

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges  
Eigentum

Internationales Büro

(43) Internationales  
Veröffentlichungsdatum  
20. März 2014 (20.03.2014)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2014/040989 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
C21B 13/00 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2013/068726

(22) Internationales Anmeldedatum:  
10. September 2013 (10.09.2013)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2012 108 631.1  
14. September 2012 (14.09.2012) DE  
10 2012 109 284.2  
28. September 2012 (28.09.2012) DE  
10 2013 104 002.0  
19. April 2013 (19.04.2013) DE

(71) Anmelder: VOESTALPINE STAHL GMBH [AT/AT];  
voestalpine Str. 3, 4020 Linz (AT).

(72) Erfinder: SCHWAB, Peter; voestalpine-Str. 3, A-4020  
Linz (AT). EDER, Wolfgang; voestalpine-Str. 1, A-4020  
Linz (AT). BÜRGLE, Thomas; Fischergasse 4/2, A-  
4221 Steyregg (AT).

(74) Anwalt: NAEFE, Jan Robert; Patronus IP, Truderinger  
Str. 246, 81825 München (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW,  
BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK,  
DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,  
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KN, KP,  
KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD,  
ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI,  
NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU,  
RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH,  
TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA,  
ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ,  
TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ,  
RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY,  
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,  
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,  
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA,  
GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz  
2 Buchstabe g)

(54) Title: METHOD FOR PRODUCING STEEL

(54) Bezeichnung : VERFAHREN ZUM ERZEUGEN VON STAHL

(57) Abstract: The invention relates to a method for producing steel, wherein iron ore is reduced with hydrogen and the thus obtained intermediate product of reduced iron ore and optional accompanying substances is metallurgically processed, the hydrogen being produced by the electrolysis of water and the electrical energy required for electrolysis being regenerative energy, which stems from water power and/or wind power and/or photovoltaic power or other regenerative energy forms. The hydrogen and/or the intermediate product is produced independently of the current demand whenever sufficient regeneratively generated electrical energy is available. Any quantity of intermediate product not demanded is stored until demanded/used so that the regenerative energy accumulated therein is also stored. The invention also relates to a method for storing discontinuously generated energy, the discontinuously generated energy being supplied, when available or once it has been generated, to a process in which a storable intermediate product is produced from a starting material and the storable intermediate product is stored until it is required or demanded for production of a final product.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von Stahl, wobei Eisenerz mit Wasserstoff reduziert wird und das so gewonnene Zwischenprodukt aus reduziertem Eisenerz und gegebenenfalls Begleitstoffen metallurgisch weiterverarbeitet wird, wobei der Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser erzeugt ist, wobei die zur Elektrolyse notwendige elektrische Energie regenerative Energie ist, welche aus Wasserkraft und/oder Windkraft und/oder Fotovoltaik oder anderen regenerativen Energieformen stammt und wobei der Wasserstoff und/oder das Zwischenprodukt unabhängig von der momentanen Nachfrage immer dann erzeugt wird, wenn ausreichend regenerativ erzeugte elektrische Energie vorhanden ist, wobei nicht nachgefragtes Zwischenprodukt bis zur Nachfrage/Verwendung gelagert wird, so dass auch die regenerative Energie, die darin gespeichert ist, gelagert wird und ein Verfahren zum Speichern diskontinuierlich erzeugter Energie wobei die diskontinuierliche erzeugte Energie bei deren Vorhandensein bzw. nach deren Erzeugung einem Prozess zugeführt wird in dem aus einem Ausgangsstoff ein speicherbares Zwischenprodukt erzeugt wird und das speicherbare Zwischenprodukt solange gespeichert wird, bis es zur Herstellung eines Endprodukts benötigt und abgerufen wird.

WO 2014/040989 A2

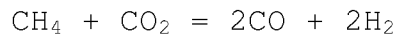
## **Verfahren zum Erzeugen von Stahl**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Erzeugen von Stahl nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1 und ein und Verfahren zum Speichern diskontinuierlich anfallender Energie.

