

(19)



LE GOUVERNEMENT
DU GRAND-DUCHÉ DE LUXEMBOURG
Ministère de l'Économie

(11)

N° de publication :

LU103088

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(21)

N° de dépôt: LU103088

(51)

Int. Cl.:

C21B 5/06, C21B 7/00, C21B 13/00, C21B 13/14, C21C 5/38

(22)

Date de dépôt: 16/03/2023

(30)

Priorité:

(72)

Inventeur(s):

TENHUMBERG Nils – Allemagne

(43)

Date de mise à disposition du public: 16/09/2024

(74)

Mandataire(s):

THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –
45143 Essen (Allemagne)

(47)

Date de délivrance: 16/09/2024

(73)

Titulaire(s):

THYSSENKRUPP AG – 45143 Essen (Allemagne),
THYSSENKRUPP INDUSTRIAL SOLUTIONS AG –
45143 Essen (Allemagne)

(54)

Anlagenverbund zur Stahlerzeugung sowie ein Verfahren zum Betreiben des Anlagenverbundes.

(57)

Die vorliegende Erfindung betrifft einen Anlagenverbund (1) zur Stahlerzeugung umfassend einen Hochofen (2) zur Roheisenerzeugung, ein Konverterstahlwerk (3) zur Rohstahlerzeugung, ein Hochofengas-Leitungssystem (4) für Gase, die bei der Roheisenerzeugung anfallen, ein Verbundleitungssystem (5) für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, eine Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6), eine Chemieanlage (7), eine Wasserstoffleitung (8) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen, wobei die Wasserstoffleitung (8) in Strömungsrichtung vor der Chemieanlage (7) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, eine Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase, wobei die Mischvorrichtung (9) in Strömungsrichtung nach der Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) und vor der Chemieanlage (7) angeordnet ist, wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) und die Wasserstoffleitung (8) an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6).

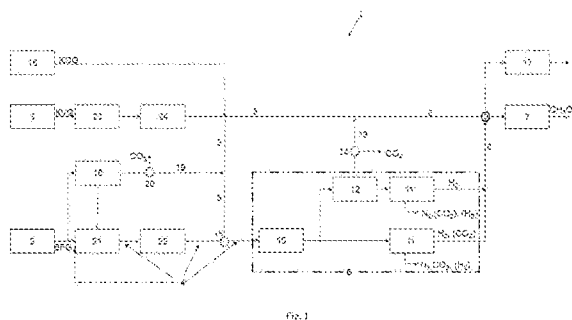


Fig. 1

Die Erfindung betrifft einen Anlagenverbund zur Stahlerzeugung sowie ein Verfahren zum Betreiben des Anlagenverbundes

5

Stand der Technik

Der Anlagenverbund zur Stahlerzeugung umfasst einen Hochofen zur Roheisenerzeugung, ein Konverterstahlwerk zur Rohstahlerzeugung, ein Verbundleitungssystem für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, sowie eine an das
10 Gasleitungssystem angeschlossene Chemieranlage.

In der Chemieranlage können chemische Produkte aus den zugeführten Gasmengenströmen erzeugt werden, welche jeweils die Komponenten des Endproduktes enthalten.

Im Hochofen wird aus Eisenerzen, Zuschlägen sowie Koks und anderen Reduktionsmitteln wie
15 Kohle, Öl, Gas, Biomassen, aufbereiteten Altkunststoffen oder sonstigen Kohlenstoff und/oder Wasserstoff enthaltenden Stoffen Roheisen gewonnen. Als Produkte der Reduktionsreaktionen entstehen zwangsläufig CO, CO₂, und insbesondere Wasserstoff und Wasserdampf. Ein aus dem Hochofenprozess abgezogenes Hochofengichtgas, welches auch als Gichtgas und/oder Hochofengas bezeichnet wird, weist neben den vorgenannten Bestandteilen häufig einen hohen
20 Gehalt an Stickstoff auf und kann auch Verunreinigungen enthalten. Die Gasmenge und die Zusammensetzung des Hochofengichtgases sind abhängig von den Einsatzstoffen und der Betriebsweise und unterliegen Schwankungen. Typischerweise enthält Hochofengichtgas jedoch 35 bis 60 Vol.-% N₂, 20 bis 30 Vol.-% CO, 20 bis 30 Vol.-% CO₂ und 2 bis 15 Vol.-% H₂. Rund 30 bis 40% des bei der Roheisenerzeugung entstehenden Hochofengichtgases werden im Regelfall
25 zum Aufheizen des Heißwindes für den Hochofenprozess in Winderhitzern eingesetzt; die verbleibende Gichtgasmenge kann beispielsweise in anderen Werksbereichen auch extern zu Heizzwecken oder zur Stromerzeugung genutzt werden.

