatur ansteigt - Kompressoren werden infolgedessen thermisch belastet. Üblicherweise erfolgt Kühlung der Kompressoren unter anderem durch Einspritzung von Wasser in das zu komprimierende Gas oder in den Kompressor.

**[0006]** Wasserstoff hat im Vergleich zu anderen Reduktionsgasen eine wesentlich geringere Dichte, ein geringes Molekulargewicht und hohe Schallgeschwindigkeit. Das führt dazu, dass an Kompressoren, die zur wirtschaftlichen Kompression von Wasserstoff geeignet sein sollen, andere Anforderungen gestellt werden als an Kompressoren, die dichtere Gase höheren Molekulargewichtes und geringerer Schallgeschwindigkeit - beispielsweise erdgasbasierte Reduktionsgase, bei denen auch das Molekulargewicht in einem relativ engen Bereich liegt - verarbeiten sollen. Bei Betrieb von Direktreduktionsanlagen in einer Weise, dass sie sowohl mit erdgasbasiertem Reduktionsgas als auch mit Wasserstoff sowie Mischungen von erdgasbasiertem Reduktionsgas und Wasserstoff arbeiten können, ist das zu beachten. Wenn die zur wirtschaftlichen Kompression von Wasserstoff geeigneten Kompressoren auch in der Lage sein sollen, andere Gase wirtschaftlich zu komprimieren, und daher einen breiten Molekulargewichtsbereich abdecken sollen - das ist beispielsweise der Fall, wenn Gasgemische von Wasserstoff mit anderen Gasen verwendet werden -, sind diese verschiedenen Anforderungen zu berücksichtigen. Entsprechend besteht Adaptionbedarf des Gaskompressionssystems bestehender Direktreduktionsanlagen bei zunehmendem Anteil von Wasserstoff in Gasgemischen mit anderen Gasen, beispielsweise erdgasbasierten Reduktionsgasen.

**[0007]** Zudem ist bei Verwendung von Wasserstoff die Direktreduktion von oxidischen Erzen/Pellets endotherm. Um für wirtschaftliche Direktreduktion mit hoher Produktivität thermodynamisch notwendigen Wärmebedarf decken und Temperaturbedingungen im Reduktionsschacht sicherstellen zu können, sollte bei Wasserstoffbetrieb eine höhere spezifische Gasmenge - als für die Reduktion erforderlich - an Reduktionsgas als Träger von Wärmeenergie in das Reduktionsaggregat eingebracht werden, um Abkühlung aufgrund der endothermen Reaktionen auszugleichen.

Diese höhere Menge an Reduktionsgas, die zu einem hohen Anteil oder ganz aus Wasserstoff bestehen kann, kann man nach dem Durchlaufen des Reduktionsaggregats rezyklieren, gegebenenfalls unter Aufheizung.

Deshalb sind bei Wasserstoffnutzung im Vergleich zu herkömmlicher Betriebsweise mit exothermer Direktreduktion mit anderen Gasen, beispielsweise erdgasbasierten Reduktionsgasen, größere Reduktionsgasvolumenströme zu komprimieren. Entsprechend besteht Adaptionbedarf des Gaskompressionssystems bestehender Direktreduktionsanlagen bei zunehmendem Anteil von Wasserstoff in Gasgemischen mit anderen Gasen,

beispielsweise erdgasbasierten Reduktionsgasen.

**[0008]** Zudem gibt es auch bei geplanter Verwendung von Wasserstoff als alleinigem Reduktionsgas Betriebs-situationen wie das Anfahren und Aufwärmen einer Direktreduktionsanlage, in denen nicht Wasserstoff, sondern ein anderes Gas - beispielsweise Stickstoff oder andere Inertgase - mit einem wesentlich höheren Molekulargewicht als Wasserstoff, zu fördern ist. An Kompressoren, die zur wirtschaftlichen Kompression solcher Gase geeignet sein sollen, werden daher auch andere Anforderungen gestellt als an Kompressoren, die Wasserstoff verarbeiten sollen.

**[0009]** Insgesamt ergibt sich also das Problem, dass aufgrund der verschiedenen zu komprimierenden Gase Gaskompression wirtschaftlich über einen breiten Bereich von Gasdichten, Molekulargewichten, Schallgeschwindigkeiten möglich sein soll, wobei gegebenenfalls bestehende, bisher für erdgasbasiertes Reduktionsgas genutzte Gaskompressionsanlagen zumindest teilweise weiter nutzbar sein sollten.

**[0010]** Mit zunehmender Bedeutung der Reduktion mit Wasserstoff wirkt sich Vorhandensein von Wasserdampf im Reduktionsgas zunehmend nachteilig aus, da er das Reduktionspotential des Reduktionsgases verringert. Diese Problematik wird bei Rezirkulierung einer Teilmenge des aus dem Reduktionsaggregat entnommenen Topgases durch mit ansteigendem Wasserstoffanteil - und damit geringeren Erdgaseinsatz - im Reduktionsgas zunehmenden Wasserdampfgehalt des Topgases verschärft. Sie wird auch dadurch verschärft, dass zur Kühlung der Kompressoren Einspritzung von Wasser in das zu komprimierende Gas erfolgt, die notwendige Kühlleistung des Topgaswäschers aufgrund der höheren Gasmenge und höheren Wasserdampfgehaltes ansteigt und die Reduktionsgasqualität, also des Verhältnis von Reduktanten zu Oxidanten  $(CO+H_2)/(CO_2+H_2O)$  und  $H_2/H_2O$  zur Kontrolle der Reformierung von Erdgas mit Wasserdampf  $(CH_4+H_2O \rightarrow CO+3H_2)$ , der Reduktion und der Produktqualität eingestellt werden können muss.