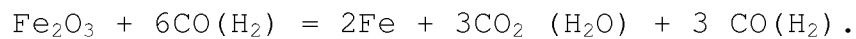
Die Stahlerzeugung wird zur Zeit auf unterschiedliche Arten vorgenommen. Die klassische Stahlerzeugung erfolgt über die Erzeugung von Roheisen im Hochofenprozess aus vorwiegend oxidischen Eisenträgern. Bei diesem Verfahren werden ca. 450 bis 600 kg Reduktionsmittel, zumeist Koks, pro Tonne Roheisen verbraucht, wobei dieses Verfahren sowohl bei der Erzeugung von Koks aus Kohle als auch bei der Erzeugung des Roheisens ganz erhebliche Mengen CO<sub>2</sub> freisetzt. Zudem sind sogenannte "Direktreduktionsverfahren" bekannt (Verfahren entsprechend der Marken, MIDREX, FINMET, ENERGIRON/HYL, etc.), bei denen aus vorwiegend oxidischen Eisenträgern der Eisenschwamm in der Form von HDRI (Hot Direct Reduced Iron), CDRI (Cold Direct Reduced Iron) bzw. sogenanntes HBI (hot briquetted iron) erzeugt wird.

Zudem gibt es noch sogenannte Schmelzreduktionsverfahren, bei denen der Schmelzprozess, die Reduktionsgaserzeugung und die Direktreduktion miteinander kombiniert werden, beispielsweise Verfahren der Marken COREX, FINEX, HiSmelt oder HiSarna.

Eisenschwamm in der Form von HDRI , CDRI bzw. HBI werden üblicherweise in Elektroöfen weiter verarbeitet, was außerordentlich energieintensiv ist. Die Direktreduktion wird mittels Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid aus Methan und ggf. Synthesegas vorgenommen. Beispielsweise wird beim sogenannten MIDREX-Verfahren zunächst Methan entsprechend der folgenden Reaktion umgesetzt:



und das Eisenoxid reagiert mit dem Reduktionsgas beispielsweise nach:



Auch dieses Verfahren stößt somit  $\text{CO}_2$  aus.

Aus der DE 198 53 747 C1 ist ein kombinierter Prozess zur Direktreduktion von Feinerzen bekannt, wobei die Reduktion mit Wasserstoff oder einem anderen Reduktionsgas in einer liegenden Wirbelschicht erfolgen soll.

Aus der DE 197 14 512 A1 ist eine Kraftwerksanlage mit Solargewinnung, Elektrolyseeinrichtung und einem industriellen Metallurgieprozess bekannt, wobei dieser industrielle Prozess entweder die stromintensive Metallherstellung von Aluminium aus Bauxit betrifft oder ein Metallurgieprozess mit Wasserstoff als Reduktionsmittel bei der Herstellung von nichtheißen Metallen wie Wolfram, Molybdän, Nickel oder dergleichen oder ein Metallurgieprozess mit Wasserstoff als Reduktionsmittel unter Anwendung des Direktreduktionsverfahren bei der Herstellung von Eisenmetallen sein soll. Dies wird in dieser Schrift jedoch nicht weiter ausgeführt.

Aus der WO 2011/018124 sind Verfahren und Anlagen zum Bereitstellen speicherbaren und transportablen kohlenstoffbasierter Energieträger unter Einsatz von Kohlendioxid und unter Einsatz von regenerativer elektrischer Energie und von fossilen Brennstoffen bekannt. Hierbei werden ein Anteil von regenerativ erzeugtem Methanol und ein Anteil von Methanol bereitgestellt, der mittels nicht regenerativer elektrischer Energie und/oder

mittels Direktreduktion und/oder über partielle Oxidation und/oder Reformierung erzeugt wird.

Bei allen bislang bekannten Verfahren zur Stahlherstellung ist von Nachteil, dass ein nachhaltiges, und umfassendes Herstellungskonzept auf Basis regenerativer Ressourcen für die Stahlherstellung im industriellen Maßstab fehlt.