Im Konverterstahlwerk, das dem Hochofenprozess nachgeschaltet ist, wird Roheisen zu Rohstahl
30 umgewandelt. Durch Aufblasen von Sauerstoff auf flüssiges Roheisen werden störende Verunreinigungen wie Kohlenstoff, Silizium, Schwefel und Phosphor entfernt. Da die Oxidationsprozesse eine starke Wärmeentwicklung verursachen, wird häufig Schrott in Mengen bis zu 25% bezogen auf das Roheisen als Kühlmittel zugesetzt. Ferner werden Kalk zur Schlackenbildung und Legierungsmittel zugegeben. Aus dem Stahlkonverter wird ein
35 Konvertergas abgezogen, welches einen hohen Gehalt an CO aufweist und ferner Stickstoff,

Wasserstoff und CO₂ enthält. Eine typische Konvertergaszusammensetzung weist 50 bis 70 Vol.-% CO, 10 bis 20 Vol.-% N₂, ca. 15 Vol.-% CO₂ und ca. 2 Vol.-% H₂ auf. Das Konvertergas wird entweder abgefackelt oder bei modernen Stahlwerken aufgefangen und einer energetischen Nutzung zugeführt.

5

Der Anlagenverbund kann optional im Verbund mit einer Kokerei betrieben werden. In diesem Fall umfasst der eingangs beschriebene Anlagenverbund zusätzlich eine Koksofenanlage, in der Kohle durch einen Verkokungsprozess in Koks umgewandelt wird. Bei der Verkokung von Kohle zu Koks fällt ein Koksofengas an, welches einen hohen Wasserstoffgehalt und beachtliche Mengen an CH₄ enthält. Typischerweise enthält Koksofengas 55 bis 70 Vol.-% H₂, 20 bis 30 Vol.-% CH₄, 5 bis 10 Vol.-% N₂ und 5 bis 10 Vol.-% CO. Zusätzlich weist das Koksofengas Anteile von CO₂, NH₃ und H₂S auf. In der Praxis wird das Koksofengas beispielsweise in verschiedenen Werksbereichen zu Heizzwecken und im Kraftwerksprozess zur Stromerzeugung genutzt. Darüber hinaus ist es bekannt, Koksofengas zusammen mit Hochofengichtgas oder mit Konvertergas zur Erzeugung von Synthesegasen zu verwenden.

10

15

In einem integrierten Hüttenwerk, welches im Verbund mit einer Kokerei betrieben wird, werden etwa 40 bis 50% der als Hochofengichtgas, Konvertergas und Koksofengas anfallenden Rohgase für verfahrenstechnische Prozesse eingesetzt. Etwa 50 bis 60 % der entstehenden Gase werden dem Kraftwerk zugeführt und zur Stromerzeugung genutzt. Der im Kraftwerk erzeugte Strom deckt den Strombedarf für die Roheisen- und Rohstahlerzeugung. Im Idealfall ist die Energiebilanz geschlossen, so dass abgesehen von Eisenerzen und Kohlenstoff in Form von Kohle und Koks als Energieträger kein weiterer Eintrag von Energie notwendig ist und außer Rohstahl und Schlacke kein Produkt den Anlagenverbund verlässt.

20

25

Problematisch im Stand der Technik sind hohe CO₂-Emissionen, insbesondere ein großer CO₂-Footprint.

Vor diesem Hintergrund liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, die Nachhaltigkeit des Gesamtprozesses und die CO₂-Bilanz zu verbessern, insbesondere die CO₂-Emissionen, und den CO₂-Footprint zu reduzieren sowie gleichzeitig einen stabilen, kontinuierlichen und nachhaltigen Betrieb von Anlagen zu ermöglichen.

30

Diese Aufgabe wird mit einem Anlagenverbund zur Stahlerzeugung nach Anspruch 1 und einem Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes nach Anspruch 8 gelöst.

- 5 Der Gegenstand der Erfindung ist ein Anlagenverbund zur Stahlerzeugung umfassend einen Hochofen zur Roheisenerzeugung, ein Konverterstahlwerk zur Rohstahlerzeugung, ein Hochofengas-Leitungssystem für Gase, die bei der Roheisenerzeugung anfallen, ein Verbundleitungssystem für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, insbesondere umfassend kohlenstoffhaltige Gase, beispielsweise CO-haltige Gase, CO₂-haltige Gase oder eine Kombination hiervon, eine Anlage zur Wasserstoffgewinnung, eine Chemieranlage, wobei die Chemieranlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, eine Wasserstoffleitung für wasserstoffhaltige Gase, insbesondere Wasserstoff, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen, wobei die Wasserstoffleitung in Strömungsrichtung vor der Chemieranlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, eine Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase, insbesondere Wasserstoff, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen und für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, wobei die Mischvorrichtung in Strömungsrichtung nach der Anlage zur Wasserstoffgewinnung und vor der Chemieranlage angeordnet ist, insbesondere an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, zur Mischung von bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallenden Gasen mit bei der Wasserstoffgewinnung anfallenden wasserstoffhaltigem Gas, insbesondere Wasserstoff, beispielsweise zur Einstellung des stöchiometrischen Verhältnisses der Gaszusammensetzung in dem Verbundleitungssystem vor dem Input in die Chemieranlage, wobei das Hochofengas-Leitungssystem an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage zur Wasserstoffgewinnung und die Wasserstoffleitung an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Wasserstoffgewinnung.