Zusammenfassung der Erfindung

Technische Aufgabe

**[0011]** Es ist die Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Lösung für zumindest einige der vorgenannten Probleme vorzustellen.

Technische Lösung

**[0012]** Die Aufgabe wird gelöst durch eine Direktreduktionsanlage umfassend einen katalytischen Reformier und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage mit einem oder mehreren Kompressoren, wobei die Gaskompressionsanlage zumindest eine, bevorzugterweise zumindest zwei Kompressionsstufen umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler für komprimiertes Gas vorhanden ist, vorzugsweise zumindest hinter der

in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe, dadurch gekennzeichnet, dass von der Gaskompressionsanlage beziehungsweise dem Gaskühler eine Direkteinleitung zur Einleitung von Gas direkt in den Reformier und/oder in den Gasofen ausgeht, und an zumindest einem der Kompressoren ein Bypass zur Rückführung zumindest einer Teilmenge des von dem Kompressor komprimierten Gases vorgesehen ist.

**[0013]** Es können ein oder mehrere Gaskühler vorhanden sein, beispielsweise bei Vorhandensein mehrerer Kompressionsstufen hinter jeder Kompressionsstufe ein Gaskühler.

Mittels des Gaskühlers kann Wasserdampf aus dem Gas auskondensiert werden. Entsprechend erlaubt es der Gaskühler, den Wasserdampfgehalt des Reduktionsgases zu vermindern und/oder die Reduktionsgasqualität einzustellen.

**[0014]** Die Direktreduktionsanlage umfasst auch zumindest ein Reduktionsaggregat. Sie dient zur Direktreduktion von metalloxidhaltigem, beispielsweise eisenoxidhaltigem, Erz. Das Reduktionsaggregat kann beispielsweise einen Reduktionsschacht, beispielsweise für einen Festbettbetrieb, oder einen Wirbelschichtreaktor oder einen Fließbettreaktor umfassen.

**[0015]** Nach einer Variante umfasst die Direktreduktionsanlage einen katalytischen Reformier zur Herstellung von Reduktionsgas - beziehungsweise Reduktionsgasvorläufergas, aus dem unter Vornahme weiterer Maßnahmen wie beispielsweise Zumischung zusätzlicher Gase, oder Aufheizung, Reduktionsgas hergestellt wird -; das Reduktionsgas wird in das Reduktionsaggregat eingeleitet, um dort die Direktreduktionsreaktionen zur Herstellung von Eisenschwamm vorzunehmen.

**[0016]** Nach einer anderen Variante umfasst die Direktreduktionsanlage einen Gasofen; in diesem Fall ist im Gasofen erhitztes Gas Reduktionsgas oder Reduktionsgasvorläufergas. Ein Gasofen ist eine Vorrichtung zur Aufheizung von Gas, beispielsweise von Prozessgas, mittels heißen Rauchgases aus der Verbrennung von Topgas oder Erdgas, oder mittels elektrischer Heizung.

**[0017]** Die Direktreduktionsanlage kann auch katalytischen Reformier und Gasofen umfassen. Dabei ist vorzugsweise der Gasofen dem katalytischen Reformier in Gasflussrichtung vorgelagert.

**[0018]** Gemäß der Erfindung wird Gas, das aus der Gaskompressionsanlage beziehungsweise aus dem Gaskühler für komprimiertes Gas austritt, direkt in den katalytischen Reformier zur Reformierung zwecks Herstellung von Reduktionsgas oder Reduktionsgasvorläufergas eingeleitet, und/oder in den Gasofen eingeleitet.

Unter direkter Einleitung ist dabei zu verstehen, dass die Einleitung erfolgt, ohne dass der  $CO_2$ -Gehalt vermindert wird. Gegebenenfalls findet bei direkter Einleitung auch Temperaturerhöhung, beispielsweise in einem Gas-Gas Wärmetauscher, statt. Bei direkter Einleitung findet also keine  $CO_2$ -Entfernung - beispielsweise mittels chemischer Wäsche - wie beispielsweise MEA Monoethanolamine, KM CDR Kansai Mitsubishi carbon dioxide reco-

very -, VPSA vacuum pressure swing adsorption oder PSA pressure swing adsorption, statt, es wird also ohne CO<sub>2</sub>-Entfernung eingeleitet.

Die direkte Einleitung erfolgt über die von der Gaskompressionsanlage beziehungsweise dem Gaskühler ausgehende Direkteinleitung zur Einleitung von Gas direkt in den Reformier und/oder in den Gasofen.

Wenn der Gaskühler hinter der in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe angeordnet ist, geht die Direkteinleitung vom Gaskühler aus; wenn der Gaskühler nicht hinter der in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe angeordnet ist, geht die Direkteinleitung von der in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe aus. Wenn der Gaskühler hinter der in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe angeordnet ist, ist er nicht als Teil der Gaskompressionsanlage anzusehen; wenn der Gaskühler nicht hinter der in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe angeordnet ist, ist er als Teil der Gaskompressionsanlage anzusehen.

