(19) Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

(11) **EP 4 545 655 A1**

(12) EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
30.04.2025 Patentblatt 2025/18

(21) Anmeldenummer: **23206471.7**

(22) Anmeldetag: **27.10.2023**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
C21B 13/00 *(2006.01)* ***C07C 29/154*** *(2006.01)*
C21B 13/14 *(2006.01)* ***C21C 5/28*** *(2006.01)*
C21C 5/52 *(2006.01)* ***F27B 19/04*** *(2006.01)*
C07C 29/151 *(2006.01)*

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
C21C 5/527; C21B 13/0073; C21B 13/143; C21C 5/28; F27B 19/04; C21B 2100/26; C21C 2005/5282; C21C 2100/02

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

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

(72) Erfinder:
- **Ehlers, Jan-Eric**
  44225 Dortmund (DE)
- **Kolbe, Nina**
  44803 Bochum (DE)
- **Lewe, Tobias**
  48147 Münster (DE)

(74) Vertreter: **Zenz Patentanwälte Partnerschaft mbB**
Gutenbergstraße 39
45128 Essen (DE)

(54) VERFAHREN ZUR STAHLERZEUGUNG IN EINEM ANLAGENVERBUND

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Stahlerzeugung in einem Anlagenverbund (1), wobei der Anlagenverbund (1) aufweist:
- einen Direktreduktionsreaktor (2) oder einen Hochofen,
- gegebenenfalls einen Elektroofen (3)
- einen Konverter (4),
- ein Gasleitungssystem (5, 5', 5"),
- gegebenenfalls ein Aufbereitungsaggregat (6), sowie
- eine Chemieanlage (7).

Es ist vorgesehen, dass der Konverterprozess unter Zugabe von organisch beschichtetem Stahlschrott erfolgt. Aus dem Konvertergas oder einem Anteil des Konvertergases wird ein Synthesegas hergestellt und bevorzugt mit H_2 angereichert. In der Chemieanlage wird mit dem Synthesegas oder dem angereicherten Synthesegas Methanol CH_3OH hergestellt. Dieses kann kann, beispielsweise in einer Lackfabrik (8), zu einem organischen Beschichtungsmaterial weiterverarbeitet werden.

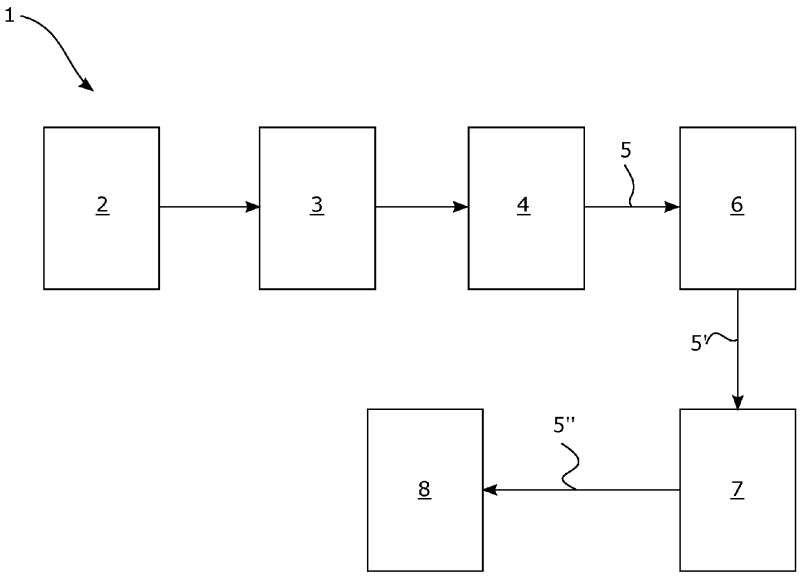


Fig. 1

EP 4 545 655 A1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Stahlerzeugung in einem Anlagenverbund.

[0002] Im Zuge der Bestrebungen, den CO_2-Ausstoß in Zusammenhang mit Stahlherstellung zu reduzieren, erfährt der Ansatz einer mehrmaligen Nutzung von Kohlenstoffen zunehmende Beachtung.

[0003] Dies gilt sowohl für die herkömmliche Stahlherstellung in der Hochofenroute als auch für im Rahmen der sogenannten grünen Transformation genutzte Varianten, beispielsweise für eine Direktreduktion-Elektrostahl-Route.

[0004] In einer häufig verwendeten Art der herkömmlichen Stahlherstellung, bestehend aus der Roheisenherstellung in einem Hochofen mit anschließender Konditionierung des Roheisens im Konverterstahlwerk zum Rohstahl, wird in dem Konverter durch Aufblasen von Sauerstoff auf flüssiges Roheisen erreicht, dass störende Verunreinigungen wie Kohlenstoff, Silizium, Schwefel und Phosphor entfernt werden. In diesen Prozess werden üblicherweise Zugabemittel zur Schlackenbildung, beispielsweise Kalk, und Legierungsmittel in den Konverter zugegeben. In dem Konverter entsteht ein Konvertergas, das beispielsweise zwischen 50 und 100 Vol.-% CO, 10 bis 20 Vol.-% N_2, ca. 15 Vol.-% CO2 und 2 Vol.-% H_2 aufweist. Bei der herkömmlichen Hochofenroute mit nachgeschaltetem Konverterstahlwerk ist es gängige Praxis, das Konvertergas einer energetischen Nutzung zuzuführen.

[0005] Mit der erwarteten verstärkten Nutzung von Direktreduktion und anschließendem Einschmelzen zur Stahlerzeugung gewinnen Bemühungen an Bedeutung, die Effizienz einer solchen Herstellungsroute zur Stahlerzeugung zu verbessern.

[0006] Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte Abstimmung der Prozessschritte eines Verfahrens zur Stahlerzeugung bereitzustellen.

[0007] Die Erfindung wird gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1. Die Erfindung wird außerdem gelöst mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 16.

[0008] Es ist ein Verfahren zur Stahlerzeugung in einem Anlagenverbund vorgesehen.

