

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 57/2023
(22) Anmeldetag: 03.05.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2024

(51) Int. Cl.: **C01B 3/12** (2006.01)
C01B 3/56 (2006.01)
C01B 32/40 (2017.01)
C01B 13/02 (2006.01)
B01J 3/00 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 2015292404 A1
DE 2449230 A1
JP 2018016500 A
AT 524186 A1

(71) Patentanmelder:
Hydrogen Gruber Schmidt GmbH
7561 Heiligenkreuz im Lafnitztal (AT)

(72) Erfinder:
Gruber-Schmidt Johann
1180 Wien (AT)
Gruber-Schmidt Sebastian
1180 Wien (AT)

(74) Vertreter:
Gruber-Schmidt Johann Dipl.-Ing. Dr.
1180 Wien (AT)

(54) **Verfahren einer Wasserstofferzeugung auf der Basis von Kohlendioxid und elektrischer Energie**

(57) Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (15) aus Wasser (1,2) mit Hilfe von Kohlendioxid (19,20), wobei eine Kombination von Aufspaltung von Kohlendioxid (19,20) in Kohlenmonoxid (31) und Sauerstoff (30), wobei Kohlendioxid (19,20) verdichtet wird (2), rückgekühlt (4) wird, und einer Lavalldüse (24) auf Mach 5 beschleunigt wird, das so beschleunigte Kohlendioxid in einem Prallreaktor (25) aufgespalten wird. Das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (31) und Sauerstoff (30) wird aus dem Prallreaktor (25) abgesaugt, verdichtet (26) und einer Gastrennung in Form einer Druckwechseladsorption (28) in Sauerstoff (30) und Kohlenmonoxid (31) getrennt wird. Wasser (1,2) wird elektrisch verdampft (5,6) und einem Reformer (9) zusammen mit Kohlenmonoxid (8) zugeführt und zu Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt. Der Reformer (9) ist elektrisch beheizt (10) und thermisch gekühlt (11). Das Synthesegas aus dem Reformer (9) wird rekuperativ rückgekühlt (12) und mit Hilfe einer Gastrennung (13) in Wasserstoff (15) und Kohlendioxid (16) getrennt. Das Kohlendioxid (16,19) wird dem Prallreaktor (25) wieder rückgeführt.

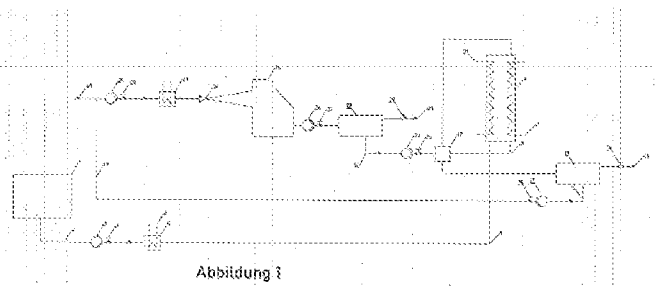


Abbildung 1

Zusammenfassung

Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (15) aus Wasser (1,2) mit Hilfe von Kohlendioxid (19,20), wobei eine Kombination von Aufspaltung von Kohlendioxid (19,20) in Kohlenmonoxid (31) und Sauerstoff (30), wobei Kohlendioxid (19,20) verdichtet wird (2), rückgekühlt (4) wird, und einer Lavalldüse (24) auf Mach 5 beschleunigt wird, das so beschleunigte Kohlendioxid in einem Prallreaktor (25) aufgespalten wird. Das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (31) und Sauerstoff (30) wird aus dem Prallreaktor (25) abgesaugt, verdichtet (26) und einer Gastrennung in Form einer Druckwechseladsorption (28) in Sauerstoff (30) und Kohlenmonoxid (31) getrennt wird. Wasser (1,2) wird elektrisch verdampft (5,6) und einem Reformier (9) zusammen mit Kohlenmonoxid (8) zugeführt und zu Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt. Der Reformier (9) ist elektrisch beheizt (10) und thermisch gekühlt (11). Das Synthesegas aus dem Reformier (9) wird rekuperativ rückgekühlt (12) und mit Hilfe einer Gastrennung (13) in Wasserstoff (15) und Kohlendioxid (16) getrennt. Das Kohlendioxid (16,19) wird dem Prallreaktor (25) wieder rückgeführt.

