

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21)	Anmeldenummer:	A 118/2018	(51)	Int. Cl.:	F23R 3/28	(2006.01)
(22)	Anmeldetag:	25.04.2018			H02K 44/08	(2006.01)
(43)	Veröffentlicht am:	15.11.2019			H02N 3/00	(2006.01)
					H05H 1/02	(2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
US 3467842 A
US 3720850 A
US 4516043 A
DE 102013105503 A1
US 2012153772 A1

(71) Patentanmelder:
GS Gruber-Schmidt
1180 Wien (AT)

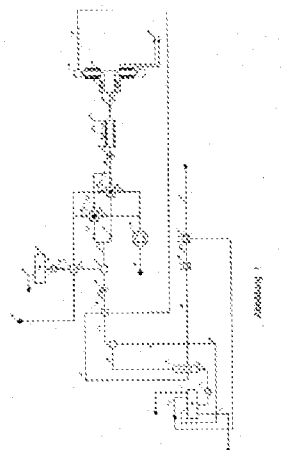
(72) Erfinder:
Gruber-Schmidt Johann
1180 Wien (AT)

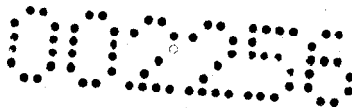
(74) Vertreter:
Gruber-Schmidt Johann
1180 Wien (AT)

(54) **Dimethylether und Dibuthylether als Brennstoff für die Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe eines Plasmagenerators**

(57) Die Erfindung beschreibt das Verfahren zur direkten Erzeugung von elektrischer Energie aus Dimethylether (DME), Dibuthylether (DBE) und biogenen Gasen unter Verwendung von Wasserdampf und Kohlendioxid und der Erzeugung von nutzbarer thermischer Energie umfassend einen DME Tank(20) mit einer Pumpe (19) einer Drossel- und Volumenstromregelarmatur(18) einem Verdampfer(17), einem Wassertank(1) mit einer Pumpe(2) einer Drossel- und Volumenstromregelarmatur(3) einem Verdampfer(4,5) einer Sattdampftrommel(7), einem Überhitzer(12) und einer Mischkammer(15), in der der Wasserdampf und Dimethylether (DME) Dampf gemischt werden. Die Erfindung umfasst einen Reaktor(28) mit den zugehörigen Armaturen(24,25,26,27,29) und einen Reaktor(31) mit den zugehörigen Armaturen(25,30,32,33) und der Regelarmatur(37), einen induktiven Plasmagenerator(40) eine Regelarmatur(41) einen magnethydrodynamischen (MHD) Generator (42) in Form eines mehrdüysigen Scheibengenerators einen Abgaswärmetauscher(49),

einen Kondensator(51). Die Erfindung umfasst zudem einen Verdichter für Biogene Gase(54), eine Regelarmatur(55) einen Überhitzer(56), sowie einen Kondensator für flüssiges Kohlendioxid(57). Bei kleineren Plasmagasströmen umfasst die Erfindung einen magnethydrodynamischen (MHD) Generator(69) in Form einer Lavalldüse.





Zusammenfassung

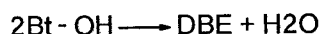
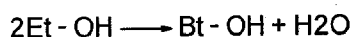
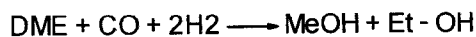
Die Erfindung beschreibt das Verfahren zur direkten Erzeugung von elektrischer Energie aus Dimethylether (DME), Dibuthylether (DBE) und biogenen Gasen unter Verwendung von Wasserdampf und Kohlendioxid und der Erzeugung von nutzbarer thermischer Energie umfassend einen DME Tank(20) mit einer Pumpe (19) einer Drossel- und Volumenstromregelarmatur(18) einem Verdampfer(17), einem Wassertank(1) mit einer Pumpe(2) einer Drossel- und Volumenstromregelarmatur(3) einem Verdampfer(4,5) einer Sattdampftrommel(7), einem Überhitzer(12) und einer Mischkammer(15), in der der Wasserdampf und Dimethylether(DME) Dampf gemischt werden. Die Erfindung umfasst einen Reaktor(28) mit den zugehörigen Armaturen(24,25,26,27,29) und einen Reaktor(31) mit den zugehörigen Armaturen(25,30,32,33) und der Regelarmatur(37), einen induktiven Plasmagenerator(40) eine Regelarmatur(41) einen magnethydrodynamischen (MHD) Generator (42) in Form eines mehrdüsigen Scheibengenerators , einen Abgaswärmetauscher(49), einen Kondensator(51). Die Erfindung umfasst zudem einen Verdichter für Biogene Gase(54), eine Regelarmatur(55) einen Überhitzer(56), sowie einen Kondensator für flüssiges Kohlendioxid(57). Bei kleineren Plasmagasströmen umfasst die Erfindung einen magnethydrodynamischen (MHD) Generator(69) in Form einer Lavalldüse.

Dimethylether und Dibuthylether als Brennstoff für die Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie mit Hilfe eines Plasmagenerators

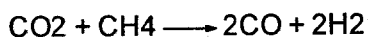
Die Erfindung beschreibt das Verfahren zur direkten Erzeugung von elektrischer und thermischer Energie aus Dimethylether (DME), Dibuthylether (DBE) und biogenen Gasen unter Verwendung von Wasserdampf und Kohlendioxid und der Erzeugung von nutzbarer thermischer Energie umfassend einen Dimethylether(DME) Tank(20) mit einer Pumpe (19) einer Drossel- und Volumenstromregelarmatur(18) einem Verdampfer(17), einem Wassertank(1) mit einer Pumpe(2) einer Drossel- und Volumenstromregelarmatur(3) einem Verdampfer(4,5) einer Sattdampftrommel(7), einem Überhitzer(12) und einer Mischkammer(15), in der der Wasserdampf und Dimethylether(DME) Dampf gemischt werden. Die Erfindung umfasst einen Reaktor(28) mit den zugehörigen Armaturen(24,25,26,27,29) und einen Reaktor(31) mit den zugehörigen Armaturen(25,30,32,33) und der Regelarmatur(37), einen induktiven Plasmagenerator(40) eine Regelarmatur(41) einen magnethydrodynamischen (MHD) Generator (44) in Form eines mehrdüsigen Scheibengenerators, einen Abgaswärmetauscher(49), einen Kondensator(51). Die Erfindung umfasst zudem einen Verdichter für Biogene Gase(54), eine Regelarmatur(55) einen Überhitzer(56), sowie einen Kondensator für flüssiges Kohlendioxid(57). Bei kleineren Plasmagasströmen umfasst die Erfindung einen magnethydrodynamischen (MHD) Generator(69) in Form nur einer Lavalldüse.

