



(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43)

Veröffentlichungstag:  
13.11.2024 Patentblatt 2024/46

(51)

Internationale Patentklassifikation (IPC):  
C21B 13/12 (2006.01) C21B 13/14 (2006.01)  
C21C 5/46 (2006.01) C21C 5/52 (2006.01)

(21)

Anmeldenummer: 23172029.3

(52)

Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
C21B 13/143; C21B 13/12; C21C 5/4673;  
C21C 5/527; C21B 2300/02; C21B 2300/04;  
C21C 2005/5288; C21C 2300/06; C21C 2300/08

(22)

Anmeldetag: 08.05.2023

(84)

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

(71)

Anmelder: ThyssenKrupp Steel Europe AG  
47166 Duisburg (DE)

(72)

Erfinder:  
• Biedermann, Caroline  
47057 Duisburg (DE)

• Fabry, Matthias Jonas  
48147 Münster (DE)

• Großarth, Marius  
47137 Duisburg (DE)

• Weinberg, Matthias  
47809 Krefeld (DE)

(74)

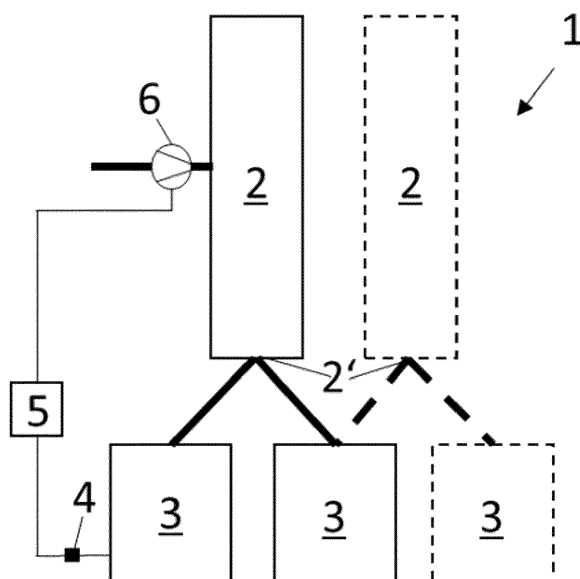
Vertreter: ThyssenKrupp Steel Europe AG  
Patente/Patent Department  
Kaiser-Wilhelm-Straße 100  
47166 Duisburg (DE)

(54)

VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINES ANLAGENVERBUNDS

(57)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbunds (1), umfassend zumindest eine Direktreduktionsanlage (2) und zumindest einen elektrischen Schmelzofen (3) nach Anspruch 1.



Figur 1

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbunds, wobei der Anlagenverbund eine Direktreduktionsanlage und einen stromabwärts der Direktreduktionsanlage angeordneten elektrischen Schmelzofen aufweist.

**[0002]** Im Zuge der Bestrebungen, den CO<sub>2</sub>-Ausstoß in Zusammenhang mit Stahlherstellung zu reduzieren, erfährt die Stahlerzeugung in einer sogenannten Elektrostahl-Route erhebliche Beachtung. Bei der Elektrostahl-Route wird als Ausgangsstoff direkt reduziertes Eisen (Eisenschwamm) und/oder Schrott eingesetzt. Dieser Ausgangsstoff wird in einem elektrisch betriebenen Schmelzofen aufgeschmolzen, bei dem es sich beispielsweise um einen Lichtbogen-Schmelzofen handeln kann (electric arc furnace, kurz: EAF), und es wird gegebenenfalls in einem weiteren Schritt mittels Einblasens von Sauerstoff von Sauerstoffaffinen Bestandteilen befreit. Die Herstellung des Eisenschwamms erfolgt zuvor in einer Direktreduktionsanlage. Die Herstellung von Eisenschwamm basiert dabei auf dem Prinzip, Eisenerzträger durch Beaufschlagung mit reduzierendem Gas zu reduzieren, wodurch die in den Eisenerzträger vorhandenen Fe-Verbindungen, insbesondere Fe-O-Verbindungen, durch Reduktion aufgebrochen werden und als Folge dieser Metallisierung metallisches Eisen zurückbleibt. Die Eisenerzträger werden mittels reduzierenden Gases, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthalten kann und/oder wobei zusätzliche flüssige und/oder gasförmige Kohlenstoffverbindungen hineingegeben werden können, zu Eisenschwamm hin mit einem Aufkohlungsgrad AKG<sub>DRA</sub> reduziert.

**[0003]** In der Direktreduktion wird der Eisenerzträger in Eisen metallisiert, mit typischerweise einem Metallisierungsgrad von deutlich oberhalb von 80 Prozent. Unter Metallisierungsgrad wird das Gewichtsverhältnis von metallischem Eisen zum Gesamteisen in Prozent im Eisenschwamm verstanden.

**[0004]** Bei Verwendung von bisher Erdgas mit Methan als Hauptbestandteil, welches insbesondere mit einem aus der Direktreduktionsanlage kommenden (Top-)Gas gemischt wird und in einem Reformier zu Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid mittels Katalytrohren reagiert, bekannt als Midrex-Prozess, wird anschließend das Reduktionsgas in die Direktreduktionsanlage eingespeist, wobei das Kohlenstoffmonoxid im Reduktionsgas eine Kohlenstoffverbindung mit Kohlenstoff zum Aufkohlen der zu reduzierenden Eisenerzträger mitbringt. Alternativ zu Midrex kann auch der Energiron-Prozess zur Eisenschwammherstellung zur Anwendung kommen.

**[0005]** Der zukünftige Trend hin zu mehr Wasserstoff-Anteil im Reduktionsgas, beispielsweise bis zu 100 % möglich, kann es erforderlich sein, eine zusätzliche gasförmige und/oder flüssige Kohlenstoffverbindung in die Direktreduktionsanlage hineinzugeben, um ein Aufkohlen der zu reduzierenden Eisenerzträger bzw. vorzugsweise des Eisenschwamms zu ermöglichen, vgl. bei-

spielsweise DE 10 2019 217 631 A1, WO 2022/248914 A1, WO 2022/248915 A1.