Aufgabe der Erfindung ist es ein Verfahren zu schaffen, mit dem Roheisen insbesondere Stahl CO<sub>2</sub>-neutral im industriellen Maßstab hergestellt werden kann.

Die Aufgabe wird mit einem Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in Unteransprüchen gekennzeichnet.

Erfindungsgemäß wird die Stahlherstellung zumindest teilweise, bevorzugt vollständig mit regenerativer Energie betrieben, wobei hierbei einerseits ein Direktreduktionsverfahren betrieben wird und andererseits das im Direktreduktionsverfahren gewonnene Zwischenprodukt im beispielsweise Elektrolichtbogenofen entsprechend weiter verarbeitet wird. Jedoch wäre auch ein Einsatz im LD-Verfahren und/oder Hochofen möglich. Ein besonderer Vorteil ist, dass das mittels regenerativer Energie erzeugte Zwischenprodukt bis zu seiner Weiterverarbeitung lagerbar ist, was bedeutet, dass mit dem erfindungsgemäßen Verfahren eine Speicherung regenerativer Energie möglich ist. Genau diese Speicherung regenerativer Energie stellt bislang ein sehr großes Problem dar, da insbesondere elektrische Energie, welche aus Wind oder Sonne gewonnen wird, von klimatischen Bedingungen abhängig ist, die nicht immer gleich sind. Auch aus Wasserkraft gewonnene elektrische Energie steht nicht immer zur Verfügung. Oftmals liegen die Verbraucher nicht an denselben Orten der Erzeugung von regenerativer Energie. Dieses

Problem der Speicherung und des Transports der gespeicherten Energie wird mittels der Erfindung gelöst, da das erfindungsgemäß erzeugte Zwischenprodukt in kleinen Einheiten in beliebiger Menge beispielsweise durch Schiffstransport effizient an beliebige Orte transportiert werden kann.

Das erfindungsgemäße Verfahren sieht vor, diese aus Wind-, Wasser- oder Sonnenenergie erzeugte elektrische Energie dafür zu nutzen, Wasserstoff aus Wasser im Wege der Elektrolyse zu erzeugen. Vorzugsweise am Ort der Erzeugung des Wasserstoffs wird eine Direktreduktionsanlage betrieben, in der - ebenfalls bevorzugt mit derart erzeugter elektrischer Energie - aufbereitete Eisenerze reduziert werden. Das so gewonnene Zwischenprodukt stellt einen idealen Speicher dieser regenerativen Energie dar und kann bis zu seiner Weiterverarbeitung gelagert werden und ist jeder Form des Transports zu einer weiterverarbeitenden Einrichtung zugänglich, insbesondere wenn es dort benötigt wird. Insbesondere kann dieses Zwischenprodukt am Ort seiner Entstehung dann in großen Mengen, die den momentanen Bedarf übersteigen, hergestellt werden, wenn die entsprechende elektrische Energie ausreichend zur Verfügung steht. Steht diese Energie nicht zur Verfügung, sind ausreichende Mengen des Zwischenprodukts und damit auch der Energie vorhanden, um den Bedarf erfüllen zu können.

Durch das Betreiben eines entsprechenden Elektrolichtbogens, ebenfalls vorzugsweise insbesondere vollständig mit Energie aus Wind-, Wasser- oder Solarenergie, gelingt es, eine CO<sub>2</sub>-freie Stahlerzeugung zu verwirklichen und zudem regenerative Energie zu speichern. Alternativ kann das Zwischenprodukt auch im Hochofen bzw. LD-Verfahren eingesetzt werden.