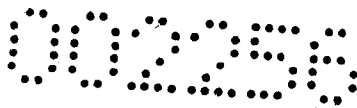
Dimethylether(DME) ist der auf einfachste Weise herzustellende Ether, der aus Kohlendioxid und Wasserstoff, oder Kohlenmonoxid und Wasserstoff erzeugt werden kann und in flüssiger Form bei einem Druck von 6 bar gespeichert. Die molekulare Zusammensetzung umfasst zwei Kohlenstoffatome, ein Sauerstoffatom und sechs Wasserstoffatome. Im Zuge der Oxidation mit Sauerstoff ergeben sich Kohlendioxid und Wasserdampf. Dimethylether wird auch oft als das biogene Flüssiggas bezeichnet.

Ein höherwertiger Ether ist Dibuthylether(DBE), der aus vier Kohlenstoffatomen, achtzehn Wasserstoffatomen, und einem Sauerstoffatom besteht und mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasserdampf reduziert werden kann. Dibuthylether(DBE) kann aus Dimethylether(DME) mit Hilfe von Carbonisierung und Hydrogenierung gewonnen werden.



Kohlendioxid in gasförmiger und flüssiger Phase ist bekannt. In der Regel wird Kohlendioxid(CO₂) aus Abgasen nicht reduziert sondern mit dem Wasserdampf(H₂O) gemeinsam an die Umgebung abgegeben. Kohlendioxid(CO₂) in Kombination mit Kohlenstoff kann zu Kohlenmonoxid reduziert werden. Kohlendioxid(CO₂) kann mit Kohlenwasserstoffen zu Kohlenmonoxid(CO) und Wasserdampf(H₂) trocken reformiert werden.





Wasserdampf in flüssiger und dampfförmiger Phase ist bekannt, es ist ein bekanntes Fluid für die Dampfreformierung.



In vielen gewerblichen Prozessen und in vielen erneuerbaren Prozessen werden biogene Gase erzeugt. Diese bestehen in der Regel aus Methan(CH_4), Kohlendioxid(CO_2), Wasserstoff(H_2), Kohlenwasserstoffen(C_xH_y), bei reduzierenden Prozessen auch aus Kohlenmonoxid(CO) wie z.B. Kockereigas, oder Hochofengas.

Die Verbrennung von Gasen in einem Gasmotor ist bekannt. Der Nachteil ist der hohe mechanische Aufwand und die Abgasthematik, die Abgase bei der Verbrennung mit Hilfe von Luft in der Regel aus Stickoxiden, Staub, Ruß bestehen, neben den bekannten Anteilen wie Wasserdampf(H_2O) und Kohlendioxid(CO_2).

Die Verbrennung von Dimethylether(DME) in Dieselmotoren ist bekannt. Auch hier ist der Nachteil der hohe mechanische Aufwand und trotzdem Dimethylether(DME) eine sehr hohe Reduktion von Stickoxiden(NO_x) und Kohlenmonoxid(CO), sowie Staub und Ruß im Abgas ergibt und daher als der ideale Dieseleratzkraftstoff bezeichnet wird, bleiben Restanteile aus der Verbrennung zurück, und es entstehen auch Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf(H_2O), die an die Umgebung abgegeben werden.

Die Verbrennung von Dibuthylether(DBE) in Dieselmotoren ist bekannt. Auch hier ist der Nachteil der hohe mechanische Aufwand und trotzdem Dibuthylether(DBE) eine sehr hohe Reduktion von Stickoxiden(NO_x) und Kohlenmonoxid(CO), sowie Staub und Ruß im Abgas ergibt und daher als der ideale Dieseleratzkraftstoff bezeichnet wird, bleiben Restanteile aus der Verbrennung zurück, und es entstehen auch Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf(H_2O), die an die Umgebung abgegeben werden.

Die erfindungsgemäße Aufgabe besteht darin, dass aus dem Treibstoff Dimethylether(DME) und Dibuthylether(DBE), flüssiges Kohlendioxid(CO_2) und flüssiges Wasser(H_2O) in Form von Wasserdampf und Kohlendioxiddampf unter Einsatz eines Plasmagenerator zu einem extrem heißen leitfähigen Plasmagas um zu wandeln und das heiße Plasma in einem magnethydrodynamischen Generator(MHD) einzuleiten und elektrische Leistung zu generieren, die Abwärme des heißen Abgases teilweise im Prozess zu nutzen, die restliche hochwertige Wärme als Abwärme in anderen Prozessen zur Verfügung gestellt werden und das abgekühlte Gas bestehend aus Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf(H_2O) zu kondensieren und die Restgase(C_xH_y) dem Prozess wieder zuzuführen. Der so gewonnene erfindungsgemäße Prozess soll als Kraft-Wärme-Kopplung(KWK) anwendbar sein und so einen hohen elektrischen, einen hohen thermischen Wirkungsgrad aufweisen.

Das in dem **Patent EP 0 216 772** beschriebene Verfahren erzeugt ein Plasma mit Hilfe eines Lichtbogens und hat 3 am Umfang angeordnete einfache Düsen, die das Restplasma mit Elektroden entionisieren. Der Nachteil dieses Verfahrens ist, dass es nur für sehr kleine und einfache Anwendungen geeignet ist und hauptsächlich auf ein thermisch induziertes Plasma ausgerichtet ist.

Das in dem **Patent US 3 214 616** dargestellte Verfahren besteht aus einer Brennkammer, in der ein Brennstoff verbrannt wird und einem einfachen Plasmagenerator in Form von einem Zylindrischen Rohr mit zwei Elektroden. Der Nachteil dieses Verfahrens ist neben den geringen Wirkungsgraden die unvollständige Verbrennung und die geringe Geschwindigkeit des Abgases im magnethydrodynamischen Generator, das dieser nur als Rohr ausgebildet ist, und zudem Instabilitäten aufweist.

Das im dem **Patent US 4 200 815** dargestellt Verfahren nutzt das Abgas aus einem Zyklonofen und leitet es durch einen magnethydrodynamischen Generator(MHD). Dabei wird nur die thermische Abgaswärme für die Teilionisierung ausgenutzt. Als Keimbilder wird Kaliumcarbonat(K_2CO_3) verwendet. Der Nachteil ist das das Abgas nur eine geringe Leitfähigkeit aufweist und der Wirkungsgrad der Anlage nur durch den nachgeschalteten Dampfkreislauf einigermaßen technisch sinnvoll gehalten wird. Ein weiterer Nachteil ist, dass Kaliumcarbonat(K_2CO_3) ab einer Temperatur von $890^\circ C$ schmilzt und sich zusetzen beginnt und damit die Wirkung als Keimbildner für Ionen im magnethydrodynamischen Generator(MHD) verloren geht.

