

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 88/2023
(22) Anmeldetag: 17.07.2023
(43) Veröffentlicht am: 15.02.2025

(51) Int. Cl.: **C10J 3/14** (2006.01)
C10J 3/64 (2006.01)
C01B 3/06 (2006.01)
C01B 32/40 (2017.01)
C01B 32/50 (2017.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 524186 A1
AT 524182 A1
WO 2016011473 A1
WO 2009151368 A1
WO 2004000723 A1
WO 2006109294 A1

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

(72) Erfinder:
Gruber Schmidt Johann Dipl.-Ing. Dr.
7561 Heiligenkreuz im Lafnitztal (AT)
Gruber Schmidt Sebastian

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

(54) **Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse und elektrischer Energie**

(57) Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (44) aus Biomasse (9) und elektrischer Energie, die dazu verwendet wird, um Wasser (1) in einem Dampferzeuger (2) zu verdampfen, um den Wasserdampfvergasungsreaktor (8) zu beheizen, um die Redox Reaktoren (27,29) zu beheizen. Wasserdampf (4) wird mit Hilfe der Abwärme des heißen Kohlendioxids (33) aus den Redox Reaktoren (27,29) erwärmt, das abgekühlte Kohlendioxid wird verdichtet und unterkühlt, sodass man Kohlendioxid in flüssiger Phase abscheiden kann (41). Wasserdampf wird dem Wasserdampfvergasungsreaktor (12) zugeführt. Das so erzeugte Wassergas wird gereinigt (15) und in Wasserstoff (30) und Kohlenmonoxid mit Hilfe einer Druckwechseladsorption (16) getrennt. Wasserdampf und Kohlenmonoxid werden alternierend den Reaktoren (27,29) zugeführt. Bei der Oxidation werden die Reaktoren (27, 29) gekühlt (26,28). Bei der Reduktion werden die Reaktoren (27,29) erhitzt (45,46). Die Abwärme aus dem Wasserstoff (44) und Kohlendioxid (33) wird rekuperativ in den Wärmetauschern (6,39,43,47) genutzt.

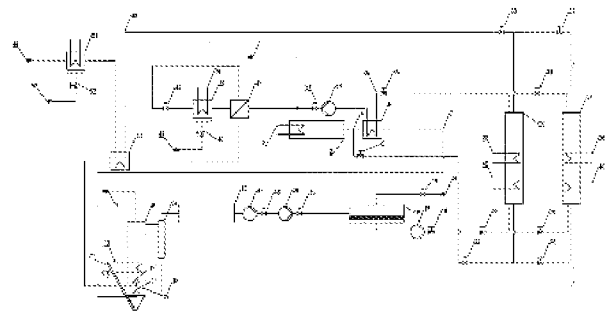


Abbildung 1

Zusammenfassung

Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (44) aus Biomasse (9) und elektrischer Energie, die dazu verwendet wird, um Wasser (1) in einem Dampferzeuger (2) zu verdampfen, um den Wasserdampfvergasungsreaktor (8) zu beheizen, um die Redox Reaktoren (27,29) zu beheizen. Wasserdampf (4) wird mit Hilfe der Abwärme des heißen Kohlendioxids (33) aus den Redox Reaktoren (27,29) erwärmt, das abgekühlte Kohlendioxid wird verdichtet und unterkühlt, sodass man Kohlendioxid in flüssiger Phase abscheiden kann (41). Wasserdampf wird dem Wasserdampfvergasungsreaktor (12) zugeführt. Das so erzeugte Wassergas wird gereinigt (15) und in Wasserstoff (30) und Kohlenmonoxid mit Hilfe einer Druckwechseladsorption (16) getrennt. Wasserdampf und Kohlenmonoxid werden alternierend den Reaktoren (27,29) zugeführt. Bei der Oxidation werden die Reaktoren (27, 29) gekühlt (26,28). Bei der Reduktion werden die Reaktoren (27,29) erhitzt (45,46). Die Abwärme aus dem Wasserstoff (44) und Kohlendioxid (33) wird rekuperativ in den Wärmetauschern (6,39,43,47) genutzt.

Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse und elektrischer Energie

Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff 44 aus Biomasse 9 und elektrischer Energie, die dazu verwendet wird, um Wasser 1 in einem Dampferzeuger 2 zu verdampfen, um den Wasserdampfvergasungsreaktor 8 zu beheizen, um die Redox Reaktoren 27,29 zu beheizen. Wasserdampf 4 wird mit Hilfe der Abwärme des heißen Kohlendioxids 33 aus den Redox Reaktoren 27,29 erwärmt, das abgekühlte Kohlendioxid wird verdichtet und unterkühlt, sodass man Kohlendioxid in flüssiger Phase abscheiden kann 41. Wasserdampf wird dem Wasserdampfvergasungsreaktor 12 zugeführt. Das so erzeugte Wassergas wird gereinigt 15 und in Wasserstoff 30 und Kohlenmonoxid mit Hilfe einer Druckwechseladsorption 16 getrennt. Wasserdampf und Kohlenmonoxid werden alternierend den Reaktoren 27,29 zugeführt. Bei der Oxidation werden die Reaktoren 27, 29 gekühlt 26,28. Bei der Reduktion werden die Reaktoren 27,29 erhitzt 45,46. Die Abwärme aus dem Wasserstoff 44 und Kohlendioxid 33 wird rekuperativ in den Wärmetauschern 6,39,43,47 genutzt.

Die Erzeugung von Wasserstoff aus Biomasse ist bekannt. Dabei wird die benötigte thermische Energie aus der Biomasse selber gewonnen. Darunter versteht man, dass Wasserstoff mit Hilfe der bekannten Wasserdampfvergasung erzeugt werden kann. Die Wasserdampfvergasung aber ist stark endotherm. Der Wasserdampfvergasungsprozess wird bei 800°C betrieben.

Die Wärme zur Erzeugung von Wasserdampf und die Überhitzung des Wasserdampfes wird mit Hilfe der Vergasung von Biomasse gewonnen. Dabei wird feste Biomasse in Schwellgas und Biomassekoks umgewandelt. Das Schwellgas hat einen Heizwert von 2,0 kWh/m³ und kann mit Luft verbrannt werden. Die dabei gewonnene Wärme kann zur Erzeugung von Wasserdampf verwendet werden. Dieser Wasserdampf kann mit Heißgas auf 800°C überhitzt werden.

Dieses System verwendet elektrische Energie nur auf der Basis zum Antrieb von Maschinen, wie Pumpen, Verdichter, Gebläse und E Motoren für Fördertechnik.

Die **Aufgabe**, die nun gestellt wird, die Verwendung von elektrischer Energie zur Erzeugung von Wasserdampf, zur Überhitzung von Wasserdampf, das Beheizen von Reaktoren, die Unterstützung des Wasserdampfvergasung, die Unterstützung des Redox Verfahrens zur Erzeugung von Wasserstoff mit Hilfe von Eisenoxid.

Feste Biomasse 9 hat in der Regel einen Kohlenstoffgehalt zwischen 48% bis 52%. Dieser Kohlenstoffgehalt ist entscheidend für die Anwendung einer Wasserdampfvergasung 8. In der Berechnung der Wasserdampfvergasung wird Kohlenstoff 9 mit Wasserdampf 11

Um das Prinzip der Wasserdampfvergasung 8 anzuwenden, muss Wasserdampf 4 erzeugt werden, der Energiebedarf ergibt sich zu:

Temperature (°C)	Pressure (bar)	Density (ρ g/m ³)	Enthalpy (kJ/kg)	Entropy (kJ/kg.K)
25,00	3,00	997,14	105,10	0,37
175,00	3,00	1,48	2814,20	7,28
175,00	3,00	1,48	2814,20	7,20
800,00	3,00	0,61	4159,50	9,05

Tabelle 1: Thermodynamische Daten für Wasserdampf bei einem Druck von 3 bar.

Wasserdampferzeugung und Wasserdampfüberhitzung benötigte elektrische Energie wird in der nachfolgenden Tabelle dargestellt:

M	9,00	kg/h
Q	7,53	kW
Q _{super}	1,574	kW

Tabelle 2: Für 9 kg/h Wasser benötigt man eine elektrische Energie von 3,75 kW.