**[0006]** Nach Durchlaufen der Direktreduktionsanlage weist der entnommene Eisenschwamm einen Kohlenstoffanteil von AKG<sub>DRA</sub> auf und wird in den Schmelzofen gegeben. Aus den obigen Erläuterungen ergibt sich unmittelbar, dass der Anteil des Aufkohlungsprozesses in der Direktreduktionsanlage und der Anteil des Aufkohlungsprozesses innerhalb des Schmelzofens unmittelbar miteinander verknüpft sein können. Darauf aufbauend lag der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, eine Verbesserung des Betriebs des Anlagenverbunds aus Direktreduktionsanlage und Schmelzofen bereitzustellen.

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

**[0008]** Es ist ein Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbunds vorgesehen. Der Anlagenverbund umfasst zumindest eine Direktreduktionsanlage, also eine Direktreduktionsanlage oder mehr als eine, beispielsweise zwei Direktreduktionsanlagen, und zumindest einen stromabwärts der Direktreduktionsanlage angeordneten elektrischen Schmelzofen, also ein Schmelzofen oder mehr als einen, beispielsweise zwei Schmelzöfen.

**[0009]** Bei zwei oder mehreren Direktreduktionsanlagen können diese parallel betrieben, d. h. der Eisenträger durchläuft nur eine Direktreduktionsanlage, oder als Kaskade betrieben werden, d. h. der Eisenerzträger durchläuft die erste Direktreduktionsanlage und im Anschluss die mindestens zweite Direktreduktionsanlage.

**[0010]** Das Verfahren kann beispielsweise als Verfahren zur Herstellung von Roheisen oder auch Rohstahl ausgebildet sein.

**[0011]** Ein wesentlicher Gedanke der vorliegenden Erfindung besteht also darin, dass der Betrieb des Anlagenverbunds insgesamt betrachtet wird, wobei der Anlagenverbund sowohl die mindestens eine Direktreduktionsanlage als auch den mindestens einen Schmelzofen umfasst. Für den aufeinander abgestimmten Betrieb des Anlagenverbunds sind seine Bestandteile, insbesondere die Direktreduktionsanlage und der Schmelzofen, miteinander gekoppelt, beispielsweise über eine gemeinsame Steuereinrichtung, beispielsweise einem Leitstand zur Steuerung.

**[0012]** Der Begriff des stromabwärts der zumindest einen Direktreduktionsanlage angeordneten mindestens einen Schmelzofens ist dahingehend zu verstehen, dass der Schmelzofen im Verfahrensablauf unmittelbar auf die Direktreduktionsanlage folgt, das heißt: das in der Direktreduktionsanlage hergestellte Erzeugnis wird zu dem Schmelzofen befördert und/oder zwischengelagert, es findet hingegen keine Reinigung und/oder anderweitige Weiterveredelung des in der Direktreduktionsanlage hergestellten Erzeugnisses statt.

**[0013]** Die Direktreduktionsanlage ist eine Anlage, in welcher eine heterogene Gas-Feststoffreaktion stattfindet, bei der Sauerstoff aus den Eisenerzträger entfernt wird. Als Reduktionsgas hierfür werden beispielsweise

Kohlenstoffverbindungen oder, in jüngerer Vergangenheit und erwarteter Weise in der Zukunft verstärkt, atomarer beziehungsweise molekularer Wasserstoff als Reduktionsgas genutzt. Die Reaktion findet bei einer Temperatur unterhalb des Schmelzpunktes der Eisenerzträger statt, sodass die äußere Form weitgehend unverändert bleibt. Reicht die Kohlenstoffverbindung im Reduktionsgas zum (gewünschten) Aufkohlen nicht aus bzw. ist keine Kohlenstoffverbindung im Reduktionsgas vorhanden, ist ein zusätzliches Einbringen einer flüssigen und/oder gasförmigen Kohlenstoffverbindung erforderlich.

**[0014]** Die mindestens eine Direktreduktionsanlage kann beispielsweise als Schachtofen ausgebildet sein mit mindestens einer Reduktionszone, die von den Eisenerzträger entgegen der Reduktionsgasrichtung durchlaufen werden. In einer alternativen Ausführungsform kann die Direktreduktionsanlage auch beispielsweise als Drehrohrföfen oder Wirbelschicht ausgebildet sein, durch welchen die Eisenerzträger entgegen der Strömungsrichtung des Reduktionsgases befördert werden. Direktreduktionsanlagen mit Schachtföfen oder Drehrohrföfen sind aus der Praxis gut bekannt.

**[0015]** Bei dem mindestens einen elektrischen Schmelzofen, auch als Elektrowärmanlage zum Aufschmelzen von Metall oder Erhitzen von flüssigem Metall bezeichnet, kann es sich beispielsweise um einen Schmelzofen mit direkter Lichtbogeneinwirkung (EAF) handeln, wobei Lichtbögen zwischen der Elektrode und dem Metall gebildet werden. Mögliche Ausführungen sind Wechselstrom-Lichtbogen-Schmelzöfen (EAFac), Gleichstrom-Lichtbogen-Schmelzöfen (EAFdc) und Pfannenöfen (Ladle furnace, kurz: LF).

**[0016]** Erfindungsgemäß wird mindestens ein Schmelzofen genutzt, der elektrisch betrieben wird. Dabei kommt jede Art eines elektrisch betriebenen Schmelzofens in Betracht, wobei eine bevorzugte Möglichkeit ein mit Lichtbogen-Widerstandserwärmung arbeitender Schmelzofen ist. Ein solcher Schmelzofen 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, kurz: 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 Schmelzöfen, 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 büschelförmige Lichtbogen (brush arc) von oben einsehbar. Dieser Ofentyp wird als open slag bath furnace (kurz: OSBF) bezeichnet.

**[0017]** Besonders bevorzugt ist bei dem erfindungsge-

mäßen Verfahren der Schmelzöfen als Lichtbogen-Reduktionsöfen (SAF) ausgebildet.

**[0018]** Alternativ besonders bevorzugt ist bei dem erfindungsgemäßen Verfahren der Schmelzöfen als open slag bath furnace (OSBF) ausgebildet.

