



(10) **DE 10 2016 008 915 A1** 2018.01.25

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2016 008 915.6**
(22) Anmeldetag: **21.07.2016**
(43) Offenlegungstag: **25.01.2018**

(51) Int Cl.: **C21B 5/00 (2006.01)**
C21B 5/06 (2006.01)
F27B 1/10 (2006.01)

(71) Anmelder:
Aaslepp, Helmut, 45133 Essen, DE

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **CO₂-Emissionsfreies Hochofenverfahren**

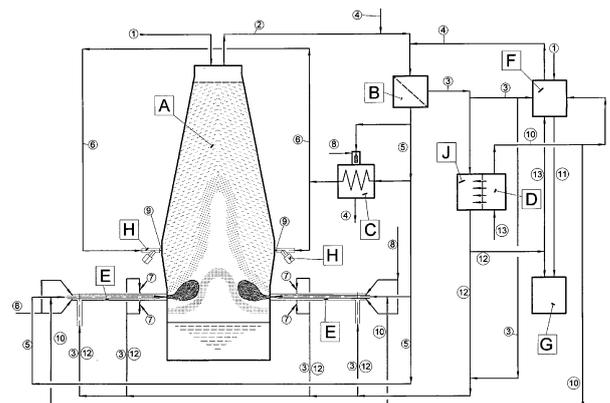
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Hochofenverfahren zum Betreiben eines CO₂-Emissionsfreien Hochofens. Nachfolgend die diesbezüglich notwendigen Maßnahmen:

1. Der Hochofen wird mit reinem Sauerstoff betrieben.
2. Das Topgasrecycling mit CO₂-Abscheidung erhöht die indirekte Reduktion und senkt den Kohlenstoffeinsatz.
3. Durch die CO₂-Abscheidung mit Konvertierung des abgeschiedenen Kohlendioxids mit Hilfe umweltfreundlich erzeugten Wasserstoffs zu Methan erhält man einen kohlenstoffarmen Brennstoff der im Hochofenbetrieb anteilig die Kohlenstaubeinblasung ersetzt und in der integrierten DRI-Anlage als Brennstoff genutzt wird.

Weitere Vorteile:

1. Das mittels der in den Hochofenkomplex integrierten Direktreduktionsanlage erzeugte HBI senkt als Eisenträger in vorhandenen Hochöfen eingesetzt, deren Reduktionsarbeit und damit den Kohlenstoffeinsatz und den CO₂-Austoß.
2. Einbindung und Methanisierung von externen CO₂-armen Verbrennungsgasen
3. Produktionssteigerung durch das Topgasrecycling mit Steigerung der indirekten Reduktion
4. Produktionssteigerung durch die Methanverbrennung – Wasserstoffreduktion

Resümee: Der vorgestellte Hochofenprozess entspricht vollständig dem System einer Kreislaufwirtschaft, in welcher alle verwertbaren Stoffe in den Prozess zurückgeführt und genutzt werden.



Beschreibung

1. Stand der Technik

[0001] Der Hochofenprozess ist weltweit der Hauptprozess zur Roheisenherstellung, mehr als 95% des Roheisens werden im Hochofen erzeugt. Der größte Nachteil des Hochofens ist jedoch der hohe Ausstoß an Kohlendioxid, da bei der Roheisenerzeugung in einem Hochofen bei der Erschmelzung von 1000 kg RE über 1500 kg Kohlendioxid anfallen.

2. HO-Verfahren zur CO₂-Reduzierung

[0002] Zur Verminderung dieser CO₂-Emissionen haben europäische und japanische Stahlhersteller die Initiativen ULCOS bzw. COURSE50 zur Erforschung verbesserter Hochofenverfahren ins Leben gerufen.

– Im ULCOS-TGRBF Programm ist es vorgesehen das vom CO₂ befreite, durch die Sauerstoffverbrennung im wesentlichen aus CO und H₂ bestehende, Topgas dem Hochofen als Reduktionsgas zu zuführen. So sollen bei der Version 1 ca. 20% der Recyclinggase bei Umgebungstemperatur mit Hilfe der Herdblasformen und die restlichen 80% auf 900°C erhitzt durch Düsen in den unteren Schachtbereich eingeblasen werden. Die notwendige Prozesswärme wird durch die Verbrennung von Koks und eingeblasenem Kohlenstaub im Unterofen erzeugt.