Erfindungsgemäß wird Wasser 1 für den Dampferzeuger 2 bereitgestellt. Der Wasserdampf wird in einem Wärmetauscher 6 mit der Abwärme aus dem Reduktionsgas 35. Das Reduktionsgas wird über einen Verdichter 36 auf einen Druck von 20 bar verdichtet. Das verdichtete Reduktionsgas wird über einem rekuperativen Wärmetauscher 47 einem Kondensator 39 zugeführt. In dem Wärmetauscher wird das reduktionsgas auf -20°C abgekühlt. Damit erreicht man, dass Kohlendioxid in flüssiger Phase abgeschieden wird. Das abgekühlte Restgas wird über den Wärmetauscher 47 erwärmt und mit Hilfe des Wärmetauscher 43 weiter erwärmt. Das erwärmte Restgas wird über die Düse 12 in der Wasserdampfvergasung 8 eingedüst.

Der Wasserdampf aus dem Dampferzeuger 2 wird in dem Wärmetauscher 6 weiter überhitzt und dann über die Düsen 11 in die Wasserdampfvergasung 8 eingedüst. Feste Biomasse 9 wird aufbereitet und in Form von Späne, Schalen, Spelzen als Feinteile in den Wasserdampfvergasung 8 eingebracht.

Biomasse Wasserdampfvergasung kann mit folgender thermochemischer Energiebilanz dargestellt werden:

	C	H ₂ O	CO	H ₂		
	1,00	1,00	1,00	1,00		
	12,00	18,00	28,00	2,00		
	12,00	18,00	28,00	2,00		
	1,85	1,55	1,55	0,17		
	0,20	0,00	0,10	0,00		
H ₀ (298)	0,00	-241,80	-110,50	0,00		
	0,00	-241,80	-110,50	0,00	131,30	kJ/mol
T(°C)	800,00	800,00	800,00	800,00		
T(K)	1073,15	1073,15	1073,15	1073,15		
S ₀ (298)	5,74	188,70	197,60	130,60		

T(°C)	800,00	800,00		800,00	800,00		
T(K)	1073,15	1073,15		1073,15	1073,15		
SiO ₂ (%)	88,79	197,60		88,79	213,70		
	55,79	197,60	0,00	176,37	213,70	133,68	kJ/mol
T _{Si}	83,09	212,05	0,00	189,27	229,33		
G _r	-1129,79	-322,55	0,00	-982,47	-622,83	-102,86	kJ/mol
						-0,45	kJ/g Fe ₃ O ₄
						-0,12	kWh/kg Fe ₃ O ₄
						-33,35	kWh

Tabelle 5: Reduktion von Eisen(III) oxid zu Eisen(I) oxid mit Hilfe von Kohlenmonoxid.

Die Reaktoren 27,29 sind baugleich gestaltet und werden alternierend betrieben. In den Reaktoren 27,29 werden Eisenoxidpellets in Form einer Schüttung verwendet. Die Reaktoren 27,29 werden thermoelektrisch 45,46 beheizt. Die beheizung ist notwendig, um die Reduktion des Eisen(III)oxids mit Hilfe von Kohlenmonoxid zu erreichen. Das heiße Kohlendioxid wird über die Regelventile 31,34 abgeleitet.

Die Reaktoren 27,29 werden thermisch gekühlt 26,28, um so die Wärme aus den Reaktoren bei der Beladung mit Wasserdampf abzuleiten und eine effiziente Produktion von Wasserstoff 33 zu ermöglichen. Das heiße Gasgemisch aus Wasserstoff und Wasserdampf wird in dem Wärmetauscher 43 abgekühlt, und in einem Wärmetauscher 49 wird der Wasserdampf als Kondensat 50 abgeschieden. Das Restgas 44 ist der gesuchte Wasserstoff.

Das heiße Kohlendioxid 35 wird dazu benutzt um über einen Wärmetauscher 6 den Wasserdampf zu überhitzen. Das abgekühlte Kohlendioxid 35 wird auf 20 bar verdichtet und dann in einem Wärmetauscher 39 auf -20°C abgekühlt. Die thermodynamischen Eigenschaften von Kohlendioxid sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet:

Temperature	Pressure	Density	Enthalpy	Entropy
(°C)	(bar)	(kg/m ³)	(kJ/kg)	(kJ/kg·K)
100,00	3,00	4,29	571,12	2,73
267,78	20,00	19,76	752,32	3,79
25,00	20,00	39,77	386,47	2,13
-31,00	20,00	1031,81	134,34	0,83

Tabelle 6: Thermodynamische Eigenschaften von Kohlendioxid

Für die Verflüssigung von Kohlendioxid wird folgende elektrische und thermische Energie verwendet:

Verflüssigung		
M	22,00	kg/h
Pelec	0,98	kW
Q _{st}	3,53	kW

Tabelle 7: Elektrische und thermische Energie für die Verflüssigung von Kohlendioxid

Das so gewonnene Kohlendioxid 41 kann in flüssiger Phase weiterverwendet werden.