- Ein weiterer Gegenstand der Erfindung ist ein Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes zur Stahlerzeugung, der einen Hochofen zur Roheisenerzeugung, ein Konverterstahlwerk zur Rohstahlerzeugung, ein Hochofengas-Leitungssystem für Gase, die bei der Roheisenerzeugung anfallen, ein Verbundleitungssystem für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, insbesondere umfassend kohlenstoffhaltige Gase, beispielsweise CO-haltige Gase, CO₂-haltige Gase oder eine Kombination hiervon, eine Anlage zur Wasserstoffgewinnung, eine Chemieranlage, wobei die Chemieranlage an das

Verbundleitungssystem angeschlossenen ist, eine Wasserstoffleitung für wasserstoffhaltige Gase, insbesondere Wasserstoff, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen, wobei die Wasserstoffleitung in Strömungsrichtung vor der Chemieanlage an das Verbundleitungssystem angeschlossenen ist, eine Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase, insbesondere Wasserstoff, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen und für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, wobei die Mischvorrichtung in Strömungsrichtung nach der Anlage zur Wasserstoffgewinnung und vor der Chemieanlage angeordnet ist, insbesondere an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, insbesondere zur Mischung von bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallenden Gasen mit bei der Wasserstoffgewinnung anfallenden wasserstoffhaltigem Gas, insbesondere Wasserstoff, beispielsweise zur Einstellung eines stöchiometrischen Verhältnisses der Gaszusammensetzung in dem Verbundleitungssystem vor dem Input in die Chemieanlage, wobei das Hochofengas-Leitungssystem an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage zur Wasserstoffgewinnung und die Wasserstoffleitung an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Wasserstoffgewinnung, wobei die Mischvorrichtung ein Mischgas einstellt, insbesondere mit der Mischvorrichtung ein Mischgas eingestellt wird, mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividend mit dem Differenzbetrag der molaren Mengen an Wasserstoff als Minuend und Kohlendioxid als Subtrahend und aus einem Divisor mit dem Summenbetrag der molaren Mengen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.

Die vorliegende Erfindung kann in einem Anlagenverbund zur Stahlerzeugung sowie in einem Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes verwirklicht sein. Die Vorrichtungen des Anlagenverbundes können in einfacher und/oder mehrfacher Ausführung vorhanden sein.

Der erfindungsgemäße Anlagenverbund zur Stahlerzeugung weist gegenüber konventionellen Anlagenverbunden die Vorteile auf, dass das in dem Hochofengas enthaltene Kohlenmonoxid mittels Wassergas-Shift-Reaktion in Wasserstoff umgewandelt wird und aus den Hüttengasen Wasserstoff bzw. ein wasserstoffreiches Gas für die Umsetzung kohlenstoffhaltiger Gase, beispielsweise CO-haltige Gase, CO₂-haltige Gase oder eine Kombination hiervon, in der Chemieanlage bereitgestellt werden kann und somit ohne die Bereitstellung von externen Wasserstoff CO und/oder CO₂ in größeren Mengen chemisch gebunden und die CO₂-Emissionen reduziert werden können. Die stoffliche Verwertung des Hochofengases und die Gewinnung von

Wasserstoff aus dem Hochofengas ermöglicht eine effizientere Nutzung des Hochofengases anstelle der konventionellen Verstromung des Hochofengases im Kraftwerk.

Das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes weist gegenüber konventionellen Verfahren die Vorteile auf, dass neben der Gewinnung von Wasserstoff bzw. eines Synthesegases für die Umsetzung in der Chemieanlage auch CO₂ abgetrennt wird, welches in der Chemieanlage umgesetzt werden kann und/oder anderweitig mittels Carbon Capture and Utilization oder Carbon Capture and Storage verwertet werden kann und so die CO₂-Emissionen reduziert werden können.

10

Detaillierte Beschreibung der Erfindung

In der Chemieanlage können chemische Produkte aus den zugeführten Gasmengenströmen erzeugt werden, welche jeweils die Komponenten des Endproduktes enthalten. Chemische Produkte können beispielsweise Methanol oder höhere Alkohole oder auch andere Kohlenwasserstoffverbindungen sein. Die Leistung, insbesondere der Output der Chemieanlage wird in Abhängigkeit der diesen Anlagen zugeführten Gasmengen geregelt. Eine wesentliche Herausforderung für die Chemieanlage ist die dynamische Fahrweise bei wechselnden Anlagenlasten, wobei der erfindungsgemäße Anlagenverbund/das erfindungsgemäße Verfahren zum Betreiben des Anlagenverbundes eine Stabilisierung der Fahrweise ermöglicht. Die Betriebsweise bei wechselnden Anlagenlasten kann insbesondere dadurch realisiert werden, dass die Chemieanlage eine Mehrzahl parallel geschalteter kleiner Einheiten aufweist, die je nach zur Verfügung stehenden Nutzgasmengenstrom einzeln zu- oder abgeschaltet werden. Beispielsweise können in einer oder mehreren Einheiten auch unterschiedliche chemische Produkte hergestellt werden.