**[0019]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren durchlaufen Eisenerzträger in einem kontinuierlichen Betrieb des Anlagenverbunds die mindestens eine Direktreduktionsanlage. Beim Durchlaufen der Direktreduktionsanlage werden die Eisenerzträger mittels reduzierenden Gases, insbesondere mittels Wasserstoff und/oder mittels Kohlenstoffverbindungen, zu Eisenschwamm reduziert. Die Verfahrensführung und die Prozessparameter, beispielsweise die Verbleibdauer der Eisenerzträger in der Direktreduktionsanlage und die Durchflussrate an reduzierendem Gas, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthalten kann und/oder wobei zusätzliche flüssige und/oder gasförmige Kohlenstoffverbindungen hineingegeben werden können, bewirken, dass die Eisenerzträger zu Eisenschwamm umgewandelt werden und der Eisenschwamm mit einem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  aus der Direktreduktionsanlage austritt. Nach dem Austritt aus der Direktreduktionsanlage wird der Eisenschwamm, der den Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  aufweist, in den Schmelzofen hineingegeben.

**[0020]** Mithin findet in der Direktreduktionsanlage eine Aufkohlung statt, d.h. entweder über Kohlenstoffverbindungen im Reduktionsgas oder über zusätzlich eingebrachte gasförmige und/oder flüssige Kohlenstoffverbindungen oder über eine Kombination aus Kohlenstoffverbindungen im Reduktionsgas und zusätzlich eingebrachte gasförmige und/oder flüssige Kohlenstoffverbindungen.

**[0021]** In dem Schmelzofen erfolgt ein Aufschmelzen des Eisenschwamms unter Zugabe von Einsatzstoffen, mit mindestens einer Zugabe von kohlenstoffhaltigen Stoffen wie beispielsweise kohlenstoffhaltige Hüttenprodukte und/oder Koks und/oder Kohle und optional mit zusätzlicher Zugabe weiterer eisenhaltiger Stoffe wie beispielsweise Schrott und/oder von Zuschlagstoffen für Konditionierung der sich bildenden Schlacke, zu einem Schmelzbad aus metallischer Schmelze mit einem Produkt-Kohlungsgrad  $KG_{Produkt}$  und der auf der metallischen Schmelze schwimmenden Schlacke. Die Eigenschaften der Schlacke werden bevorzugt über Zuschlagstoffe wie beispielsweise Kalk, Sand, Bauxit und/oder ähnliche, gezielt beeinflusst.

**[0022]** Mithin findet (auch) im Schmelzofen eine Zugabe von kohlenstoffhaltigen Stoffen statt.

**[0023]** In diskreter Folge wird ein Abstich vorgenommen, das heißt: es wird metallische Schmelze aus dem Schmelzofen abgelassen und in ein transportables Auffangbehältnis gegeben, das zuvor einer vorgegebenen Auffangposition positioniert worden ist. Beispielsweise kann für einen geeignet langen Zeitraum eine Ausgabeöffnung an einer Unterseite oder Seitenwand des Schmelzofens geöffnet werden, aus welcher sodann Schmelze ausläuft. Unterhalb der Ausgabeöffnung kann

beispielsweise ein als sogenannte Auffangpfanne ausgebildetes Auffangbehältnis positioniert werden. Auffangpfannen können beispielsweise als Bestandteil eines der Fachperson bekannten Pfannenwagens bereitgestellt werden. Auch die Schlacke wird entsprechend abgestochen, entweder parallel oder zeitlich versetzt zum Abstich der metallischen Schmelze, beispielsweise über den gleichen Abstich oder einen höher liegenden Abstich.

**[0024]** Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass kontinuierlich oder quasikontinuierlich mittels eines Sensors ein Ermitteln einer Produkteigenschaft von im Anlagenverbund erzeugten Produkten erfolgt.

**[0025]** Aufbauend auf dem Vorliegen der ermittelten Produkteigenschaft wird weiterhin erfindungsgemäß in Abhängigkeit von der ermittelten Produkteigenschaft ein Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds zur Einstellung eines vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  durchgeführt.

**[0026]** Der Erfindung liegt also die grundlegende Überlegung zugrunde, die insgesamt in dem Anlagenverbund bei der Herstellung einer metallischen Schmelze, insbesondere von Roheisen oder Rohstahl, herbeizuführende Aufkohlungsarbeit, also der insgesamt bis zum Vorliegen der Schmelze mit Produkt-Kohlungsgrad  $KG_{Produkt}$  aufzuwendende Gesamtmenge chemischphysikalischer Prozesse, gezielt auf mindestens zwei zentrale Anlagen des Anlagenverbunds aufzuteilen, nämlich auf den in der mindestens einen Direktreduktionsanlage ablaufenden Prozess einerseits sowie auf den in dem mindestens einen Schmelzofen ablaufenden Prozess andererseits. Das Aufteilen der Aufkohlungsarbeit auf die zwei grundlegenden in dem Anlagenverbund ablaufenden Prozesse hat den Vorteil, dass anhand eines einzigen einzustellenden oder zu steuernden oder zu regelnden Parameters, nämlich dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$ , eine gezielte Anpassung des insgesamt ablaufenden Prozesses auf zu einem gegenwärtigen Zeitpunkt herrschende Rahmenbedingungen erfolgen kann. Hierzu kommt der große Vorteil dieser Vorgehensweise, dass eine Vielzahl von direkt an der Anlage messbaren physikalischen Größen unmittelbar mit dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  gekoppelt ist. Sofern also entsprechende anlagenspezifische empirische Daten dieser Kopplung zwischen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  und einer jeweiligen physikalischen Größe einmal gewonnen worden sind, kann diese direkt in die Erfordernis-angepasste Veränderung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  umgesetzt werden.

**[0027]** Dieses vorgesehene Aufteilen der Aufkohlungsarbeit auf die in der Direktreduktionsanlage ablaufenden Prozesse einerseits und die in dem Schmelzofen ablaufenden Prozesse andererseits wird in der konkreten Umsetzung erreicht, indem ein vorgegebener Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  eingestellt wird, d. h.: wenn der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  des Eisenschwamms bei Austritt aus der Direktreduktionsanlage dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  entspricht, wird der Betrieb des Anlagenverbunds in unveränderter Weise fort-

gesetzt; wenn der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  von dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  abweicht, wird der Betrieb des Anlagenverbunds verändert und zwar derart, dass der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  sich hin zu seinem Sollwert  $AKG_{DRA,Soll}$  entwickelt.