[0009] Erfindungsgemäß weist der Anlagenverbund einen Konverter zum Raffinieren einer bereitgestellten Eisenschmelze zu Rohstahl in einem Konverterprozess auf. Die bereitgestellte Eisenschmelze entstammt bevorzugt einem Hochofen oder einem Direktreduktionsreaktor oder sowohl einem Hochofen als auch einem Direktreduktionsreaktor. In dem Konverter wird die Konditionierung einer bereitgestellten Eisenschmelze zu dem im Rahmen dieser Anmeldung als Endprodukt zu betrachtenden Zwischenprodukt Rohstahl durchgeführt. Das erfindungsgemäße Verfahren hat somit unter anderem den Vorteil, in einem Anlagenverbund durchgeführt zu werden, der mit dem Konverter ein bekanntes und oftmals bereits vorhandenes Aggregat aufweist. Der Aufwand für die Bereitstellung eines Anlagenverbunds wird dadurch reduziert.

[0010] Der Anlagenverbund weist zudem ein an den Konverter angekoppeltes Gasleitungssystem auf, das dem Führen von Konvertergas dient, welches im Konverter während des Konverterprozesses frei wird.

[0011] Mit dem Gasleitungssystem gekoppelt weist der Anlagenverbund eine Chemieanlage auf, die mit dem stationär installierten Gasleitungssystem mit aus dem Konverterprozess entstammendem Konvertergas versorgt wird.

[0012] Erfindungsgemäß ist nun vorgesehen, dass vor der Chemieanlage oder in der Chemieanlage auf Basis des Konvertergases oder eines Anteils des Konvertergases ein Synthesegas erzeugt wird. In einer bevorzugten Weiterbildung wird das Synthesegas im Anschluss mit einer an dem Gasleitungssystem zugekoppelten Zumischvorrichtung oder alternativ in einem Mischaggregat innerhalb der Chemieanlage mit H_2 angereichert, so dass das Synthesegas anschließend die Komponenten Kohlenmonoxid und/oder Kohlendioxid sowie Wasserstoff im vorgesehenen Verhältnis enthält.

[0013] Erfindungsgemäß wird im Anschluss an die Erzeugung des Synthesegases oder an die Erzeugung des Synthesegases mit anschließender Anreicherung mit H_2 in der Chemieanlage aus dem Synthesegas beziehungsweise mit dem angereicherten Synthesegas das Folgeprodukt Methanol CH_3OH hergestellt.

[0014] Mit dieser Vorgehensweise können in dem Bestreben, ein Entweichen von C-O-Verbindungen in die Atmosphäre bestmöglich zu unterbinden, mit einem hohen Anteil an CO vorliegende Konvertergase weiterverwendet werden. Im Rahmen der vorliegenden Erfindung ist hierfür vorgesehen, ein Synthesegas herzustellen, dass durch Aufbereitung, also zumindest: Reinigung, des Konvertergases als Ausgangsgemisch bereitgestellt wird, welches besonders bevorzugt sodann durch Anreicherung mit H_2 als angereichertes Synthesegas mit vorgesehenen Mischungsverhältnis, häufig ungefähr im Verhältnis ein CO Molekül auf 2 H_2-Moleküle, als Ausgangsstoff für die Herstellung von Methanol dient. Die für die Herstellung des Methanols CH_3OH genutzte Chemieanlage ist infolge deren Kopplung mit dem Gasleitungssystem Bestandteil des erfindungsgemäß genutzten Anlagenverbunds. Durch die erfindungsgemäße Vorgehensweise sowie ihre Weiterbildungen kann also erreicht werden, bei der Stahlerzeugung anfallende Gase, nämlich die Konvertergase, für die effiziente Herstellung des äußerst bedeutsamen Chemierohstoffs Methanol zu nutzen.

[0015] Mit den aus dem Konvertergas gewonnenen Anteilen an CO, CO_2 und H_2 kann in der Chemieanlage Methanol hergestellt werden, und zwar auf Basis der Reaktionen $CO + 2\ H_2 \rightarrow CH_3OH$ sowie $CO_2 + 3\ H_2 \rightarrow CH_3OH + H_2O$. Entsprechend dem Molekülanzahlverhältnis von CO-Molekülen zu CO_2-Molekülen kann die optionale Beimengung von H_2-Molekülen vorgesehen

werden, beispielsweise mit Hinblick auf die stöchiometrische Optimierung auf die oben genannten beiden Reaktionen hin.

[0016] Erfindungsgemäß erfolgt der Konverterprozess unter Zugabe von organisch beschichtetem Stahlschrott. Die Zugabe von Stahlschrott in den Konverterprozess hat mehrere Vorteile. Zum einen kann mit der Zugabe von Stahlschrott bei Bedarf eine Kühlung des Konverters erfolgen, sodass in gewissen Bandbreiten eine Regulierung der im Konverter herrschenden Temperatur möglich wird. Zum weiteren bewirkt die Zugabe von Stahlschrott in den Konverterprozess, dass für die Herstellung des Stahls ein Ausgangsmaterial beigemengt wird, welches in seiner chemischen Zusammensetzung bereits nahe an der Zielzusammensetzung liegt, sodass Oxidationsprozesse, insbesondere hin zu CO_2, bezogen auf die Tonnage in ihrem Ausmaß reduziert werden. Ferner ist durch die Zugabe von Stahlschrott möglich, in gewissen Bandbreiten die atomare Zusammensetzung der Schmelze zu regulieren.

[0017] Als organische Beschichtung kann beispielsweise ein Lack vorgesehen sein; in diesem Fall ist der organisch beschichtete Stahlschrott ein lackierter Stahlschrott.

[0018] Als organische Beschichtung kann beispielsweise eine Folierung aus PP oder PET vorgesehen sein.