Die Nutzung der elektrischen Überschussenergie wird dazu verwendet zur Erzeugung von Wasserdampf 2, zu Beheizung des Wasserdampfvergasungsreaktor 8, die Beheizung der Reaktoren 27,29.

Die Anwendung der Erfindung hat mit dem Umstand zu tun, dass mit steigender Zahl an solaren Anlagen oder Windanlagen, die Anzahl der Stunden an Überschussenergie massiv

steigen wird. Die hier verwendete elektrische Energie wird in Kombination mit fester Biomasse verwendet.

Die Größenordnung solcher Anlagen ist auf die Verfügbarkeit elektrischer Energie ausgelegt. In der Regel kann man ab 1000 kW bis 10,0 MW elektrischer Energie ausgehen. Das ergibt eine Wasserstoffproduktion von 250 kg/h bis 2500 kg/h.

Zeichen und Symbole

1	Wasser
2	Dampferzeuger
3	elektrische Heizung
4	Wasserdampf
5	Regelarmatur
6	Wärmetauscher
7	Wasserdampf
8	Reaktor
9	Biomasse
10	elektrische Heizung
11	Wasserdampf
12	Restgas
13	Rückführschnecke
14	Zyklon
15	Gasreinigung
16	Druckwechseladsorption
17	Verdichter
18	Regelarmatur
19	Regelarmatur
20	Wasserstoff
21	Schnecke mit Regelarmatur
22	Regelarmatur
23	Regelarmatur
24	Regelarmatur
25	Regelarmatur
26	thermische Kühlung
27	Reaktor
28	Thermische Kühlung
29	Reaktor
30	Regelarmatur
31	Regelarmatur
32	Regelarmatur
33	Wasserstoff
34	Regelarmatur
35	Kohlendioxid
36	Verdichter
37	Regelarmatur
38	Kühlsole
39	Wärmetauscher
40	Regelarmatur
41	flüssiges Kohlendioxid
42	Regelarmatur
43	Wärmetauscher
44	Wasserstoff
45	elektrische Heizung

46	elektrische Heizung
47	Verdichter
48	Regelarmatur
49	Verdichter
50	Regelarmatur
51	Wärmetauscher
52	Regelarmatur
53	Wasserkondensat

Symbole

C	Kohlenstoff
CO	Kohlenmonoxid
CO ₂	Kohlendioxid
H ₂	Wasserstoff
FeO	Eisen(I)oxid
Fe ₂ O ₃	Eisen(III)oxid
H ₂ O	Wasser, Wasserdampf

Abbildungen

Abbildung 1

In der **Abbildung 1** wird gezeigt, die Erzeugung von Wasserdampf 2 aus Wasser 1 mit Hilfe elektrischer Energie 3. Der Wasserdampf 4 wird im Wärmetauscher 6 überhitzt und der Wasserdampfvergasung 11 zugeführt. Der andere Teil an Wasserdampf 4 wird den Redox Reaktoren 27,29 alternierend zugeführt und so 33 Wasserstoff erzeugt, der nach Abscheidung von Wasser 50 im Wärmetauscher 49 als Produkt 44 gewonnen wird. Wasserdampf wird mit Biomasse im Reaktor 8 zu Wassergas vergast, über einen Zyklon 14 wird Kohlenstoff 13 abgeschieden und in den Reaktor 8 rückgeführt. Das Wassergas wird gereinigt 15 und mit dem Verdichter 45 aus dem Reaktor abgesaugt und dann weiter verdichtet und mit Hilfe einer Druckwechseladsorption 16 in Wasserstoff 20 und in Kohlenmonoxid getrennt. Das Kohlenmonoxid wird den Reaktoren 27,29 alternierend zugeführt, das heiße Kohlendioxid 33 wird in einem Wärmetauscher 6 abgekühlt, verdichtet 36 und in einem Wärmetauscher 39 das Kohlendioxid als flüssiges Kondensat abgeschieden. Das Restgas aus Kohlenmonoxid wird dem Reaktor 8 zugeführt.