Wasserstofferzeugung auf der Basis von Kohlendioxid und elektrischer Energie

Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff 15 aus Wasser 1,2 mit Hilfe von Kohlendioxid 19,20, wobei eine Kombination von Aufspaltung von Kohlendioxid 19,20 in Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30, wobei Kohlendioxid 19,20 verdichtet wird 21, rückgekühlt 22 wird, und einer Lavalldüse 24 auf Mach 5 beschleunigt wird, das so beschleunigte Kohlendioxid in einem Prallreaktor 25 aufgespalten wird. Das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30 aus dem Prallreaktor 25 abgesaugt, verdichtet 26 wird und mit Hilfe einer Gastrennung in Form einer Druckwechseladsorption 28 in Sauerstoff 30 und Kohlenmonoxid 31 getrennt. Wasser 1,2 wird elektrisch verdampft 5,6 und einem Reformier 9 zusammen mit Kohlenmonoxid 8 zugeführt und zu Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt. Der Reformier 9 ist elektrisch beheizt 10 und thermisch gekühlt 11. Das Synthesegas wird rekuperativ rückgekühlt 12 und mit Hilfe einer Gastrennung 13 in Wasserstoff 15 und Kohlendioxid 16 getrennt. Das Kohlendioxid 16 wird abgesaugt und verdichtet und wieder dem Prallreaktor 25 rückgeführt.

Kohlendioxid hat man den Verursacher von Klimaschäden ausgemacht. Normalerweise ist Kohlendioxid ein lebenswichtiges Gas, das von den Pflanzen mittels Photosynthese zu Biomasse verwertet wird. Dabei handelt es sich um regenerativ und nachhaltig erzeugtes Kohlendioxid, also jene Menge an Kohlendioxid, die im Boden und durch Pflanzen in Form von Biomasse gespeichert wird.

Bisherige Methoden und Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff ist die Nutzung elektrischer Energie in Verbindung mit Brennstoffzellen, oder in Verbindung mit Elektrolysezellen. Der Nachteil ist der hohe Aufwand an elektrischer Energie für die Elektrolyse, und der hohe Anteil an Metallen und seltenen Erden, die die Anlagen großer und kleiner Leistung sehr teuer machen.

Wasserstoff in der Energietechnik soll im 21. Jahrhundert wesentlicher Bestandteil in dem Konzept der Decarbonsierung sein. Damit Wasserstoff seine Kraft und Wirkung entfalten kann, muss Wasserstoff nachhaltig und regenerativ erzeugt werden. Die regenerative

Erzeugung von Wasserstoff soll mit Hilfe von Kohlendioxid 20 und elektrischer Energie und Wasserdampf erfolgen.

Die **Aufgabe**, die nun gestellt wird, ein Verfahren zu erfinden, mit dem Kohlendioxid in Kohlenmonoxid gespalten wird und zusammen mit Wasserdampf zu Wasserstoff umgewandelt wird, für die Erzeugung von Wasserdampf soll elektrische Energie verwendet werden.

Die Erfindung basiert auf der Kombination einer mechanischen Splittung von Kohlendioxid 19, 20 in Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30, die Reformierung 9 von Kohlenmonoxid mit Wasserdampf 7 zu Kohlendioxid 16 und Wasserstoff 15, sowie die Rückführung von Kohlendioxid 19, um wieder in Sauerstoff 30 und Kohlenmonoxid 31 gespalten zu werden.

Kohlenstoffdioxid ist ein farb- und geruchloses Gas. Es ist mit einer Konzentration von ca. 0,04 % (derzeit 381 ppm entspr. 0,0381 %) ein natürlicher Bestandteil der Luft. Es entsteht sowohl bei der vollständigen Verbrennung von kohlenstoffhaltigen Substanzen unter ausreichendem Sauerstoff.

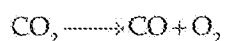
Das Kohlenstoffdioxid-Molekül ist linear aufgebaut. Obwohl die Kohlenstoff-Sauerstoff-Bindungen polar sind, heben sich deren elektrische Dipolmomente durch die Molekülsymmetrie nach außen hin gegenseitig auf, so dass das Molekül selbst kein elektrisches Dipolmoment aufweist. Dennoch ist Kohlenstoffdioxid aufgrund der inneren Dipolmomente gut in Wasser löslich und absorbiert einige schmale Teile des elektromagnetischen Spektrums im Bereich der Infrarotstrahlung.

Kohlenstoffdioxid findet im festen Aggregatzustand unter der Bezeichnung Trockeneis Anwendung in der Technik. Es schmilzt nicht, sondern sublimiert bei -78 °C . Allerdings kann man es unterhalb der kritischen Temperatur von 31 °C durch Drucksteigerung zu einer farblosen Flüssigkeit verdichten. Bei Raumtemperatur ist dazu ein Druck von ca. 60 bar nötig, der kritische Druck bei der kritischen Temperatur ist etwa 73,7 bar. In flüssiger Form wird Kohlenstoffdioxid in Druckflaschen gehandelt.

