

(19)



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

(11)

N° de publication :

LU103089

(12)

BREVET D'INVENTION

B1

(21) N° de dépôt: LU103089

(51) Int. Cl.:

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

(22) Date de dépôt: 16/03/2023

(30) Priorité:

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

(47) Date de délivrance: 16/09/2024

(73) Titulaire(s):

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

(72) Inventeur(s):

TENHUMBERG Nils – Allemagne

(74) Mandataire(s):

THYSSENKRUPP INTELLECTUAL PROPERTY GMBH –
45143 Essen (Allemagne)

(54) Anlagenverbund zur Stahlerzeugung sowie ein Verfahren zum Betreiben des Anlagenverbundes.

(57) Die 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 (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder von wasserstoffhaltigem Synthesegas, eine Wasserstoffleitung (8) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas anfallen, wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas und die Wasserstoffleitung (8) an die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas.

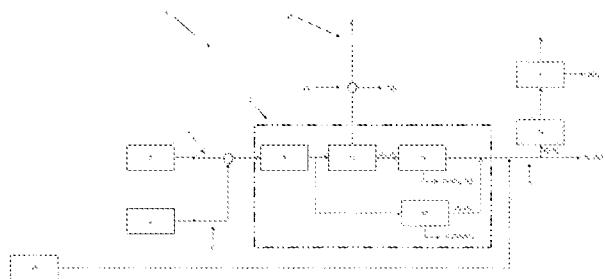


Fig. 1

Beschreibung

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

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. Im Hochofen wird aus Eisenerzen,
10 Zuschlägen sowie Koks und anderen Reduktionsmitteln wie 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
15 wird, weist neben den vorgenannten Bestandteilen häufig einen hohen 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
20 bei der Roheisenerzeugung entstehenden Hochofengichtgases werden im Regelfall 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.

25 Im Konverterstahlwerk, das dem Hochofenprozess nachgeschaltet ist, wird Roheisen zu Rohstahl 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
30 Schlackenbildung und Legierungsmittel zugegeben. Aus dem Stahlkonverter wird ein 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.

In einem integrierten Hüttenwerk, welches im Verbund mit einer Kokerei betrieben wird, werden
5 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
10 Kohle und Koks als Energieträger kein weiterer Eintrag von Energie notwendig ist und außer Rohstahl und Schlacke kein Produkt den Anlagenverbund verlässt.

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

15 Der Erfindung liegt daher 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.

20 Diese Aufgabe wird zunächst durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst. Der Anlagenverbund zur Stahlerzeugung umfasst 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
25 Roheisenerzeugung und/oder der Rohstahlerzeugung anfallen, eine Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder von wasserstoffhaltigem Synthesegas. Ferner umfasst der Anlagenverbund eine Wasserstoffleitung für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas anfallen, wobei das Hochofengas-Leitungssystem an die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist
30 als eine Input-Leitung in die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas und die Wasserstoffleitung an die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas.

Im Rahmen der vorliegenden Erfindung wird unter einer Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff 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.

Mit Hilfe der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff können wasserstoffhaltige Gase mit unterschiedlichen Wasserstoffkonzentrationen bereitgestellt werden, die für die verschiedenen Synthesereaktionen in möglichen Chemieanlagen genutzt werden können, wobei die Chemieanlage der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff nachgeschaltet werden kann.

Bei einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Anlagenverbundes ist vorgesehen, dass die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage und/oder eine Wasserstoff-Trennmembran-Anlage umfasst, insbesondere die Wasserstoff-Trennmembran-Anlage in Strömungsrichtung der Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage nachgeschaltet ist.

Zusätzlich kann bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Anlagenverbundes vorgesehen sein, dass die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas zusätzlich eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung umfasst, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage vorgeschaltet ist, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung mit einer ersten CO₂-Leitung an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist.

Bei einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Anlagenverbundes ist vorgesehen, dass der Anlagenverbund zusätzlich eine erste CO₂-Weiche für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung anfällt umfasst, wobei die erste CO₂-Weiche an die erste CO₂-Leitung angeschlossen ist.