[0019] Die Maßnahme, organisch beschichteten Stahlschrott in den Konverterprozess einzuführen, beruht auf der Erkenntnis, dass bei den im Konverter herrschenden Temperaturen die pyrolytische Verbrennung der organischen Beschichtung zu erwarten ist, wobei die bei der pyrolytischen Verbrennung entstehenden, einen hohen Anteil CO und CO_2 enthaltenen, Gase aufgrund der erfindungsgemäß vorgesehenen Weiternutzung des Konvertergases als Ausgangsstoff für ein Synthesegas - wie die Entwickler der vorliegenden Entwicklung erkannt haben - weitgehend unproblematisch ist. Aufgrund der chemischen Zusammensetzung der Basisstoffe üblicher organischer Beschichtungen, beispielsweise üblicher Lacke, ist zu erwarten, dass die Zugabe von organisch beschichtetem Stahlschrott innerhalb einer Bandbreite eine Erhöhung des CO-Gehalts in dem Konvertergas zur Folge hat. Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Reaktion der organischen Beschichtung aufgrund der typischerweise vorhandenen Polymerbasis der organischen Beschichtung bei Verbrennung in einem Konverterprozess der bekannten Art vorwiegend zu CO und nicht zu CO_2 stattfindet. Die Eingabe von organisch beschichtetem Stahlschrott in die Konverterprozesse bewirkt, dass die Nutzung von solchen Stahlschrotten in einem Kreislaufprozess deutlich vereinfacht wird, da ansonsten erforderlich werdendes chemisches oder mechanisches Entfernen der Beschichtung, beispielsweise mittels Entlackens, zum derzeitigen Zeitpunkt nicht in großtechnischem Umfang bekannt ist oder wirtschaftlich ist. Daraus ergibt sich, dass auf Stahlschrott vorhandene organische Beschichtung über das Konvertergas und die vorgesehene Weiterverarbeitung zum Synthesegas mit der nachfolgenden Herstellung von Methanol in stofflicher Wiederverwendung als chemischer Basisstoff erneut genutzt werden kann. Damit wird ein Schritt in Richtung einer verbesserten Kreislaufwirtschaft bereitgestellt. Im Gegensatz zu der bislang bekannten energetischen Nutzung konnte nunmehr die stoffliche Nutzung von auf dem Stahlschrott als Bestandteil der Beschichtung vorhandenen Kohlenstoffs erreicht werden.

[0020] Besonders bevorzugt ist, dass der Kohlenstoffanteil der im Stahlschrott enthaltenden organischen Beschichtung, beispielsweise Lack, mindestens 30 Atom-% beträgt.

[0021] Es kann beispielsweise vorgesehen sein, dass zu jedem Zeitpunkt des Konverterprozesses ein Anteil von mehr als 10 Gew.-% der Schmelze, bevorzugt mehr als 20 Gew.-% der Schmelze, besonders bevorzugt mehr als 30 Gew.-% der Schmelze, aus erschmolzenem Stahlschrott entstammt.

[0022] Der Anlagenverbund weist in einer bevorzugten Weiterbildung einen Hochofen zum Reduzieren und Erschmelzen von Eisenerz zu einer Eisenschmelze auf, die als erfindungsgemäß bereitzustellende Eisenschmelze genutzt wird.

[0023] Der Anlagenverbund weist in einer bevorzugten Weiterbildung unter anderem einen Direktreduktionsreaktor zum Direktreduzieren von Eisenerz zu Eisenschwamm auf.

[0024] Der Direktreduktionsreaktor ist eine Anlage, in welcher eine Feststoffreaktion stattfindet, bei der Sauerstoff aus dem Eisenerz entfernt wird. Als Reduktionsmittel hierfür werden beispielsweise Kohle oder Erdgas oder, in jüngerer Vergangenheit und erwarteter Weise in der Zukunft verstärkt, atomarer beziehungsweise molekularer Wasserstoff als Reduktionsmittel genutzt. Die Reaktion findet bei einer Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes des Eisenerzes statt, sodass die äußere Form weitgehend unverändert bleibt. Aus diesem Umstand leitet sich für das Produkt der in dem Direktreduktionsreaktor stattfindenden Prozesse der üblich gewordene Begriff des Eisenschwamms ab.

[0025] Der Direktreduktionsreaktor kann beispielsweise als Schachtofen ausgebildet sein mit einer Reduktionszone, die von dem Eisenerz entgegen der Reduktionsgasrichtung durchlaufen wird. Direktreduktionsreaktoren als solche sind aus der Praxis gut bekannt.

[0026] Es wird also Eisenerz in den Direktreduktionsreaktor eingegeben und in dem Direktreduktionsreaktor unter Einwirkung eines Reduktionsmittels zu Eisenschwamm reduziert.

[0027] Die Stahlerzeugung basierend auf der Direktreduktion von Eisenerz findet in dem Bestreben der möglichst umfassenden Reduktion des CO_2-Ausstoßes erhebliche Beachtung. In einer möglichen Ausführung folgt auf die Herstellung von Eisenschwamm in einem Direktreduktionsreaktor das Aufschmelzen in einem elektrischen Schmelzofen. Gegebenenfalls schließt sich in einem weiteren Schritt eine Behandlung der Schmelze

an, in der sie mittels Einblasens von Sauerstoff von Sauerstoff-affinen Bestandteilen befreit wird. Dieser Schritt kann beispielsweise in einem Konverterstahlwerk bekannter Art durchgeführt werden, wie es insbesondere aus der Stahlerzeugung in Hochofenroute bekannt ist. Erfindungsgemäß wird ein derartiger Konverterprozess durchgeführt, wie oben erläutert.

[0028] Bevorzugt durchläuft das Eisenerz den Direktreduktionsreaktor in einem kontinuierlichen Betrieb des Direktreduktionsreaktors. Beim Durchlaufen des Direktreduktionsreaktors wird das Eisenerz mittels reduzierenden Gases, insbesondere mittels molekularen Wasserstoffs und/oder mittels Erdgases, zu Eisenschwamm reduziert. Die Verfahrensführung und die Prozessparameter, beispielsweise die Verbleibdauer des Eisenerzes in dem Direktreduktionsreaktor und die Durchflussrate an reduzierendem Gas, bewirken, dass das Eisenerz zu Eisenschwamm umgewandelt wird mit einem Metallisierungsgrad, der meistens mehr als 80 Prozent, bevorzugt mehr als 90 Prozent, besonders bevorzugt mehr als 95 Prozent, am Ort des Austritts des Eisenschwamms aus der Direktreduktionsanlage heraus beträgt.

[0029] Der Anlagenverbund weist in einer solchen bevorzugten Weiterbildung außerdem einen Elektroofen auf, der zum Einschmelzen des Eisenschwamms zu einer Eisenschmelze dient, die als erfindungsgemäß bereitzustellende Eisenschmelze in dem Konverter raffiniert wird.