Das Kohlenstoffdioxidmolekül ist linear, alle drei Atome liegen auf einer geraden Linie. Der Kohlenstoff ist an die beiden Sauerstoffatome mit Doppelbindungen gebunden, wobei beide Sauerstoffatome zwei freie Elektronenpaare aufweisen. Der Kohlenstoff-Sauerstoff-Abstand beträgt 116,32 pm.

Die Erfindung nutzt die physikalischen und mechanischen Eigenschaften von Kohlendioxid 19,20 in gasförmiger Phase, bei niedrigen Temperaturen. Um Kohlendioxid aufspalten zu können, wird es auf eine Geschwindigkeit von Mach 3 bis 5 mit Hilfe einer Lavalldüse 24 beschleunigt, die Temperatur des Kohlendioxid 23 hat einen Wert von 0°C bis 4°C. Die Beschleunigung erfolgt mit Hilfe einer Lavalldüse 24 im überkritischen Druckverhältnis. Die Expansion erfolgt in ein Vakuum mit einem Druck von 0,1bar bis 0,001 bar, sodass das Kohlendioxidmolekül in einem eingeforenen Zustand auf eine Frallfläche 25 trifft. Dabei erfolgt ein Splitting von Kohlendioxid in Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30. Der Umsetzungsgrad hat einen Wert von 85% bis 95%. Die Erfindung nutzt den Aufbau des Kohlendioxidmoleküls aus, das aus zwei Sauerstoffatomen und einem Kohlenstoffatom besteht, mit einem Öffnungswinkel von 180°, vergleichbar mit einer Hantel.

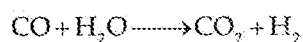
Das Gasgemisch aus Sauerstoff 30 und Kohlenmonoxid 31 wird abgesaugt und verdichtet 26 und einer Gastrennung 28 zugeführt. Mit Hilfe einer Gastrennung 28 in Form einer Druckwechseladsorption auf der Basis eines molekularen Kohlenstoffsiebes wird das Gasgemisch in Sauerstoff 30 und Kohlenmonoxid 31 getrennt. Die chemische Reaktionsgleichung lautet:



Splitting	CO2	↔	CO	O2	[]		
	2,00		2,00	1,00	[mol]		
	44,00		28,00	32,00	[g/mol]		
	88,00		56,00	32,00	[g/mol]		
	1,00		0,64	0,36	[kg/h]		
Hf	-393,50		-110,50	0,00	[kJ/mol]	283,00	
T	100,00		100,00	100,00	[°C]		
	373,15		373,15	373,15	[°K]		
Sf	213,70		197,60	166,00	[J/mol K]		
	79,74		73,73	61,94	[kJ/mol]	55,94	
Gf					[kJ/mol]	227,06	
					[kJ/mol]	227,06	kJ/mol
						2,58	kJ/g
						0,72	kW/kg

Tabelle 1: Trennung von Kohlendioxid 19,20 in Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30.

Das Kohlenmonoxid 31 wird abgesaugt und verdichtet 26 und einer Reformierung 9 zugeführt. Die Reformierung 9 erzeugt aus Kohlenmonoxid 31 und Wasserdampf. Der Wasserdampf 7 ein Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff. Die chemische Reaktionsgleichung lautet:



Reformierung	CO	H2O	↔	H2	CO2	[]		
	1,00	1,00		1,00	1,00	[mol]		
	28,00	18,00		2,00	44,00	[g/mol]		
	28,00	18,00		2,00	44,00	[g/mol]		
	1,00	0,64		0,07	1,57	[kg/h]		

Hf	-110,50	-241,40	0,00	-593,50	[kJ/mol]	41,60	
T	800,00	800,00	800,00	800,00	[°C]		
	1073,15	1073,15	1073,15	1073,15	[°K]		
Sf	197,60	188,70	130,60	213,70	[J/mol K]		
	212,05	202,50	140,15	229,33	[kJ/mol]	45,07	
Gf					[kJ/mol]	3,47	[kJ/mol]
						0,12	KJ/g CO2
						0,03	kWh

Tabelle 2: Reformierung 9 von Kohlenmonoxid 8 und Wasserdampf 7 zu Synthesegas aus Wasserstoff und Kohlendioxid

Die Reformierung 9 von Kohlenmonoxid 31 benötigt Wasserdampf 7.

Wasser 2 bereitgestellt in einem Behälter 1 wird in einem elektrisch betriebenen Verdampfer 6 zu Wasserdampf verdampft 5, wobei der Druck 3 bar hat und die Temperatur des Wasserdampfes 175°C.