Bei einer besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Anlagenverbundes ist vorgesehen, dass eine Ammoniakanlage zur Herstellung von Ammoniak aus wasserstoffhaltigem Synthesegas der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas vorgesehen ist, wobei die Ammoniakanlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist und

wobei die Wasserstoffleitung in Strömungsrichtung vor der Ammoniakanlage an das Verbundleitsystem angeschlossen ist.

Ammoniak ist die weltweit zweitmeist produzierte synthetische Chemikalie. Die Herstellung von
5 Ammoniak erfolgt dabei im Wesentlichen aus den Elementen Wasserstoff und Stickstoff in Anwesenheit eines Eisenkatalysator. Die Temperaturen bewegen sich häufig im Bereich zwischen 400 °C und 500 °C und bei einem Druck über 100 bar. Der wesentliche Faktor für die Prozesskosten liegt dabei in der Bereitstellung von Wasserstoff und Stickstoff. Eine Erzeugung von Ammoniak erfolgt dementsprechend bevorzugt basierend auf dem „Haber-Bosch-
10 Verfahren“ aus den Elementen gemäß Gleichung [1]:



Durch die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas, hier
15 aufweisend vorrangig Wasserstoff und Stickstoff, kann der aufwändige Prozess des Steamreformings ausbleiben. Ebenso ist es nicht nötig, den Stickstoff aus einer Luftzerlegung zu gewinnen, wenn Stickstoff bereits bei der Gewinnung von Wasserstoff in der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder eines wasserstoffhaltigen Synthesegases anfällt.

20 Um geringe Restmengen an CO und CO₂ zu entfernen, die als Katalysatorgift wirken, ist bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Anlagenverbundes vorgesehen, dass in Strömungsrichtung vor der Ammoniakanlage eine Methanisierungsanlage angeordnet ist. Die freiwerdende Energie bei der Methanisierung kann zusätzlich zur Aktivierung der Reaktion in der Ammoniakanlage genutzt werden, um die Anlage möglichst energieeffizient zu betreiben.

25 Bei einer weiteren besonders bevorzugten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Anlagenverbundes ist eine Harnstoffanlage zur Herstellung von Harnstoff vorgesehen, wobei die Ammoniakanlage in Strömungsrichtung vor der Harnstoffanlage angeordnet ist. Bei der großtechnischen Herstellung von Harnstoff wird beinahe ausschließlich die Hochdrucksynthese von Ammoniak (NH₃) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) bei etwa 150 bar und ca. 180 Grad Celsius angewandt. Häufig werden die beiden Einsatzstoffe aus einer benachbarten Ammoniakanlage bezogen. In Verbindung mit der Ammoniakanlage wäre Ammoniak als Edukt bereits vorhanden. Zusätzlich kann CO₂ mittels der vorgenannten Anlage zur CO₂-Abtrennung gewonnen und über die vorgenannte CO₂-Weiche direkt zur Harnstoffanlage geleitet werden.

Für die Herstellung von partikelförmigen, harnstoffhaltigen Zusammensetzungen sind verschiedene Verfahren im Stand der Technik bekannt. In der Vergangenheit wurden Harnstoffpartikel üblicherweise mittels Sprühkristallisation hergestellt, wobei eine im wesentlichen wasserfreie Harnstoffschmelze (Wassergehalt von 0,1 bis 0,3 Gew.-%) vom oberen Teil eines Sprühkristallisationsturmes in einen aufsteigenden Strom von Luft bei Umgebungstemperatur gesprührt werden und sich die Tropfen zu Kristallen (Prills) verfestigen. Die so erhaltenen Prills weisen relativ kleine Durchmesser sowie eine geringe mechanische Festigkeit auf.

- 10 Die vorgenannte Aufgabe wird außerdem gelöst von einem 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, eine Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas, eine Wasserstoffleitung für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas anfallen, wobei das Hochofengas-Leitungssystem an die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas und die Wasserstoffleitung an die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas, wobei in der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffreichem Synthesegases ein Mischgas mit einem stöchiometrischen 20 Mischungsquotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an Wasserstoff und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Stickstoff eingestellt wird. Die obigen Ausführungen betreffend den erfindungsgemäßen Anlagenverbund gelten entsprechend auch für das erfindungsgemäße Verfahren.
- 25 Bei einer ersten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass der Anlagenverbund zusätzlich eine Ammoniakanlage zur Herstellung von Ammoniak aus dem wasserstoffhaltigem Synthesegas der Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas umfasst, wobei die Ammoniakanlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist und wobei die Wasserstoffleitung in Strömungsrichtung