**[0028]** Das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds zur Einstellung des vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  erfolgt auf Basis eines kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich mittels eines Sensors ermittelten Wertes einer Produkteigenschaft von im Anlagenverbund erzeugten Produkten. Das bedeutet, dass ein Produkt, das im Anlagenverbund erzeugt wird, und welches eine Korrelation mit dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  aufweist, sensorisch untersucht wird, und daraufhin anhand der erhaltenen Sensorergebnisse über die Korrelation des Produkts mit dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$ , insbesondere über die Korrelation der Produkteigenschaft mit dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$ , ermittelt wird, ob der Betrieb des Anlagenverbunds unverändert weiterverfolgt werden kann, oder ob eine Veränderung des Betriebs des Anlagenverbunds erforderlich ist. Die Korrelation des Produkts mit dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  ist bevorzugt eine injektive Funktion "Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  -> Produkteigenschaft", besonders bevorzugt eine bijektive Funktion "Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  -> Produkteigenschaft". Die Korrelation der Produkteigenschaft mit dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  kann beispielsweise ein empirisch gefundener Zusammenhang sein.

**[0029]** Beispielsweise kann vorgesehen sein, dass ausgehend von der ermittelten Produkteigenschaft kontinuierlich oder quasikontinuierlich anhand einer empirisch ermittelten Zuordnung von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  bestimmt wird. Das bedeutet, dass durch die gemessene Produkteigenschaft, anhand empirisch ermittelter und dadurch bekannter Daten, auf den Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  rückgeschlossen wird. Der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  kann sodann mit dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  verglichen werden, und bei Feststellen einer Abweichung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  von dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  kann das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds zur Einstellung des vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  initiiert werden. Insbesondere kann vorgesehen sein, dass das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds zur Einstellung des vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  initiiert, eine Abweichung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  von dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  festgestellt ist, deren Betrag größer ist als eine Mindestabweichung, womit ein Vorteil einer größeren Prozessstabilität einhergeht. Die vorstehend beschriebene Auswertung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  anhand empirischer Daten, der Abgleich mit dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$ , und das - soweit erforderlich - Initiieren des Veränderns des Betriebs des Anlagenverbunds, können

beispielsweise durch eine Steuereinrichtung des Anlagenverbunds, mit dem sowohl die Direktreduktionsanlage als auch der Schmelzofen als auch der Sensor gekoppelt sind, gesteuert werden.

**[0030]** Für das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds zur Einstellung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  hin zu dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  kann beispielsweise auf eine empirisch ermittelte Zuordnungsmenge von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  zurückgegriffen werden, auf deren Grundlage die Einstellung des Veränderns des Betriebs des Anlagenverbunds erfolgt, bevorzugt mittels Steuerns, besonders bevorzugt mittels Regelns. Das bedeutet, dass in Abhängigkeit von dem Maß der Abweichung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  von dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  auf die erforderliche Veränderung der Produkteigenschaft rückgeschlossen wird, d. h.: das Maß der erforderlichen Veränderung der Produkteigenschaften ermittelt wird, sodass das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds ausgehend von einer bekannten Abweichung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  auf eine Veränderung des Betriebs des Anlagenverbunds mit dem Ziel einer gewünschten Veränderung der Produkteigenschaft abgeleitet wird.

**[0031]** In einer vorteilhaften Weiterbildung kann als Produkteigenschaft eine Eigenschaft genutzt werden, die an einem in der Direktreduktionsanlage erzeugten Produkt ermittelt wird.

**[0032]** Beispielsweise kann die Produkteigenschaft ausgebildet sein als eine Kohlenstoffmassenstoffbilanz aus "hineingegebenen Kohlenstoffverbindungen" zu "ausgegebenen Kohlenstoffverbindungen" oder eine Kohlenstoff-Gehaltsmessung des Eisenschwamms.

**[0033]** Alternativ kann als Produkteigenschaft eine Eigenschaft genutzt werden, die an einem in dem Schmelzofen erzeugten Produkt ermittelt wird.

**[0034]** In diesem Fall kann die Produkteigenschaft beispielsweise ausgebildet sein als - eine Messung der Aufschmelzgeschwindigkeit, insbesondere ermittelt aus einem Verhältnis zwischen eingebrachter elektrischer Energie zu ausgegebener Masse, Roheisen und Schlacke, im Zeitraum der diskreten Folgen zwischen den Entnahmen (Abstichen); oder - eine Energiebilanz im Zeitraum der diskreten Folge zwischen den Entnahmen der Schmelze; oder - eine Kohlenstoffmassenbilanz aus "hineingegebenem Kohlenstoff" zu "ausgegebenem Kohlenstoff"; oder - eine Schlackeneigenschaft, beispielsweise eine chemische Zusammensetzung der Schlacke oder die Viskosität der Schlacke, bei konstantem Einbringen von Zuschlagstoffen; oder - eine Kohlenstoff-Gehaltsmessung des Roheisens.

**[0035]** Die genannten Beispiele für eine Produkteigenschaft haben den gemeinsamen Vorteil, dass es sich jeweils um mit geeignetem Sensor direkt messbare physikalische Parameter handelt, der Sensor ist also beispielsweise jeweils als den direkt messbaren physikali-

schen Parameter sensierender Sensor ausgebildet.

**[0036]** Beispielsweise kann der Sensor ein LIBS-Sensor sein (laserinduzierte Zerfallsspektroskopie) und die Produkteigenschaft der Kohlenstoff-Gehalte im Eisenschwamm, insbesondere am Austritt aus der Direktreduktionsanlage, und/oder in der Schmelze, insbesondere nach dem Abstich aus dem Schmelzofen, erfassen. Somit lässt sich unmittelbar aus dem Eisenschwamm der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  und aus der Schmelze der Produkt-Kohlungsgrad  $KG_{Produkt}$  ermitteln. Ausgehend von diesem bestimmten Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  und/oder Produkt-Kohlungsgrad  $KG_{Produkt}$  kann sodann ein Vergleich mit dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  durchgeführt werden und - je nach Ergebnis dieses Vergleichs - das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds für die Wiederherstellung des vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  initiiert werden.

