(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
03. Oktober 2024 (03.10.2024)

WIPO | PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2024/200095 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
C21B 13/00 (2006.01) *C21B 7/00* (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2024/057240

(22) Internationales Anmeldedatum:
19. März 2024 (19.03.2024)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2023 108 158.6
30. März 2023 (30.03.2023) DE

(71) Anmelder: **THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG** [DE/DE]; Kaiser-Wilhelm-Straße 100, 47166 Duisburg (DE).

(72) Erfinder: **JÄGER, Dr. Nils**; Kaiser-Wilhelm-Straße 100, 47166 Duisburg (DE). **SCHUBERT, Dr. Daniel**; Kaiser-Wilhelm-Straße 100, 47166 Duisburg (DE). **WEINBERG, Dr. Matthias**; Kaiser-Wilhelm-Straße 100, 47166 Duisburg (DE).

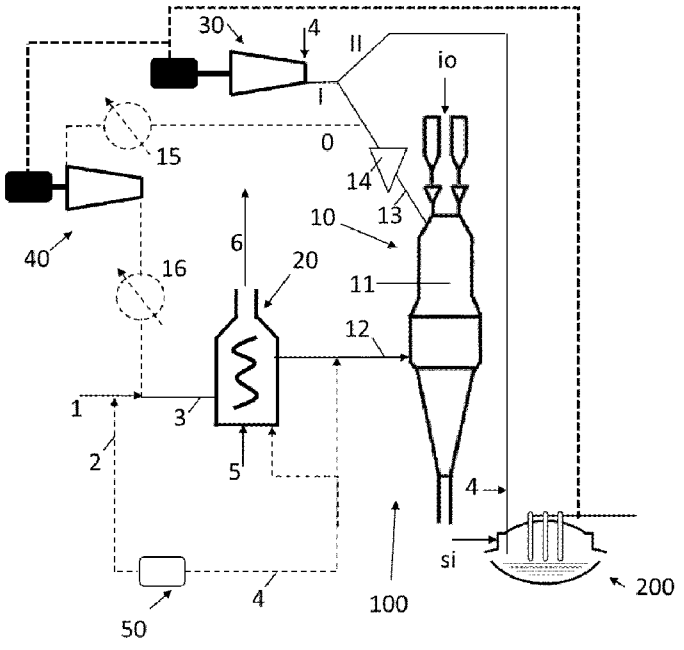
(74) Anwalt: **THYSSENKRUPP STEEL EUROPE AG**; SE/INN-IPM, Kaiser-Wilhelm-Straße 100, 47166 Duisburg (DE).

(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, CV, CZ, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten *(soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart)*: ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, 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, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,

(54) **Title:** METHOD FOR OPERATING A DIRECT REDUCTION SYSTEM

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUM BETREIBEN EINER DIREKTREDUKTIONSANLAGE



Figur 1

(57) **Abstract:** The invention relates to a method for operating a direct reduction system (100) according to claim 1.

(57) **Zusammenfassung:** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage (100) nach Anspruch 1.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2024/200095 A1

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:

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage.

Beim Direktreduktionsverfahren findet eine heterogene Reaktion zwischen den Eisenerzträgern und dem Reduktionsgas statt, bei der Sauerstoff aus dem Eisenerz entfernt wird. Zur Erzeugung von Reduktionsgas werden klassisch Kohle und/oder Erdgas bzw. kohlenwasserstoffhaltige Verbindungen und/oder Verbindungen aus Kohlenstoff und Sauerstoff als Reduktiongas verwendet. Der Trend in letzter Zeit geht dahin, dass häufiger auch Wasserstoff als Reduktionsgas vorgeschlagen wird. Die Reaktion findet unterhalb des Schmelzpunktes des Eisenerzes statt, sodass die äußere Form der Erze unverändert bleibt. Da es bei der Entfernung von Sauerstoff zu einer Gewichtsreduktion von etwa 1/4 bis 1/3 kommt, ergibt sich eine wabenförmige Mikrostruktur des Reaktionsproduktes (festes poröses Eisen mit vielen luftgefüllten Zwischenräumen). Daher wird das direktreduzierte Eisen („direct reduced iron“) häufig auch als Eisenschwamm („sponge iron“) bezeichnet. Klassisch wird beim Direktreduktionsverfahren ein Schachtofen als Reaktor mit einer Reduktionszone verwendet, durch welche das Eisenerz von oben nach unten und entgegen dem Reduktionsgas durchläuft. Derartige Schachtöfen ermöglichen eine gute Durchströmung des Eisenerzes mit Reduktionsgas aufgrund des zugrundeliegenden Kamineffektes.

Am Markt verfügbare Technologien zur Direktreduktion von Eisenerz sind unter den Bezeichnungen und eingetragenen Marken Midrex® und Energiron® bekannt. Eine sehr gute Übersicht liefert der Beitrag „History, developments and processes of direct reduction of iron ores“ von den Autoren Lüngen/Schmöle 01.09.2022, abrufbar unter dem Link: https://vdeh.de/media/history_dri_luen_ecic_2022_dps_ok.pdf.