vor der Ammoniakanlage an das Verbundleitsystem angeschlossen ist. Die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffreichem Synthesegas stellt ein Mischgas für eine Ammoniaksynthese ein, mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an Wasserstoff und aus einem Divisor mit der molaren 5 Menge an Stickstoff im Bereich von 1 bis 4,0, besonders bevorzugt im Bereich von 2,0 bis 3,8, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 2,5 bis 3,5. Auf diese Weise wird ein vorteilhaftes stöchiometrisches Verhältnis von Wasserstoff zu Stickstoff für die Ammoniaksynthese erhalten.

Bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ist vorgesehen, dass in der 10 Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffreichem Synthesegas ein wasserstoffreiches Gas gewonnen wird mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an Wasserstoff und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Stickstoff im Bereich von größer 4, vorzugsweise von größer 7, besonders bevorzugt größer 9, ganz besonders bevorzugt größer 9. Auf diese Weise kann ein wasserstoffreiches Gas 15 bis beispielsweise 90 mol% Wasserstoff bei einem Verhältnis von 9:1 eingestellt werden. Durch den hohen Reinheitsgrad des so gewonnenen Wasserstoffs kann dieser für eine Vielzahl verschiedener technischer Anwendungen verwendet werden, ohne aus ihm Ammoniak zu synthetisieren. Denkbar wären weitere Chemieanlagen, die den Wasserstoff als Edukt nutzen. Ein Teil des gewonnenen Wasserstoffs könnte auch als Energiequelle für andere Anwendungen in 20 einem Anlagenkomplex verwendet werden.

Vorteilhafterweise kann bei einer weiteren Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorgesehen sein, dass der Anlagenverbund zusätzlich umfasst: Eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung und eine Harnstoffanlage, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung in 25 Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage vorgeschaltet ist, 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 Harnstoffanlage an das Verbundleitungssystem angeschlossen ist und eine erste CO₂-Weiche für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung anfällt, wobei 30 die erste CO₂-Weiche an die erste CO₂-Leitung angeschlossen ist. Es ist vorgesehen, dass mit der ersten CO₂-Weiche CO₂ für die Harnstoffanlage bereitgestellt wird und das stöchiometrische Verhältnis des für die Harnstoffanlage bereitgestellten CO₂ mit einem stöchiometrischen Quotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an CO₂ und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Ammoniak im Bereich 0,2 -0,7 beträgt. Auf diese Weise kann ein CO₂ zu

NH₃ Verhältnis eingestellt werden, das für eine spätere Harnstoffsynthese in der Harnstoffanlage benötigt wird.

Insgesamt kann die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder eines wasserstoffhaltigen

- 5 Synthesegases flexibel genutzt werden, um die optimalen stöchiometrischen Verhältnisse für verschiedene Synthesereaktionen bereitzustellen.

Die verschiedenen in dieser Anmeldung genannten Ausführungsformen der Erfindung sind, sofern im Einzelfall nicht anders ausgeführt, mit Vorteil miteinander kombinierbar.

- 10 Die Erfindung wird nachfolgend in Ausführungsbeispielen anhand der zugehörigen Zeichnungen erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine vereinfachte schematische Darstellung eines Anlagenverbundes zur
15 Stahlerzeugung mit einer nachgeschalteten Ammoniakanlage und

Figur 2 das Blockschaltbild gemäß Figur 1 mit einer zusätzlichen Harnstoffanlage.

In Figur 1 ist gemäß einer Ausführungsform der Erfindung ein Anlagenverbund 1 zur
20 Stahlerzeugung mit einem Hochofen 2 zur Roheisenerzeugung, einem Konverterstahlwerk 3 zur Rohstahlerzeugung dargestellt. Der Anlagenverbund umfasst 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 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder von wasserstoffhaltigem Synthesegas und eine Ammoniakanlage 7. An
25 das Verbundleitungssystem 5 ist die Ammoniakanlage 7 angeschlossen. Eine Wasserstoffleitung 8 für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Wasserstoffgewinnung beziehungsweise der Gewinnung von Synthesegas anfallen, ist in Strömungsrichtung vor der Ammoniakanlage 7 an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen.