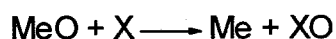
Die Erfindung löst die Aufgabe der Erzeugung von Wärme für den Prozess durch Oxidation von Dimethylether(DME) mit Sauerstoff(O_2). Die chemische Reaktionsgleichung ist nachfolgend dargestellt.

Dimethylether ist der einfachste Ether, der aus synthetischem Gas(CO, H_2, CO_2) erzeugt werden kann. Unter synthetischem Gas versteht man ein Gasgemisch aus Kohlenmonoxid(CO), Wasserstoff(H_2) und Kohlendioxid(CO_2). Die Oxidation von Dimethylether erfolgt wie in der chemischer Reaktionsgleichung dargestellt:



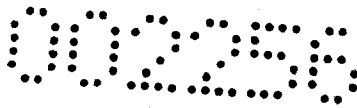
Wird mehr Dimethylether(DME) zur Verfügung gestellt als Sauerstoff(O_2) in Reaktoren (28,31) verfügbar ist, und wird zudem Wasserdampf (13) in die Reaktoren(28,31) eingebracht, dann wird die Wärme, die in den Reaktoren während der Oxidation von Dimethylether(DME) erzeugt wird, dazu benutzt, um Dimethylether(DME) mit Wasserdampf zu reformieren.

Das Prinzip des Sauerstoffgenerators auf der Basis von Metalloxiden in einem Reaktor wird im Folgenden kurz beschrieben. Das Prinzip der Oxidation von Metallen und der Reduktion lässt sich durch folgende chemische Gleichungen beschreiben:



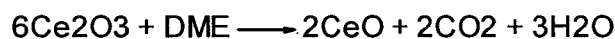
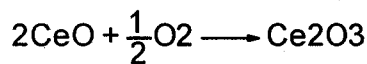
Typische Metalle, die sich für so einen Prozess eignen sind Nickel(Ni), Eisen(Fe), Cerium(Ce), Zink(Zn), Blei(Pb), diese sind bekannt und untersucht worden.

Der Sauerstoff zur Oxidation von Dimethylether(DME) wird erfindungsgemäß aus der angesaugten Luft(35) gewonnen. Dabei wird Luft angesaugt und wechselweise in die Reaktoren(28,31) eingeblasen. In den Reaktoren(28,31) befindet sich Keramikugeln aus

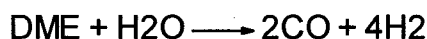


Aluminiumoxid(Al_2O_3) die mit einem Metall beschichtet sind. Als ein Metall wird Cerium (Ce) verwendet. Cerium(Ce) oxidiert zu Cerium(III)oxid(Ce_2O_3) und kann weiter zu Cerium(IV)oxid(CeO_2) oxidiert werden. Durch die Luft wird Sauerstoff(O_2) in den Reaktor eingebracht. Dieser Sauerstoff(O_2) dient dazu, das Metall Cerium(Ce) zu oxidieren. Dabei erwärmt sich die Luft. Die reduzierte Luft wird als heiße Abluft(22) aus den Reaktoren(28,31) dazu genutzt Dimethylether(DME) zu verdampfen und zu überhitzen. Nach der Oxidationsphase in den Reaktoren(28,31) erfolgt die Reduktionsphase der Metalloxide in den Reaktoren(28,31).

Cerium(IV)oxid(CeO_2) wird mit Dimethylether(DME) zu Cerium(III)oxid(Ce_2O_3) reduziert. Dabei wird Wärme frei, die



Die Oxidation erfolgt bei einer Reaktortemperatur von 400°C , die Reduktion bei einer Temperatur von 1200°C . Die Menge der Cerium(IV)oxide(Ce_2O_3), die reduziert werden kann, definiert den Massenanteil an Dimethylether(DME), das oxidiert wird. Das restliche Dimethylether(DME) wird mit Wasserdampf zu Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H_2) reformiert.

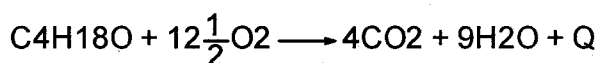


Bei einem Wasserdampfüberschuss erfolgt zudem die Wassergasreduktion

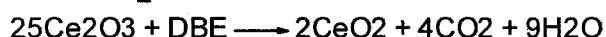
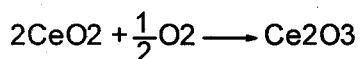


Die heiße reduzierte Abluft (22) aus den Reaktoren(28,31) wird dazu benutzt Dimethylether(DME) zu verdampfen und zu überhitzen. Dimethylether(DME) tritt dann mit einer Temperatur von 400°C in die Mischkammer (15) ein.

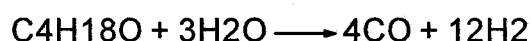
Dibuthylether(DBE) ist ein höherwertiger Ether, der sich aus Dimethylether(DME) gewinnen lässt. Dibuthylether(DBE) kann mit Sauerstoff wie folgt oxidiert werden:



Cerium(IV)oxid(CeO_2) wird mit Dibuthylether(DBE) zu Cerium(III)oxid(Ce_2O_3) reduziert.



Die Oxidation erfolgt erneut bei einer Reaktortemperatur von 400°C , die Reduktion bei einer Temperatur von 1200°C . Die Menge der Cerium(IV)oxide(Ce_2O_3), die reduziert werden kann, definiert den Massenanteil an Dibuthylether(DBE), das oxidiert wird. Das restliche Dibuthylether(DBE) wird mit Wasserdampf zu Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H_2) reformiert.



Die Erfindung löst die Aufgabe der Nutzung biogener Gase in Form der reduzierenden Wirkung, um so Wärme in den Reaktoren(28,31) zu erzeugen. In der Regel bestehen biogene Gase aus Methan(CH₄), Kohlenwasserstoffen(C_xH_y), Kohlendioxid(CO₂), also Gase die zu Kohlendioxid(CO₂) und Wasserdampf(H₂O) oxidiert werden können und damit bei Metalloxiden(Ce₂O₃) reduzierend wirken.

Die Erfindung löst die Aufgabe der Umwandlung von biogenen Gasen mit Hilfe von einem Katalysator und thermischer Energie unter Verwendung von Kohlendioxid(CO₂) zu einem reaktiven Gas aus Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H₂)



Oft auch als trockene Reformierung zu Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H₂). Die Gasanteile von Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H₂) dienen dazu die Generierung eines angeregten Plasmagases(40) zu ermöglichen.