Die zur Reformierung 9 benötigte Temperatur von 800°C wird durch eine elektrische Beheizung 10 erreicht. Dem Reformier 9 wird Kohlenmonoxid 8 und Wasserdampf 7 zugeführt. Das aus dem Prallreaktor 25 gewonnene Kohlenmonoxid 21 wird durch den Wärmetauscher 12 rekuperativ vorgewärmt, indem die Abwärme des Synthesegases aus dem Reformier 9 ausgenutzt wird. Die restliche fehlende Wärme wird elektrisch erzeugt 10 und dem Reformier 9 zugeführt und hat eine Leistung von 1kW bis 1000 kW.

Das so gewonnen Synthesegas besteht aus Kohlendioxid 16 und Wasserstoff 15. Das Synthesegas wird mit Hilfe einer Druckwechseladsorption 13 in Wasserstoff 15 und in Kohlendioxid 16 getrennt. Das Kohlendioxid 16 wird dem Prallreaktor 25 rückgeführt, um wieder in Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30 getrennt zu werden.

Die Erfindung besteht aus einzelnen Verfahrensschritten, die in Apparaten leicht und einfach schrittweise in jeder gewünschten Leistungsgröße und Produktionsgröße realisiert werden kann. Ein weiterer Vorteil ist, dieser einfach strukturierte Aufbau der Wasserstoffgewinnung, ist leicht wartbar, wiederkehrend prüfbar und kann leicht Instand gehalten werden. Diese Erfindung unterstützt daher die Gewerbe der Installateure und Rauchfangkehrer in deren gewerblichen und wiederkehrenden Tätigkeiten.

Diese Erfindung ist in der Produktionsleistung von 1.0 kg/h bis 20 kg/h beschränkt, um kompakte einfache Einheiten zu ermöglichen.

Zeichen und Symbole

1	Wassertank
2	Wasser
3	Pumpe
4	Regler
5	Verdampfer / Dampferzeuger
6	elektrische Beheizung des Dampferzeugers
7	Wasserdampf
8	Kohlenmonoxid
9	Reformer
10	elektrische Beheizung
11	thermische Kühlung
12	Wärmetauscher
13	Gastrennung in Form einer Druckwechseladsorption auf der Basis molekularen Kohlenstoffsiebes
14	Regler
15	Wasserstoff
16	Kohlendioxid
17	Verdichter
18	Regler
19	Kohlendioxid
20	Kohlendioxid (Leckage)
21	Verdichter
22	Regler
23	Rückkühlung
24	Lavalldüse
25	Prallreaktor
26	Verdichter
27	Regler
28	Gastrennung in Form einer Druckwechseladsorption
29	Regler
30	Sauerstoff
31	Kohlenmonoxid
32	Verdichter
33	Regler

Zeichen

H ₂	Wasserstoff
H ₂ O	Wasser
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
CH ₄	Methan
O ₂	Sauerstoff

Abbildungen

Abbildung 1

Die **Abbildung 1** zeigt eine Kombination von Aufspaltung von Kohlendioxid 19,20 in Kohlenmonoxid 31 und Sauerstoff 30, wobei Kohlendioxid 19,20 verdichtet wird 21, rückgekühlt 22 wird, und einer Lavalldüse 24 auf Mach 5 beschleunigt wird, das so beschleunigte Kohlendioxid in einem Prallreaktor 25 aufgespalten wird. Das Gasgemisch im Prallreaktor 25 aus Kohlenmonoxid 30 und Sauerstoff 31 wird aus dem Prallreaktor 25 abgesaugt, verdichtet 26 und einer Gastrennung in Form einer Druckwechseladsorption 28 in Sauerstoff 30 und Kohlenmonoxid 31 getrennt. Der Sauerstoff 30 wird abgeschieden und steht zur weiteren Verwendung. Das so gewonnene Kohlenmonoxid 31 wird mit Wasserdampf 7 in einem Reformier 9 zur Erzeugung von Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff verwendet. Wasser 2 aus einem Behälter 1 wird elektrisch verdampft 5,6 und einem Reformier 9 zusammen mit Kohlenmonoxid 31 zugeführt und zu Synthesegas aus Kohlendioxid 16 und Wasserstoff 15 umgewandelt. Der Reformier 9 ist elektrisch beheizt 10 und thermisch gekühlt 11. Das Synthesegas wird rekuperativ rückgekühlt 12 und mit Hilfe einer Gastrennung 13 in Wasserstoff 15 und Kohlendioxid 16 getrennt. Das Kohlendioxid 19 wird dem Prallreaktor 25 rückgeführt. Der Wasserstoff 15 wird als Produkt gewonnen.