– Das japanische CO₂-Minderungsprogramm COURSE50 nutzt auch von CO₂ befreites Gichtgas und zusätzlich Wasserstoff als Reduktionsgas. Durch Recycling des von CO₂ befreiten Gichtgases und dem Einblasen und Verbrennen von reformiertem Kokereigas [H₂-Gehalt > 60%] mit Hilfe der Herdblasformen und reformiertem auf 800°C erhitzten Kokereigas durch Schachtdüsen vermindert sich der Kohlenstoffeinsatz und der CO₂-Ausstoß. Die notwendige Prozesswärme wird durch die Verbrennung von Koks und des mit Hilfe der Herdblasformen eingeblasenen Wasserstoffs generiert.

[0003] Beide Modifikationen des Hochofenprozesses nutzen Kohlenmonoxid bzw. Kohlenmonoxid und Wasserstoff zur verstärkten indirekten Reduktion der Eisenträger und ersetzen damit anteilig die Brennstoff intensive direkte Reduktion und vermindern dadurch den Kohlenstoffeinsatz und die CO₂-Bildung erheblich und durch die Deponierung des abgetrennten Kohlendioxids wird nur im geringen Umfang CO₂ emittiert.

3. Hochofenverfahren mit minimalen CO₂-Emissionen

[0004] Eine weitere Verringerung des Kohlenstoffeinsatzes im Hochofenprozess wäre durch das Recycling des von CO₂ befreiten Topgases und dem Einblasen von umweltfreundlich erzeugtem auf ~2300°C erhitzten Wasserstoff als Reduktionsgas möglich. Dadurch dass dem Hochofen kein Sauerstoff zugeführt wird, entsteht Kohlendioxid nur als Produkt aus den Gleichgewichtsreaktionen des Erzsauerstoffs mit dem Koks-kohlenstoff. Mit dieser Modifikation des bekannten und bewährten Hochofenprozesses wäre es möglich, den Kohlendioxid-ausstoß auf das minimal mögliche zu begrenzen. Allerdings ist es mit den zur Verfügung stehenden technischen Mitteln und Werkstoffen nicht möglich Wasserstoff indirekt auf 2300°C zu erwärmen, aus diesem Grunde muss das H₂ als CH₄ wie in der nachfolgenden Verfahrensbeschreibung gezeigt über den Weg der Methanisierung des abgeschiedenen Kohlendioxids durch Oxidation direkt erhitzt werden.

4. Modifiziertes Hochofenverfahren zur Vermeidung von CO₂-Emissionen

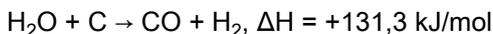
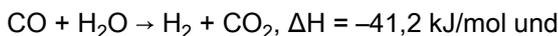
[0005] Eine vollständige Vermeidung der CO₂-Emissionen bei der Roheisenerzeugung ist mittels des in **Fig. 1** dargestellten Hochofenverfahrens erreichbar, denn das Verfahren nutzt wie die beiden vorgenannten CO₂-Reduktionsprogramme durch das Recycling des von CO₂ befreiten Topgases die indirekte Kohlenmonoxid- und analog zum COURSE50-Projekt verstärkt die umweltfreundliche Wasserstoffreduktion zur Verminderung der CO₂-Bildung und zur vollständigen Vermeidung von CO₂-Emissionen wird das abgeschiedene Kohlendioxid mit Wasserstoff zu Methan umgesetzt und als gasiger Ersatzbrennstoff im Hochofenprozess und als Prozessgas zum Betrieb einer Direktreduktionsanlage genutzt. Durch Zusammenführung des DRI-Abgasstroms mit dem primären Abgasstrom vor der CO₂-Abscheidung wird das bei der DRI-Herstellung anfallende CO₂ separiert, methanisiert und ist damit als Prozess- oder Brenngas nutzbar. Darüber hinaus können weitere in einem integrierten Stahlwerk anfallende Verbrennungsgase der CO₂-Abscheidung zugeführt und zu CH₄ methanisiert werden. Durch den Einsatz des vorgenannten Hochofenverfahrens unter Verwendung von mittels erneuerbarer Energien erzeugtem Wasserstoff und durch die Integration einer Direktreduktionsanlage ist ein nahezu CO₂-Emissionsfreies Stahlwerk denkbar.

[0006] Herkömmliche Hochöfen benötigen zur Erschmelzung von 1000 kg Roheisen bei einer indirekten Reduktionsrate von ca. 60% annähernd 500 kg Koks und Einblaskohle. Der Betrieb eines Hochofens nach dem vorgestellten Verfahren mit Topgasrecycling erreicht bei einem auf 200 kg verringertem Koksverbrauch und 160 kg Einblaskohle eine indirekte Vorreduktion von über 90% verbunden mit einer deutlichen Abnahme des CO₂-Ausstoßes und parallel erhöht sich die Roheisenerzeugung nach AM-Gent durch die Vorreduzierung um mehr als 45%.