[0030] Bei der Nutzung eines Elektroofens wird die Wärme für das Aufschmelzen des Eisenschwamms elektrisch erzeugt. Dabei kommt jede Art eines elektrisch betriebenen Elektroofens in Betracht.

[0031] Bei dem Elektroofen, auch als Elektrowärmeanlage zum Aufschmelzen von Metall oder Erhitzen von flüssigem Metall bezeichnet, kann es sich beispielsweise um einen Elektroofen mit direkter Lichtbogeneinwirkung (*electric arc furnace,* Akronym: EAF) handeln, wobei Lichtbögen zwischen der Elektrode und dem Metall gebildet werden. Mögliche Ausführungen sind Wechselstrom-Lichtbogen-Elektroofen (EAFac), Gleichstrom-Lichtbogen-Elektroofen (EAFdc) und Pfannenofen (*Ladle furnace,* Akronym: LF).

[0032] Eine bevorzugte Möglichkeit ist die Nutzung eines mit Lichtbogen-Widerstandserwärmung arbeitenden Elektroofens. Ein solcher Elektroofen funktioniert auf dem Prinzip, Lichtbögen zwischen der Elektrode und der Charge zu bilden und die Charge oder die Schlacke insbesondere mittels Joule-Effekts zu erwärmen. Schmelzöfen mit Lichtbogen-Widerstandserwärmung können beispielsweise als Lichtbogen-Reduktionsöfen (*submerged electric arc furnace,* Akronym: SAF), bei denen die Elektrode in die Charge oder Schlacke eingetaucht ist, als Wechselstrom-Lichtbogen-Reduktionsöfen (SAFac) oder als Gleichstrom-Lichtbogen-Reduktionsöfen (SAFdc) ausgebildet sein. Andere Ausführungen sind Öfen, bei denen die Elektrode knapp oberhalb der Schlacke endet. Bei diesem Ofentyp ist die Schlacke zumindest im Bereich der Elektrode nicht durch die Charge abgeschirmt. Die Schlacke ist also nach oben hin offen und der sich zur Schlacke ausbildende bürstenförmige Lichtbogen (*brush arc*) von oben einsehbar. Dieser Ofentyp wird als *open slag bath furnace* (OBSF) bezeichnet.

[0033] Besonders bevorzugt ist in einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens der Elektroofen als Lichtbogen-Reduktionsofen (*submerged electric arc furnace,* SAF) ausgebildet.

[0034] Alternativ besonders bevorzugt ist in einer Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens der Elektroofen als *open slag bath furnace* (OBSF) ausgebildet.

[0035] Der in dem Direktreduktionsreaktor erzeugte Eisenschwamm wird also zu dem Elektroofen befördert und in dem Elektroofen zu einer Eisenschmelze eingeschmolzen. Dabei werden in Ausführungen des Verfahrens Zugabemittel in den Elektroofen eingegeben, insbesondere eines oder mehrere aus Steinkohle, Erdgas, Stahlschrott.

[0036] Die in dem Elektroofen erzeugte Eisenschmelze wird also in dem Konverter zu Rohstahl konditioniert. Dazu wird beispielsweise in diskreten Abständen ein Abstich aus dem Elektroofen abgelassen, das entnommene Material zu dem Konverter transportiert und in diesen hineingegeben, und in diesem in einem Konverterprozess behandelt, bevorzugt in einem aus der Hochofenroute bekannten Konverterprozess in der eingangs beschriebenen Weise, insbesondere mittels Aufblasens von Sauerstoff.

[0037] In der beschriebenen Weiterbildung, in welcher der Anlagenverbund den Direktreduktionsreaktor und den Elektroofen aufweist, wird die Erkenntnis genutzt, dass in der neuartigen vorgesehenen Herstellung von Stahl mittels einer Route aus Direktreduktionsreaktor mit nachgeschaltetem Elektroofen sowie hiernach folgender Durchführung eines Konverterprozesses in bekannter Weise oder angelehnt an die bekannte Weise sich überraschend als erforderlich herausgestellt hat, dass für den Konverterprozess eine Eisenschmelze in verflüssigter Form bereitgestellt wird, der ein für die vorgesehenen Konverterprozesse ausreichend hohes Maß an Kohlenstoff aufweist.

[0038] Daraus ergibt sich die Erkenntnis, dass eine Zugabe von insbesondere Kohlenstoff enthaltenden Zugabemitteln in den Elektroofen hinein zumindest in einem Maße erfolgt, dass Konverterprozesse möglich werden, die in üblicher Weise unter Emission von CO und CO_2 erfolgen. Daraus ergibt sich wiederum der Umstand, dass auch bei einer Stahlerzeugung auf Basis einer Herstellung und Weiternutzung von Eisenschwamm mittels Direktreduktion zumindest in der beschriebenen Weiterbildung mit nachgeschalteter Kombination aus Elektroofen und Konverter überraschenderweise Konvertergas-Zusammensetzungen erhalten werden, die insbesondere einen hohen Anteil an Kohlenmonoxid aufweisen. Typische Zusammensetzungen des Konvertergases sind in diesem Fall beispielsweise zwischen 50

und 100 Vol.-% CO, dabei bevorzugt zwischen 60 und 70 Vol.-% CO, 10 bis 20 Vol.-% N_2, ca. 15 Vol.-% CO_2 und 2 bis 5 Vol.-% H_2. Einen in der beobachteten Weise vorliegenden Konverterprozess mit entsprechend hohen Anteilen an CO und CO_2 zu erhalten, ist aufgrund des Bestrebens nach einer Verringerung von C-O-Emissionen und der durchgehenden Nutzung der Direktreduktion mit dem Reduktionsgas H_2 nicht intuitiv erwartbar gewesen.

[0039] In einer bevorzugten Weiterbildung des Verfahrens ist vorgesehen, dass in dem Direktreduktionsreaktor das Direktreduzieren mit Wasserstoff durchgeführt wird, wobei ein Teilchenzahlanteil der bei dem Direktreduzieren zur Direktreduktion eingesetzten Wasserstoffatome von wenigstens 0,9, bevorzugt von wenigstens 0,95, als H_2-Molekül vorliegen. Besonders bevorzugt wird das Direktreduzieren ausschließlich mit molekularem Wasserstoff durchgeführt wird. Die Nutzung eines möglichst hohen Anteils an H_2 für die Direktreduktion hat den Vorteil, dass - anders als es beispielsweise bei der Nutzung von Erdgas der Fall ist - die Bildung von CO_2 während der Direktreduktion entsprechend dem Anteil des molekularen Wasserstoffs an der Direktreduktion minimiert oder ganz vermieden wird, was im Zuge der Bestrebungen der Minimierung von CO_2-Emissionen vor dem Hintergrund der angestrebten Annäherung an die Klimaneutralität des Verfahrens wünschenswert ist.