Zur Herstellung von Kohlenwasserstoffverbindungen, beispielsweise Methanol oder höheren Alkoholen, muss ein im Wesentlichen aus CO und/oder CO₂ und H₂ bestehendes Gasgemisch bereitgestellt werden, welches die Komponenten Kohlenmonoxid und/oder Kohlenstoffdioxid und Wasserstoff im richtigen Verhältnis enthält. Als Wasserstoffquelle kann Hochofengichtgas und/oder Konvertergas und/oder Koksofengas verwendet werden, wobei zusätzlicher Wasserstoff durch Konvertierung des CO-Anteils durch eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion erzeugt werden kann. Beispielsweise kommen auch weitere Wasserstoffquellen, insbesondere die Wasserelektrolyse in Betracht. Zur Bereitstellung von CO kann beispielsweise Konvertergas herangezogen werden. Als CO₂-Quelle kann beispielsweise Hochofengichtgas und/oder Konvertergas dienen.

35

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einer Anlage zur Wasserstoffgewinnung eine Anlage zur Wasserstofferzeugung, insbesondere eine Anlage verstanden, welche Wasserstoff bereitstellt, beispielsweise eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage insbesondere durch Konvertierung des CO-Anteils durch eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion ($\text{CO} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{CO}_2 + \text{H}_2$) erzeugt, eine Anlage zur Wasserstoffabtrennung, insbesondere eine Wasserstoff-Trennmembran-Anlage oder eine Kombination hiervon verstanden.

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung ist die Anlage zur Wasserstoffgewinnung eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage und/oder eine Wasserstoff-Trennmembran-Anlage, insbesondere ist die Wasserstoff-Trennmembran-Anlage in Strömungsrichtung der Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage nachgeschaltet.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst die Anlage zur Wasserstoffgewinnung zusätzlich eine erste Anlage zur CO_2 -Abtrennung, insbesondere eine CO_2 -Wäsche, wobei die erste Anlage zur CO_2 -Abtrennung in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage vorgeschaltet ist, wobei die erste Anlage zur CO_2 -Abtrennung mit einer ersten CO_2 -Leitung an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, insbesondere ist die erste CO_2 -Leitung an das Verbundleitungssystem in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem angeschlossen.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine erste CO_2 -Weiche für CO_2 das bei der ersten Anlage zur CO_2 -Abtrennung anfällt, wobei die erste CO_2 -Weiche an die erste CO_2 -Leitung angeschlossen ist.

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich mindestens eine steuerbare Gasverteilungsvorrichtung insbesondere eine betrieblich steuerbare Gasverteilungsvorrichtung zur Aufteilung der dem Hochofengas-Leitungssystem und dem Verbundleitungssystem zugeführten Hochofen-Gasmengenströme, insbesondere ist die steuerbare Gasverteilungsvorrichtung zwischen dem Hochofengas-Leitungssystem und dem Verbundleitungssystem angeordnet. Der Hochofen-Gasmengenstrom wird mit der Gasverteilungsvorrichtung bevorzugt so zwischen dem Hochofengas-Leitungssystem und dem Verbundleitungssystem aufgeteilt, das nach chemischer Konversion des Gasmengestroms des Hochofengas-Leitungssystem in der Wasserstofferzeugungsanlage und Mischen des erzeugten Wasserstoffstroms bzw. wasserstoffhaltigen Stoffstroms mit dem

Gasmengenstrom des Verbundleitungssystem in der Mischvorrichtung ein Mischgas mit einen stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividend mit dem Differenzbetrag der molaren Mengen an Wasserstoff als Minuend und Kohlendioxid als Subtrahend und aus einem Divisor mit dem Summenbetrag der molaren Mengen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid im Bereich von 1 bis 10, vorzugsweise im Bereich von 1,2 bis 6, besonders bevorzugt im Bereich von 1,8 bis 4, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 1,9 bis 3 erzeugt wird.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einer Mischvorrichtung eine Vorrichtung verstanden, welche Gase und/oder Fluide miteinander mischt. Insbesondere kann eine Mischvorrichtung ausgewählt sein aus einer Gruppe von einer Venturidüse, einem Mischbehälter, einer Mixing Station, einem statischen Mischer, einem Ejektor, einem Rohrleitungs-T-Stück oder einer Kombination hiervon.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine Koksofenanlage, wobei die Koksofenanlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine Biotechnologeanlage, wobei die Biotechnologeanlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, insbesondere in Strömungsrichtung nach der Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist.

In der Biotechnologeanlage können biochemische Produkte aus den zugeführten Gasmengenströmen erzeugt werden, welche jeweils die Komponenten des Endproduktes enthalten.

In der Biotechnologeanlage können biochemische Produkte aus den zugeführten Gasmengenströmen erzeugt werden, welche jeweils die Komponenten des Endproduktes enthalten. Biologische Produkte können beispielsweise Alkohole (Ethanol, Butanol), Aceton oder organische Säuren sein. Insbesondere ist eine Biotechnologeanlage eine Fermentationsanlage ggf. auch ein Photobiologische Anlage.

Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung, insbesondere CO₂-Wäsche, wobei das Hochofengas-Leitungssystem an die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung und als eine Output-Leitung aus der zweiten Anlage zur

CO₂-Abtrennung eine zweite CO₂-Leitung strömungsabwärts an das Hochofengas-Leitungssystem angeschlossen ist und/oder an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, insbesondere die zweite CO₂-Leitung an das Verbundleitungssystem in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist.