[0007] In den mit Heißwind betriebenen Hochöfen wird das zur Reduzierung der Eisenoxide notwendige Kohlenmonoxid durch die Verbrennung des Kokes, der Einblaskohle und anderer Kohlenstoffträger im Hochofen erzeugt. Das Recycling des Kohlenmonoxids verringert die dem Hochofen zu zuführende Kohlenstoffmenge, da der Kohlenstoff im wesentlichen nur noch zur Erwärmung, zum Schmelzen der Eisenträger, zur direkten Reduktion der Eisenoxide und zur Regeneration der Verbrennungsprodukte verbrannt werden muss bzw. benötigt wird.

[0008] Bei dem vorgestellten HO-Verfahren werden, wie aus dem Fliessbild **Fig. 1** ersichtlich, die Ersatzbrennstoffe CH₄ und Kohlenstaub mit dem Sauerstoff durch den äußeren Kanal der Einblasvorrichtung in das Koksbett eingeblasen, in welchem dann das Gasgemisch mit dem Kohlenstaub im glühenden Koks durch Strahlung und Konvektion mit 100 bis 1000 K/ms aufgeheizt wird. Das tangentielle Einblasen des Methans in den äußeren Kanal, siehe Querschnitt **Fig. 2**, bewirkt eine intensive Vermischung des CH₄/O₂-Gasgemisches, so dass dieses nach ausreichender Erwärmung spontan bei ~2800°C verbrennt. Durch den zentralen Kanal wird das vom CO₂ befreite und mit Wasserstoff angereicherte Topgas als Reduktionsgas bei Raumtemperatur dem Hochofen zugeführt und in diesem durch die Verbrennung der Ersatzbrennstoffe auf T < 2800°C erwärmt.

[0009] Die adiabate Verbrennungstemperatur von 2300°C, siehe ULCOS – Example of flow sheet Version 1, wird bei der Methanverbrennung mit reinem Sauerstoff um ~500°C überschritten. Zur Reduzierung der Verbrennungstemperatur wird dem CH₄/O₂-Gasstrom CO₂ zugegeben, welches mit den Reaktionen:



der Verbrennungsenthalpie von CH₄, ΔH = -802,4 kJ/mol entgegen wirkt und damit durch die zugefügte CO₂-Menge eine Absenkung der adiabaten Verbrennungstemperatur auf T = 2300°C ermöglicht, wobei der für die Reaktion notwendige Kohlenstoff die Char der Einblaskohle ist. Je nach Aggregatzustand der Ersatzbrennstoffe erfolgt die Verbrennung der in den Hochofen eingeblasenen Brennstoffe im homogenen oder im heterogenen Zustand. Bei der homogenen Verbrennung sind die Reaktionspartner Methan und Sauerstoff gasig und die Kohle verbrennt in einer heterogenen Gas-Feststoffreaktion, bei welcher die entgaste Kohle durch die Grenzschicht- und die Porendiffusion, die 80 bis 90% der Gesamtreaktionszeit betragen kann, aufgeschlossen werden muss bevor es in einer chemischen Reaktion mit Sauerstoff zu CO₂ oxidiert. Daraus abgeleitet benötigt die homogene Methanverbrennung nur 10 bis 20% der Gesamtverbrennungszeit eines Kohlekorns. In den Verbrennungsgasstrom wird das Methan im stöchiometrischen Verhältnis [1 mol CH₄ + 2 mol O₂] eingemischt. Nach Eintritt in den Hochofen verbrennt das Methan durch die homogene Reaktion vor der wesentlich langsameren „heterogenen“ Gas-Feststoffreaktion des Kohlenstaubs zu H₂O und CO₂. Durch die Entgasung der Einblaskohle liegt zum Zeitpunkt der Gasverbrennung ein Überschuss an Brennstoff vor, so dass der Sauerstoff vor der langsameren Kohlenstoffoxidation in den Verbrennungsprodukten CO₂ und H₂O gebunden ist. Mit zunehmender CH₄-Verbrennung steigt der H₂O- und der CO₂-Partialdruck im Hüllstrahl proportional zur Sauerstoffabnahme an. Der Kohlenstoffumsatz erfolgt dann gemäß der Boudouard-Reaktion [CO₂ + C → 2CO] und der heterogenen Wassergasreaktion [H₂O + C → H₂ + CO] mit der Reduktion der Verbrennungsprodukte durch die Char der Einblaskohle.