[0040] In besonders bevorzugter Weise wird das Direktreduzieren ausschließlich mit aus Wasserelektrolyse hergestelltem molekularem Wasserstoff durchgeführt. Mit dieser Verfahrensvariante geht der Vorteil einher, dass nicht nur bei der Direktreduktion unmittelbar, sondern auch bei der Gewinnung des hierfür genutzten molekularen Wasserstoffs CO_2-Emissionen reduziert oder gar vollständig vermieden werden.

[0041] Besonders bevorzugt ist es, dass das Einschmelzen des Eisenschwamms unter Zugabe von Kohlenstoffträgern in den Elektroofen erfolgt. Die Zugabe von Kohlenstoffträgern in den Elektroofen hat den Effekt, dass die in dem Ofen herrschende Temperatur aufrechterhalten werden kann und mit der Menge an Kohlenstoffträgern der Kohlenstoffanteil an der erzeugten Schmelze eingestellt werden kann.

[0042] Besonders bevorzugt ist es, dass der Elektroofen ein Schmelzofen mit Lichtbogen-Widerstandserwärmung ist. Ein Schmelzofen mit Lichtbogens-Widerstandserwärmung hat den Vorteil, dass er aufgrund seiner typischerweise nicht flachen Bauform auf natürliche Weise einem unerwünschten Stickstoffeintrag in die Eisenschmelze entgegenwirkt. Die erzeugten Schmelzen bieten daher sehr gute Voraussetzungen, mit den nachfolgenden Verfahrensschritten Stähle erzeugen zu können, die in vorteilhafter Weise einen vergleichsweise niedrigen Stickstoffgehalt aufweisen, was sich vorteilhaft auf viele Stahleigenschaften auswirkt und daher häufig erwünscht ist.

[0043] Besonders bevorzugt wird die Zugabe von Kohlenstoffträgern, insbesondere Steinkohle und/oder Erdgas, in den Elektroofen derart eingestellt, dass sich in der Schmelze ein C-Gehalt zwischen 2,0 Gew.-% und 4,5 Gew.-% einstellt.

[0044] Bei dem genutzten Konverter handelt es sich bevorzugt um einen LD-Konverter, also einen Konverter der sogenannten Linz-Donauwitz-Bauweise. Die Nutzung eines LD-Konverters hat den besonderen Vorteil, dass er in vielen Anlagenverbünden der Hochofenroute bereits vorhanden ist, sodass die Bereitstellung eines modifizierten Anlagenverbunds für ein solches Verfahren zur Stahlerzeugung in dem Anlagenverbund mit reduziertem Aufwand erfolgen kann. In der Folge wird in vorteilhafter Weise die Nutzung der Konvertergase in einer Chemieanlage auch bei Herstellung eines Stahls ausgehend von einer Direktreduktion möglich.

[0045] Besonders bevorzugt kann der Sollwert des CO-Gehalts am Konvertergas als ein Wert von wenigstens 60 Vol.-% eingestellt werden.

[0046] In einer Ausführungsform kann vorgesehen sein, dass in dem Anlagenverbund für die Durchführung der Reduktion von Eisenerz ausschließlich die beschriebene Direktreduktion im Direktreduktionsreaktor, gegebenenfalls in weiteren Direktreduktionsreaktoren, betrieben wird, sodass der Rohstahl ausschließlich aus mittels Direktreduktion hergestelltem Eisenschwamm und ohne zusätzliche Beteiligung eines Hochofenverfahrens erzeugt wird. Mit anderen Worten kann vorgesehen sein, dass das Verfahren ausschließlich auf Basis von Direktreduktion von Eisenerz zu Eisenschwamm in einem Direktreduktionsreaktor erfolgt, d. h. mit anderen Worten, dass in dem Anlagenverbund kein anderes Aggregat für eine Eisenerzreduktion betrieben wird als einer oder mehrere Direktreduktionsreaktoren, insbesondere kein Hochofen.

[0047] Besonders bevorzugt wird ein Anteil von wenigstens 80 Vol.-% des Konvertergases in die Chemieanlage geführt, um die stoffliche Ausnutzung eines möglichst hohen Anteils des Konvertergases zu erreichen.

[0048] Ein weiterer Gedanke der Erfindung sieht vor, dass mit einem erfindungsgemäßen Verfahren oder einer seiner Weiterbildungen hergestelltes Methanol genutzt wird, um ein organisches Beschichtungsmaterial, beispielsweise einen Lack, herzustellen, wodurch in vorteilhafter Weise eine Verbesserung der Kreislaufwirtschaft erreicht wird.

[0049] Ein weiterer Gedanke der Erfindung sieht ein Verfahren zur Kreislaufführung von Kohlenstoff vor. Dieses umfasst, dass in einem Konverterprozess eine Eisenschmelze behandelt wird. Dies kann beispielsweise auf eine der oben beschriebenen Weisen erfolgen.

[0050] In die Eisenschmelze wird organisch beschichteter Stahlschrott eingegeben und in dieser erschmolzen. In dem Konverterprozess wird die Eisenschmelze und der erschmolzene Stahlschrott zu Rohstahl raffiniert, und es wird als Nebenprodukt ein kohlenstoffhaltiges Konvertergas erzeugt.

[0051] Das kohlenstoffhaltige Konvertergas wird abgezogen und das abgezogene kohlenstoffhaltige Kon-

vertergas oder ein Teil dieses abgezogenen kohlenstoffhaltigen Konvertergases wird vor einer Chemieanlage oder in einer Chemieanlage in ein Synthesegas überführt, wobei bevorzugt das Synthesegas zudem mit Wasserstoff angereichert wird. Dies kann beispielsweise in der oben beschriebenen Weise erfolgen.