5

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine zweite CO₂-Weiche für CO₂, welches bei der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung anfällt, wobei die zweite CO₂-Weiche an die zweite CO₂-Leitung angeschlossen ist.

10 In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich mindestens eine Anlage zur Hochofengaskompression, insbesondere Hochofengaskompressionsanlage, wobei die Anlage zur Hochofengaskompression an das Hochofengas-Leitungssystem angeschlossen ist.

15 Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine Anlage zur Hochofengasreinigung, insbesondere Hochofengasreinigungsanlage, wobei die mindestens eine Anlage zur Hochofengasreinigung an das Hochofengas-Leitungssystem angeschlossen ist.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einer Anlage zur Hochofengasreinigung eine
20 Anlage verstanden, welche diejenigen Bestandteile des Hochofengases wenigstens teilweise abtrennt, welche sich unvorteilhaft, insbesondere den Wirkungsgrad betreffend in nachgeordneten Prozessschritten auswirken könnten. Insbesondere wird unter einer Hochofengasreinigung eine ein- oder mehrstufige Reinigung, insbesondere durch mechanische Sortiervverfahren wie beispielsweise einer Trennung ausgewählt aus einer Gruppe von Dichte, Partikelgröße,
25 Partikelträgheit, Oberflächenbenetzbarkeit, Magnetisierbarkeit, elektrischer Beweglichkeit, durch absorptive Verfahren, durch katalytische Prozesse oder einer Kombination hiervon verstanden.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich mindestens eine Anlage zur Konvertergaskompression, insbesondere
30 Konvertergaskompressionsanlage.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine Anlage zur Konvertergasreinigung, insbesondere Konvertergasreinigungsanlage.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einer Anlage zur Konvertergasreinigung eine Anlage verstanden, welche diejenigen Bestandteile des Konvertergases wenigstens teilweise abtrennt, welche sich unvorteilhaft, insbesondere den Wirkungsgrad betreffend in nachgeordneten Prozessschritten auswirken könnten. Insbesondere wird unter einer Konvertergasreinigung eine

5 ein- oder mehrstufige Reinigung, insbesondere durch mechanische Sortierv Verfahren wie beispielsweise einer Trennung ausgewählt aus einer Gruppe von Dichte, Partikelgröße, Partikelträgheit, Oberflächenbenetzbarkeit, Magnetisierbarkeit, elektrischer Beweglichkeit, durch absorptive Verfahren, durch katalytische Prozesse oder einer Kombination hiervon verstanden.

10 Nach einer weiteren Ausführungsform der Erfindung stellt die Mischvorrichtung ein Mischgas ein mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividend mit dem Differenzbetrag der molaren Mengen an Wasserstoff als Minuend und Kohlendioxid als Subtrahend und aus einem Divisor mit dem Summenbetrag der molaren Mengen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid im Bereich von 1 bis 10, vorzugsweise im Bereich von 1,2 bis 6, besonders bevorzugt im Bereich von

15 1,8 bis 4, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 1,9 bis 3.

In einer weiteren Ausführungsform der Erfindung umfasst der Anlagenverbund zusätzlich eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung, insbesondere CO₂-Wäsche, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage vorgeschaltet ist,

20 wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung mit einer ersten CO₂-Leitung an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, insbesondere die erste CO₂-Leitung an das Verbundleitungssystem in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist und eine erste CO₂-Weiche für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung anfällt, wobei die erste CO₂-Weiche an die erste CO₂-

25 Leitung angeschlossen ist

und/oder eine zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung, insbesondere CO₂-Wäsche, wobei das Hochofengas-Leitungssystem an die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung und als eine Output-Leitung aus der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung eine zweite CO₂-Leitung strömungsabwärts an das Hochofengas-

30 Leitungssystem angeschlossen ist und/oder an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist, insbesondere die zweite CO₂-Leitung an das Verbundleitungssystem in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist und eine zweite CO₂-Weiche für CO₂, welches bei der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung anfällt, wobei die zweite CO₂-Weiche an die zweite CO₂-Leitung angeschlossen ist, wobei

35 mit der Mischvorrichtung und/oder der ersten CO₂-Weiche und/oder der zweiten CO₂-Weiche ein Mischgas für die Chemieanlage, insbesondere Mischgas aus dem Verbundleitungssystem als Input in die Chemieanlage eingestellt wird mit einem Stoffmengenanteil des in der

Mischvorrichtung und/oder der ersten CO₂-Weiche und/oder der zweiten CO₂-Weiche angefallenen Stoffmenge an CO₂, insbesondere abgetrennten CO₂-Gasstroms im Bereich von 5 Mol-% bis 45 Mol-%, vorzugsweise im Bereich von 8 Mol-% bis 40 Mol-%, besonders bevorzugt im Bereich von 15 Mol-% bis 35 Mol-% bezogen auf die aus dem Hochofen bei der Roheisenerzeugung anfallenden Stoffmenge an CO₂ und CO.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer lediglich ein Ausführungsbeispiel darstellenden Zeichnung erläutert. Es zeigt schematisch

Fig. 1 ein stark vereinfachtes Blockschaltbild eines erfindungsgemäßen Anlagenverbundes zur Stahlerzeugung (Die gestrichelt dargestellten Elemente sind optionale Ausführungsformen).