- Reinigung des Wassergases (14) mit Hilfe einer Gaswäsche auf der Basis von Biodiesel, wobei Wassergas bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff einen Massenstrom von minimal 15 kg/h, maximal 1500 kg/h hat, wobei der Druck im Wassergas minimal 0,1 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 400°C, maximal 600°C hat, wobei die Konzentration an Partikel einen Wert minimal von 0,001mg/m³, maximal 0,1mg/m³ hat,
- Absaugen und Verdichten von Wassergas (14) bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Vakuumpolbenverdichters (47), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 0,01 bar, maximal 0,4 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom einen Wert minimal 15kg/h, maximal 1500 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 1,1 bar, maximal 3 bar hat
- Verdichten von Wassergas (14) bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichters (48), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 1,1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom einen Wert minimal 15kg/h, maximal 1500 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 8 bar, maximal 12 bar hat
- Gastrennung von Wassergas (14) bestehend aus Wasserstoff (20) und Kohlenmonoxid (18) in einer Druckwechseladsorption (16) mit Hilfe eines Kohlenstoff Molekularsiebes, Massenstrom von minimal 15 kg/h, maximal 1500 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 8 bar, maximal 12 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom an Kohlenmonoxid einen Wert minimal 14kg/h, maximal 1400 kg/h hat, wobei der Massenstrom an Wasserstoff einen Wert minimal 1kg/h, maximal 100 kg/h hat,
- Absaugen und Verdichten von Kohlenmonoxid (18) aus dem Kohlenstoff Molekularsieb (16) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Vakuumpolbenverdichters (17), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 0,001 bar, maximal 0,2 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom an Kohlenmonoxid einen Wert minimal 14kg/h, maximal 1400 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3 bar hat
- Erzeugung von Wasserstoff (33) in mit Eisen(II)oxid Pellets befüllten Schütt Redox Reaktoren (27,29) durch alternierende Beaufschlagung der Reaktoren (27,29) mit Wasserdampf (4), wobei die Reaktoren (27,29) thermisch gekühlt sind, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 150°C, maximal 250°C hat, wobei der Massenstrom an Wasserdampf (4)

einen Wert minimal 9 kg/h, maximal 900 kg/h hat, wobei der Wasserstoff einen Massenstrom minimal 1kg/h, maximal 100kg/h hat, wobei die Kühlleistung einen Wert minimal 7kW, maximal 700 kW hat,

- Abkühlung von Wasserstoff (33) in einem Wärmetauscher (43), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 150°C, maximal 250°C hat, wobei der Wasserstoff einen Massenstrom minimal 1kg/h, maximal 100kg/h hat,
- Abscheidung von Wasserdampf als Kondensat (53) in einem Wärmetauscher (51), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 50°C hat, wobei der Massenstrom an Wasser (53) einen Wert minimal 0,1 kg/h, maximal 90 kg/h hat, wobei der Wasserstoff einen Massenstrom minimal 1kg/h, maximal 100kg/h hat,
- Erzeugung von Kohlendioxid (35) in mit Eisen(II)oxid Pellets befüllten Schütt Redox Reaktoren (27,29) durch alternierende Beaufschlagung der Reaktoren (27,29) mit Kohlenmonoxid (18), wobei die Reaktoren (27,29) elektrisch beheizt sind (45,46), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 600°C, maximal 800°C hat, wobei der Massenstrom an Kohlenmonoxid (18) einen Wert minimal 14 kg/h, maximal 1400 kg/h hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei die elektrische Leistung einen Wert minimal 14 kW, maximal 1400 kW hat,
- Abkühlung von Kohlendioxid (35) in einem Wärmetauscher (6), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 200°C hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Verdichtung von Kohlendioxid (35) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichter (36), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 1,1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom einen Wert minimal 22 kg/h, maximal 2200 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 20 bar, maximal 30 bar hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Abkühlung von Kohlendioxid (35) in einem Wärmetauscher (47), wobei der Druck einen Wert minimal 20 bar, maximal 30 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,