Der Zusammenhang zwischen Leitfähigkeit und Ionisierung eines Plasmas lässt sich in folgender Tabelle 1 darstellen: Unter Leitfähigkeit versteht man die Summe aller verfügbaren Ionen im Gas. Unter Ionisation versteht man ein Maß über die Verfügbarkeit von Elektronen und Ionen im Gas. Der Zusammenhang ist wie folgt gegeben:

Ionisation(%)	Leitfähigkeit(%)
0,000	0,00
0,100	62,0
1,000	90,0
10,00	98,0
100,0	100,0

Tabelle 1: Zusammenhang zwischen Ionisation(%) und Leitfähigkeit(%)

Zudem unterscheidet man zwischen der Gastemperatur T und dem Gasdruck p, welche thermodynamische Größen sind und als makroskopische Zustandsgrößen das Gas und das Plasma über die ideale Zustandsgleichung beschreiben:

$$pV = RT$$

und der Temperatur der Elektronen (T_e), die die Dynamik(Driftgeschwindigkeit in Gasen) der Elektronen im Plasma darstellt:

$$E = \frac{3}{2} k_B T_e$$

Der Zusammenhang zwischen Ionisation und Leitfähigkeit beschreibt die Effizienz und den Wirkungsgrad der magnethydrodynamischen (MHD) Anlage. Wie aus der Tabelle 1 zu erkennen ist, ermöglichen schon 1% Ionisierung des Gases, eine Leitfähigkeit von 90% des Plasmas. I

Um das Prinzip eines magnethydrodynamischen Generators(MHD) zu verstehen geht man von der einfachen Gleichung für die Bewegung eines geladenen Teilchens q in einem elektrischen E und magnetischen Feld B aus:

$$p = qE + q(\mathbf{v} \times \mathbf{B}) \quad \mathbf{v} = \mathbf{v}_n + \mathbf{v}_p \quad E = E_n + E_p \quad B = B_n + B_p$$

Damit erkennt man den Zusammenhang zwischen der Gasgeschwindigkeit $\mathbf{v}$ mit dem Druck p und der Temperatur des Gases und dem Magnetischen Feld $\mathbf{B}$, dem elektrischen Feld $\mathbf{E}$ und der Ladung q . Ist kein elektrisches Feld $\mathbf{E}$ vorhanden, dann wird die elektrische Energie in Form einer Faraday Induktion (EMK) aus der Geschwindigkeit $\mathbf{v}$ der Ladung in einem Magnetfeld $\mathbf{B}$ erzeugt, bei hohen elektrischen Strömen wird die Faradaysche Induktion durch den Hall Effekt, bewegte Ladungen generieren ein eigenes Magnetfeld, ergänzt. Um hohe stabile Geschwindigkeiten $\mathbf{v}$ zu erzeugen werden erfindungsgemäß Düsen verwendet.

Eine bekannte Bauform ist eine Lavalldüse, in der das Plasma beschleunigt wird, auf der einen Seitenwand des Düsenkanales befinden sich die Magnete (Nordpol und Südpol), die einen Magnetischen Fluss $\mathbf{B}$ und somit ein Magnetfeld generieren und in einem rechten Winkel zum magnetischen Fluss $\mathbf{B}$ befinden sich die Elektroden, die den induzierten Strom ableiten. Strom wird durch eine elektromotorische Kraft (EMK) induziert, wenn sich Ladungen q in einem Magnetfeld $\mathbf{B}$ bewegen.

Als magnethydrodynamischen (MHD) Generatoren haben sich durchgesetzt, die Bauform einer Düse. In einer Lavalldüse wird erfindungsgemäß das Plasma auf Überschallgeschwindigkeit ($M > 1$) beschleunigt. Das erfolgt über das Druckverhältnis aus Eintrittsdruck p_e zu Austrittsdruck p_a . In diesem Zusammenhang spricht man von einem kritischen Druckverhältnis, ab diesem Druckverhältnis bleibt der Massenstrom durch die Düse konstant, die Geschwindigkeit steigt jedoch an, dabei entsteht in der Düse ein Unterdruck in der Strömung. Der sprunghafte Anstieg von dem Unterdruck in der Düse zu dem Austrittsdruck am Ende der Düse nennt man einen Verdichtungsstoß. Durch die Wahl des Eintrittsdruckes zum Austrittsdruck kann man die Lage des Verdichtungsstoßes beeinflussen. Das Druckverhältnis von Eintrittsdruck p_e zu Austrittsdruck p_a des Plasmagases wird nun so angepasst, dass der Verdichtungsstoß an Düsenaustritt stattfindet. Das ermöglicht es erfindungsgemäß das Maximum an elektrischer Leistung, die aus dem magnethydrodynamischen (MHD) Generator mit einer Lavalldüse gewonnen werden kann, zu erreichen. Eine weitere Eigenschaft der Lavalldüse besteht darin, dass diese sich für geringe Plasmagasströme verwendet werden kann.

Ordnet man eine Abfolge von Lavalldüsen am Umfang eines Kreises an (Abbildung 5), dann ergibt sich eine Doppelscheibe, in deren Mitte sich ein Zulaufrohr für das Plasmagas befindet. Bei der Scheibenkonstruktion sind die Elektroden auf den Deckseiten der Scheiben angeordnet. Die Magnete sind in der Stärke zur Erzeugung der notwendigen magnetischen Felddichte B entlang des Radius angeordnet.

Der Wirkungsgrad eines magnethydrodynamischen (MHD) Generators ist durch folgende Eigenschaften definiert:

- Die Geschwindigkeit des Plasmas in der Düse: $u = 1\text{Ma}$ bis 7Ma
- Die Anzahl der Keime, sodass eine Ionisierung von zumindest 1% erreicht wird
- Dichter Plasmazustand mit einer hohen Elektronentemperatur, sodass eine Leitfähigkeit von 90% zu erreichen
- Magnetische Feldstärke liegt zwischen 1T bis 10T.

Und lässt sich beschreiben durch:

$$\eta_c = \frac{V_{\max}}{uB}$$

U = Geschwindigkeit des Plasmas (m/sec)

B = magnetische Feldstärke (T, Gauss)

V = Spannung (V)

Die maximale Spannung $V(V)$ kann beim magnethydrodynamischen (MHD) Generator abgeleitet werden

$$V_{\max} = u B \delta - \frac{I_{\max} \delta}{A \sigma}$$

A = Querschnittsfläche Strömungskanal

δ = Abstand der Elektroden

Der maximale generierbare Strom $I(A)$ ergibt sich zu:

$$I_{\max} = u B A \frac{\sigma}{2}$$

I = Stromstärke (A)

Die maximale generierbare Leistung $W(kWh)$ ergibt sich zu:

$$W_{\max} = \frac{u^2 B^2 \sigma}{4}$$

W = elektrische Leistung (kWh)

Aus den Gleichungen erkennt man, dass der Abstand der Elektroden δ , die Geschwindigkeit u , die magnetische Feldstärke B , die Querschnittsfläche A , σ die Leitfähigkeit die bestimmenden Parameter für einen hohen Wirkungsgrad des magnethydrodynamischen (MHD) Generators darstellen.