30 Das Hochofengas-Leitungssystem 4 ist an die Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas als eine Input-Leitung in die Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen und die Wasserstoffleitung 8 ist an die Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas als eine Output-Leitung aus der Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem

Synthesegas angeschlossen. Die Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas ist als eine Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage 9 und eine Wasserstoff-Trennmembran-Anlage 10, 10' dargestellt.

- 5 Durch die Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas kann ein Gasgemisch bereitgestellt werden, das zum großen Teil Wasserstoff und Stickstoff enthält. Eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung 11 ist in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage 10, 10' vorgeschaltet, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung 11 mit einer ersten CO₂-Leitung 12 an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen ist. Eine erste
10 CO₂-Weiche 13 für CO₂ das bei der CO₂-Abtrennung 11 anfällt ist an die erste CO₂-Leitung 12 angeschlossen.

Wenn CO₂ von dem Gasgemisch abgetrennt wird, ist es möglich, dass ein Synthesegas bereitgestellt wird, das zur Synthesierung von Ammoniak verwendet wird. Zu diesem Zweck ist
15 der Anlage 6 zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas die Ammoniakanlage 7 nachgeschaltet. In der Ammoniakanlage 7 wird aus einem Gasgemisch, mit einem stöchiometrischen Verhältnis von Wasserstoff zu Stickstoff von 3 zu 1 Ammoniak synthetisiert. Der Ammoniakanlage 7 ist eine Methanisierungsanlage 14 vorgeschaltet. Freiwerdende Energie der Methanisierungsanlage 14 kann für die Ammoniakanlage 7 genutzt
20 werden.

Eine Koksofenanlage 15 ist an das Verbundleitungssystem 5 angeschlossen.

In Figur 2 ist zusätzlich zur Ammoniakanlage 15 eine Harnstoffanlage 16 vorgesehen. In der
25 Harnstoffanlage 16 wird die Hochdrucksynthese von Ammoniak (NH₃) und Kohlenstoffdioxid (CO₂) bei etwa 150 bar und ca. 180 Grad Celsius angewandt. Aus einer benachbarten Ammoniakanlage 7 bezogen kann Ammoniak als Edukt bereits bezogen werden. Zusätzlich kann CO₂ mittels der vorgenannten Anlage zur CO₂-Abtrennung 11 gewonnen und über die vorgenannte CO₂-Weiche 14 direkt zur Harnstoffanlage 16 geleitet werden.

30 Für die Herstellung von partikelförmigen, harnstoffhaltigen Zusammensetzungen sind verschiedene Verfahren im Stand der Technik bekannt. In der Vergangenheit wurden Harnstoffpartikel üblicherweise mittels Sprühkristallisation hergestellt, wobei eine im wesentlichen wasserfreie Harnstoffschmelze (Wassergehalt von 0,1 bis 0,3 Gew.-%) vom oberen

Teil eines Sprühkristallisationsturmes in einen aufsteigenden Strom von Luft bei Umgebungstemperatur gesprührt werden und sich die Tropfen zu Kristallen (Prills) verfestigen. Die so erhaltenen Prills weisen relativ kleine Durchmesser sowie eine geringe mechanische Festigkeit auf.

Bezugszeichen

- 1 Anlagenverbund
- 2 Hochofen
- 5 3 Konverterstahlwerk
- 4 Hochofengas-Leitungssystem
- 5 Verbundleitsystem
- 6 Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas
- 7 Ammoniakanlage
- 10 8 Wasserstoffleitung
- 9 Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage
- 10, 10' Wasserstoff-Trennmembran-Anlage
- 11 Anlage zur CO₂-Abtrennung
- 12 Erste CO₂-Leitung
- 15 13 Erste CO₂-Weiche
- 14 Methanisierungsanlage
- 15 Koksofenanlage
- 16 Harnstoffanlage

Patentansprüche

1. Anlagenverbund (1) zur Stahlerzeugung umfassend

5 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,
10 eine Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder von wasserstoffhaltigem
 Synthesegas,
 eine Wasserstoffleitung (8) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Gewinnung von
 Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas anfallen,
 wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die Anlage (6) zur Gewinnung von
15 Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Input-
 Leitung in die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem
 Synthesegas und die Wasserstoffleitung (8) an die Anlage (6) zur Gewinnung von
 Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Output-
 Leitung aus der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem
20 Synthesegas.

2. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage (6) zur
Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas eine Wasser-Gas-Shift-
Reaktion-Anlage (9) und/oder eine Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (10, 10') umfasst,
25 insbesondere die Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (10, 10') in Strömungsrichtung der
Wasser-Gas-Shift-Reaktion-Anlage (9) nachgeschaltet ist.

3. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage zur
Gewinnung (6) von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas zusätzlich eine erste
30 Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) umfasst, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) in
Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (10, 10') vorgeschaltet ist, wobei die
erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) mit einer ersten CO₂-Leitung (12) an das
Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist.

4. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Anlagenverbund (1) zusätzlich eine erste CO₂-Weiche (13) für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) anfällt umfasst, wobei die erste CO₂-Weiche (13) an die erste CO₂-Leitung (12) angeschlossen ist.

5. Anlagenverbund (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Ammoniakanlage (7) zur Herstellung von Ammoniak aus wasserstoffhaltigem Synthesegas der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas vorgesehen ist, wobei die Ammoniakanlage (7) an das Verbundleitsystem (5) angeschlossen ist
10 und wobei die Wasserstoffleitung (8) in Strömungsrichtung vor der Ammoniakanlage (7) an das Verbundleitsystem (5) angeschlossen ist.

15. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass in Strömungsrichtung vor der Ammoniakanlage (7) eine Methanisierungsanlage (14) angeordnet ist.

7. Anlagenverbund (1) nach Anspruch 5 oder 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** eine Harnstoffanlage (16) zur Herstellung von Harnstoff vorgesehen ist, wobei die Ammoniakanlage (7) in Strömungsrichtung vor der Harnstoffanlage (1) angeordnet ist.

20. 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
25 Rohstahlerzeugung anfallen, eine Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas, eine Wasserstoffleitung (8) für wasserstoffhaltige Gase, die bei der Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas anfallen,
wobei das Hochofengas-Leitungssystem (4) an die Anlage zur Gewinnung von Wasserstoff oder
30 wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Input-Leitung in die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas und die Wasserstoffleitung (8) an die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas angeschlossen ist als eine Output-Leitung aus der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas,
wobei in der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas
35 ein Mischgas mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividenden mit der

molaren Menge an Wasserstoff und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Stickstoff eingestellt wird.

9. Verfahren nach Anspruch 8, wobei der Anlagenverbund (1) zusätzlich eine Ammoniakanlage (7) zur Herstellung von Ammoniak aus dem wasserstoffhaltigen Synthesegas der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffhaltigem Synthesegas umfasst, wobei die Ammoniakanlage (7) an das Verbundleitsystem (5) angeschlossen ist und wobei die Wasserstoffleitung (8) in Strömungsrichtung vor der Ammoniakanlage (7) an das Verbundleitsystem (5) angeschlossen ist, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffreichem Synthesegases ein Mischgas für eine Ammoniaksynthese einstellt mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an Wasserstoff und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Stickstoff im Bereich von 1 bis 4,0, besonders bevorzugt im Bereich von 2,0 bis 3,8, ganz besonders bevorzugt im Bereich von 2,5 bis 3,5.

15 10. Verfahren nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** in der Anlage (6) zur Gewinnung von Wasserstoff oder wasserstoffreichem Synthesegas ein wasserstoffreiches Gas gewonnen wird mit einem stöchiometrischen Mischungsquotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an Wasserstoff und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Stickstoff im Bereich von größer 4, vorzugsweise von größer 7, besonders bevorzugt größer 9, ganz besonders bevorzugt größer 9.