- Abkühlung von Kohlendioxid (35) und Verflüssigung von Kohlendioxid (40) in einem Wärmetauscher (39), wobei der Druck einen Wert minimal 15 bar, maximal 30 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal -30°C , maximal -20°C hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Rückführung von Restgas (12) und Erwärmung in einem Wärmetauscher (47) in den Reaktor (8), wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C , maximal 25°C hat,
- Rückführung von Restgas (12) und Erwärmung in einem Wärmetauscher (43) in den Reaktor (8), wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 50°C , maximal 150°C hat,
- Rückführung von Restgas (12) in den Reaktor (8), wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 50°C , maximal 150°C hat,

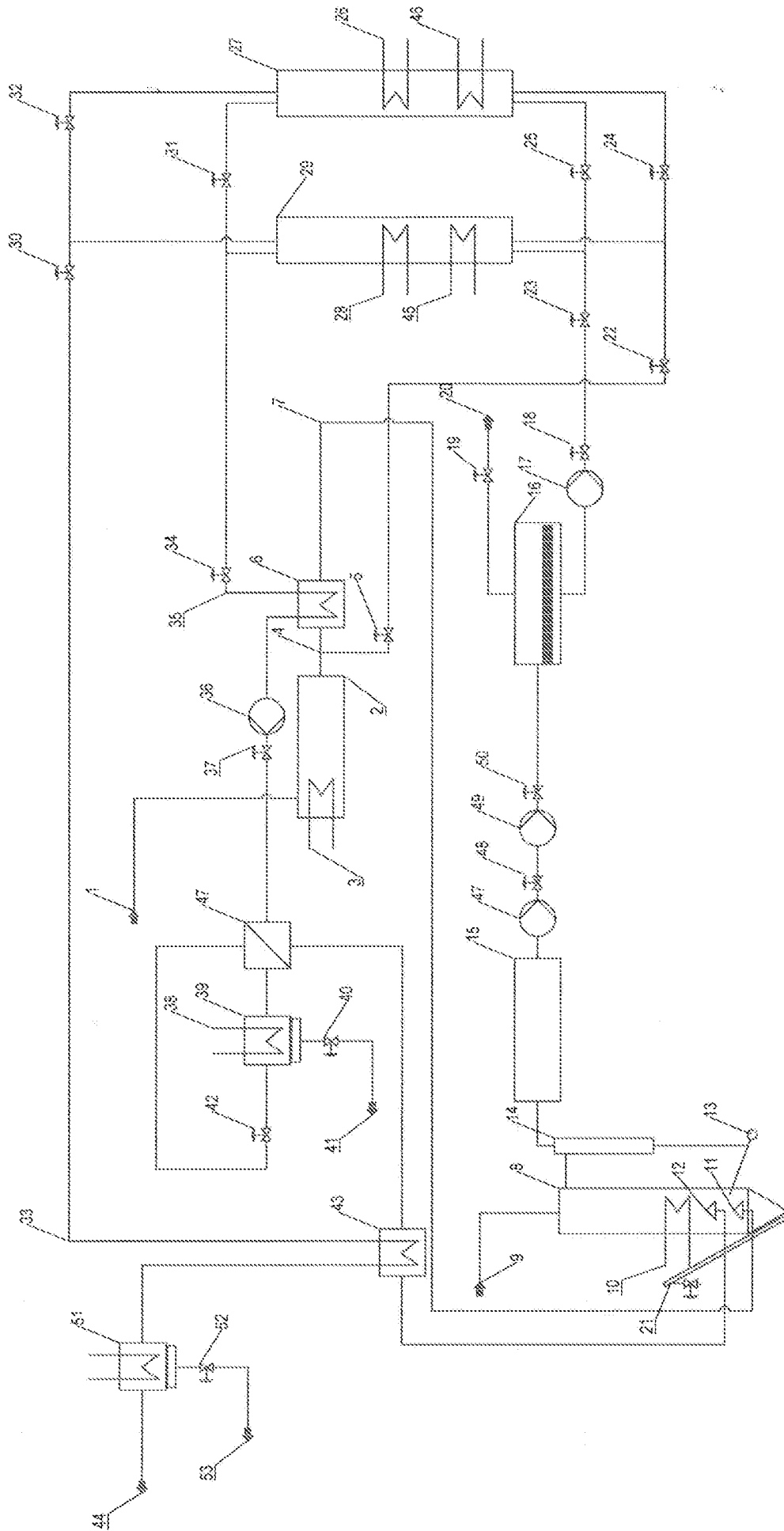


Abbildung 1

Ansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von Wasserstoff (44) aus elektrischer Energie (1) und Biomasse (9), umfassend einen Wasserdampferzeuger (2), einen Wasserdampfvergasungsreaktor (8), Reduktion und Oxidationsreaktoren (27,29), gekennzeichnet durch folgende Verfahrensschritte
 - Bereitstellung von Wasser (1), wobei der Massenstrom einen minimalen Wert von 18 kg/h, maximal 1800 kg/h, wobei der Druck minimal 1,0 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 50°C hat, wobei die Leitfähigkeit einen Wert minimal 3 µS/cm, maximal 30 µS/cm hat,
 - Bereitstellung von elektrischer Energie (3) für den Dampferzeuger (2), wobei die Leistung einen Wert minimal 7,5 kW, maximal 750 kW hat, wobei die Frequenz einen Wert von 50 Hz hat, wobei die Spannung einen Wert minimal 395 V, maximal 405 V hat,
 - Erzeugung von Wasserdampf (4), wobei der Massenstrom einen minimalen Wert von 18 kg/h, maximal 1800 kg/h, wobei der Druck minimal 1,0 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 175°C hat,
 - Überhitzen von Wasserdampf (4) in einem Wärmetauscher (6), wobei der Massenstrom einen minimalen Wert von 9 kg/h, maximal 900 kg/h, wobei der Druck minimal 1,0 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 200°C, maximal 400°C hat,