Der thermodynamische Wirkungsgrad des erfindungsgemäßen Prozesses ist definiert durch die Enthalpie(h) als thermodynamische Zustandsgröße im Plasmagas

$$\eta = \frac{(h_4 - h_3) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_2)}$$

Erzeugte Wärme ($h_4 - h_3$) abzüglich der aufgewendeten Wärme für die Verdichtung der Gasströme und Flüssigkeiten ($h_2 - h_1$) bezogen auf die zugeführte Wärme ($h_3 - h_2$) definiert den thermischen Wirkungsgrad, wie in obiger Gleichung dargestellt.

Ein Vorteil dieser Erfindung ist, dass die Verdichtung von Wasser(H_2O)(2) und Dimethylether(DME) (19) im flüssigen Phasenzustand erfolgt, also die aufzuwendende Wärme ($h_2 - h_1$) gering ist.

Die Erfindung löst die Aufgabe der Nutzung eines Teiles der Abwärme aus dem Abgas (46) des magnethydrodynamischen (MHD) Generators indem die Wärme rekuperativ genutzt wird, also zum Verdampfen von Wasser(4,12) und Verdampfen von Dimethylether(DME) (17) und kann so den thermischen Wirkungsgrad des Prozesses erhöhen:

$$\eta = \frac{(h_4 - h_3) - (h_2 - h_1)}{(h_3 - h_{21})}$$

Die nun über die biogenen Gase(53) und dem Dimethylether(DME) zuzuführende Wärme beträgt dann nur mehr (h_3-h_{21}), ist also erfindungsgemäß um den genutzten Anteil der Wärme aus dem Abgas(46) geringer. Durch den rekuperativen genutzten Anteil an Abwärme aus dem Abgas(46) des magnethydrodynamischen (MHD) Generators(42) kann der thermische Wirkungsgrad des Prozesses deutlich verbessert werden.

Sehr oft werden beim Heißgas(36) aus den Reakoren(28,31) Stoffe als Keimbildner(62) verwendet. Unter Keime versteht man je Stoffe, die bei höheren Temperaturen und unter der Wirkung von magnetischen Feldern in Ionen zerfallen. So ein Keimzusatz ist erfindungsgemäß Quecksilber(Hg). Quecksilber hat die Eigenschaft bei Raumtemperatur flüssig zu sein (Schmelzpunkt -38°C) und bei 356°C in den dampfförmigen Zustand zu wechseln. Zudem hat Quecksilber den Vorteil auch bei hohen Temperaturen keine Reaktionen mit den Gasen und Gaskomponenten einzugehen. Beim Kondensieren des Abgasdampfes(48) ergeben sich erfindungsgemäß dabei stufenförmig folgende Phasen, die ausgeschieden werden:

- Die erste flüssige Phase ist Quecksilber bei einer Temperatur von 356°C
- Die zweite flüssige Phase ist Wasser bei einer Temperatur von $100^{\circ}\text{C} - 263^{\circ}\text{C}$
- Die dritte flüssige Phase ist Kohlendioxid bei einer Temperatur von 14°C

Das gewonnene flüssige Quecksilber(62) wird verdampft und dem heißen Abgas(36) wieder als Dampf zugeführt. Dadurch daß Quecksilber mit keinem der Gase reagiert und eine Verbindung eingeht, und es zudem ein Metall ist, ist es ein idealer Leiter und im Plasmazustand als ein idealer Elektronenspender und somit ein guter Keimbildner.

Durch den Einsatz eines induktiven Plasmagenerators(40) im Zusammenwirken mit Quecksilber(Hg) als Keim, mit Kohlenstoffmonoxid(CO) und Wasserstoff(H₂) wird die Dichte der Ionen und Elektronen erhöht und damit wird die Leitfähigkeit des Plasmas(41) gesteigert.

Die Erfindung löst die Aufgabe der Verflüssigung von Kohlendioxid(CO₂)(57) und Wasserdampf(H₂O)(51), indem das Abgas aus dem magnethydrodynamischen (MHD) Generator(42) dazu benutzt wird, Wasser(1) und Dimethylether(DME)(21) zu verdampfen und zu überhitzen. Diese rekuperative Ausnutzung der Abgaswärme(46) bedingt durch den hohen exergetischen Wärmeanteil im Abgas(46), reduziert erheblich den Verbrauch an Restgasen(53), Dimethylether(DME)(20) und Dibuthylether(DBE)(20) und steigert somit den thermischen Wirkungsgrad der Anlage.

		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
($^{\circ}\text{C}$)	(bar)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	($\text{kJ}/\text{kg-K}$)	($\text{kJ}/\text{kg-K}$)
99,606	1	958,63	0,59034	417,5	2674,9	1,3028	7,3588
263,94	50	777,37	25,351	1154,6	2794,2	2,921	5,9737
311	100	688,42	55,463	1408,1	2725,5	3,3606	5,616

Tabelle 2: Druck Temperatur von Wasserdampf – Sattedampf

Für Kohlendioxid(CO₂) ergibt sich aus dem Sattedampfdiagramm folgende thermodynamischen Daten und Eigenschaften:

		Liquid	Vapor	Liquid	Vapor	Liquid	Vapor
Temperature	Pressure	Density	Density	Enthalpy	Enthalpy	Entropy	Entropy
($^{\circ}\text{C}$)	(bar)	(kg/m^3)	(kg/m^3)	(kJ/kg)	(kJ/kg)	($\text{kJ}/\text{kg-K}$)	($\text{kJ}/\text{kg-K}$)

14,284	50	827,32	156,67	237,87	417,66	1,1289	1,7544
28,683	70	638,31	304,03	293,88	376,91	1,3093	1,5844

Tabelle 3: Druck und Temperatur von Kohlendioxidampf – Sattdampf

Bei einem Abgasdruck von 50 bar, kann man den Wasserdampf(H₂O) bei einer Temperatur von 263°C kondensieren und Kohlendioxid(CO₂) bei Temperaturen von 14°C verflüssigen. Um Kohlendioxid(CO₂) verflüssigen zu können, bedarf es also eines Abgasdruckes von zumindest 50 bar, will man den Einsatz von Kälteaggregaten vermeiden.

Als restliches Abgas(58) erhält ein Restgas(58) aus geringfügigen Anteilen Ethin(C₂H₂) und Ethen(C₂H₄). Dieses Restgas(58) kann man dann dem Prozess wieder zuführen und verwerten.

Bei einem Abgasdruck von 1 bar kondensiert nur der Wasserdampf bei einer Temperatur kleiner als 100°C und das Kohlendioxid(CO₂) und die Restgase(58) verbleiben im dampfförmigen Zustand. Hat man Quecksilber als Keimspender, dann kondensiert Quecksilber bei einem Druck von 1 bar bei einer Temperatur von 356°C und kann als flüssige Phase(62) dem Prozess zur Nutzung als Keimbildner wieder rückgeführt werden.