**[0037]** Es versteht sich von selbst, dass bei Umsetzung der Entwicklung durch die Fachperson bei Auswertung der Produkteigenschaft der Materialdurchfluss durch die Direktreduktionsanlage und den Schmelzofen sowie - je nach Art des verwendeten Sensors - eine eventuell vorhandene zusätzliche Latenz bei der Umsetzung des Veränderns des Betriebs des Anlagenverbunds berücksichtigt werden müssen. Dies beeinträchtigt nicht die Funktionsfähigkeit der oben beschriebenen Verfahren und ihrer Weiterbildungen, sondern führt zu je nach Art der Umsetzung abweichender Trägheit der Verfahrensführung, und ist beispielsweise im Falle einer Umsetzung als Regelung eine Frage der Trägheit eines Regelkreises. Die Wahl einer geeigneten Produkteigenschaft und einer diese ermittelnde Sensorik ist somit fachmännisch zu treffen und kann beispielsweise unter ökonomischen Gesichtspunkten oder unter Betrachtung der Anforderungen an die Trägheit einer Veränderung, einer Steuerung oder einer Regelung getroffen werden.

**[0038]** Der vorgegebene Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  kann beispielsweise anhand einer empirisch ermittelten ersten anlagenspezifischen Kennwertekurve  $Kennwert_{DRA}-AKG_{DRA}$ , also:  $Kennwert_{DRA}$  in Abhängigkeiten von Werten  $AKG_{DRA}$  der Direktreduktionsanlage und anhand einer empirisch ermittelten zweiten anlagenspezifischen Kennwertekurve  $Kennwert_{SO}-AKG_{DRA}$ , also:  $Kennwert_{SO}$  in Abhängigkeit von Werten  $AKG_{DRA}$  der Direktreduktionsanlage ermittelt werden. Die anlagenspezifische Kennwertekurve kann beispielsweise als Kennwert ein Maß für das Gewicht aufgekohltem Eisenschwamms pro Zeiteinheit, optional begrenzt auf die maximale Einschmelzmenge an aufgekohltem Eisenschwamm pro Zeiteinheit; oder ein Maß für spezifischen Energieumsatz; oder ein Maß für den spezifischen  $CO_2$ -Ausstoß; oder ein Maß für die spezifischen Gesamtkosten umfassen.

**[0039]** Soweit im vorigen Absatz von einem spezifischen Wert die Rede ist, ist dies bevorzugt zu verstehen als auf die Tonne produzierten Roheisens bezogen. Die genannten Kennwerte gelten dann jeweils

als Kennwert<sub>DRA</sub> für die Direktreduktionsanlage und als Kennwert<sub>SO</sub> für den Schmelzofen.

**[0040]** Die Kennwerte können also beispielsweise Kennwert<sub>DRA</sub> sein, wobei der Kennwert<sub>DRA</sub> ein vom Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  abhängiges Maß für den spezifischen  $CO_2$ -Ausstoß der Direktreduktionsanlage ist, und Kennwert<sub>SO</sub> sein, wobei Kennwert<sub>SO</sub> ein vom Produkt-Kohlungsgrad  $KG_{Produkt}$  abhängiges Maß für den spezifischen  $CO_2$ -Ausstoß des Schmelzofens sein kann.

**[0041]** In einer speziellen Ausführungsform wird der vorgegebene Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  festgelegt als der Aufkohlungsgrad, für den gilt  $\text{Min}[\text{Kennwert}_{DRA}(AKG_{DRA}) + \text{Kennwert}_{SO}(KG_{Produkt} - AKG_{DRA})]$ , wobei das Formelzeichen "Min" die Bestimmung des Minimums bezeichnet. Das bedeutet, dass die beschriebene Vorgehensweise zum Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds ausgeht von einer Bestimmung einer Abweichung eines indirekt oder direkt, nämlich über die Produkteigenschaft, ermittelten Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  von einem Sollwert  $AKG_{DRA,Soll}$ , wobei der Sollwert ausgehend von zwei anlagenspezifischen Kennwertkurven ermittelt wird, wobei jede der beiden Kennwertkurven von dem Kohlungsgrad abhängig ist, und es sich bei den Kennwerten beispielsweise um eine der oben genannten Werte handeln kann; die Bestimmung des Sollwerts  $AKG_{DRA,Soll}$  erfolgt sodann mittels Bestimmung des Minimums der Summe der beiden Kennwertkurven, so wie oben in der Gleichung angegeben. Es versteht sich von selbst, dass der Begriff der Kennwertkurve nicht zwangsläufig implizieren muss, dass die Kennwertkurve als geschlossene analytische Funktion vorliegen muss; es kann sich bei jeder der beiden Kennwertkurven um eine Liste von Punkten, beispielsweise im zweidimensionalen Raum, handeln, wobei das Finden des Minimums dann ebenfalls nicht zwangsläufig analytisch erfolgen muss, sondern in numerischer Weise, was selbstredend für die Fachperson unproblematisch möglich ist.

**[0042]** Wenn beispielsweise der Kennwert ein Maß für den spezifischen  $CO_2$ -Ausstoß ist, führt die beschriebene Umsetzung mittels entsprechender Kennwert-getriebener Wahl des  $AKG_{DRA,Soll}$  dazu, dass durch Verteilung der Aufkohlungsarbeit zwischen der Direktreduktionsanlage und dem Schmelzofen der  $CO_2$ -Ausstoß des Anlagenverbunds reduziert wird.

**[0043]** Wenn sich bei Auswertung der ermittelten Produkteigenschaft herausstellt, dass der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  erhöht werden muss, also eine Verlagerung eines Anteils der Aufkohlungsarbeit von dem Schmelzofen in die Direktreduktionsanlage erfolgen soll, kann das Verändern des Betriebs zum Erhöhen des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  beispielsweise umfassen: - Erhöhen der Durchflussrate oder Reduzierung der eingebrachten Eisenerzträger bei unveränderter Durchflussrate an reduzierendem Gas, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthält, in der Direktreduktionsanlage und/oder - Erhöhen der Durchflussrate oder Redu-

zierung der eingebrachten Eisenerzträger bei unveränderter Durchflussrate an zusätzlichen flüssigen und/oder gasförmigen Kohlenstoffverbindungen in der Direktreduktionsanlage.

**[0044]** Wenn sich bei Auswertung der ermittelten Produkteigenschaft herausstellt, dass der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  reduziert werden muss, also eine Verlagerung eines Anteils der Aufkohlungsarbeit von der Direktreduktionsanlage in den Schmelzofen erfolgen soll, kann das Verändern des Betriebs zum Reduzieren des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  beispielsweise umfassen: - Verringern der Durchflussrate an reduzierendem Gas, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthält, in der Direktreduktionsanlage und/oder - Verringern der Verbleibdauer des zu Eisenschwamm werdenden Eisenerzträger in der Direktreduktionsanlage.