Als Reduktionsgas kann CH_4, CO oder H_2 oder ein Mischgas umfassend CO und H_2 verwendet werden. Dieses Reduktionsgas(gemisch) wird dem Schachtofen zugeführt, in welchem es das Eisenerz reduziert. Als wesentliche Reaktionsprodukte entstehen CO_2, Wasserdampf (H_2O) und Eisenschwamm, bei Einsatz von 100 % H_2 entsteht im Wesentlichen kein CO_2. CO_2, Wasserdampf und unverbrauchtes Reduktionsgas werden mit frischem Gas gemischt und wieder dem Prozess zugeführt.

Die Erzeugung von Eisenschwamm kann zwei grundlegende Schritte umfassen. Als erster und notwendiger Schritt wird die Reduktion des Eisenerzes zu Eisenschwamm in einer Reduktions-

zone mit einem geeigneten heißen Reduktionsgas durchgeführt. Typischerweise umfasst ein Reduktionsgas im Wesentlichen Verbindungen oder Mischungen aus Kohlenstoff und Wasserstoff (beispielsweise CH_4), Verbindungen oder Mischungen aus Kohlenstoff und Sauerstoff (beispielsweise CO) und/oder Wasserstoff (H_2) bei Temperaturen im Bereich von 700 °C bis 1100 °C. Das heiße Reduktionsgas regiert nicht nur chemisch mit dem Eisenerz, sondern erwärmt dieses auch beim Durchströmen durch Kontakt. In einem zweiten und optionalen Schritt kann der erzeugte Eisenschwamm in einer Kühlzone mittels eines Kühlgases auf Temperaturen heruntergekühlt, die typischerweise unterhalb von 100 °C liegen. Entsprechende Verfahren sind der Fachwelt bekannt.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein gattungsgemäßes Verfahren derart weiterzuentwickeln, dass die vorhandenen energetisch und stofflich wertvollen Prozessgase wirtschaftlich optimiert genutzt werden können.

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1, des Anspruchs 2 oder des Anspruchs 3. Weiterführende Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

Die Lehre betrifft ein Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage, wobei Eisenerzträger eine in einem Reaktor der Direktreduktionsanlage befindliche Reduktionszone zum Reduzieren der Eisenerzträger zu Eisenschwamm von einer zur anderen Seite des Reaktors durchlaufen, wobei die Reduktionszone mit einem auf mindestens 700 °C heißen Reduktionsgas gespeist wird, welches die Reduktionszone entgegen der Durchlaufrichtung der Eisenerzträger durchströmt, wobei das heiße Reduktionsgas die Eisenerzträger erwärmt und reduziert, wobei Reaktionsgas aus dem Reaktor abgeführt wird. Zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases wird einem Gaskraftwerk und/oder einem elektrischen Einschmelzer zugeführt.

Der Standardprozess sieht vor, dass das aus dem Reaktor abgeführte Reaktionsgas insbesondere aufbereitet und anschließend mit Frischgas gemischt als neues Gas für die Direktreduktion vorgesehen wird und/oder zumindest ein Teil von abgeführten Reaktionsgas als Brenngas oder in Kombination mit einem Brenngas und einem sauerstoffhaltigen Gas verbrannt wird, um das neue Gas für die Direktreduktion auf Temperatur zu bringen.

Um das aus dem Reaktor der Direktreduktionsanlage abgeführte kalorisch wertvolle Reaktionsgas wirtschaftlich optimiert nutzen zu können, haben die Erfinder herausgefunden, dass weitere Verwertungsmöglichkeiten in Frage kommen.

Somit kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases einem Gaskraftwerk zugeführt werden, wobei der andere Teil beispielsweise dem Standardprozess zugeführt wird. Vorzugsweise kann das abgeführte Reaktionsgas vollständig einem Gaskraftwerk zugeführt werden. Das Gaskraftwerk nutzt das abgeführte Reaktionsgase als Brenngas zur Gasverstromung. Die Energie des Reaktionsgases wird beispielsweise direkt in einer Verbrennungskraftmaschine in mechanische Antriebsenergie und weiter mittels eines angekuppelten Generators in elektrische Energie umgewandelt. Das Gaskraftwerk ist vorzugsweise an das maximale Volumen des abgeführten Reaktionsgases aus dem Reaktor der Direktreduktionsanlage ausgelegt. Da die Direktreduktionsanlage auch zwei oder mehrere Reaktoren umfassen kann, ist das Gaskraftwerk entsprechend zu skalieren. Aufbau, Prinzip und Funktionsweise von Gaskraftwerken, auch in unterschiedlichen Ausführungsformen, sind der Fachwelt bekannt.

Dadurch kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases in einem Gaskraftwerk verstromt werden.

Zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases kann auch einem elektrischen Einschmelzer zugeführt werden, wobei der andere Teil beispielsweise dem Standardprozess zugeführt wird. Vorzugsweise kann das abgeführte Reaktionsgas vollständig einem elektrischen Einschmelzer zugeführt werden. Eine thermische Verwertung des Reaktionsgases, insbesondere unter Zugabe eines sauerstoffhaltigen Gases, in einem elektrischen Einschmelzer hat den Vorteil, dass ein Teil der Erwärmungsenergie, die für das Erschmelzen der im Einschmelzer befindlichen Einsatzstoffe erforderlich ist, über das Reaktionsgas beigesteuert werden kann und dadurch der Strombedarf für die Elektroden reduziert werden kann.