In der Fig. 1 ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ein Anlagenverbund 1 zur Stahlerzeugung mit einem Hochofen 2 zur Roheisenerzeugung, einem Konverterstahlwerk 3 zur Rohstahlerzeugung, einem Hochofengas-Leitungssystem 4 für Gase, die bei der Roheisenerzeugung anfallen, einem Verbundleitungssystem 5 für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, einer Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6, einer Chemieanlage 7, dargestellt. An das Verbundleitungssystem 5 ist die Chemieanlage 7 angeschlossen. Eine Wasserstoffleitung 8 für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen, ist in Strömungsrichtung vor der Chemieanlage 7 an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen. Eine Mischvorrichtung 9 für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen und für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, ist in Strömungsrichtung nach der Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6 und vor der Chemieanlage 7 angeordnet. Das Hochofengas-Leitungssystem 4 ist an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6 als eine Input-Leitung in die Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6 angeschlossen und die Wasserstoffleitung 8 ist an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6 als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6 angeschlossen.

Die Anlage zur Wasserstoffgewinnung 6 ist als eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage 10 und eine Wasserstoff-Trennmembran-Anlage 11, 11' dargestellt.

11/12

Eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung 12 ist in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage 11, 11' vorgeschaltet, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung 12 mit einer ersten CO₂-Leitung 13 an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen ist.

5 Eine erste CO₂-Weiche 14 für CO₂ das bei der CO₂-Abtrennung 12 anfällt ist an die erste CO₂-Leitung 13 angeschlossen.

Eine steuerbare Gasverteilungsvorrichtung 15 zur Aufteilung der dem Hochofengas-Leitungssystem 4 und dem Verbundleitungssystem 5 zugeführten Hochofen-Gasmengenströme ist zwischen dem Hochofengas-Leitungssystem 4 und dem Verbundleitungssystem 5 angeordnet. Eine Koksofenanlage 16 ist an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen.

10 Eine Biotechnologieanlage 17 ist an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen an das Verbundleitungssystem 5 in Strömungsrichtung nach der Mischvorrichtung 9 für wasserstoffhaltige Gase.

An eine zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung 18 ist das Hochofengas-Leitungssystem 4 als eine Input-Leitung in die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung 18 angeschlossen.

15 Als eine Output-Leitung aus der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung 18 ist eine zweite CO₂-Leitung 19 strömungsabwärts an das Hochofengas-Leitungssystem 4 und das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen.

Eine zweite CO₂-Weiche 20 für CO₂ das bei der zweiten CO₂-Abtrennung 19 anfällt ist an die zweite CO₂-Leitung 19 angeschlossen.

20 Eine Anlage zur Hochofengaskompression 21 ist an das Hochofengas-Leitungssystem 4 angeschlossen.

Eine Anlage zur Hochofengasreinigung 22 ist an das Hochofengas-Leitungssystem 4 angeschlossen.

25 Eine Anlage zur Konvertergaskompression 23 und eine Anlage zur Konvertergasreinigung 24 sind in Strömungsrichtung nach dem Konverterstahlwerk 3 zur Rohstahlerzeugung an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen.

Gewerbliche Anwendbarkeit

30

Anlagenverbund zur Stahlerzeugung und ein Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes der vorbeschriebenen Art können in der Produktion von Stahl eingesetzt werden.

Bezugszeichenliste

	1	= Anlagenverbund
5	2	= Hochofen
	3	= Konverterstahlwerk
	4	= Hochofengas-Leitungssystem
	5	= Verbundleitungssystem
	6	= Anlage zur Wasserstoffgewinnung
10	7	= Chemieanlage
	8	= Wasserstoffleitung
	9	= Mischvorrichtung
	10	= Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage
	11, 11'	= Wasserstoff-Trennmembran-Anlage
15	12	= erste Anlage zur CO ₂ -Abtrennung
	13	= erste CO ₂ -Leitung
	14	= erste CO ₂ -Weiche
	15	= steuerbare Gasverteilungsvorrichtung
	16	= Koksofenanlage
20	17	= Biotechnologieanlage
	18	= zweite Anlage zur CO ₂ -Abtrennung
	19	= zweite CO ₂ -Leitung
	20	= zweite CO ₂ -Weiche
	21	= Anlage zur Hochofengaskompression
25	22	= Anlage zur Hochofengasreinigung
	23	= Anlage zur Konvertergaskompression
	24	= Anlage zur Konvertergasreinigung
	BFG	= Hochofengas
30	KVG	= Konvertergas
	KOG	= Koksofengas
	_____	= wesentliche Elemente
	-----	= optionale Elemente
	- .. -	= Bezugslinie für Bezugszeichen