Erfindungsgemäß kann der Wasserstoff aus den regenerativen Prozessen mit kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen

wie beispielsweise CH<sub>4</sub>, COG, Synthesegas usw., , in einer Direktreduktionsanlage eingesetzt werden. Das Verhältnis zwischen Wasserstoff aus den regenerativen Prozessen zu kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen kann je nach Verfügbarkeit kontinuierlich variiert werden. Beispielsweise wird bei Vorliegen von sehr viel Wasserstoff dieses zu fast 100 % für die Direktreduktion verwendet. Den Rest bildet der minimal notwendige kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasstrom für die Einstellung des Kohlenstoffanteils. .Im Bedarfsfall kann aber auch auf reine kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltige Gasströme (beispielsweise Erdgas, Biogas, Gas aus Pyrolyse nachwachsender Rohstoffe) umgestellt werden.

Bevorzugt wird jedoch das Verfahren so betrieben, dass mittels regenerativer Energie bei deren Vorhandensein so viel Wasserstoff erzeugt wird, wie es die vorhandene Energie zulässt und diesen Wasserstoff für die Direktreduktion zu verwenden. Als kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltige Gasströme kommen selbstverständlich auch Gasströme aus der Biogaserzeugung und der Pyrolyse nachwachsender Rohstoffe in Frage.

Überschüssiger Wasserstoff, welche nicht unmittelbar verbraucht werden kann, kann zwischengespeichert werden.

Diese Zwischenspeicherung des Wasserstoffs kann beispielsweise in einem Gasometer verwendet werden und die Einstellung der Gehalte an kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen kann über eine Prognosesteuerung erfolgen. Diese Prognosesteuerung kann den prognostizierten Anfall/Erzeugungsmenge von Wasserstoff bzw. regenerativer Energie messen, des Weiteren aber auch beispielsweise Wettervorhersagen um die Erzeugungsmenge an regenerativer Energie abschätzen zu können. Darüber hinaus kann in diese Prognosesteuerung auch Bedarfsvorhersagen anderer externer Verbraucher einfließen, damit die erzeugte

elektrische Energie aus regenerativen Quellen optimal am wirtschaftlich sinnvollsten eingesetzt wird.

Die hierbei herrschenden Temperaturen des Gasstromes werden durch Erwärmung mittels beispielsweise Reformer, Heater oder partielle Oxidation auf 450°C bis 1200°C, bevorzugt 600°C bis 1200°C insbesondere 700°C bis 900°C eingestellt und dann in den Direktreduktionsprozess eingeführt, um dort eine chemische Reaktion durchzuführen. Auch der Gasstrom, welcher den Direktreduktionsprozess verlässt, kann in den Prozess als kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltiger Gasstromrückgeführt werden.

Die sich hieraus ergebenden möglichen erfindungsgemäßen Zwischenprodukte sind HBI, HDRI oder CDRI.

Hierbei werden Überdrücke von 0 bar bis 15 bar eingestellt.. Beispielsweise sind Überdrücke von ca. 1,5 bar beim MIDREX Verfahren und etwa 9 bar bei Energiron bevorzugt.

Bei der Vermischung des regenerativ erzeugten Wasserstoffs mit kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen, kann der Kohlenstoffgehalt idealerweise eingestellt werden, und zwar auf 0,0005 % bis 6,3 %, bevorzugt 1 % bis 3 % und direkt als C oder  $\text{Fe}_3\text{C}$  im Zwischenprodukt eingebaut sein. Ein solches Zwischenprodukt ist im Kohlenstoffgehalt ideal eingestellt und besonders gut zur Weiterverarbeitung geeignet da es den notwendigen Kohlenstoffgehalt für den metallurgischen Prozess beisteuert.

Die Erfindung wird beispielhaft anhand einer Zeichnung erläutert. Es zeigen hierbei:

Figur 1 das erfindungsgemäße Verfahren in einer beispielhaften Ausführungsform (Elektrolichtbogenofen) im Überblick;

Figur 2 das erfindungsgemäße Verfahren in einer zweiten beispielhaften Ausführungsform (LD-Verfahren) im Überblick;

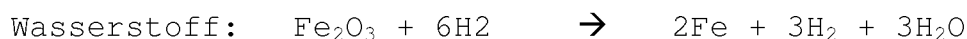
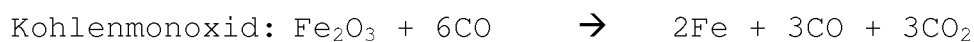
Figur 3 die Stoff- und Energieströme schematisch.