#### Vorteilhafte Wirkungen der Erfindung

**[0019]** Die Gaskompressionsanlage umfasst einen oder mehrere Kompressoren. Ein Kompressor weist eine Gaseinleitung - für zu komprimierendes Gas - und eine Gasausleitung - für komprimiertes Gas - aus. Mittels Bypass' kann ein Gasstrom am Kompressor vorbei auf die Saugseite zurückgeleitet werden. Erfindungsgemäß ist an zumindest einem der Kompressoren ein seine Gaseinleitung und Gasausleitung verbindender Bypass zur Rückführung zumindest einer Teilmenge des von dem Kompressor komprimierten Gases vorgesehen. Der Bypass zweigt in Flussrichtung des Gases gesehen hinter dem Kompressor von der Gasausleitung ab und mündet vor dem Kompressor in die Gaseinleitung ein.

Durch diesen Bypass ist eine exakte Regelung der Reduktionsgasmenge möglich, falls die gewünschte Reduktionsgasmenge nicht mit der Fördermenge der Kompressoren übereinstimmt. Im Falle von Drehzahlregelung eines Kompressors oder mehrere Kompressoren kann der Fall eintreten, dass die für den Kompressor minimale Drehzahl nicht unterschritten werden darf - beispielsweise 30% der nominellen Drehzahl - aus Gründen der Kompressor- und/oder Motorschmierung oder Kompressor- und/oder Motorkühlung. Wenn ein Kompressor grundsätzlich so ausgelegt ist, die für reinen Wasserstoffbetrieb notwendigen Gasmengen komprimieren zu können, wird ein Betrieb selbst bei Minimaldrehzahl bei Mischungen von Wasserstoff mit beispielsweise Erdgas gegebenenfalls noch zu hohe Volumina fördern; um bei Einhaltung der Minimaldrehzahl trotzdem nicht zu viel Gas zu fördern, kann mittels Bypass ein Anteil des komprimierten Gases zurückgeführt werden und so eine Variation der Fördermenge erreicht werden.

**[0020]** Vorzugsweise weist zumindest ein Gaskühler einen Bypass auf. Ein Gaskühler weist eine Gaseinleitung und eine Gasausleitung aus. Mittels Bypass' kann

ein Gasstrom am Gaskühler vorbei geleitet werden, ohne ihn zu durchlaufen. Die Bypassleitung zweigt in Flussrichtung des Gases gesehen vor dem Gaskühler von der Gaseinleitung ab und mündet nach dem Gaskühler in die Gasausleitung ein.

Auf diese Weise kann der Wasserdampfgehalt des Reduktionsgases einfach variiert werden. Das Gas, welches durch die Bypassleitung strömt, wird nicht im Gaskühler gekühlt. Je nachdem, wie ein Gasstrom bezüglich Durchlaufens des Gaskühlers beziehungsweise der Bypassleitung aufgeteilt wird, wird nach der Vereinigung der Wasserdampfgehalt verschieden sein. Wenn beispielsweise ein Gasstrom zu 90% in eine erste, den Gaskühler durchlaufende Teilmenge, und zu 10% in eine zweite, die Bypassleitung durchlaufende Teilmenge aufgeteilt wird, liegt nach der Wiedervereinigung der beiden Teilströme hinter dem Gaskühler ein geringerer Wasserdampfgehalt vor, als wenn die Mengenverhältnisse umgekehrt wären - denn im Gaskühler wird im ersten Fall mehr Wasser auskondensiert und aus dem Gasstrom entfernt werden als im zweiten Fall.

Im Erdgasbetrieb wird wenig bis kein Gas über die Bypassleitung gefahren. Im reinen H<sub>2</sub> Betrieb wird hingegen der Großteil des Gases über den Gaskühler geleitet.

**[0021]** In der erfindungsgemäßen Direktreduktionsanlage sind vorzugsweise auch eine oder mehrere Vorrichtungen zur Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in den Kompressor vorhanden; mit ihnen kann Kühlung der Kompressoren und/oder Einstellung des Wasserdampfgehaltes vorgenommen werden.

**[0022]** Vorzugsweise weist die Gaskompressionsanlage eine Vorrichtung zum Steuern- und/oder Regeln des Wasserdampfgehaltes im aus der Gaskompressionsanlage austretenden Gasstrom auf.

So eine Vorrichtung kann beispielsweise auf die Verteilung eines Gasstromes zwischen Gaskühler und seinem Bypass wirken, oder auf eine Vorrichtung zur Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in den Kompressor, oder auf die Zugabe von Dampf in einen aus einem Kompressor austretenden Gasstrom, oder auf die Kühlmedium-Temperatur des Gaskühlers - bei mit Kühlmedium, beispielsweise Kühlwasser, betriebenen Gaskühlern beeinflusst die Kühlmediumtemperatur den Wasserdampfgehalt -, beziehungsweise kann sie - beispielsweise über entsprechende Sensoren, Datenverarbeitungsvorrichtungen, Aktuatoren, Ventile et cetera - diesbezügliche Steuer- und/oder Regelsignale empfangen und/oder verarbeiten und/oder ausgeben.

Vorzugsweise ist eine auch Vorrichtung zum Steuern und/oder Regeln des aus der Gaskompressionsanlage austretenden Gasstromes - der beispielsweise in einen katalytischen Reformier oder den Gasofen eingeleitet wird - mittels Flussmessungen dieses Gasstromes und Einwirkung auf einen oder mehrere Kompressoren, bevorzugt Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungs-kompressoren, vorhanden.