[0010] Durch die Reaktionsfolge:

1. Oxidation des Methans – CH₄ + 2O₂ → CO₂ + 2H₂O – homogene Reaktion

2. Reduktion der Verbrennungsprodukte – CO₂ + C_{PCI} → 2CO – heterogene Reaktion

H₂O + C_{PCI} → CO + H₂ – heterogene Reaktion

ist eine Absenkung der adiabaten Verbrennungstemperatur auf 2300°C durch Einblasen von CO₂ mit Kohlenstaub gewährleistet. Die nicht oxidierten Kohlenwasserstoffverbindungen, erzeugt durch die Entgasung der

Einblaskohle, dissoziieren über 1250°C in C und H₂ und erhöhen durch das H₂ die Reduktionsgasmenge und der Kohlenstoff reduziert vorrangig durch seine geringe Partikelgröße die Produkte CO₂ und H₂O zu CO und H₂.

[0011] Das Fließbild **Fig. 1** zeigt den Prozessweg und die Komponenten zur CO₂-Emissionsfreien Roheisenschmelzung mit Hilfe eines Hochofens. Durch die Sauerstoffverbrennung besteht das Gichtgas vornehmlich aus CO, CO₂ und H₂. Nach Abscheidung des Kohlendioxids aus dem gereinigten Toppgas wird dieses als Reduktionsgas in zwei Ebenen in den Hochofen eingeblasen. Die Zuführung von ca. 75% der Reduktionsgasmenge erfolgt auf 900°C erhitzt in den unteren HO-Schacht und in der Blasformenebene werden die restlichen 25% der Reduktionsgase bei Umgebungstemperatur mit Hilfe der Einblasvorrichtung, **Fig. 2**, in den Hochofen eingebracht. Das Reduktionsgas zur Vorreduktion, injiziert in den HO-Schacht, kann wegen des „Metal Dusting“ in einem metallischen Erhitzer indirekt nur auf 350°C erwärmt werden und wird daher erst vor dem Eintritt in den Hochofen mittels Plasmabrenner von 350°C auf 900°C erhitzt. Zur Vergrößerung der Raceway und zur Erhöhung der Reduktionsleistung wird dem unteren CO-Recyclinggasstrom Wasserstoff zugegeben.

[0012] Die Methanisierung des aus dem Toppgas des Hochofens entfernten Kohlendioxids mit Wasserstoff z. B. mit Hilfe einer kombinierten Hochtemperaturolektrolyse mit CO₂-Methanisierung, Wirkungsgrad $\eta = 0,87$, erzeugt einen gasigen, hochreaktiven kohlenstoffarmen im Hochofenprozess einsetzbaren Ersatzbrennstoff. Die Hochtemperaturolektrolyse nutzt die Exothermie der CO₂-Methanisierung zur Verdampfung des zu spaltenden Wassers.

[0013] Eine Teilmenge des Methans dient in den äußeren Ringraum der Einblasvorrichtung eingeblasen, vermischt mit dem zuvor in den Ringraum der Einblasvorrichtung injizierten Sauerstoff, als gasiger Ersatzbrennstoff und erzeugt durch die Verbrennung die notwendige Betriebstemperatur im Hochofen. Dem Methanstrom wird, wie zuvor erwähnt, Kohlendioxid zur Absenkung der adiabaten Verbrennungstemperatur in der Raceway zugemischt und ein Teil des CH₄/CO₂-Gasstroms dient als ein den HO-Prozess unterstützendes Treibgas zum Einbringen des Kohlestaubs in die Rotationsmischkammer.

[0014] Zur vollständigen Nutzung des, mit dem abgeschiedenen Kohlendioxid und Wasserstoff erzeugten, Methans wird eine Direktreduktionsanlage in die Hochofenanlage integriert. Das Produkt der Direktreduktionsanlage – Hot Briquetted Iron (HBI) – als Einsatzstoff in vorhandenen Hochöfen vermindert durch den Fe-Gehalt von 90–95% die Reduktionsarbeit und senkt damit den CO₂-Ausstoß und das in den Heißwind eingeblasene Methan ersetzt bei der Verbrennung anteilig die Einblaskohle und verringert mit dem Einsatz von HBI die Kohlendioxidproduktion in existenten Hochöfen. Die Verwendung von HBI erhöht die Produktivität eines Hochofens, denn bei einem Anstieg des Eisengehaltes der Hochofenbeschickung um 10% steigt parallel die Hochofenleistung um ca. 8%. Außerdem steigert die Erhöhung des Wasserstoffgehalts um 10% im Reduktionsgas die Reduktionsgeschwindigkeit auf das Dreifache.