20 11. Verfahren zum Betreiben eines Anlagenverbundes (1) nach einem der Ansprüche 8 oder 9, wobei der Anlagenverbund (1) zusätzlich umfasst eine erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) und eine Harnstoffanlage (16), wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) in Strömungsrichtung der Wasserstoff-Trennmembran-Anlage (10, 10') vorgeschaltet ist, wobei die erste Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) mit einer ersten CO₂-Leitung (12) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist, insbesondere die erste CO₂-Leitung (12) an das Verbundleitungssystem (5) in Strömungsrichtung vor der Harnstoffanlage (16) an das Verbundleitungssystem (5) angeschlossen ist und eine erste CO₂-Weiche (13) für CO₂ das bei der ersten Anlage zur CO₂-Abtrennung (11) anfällt, wobei die erste CO₂-Weiche (13) an die erste CO₂-Leitung (12) angeschlossen ist

dadurch gekennzeichnet, dass mit der ersten CO₂-Weiche (13) CO₂ für die Harnstoffanlage (16) bereitgestellt wird und das stöchiometrische Verhältnis des für die

Harnstoffanlage bereitgestellten CO₂ mit einem stöchiometrischen Quotienten aus einem Dividenden mit der molaren Menge an CO₂ und aus einem Divisor mit der molaren Menge an Ammoniak im Bereich 0,2 -0,7 beträgt.