**[0023]** Die Gaskompressionsanlage umfasst einen oder mehrere Kompressoren. Bevorzugt handelt es sich bei sämtlichen Kompressoren der Gaskompressionsanlage um Verdrängungsverdichtungskompressoren - Englisch: positive displacement compressors. Bevorzugt sind dabei Rotationskolbenverdichter - Englisch: rotary lobe compressors -, es kann sich aber auch um andere Arten wie Hubkolbenverdichter - Englisch: reciprocating compressors- oder Schraubenverdichter - Englisch: screw compressors -, Zellenradverdichter oder Wankelverdichter handeln. Verdrängungsverdichtungskompressoren passen sich an Veränderungen der Betriebsbedingungen, wie zum Beispiel, Gaszusammensetzung, Eintritts- und Austrittstemperatur, etc., unter entsprechenden Änderungen bis zum Erreichen der Einsatzgrenzen problemlos an, wobei der Austrittsdruck aber nicht wesentlich von der Gaszusammensetzung und somit der Schallgeschwindigkeit wie bei Radialverdichtern abhängig ist.

**[0024]** Verdrängungsverdichtungskompressoren weisen in der Regel Schalldämpfer auf. Bevorzugt ist es, dass zumindest einer der Gaskühler in einem Schalldämpfer eines Verdrängungsverdichtungskompressors integriert ist. Das senkt den Platzbedarf und führt zu geringeren Kosten, das nur ein Druckbehälter erforderlich ist.

**[0025]** Bevorzugt weist die Gaskompressionsanlage in zumindest einer Kompressionsstufe einen oder mehrere Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressoren auf.

**[0026]** Ein Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichterkompressor hat eine Drehzahlregelung mittels Frequenzumrichterregelung - auf Englisch: speed control via VFD control -; der geförderte Volumenstrom des Gases ist im Wesentlichen proportional zur Drehzahl des Verdichters, die über die Frequenz der Wechselspannung geregelt wird. Ein Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressor kann mit verschiedenen Drehzahlen betrieben werden, die leicht änderbar sind durch Einstellung der Frequenz mittels Frequenzumrichter. In der Regel werden Verdrängungsverdichtungskompressoren mit einer fixen Drehzahl beziehungsweise innerhalb eines schmalen Bereiches von Drehzahlen betrieben; damit können sie auch nur für einen schmalen Bereich von Gasdichten, Molekulargewichten, Schallgeschwindigkeiten, Gasvolumenströmen wirtschaftlich sinnvoll betrieben werden. Ein Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressor hingegen erlaubt aufgrund des Frequenzumrichters Betrieb in einem vergleichsweise breiteren Spektrum von Drehzahlen und kann daher für einen breiteren Bereich von Gasvolumenströmen, Gasdichten, Molekulargewichten, Schallgeschwindigkeiten wirtschaftlich sinnvoll betrieben werden.

**[0027]** Das Vorhandensein eines Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressors erlaubt es also, auf zunehmenden Wasserstoffgehalt des Reduktionsgases zu reagieren, da sein Betrieb hinsichtlich Änderungen bei Gasdichten, Molekulargewichten, Schallge-

schwindigkeiten, Gasvolumenströmen leicht adaptiert werden kann. Eine kontinuierliche Erhöhung des Wasserstoffgehaltes beziehungsweise der Gasvolumenströme ist möglich, da zur Adaptierung lediglich eine Erhöhung der Verdichtungsfrequenz mittels Steuerung und/oder Regelung des Frequenzumrichters notwendig ist.

**[0028]** In den Kompressionsstufen gegebenenfalls schon vorhandene Kompressoren können beibehalten und um Frequenzumrichter-Verdichtungskompressoren ergänzt werden. Auf diese Weise ist die Adaptierung von bestehenden, mit erdgasbasiertem Reduktionsgas arbeitenden Direktreduktionsanlagen für Wasserstoffbetrieb einfach, kostengünstig und ressourcenschonend zu realisieren.

**[0029]** Der oder die Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressoren können in den Kompressionsstufen parallel oder seriell zueinander beziehungsweise zu andersartigen Kompressoren geschaltet sein.

**[0030]** Eine Variation der Fördermenge über Frequenzumrichtung ist stromsparender als eine Variation der Fördermenge mittels Bypass'.

Eine Variation mittels Bypass' und eine Variation über Frequenzumrichtung können sich jedoch gut ergänzen, beispielsweise in Übergangsbereichen, in denen die Frequenzregelung wegen Mindestdrehzahlbeschränkungen nicht weiter herunterregeln kann, oder beim Anfahren von Volumenförderern.

**[0031]** Ein weiterer Gegenstand der vorliegenden Anmeldung ist ein Verfahren zum Betrieb einer Direktreduktionsanlage umfassend einen katalytischen Reformier und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage mit einem oder mehreren Kompressoren, wobei die Gaskompressionsanlage zumindest eine Kompressionsstufe umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler für komprimiertes Gas vorhanden ist, wobei nach Gaskompression Reduktionsgas in ein Reduktionsaggregat eingeleitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass Kühlung zumindest einer Teilmenge des komprimierten Gases erfolgt, vorzugsweise zumindest nach der in Richtung Reduktionsaggregat gesehen letzten Gaskompression, und komprimiertes Gas aus der Gaskompressionsanlage oder dem Gaskühler direkt in den Reformier und/oder den Gasofen eingeleitet wird, und zumindest zeitweilig eine Teilmenge eines von einem Kompressor komprimierten Gases mittels Bypass rückgeführt wird.

**[0032]** Mit so einem Verfahren kann beispielsweise eine Direktreduktionsanlage wie vorab beschrieben betrieben werden.