Die Anwendung dieser Erfindung ist in der dezentralen und erneuerbaren Energieerzeugung zu sehen, denn die Apparate und Maschinen, die hier verwendet werden sind sehr einfach im Aufbau und beinhalten keine beweglichen mechanischen Teile und Komponenten wie Gaskolbenmotoren, oder Gasturbinen, oder Dampfturbinen, die einen hohen mechanischen Aufwand darstellen. Interessant ist die Anwendung bei kleinen modularen Anlagen und elektrischen Leistungen im Bereich von 500 kW ele bis 5 MW ele.

Was diese Erfindung ebenso interessant macht ist der hohe Anteil an Exergie der Wärme im Abgas (46) des magnethydrodynamischen(MHD) Generator. Auch das ist ein erfindungsgemäßer Vorteil gegenüber den bekannten Gasmotoren und Gasturbinen. Durch den einfachen modularen Aufbau eignet sich dieses Verfahren zudem in mobilen Anlagen und Einheiten.

Abbildungen

Abbildung 1

Die Abbildung 1 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren der Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme aus Wasser (H₂O) und Dimethylether (DME). Wasser aus dem Tank (1) wird über die Pumpe (2) und die Drossel- und Volumenstromregelarmatur (3) in einen Verdampfer (4) geleitet, der mit dem heißen Abgasstrom (46) aus dem MHG Generator (42) betrieben wird. Der Sattedampf (6) wird in eine Dampftrommel (7) geleitet, wo das heiße Kondensat (8) in den Tank (1) rückgeführt wird. Der trockene Sattedampf (11) wird über den Überhitzer (12) erwärmt und über die Drossel – Volumenstromregelarmatur (14) der Mischkammer (15) zugeführt. Flüssiges Dimethylether (20) aus dem Tank (20) wird mit einer Pumpe (19) über eine Drossel – Volumenstromregelarmatur (18) einem Verdampfer (17) zugeführt und das heiß dampfförmige Dimethylether (DME) (16) wird der Mischkammer (15) zugeführt. Das heiße Dampfgemisch (23) wird dazu benutzt um in den Reaktoren (28,31) wechselseitig zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxidiert zu werden. Im Zuge der Oxidation in den Reaktoren (28,31) wird Wärme frei, die auf das Dampfgemisch aus Kohlendioxid und Wasserdampf übertragen wird. Der für die Oxidation benötigte Sauerstoff wird aus dem Luftsauerstoff gewonnen. Bei einer Temperatur von 1000°C wird das Metall in Form einer Kugelschüttung verfügbar durch den Luftsauerstoff oxidiert. Bei einer Temperatur von 100°C wird danach das Dampfgemisch aus Wasserdampf und Dimethylether oxidiert. Dabei wird das Metall reduziert. Das heiße Dampfgemisch wird in einen induktiven gekühlten Plasmagenerator (40) geleitet und einem MHG Generator zugeführt. Der MHD Generator (42) ist als Doppelscheibe ausgeführt, am Eintritt befinden sich Spulen mit einer hohen induktiven Leistung um einen Plasmazustand mit hoher Leitfähigkeit zu erzeugen. Über eine Lavalldüse wird das heiße Plasma auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt und erzeugt so beim durchströmen eines induktiven Feldes aus Spulen (44) die entlang des Expansionskanales wirken, wird eine Hallspannung erzeugt und somit elektrische Leistung (47) erzeugt. Das entspannte heiße gas wird in einem Ringkanal gesammelt (45) und als heißer entspannter Dampf (46) dem Überhitzer (12) und dem Verdampfer (4) zugeführt. Das so abgekühlte Dampfgemisch wird über den Wärmetauscher (49) weiter abgekühlt. Die so gewonnene Wärme wird als Prozesswärme genutzt. Im Wärmetauscher (51) wird das Dampfgemisch weiter abgekühlt und das Wasser als Kondensat (10) dem Wassertank (1) rückgeführt. Überschüssiges Wasser (9) wird als Kondensat abgeleitet.

Abbildung 2

Die Abbildung 2 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren der Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme aus Wasser (H₂O) und Dimethylether (DME). Wasser aus dem Tank (1) wird über die Pumpe (2) und die Drossel- und Volumenstromregelarmatur (3) in einen Verdampfer (4) geleitet, der mit dem heißen Abgasstrom (46) aus dem MHG Generator (42) betrieben wird. Der Sattedampf (6) wird in eine Dampftrommel (7) geleitet, wo das heiße Kondensat (8) in den Tank (1) rückgeführt wird. Der trockene Sattedampf (11) wird über den Überhitzer (12) erwärmt und über die Drossel – Volumenstromregelarmatur (14) der Mischkammer (15) zugeführt. Flüssiges Dimethylether (20) aus dem Tank (20) wird mit einer Pumpe (19) über eine Drossel – Volumenstromregelarmatur (18) einem Verdampfer (17) zugeführt und das heiß dampfförmige Dimethylether (DME) (16) wird der Mischkammer (15) zugeführt. Das heiße Dampfgemisch (23) wird dazu benutzt um in den Reaktoren (28,31) wechselseitig zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxidiert zu werden. Im Zuge der Oxidation in

den Reaktoren (28,31) wird Wärme frei, die auf das Dampfgemisch aus Kohlendioxid und Wasserdampf übertragen wird. Der für die Oxidation benötigte Sauerstoff wird aus dem Luftsauerstoff gewonnen. Bei einer Temperatur von 1000°C wird das Metall in Form einer Kugelschüttung verfügbar durch den Luftsauerstoff oxidiert. Bei einer Temperatur von 100°C wird danach das Dampfgemisch aus Wasserdampf und Dimethylether oxidiert. Dabei wird das Metall reduziert. Das heiße Dampfgemisch wird in einen induktiven gekühlten Plasmagenerator (40) geleitet und einem MHG Generator zugeführt. Der MHD Generator(42) ist als Doppelscheibe ausgeführt, am Eintritt befinden sich Spulen mit einer hohen induktiven Leistung um einen Plasmazustand mit hoher Leitfähigkeit zu erzeugen. Über eine Lavalldüse wird das heiße Plasma auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt und erzeugt so beim durchströmen eines induktiven Feldes aus Spulen(44) die entlang des Expansionskanales wirken, wird eine Hallspannung erzeugt und somit elektrische Leistung (47) erzeugt. Das entspannte heiße gas wird in einem Ringkanal gesammelt (45) und als heißer entspannter Dampf (46) dem Überhitzer (12) und dem Verdampfer (4) zugeführt. Das so abgekühlte Dampfgemisch wird über den Wärmetauscher(49) weiter abgekühlt. Die so gewonnene Wärme wird als Prozesswärme genutzt. Im Wärmetauscher (51) wird das Dampfgemisch weiter abgekühlt und das Wasser als Kondensat (10) dem Wassertank (1) rückgeführt. Überschüssiges Wasser (9) wird als Kondensat abgeleitet.