**[0045]** Das Verlagern der Aufkohlungsarbeit von der Direktreduktionsanlage in den Schmelzofen führt also spiegelbildlich zu einer Verringerung der Aufkohlungsarbeit in der Direktreduktionsanlage sowie einer Erhöhung der Aufkohlungsarbeit in dem Schmelzofen oder umgekehrt.

**[0046]** Der dargestellten **Figur 1** ist eine Prinzipskizze zu entnehmen, welche ein beispielhaftes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens zum Betreiben eines Anlagenverbunds (1) zeigt, umfassend zumindest eine Direktreduktionsanlage (2) und zumindest einen stromabwärts der Direktreduktionsanlage (2) angeordneten elektrischen Schmelzofen (3). In einem kontinuierlichen Betrieb des Anlagenverbunds (1) durchlaufen Eisenerzträger die Direktreduktionsanlage (2) und werden dort mittels reduzierenden Gases, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthalten kann oder wobei zusätzliche flüssige und/oder gasförmige Kohlenstoffverbindungen hineingegeben werden können oder wobei eine Kombination aus Kohlenstoffverbindungen enthaltendes reduzierendes Gas und zusätzlich flüssige und/oder gasförmige Kohlenstoffverbindungen eingebracht werden können, zu Eisenschwamm reduziert, der mit einem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  aus der Schleuse (2') austritt und sodann in den Schmelzofen (3) hineingegeben wird. Innerhalb des Schmelzofens (3) wird der Eisenschwamm unter Zugabe von kohlenstoffhaltigen Stoffen, beispielsweise (Stein-)Kohle und/oder Koks, aufgeschmolzen, wobei optional weitere Bestandteile zugegeben werden. Solche weiteren Bestandteile können beispielsweise eisenhaltige Stoffe wie Schrott sein und/oder Zuschlagstoffe zur Einstellung der Zusammensetzung der sich bildenden Schlacke. Die in dem Schmelzofen (3) erzeugte metallische Schmelze weist einen Produkt-Kohlungsgrad von 0,01 bis 2,06 Gew.-% Kohlenstoff, wenn zum Beispiel die Schmelze als Rohstahl erzeugt werden soll, oder 2,07 bis 5,0 Gew.-% Kohlenstoff, wenn zum Beispiel die Schmelze als Roh-eisen erzeugt werden soll, auf, und wird in diskreter Folge mittels Abstichs der Schmelze aus dem Schmelzofen (3) entnommen.

**[0047]** Kontinuierlich oder quasikontinuierlich, das

heißt: in kurzen Abständen wiederholt, wird mittels eines LIBS-Sensors (4) eine als Kohlenstoff-Gehalt in der Schmelze ausgebildete Produkteigenschaft ermittelt. Im vorliegenden Beispiel wird also eine Produkteigenschaft eines im Schmelzofen (3) des Anlagenverbunds 1 erzeugten Produkts. Die Erfassung dieser Produkteigenschaft sowie deren Auswertung wird von der Steuereinrichtung (5) umgesetzt, bei der es sich beispielsweise um einen Leitstand oder eine mit dem Leitstand gekoppelte Steuereinheit handeln kann.

**[0048]** Die ermittelte Produkteigenschaft wird genutzt, ausgehend von der ermittelten Produkteigenschaft kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich den, jeweils zum aktuellen Zeitpunkt oder zu einem rückprojizierten Zeitpunkt, mit der gemessenen Produkteigenschaft verknüpften Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  zu bestimmen. Die Bestimmung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  erfolgt anhand vorliegender empirischer Daten, nämlich einer empirisch ermittelten Zuordnung von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$ . Nach der erfolgten Bestimmung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  wird dieser mit dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  verglichen. Sollte sich herausstellen, dass eine Abweichung  $\Delta AKG_{DRA}$  des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  von dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  vorliegt, wird, beispielsweise von der Steuereinrichtung (5), das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds (1) zur Einstellung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  hin zu dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  initiiert. Es wird also in Abhängigkeit von der ermittelten Produkteigenschaft ein Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds (1) zur Einstellung eines vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  durchgeführt.

**[0049]** Für die Veränderung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  hin zu dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  greift die Steuereinrichtung (5) auf eine empirisch ermittelte Zuordnungsmenge von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  zurück, um anhand der bekannten Differenz  $\Delta AKG_{DRA} = AKG_{DRA,Soll} - AKG_{DRA}$  durch Abgleich mit der Zuordnungsmenge rückzuschließen, in welchem Ausmaß das Verändern des Betriebs erfolgen soll. Wenn beispielsweise eine als Erhöhung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  ausgebildete Veränderung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  als erforderlich bewertet wird, kann beispielsweise die Veränderung des Betriebs des Anlagenverbunds (1) für das Erhöhen des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  darin bestehen, dass die Durchflussrate an reduzierendem Gas, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthält, in der Direktreduktionsanlage (2) erhöht wird, was die Steuereinrichtung über die Ansteuerung des Durchflussventils (6) veranlasst. Als alternative oder zusätzliche Maßnahme kann das Erhöhen der Durchflussrate an zusätzlichen flüssigen und/oder gasförmigen Kohlenstoffverbindungen in der Direktreduktionsanlage 2 ergriffen werden, wobei für

jede der beiden Maßnahmen oder für beide Maßnahmen in kombinierter Weise der Umfang der erforderlichen Wirkung des Veränderns des Betriebs auf die Produkteigenschaft, also beispielsweise das quantitative Maß an Veränderung des Kohlenstoff-Gehalts im Schmelzofen (3) durch die erforderlichen Erhöhung der Durchflussrate an reduzierendem Gas in der Direktreduktionsanlage und/oder das Erhöhen der Durchflussrate an zusätzlichen flüssigen und/oder gasförmigen Kohlenstoffverbindungen in der Direktreduktionsanlage (2) zuvor hinterlegten quantitativen Daten entnommen wird, bei denen es sich um ein Beispiel für die zuvor bereits erläuterte empirisch ermittelte Zuordnungsmenge von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  handelt. Die Wahl des Maßes des Veränderns des Betriebs auf die Produkteigenschaft selbst kann durch Einstellen auf Basis von Erfahrungswerten, also empirisch hinterlegten sekundärer Steuerdaten, durch Steuern, oder durch Regeln erfolgen.

## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbunds (1), umfassend zumindest eine Direktreduktionsanlage (2) und zumindest einen stromabwärts der Direktreduktionsanlage (2) angeordneten elektrischen Schmelzofen (3), wobei in einem kontinuierlichen Betrieb des Anlagenverbunds (1) Eisenerzträger die Direktreduktionsanlage (2) durchlaufen, wobei beim Durchlaufen der Direktreduktionsanlage (2) die Eisenerzträger mittels reduzierenden Gases, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthalten kann und/oder wobei zusätzliche flüssige und/oder gasförmige Kohlenstoffverbindungen hineingegeben werden können, zu Eisenschwamm hin mit einem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  reduziert wird, und nach dem Durchlaufen der Eisenschwamm in den Schmelzofen (3) hineingegeben wird, wobei in dem Schmelzofen (3) ein Aufschmelzen des Eisenschwamms unter Zugabe von Einsatzstoffen zu einem Schmelzbad aus metallischer Schmelze mit einem Produkt-Kohlungsgrad  $KG_{Produkt}$  und einer auf der metallischen Schmelze schwimmenden Schlacke erfolgt, und in diskreter Folge eine Entnahme von metallischer Schmelze und Schlacke aus dem Schmelzofen (3) mittels Abstichs der Schmelze und Schlacke vorgenommen wird, wobei - kontinuierlich oder quasikontinuierlich mittels eines Sensors (4) ein Ermitteln einer Produkteigenschaft von im Anlagenverbund (1) erzeugtem Produkt erfolgt, und in Abhängigkeit von der ermittelten Produkteigenschaft ein Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds (1) zur Einstellung eines vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  durchgeführt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei ausgehend von

- der ermittelten Produkteigenschaft kontinuierlich oder quasi-kontinuierlich anhand einer empirisch ermittelten Zuordnung von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  der Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  bestimmt wird, und bei Feststellen einer Abweichung des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  von dem vorgegebenen Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds zur Einstellung des vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder nach Anspruch 2, wobei das Verändern des Betriebs des Anlagenverbunds (1) zur Einstellung des vorgegebenen Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA,Soll}$  anhand einer empirisch ermittelten Zuordnungsmenge von der Produkteigenschaft zu dem Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA}$  verändert wird, bevorzugt gesteuert wird, besonders bevorzugt geregelt wird.
  4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Produkteigenschaft von in der Direktreduktionsanlage (2) erzeugtem Produkt ermittelt wird.
  5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei die Produkteigenschaft
    - eine Kohlenstoffmassenstoffbilanz aus "hineingegebenen Kohlenstoffverbindungen" zu "ausgegebenen Kohlenstoffverbindungen" ist, oder
    - eine Kohlenstoff-Gehaltsmessung des Eisenschwamms ist.
  6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche 1 bis 3, wobei die Produkteigenschaft von in dem Schmelzofen (3) erzeugtem Produkt ermittelt wird.
  7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Produkteigenschaft
    - eine Messung der Aufschmelzgeschwindigkeit, insbesondere ermittelt aus einem Verhältnis zwischen eingebrachter elektrischer Energie zu ausgegebener Masse, Roheisen und Schlacke, im Zeitraum der diskreten Folgen zwischen den Entnahmen ist, oder
    - eine Energiebilanz im Zeitraum der diskreten Folge zwischen den Entnahmen der Schmelze ist, oder
    - eine Kohlenstoffmassenbilanz aus "hineingegebenem Kohlenstoff" zu "ausgegebenem Kohlenstoff", oder
    - eine Schlackeneigenschaft, beispielsweise eine chemische Zusammensetzung der Schlacke oder die Viskosität der Schlacke, bei konstan-
- tem Einbringen von Zuschlagstoffen ist, oder
- eine Kohlenstoff-Gehaltsmessung des Roheisens ist.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei anhand einer empirisch ermittelten ersten anlagenspezifischen Kennwertkurve Kennwert<sub>DRA</sub>- $AKG_{DRA}$  der Direktreduktionsanlage (2) und anhand einer empirisch ermittelten zweiten anlagenspezifischen Kennwertkurve Kennwert<sub>SO</sub>- $AKG_{DRA}$  des Schmelzofens (3) der vorgegebene Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  festgelegt wird.
  9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Kennwert
    - ein Maß für das Gewicht aufgekohltem Eisenschwamms pro Zeiteinheit ist, optional begrenzt auf die maximale Einschmelzmenge an aufgekohltem Eisenschwamm pro Zeiteinheit, oder
    - ein Maß für spezifischen Energieumsatz ist, oder
    - ein Maß für den spezifischen  $CO_2$ -Ausstoß ist, oder
    - ein Maß für die spezifischen Gesamtkosten ist.
  10. Verfahren nach Anspruch 8 oder nach Anspruch 9, wobei der vorgegebene Aufkohlungsgrad  $AKG_{DRA,Soll}$  festgelegt wird als der Aufkohlungsgrad, für den gilt
 
$$\text{Min}[\text{Kennwert}_{DRA}(AKG_{DRA}) + \text{Kennwert}_{SO}(KG_{\text{Produkt}} - AKG_{DRA})].$$
  11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verändern des Betriebs zum Erhöhen des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  umfasst:
    - Erhöhen der Durchflussrate oder Reduzierung der eingebrachten Eisenerzträger bei unveränderter Durchflussrate an reduzierendem Gas, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthält, in der Direktreduktionsanlage (2) und/oder
    - Erhöhen der Durchflussrate oder Reduzierung der eingebrachten Eisenerzträger bei unveränderter Durchflussrate an zusätzlichen flüssigen und/oder gasförmigen Kohlenstoffverbindungen in der Direktreduktionsanlage (2).
  12. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Verändern des Betriebs zum Reduzieren des Aufkohlungsgrads  $AKG_{DRA}$  umfasst:
    - Verringern der Durchflussrate an reduzierendem Gas, welches Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffverbindungen enthält, in der Direktreduktionsanlage (2) und/oder
    - Verringern der Verbleibdauer des zu Eisen-

schwamm werdenden Eisenerzträger in der Direktreduktionsanlage (2).