**[0033]** Die Rückführung einer Teilmenge eines von einem Kompressor komprimierten Gases mittels Bypass erfolgt zu der Saugseite des Kompressors.

**[0034]** In der Gaskompressionsanlage wird Gas komprimiert, dabei wird komprimiertes Gas erzeugt. Das komprimierte Gas wird im Gaskühler gekühlt. Das komprimierte Gas ist Reduktionsgas oder Reduktionsgasvor-

läufergas.

**[0035]** Vorzugsweise wird zumindest zeitweilig eine Teilmenge eines zu einem Gaskühler geleiteten komprimierten Gases mittels Bypass an dem Gaskühler vorbeigeführt.

Beispielsweise wird von 100 m<sup>3</sup> komprimiertem Gas eine Teilmenge von 80 m<sup>3</sup> in einem Gaskühler gekühlt, während 20 m<sup>3</sup> nicht gekühlt werden; diese 20 m<sup>3</sup> werden beispielsweise über einen Bypass an dem Gaskühler, der die 80 m<sup>3</sup> kühlt, vorbeigeleitet.

**[0036]** Vorzugsweise erfolgt Steuerung und/oder Regelung des Wasserdampfgehaltes des bei der Gaskompression erhaltenen Gasstromes, bevorzugt durch Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in einen Kompressor. Mittels Vorrichtungen zur Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in den Kompressor kann Einstellung des Wasserdampfgehaltes vorgenommen werden; somit sind solche Vorrichtungen nicht nur zur Kühlung der Kompressoren einsetzbar, sondern auch zur Steuerung und/oder Regelung des Wasserdampfgehaltes.

**[0037]** Vorzugsweise erfolgt Gaskompression in zumindest einer Kompressionsstufe mittels Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressor.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0038]** Nachfolgend wird die vorliegende Erfindung anhand mehrerer schematischer Figuren beispielhaft beschrieben.

Figur 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Direktreduktionsanlage.

Figuren 2 zeigt schematisch Details einer Gaskompressionsanlage.

Figuren 3 zeigt schematisch Integration eines Gaskühlers in einen Schalldämpfer.

#### Beschreibung der Ausführungsformen

##### Beispiele

**[0039]** Figur 1 zeigt schematisch eine Direktreduktionsanlage 10. Metalloxidhaltiges - im dargestellten Fall eisenoxidhaltiges - Material - beispielsweise Erz, Pellets - 20 wird in ein Reduktionsaggregat 30 eingegeben, um darin mittels Reduktionsgas reduziert zu werden. Beim Betrieb der Direktreduktionsanlage 10 wird nach Gaskompression Reduktionsgas in das Reduktionsaggregat 30 eingeleitet. Dargestellt ist eine Reduktionsgasleitung 40, durch die Reduktionsgas in das Reduktionsaggregat 30 - hier ein Reduktionsschacht - eingeleitet wird. Eine Gaskompressionsanlage 50 sorgt dafür, dass das Reduktionsgas beziehungsweise seine Vorläufer komprimiert werden, um den für die Durchführung der Direktreduktion in der Direktreduktionsanlage 10 notwendigen Druck aufzuweisen. Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird in Figur 1 unter anderem auf die Darstellung von

Rezirkulierungsleitungen für Topgas verzichtet. Erfindungsgemäß umfasst die Gaskompressionsanlage 50 zumindest eine Kompressionsstufe. In der Direktreduktionsanlage 10 ist zumindest ein Gaskühler 51 für komprimiertes Gas vorhanden, hier hinter der in Flussrichtung des Gases in Richtung Reduktionsaggregat 30 gesehen letzten Kompressionsstufe. Ebenfalls schematisch dargestellt eine optional vorhandene Vorrichtung 52 zum Steuern und/oder Regeln des Wasserdampfgehaltes im aus der Gaskompressionsanlage 50 austretenden Gasstrom.

**[0040]** Dargestellt ist auch ein vorhandener katalytischer Reformier 60, in den in der Gaskompressionsanlage komprimiertes Gas über Direkteinleitung 70 direkt eingeleitet wird. Prinzipiell könnte das Element mit Bezugszeichen 60 auch einen Gasofen darstellen.

**[0041]** Das erfindungsgemäße Detail, dass an zumindest einem der Kompressoren ein Bypass zur Rückführung zumindest einer Teilmenge des von dem Kompressor komprimierten Gases vorgesehen ist, wird in Figur 2 dargestellt.

**[0042]** Figur 2 zeigt eine schematische Ansicht einer Gaskompressionsanlage 80 und eines Gaskühlers 90. Es sind zwei Kompressionsstufen A und B vorhanden, wobei A drei Kompressoren umfasst, und B zwei Kompressoren umfasst. Hinter der in Flussrichtung des Gases - dargestellt durch die Pfeilspitzen - gesehen letzten Kompressionsstufe ist ein Gaskühler 90 vorhanden. Optional weist der Gaskühler 90 einen strichliert dargestellten Bypass 100 auf. Mittels Bypass 100 kann ein Gasstrom am Gaskühler 90 vorbei geleitet werden, ohne ihn zu durchlaufen. Die Leitung des Bypass 100 zweigt in Flussrichtung des Gases gesehen vor dem Gaskühler 90 von der Gaseinleitung 110 ab und mündet nach dem Gaskühler in die Gasausleitung 120 ein. Im Betrieb der Direktreduktionsanlage erfolgt nach Gaskompression Kühlung zumindest einer Teilmenge des komprimierten Gases in dem Gaskühler 90. An der Gaskompressionsanlage 80 ist ein strichliert dargestellter Bypass 130 vorhanden, der an einem Kompressor der Kompressionsstufe B hinter diesem Kompressor von dessen Gasausleitung 140 abzweigt und vor dem Kompressor in seine Gaseinleitung 150 einmündet. Mit dem Bypass 130 kann zumindest zeitweilig zumindest eine Teilmenge des in dem Kompressor komprimierten Gases zu der Saugseite dieses Kompressors rückgeführt werden.