 - Bereitstellung von Biomasse (9), wobei der Massenanteil an Wasser minimal 10%, maximal 20% hat, wobei Massenstrom minimal 12 kg/h, maximal 1200 kg/h hat, wobei die Stückigkeit einen Durchmesser minimal 3mm, maximal 10 mm aufweist, wobei der Kohlenstoff einen Wert minimal 6kg/h, maximal 600 kg/h hat,
 - Erzeugung von Wassergas in einem elektrisch beheizten (10) Reaktor (8) unter Verwendung von Biomasse (9), unter Verwendung von Wasserdampf(4), unter Verwendung von Restgasen (12), wobei der Massenstrom an Biomasse (9) einen minimalen Wert von 18 kg/h, maximal 1800 kg/h, wobei der Druck im Reaktor (8) minimal 0,1 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 600°C, maximal 1000°C hat, wobei die elektrische Leistung zur Beheizung minimal 10 kW, maximal 1000kW hat, wobei der Massenstrom an Restgasen bestehend aus Methan und Kohlenmonoxid minimal 1kg/h, maximal 50 kg/h ausmacht, wobei Wassergas bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff mit einem Massenstrom von minimal 15 kg/h, maximal 1500 kg /h erzeugt wird.
 - Reinigung des Wassergases aus dem Reaktor (8) von Kohlenstoff mit Hilfe eines Zyklons (14), wobei Kohlenstoff mit einem Massenstrom von minimal 0,15 kg/h, maximal 15 kg/h abgeschieden und über eine Schnecke (13) in den Reaktor (8) rückgeführt wird, wobei der Druck im Wassergas minimal 0,1 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 400°C, maximal 600°C hat,
 - Reinigung des Wassergases mit Hilfe eines Gaswäsche auf der Basis von Biodiesel, wobei Wassergas bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff einen Massenstrom von minimal 15 kg/h, maximal 1500 kg /h hat, wobei der Druck im Wassergas minimal 0,1 bar, maximal 1 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 400°C, maximal

600°C hat, wobei die Konzentration an Partikel einen Wert minimal von 0,001mg/m³, maximal 0,1mg/m³ hat,