[0052] In der Chemieanlage wird mit dem Synthesegas oder dem angereicherten Synthesegas Methanol hergestellt, wobei das Methanol Herstellung eines organischen Beschichtungsmaterials, beispielsweise eines Lacks, auf Kohlenstoffbasis zugeführt wird, wobei das hergestellte Beschichtungsmaterial als organische Beschichtung auf einem Stahl appliziert wird und am Lebensende als organisch beschichteter Stahlschrott dem Konverterprozess zurückgeführt wird. Die organische Beschichtung wird durch Pyrolyse im Konverterprozess verbrannt, und der in der organischen Beschichtung enthaltende Kohlenstoff reichert somit das Konvertergas zusätzlich mit Kohlenstoff an.

[0053] Ein weiterer Gedanke der Erfindung sieht ein Verfahren zur Kreislaufführung von Kohlenstoff vor. Dieses umfasst, dass in erfindungsgemäßer Weise oder in einer Weiterbildung der erfindungsgemäßen Weise eine Stahlerzeugung erfolgt.

[0054] Mit erfindungsgemäß hergestelltem Synthesegas oder dem angereicherten Synthesegas wird erfindungsgemäß Methanol hergestellt, wobei hiernach das Methanol einer Herstellung einer organischen Beschichtung, beispielsweise einer Lackherstellung, auf Kohlenstoffbasis zugeführt wird, wobei die hergestellte organische Beschichtung auf einem Stahl appliziert wird und am Lebensende als organisch beschichteter Stahlschrott dem Konverterprozess zurückgeführt wird.

[0055] Es hat sich gezeigt, dass die organische Beschichtung durch Pyrolyse im Konverterprozess verbrannt wird, wodurch der in der organischen Beschichtung enthaltende Kohlenstoff das Konvertergas zusätzlich mit Kohlenstoff anreichert.

[0056] Nachfolgend wird die Entwicklung anhand einer Zeichnung erläutert, die ein Ausführungsbeispiel darstellt.

[0057] Es zeigt

Fig. 1: ein stark vereinfachtes Blockschaltbild zur Darstellung eines Verfahrens zur Stahlerzeugung in einem Anlagenverbund, der zur Bereitstellung einer Eisenschmelze einen Direktreduktionsreaktor aufweist.

[0058] Es wird Stahl hergestellt in einem Anlagenverbund 1, der unter anderem einen Direktreduktionsreaktor 2, einen Elektroofen 3 und einen Konverter 4 aufweist. In dem Direktreduktionsreaktor wird im Gegenstromprinzip Eisenerz einer reduzierenden Atmosphäre, beispielsweise aus Methan CH_4 (insbesondere als Erdgas) oder aus H_2 oder aus einem Gemisch aus H_2 und Methan ausgesetzt, wodurch Eisenschwamm erzeugt wird, welcher sodann entnommen und in den Elektroofen 3 eingegeben wird. Mit dem Ziel der zunehmenden Veränderung der Stahlerzeugung in Richtung der Klimaneutralität des Verfahrens ist es besonders bevorzugt, einen möglichst hohen Anteil der reduzierenden Atmosphäre als H_2 bereitzustellen. In dem Elektroofen 3 wird der Eisenschwamm zu einer Eisenschmelze eingeschmolzen. Die Eisenschmelze wird hiernach dem Konverter 4 zugeführt, um in einem Konverterprozess Rohstahl zu erzeugen. Dazu werden durch Aufblasen von Sauerstoff auf die Eisenschmelze unerwünschte Verunreinigungen, insbesondere Kohlenstoff, Silizium und Phosphor entfernt. Um eine Schlackenbildung zu erreichen und eine gezielte Legierungszusammensetzung vorbereiten zu können, werden Kalk als Schlackenbildner und Legierungsmittel zugegeben. Weiterhin kann vorgesehen sein, dass in den Konverterprozess Stahlschrott eingegeben wird, wobei insbesondere die Zugabe von organisch beschichtetem Stahlschrott, beispielsweise lackiertem Stahlschrott, erfolgt. Am Kopf des Konverters wird ein Konvertergas abgezogen und in ein Gasleitungssystem 5 eingeführt.

[0059] Das Gasleitungssystem führt das Konvertergas, das im Konverter während des Konverterprozesses frei wird, in ein Aufbereitungsaggregat 6, in dem durch, Reinigung des verbleibenden Gases sowie Zugabe von H_2 ein mit H_2 angereichertes Synthesegas hergestellt wird, das nach Weiterleitung über einen weiteren Abschnitt 5' des Gasleitungssystems für die Verwendung in einer Chemieanlage 7 vorgesehen ist.

[0060] Nach dem Führen des angereicherten Synthesegases in die Chemieanlage 7 wird basierend auf diesem als Ausgangsprodukt dort das Folgeprodukt Methanol CH_3OH hergestellt. Dieses Methanol kann sodann für die Weiterverarbeitung zu chemischen Produkten verwendet werden, beispielsweise in mehreren Schritten zu einem organischen Beschichtungsmaterial weiterverarbeitet werden, beispielsweise abschließend in einer Lackfabrik 8, um zu erneut verwendbaren Lacken weiterverarbeitet werden. Beispielsweise kann eine Weiterverarbeitung des Methanols zu Aromaten oder Olefinen erfolgen, beispielsweise mit bekannten Methanol-to-Olefins-, kurz: MTO, und Methanol-to-Aromats-Verfahren, kurz: MTA, oder beispielsweise zu einem oder mehreren aus Ethen, Propen, Buten, Benzol, Toluol, o-, m-, p-Xylol, die sodann zu Polyestern, Melaminharzen, Polyurethanen, Acrylaten und/oder Epoxiden weiterverarbeitet werden und als Basisbestandteil von Beschichtungsstoffen weitergenutzt werden können. Insbesondere kann beispielsweise durch das MTO-Verfahren Ethen, Propen und in geringerem Maße Buten erzeugt werden. Insbesondere kann beispielsweise durch das MTA-Verfahren Benzol, Toluol und Xylol erzeugt werden. Die genannten Verbindungen sind also Produkte des MTO- bzw. MTA-Verfahrens.