Als Vorrichtung zur Steuerung und/oder Regelung des Wasserdampfgehaltes des bei der Gaskompression erhaltenen Gasstromes ist eine Vorrichtung 160 zur Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in einen Kompressor ist ebenfalls schematisch dargestellt.

Bei den dargestellten Kompressoren handelt es sich pro Kompressionsstufe um einen Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressor 171, 171.

**[0043]** Figur 3 zeigt schematisch, wie ein Gaskühler 180 in einem Schalldämpfer 190 eines Verdrängungsverdichtungskompressors 200 integriert ist. Dem Kom-

pressionsteil 210 des Verdrängungsverdichtungskompressors 200 ist ein Schalldämpfteil 191 in Gasflussrichtung - angedeutet durch Pfeilspitzen - nachgeordnet. Die der Gaskühlung dienende Teile wie Kühlwassereinlass 220, Packung 230, Kühlwasserauslass 240, Kondensatabfluss 250 sind im Schalldämpfer 190 integriert. Zur Schalldämpfung weist der Schalldämpfer 190 eine Querschnittsverengung 260 auf.

**[0044]** Selbstverständlich können grundsätzlich auch Vorrichtungen zum computerimplementierten Betreiben einer erfindungsgemäßen Direktreduktionsanlage beziehungsweise eines erfindungsgemäßen Verfahrens vorhanden sein; zur besseren Übersichtlichkeit wurde auf deren Darstellung in den Figuren verzichtet.

Liste der Bezugszeichen

**[0045]**

10	Direktreduktionsanlage
20	Metalloxidhaltiges Material
30	Reduktionsaggregat
40	Reduktionsgasleitung
50	Gaskompressionsanlage
51	Gaskühler
52	Vorrichtung zum Steuern und/oder Regeln des Wasserdampfgehaltes
60	Katalytischer Reformier
70	Direkteinleitung
80	Gaskompressionsanlage
90	Gaskühler
100	Bypass
110	Gaseinleitung
120	Gasausleitung
130	Bypass
140	Gasausleitung
150	Gaseinleitung
160	Vorrichtung zur Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in einen Kompressor
170	Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressor
171	Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressor
180	Gaskühler
190	Schalldämpfer
191	Schalldämpfteil
200	Verdrängungsverdichtungskompressor
210	Kompressionsteil
220	Kühlwassereinlass
230	Packung
240	Kühlwasserauslass
250	Kondensatabfluss
260	Querschnittsverengung

**Patentansprüche**

1. Direktreduktionsanlage (10) umfassend einen katalytischen Reformier (60) und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage (50) mit einem oder mehreren Kompressoren, wobei die Gaskompressionsanlage (50) zumindest eine, bevorzugterweise zumindest zwei Kompressionsstufen (A,B) umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler (51) für komprimiertes Gas vorhanden ist, vorzugsweise zumindest hinter der in Flussrichtung des Gases gesehen letzten Kompressionsstufe,
 

**dadurch gekennzeichnet, dass** von der Gaskompressionsanlage (50) beziehungsweise dem Gaskühler (51) eine Direkteinleitung (70) zur Einleitung von Gas direkt in den Reformier (60) und/oder in den Gasofen ausgeht, und an zumindest einem der Kompressoren ein Bypass (130) zur Rückführung zumindest einer Teilmenge des von dem Kompressor komprimierten Gases vorgesehen ist.
2. Direktreduktionsanlage nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Gaskühler (90) einen Bypass (100) aufweist.
3. Direktreduktionsanlage nach Anspruch 1 oder Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gaskompressionsanlage (80) eine Vorrichtung (160) zum Steuern- und/oder Regeln des Wasserdampfgehaltes im aus der Gaskompressionsanlage (80) austretenden Gasstrom aufweist.
4. Direktreduktionsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** es sich bei sämtlichen Kompressoren der Gaskompressionsanlage um Verdrängungsverdichtungskompressoren (200) handelt.
5. Direktreduktionsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest einer der Gaskühler in einem Schalldämpfer (190) eines Verdrängungsverdichtungskompressors (200) integriert ist.
6. Direktreduktionsanlage nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Gaskompressionsanlage (80) in zumindest einer Kompressionsstufe einen oder mehrere Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungskompressoren (170,171) aufweist.
7. Verfahren zum Betrieb einer Direktreduktionsanlage (10) umfassend einen katalytischen Reformier (60) und/oder einen Gasofen sowie eine Gaskompressionsanlage (50) mit einem oder mehreren Kompressoren

soren, wobei die Gaskompressionsanlage (50) zumindest eine Kompressionsstufe (A,B) umfasst, und wobei zumindest ein Gaskühler (51) für komprimiertes Gas vorhanden ist, wobei nach Gaskompression Reduktionsgas in ein Reduktionsaggregat (30) eingeleitet wird, 5