Auch eine Kombination, sprich das zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases einem Gaskraftwerk und einem elektrischen Einschmelzer zugeführt wird, ist denkbar, wobei der andere Teil beispielsweise dem Standardprozess zugeführt wird. Vorzugsweise kann das abgeführte Reaktionsgas vollständig einem Gaskraftwerk und einem elektrischen Einschmelzer zugeführt werden, wobei je nach Bedarf eine entsprechende Aufteilung erfolgen kann.

Das Reduktionsgas wird auf eine Temperatur zwischen 700 und 1100 °C erwärmt. Die Temperatur kann insbesondere auf maximal 1050 °C, vorzugsweise auf maximal 1010 °C, bevorzugt auf maximal 990 °C gesenkt werden. Vor dem Einspeisen in eine Reduktionszone des Reaktors wird das Reduktionsgas auf eine zwischen 700 und 1100°C betragende Temperatur erwärmt, um die Eisenerzträger zu erwärmen und die notwendige Reduktionsarbeit zu Eisenschwamm zu verrichten. Die Erwärmung erfolgt in mindestens einer Erwärmungseinheit, welche als Prozessgaserhitzer oder Reformer ausgebildet sein kann. Beispielsweise beim Reformer dient Kohlenstoffdioxid als Sauerstoffquelle und das Reformieren ist ein endothermer Prozess, somit auf Wärmeeintrag angewiesen. Das Funktionsprinzip von Prozessgaserhitzer und Reformer ist der Fachwelt bekannt, insbesondere die Erwärmungseinheiten für das Reduktionsgas in Direktreduktionsanlagen. Die Temperatur des Reduktionsgases kann insbesondere 720 °C, vorzugsweise mindestens 750 °C, bevorzugt mindestens 800 °C betragen. Bei einem Einspeisen von (im Wesentlichen 100 %) Wasserstoff kann eine Einspeisung ohne insbesondere zusätzliche Beaufschlagung und somit Nachverbrennung mit sauerstoffhaltigem Gas erfolgen, sprich, dass dadurch die vollständige Nutzung des Wasserstoffs für die Reduktion des Eisenerzträgers gewährleistet und dadurch das Verfahren wirtschaftlicher betrieben werden kann. Sehr hohe Wasserstoffanteile müssen nicht auf so hohe Prozesstemperaturen erwärmt werden, da die Reduktion des Eisenerzes, vgl. Baur-Glässner-Diagramm, bei niedrigen Temperaturen, beispielsweise unterhalb von 950 °C, stattfinden kann.

Beim Reduzieren vom Eisenerzträger zu Eisenschwamm nimmt das elementare Eisen zu und lässt sich durch den Metallisierungsgrad beschreiben:
Metallisierungsgrad [%] = 100 * $Fe_{elementar}$ [%] / Fe_{total} [%]. Aufgrund des Kontakts der Eisenerzträgeroberfläche mit dem heißen Reduktionsgas beginnen die Reaktionsvorgänge und letztendlich das Metallisieren von außen nach innen. Eine vollständige Reduktion, sprich ein Metallisierungsgrad von 100 % ist zwar theoretisch möglich, in der Praxis spielt die Wirtschaftlichkeit eine wichtige Rolle und somit die Zeit für das Reduzieren, so dass ein Metallisierungsgrad bis zu 100 %, insbesondere eher bis zu 98 % angestrebt wird. Ein Metallisierungsgrad von mindestens 80 %, insbesondere mindestens 85 %, vorzugsweise mindestens 88 %, bevorzugt mindestens 92 % und besonders bevorzugt mindestens 95 % wird im Direktreduktionsprozess angestrebt.

Eisenerzträger können in Form von Sinter, Pellets und/oder Eisen-/Stückerzen bereitgestellt werden.

Das abgeführte Reaktionsgas kann, bevor es dem Gaskraftwerk und/oder dem elektrischen Einschmelzer zugeführt wird, zunächst in einer Einheit zur Entstaubung entstaubt werden. Dadurch können beispielsweise Feststoffe, die aus dem Reaktor durch das abgeführte Reaktionsgas mitgerissen werden, aus dem Reaktionsgas entfernt werden, um insbesondere weitere Einheiten, welchen das Reaktionsgas zur weiteren Verwertung/Verarbeitung zugeführt wird, nicht zu schädigen und/oder zu verstopfen. Aufbau, Prinzip und Funktionsweise von Einheiten zur Entstaubung sind der Fachwelt bekannt.

Das dem Gaskraftwerk zugeführte Reaktionsgas kann mit einem sauerstoffhaltigen Gas verbrannt werden. Für die Verbrennung ist es erforderlich, dem Reaktionsgas ein sauerstoffhaltiges Gas zuzuführen, so dass der Sauerstoffanteil im sauerstoffhaltigen Gas mit reaktionsfreudigen und im Direktreduktionsprozess nicht (ab)reagierten Anteilen im Rektionsgas unter Abgabe von Wärme reagiert. Durch die Verbrennung entsteht ein Kohlenstoffdioxid-reiches Verbrennungsgas, welches das Gaskraftwerk verlässt.