Patentansprüche

- 5 1. Anlagenverbund (1) zur Stahlerzeugung umfassend
 einen Hochofen (2) zur Roheisenerzeugung,
 ein Konverterstahlwerk (3) zur Rohstahlerzeugung,
 ein Hochofengas-Leitungssystem (4) für Gase, die bei der Roheisenerzeugung
 anfallen,
10 ein Verbundleitungssystem (5) für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder
 der Rohstahlerzeugung anfallen,
 eine Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6),
 eine Chemieanlage (7), wobei die Chemieanlage (7) an das Verbundleitungssystem
 (5) angeschlossen ist,
15 eine Wasserstoffleitung (8) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der
 Wasserstoffgewinnung anfallen, wobei die Wasserstoffleitung (8) in
 Strömungsrichtung vor der Chemieanlage (7) an das Verbundleitungssystem (5)
 angeschlossen ist,
20 eine Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der
 Wasserstoffgewinnung anfallen und für Gase, die bei der Roheisenerzeugung
 und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, wobei die Mischvorrichtung (9) in
 Strömungsrichtung nach der Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) und vor der
 Chemieanlage (7) angeordnet ist, wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an
25 die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) angeschlossen ist als eine Input-Leitung
 in die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) und die Wasserstoffleitung (8) an die
 Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) angeschlossen ist als eine Output-Leitung
 aus der Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6).
- 30 2. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage zur
 Wasserstoffgewinnung (6) eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage (10) und/oder eine
 Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (11, 11') ist, insbesondere die Wasserstoff-
 Trennmembran-Anlage (11, 11') in Strömungsrichtung der Wasser-Gas-Shift-Reaktion-
 Anlage (10) nachgeschaltet ist.

3. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) zusätzlich eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) umfasst, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (11, 11') vorgeschaltet ist, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) mit einer ersten CO₂-Leitung (13) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, insbesondere die erste CO₂-Leitung (13) an das Verbundleitungssystem (5) in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist.
4. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund (1) zusätzlich eine erste CO₂-Weiche (14) für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) anfällt umfasst, wobei die erste CO₂-Weiche (14) an die erste CO₂-Leitung (13) angeschlossen ist.
5. Anlagenverbund (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund (1) zusätzlich mindestens eine steuerbare Gasverteilungsvorrichtung (15) zur Aufteilung der dem Hochofengas-Leitungssystem (4) und dem Verbundleitungssystem (5) zugeführten Hochofen-Gasmengenströme umfasst, insbesondere die steuerbare Gasverteilungsvorrichtung (15) zwischen dem Hochofengas-Leitungssystem (4) und dem Verbundleitungssystem (5) angeordnet ist.
6. Anlagenverbund (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund (1) zusätzlich eine zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) umfasst, wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) und als eine Output-Leitung aus der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) eine zweite CO₂-Leitung (19) strömungsabwärts an das Hochofengas-Leitungssystem (4) angeschlossen ist und/oder an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, insbesondere die zweite CO₂-Leitung (19) an das Verbundleitungssystem (5) in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist.
7. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund (1) zusätzlich eine zweite CO₂-Weiche (20) für CO₂, welches bei der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung (19) anfällt umfasst, wobei die zweite CO₂-Weiche (20) an die zweite CO₂-Leitung (19) angeschlossen ist.

8. Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes (1) zur Stahlerzeugung, der einen Hochofen (2) zur Roheisenerzeugung, ein Konverterstahlwerk (3) zur Rohstahlerzeugung, ein Hochofengas-Leitungssystem (4) für Gase, die bei der Roheisenerzeugung anfallen, ein Verbundleitungssystem (5) für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, eine Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6), eine Chemieanlage (7), wobei die Chemieanlage (7) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, eine Wasserstoffleitung (8) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen, wobei die Wasserstoffleitung (8) in Strömungsrichtung vor der Chemieanlage (7) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, eine Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Wasserstoffgewinnung anfallen und für Gase, die bei der Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, wobei die Mischvorrichtung (9) in Strömungsrichtung nach der Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) und vor der Chemieanlage (7) angeordnet ist, wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) und die Wasserstoffleitung (8) an die Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6) angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Wasserstoffgewinnung (6), wobei die Mischvorrichtung (9) ein Mischgas einstellt mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividend mit dem Differenzbetrag der molaren Mengen an Wasserstoff als Minuend und Kohlendioxid als Subtrahend und aus einem Divisor mit dem Summenbetrag der molaren Mengen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid.
9. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Mischvorrichtung (9) ein Mischgas einstellt mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividend mit dem Differenzbetrag der molaren Mengen an Wasserstoff als Minuend und Kohlendioxid als Subtrahend und aus einem Divisor mit dem Summenbetrag der molaren Mengen an Kohlenmonoxid und Kohlendioxid im Bereich von 1 bis 10, vorzugsweise im Bereich von 1,2 bis 6, besonders bevorzugt im Bereich von 1,8 bis 4, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 1,9 bis 3.
10. Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes (1) nach einem der Ansprüche 8 bis 9, wobei der Anlagenverbund (1) zusätzlich umfasst eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (12), wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (11, 11') vorgeschaltet