Ansprüche:

1. Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (15) aus Wasser (2) mit Hilfe von Kohlendioxid (19,20) umfassend einen Prallreaktor (25), gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte,
 - Bereitstellung von Kohlendioxid (20) in gasförmiger Phase, um Leckageverluste im Prozess ausgleichen zu können, wobei der Druck minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 10°C, maximal 25°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 10 m³/h hat,
 - Rückführung von Kohlendioxid (19) in gasförmiger Phase aus einer Gastrennung (13), wobei der Druck minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 10°C, maximal 25°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
 - Verdichtung von Kohlendioxid (19,20) in gasförmiger Phase mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters, wobei der Druck minimal 3 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 10°C, maximal 25°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die elektrische Leistung einen Wert minimal 1kW, maximal 100kW hat,
 - Rückkühlung von Kohlendioxid (19,20) in einem Wärmetauscher (23) in gasförmiger Phase, wobei der Druck minimal 3 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 0°C, maximal 5°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
 - Beschleunigung von Kohlendioxid (19,20) in einer Lavalldüse (24), wobei die Geschwindigkeit von Kohlendioxid minimal einen Wert Mach 1, maximal Mach 7 hat, wobei die Expansion auf einen Druck im Prallreaktor (25) von minimal 0,001 bar, maximal 1 bar erfolgt, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat
 - Zerplüttung von Kohlendioxid (19,20) in einem Prallreaktor (25), wobei der Druck einen Wert von minimal 0,001 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 0°C, maximal 5°C hat, wobei die Konzentration von Kohlenmonoxid einen Wert minimal 60%, maximal 85% hat, wobei die Konzentration von Sauerstoff einen Wert minimal 10%, maximal 20% hat, der restliche Anteil Kohlendioxid ist,
 - Absaugung und Verdichtung des Gasgemisches aus dem Prallreaktor (25) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters (26), wobei der Druck einen Wert von minimal 4 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei die Konzentration von Kohlenmonoxid einen Wert minimal 60%, maximal 85% hat, wobei die Konzentration von Sauerstoff einen Wert minimal 10%, maximal 20% hat, der restliche Anteil Kohlendioxid ist, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat,

- Gastrennung (28) des Gasgemisches aus dem Prallreaktor (25) mit Hilfe einer Druckwechseladsorption (28) auf der Basis von molekularen Kohlenstoffsieben, zur Gewinnung von Sauerstoff (30) und Kohlenmonoxid (31), wobei der Volumenstrom minimal von 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei der Druck einen Wert minimal von 4 bar, maximal 10 bar hat,
- Gewinnung von Sauerstoff (30) mit Hilfe einer Gastrennung (28), wobei der Volumenstrom minimal von 0,2 m³/h, maximal 200 m³/h hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei der Druck einen Wert minimal von 4 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Konzentration an Sauerstoff (30) einen Wert minimal 99%, maximal 99,99% hat,
- Gewinnung von Kohlenmonoxid (31) mit Hilfe einer Gastrennung (28), wobei der Volumenstrom minimal von 0,8 m³/h, maximal 800 m³/h hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei der Druck einen Wert minimal von 0,001 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Konzentration an Kohlenmonoxid (31) einen Wert minimal 98%, maximal 99% hat,
- Absaugung und Verdichtung von Kohlenmonoxid (31) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters (32), wobei der Druck einen Wert von minimal 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei die Konzentration von Kohlenmonoxid einen Wert minimal 90%, maximal 100% hat, wobei der Volumenstrom minimal 0,8 m³/h, maximal 800 m³/h hat,
- Bereitstellung von Wasser (2) in einem Behälter (1), wobei das Wasser eine Leitfähigkeit minimal 0,01 µS/cm, maximal 10 µS/cm hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur minimal einen Wert 5°C, maximal 50°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
- Verdampfen von Wasser (2) mit Hilfe elektrischer Energie (6) in einem Dampferzeuger (5), wobei der Druck einen Wert von 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 175°C hat, wobei der Volumenstrom einen Wert minimal 1m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die elektrische Energie einen Wert minimal 1k, maximal 1000 kW hat,
- Bereitstellung von Wasserdampf (7), wobei der Wasserdampf eine gasförmige Phase hat, wobei der Druck einen Wert von 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 175°C hat, wobei der Volumenstrom einen Wert minimal 1m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
- Rekuperatives Vorwärmen von Kohlenmonoxid (31) durch das rückgeführte Synthesegas aus dem Reformier (9), wobei der Druck einen Wert von 1 bar bis 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert von minimal 200°C, maximal 400°C hat,