**dadurch gekennzeichnet, dass**

Kühlung zumindest einer Teilmenge des komprimierten Gases erfolgt, vorzugsweise zumindest nach der in Richtung Reduktionsaggregat (30) gesehen letzten Gaskompression, und komprimiertes Gas aus der Gaskompressionsanlage (50) oder dem Gaskühler (51) direkt in den Reformier (60) und/oder den Gasofen eingeleitet wird, 10  
15  
und zumindest zeitweilig eine Teilmenge eines von einem Kompressor komprimierten Gases mittels Bypass (130) rückgeführt wird. 20

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest zeitweilig eine Teilmenge eines zu einem Gaskühler (90) geleiteten komprimierten Gases mittels Bypass (100) an dem Gaskühler (90) vorbeigeführt wird. 25
9. Verfahren nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** Steuerung und/oder Regelung des Wasserdampfgehaltes des bei der Gaskompression erhaltenen Gasstromes erfolgt, bevorzugt durch Einspritzung von Wasser in einen zu komprimierenden Gasstrom oder in einen Kompressor. 30
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** Gaskompression in zumindest einer Kompressionsstufe (A,B) mittels Frequenzumrichter-Verdrängungsverdichtungs-kompressor (170,171) erfolgt. 35  
40

45

50

55

Fig. 1

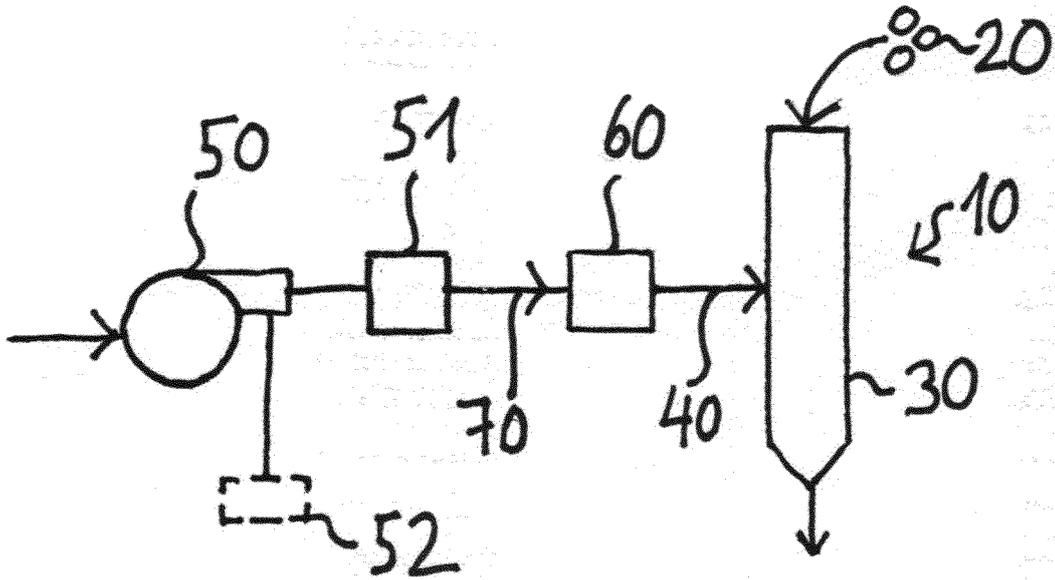


Fig. 2

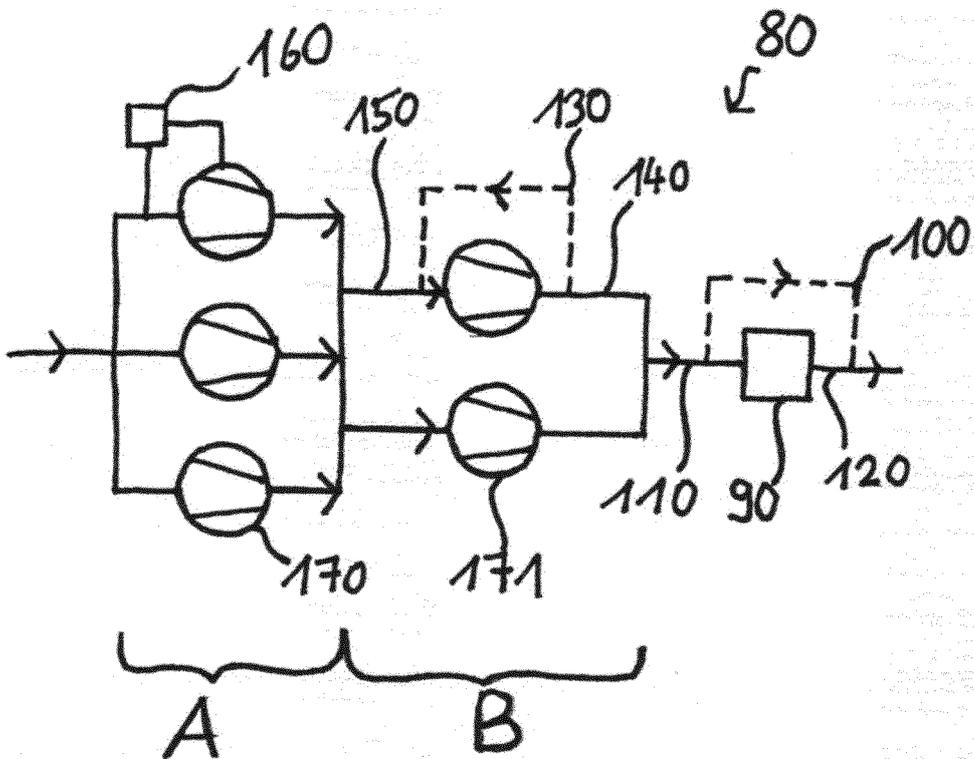
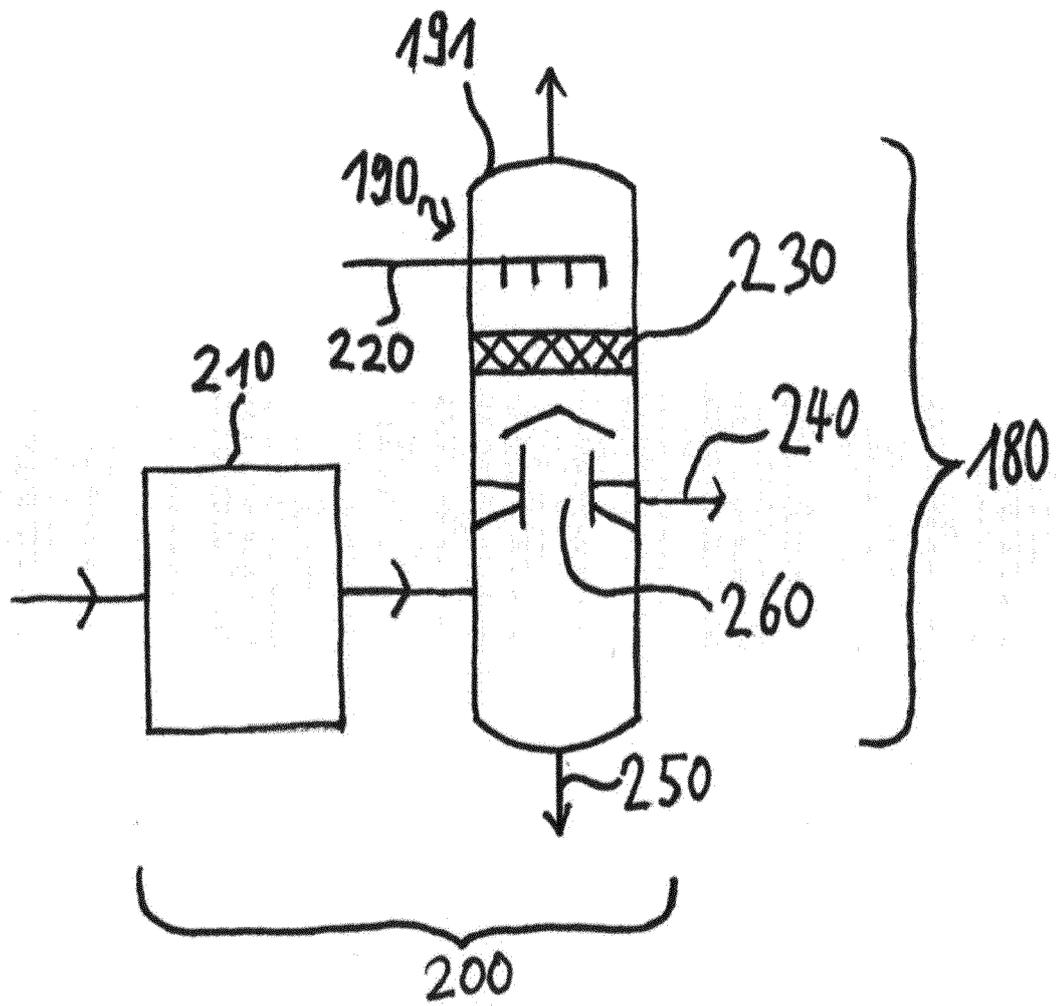


Fig. 3





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 21 18 9193

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	US 3 748 120 A (BEGGS D ET AL) 24. Juli 1973 (1973-07-24) * Abbildung 1 * * Spalte 5, Zeile 11 - Zeile 68 * -----	1-10	INV. C21B13/00