Im Fall, dass Luft als sauerstoffhaltiges Gas zum Einsatz kommt, verbleiben Stickstoff und/oder ergeben sich Stickstoffverbindungen, insbesondere unerwünschte Stickoxide, im Verbrennungsgas, welche aus dem eingebrachten Stickstoffanteil der Luft resultieren. Das Verbrennungsgas aus dem Gaskraftwerk wäre somit stickstoffreich, so dass der Ertrag des Kohlenstoffdioxids aus dem Verbrennungsgas für eine bevorzugte Kohlenstoffnutzung, auch bekannt unter CCU (Carbon Capture Use), oder alternativ und weniger bevorzugt eine Kohlenstoffspeicherung, auch bekannt unter CCS (Carbon Capture Storage), gering ausfallen würde.

Vorzugsweise besteht das sauerstoffhaltige Gas aus Sauerstoff, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit erzeugt und bereitgestellt wird, vgl. beispielhaft EP 3 425 070 B1. Aufbau, Prinzip und Funktionsweise von (Wasser-) Elektrolyseeinheiten sind der Fachwelt bekannt. Dadurch kann nicht nur der Wirkungsgrad der Elektrolyseeinheit durch zusätzliche Abnahme und Verwertung von Sauerstoff neben Wasserstoff verbessert werden, sondern auch eine Weiterverarbeitung des Verbrennungsgases aus dem Gaskraftwerk mit einem hohen Kohlenstoffdioxid-Anteil, welcher u.a. einen wirtschaftlichen Betrieb von Kohlenstoffdioxid-Abscheidern und/oder von Reformer begünstigen kann.

Bevorzugt kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases in einem Gaskraftwerk verstromt werden, wenn bevorzugt das eingespeiste Reaktionsgas im Wesentlichen Bestandteile

enthält oder daraus besteht, welche keinen fossilen Ursprung haben, so dass auch „grüner Strom“ im Gaskraftwerk besonders bevorzugt für den Eigenbedarf erzeugt werden kann.

Weiter bevorzugt kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases temporär dem Gaskraftwerk zugeführt werden, beispielsweise wenn andere Verbraucher nicht abnahmefähig sind die Stromversorgung kurzfristig sichergestellt werden muss. Der Vorteil von Gaskraftwerken ist, dass sie schnell zu- und abgeschaltet werden können.

Der in dem Gaskraftwerk erzeugte Strom kann Aggregate in der Direktreduktionsanlage versorgen, zumindest temporär, solange das Gaskraftwerk mit mindestens einem Teil des abgeführten Reaktionsgases versorgt wird. Auch andere Anlagen können mit Strom aus dem Gaskraftwerk betrieben werden, beispielsweise ein elektrischer Einschmelzer, so dass der externe Strombedarf und/oder Lastspitzen gesenkt werden kann. Sind beispielsweise hohe Leistungen für die Elektroden zum temporären Aufschmelzen der Einsatzstoffe erforderlich, könnte ein Teil des erforderlichen Strombedarfs über die Speisung der im Gaskraftwerks erzeugten Stroms erfolgen.

Das dem elektrischen Einschmelzer zugeführte Reaktionsgas kann mit einem sauerstoffhaltigen Gas angereichert werden. Das Anreichern oder auch in Fachkreisen bekannte „Boostern“ verbrennt quasi in-situ durch den Sauerstoffanteil im sauerstoffhaltigen Gas reaktionsfreudige und im Direktreduktionsprozess nicht (ab)reagierte Anteile im Reaktionsgas unter Abgabe von Wärme nach, was zu einer verbesserten Wärmebilanz des Einschmelzers beitragen kann.

Beispielsweise kann zumindest auch ein Teil des aus dem elektrischen Einschmelzer abgeführten Prozessgases, welches optional entstaubt wird, dem Gaskraftwerk zur Verstromung zugeführt werden.

Vorzugsweise besteht das sauerstoffhaltige Gas aus Sauerstoff, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit erzeugt und bereitgestellt wird. Dadurch kann nicht nur der Wirkungsgrad der Elektrolyseeinheit durch zusätzliche Abnahme und Verwertung von Sauerstoff neben Wasserstoff verbessert werden, sondern auch der Wirkungsgrad des Einschmelzers.

Bevorzugt kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases temporär dem elektrischen Einschmelzer zugeführt werden, beispielsweise wenn hohe Leistungen für die Elektroden zum

temporären Aufschmelzen der Einsatzstoffe erforderlichen wären und ein Teil des erforderlichen Wärmeeintrags über die thermische Verwertung des abgeführten Reaktionsgases kompensiert werden kann. Das Zuführen respektive Versorgen kann schnell und flexibel erfolgen.

Näher erläutert wird die Erfindung anhand der folgenden Ausführungsbeispiele in Verbindung mit der Zeichnung.