Erfindungsgemäß erfolgt die Reduktion der vorwiegend oxidischen Eisenträger über Wasserstoff und gegebenenfalls Kohlenstoffträger entweder CO<sub>2</sub> aus industriellen Prozessen, die einen CO<sub>2</sub>-Ausstoß nicht vermeiden können, oder Methan, insbesondere aus regenerativen Prozessen wie der Biogaserzeugung.

Die Eisenerzreduktion kann bekannterweise in drei Möglichkeiten erfolgen:

- „klassischer“ Hochofen Prozess - Erzeugung Roheisen aus Eisenträgern und Reduktionsmittel, vor allem Koks
- Direktreduktion - beispielsweise MIDREX - Eisenschwamm (HDRI, CDRI und HBI -,
- Schmelzreduktion - Kombination von Schmelzprozess, Reduktionsgaserzeugung und Direktreduktion beispielsweise COREX oder FINEX.

Eisenerzreduktion (Hämatit, Eisen(III)-Oxid erfolgt durch:



Das im Direktreduktionsverfahren gewonnene Zwischenprodukt kann hierbei sogenanntes DRI (direct reduced iron) oder HBI (hot briquetted iron) sein, welches entsprechend Figur 1 im



Elektrolightbogenofen ggf. unter Zugabe von Schrott zu Stahl verhüttet werden kann.

Figur 1 zeigt des Weiteren, dass HDRI bzw. CDRI auch ohne den „Umweg“ der HBI-Herstellung direkt in den Elektroofen geführt werden können.

Erfindungsgemäß kann HBI auch in anderen metallurgischen Prozessen außer dem Elektrolightbogenofen wie z.B. im Hochofenprozess oder als Schrottersatz im LD-Verfahren eingesetzt werden.

Eine solche Ausführungsform wird in Figur 2 dargestellt. Hierbei kann noch erwähnt werden, dass CDRI bzw. HDRI auch direkt dem Hochofenprozess bzw. LD-Verfahren zugeführt werden können.

In einer bevorzugten Ausführungsform kann zum Ausgleich von kurzfristigen Schwankungen bei der Erzeugung der erneuerbaren Energie diese in Form von Wasserstoff gespeichert werden, wenn diese im Überschuss vorhanden ist.. Diese Speicherung kann beispielsweise in einem Gasometer erfolgen. Ein solcher Speicher wird dann bei Schwankungen genutzt. Kurzfristige Schwankungen können vorhersehbar z.B. bei Solaranlagen in der Nacht oder unvorhersehbar wie z.B. Windstärkenschwankungen bei Windkraftanlagen auftreten.

Längerfristige Schwankungen welche unter anderem durch die unterschiedlichen Jahreszeiten sich ergeben können, können bevorzugt in die Energiespeicherung in Form von HBI erfolgen.

Auch kann im Bedarfsfall auf den Einsatz von kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasen wie beispielsweise Erdgas zurückgegriffen werden und ein Einsatz von Wasserstoff optimalerweise nur bei ausreichend erneuerbarem Strom erfolgen.

Vorteilhafterweise ergeben sich daraus die optimalen Einsatzmöglichkeiten der regenerativen Energie, da diese kontinuierlich je nach Verfügbarkeit der entsprechenden Energieform eingesetzt werden kann und die fehlende Restenergie durch andere Energieträger im Bedarfsfall ergänzt werden kann. Dadurch kann die Emission von CO<sub>2</sub> jederzeit auf das in diesem Moment mögliche Minimum durch die Nutzung regenerativer Energiequellen reduziert werden.