1/2

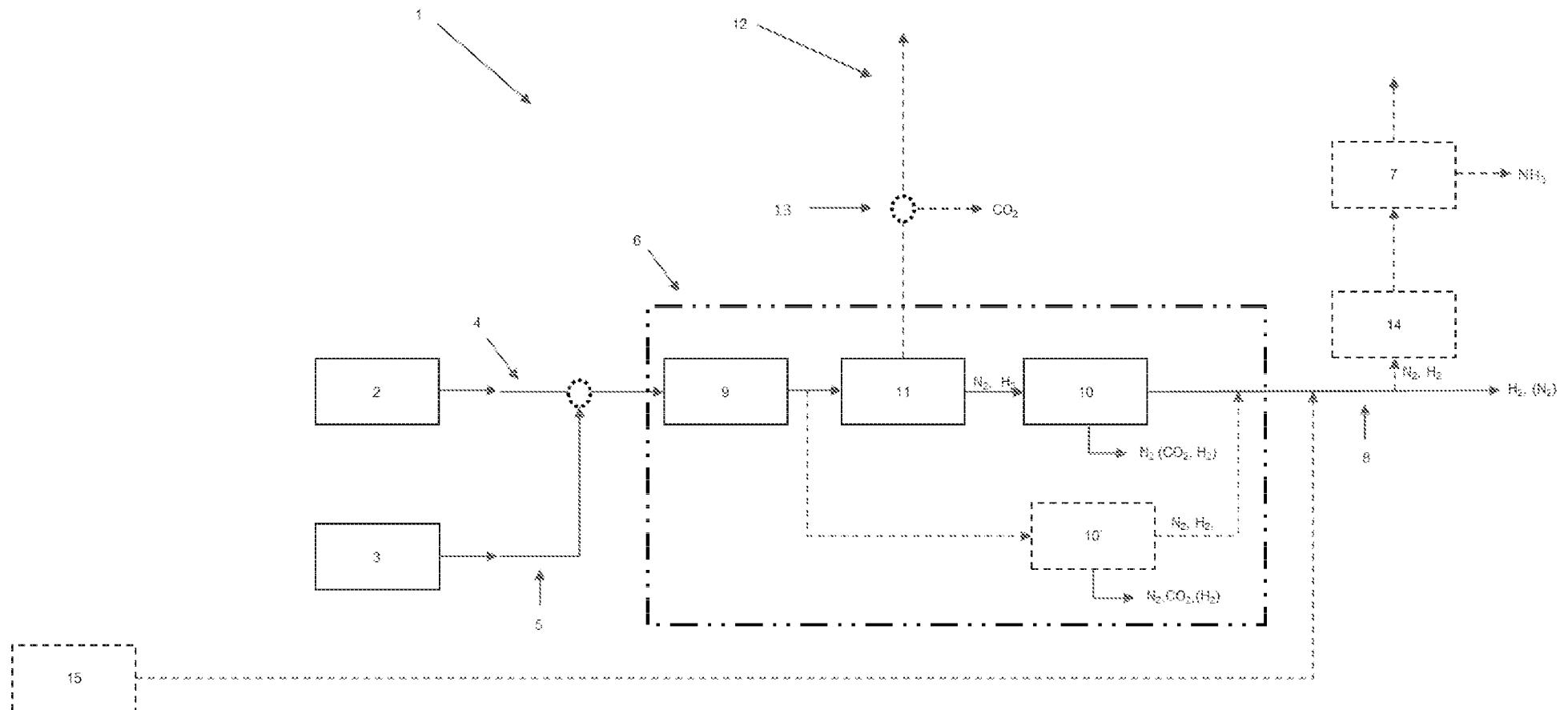


Fig. 1

2/2

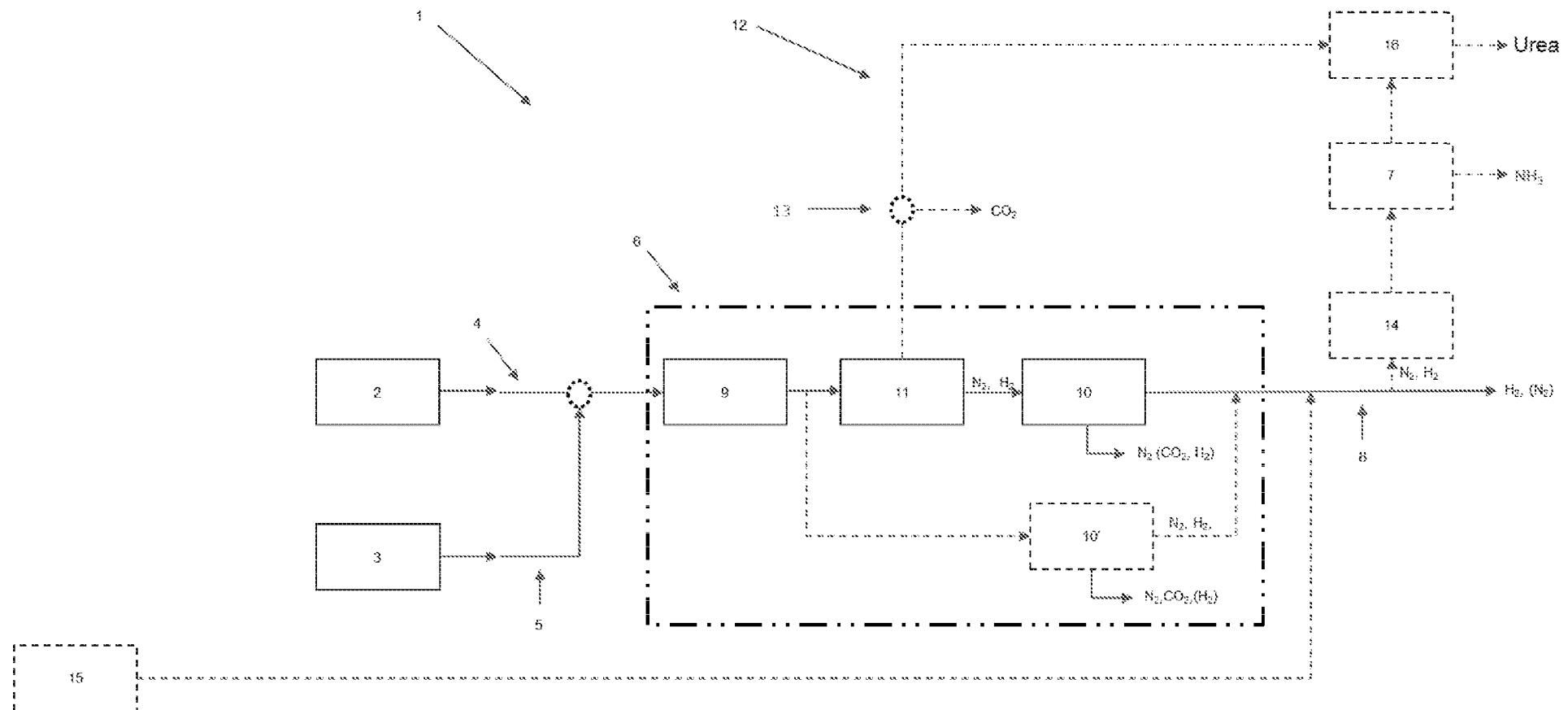


Fig. 2