- Erzeugung von Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff mit Hilfe einer Reformierung (9) aus dem zugeführten Kohlenmonoxid (8), aus dem zugeführten Wasserdampf (7), wobei der Druck bei der Reformierung (9) einen Wert minimal von 1,0 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 200°C, maximal 800°C hat, wobei der Volumenstrom an Synthesegas einen Wert minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die elektrische Energie zur Beheizung (10) des Reformers 9 eine Leistung minimal 10 kW, maximal 1000 kW hat, wobei die thermische Kühlung (10) des Reformers (9) einen Wert minimal von 10kW, maximal 1000 kW hat,
- Gastrennung (13) des Synthesegases aus dem Reformer (9) in Wasserstoff (15) und Kohlendioxid (16) mit Hilfe einer Druckwechseladsorption auf der Basis von molekularen Kohlenstoffsieb, wobei der Druck minimal 0,001 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur minimal 5°C, maximal 50°C hat,
- Gewinnung von Wasserstoff (15) aus einer Gastrennung (13), wobei der Druck einen Wert minimal 4 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei Wasserstoff eine Reinheit minimal von 98%, maximal 99,9% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,
- Gewinnung von Kohlendioxid (16) aus einer Gastrennung (13), wobei der Druck einen Wert minimal 0,001 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei das Kohlendioxid eine Konzentration minimal von 90%, maximal 99% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,
- Absaugen und Verdichten von Kohlendioxid (16) aus einer Gastrennung (13) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters, wobei der Druck einen Wert minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei das Kohlendioxid eine Konzentration minimal von 90%, maximal 99% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,
- Rückführung von Kohlendioxid (19) aus einer Gastrennung (13) dem Prallreaktor (25) , wobei der Druck einen Wert minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei das Kohlendioxid eine Konzentration minimal von 90%, maximal 99% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,