[0061] Es besteht somit eine Möglichkeit, eine Stahlerzeugung, insbesondere nach Prinzip der Direktreduktion, zu kombinieren mit einer Kreislaufwirtschaft mit einem hohen Anteil an stofflicher Wiederverwendung von organischen Beschichtungen, wie beispielsweise Industrielacken, welche dem System während der Verfahrensführung in Form von organisch beschichtetem

Stahlschrott, beispielsweise lackiertem Stahlschrott, am Ort des Konverters 4 zugeführt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Stahlerzeugung in einem Anlagenverbund, wobei der Anlagenverbund aufweist:

   - einen Konverter zum Raffinieren einer bereitgestellten Eisenschmelze zu Rohstahl in einem Konverterprozess,
   - ein an den Konverter angekoppeltes Gasleitungssystem für das Führen von Konvertergas, das im Konverter während des Konverterprozesses frei wird,
   - eine Chemieanlage, die mit dem Gasleitungssystem gekoppelt ist zur Versorgung der Chemieanlage mit dem im Gasleitungssystem geführten Konvertergas,

   dadurch gekennzeichnet,

   dass der Konverterprozess unter Zugabe von organisch beschichtetem Stahlschrott erfolgt,
   dass vor der Chemieanlage oder in der Chemieanlage aus dem Konvertergas oder einem Anteil des Konvertergases ein Synthesegas hergestellt und bevorzugt mit H_2 angereichert wird, und
   dass in der Chemieanlage mit dem Synthesegas oder dem angereicherten Synthesegas Methanol CH_3OH hergestellt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund aufweist: einen Hochofen zum Reduzieren und Erschmelzen von Eisenerz zu einer Eisenschmelze.

3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund aufweist:

   - einen Direktreduktionsreaktor zum Direktreduzieren von Eisenerz zu Eisenschwamm,
   - einen Elektroofen zum Einschmelzen des Eisenschwamms zu einer Eisenschmelze.

4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Direktreduktionsreaktor das Direktreduzieren mit Wasserstoff durchgeführt wird, wobei ein Teilchenzahlanteil der bei dem Direktreduzieren zur Direktreduktion eingesetzten Wasserstoffatome von wenigstens 0,9, bevorzugt von wenigstens 0,95, als H_2-Molekül vorliegen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 oder 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Direktreduzieren ausschließlich mit molekularem Wasserstoff durchgeführt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Direktreduzieren ausschließlich mit aus Wasserelektrolyse hergestelltem molekularem Wasserstoff durchgeführt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Einschmelzen des Eisenschwamms unter Zugabe von Kohlenstoffträgern in den Elektroofen erfolgt.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Elektroofen ein Schmelzofen mit Lichtbogen-Widerstandserwärmung ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Zugabe von Kohlenstoffträgern in den Elektroofen ein C-Gehalt in der Schmelze zwischen 2,0 Gew.-% und 4,5 Gew.-% eingestellt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** in dem Anlagenverbund zur Reduktion von Eisenerz ausschließlich der Direktreduktionsreaktor und gegebenenfalls weitere Direktreduktionsreaktoren betrieben werden, sodass die Eisenschmelze ausschließlich aus mittels Direktreduktion hergestelltem Eisenschwamm und ohne zusätzliche Beteiligung eines Hochofenverfahrens erzeugt wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Konverter ein LD-Konverter ist.

12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der organischen Beschichtung des organisch beschichteten Stahlschrotts ein Kohlenstoffanteil von mindestens 30 Atom-% enthalten ist.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Sollwert des CO-Gehalts des Konvertergases wenigstens 60 Vol.-% beträgt.

14. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Anteil von wenigstens 80 Vol.-% des Konvertergases in die Chemieanlage geführt wird.

15. Verfahren zur Herstellung eines Vorprodukts einer organischen Beschichtung, beispielweise eines Lacks, **dadurch gekennzeichnet, dass** mit einem Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprü-

che hergestelltes Methanol als Ausgangsprodukt bereitgestellt wird.

16. Verfahren zur Kreislaufführung von Kohlenstoff,

wobei in einem Konverterprozess eine Eisenschmelze behandelt wird,
wobei organisch beschichteter Stahlschrott in die Eisenschmelze eingegeben und in dieser erschmolzen wird und in dem Konverterprozess die Eisenschmelze und der erschmolzene Stahlschrott zu Rohstahl raffiniert wird und ein kohlenstoffhaltiges Konvertergas erzeugt wird,
wobei das kohlenstoffhaltige Konvertergas abgezogen wird und das abgezogene kohlenstoffhaltige Konvertergas oder ein Teil dieses abgezogenen kohlenstoffhaltigen Konvertergases vor einer Chemieanlage oder in einer Chemieanlage in ein Synthesegas überführt wird, bevorzugt das Synthesegas mit Wasserstoff angereichert wird,
wobei in der Chemieanlage mit dem Synthesegas oder dem angereicherten Synthesegas Methanol hergestellt wird,
wobei das Methanol einer Herstellung eines organischen Beschichtungsmaterials, beispielsweise eines Lacks, auf Kohlenstoffbasis zugeführt wird,
wobei das hergestellte Beschichtungsmaterial als organische Beschichtung auf einem Stahl appliziert wird und am Lebensende als organisch beschichteter Stahlschrott dem Konverterprozess zurückgeführt wird,
wobei die organische Beschichtung durch Pyrolyse im Konverterprozess verbrannt wird und der in der organischen Beschichtung enthaltende Kohlenstoff somit das Konvertergas zusätzlich mit Kohlenstoff anreichert.