In **Figur 1** wird die Erfindung am Beispiel einer Direktreduktionsanlage (100) erläutert, insbesondere in Verbindung mit einem elektrischen Einschmelzer (200).

Eisenerzträger (io) durchlaufen eine in einem Reaktor (10) der Direktreduktionsanlage (100) befindliche Reduktionszone (11) zum Reduzieren der Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) von einer zur anderen Seite des Reaktors (10). Bevorzugt ist der Reaktor (10) als Schachtofen ausgeführt, welcher von oben mit Eisenerzträgern (io) chargiert wird. Die Reduktionszone (11) wird mit einem auf mindestens 700 °C heißen Reduktionsgas (12) gespeist, welches die Reduktionszone (11) entgegen der Durchlaufrichtung der Eisenerzträger (io) durchströmt. Das heiße Reduktionsgas (12) erwärmt und reduziert die Eisenerzträger (io). Das Reaktionsgas (13) wird aus dem Reaktor (10) abgeführt. Das Verfahren zum Betreiben von Reaktoren in Form von Schachtöfen sowie Schachtöfen selbst sind der Fachwelt bekannt.

Alternativ und nicht dargestellt können Eisenerzträger in einen Drehrohrofen chargiert werden, wobei die Eisenerzträger eine im Drehrohrofen befindliche Reduktionszone zum Reduzieren der Eisenerzträger zu Eisenschwamm seitlich oder schräg nach unten durchlaufen, wobei das Reduktionsgas die Reduktionszone im Gegenstromprinzip zur Durchlaufrichtung der Eisenerzträger durchströmt. Das Verfahren zum Betreiben von Drehrohröfen sowie Drehrohröfen selbst sind der Fachwelt bekannt.

Eisenerzträger in Form von beispielsweise Stück-/Eisenerz „iron ore“ (io) werden am Beispiel der **Figur 1** am oberen Ende des Reaktors (10) eingebracht. Am unteren Ende des Reaktors (10) wird der erzeugte Eisenschwamm „sponge iron“ (si) entnommen. Im Reaktor (10) ist eine Reduktionszone (11) angeordnet, optional auch eine darunterliegende Kühlzone. Das Reduktionsgas (12) wird vor dem Einspeisen durch mindestens eine Erwärmungseinheit (20) durchgeleitet und auf eine Temperatur von mindestens 700 und bis zu 1100 °C erwärmt. Die Erwärmungseinheit (20) kann ein Prozessgaserhitzer oder ein Reformer sein. Die Erwärmungseinheit (20) wird mit einem Brenngas (5) und einem sauerstoffhaltigen Gas gespeist. Ein Brenngas (5),

beispielsweise Erdgas, aber auch Biomethan oder weitere, insbesondere in einem integrierten Hüttenwerk verfügbare, brennbare Gase, wie zum Beispiel Prozessgase abgeführt aus Konverter und/oder Wärmebehandlungsöfen für die Stahlherstellung, und/oder aus dem elektrischen Einschmelzer (200) kann zur Befeuerung der mindestens einen Erwärmungseinheit (20) bereitgestellt werden. Das sauerstoffhaltige Gas kann aus Sauerstoff bestehen, welcher vorzugsweise durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit (50) erzeugt und bereitgestellt wird, um beispielsweise den feuertechnischen Wirkungsgrad der Erwärmungseinheit (20) zu verbessern. Der Ertrag des Kohlenstoffdioxids aus dem Verbrennungsgas (6) der Erwärmungseinheit (20) kann insbesondere nach einer Aufbereitung beispielsweise einer Kohlenstoffnutzung oder einer Kohlenstoffspeicherung zugeführt werden.

Das Reduktionsgas (12) umfasst ein Frischgas (1). Das Frischgas (1) kann zum Teil oder vollständig aus Wasserstoff (2) bestehen, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit (50) erzeugt und bereitgestellt werden kann. Das Frischgas (1) kann auch eine Mischung aus Wasserstoff (2), Kohlenstoffmono-/-dioxid und/oder Kohlenwasserstoffen enthalten. Des Weiteren wird im Standardprozess 0 dem Frischgas (1) rezykliertes Gas zugemischt, welches aus dem aus der Reduktionszone (11) des Reaktors (10) abgeführten Reaktionsgases (13) entspricht, welches in einer Einheit zur Entstaubung (14) entstaubt worden ist, welches in einer Entwässerungseinheit (15) getrocknet worden ist, welches optional in einem Kohlenstoffdioxidabscheideeinheit (16) von Kohlenstoffdioxid befreit werden kann. Des Weiteren kann optional eine Verdichtungseinheit (40) zum Verdichten des recyclierten, insbesondere entstaubten und getrockneten Gases vorgesehen sein, vorzugsweise bevor des mit dem Frischgas (1) gemischt wird.

Nach dem Verlassen der Reduktionszone (11) kann der Eisenschwamm beispielsweise innerhalb des Reaktors (10) in eine optionale Kühlzone eintreten. Der Eisenschwamm (si) verlässt schlussendlich den Reaktor (10) an seinem unteren Ende in **Figur 1**. Er kann direkt als eisenhaltiger Feststoff in einen elektrischen Einschmelzer (200) zusammen mit weiteren Zusatzstoffen wie beispielsweise Schlackenbildner und optional Kohlenstoffträger zum Ein-/Aufschmelzen unter Verwendung von Elektroden, welche mit Strom beaufschlagt werden, zur Ausbildung einer Eisenschmelze und einer auf der Eisenschmelze aufliegenden Flüssigschlacke.