Ein weiterer Vorteil der Erfindung liegt in der räumlichen Entkopplung der Orte der Herstellung der regenerativen Energie und der Nutzung dieser Energie. Beispielsweise werden Solaranlagen eher in sonnenbegünstigten, wärmeren Gegenden mit viel Platz errichtet, wohingegen Stahlwerke oftmals in der Nähe von Flüssen oder Meeren zu finden sind.

Da die produzierte Energie beispielsweise in HBI gespeichert vorliegt ist diese leicht und effizient zu transportieren.

### Patentansprüche

1. Verfahren zum Erzeugen von Stahl, wobei Eisenerz mit Wasserstoff reduziert wird und das so gewonnene Zwischenprodukt aus reduziertem Eisenerz und gegebenenfalls Begleitstoffen metallurgisch weiterverarbeitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Wasserstoff durch Elektrolyse von Wasser erzeugt ist, wobei die zur Elektrolyse notwendige elektrische Energie regenerative Energie ist, welche aus Wasserkraft und/oder Windkraft und/oder Fotovoltaik oder anderen regenerativen Energieformen stammt und wobei
  - der Wasserstoff und/oder das Zwischenprodukt unabhängig von der momentanen Nachfrage immer dann erzeugt wird, wenn ausreichend regenerativ erzeugte elektrische Energie vorhanden ist, wobei
  - nicht nachgefragtes Zwischenprodukt bis zur Nachfrage/Verwendung gelagert wird, so dass auch die regenerative Energie, die darin gespeichert ist, gelagert wird.
2. Verfahren zum Erzeugen von Stahl nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass bei der Reduktion des Eisenerzes zum Zwischenprodukt, dem Wasserstoff ein kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltiges Gas zugesetzt wird, um Kohlenstoff im Zwischenprodukt einzubauen.
3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltige Gas Methan oder andere Kohlenstoffträgergase aus industriellen Prozessen oder der Biogaserzeugung oder Pyrolyse oder Synthesegas aus Biomasse sind.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Wasserstoff zur Reduktion mindestens so viel kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltiges Gas zugesetzt wird, dass der Kohlenstoffgehalt im Zwischenprodukt 0,0005 Masse-% bis 6,3 Masse-% bis vorzugsweise 1 Masse-% bis 3 Masse-% beträgt.
5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Reduktionsgas aus Wasserstoff und gegebenenfalls Kohlenstoffträgergas mit 450°C bis 1200°C, bevorzugt 600°C bis 1200°C insbesondere 700°C bis 900°C in den Reduktionsprozess eingeführt wird.
6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Überdruck bei der Reduktion zwischen 0 bar und 15 bar beträgt.
7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verhältnis zwischen Wasserstoff aus regenerativer Herstellung und kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen nach Verfügbarkeit kontinuierlich variiert wird, wobei bei ausreichenden regenerativen Energie Wasserstoff aus der Erzeugung mit regenerativer Energie eingesetzt wird und beim Ausbleiben von regenerativer Energie auf rein kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltige Gasströme umgestellt wird.
8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Einstellung der Gehalte an Wasserstoff und/oder kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen im Gesamtgasstrom über eine Prognosesteuerung erfolgt, wobei mit der Prognosesteuerung der prognostizierte Anfall/Erzeugungsmenge von Wasserstoff

und/oder regenerativer Energie und/oder kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltigen Gasströmen aus der Biogaserzeugung oder der Pyrolyse von nachwachsenden Rohstoffen gemessen wird und/oder Wettervorhersagen in die Abschätzung regenerativer Energie einfließen, wobei auch Bedarfsvorhersagen anderer externer Verbraucher einfließen wodurch die elektrische Energie aus regenerativen Quellen optimal und am wirtschaftlichsten verteilt werden kann.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasstrom, der von der Direktreduktionsanlage als Abgas emittiert wird in den Prozess als kohlenstoff- bzw. wasserstoffhaltiger Gasstrom geführt wird.