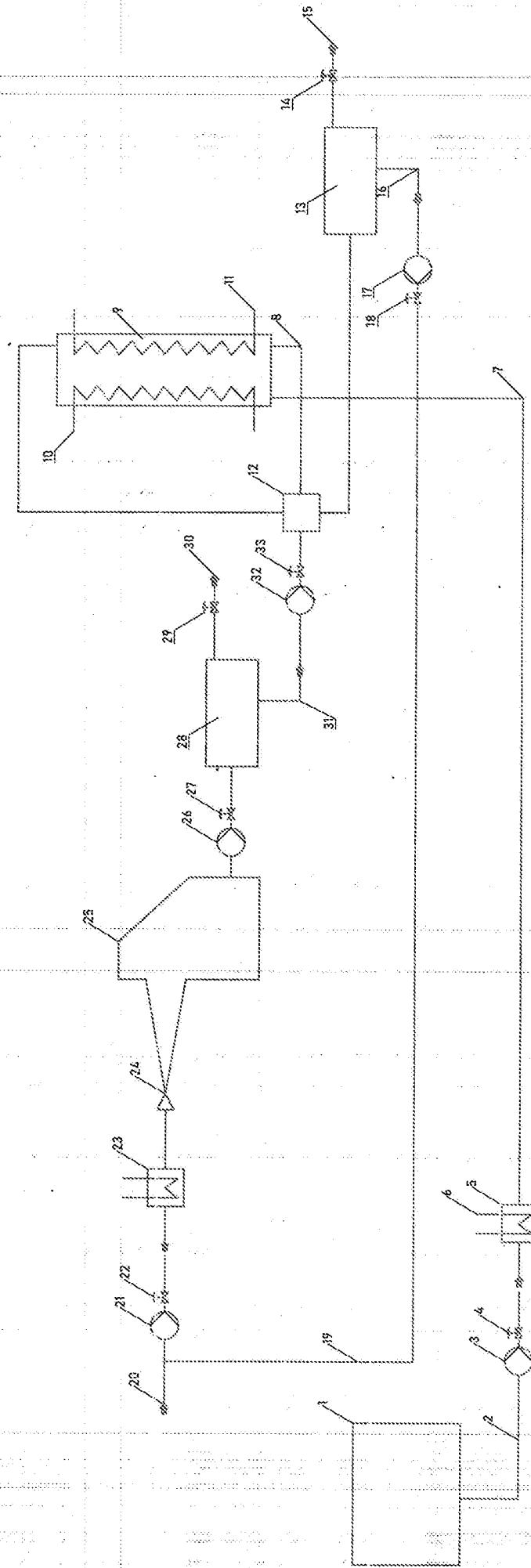


Abbildung 1

Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß IPC: C01B 3/12 (2006.01); C01B 3/56 (2006.01); C01B 32/40 (2017.01); C01B 13/02 (2006.01); B01J 3/00 (2006.01)		
Klassifikation des Anmeldegegenstands gemäß CPC: C01B 3/12 (2013.01); C01B 3/56 (2013.01); C01B 32/40 (2017.08); C01B 13/0203 (2013.01); C01B 13/0266 (2013.01); B01J 3/008 (2013.01)		
Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation): C01B, B01J		
Konsultierte Online-Datenbank: EPODOC, WPI, Volltext-Patentdatenbanken		
Dieser Recherchenbericht wurde zu dem am 03.05.2023 eingereichten Anspruch 1 erstellt.		
Kategorie*)	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
X	US 2015292404 A1 (JIN HONGGUANG], ZHANG XIAOSONG) 15. Oktober 2015 (15.10.2015) Figuren 1(b) und 2 und darauf bezogene Beschreibung	1
X	DE 2449230 A1 (TEXAS GAS TRANSMISSION CORP.) 22. Mai 1975 (22.05.1975) Figur 1 und darauf bezogene Beschreibung	1
X	JP 2018016500 A (UNIVERSITY OF FUKUI, TOKYO INSTITUTE OF TECHNOLOGY) 01. Februar 2018 (01.02.2018) (übersetzt) [online] [abgerufen am 25.03.2024]. Abgerufen von EPOQUE: TXPMTJEA / EPO Figur 18 und darauf bezogene Beschreibung	1
A	AT 524186 A1 (GS GRUBER-SCHMIDT) 15. März 2022 (15.03.2022) Das ganze Dokument	1
Datum der Beendigung der Recherche: 29.03.2024		Seite 1 von 1
		Prüfer(in): ENGLISCH Julia
*) Kategorien der angeführten Dokumente:		
X	Veröffentlichung von besonderer Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.	A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert.
Y	Veröffentlichung von Bedeutung : der Anmeldegegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist.	P Dokument, das von Bedeutung ist (Kategorien X oder Y), jedoch nach dem Prioritätstag der Anmeldung veröffentlicht wurde. E Dokument, das von besonderer Bedeutung ist (Kategorie X), aus dem ein „ älteres Recht “ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen). & Veröffentlichung, die Mitglied der selben Patentfamilie ist.

Ansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (15) aus Wasser (2) mit Hilfe von Kohlendioxid (19,20) umfassend einen Prallreaktor (25), gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte,
 - Bereitstellung von Kohlendioxid (20) in gasförmiger Phase, um Leckageverluste im Prozess ausgleichen zu können, wobei der Druck minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 10°C, maximal 25°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 10 m³/h hat,
 - Rückführung von Kohlendioxid (19) in gasförmiger Phase aus einer Gastrennung (13), wobei der Druck minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 10°C, maximal 25°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
 - Verdichtung von Kohlendioxid (19,20) in gasförmiger Phase mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters, wobei der Druck minimal 3 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 10°C, maximal 25°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die elektrische Leistung einen Wert minimal 1kW, maximal 100kW hat,
 - Rückkühlung von Kohlendioxid (19,20) in einem Wärmetauscher (23) in gasförmiger Phase, wobei der Druck minimal 3 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 0°C, maximal 5°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
 - Beschleunigung von Kohlendioxid (19,20) in einer Lavalldüse (24), wobei die Geschwindigkeit von Kohlendioxid minimal einen Wert Mach 1, maximal Mach 7 hat, wobei die Expansion auf einen Druck im Prallreaktor (25) von minimal 0,001 bar, maximal 1 bar erfolgt, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat
 - Zerplüttung von Kohlendioxid (19,20) in einem Prallreaktor (25), wobei der Druck einen Wert von minimal 0,001 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 0°C, maximal 5°C hat, wobei die Konzentration von Kohlenmonoxid einen Wert minimal 60%, maximal 85% hat, wobei die Konzentration von Sauerstoff einen Wert minimal 10%, maximal 20% hat, der restliche Anteil Kohlendioxid ist,
 - Absaugung und Verdichtung des Gasgemisches aus dem Prallreaktor (25) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters (26), wobei der Druck einen Wert von minimal 4 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei die Konzentration von Kohlenmonoxid einen Wert minimal 60%, maximal 85% hat, wobei die Konzentration von Sauerstoff einen Wert minimal 10%, maximal 20% hat, der restliche Anteil Kohlendioxid ist, wobei der Volumenstrom minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
 - Gastrennung (28) des Gasgemisches aus dem Prallreaktor (25) mit Hilfe einer Druckwechseladsorption (28) auf der Basis von molekularen Kohlenstoffsieben, zur Gewinnung von Sauerstoff (30) und Kohlenmonoxid (31), wobei der Volumenstrom minimal von 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die Temperatur einen Wert

minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei der Druck einen Wert minimal von 4 bar, maximal 10 bar hat,