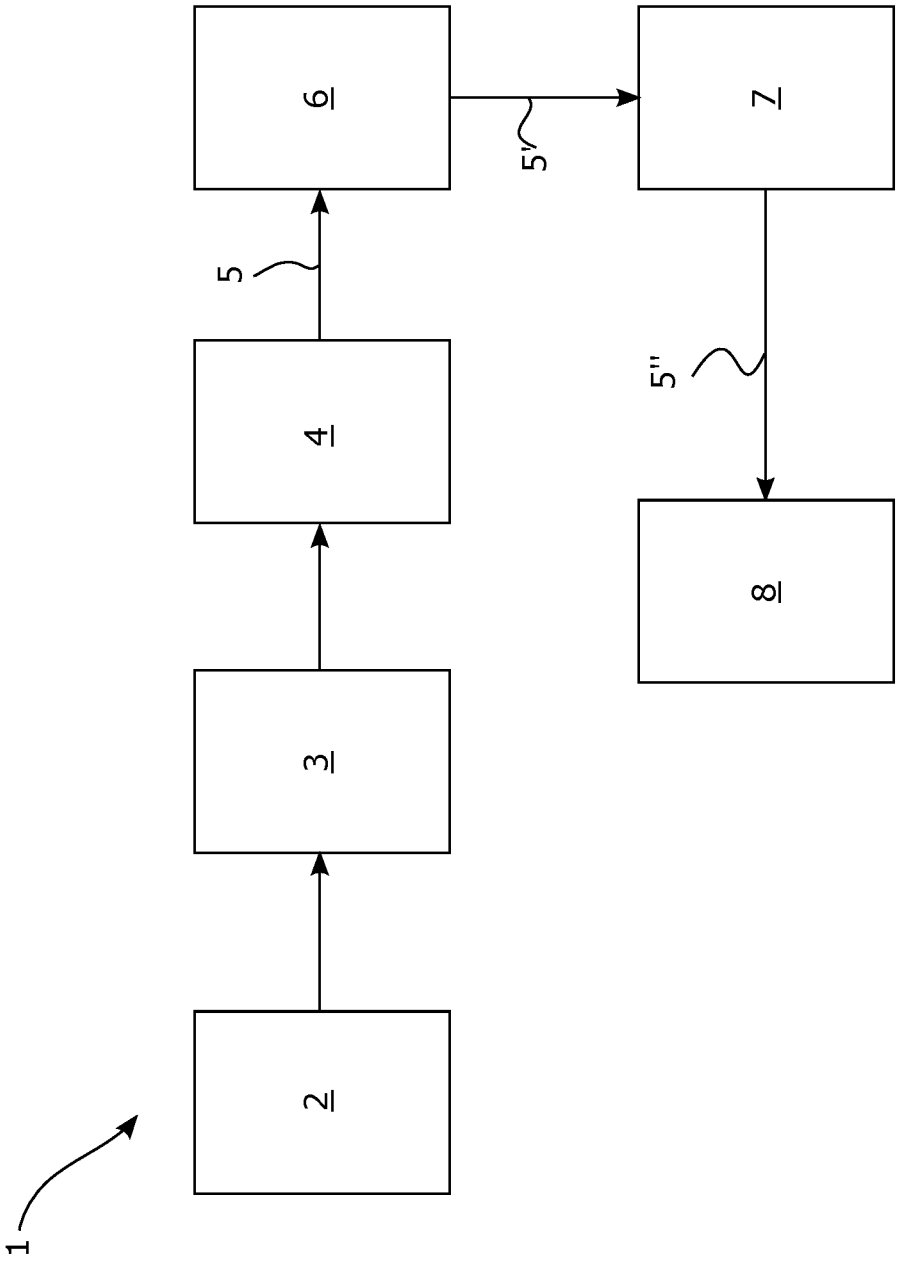


Fig. 1

Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets

EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung
EP 23 20 6471

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE

Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 10 2020 116425 A1 (SALZGITTER FLACHSTAHL GMBH [DE]) 23. Dezember 2021 (2021-12-23) * Abbildungen 1, 2 * * Absätze [0001], [0002] * * Absatz [0008] - Absatz [0018] * * Absatz [0020] - Absatz [0032] * -----	1-16	INV. C21B13/00 C07C29/154 C21B13/14 C21C5/28 C21C5/52 F27B19/04 C07C29/151
A	EP 3 080 306 B1 (THYSSENKRUPP AG [DE]) 31. Oktober 2018 (2018-10-31) * Ansprüche 1-10 * * Seite 1, Zeile 1 - Seite 5, Zeile 14 * -----	1-16	
A	EP 0 122 782 B1 (BRITISH PETROLEUM CO PLC [GB]) 27. September 1989 (1989-09-27) * Abbildung 1 * * Absätze [0001], [0002] * * Absatz [0005] - Absatz [0019] * * Absatz [0021] - Absatz [0038] * -----	1-16	
A	US 2021/040573 A1 (STARKE PETER [DE] ET AL) 11. Februar 2021 (2021-02-11) * Abbildungen 1, 2 * * Absatz [0001] - Absatz [0030] * -----	1-16	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) C21B C21C C07C F27B

Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt

Recherchenort	Abschlußdatum der Recherche	Prüfer
Den Haag	22. April 2024	Jung, Régis

KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE

X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet
Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie
A : technologischer Hintergrund
O : nichtschriftliche Offenbarung
P : Zwischenliteratur

T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze
E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
D : in der Anmeldung angeführtes Dokument
L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument

& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR. EP 23 20 6471

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.

22-04-2024

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 102020116425 A1	23-12-2021	KEINE	
EP 3080306 B1	31-10-2018	AU 2014361205 A1	09-06-2016
		AU 2019203801 A1	20-06-2019
		BR 112016012581 B1	16-03-2021
		CA 2930451 A1	18-06-2015
		CN 105980582 A	28-09-2016
		CN 113073161 A	06-07-2021
		DE 102013113958 A1	18-06-2015
		EP 3080306 A1	19-10-2016
		ES 2706765 T3	01-04-2019
		KR 20160097211 A	17-08-2016
		PL 3080306 T3	29-03-2019
		RU 2710492 C1	26-12-2019
		TW 201527539 A	16-07-2015
		UA 119340 C2	10-06-2019
		US 2016326605 A1	10-11-2016
		WO 2015086150 A1	18-06-2015
EP 0122782 B1	27-09-1989	AU 572131 B2	05-05-1988
		CA 1224801 A	28-07-1987
		EP 0122782 A1	24-10-1984
		NZ 207794 A	31-03-1987
		US 4581471 A	08-04-1986
US 2021040573 A1	11-02-2021	BR 112020018110 A2	22-12-2020
		CN 111801431 A	20-10-2020
		DE 102019105498 A1	12-09-2019
		EP 3762514 A1	13-01-2021
		KR 20200119325 A	19-10-2020
		RU 2020128146 A	06-04-2022
		US 2021040573 A1	11-02-2021
		WO 2019170650 A1	12-09-2019

EPO FORM P0461

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