[0015] Durch diese Vorgehensweise ist es möglich, bei vorhandenen Hochöfen trotz verringertem Kohlenstoffinsatz bei reduziertem CO₂-Ausstoß die Roheisenproduktion zu erhöhen! Nach dem ULCOS-TGRBF Programm ist es dem Fließbild – Version 1 – zufolge vorgesehen, dem Hochofen zur Erschmelzung von 1000 kg Roheisen Eisenerz 209 kg Koks zu chargieren und als Ersatzbrennstoff 180 kg Kohlenstaub einzublasen. Die Mengen detailliert:

C [Koks+PCI]:

Koks = 15314 mol C

PCI = 12140 mol C

Σ C = 27454 mol C

- 7268 mol C zur CO₂ und H₂O-Regeneration

= 20186 mol C + 20186 mol O → 20186 mol CO Reduktionsgas

Im Vergleich das Reaktionsschema Kohlenstoff - gegenüber Methanverbrennung

Kohlenstoffverbrennung - ULCOS Methanverbrennung - neues Hochofenverfahren

$2C + 2 O_2 \rightarrow 2 CO_2$	$CH_4 + 2 O_2 \rightarrow CO_2 + 2 H_2O$
+ $2 C \quad \Sigma 4 C$	+ + $C \quad 2 C \quad \Sigma 3 C$
↓	↓ ↓
$4 CO \quad \Sigma 4 CO$	$2 CO \quad 2 CO + 2 H_2 \quad \Sigma 4 CO + 2 H_2$

Tabelle 1

Stoffmengen Kohlenstoffverbrennung - ULCOS gegenüber Methanverbrennung

Medium	Menge		C-Gehalt	Menge C [kg]	mol _{ULCOS}	mol _{HO-neu}
	[Nm ³]	[kg]				
Sauerstoff - O ₂ bzw. O	226 -	323 -	- -	- -	10093 * 2 = 20185 O	10000 * 2 = 20000 O
Kohlenstaub	-	180	0,81	145,8	12140	~ 11000 ¹⁾ 5000 CH₄
Koks	-	209	0,88	183,9	15314	15000

Tabelle 2

$$\Sigma C \sim 27454 \quad \Sigma C = 26000$$

¹⁾ zur CO₂ + H₂O Regeneration

[0016] Im Vergleich zur ULCOS – Version 1 verringert sich der Kohlenstoffeinsatz, gemäß Tabelle 2, im vorgestellten Hochofenverfahren durch die Methanverbrennung von 27454 mol C um ~6% auf 26000 mol C und die Reduktionsgasmenge, Tabelle 1, erhöht sich auf das 1,5fache von 4CO auf 4CO + 2H₂.

Schlussfolgerung:

[0017] Die Anwendung des vorgenannten Hochofenverfahrens mit Topgasrecycling unter Verwendung von mit Hilfe erneuerbarer Energien erzeugtem Wasserstoff und durch die Integration einer Direktreduktionsanlage, in Fig. 1 dargestellt, ermöglicht eine CO₂-Emissionsfreie Roheisenschmelzung.

Die Vorteile des vorgestellten Hochofenverfahrens:

1. CO₂-Emissionsfreies Hochofenverfahren.
2. Nur Modifizierung eines etablierten Verfahrens, keine Neuentwicklung.
3. Mit Hilfe erneuerbarer Energien erzeugtem Wasserstoffs eine Methanisierung des abgeschiedenen Kohlendioxids, statt dessen Deponierung.
4. Durch Verwendung von HBI und SNG Verbesserung der CO₂-Bilanz und Produktionssteigerung vorhandener Hochofen.
5. Einbindung von CO₂-haltigen Abgasen vorhandener Anlagen.
6. Verminderung des Kohlenstoffeinsatzes.
7. Produktionssteigerung durch das Topgasrecycling mit der Vorreduzierung nach AM-Gent > 45%.
8. Produktivitätszuwachs durch die Methanverbrennung = Wasserstoffreduktion um ~50%.