5

10

15

20

25

30

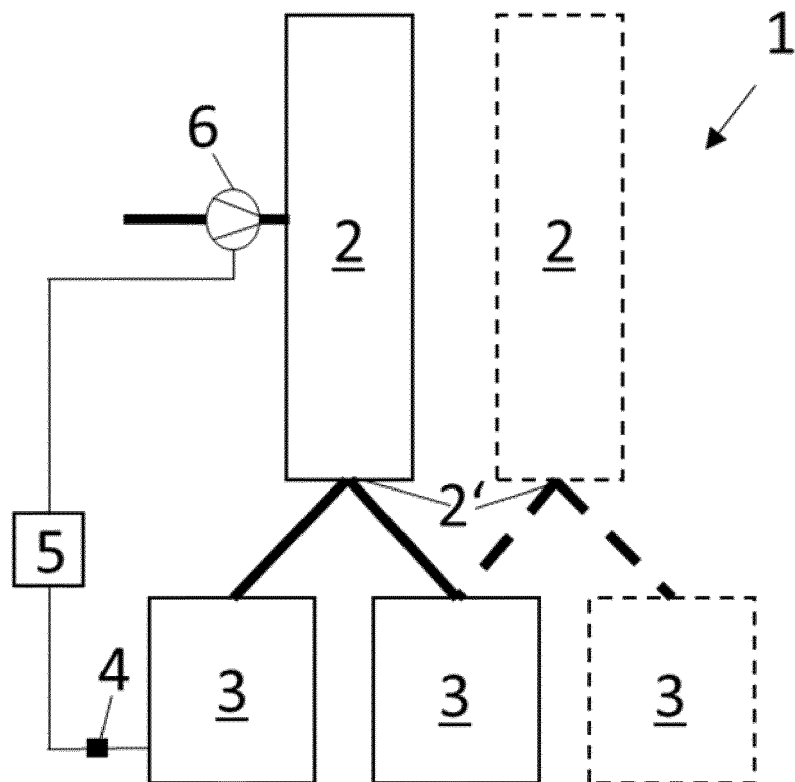
35

40

45

50

55



Figur 1



## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 17 2029

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

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 2021/225500 A1 (HYBRIT DEV AB [SE])<br>11. November 2021 (2021-11-11)<br>* Abbildungen 1-4 *<br>* Seite 1, Zeile 4 - Zeile 7 *<br>* Seite 4, Zeile 9 - Seite 9, Zeile 11 *<br>* Seite 20, Zeile 9 - Seite 23, Zeile 17 *<br>----- | 1-12                                                   | INV.<br>C21B13/12<br>C21B13/14<br>C21C5/46<br>C21C5/52 |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | WO 2020/245070 A1 (TENOVA SPA [IT])<br>10. Dezember 2020 (2020-12-10)<br>* Abbildungen 1, 2 *<br>* Seite 2, Zeile 24 - Seite 3, Zeile 6 *<br>* Seite 3, Zeile 17 - Zeile 33 *<br>-----                                               | 1-12                                                   |                                                        |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | US 2021/301359 A1 (ASTORIA TODD MICHAEL [US] ET AL)<br>30. September 2021 (2021-09-30)<br>* Abbildungen 2-5 *<br>* Absatz [0002] *<br>* Absatz [0009] - Absatz [0013] *<br>* Absatz [0020] - Absatz [0061] *<br>-----                | 1-12                                                   |                                                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                        | RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)                        |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                        | C21B<br>C21C                                           |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                        |                                                        |
| Recherchenort<br><b>Den Haag</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                      | Abschlußdatum der Recherche<br><b>13. Oktober 2023</b> | Prüfer<br><b>Jung, Régis</b>                           |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur<br>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                        |                                                        |

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

EP 23 17 2029

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

13-10-2023

| Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentdokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie | Datum der<br>Veröffentlichung |
|----------------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|
| <b>WO 2021225500 A1</b>                            | <b>11-11-2021</b>             | <b>AU 2021267807 A1</b>           | <b>15-12-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>BR 112022022156 A2</b>         | <b>13-12-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>CA 3176355 A1</b>              | <b>11-11-2021</b>             |
|                                                    |                               | <b>CN 115516116 A</b>             | <b>23-12-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>EP 4146834 A1</b>              | <b>15-03-2023</b>             |
|                                                    |                               | <b>JP 2023525937 A</b>            | <b>19-06-2023</b>             |
|                                                    |                               | <b>KR 20230006894 A</b>           | <b>11-01-2023</b>             |
|                                                    |                               | <b>SE 2050508 A1</b>              | <b>05-11-2021</b>             |
|                                                    |                               | <b>US 2023160028 A1</b>           | <b>25-05-2023</b>             |
|                                                    |                               | <b>WO 2021225500 A1</b>           | <b>11-11-2021</b>             |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| <b>WO 2020245070 A1</b>                            | <b>10-12-2020</b>             | <b>CN 113924372 A</b>             | <b>11-01-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>EP 3980566 A1</b>              | <b>13-04-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>JP 2022535446 A</b>            | <b>08-08-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>US 2022235426 A1</b>           | <b>28-07-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>WO 2020245070 A1</b>           | <b>10-12-2020</b>             |
| -----                                              |                               |                                   |                               |
| <b>US 2021301359 A1</b>                            | <b>30-09-2021</b>             | <b>AR 122397 A1</b>               | <b>07-09-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>BR 112022019079 A2</b>         | <b>29-11-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>CA 3171742 A1</b>              | <b>30-09-2021</b>             |
|                                                    |                               | <b>CN 115315533 A</b>             | <b>08-11-2022</b>             |
|                                                    |                               | <b>EP 4127250 A1</b>              | <b>08-02-2023</b>             |
|                                                    |                               | <b>US 2021301359 A1</b>           | <b>30-09-2021</b>             |
|                                                    |                               | <b>WO 2021195161 A1</b>           | <b>30-09-2021</b>             |
|                                                    |                               | <b>ZA 202210583 B</b>             | <b>28-06-2023</b>             |
| -----                                              |                               |                                   |                               |

EPO FORM P0461

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

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- DE 102019217631 A1 [0005]
- WO 2022248914 A1 [0005]
- WO 2022248915 A1 [0005]