Fig. 1

Stahlerzeugung aus erneuerbarer  
Energie am Beispiel Elektroofen

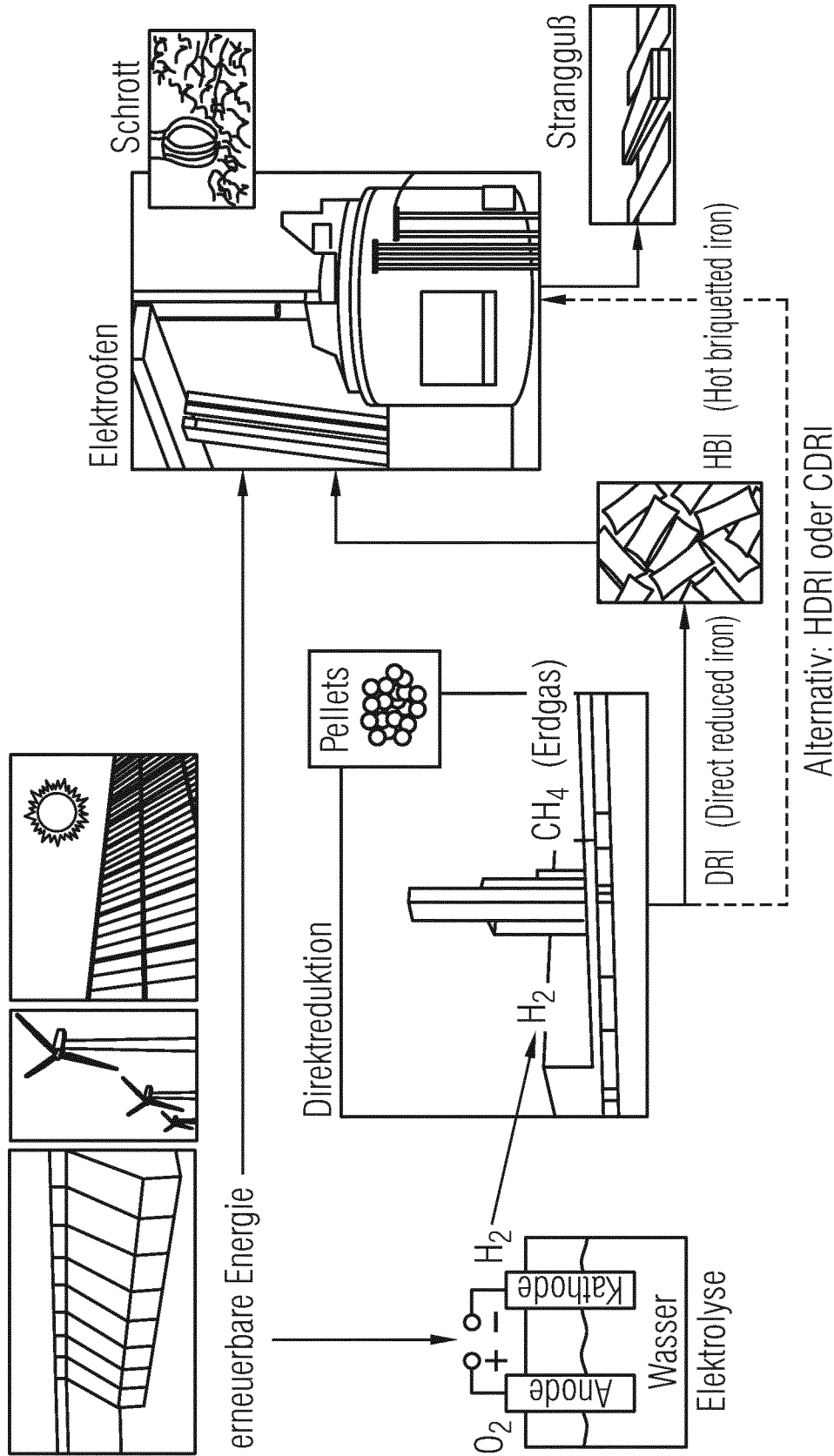