[0018]

Zeichenerklärung zu Fig. 1:

Komponenten

Pos.	Benennung
A	Hochofen
B	CO ₂ -Abscheidung
C	CO-Erhitzer
D	HT-Elektrolyse
E	Einblasvorrichtung
F	DRI-Anlage
G	Vorh. Hochofen
H	Plasmabrenner
J	Methanisierungsanlage

Stoffströme

Pos.	Beschreibung
1	Feststoffe – Erz, Koks ...
2	Topgas
3	Kohlendioxid
4	CO ₂ – Abfallgas
5	Kohlenmonoxid
6	Kohlenmonoxid, T = 350°C
7	Kohlenstaub
8	Sauerstoff
9	Kohlenmonoxid, T = 900°C
10	Wasserstoff
11	HBI
12	Methan
13	Wasser

Zeichenerklärung zu Fig. 2:

Komponenten:

1	Hochofenwand
2	Hochofenausmauerung
3	CO – Düsenlanze, zentraler Kanal
4	Keramische Düse
5	Rotationsmischkammer
6	Elastische Auflage
7	äußerer Kanal – Methan, Sauerstoff, Kohlendioxid und Kohlenstaub

Reaktionen:

	Oxidation des Methans
I	homogene Reaktion $\text{CH}_4 + 2 \text{O}_2 = \text{CO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$
	Reduktion des Kohlendioxids und des Wasserdampfs
II	heterogene Reaktionen $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ $\text{H}_2\text{O} + \text{C} = \text{H}_2 + \text{CO}$

Stoffströme und Bereiche:

a	Kohlenmonoxid und Wasserstoff
b	Kohlenstaub mit Methan und Kohlendioxid als Treibgas
c	Sauerstoff
d	CH_4 und CO_2
e	Kernbereich, Kernstrahl
f	CO – Kernstrahl
g	Gesamtstrahl
h	Koks

Patentansprüche

1. CO_2 -Emissionsfreies Hochofenverfahren durch Topgasrecycling mit CO_2 -Abscheidung, der Nutzung von erneuerbaren Energien und Integration einer Direktreduktionsanlage, **dadurch gekennzeichnet**, dass rückgeführtes von CO_2 befreites Gichtgas als Reduktionsgas dem Hochofen in zwei Ebenen wie zuvor beschrieben zugeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Reduktionsgase durch den zentralen Kanal und die Oxidations- und Reduktionsstoffe, Sauerstoff, Methan, Kohlendioxid und Kohlenstaub durch den äußeren Ringkanal der Vorrichtung in den Hochofen eingeblasen werden und dass in die Rotationsmischkammer der Kohlenstaub mittels tangential angeordneter Düsen durch das Treibgas Methan mit Kohlendioxid versetzt eingeblasen wird.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das abgeschiedene Kohlendioxid in einer Konversionsanlage mit Hilfe von, aus erneuerbaren Energien oder biotechnisch erzeugtem, Wasserstoff zu Methan umgesetzt wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Absenkung der adiabaten Flammentemperatur bei der homogenen Methanverbrennung durch die gegenüber der homogenen Oxidation verzögert ablaufenden heterogenen Reduktion mit dem eingeblasenen Kohlenstaub zu Kohlenmonoxid erfolgt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass mit dem synthetischem Methan und mit Hilfe von erneuerbaren Energien erzeugtem Wasserstoff eine Direktreduktionsanlage

ge betrieben wird. Das CO₂-haltige Abgas der DRI-Anlage wird dem Rohgasstrom vor der CO₂-Abscheidung zugegeben.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Produkt der DRI-Anlage, der Eisenschwamm als Hot Briquetted Iron vorhandenen Hochöfen als vorreduziertes, eisenhaltiges Material zugeführt wird.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein Teilstrom des synthetischen Methans zur Minderung des CO₂-Ausstosses in vorhandene Hochöfen als wasserstoffhaltiger Brennstoff eingeblasen wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass weitere in einem integrierten Stahlwerk anfallenden, stickstoffarmen Verbrennungsgase zum Zwecke der Dekarbonisierung der Stahlwerksabgase der CO₂-Abscheidung zugeführt und zu CH₄ synthetisiert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der im Prozess genutzte Wasserstoff mittels aus erneuerbaren Energien gewonnenen Strom erzeugt wird bzw. auf anderem Weg erzeugter Wasserstoff bzw. wasserstoffhaltige Gase oder Gemische aus diesen eingesetzt werden.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass statt dem durch Konvertierung des Kohlendioxids mit dem Wasserstoff erzeugten Methans Erdgas als Brennstoff eingesetzt wird.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