Neben Dimethylether(DME) als Treibstoff werden auch biogene Gase, Restgase (53) angesaugt über über einen Verdichter(54) und der Drossel – und Volumenstromregelarmatur (55) einem Wärmetauscher(56) zugeführt, erwärmt und dann in die Mischkammer(15) geleitet.

Abbildung 3

Die Abbildung 3 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren der Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme aus Wasser (H₂O) und Dimethylether (DME). Wasser aus dem Tank (1) wird über die Pumpe (2) und die Drossel- und Volumenstromregelarmatur (3) in einen Verdampfer (4) geleitet, der mit dem heißen Abgasstrom (46) aus dem MHG Generator (42) betrieben wird. Der Sattedampf (6) wird in eine Dampftrommel (7) geleitet, wo das heiße Kondensat (8) in den Tank (1) rückgeführt wird. Der trockene Sattedampf (11) wird über den Überhitzer (12) erwärmt und über die Drossel – Volumenstromregelarmatur (14) der Mischkammer (15) zugeführt. Flüssiges Dimethylether (20) aus dem Tank (20) wird mit einer Pumpe (19) über eine Drossel – Volumenstromregelarmatur (18) einem Verdampfer (17) zugeführt und das heiß dampfförmige Dimethylether (DME) (16) wird der Mischkammer (15) zugeführt. Das heiße Dampfgemisch (23) wird dazu benutzt um in den Reaktoren (28,31) wechselseitig zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxidiert zu werden. Im Zuge der Oxidation in den Reaktoren (28,31) wird Wärme frei, die auf das Dampfgemisch aus Kohlendioxid und Wasserdampf übertragen wird. Der für die Oxidation benötigte Sauerstoff wird aus dem Luftsauerstoff gewonnen. Bei einer Temperatur von 1000°C wird das Metall in Form einer Kugelschüttung verfügbar durch den Luftsauerstoff oxidiert. Bei einer Temperatur von 100°C wird danach das Dampfgemisch aus Wasserdampf und Dimethylether oxidiert. Dabei wird das Metall reduziert. Das heiße Dampfgemisch wird in einen induktiven gekühlten Plasmagenerator (40) geleitet und einem MHG Generator(69) zugeführt. Der MHD Generator(69) ist als Lavalldüse ausgeführt, am Eintritt der Lavalldüse befinden sich Spulen(64) mit einer hohen induktiven Leistung um einen Plasmazustand mit hoher Leitfähigkeit zu erzeugen. Über eine Lavalldüse wird das heiße Plasma auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt und erzeugt so beim durchströmen eines induktiven Feldes aus Spulen(65) die entlang des Expansionskanales wirken, wird eine Spannung erzeugt und somit elektrische Leistung (66,68) erzeugt. Das entspannte heiße Gas (67) wird als heißes Abgas dem Überhitzer (12) und dem Verdampfer (4) zugeführt. Das so abgekühlte Abgas wird über den Wärmetauscher(49) weiter abgekühlt. Die so gewonnene Wärme wird

als Prozesswärme genutzt. Im Wärmetauscher (51) wird das Dampfgemisch weiter abgekühlt und das Wasser als Kondensat (10) dem Wassertank (1) rückgeführt. Überschüssiges Wasser (9) wird als Kondensat abgeleitet.

Abbildung 4

Die Abbildung 4 zeigt das erfindungsgemäße Verfahren der Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme aus Wasser (H₂O) und Dimethylether (DME). Wasser aus dem Tank (1) wird über die Pumpe (2) und die Drossel- und Volumenstromregelarmatur (3) in einen Verdampfer (4) geleitet, der mit dem heißen Abgasstrom (46) aus dem MHG Generator (42) betrieben wird. Der Sattedampf (6) wird in eine Dampftrommel (7) geleitet, wo das heiße Kondensat (8) in den Tank (1) rückgeführt wird. Der trockene Sattedampf (11) wird über den Überhitzer (12) erwärmt und über die Drossel – Volumenstromregelarmatur (14) der Mischkammer (15) zugeführt. Flüssiges Dimethylether (20) aus dem Tank (20) wird mit einer Pumpe (19) über eine Drossel – Volumenstromregelarmatur (18) einem Verdampfer (17) zugeführt und das heiß dampfförmige Dimethylether (DME) (16) wird der Mischkammer (15) zugeführt. Das heiße Dampfgemisch (23) wird dazu benutzt um in den Reaktoren (28,31) wechselseitig zu Kohlendioxid und Wasserdampf oxidiert zu werden. Im Zuge der Oxidation in den Reaktoren (28,31) wird Wärme frei, die auf das Dampfgemisch aus Kohlendioxid und Wasserdampf übertragen wird. Der für die Oxidation benötigte Sauerstoff wird aus dem Luftsauerstoff gewonnen. Bei einer Temperatur von 1000°C wird das Metall in Form einer Kugelschüttung verfügbar durch den Luftsauerstoff oxidiert. Bei einer Temperatur von 100°C wird danach das Dampfgemisch aus Wasserdampf und Dimethylether oxidiert. Dabei wird das Metall reduziert. Das heiße Dampfgemisch wird in einen induktiven gekühlten Plasmagenerator (40) geleitet und einem MHG Generator zugeführt. Der MHD Generator(42) ist als Doppelscheibe ausgeführt, am Eintritt befinden sich Spulen mit einer hohen induktiven Leistung um einen Plasmazustand mit hoher Leitfähigkeit zu erzeugen. Über eine Lavalldüse wird das heiße Plasma auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt und erzeugt so beim durchströmen eines induktiven Feldes aus Spulen(44) die entlang des Expansionskanales wirken, wird eine Hallspannung erzeugt und somit elektrische Leistung (47) erzeugt. Das entspannte heiße Abgas wird in einem Ringkanal gesammelt (45) und als heißer entspannter Dampf (46) dem Überhitzer (12) und dem Verdampfer (4) zugeführt. Das so abgekühlte Dampfgemisch wird über den Wärmetauscher(49) weiter abgekühlt. Die so gewonnene Wärme wird als Prozesswärme genutzt. Im Wärmetauscher (51) wird das Dampfgemisch weiter abgekühlt und das Wasser als Kondensat (10) dem Wassertank (1) rückgeführt. Überschüssiges Wasser (9) wird als Kondensat abgeleitet.

Da das Abgas (46) auf einem Druck von $p=50$ bar verfügbar ist, kann neben dem Wasserkondensat(10) das Abgas(52) weiter abgekühlt werden. In einem Kondensator(57) kann flüssiges Kohlendioxid(CO₂) (60) gewonnen werden. Das Restgas (58) steht für die Verwertung über (53) dem Prozess wieder zur Verfügung.