- Absaugen und Verdichten von Wassergas bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Vakuumpolbenverdichter (47), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 0,01 bar, maximal 0,4 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom einen Wert minimal 15kg/h, maximal 1500 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 1,1 bar, maximal 3 bar hat
- Verdichten von Wassergas bestehend aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff, mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichter (47), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 1,1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom einen Wert minimal 15kg/h, maximal 1500 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 8 bar, maximal 12 bar hat
- Gastrennung von Wassergas bestehend aus Wasserstoff (20) und Kohlenmonoxid in einer Druckwechseladsorption (16) mit Hilfe eines Kohlenstoff Molekularsiebes, Massenstrom von minimal 15 kg/h, maximal 1500 kg /h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 8 bar, maximal 12 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom an Kohlenmonoxid einen Wert minimal 14kg/h, maximal 1400 kg/h hat, wobei der Massenstrom an Wasserstoff einen Wert minimal 1kg/h, maximal 100 kg/h hat,
- Absaugen und Verdichten von Kohlenmonoxid aus einem Kohlenstoff Molekularsieb der Druckwechseladsorption (16) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Vakuumpolbenverdichter (17), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 0,001 bar, maximal 0,2 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom an Kohlenmonoxid einen Wert minimal 14kg/h, maximal 1400 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3 bar hat
- Erzeugung von Wasserstoff (33) in mit Eisen(I)oxid Pellets befüllten Schütt Redox Reaktoren (27,29) durch alternierende Beaufschlagung der Reaktoren (27,29) mit Wasserdampf (4), wobei die Reaktoren (27,29) thermisch gekühlt sind, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 150°C, maximal 250°C hat, wobei der Massenstrom an Wasserdampf (4) einen Wert minimal 9 kg/h, maximal 900 kg/h hat, wobei der Wasserstoff einen Massenstrom minimal 1kg/h, maximal 100kg/h hat, wobei die Kühlleistung einen Wert minimal 7kW, maximal 700 kW hat,
- Abkühlung von Wasserstoff (33) in einem Wärmetauscher (43), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 150°C, maximal 250°C hat, wobei der Wasserstoff einen Massenstrom minimal 1kg/h, maximal 100kg/h hat,
- Abscheidung von Wasserdampf als Kondensat (53) in einem Wärmetauscher (51), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur

einen Wert minimal 4°C, maximal 50°C hat, wobei der Massenstrom an Wasser (53) einen Wert minimal 0,1 kg/h, maximal 90 kg/h hat, wobei der Wasserstoff einen Massenstrom minimal 1kg/h, maximal 100kg/h hat,

- Erzeugung von Kohlendioxid (35) in mit Eisen(I)oxid Pellets befüllten Schütt Redox Reaktoren (27,29) durch alternierende Beaufschlagung der Reaktoren (27,29) mit Kohlenmonoxid, wobei die Reaktoren (27,29) elektrisch beheizt sind (45,46), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 600°C, maximal 800°C hat, wobei der Massenstrom an Kohlenmonoxid einen Wert minimal 14 kg/h, maximal 1400 kg/h hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei die elektrische Leistung einen Wert minimal 14 kW, maximal 1400 kW hat,
- Abkühlung von Kohlendioxid (35) in einem Wärmetauscher (6), wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 110°C, maximal 200°C hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Verdichtung von Kohlendioxid (35) mit Hilfe eines elektrisch angetriebenen Kolbenverdichter (36), wobei der Saugdruck einen Wert minimal 1,1 bar, maximal 3 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei der Massenstrom einen Wert minimal 22 kg/h, maximal 2200 kg/h hat, wobei der Verdichtungsdruck einen Wert minimal 20 bar, maximal 30 bar hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Abkühlung von Kohlendioxid (35) in einem Wärmetauscher (54), wobei der Druck einen Wert minimal 20 bar, maximal 30 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Abkühlung von Kohlendioxid (35) und Verflüssigung von Kohlendioxid (41) in einem Wärmetauscher (39), wobei der Druck einen Wert minimal 15 bar, maximal 30 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal -30°C, maximal -20°C hat, wobei das Kohlendioxid einen Massenstrom minimal 22 kg/h, maximal 2200kg/h hat, wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat,
- Rückführung von Restgas (12) und Erwärmung in einem Wärmetauscher (54) in den Reaktor (8), wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 4°C, maximal 25°C hat,
- Rückführung von Restgas (12) und Erwärmung in einem Wärmetauscher (43) in den Reaktor (8), wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 50°C, maximal 150°C hat,

- Rückführung von Restgas (12) in den Reaktor (8), wobei das Restgas aus Kohlenmonoxid einen Massenstrom minimal 2 kg/h, maximal 20 kg/h hat, wobei der Druck einen Wert minimal 1,5 bar, maximal 3,0 bar hat, wobei die Temperatur einen Wert minimal 50°C, maximal 150°C hat,