X	CA 3 129 493 A1 (DANIELI OFF MECC [IT]; HYL TECH S A DE C V [MX]) 20. August 2020 (2020-08-20) * Abbildung 1 * * Ansprüche 2, 3 * -----	1-10	
A	CN 107 058 664 A (JIANGSU PROVINCE METALLURGICAL DESIGN INST CO LTD) 18. August 2017 (2017-08-18) * Absatz [0023] - Absatz [0030] * -----	4-6,10	
A	US 2014/217653 A1 (MILLNER ROBERT [AT] ET AL) 7. August 2014 (2014-08-07) * Absatz [0025] - Absatz [0030] * -----	2,3,8,9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			C21B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>Den Haag</b>		Abschlussdatum der Recherche <b>10. November 2021</b>	Prüfer <b>Porté, Olivier</b>
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 Patentedokument, 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 21 18 9193

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.

10-11-2021

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 3748120 A	24-07-1973	KEINE	
CA 3129493 A1	20-08-2020	AU 2020223504 A1 CA 3129493 A1 CN 113631728 A WO 2020165342 A1	30-09-2021 20-08-2020 09-11-2021 20-08-2020
CN 107058664 A	18-08-2017	KEINE	
US 2014217653 A1	07-08-2014	AT 511888 A1 AU 2012307640 A1 BR 112014005523 A2 CA 2848332 A1 CN 103797133 A KR 20140066154 A RU 2014114497 A UA 110660 C2 US 2014217653 A1 WO 2013037634 A1 ZA 201400353 B	15-03-2013 19-12-2013 21-03-2017 21-03-2013 14-05-2014 30-05-2014 20-10-2015 25-01-2016 07-08-2014 21-03-2013 29-10-2014

EPO FORM P0461

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