Das abgeführte Reaktionsgas (13) kann, insbesondere nachdem es in einer Einheit zur Entstaubung (14) entstaubt worden ist, zumindest einem Gaskraftwerk (30), s. Strang I, und/oder einem elektrischen Einschmelzer (200), s. Strang II, zugeführt werden.

Gemäß Strang I kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases (13) in einem Gaskraftwerk (30) verstromt werden. Das dem Gaskraftwerk (30) zugeführte Reaktionsgas (13) kann mit einem sauerstoffhaltigen Gas (4) verbrannt werden. Vorzugsweise besteht das sauerstoffhaltige Gas (4) aus Sauerstoff, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit (50) erzeugt und bereitgestellt werden kann. Der durch das Gaskraftwerk (30) erzeugte Strom kann Aggregaten innerhalb der Direktreduktionsanlage (100), beispielsweise der Verdichtungseinheit (40), und/oder einen elektrischen Einschmelzer (200) versorgen, um vorzugsweise hohe temporäre Leistungsdichten zum Aufschmelzen der eingebrachten Feststoffe abzudecken.

Gemäß Strang II kann zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases (13) einem elektrischen Einschmelzer (200) zugeführt werden. Das dem elektrischen Einschmelzer zugeführte Reaktionsgas (13) kann mit einem sauerstoffhaltigen Gas (4) „geboostert“ werden, wobei vorzugsweise das sauerstoffhaltige Gas (4) aus Sauerstoff besteht, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit (50) erzeugt und bereitgestellt werden kann.

Um sowohl fossilfreien Wasserstoff (2) als auch Sauerstoff (4) herzustellen, wird bevorzugt regenerative Energie durch Wind, Sonne und/oder Wasser eingesetzt.

Das Kohlenstoffdioxid kann bevorzugt aus dem Verbrennungsgas des Gaskraftwerks (30) abgetrennt (nicht dargestellt) werden, um zum Teil oder vollständig einer CCU zugeführt zu werden. Das bevorzugt zumindest zum Teil oder vollständig aus dem Verbrennungsgas des Gaskraftwerks (30) abgetrennte oder bereitgestellte Kohlenstoffdioxid kann beispielsweise einem nicht dargestellten Reformierungsprozess zugeführt werden, um ein Kohlenstoffmonoxid enthaltendes Gas zu erzeugen.

Alternativ und nicht dargestellt kann das Kohlenstoffdioxid auch als Entkohlungsmittel in einem Konverter verwendet werden, in welchem durch die umgekehrte Bouduard-Reaktion Kohlenstoffmonoxid bzw. Konvertergas unter Verbrauch des Kohlenstoffs aus der im Konverter zu konditionierenden Stahlschmelze entsteht. Dieses Kohlenstoffmonoxid, kann dann wiederum in einer integrierten Hütte einer weiteren, nicht dargestellten Verwendung oder als Teil eines Frischgases (1) oder als Frischgas (1) zugeführt werden.

Somit sind beispielsweise folgende vorzugsweise temporäre Betriebsweisen möglich, entweder Strang I, Strang II oder Stränge I und II. Auch möglich temporär oder dauerhaft eine Kombination aus Strang 0 und Strang I, Strang 0 und Strang II oder Stränge 0 bis II.

Nicht dargestellt kann zumindest auch ein Teil des aus dem elektrischen Einschmelzer (200) abgeführten Prozessgases, welches optional entstaubt wird, dem Gaskraftwerk (30) zur Verstromung zugeführt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage (100), wobei Eisenerzträger (io) eine in einem Reaktor (10) der Direktreduktionsanlage (100) befindliche Reduktionszone (11) zum Reduzieren der Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) von einer zur anderen Seite des Reaktors (10) durchlaufen, wobei die Reduktionszone (11) mit einem auf mindestens 700 °C heißen Reduktionsgas (12) gespeist wird, welches die Reduktionszone (11) entgegen der Durchlaufrichtung der Eisenerzträger (io) durchströmt, wobei das heiße Reduktionsgas (12) die Eisenerzträger (io) erwärmt und reduziert, wobei Reaktionsgas (13) aus dem Reaktor (10) abgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases (13) I) einem Gaskraftwerk (30) zugeführt wird.

2. Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage (100), wobei Eisenerzträger (io) eine in einem Reaktor (10) der Direktreduktionsanlage (100) befindliche Reduktionszone (11) zum Reduzieren der Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) von einer zur anderen Seite des Reaktors (10) durchlaufen, wobei die Reduktionszone (11) mit einem auf mindestens 700 °C heißen Reduktionsgas (12) gespeist wird, welches die Reduktionszone (11) entgegen der Durchlaufrichtung der Eisenerzträger (io) durchströmt, wobei das heiße Reduktionsgas (12) die Eisenerzträger (io) erwärmt und reduziert, wobei Reaktionsgas (13) aus dem Reaktor (10) abgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases (13) II) einem elektrischen Einschmelzer (200) zugeführt wird.