Fig. 2

Stahlerzeugung aus erneuerbarer  
Energie am Beispiel Hochofen/LD

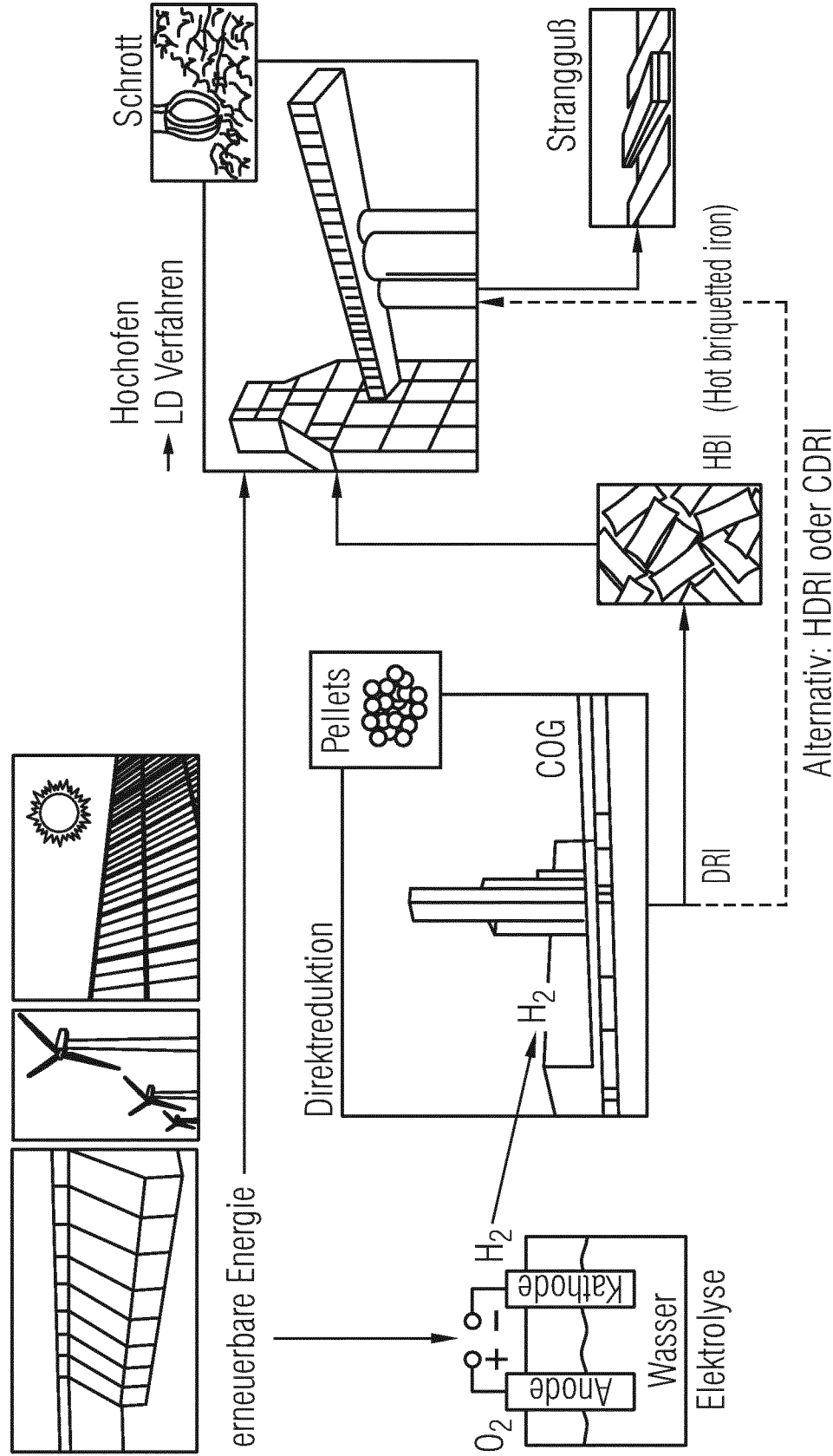


Fig. 3