- Gewinnung von Sauerstoff (30) mit Hilfe einer Gastrennung (28), wobei der Volumenstrom minimal von 0,2 m³/h, maximal 200 m³/h hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei der Druck einen Wert minimal von 4 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Konzentration an Sauerstoff (30) einen Wert minimal 99%, maximal 99,99% hat,
- Gewinnung von Kohlenmonoxid (31) mit Hilfe einer Gastrennung (28), wobei der Volumenstrom minimal von 0,8 m³/h, maximal 800 m³/h hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei der Druck einen Wert minimal von 0,001 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Konzentration an Kohlenmonoxid (31) einen Wert minimal 98%, maximal 99% hat,
- Absaugung und Verdichtung von Kohlenmonoxid (31) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters (32), wobei der Druck einen Wert von minimal 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 10°C, maximal 50°C hat, wobei die Konzentration von Kohlenmonoxid einen Wert minimal 90%, maximal 100% hat, wobei der Volumenstrom minimal 0,8 m³/h, maximal 800 m³/h hat,
- Bereitstellung von Wasser (2) in einem Behälter (1), wobei das Wasser eine Leitfähigkeit minimal 0,01 µS/cm, maximal 10 µS/cm hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur minimal einen Wert 5°C, maximal 50°C hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
- Verdampfen von Wasser (2) mit Hilfe elektrischer Energie (6) in einem Dampferzeuger (5), wobei der Druck einen Wert von 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 175°C hat, wobei der Volumenstrom einen Wert minimal 1m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die elektrische Energie einen Wert minimal 1k, maximal 1000 kW hat,
- Bereitstellung von Wasserdampf (7), wobei der Wasserdampf eine gasförmige Phase hat, wobei der Druck einen Wert von 1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 175°C hat, wobei der Volumenstrom einen Wert minimal 1m³/h, maximal 1000 m³/h hat,
- Rekuperatives Vorwärmen von Kohlenmonoxid (31) durch das rückgeführte Synthesegas aus dem Reformer (9), wobei der Druck einen Wert von 1 bar bis 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert von minimal 200°C, maximal 400°C hat,
- Erzeugung von Synthesegas aus Kohlendioxid und Wasserstoff mit Hilfe einer Reformierung (9) aus dem zugeführten Kohlenmonoxid (8), aus dem zugeführten Wasserdampf (7), wobei der Druck bei der Reformierung (9) einen Wert minimal von 1,0 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal von 200°C, maximal 800°C hat, wobei der Volumenstrom an Synthesegas einen Wert minimal 1 m³/h, maximal 1000 m³/h hat, wobei die elektrische Energie zur Beheizung (10) des Reformers 9 eine Leistung minimal 10 kW, maximal 1000 kW hat, wobei die thermische Kühlung (10) des Reformers (9) einen Wert minimal von 10kW, maximal 1000 kW hat,
- Gastrennung (13) des Synthesegases aus dem Reformer (9) in Wasserstoff (15) und Kohlendioxid (16) mit Hilfe einer Druckwechseladsorption auf der Basis von

molekularen Kohlenstoffsieb, wobei der Druck minimal 0,001 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur minimal 5°C, maximal 50°C hat,

- Gewinnung von Wasserstoff (15) aus einer Gastrennung (13), wobei der Druck einen Wert minimal 4 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei Wasserstoff eine Reinheit minimal von 98%, maximal 99,9% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,
- Gewinnung von Kohlendioxid (16) aus einer Gastrennung (13), wobei der Druck einen Wert minimal 0,001 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei das Kohlendioxid eine Konzentration minimal von 90%, maximal 99% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,
- Absaugen und Verdichten von Kohlendioxid (16) aus einer Gastrennung (13) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters, wobei der Druck einen Wert minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei das Kohlendioxid eine Konzentration minimal von 90%, maximal 99% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,
- Rückführung von Kohlendioxid (19) aus einer Gastrennung (13) dem Prallreaktor (25) , wobei der Druck einen Wert minimal 1 bar, maximal 10 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 5°C, maximal 50°C hat, wobei das Kohlendioxid eine Konzentration minimal von 90%, maximal 99% hat, wobei der Volumenstrom minimal 1m³/hm, maximal 1000 m³/h hat,