ist, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) mit einer ersten CO₂-Leitung (13) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, insbesondere die erste CO₂-Leitung (13) an das Verbundleitungssystem (5) in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist und eine erste CO₂-Weiche (14) für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung (12) anfällt, wobei die erste CO₂-Weiche (14) an die erste CO₂-Leitung (13) angeschlossen ist und/oder eine zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung (18), wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die zweite Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) und als eine Output-Leitung aus der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung (18) eine zweite CO₂-Leitung (19) strömungsabwärts an das Hochofengas-Leitungssystem (4) angeschlossen ist und/oder an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, insbesondere die zweite CO₂-Leitung (19) an das Verbundleitungssystem (5) in Strömungsrichtung vor der Mischvorrichtung (9) für wasserstoffhaltige Gase an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist und eine zweite CO₂-Weiche (20) für CO₂, welches bei der zweiten Anlage zur CO₂-Abtrennung (19) anfällt, wobei die zweite CO₂-Weiche (20) an die zweite CO₂-Leitung (19) angeschlossen ist **dadurch gekennzeichnet, dass** mit der Mischvorrichtung (9) und/oder der ersten CO₂-Weiche (14) und/oder der zweiten CO₂-Weiche (20) ein Mischgas für die Chemieanlage (7), eingestellt wird mit einem Stoffmengenanteil des in der Mischvorrichtung (9) und/oder der ersten CO₂-Weiche (14) und/oder der zweiten CO₂-Weiche (20) angefallenen Stoffmenge an CO₂, insbesondere abgetrennten CO₂-Gasstroms im Bereich von 5 Mol-% bis 45 Mol-%, vorzugsweise im Bereich von 8 Mol-% bis 40 Mol-%, besonders bevorzugt im Bereich von 15 Mol-% bis 35 Mol-% bezogen auf die aus dem Hochofen (2) bei der Roheisenerzeugung anfallenden Stoffmenge an CO₂ und CO.

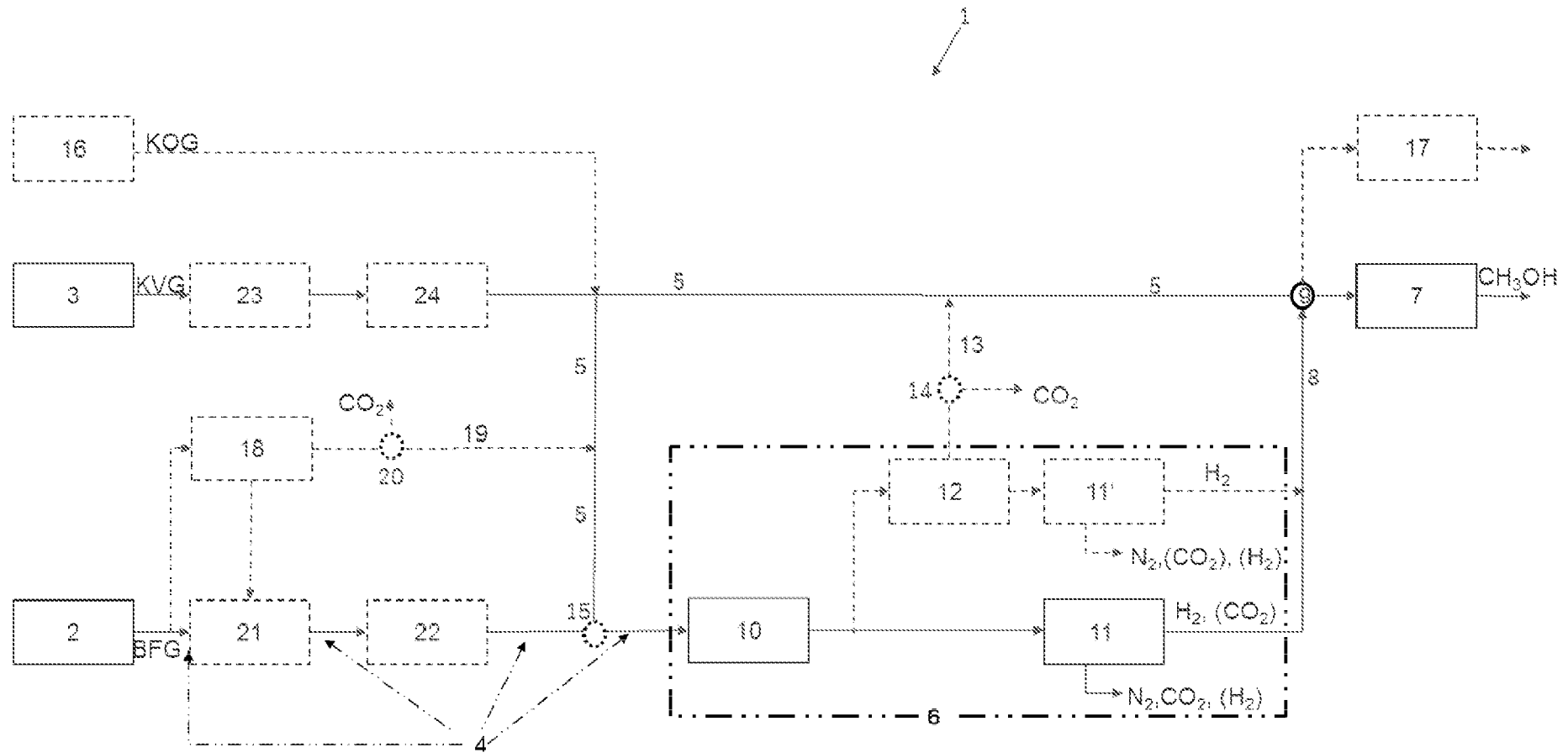


Fig. 1