3. Verfahren zum Betreiben einer Direktreduktionsanlage (100), wobei Eisenerzträger (io) eine in einem Reaktor (10) der Direktreduktionsanlage (100) befindliche Reduktionszone (11) zum Reduzieren der Eisenerzträger (io) zu Eisenschwamm (si) von einer zur anderen Seite des Reaktors (10) durchlaufen, wobei die Reduktionszone (11) mit einem auf mindestens 700 °C heißen Reduktionsgas (12) gespeist wird, welches die Reduktionszone (11) entgegen der Durchlaufrichtung der Eisenerzträger (io) durchströmt, wobei das heiße Reduktionsgas (12) die Eisenerzträger (io) erwärmt und reduziert, wobei Reaktionsgas (13) aus dem Reaktor (10) abgeführt wird, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zumindest ein Teil des abgeführten Reaktionsgases (13) - I) einem Gaskraftwerk (30) und - II) einem elektrischen Einschmelzer (200) zugeführt wird.

4. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das abgeführte Reaktionsgas (13), bevor es dem Gaskraftwerk (30) und/oder dem elektrischen Einschmelzer (200) zugeführt wird, zunächst in einer Einheit zur Entstaubung (14) entstaubt wird.

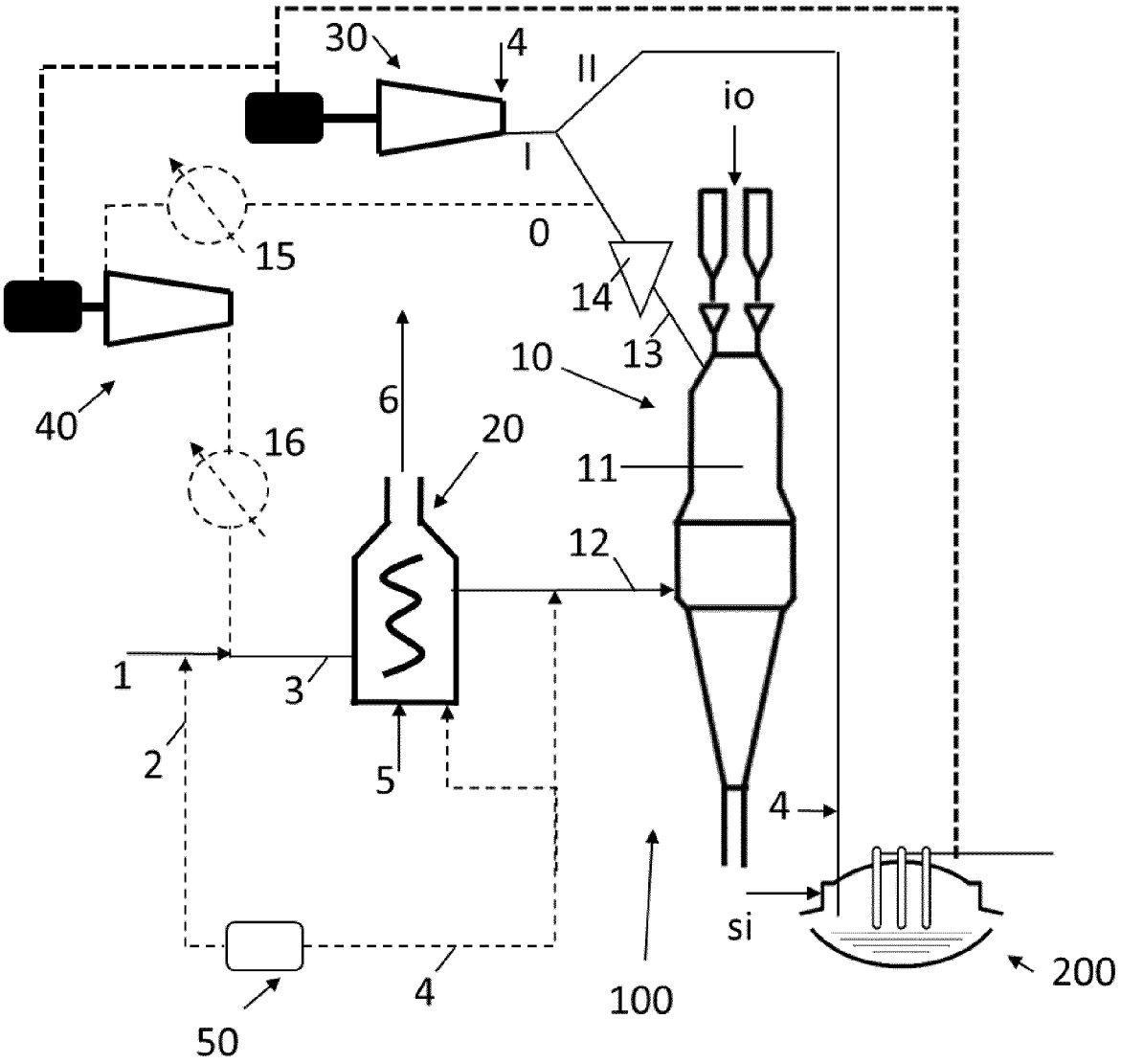
5. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das dem Gaskraftwerk (30) zugeführte Reaktionsgas (30) mit einem sauerstoffhaltigen Gas (4) verbrannt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, wobei das sauerstoffhaltige Gas (4) aus Sauerstoff besteht, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit (50) erzeugt und bereitgestellt wird.

7. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das dem elektrischen Einschmelzer (200) zugeführte Reaktionsgas (30) mit einem sauerstoffhaltigen Gas (4) angereichert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei das sauerstoffhaltige Gas (4) aus Sauerstoff besteht, welcher durch Zerlegung von Wasser mittels Elektrolyse in einer Elektrolyseeinheit (50) erzeugt und bereitgestellt wird.

9. Verfahren nach einem der vorgenannten Ansprüche, wobei das Reduktionsgas auf eine Temperatur zwischen 700 und 1100 °C erwärmt wird.



Figur 1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/EP2024/057240

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C21B 13/00(2006.01)i; ***C21B 7/00***(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C21B; C21C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	AT 387038 B (VOEST ALPINE AG [AT]; KORF ENGINEERING GMBH [AT]) 25 November 1988 (1988-11-25)	1
Y	figure 1 page 2, line 1 - line 29 page 4, line 11 - page 5, line 15	3-9
X	US 6986800 B2 (HYLSA SA [MX]) 17 January 2006 (2006-01-17)	2
Y	figure 1 column 1, line 5 - line 16 column 2, line 50 - column 4, line 40 column 4, line 60 - column 8, line 46	3-9

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14 June 2024	**01 July 2024**

Name and mailing address of the ISA/EP

European Patent Office
p.b. 5818, Patentlaan 2, 2280 HV Rijswijk
Netherlands (Kingdom of the)

Telephone No. **(+31-70)340-2040**
Facsimile No. **(+31-70)340-3016**

Authorized officer

Jung, Régis

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/EP2024/057240

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)			Publication date (day/month/year)
AT	387038	B	25 November 1988	AT	387038	B	25 November 1988
				AU	603153	B2	08 November 1990
				BR	8706486	A	12 July 1988
				CA	1331517	C	23 August 1994
				CN	87108012	A	28 September 1988
				CZ	284106	B6	12 August 1998
				DD	273857	A5	29 November 1989
				EP	0269609	A1	01 June 1988
				IN	168198	B	16 February 1991
				JP	2677366	B2	17 November 1997
				JP	S63140016	A	11 June 1988
				KR	880006365	A	22 July 1988
				MX	164005	B	08 July 1992
				PT	86210	A	15 December 1988
				SU	1590048	A3	30 August 1990
				US	4861369	A	29 August 1989
				ZA	878836	B	25 May 1988
US	6986800	B2	17 January 2006	BR	PI0410313	A	23 May 2006
				CN	1791686	A	21 June 2006
				EP	1641945	A2	05 April 2006
				MX	PA05012242	A	08 February 2006
				US	2004226406	A1	18 November 2004
				WO	2004101829	A2	25 November 2004

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2024/057240

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. C21B13/00 C21B7/00
ADD.

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
C21B C21C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)
EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	AT 387 038 B (VOEST ALPINE AG [AT]; KORF ENGINEERING GMBH [AT]) 25. November 1988 (1988-11-25)	1
Y	Abbildung 1 Seite 2, Zeile 1 - Zeile 29 Seite 4, Zeile 11 - Seite 5, Zeile 15	3-9

X	US 6 986 800 B2 (HYLSA SA [MX]) 17. Januar 2006 (2006-01-17)	2
Y	Abbildung 1 Spalte 1, Zeile 5 - Zeile 16 Spalte 2, Zeile 50 - Spalte 4, Zeile 40 Spalte 4, Zeile 60 - Spalte 8, Zeile 46	3-9

☐ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung;; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
14. Juni 2024	01/07/2024

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Jung, Régis

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (April 2005)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2024/057240

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
AT 387038 B	25-11-1988	AT 387038 B	25-11-1988
		AU 603153 B2	08-11-1990
		BR 8706486 A	12-07-1988
		CA 1331517 C	23-08-1994
		CN 87108012 A	28-09-1988
		CZ 284106 B6	12-08-1998
		DD 273857 A5	29-11-1989
		EP 0269609 A1	01-06-1988
		IN 168198 B	16-02-1991
		JP 2677366 B2	17-11-1997
		JP S63140016 A	11-06-1988
		KR 880006365 A	22-07-1988
		MX 164005 B	08-07-1992
		PT 86210 A	15-12-1988
		SU 1590048 A3	30-08-1990
		US 4861369 A	29-08-1989
		ZA 878836 B	25-05-1988
US 6986800 B2	17-01-2006	BR PI0410313 A	23-05-2006
		CN 1791686 A	21-06-2006
		EP 1641945 A2	05-04-2006
		MX PA05012242 A	08-02-2006
		US 2004226406 A1	18-11-2004
		WO 2004101829 A2	25-11-2004