Wird Quecksilber als Keimbildner im Prozess verwendet, dann wird das dampfförmige Quecksilber in dem Wärmetauscher(61) verflüssigt und als flüssiges Quecksilber(62) dem Prozess wieder zur Verfügung gestellt.

Abbildung 5

Die Abbildung 5 zeigt die möglichen Bauformen von magnethydrodynamischen(MHD) Generatoren (42,69) mit der Form einer Lavalldüse(69) oder mit radial angeordneten Lavalldüsen über den Umfang eines Kreises(44), sodass sich Scheiben mit einem konzentrischen Zulaufkanal ergeben.

Symbole und Zeichen

1	Wassertank
2	Pumpe für Wasserverdampfer
3	Drossel – Volumenstromregelarmatur Wasser
4	Verdampfer
5	Verdampfer
6	Kondensat
7	Dampftrommel
8	Kondensat
9	Wasser
10	Kondensat
11	Sattdampf
12	Überhitzer für Sattdampf
13	überhitzter Wasserdampf
14	Drossel – Volumenstromregelarmatur
15	Mischer für Wasserdampf und Dimethylether(DME)
16	dampfförmiges Dimethylether (DME)
17	Wärmetauscher
18	Drossel – Volumenstromregelarmatur Dimethylether (DME)
19	Dimethylether(DME) Pumpe
20	Dimethylether(DME)-Tank
21	Flüssiges Dimethylether (DME)
22	Abluft – um Sauerstoff(O ₂) reduzierte Luft
23	Heißdampf aus Wasserdampf und Dimethylether(DME)
24	Armatur (Auf / Zu)
25	Armatur (Auf / Zu)
26	Armatur (Auf / Zu)
27	Armatur (Auf / Zu)
28	Reaktor mit Kugelschüttung
29	Armatur (Auf / Zu)
30	Armatur (Auf / Zu)
31	Reaktor mit Kugelschüttung
32	Armatur (Auf / Zu)
33	Armatur (Auf / Zu)
34	Verdichter
35	Luft
36	Heißgas – Heißdampf
37	Drossel – Volumenstromregelarmatur
38	Kühlung des induktiven Plasmagenerator
40	induktiver Plasmagenerator
41	Armatur
42	MHD Generator
43	Magnetspulen
44	Radial angeordnete Lavalldüsen
45	Ringförmiger Sammler
46	Abgas
47	elektrische Leistung
48	Abgas
49	Abgas Wärmetauscher
50	Abgas

- 51 Kondensator
- 52 Abgas
- 53 biogene Gase
- 54 Verdichter für biogene Gase und Restgase
- 55 Drossel und Volumenstromregelarmatur
- 56 Wärmetauscher für biogene Gase
- 57 Kondensator für Kohlendioxid(CO₂)
- 58 ausgeschleuste Restgase
- 59 ausgeschleustes flüssiges Kohlendioxid(CO₂)
- 60 flüssiges Kohlendioxid
- 61 Wärmetauscher als Kondensator für Quecksilberdampf (Hg)
- 62 flüssiges Quecksilber
- 63 Restgase aus dem Prozess (C_xH_y), die rückgeführt werden
- 64 Magnetspulen Einlaufteil der Lavalldüse
- 65 Magnetspulen Expansionsteil der Lavalldüse
- 66 Elektroden des MHD Generators
- 67 heißes Abgas aus dem (MHD) Generator in Form einer Lavalldüse
- 68 elektrische Leistung des
- 69 (MHD) Generator in Form einer Lavalldüse
- 70 Pumpe für Quecksilber(Hg)

Kurzzeichen

DME = Dimethylether

H₂O = Wasser

CO₂ = Kohlendioxid

DBE = Dibuthylether

MHD = Magnethydrodynamischer Generator

Ansprüche

1. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Leistung und nutzbarer thermischer Energie umfassend einen DME Tank(20), eine DME Pumpe(19), eine Regelarmatur(18), einen DME Verdampfer(17), einen Wassertank(1), eine Pumpe(2), eine Regelarmatur(3), Verdampfer(5), eine Dampftrommel(7), einen Überhitzer(12), eine Regelarmatur(14), eine Mischkammer(15), einen Reaktor(28) mit zugehörigen Armaturen(24,26,27,29), einen Reaktor(31) mit zugehörigen Armaturen(25,30,33,32), einen Verdichter(34), einen Plasmagenerator(40), einen MHD Generator(42), einen Wärmetauscher(49), einen Kondensator(51)
 - Gekennzeichnet dadurch, dass
 - flüssiges Dimethylether(DME) aus einem Tank(20) über die Pumpe(19) dem Verdampfer(17) zugeführt wird und Dimethylether(DME) auf eine minimale Temperatur von 300°C, auf eine maximale Temperatur von 600°C, bevorzugt auf eine Temperatur von 400°C erwärmt wird
 - das flüssige Dimethylether(DME)(20) in einem Wärmetauscher(17) verdampft wird
 - das dampfförmige Dimethylether(DME) mit dem überhitzten Wasserdampf(13) in einem Mischer(15) gemischt wird
 - der Volumenanteil an Wasserdampf(13) im Mischer(15) minimal 5%, maximal 50%, bevorzugt 35% im Dimethylether(DME) Wasserdampfgemisch(23) beträgt und mit einer Regelarmatur(14) geregelt wird
 - Der Druck des Dimethylether(DME) Wasserdampfgemisch(23) einen minimalen Wert von 10 bar, einen maximalen Wert von 150 bar, bevorzugt 15 bar hat
 - Wasser aus dem Tank(1) über eine Pumpe(2) dem Verdampfer(4,5) zugeführt wird
 - das Gemisch aus Heißwasser und Sattdampf (6) in einer Dampftrommel (7) in einen trockenen Sattdampf(11) und in Heißwasser(8) getrennt wird
 - der Sattdampf(11) wird über einen Überhitzer(12) auf eine minimale Temperatur von 300°C, auf eine maximale Temperatur von 600°C, bevorzugt auf eine Temperatur von 400°C überhitzt wird
 - Der Druck des Wasserdampf(6) einen minimalen Wert von 10 bar, einen maximalen Wert von 150 bar, bevorzugt 15 bar hat
 - Luft(35) über den Verdichter(34) angesaugt wird und den Reaktoren(28,30) wechselweise über eine Armatur(27, 33) zugeführt wird
 - Eine Kugelschüttung in einem Reaktor(28) bestehend aus Aluminiumoxid(Al_2O_3) beschichte mit dem Metalloxid Cerium(III)oxid(CeO_2) vorhanden ist
 - Die Luft mit dem Metalloxid Cerium(III)oxide(CeO_2) in Kontakt kommt und der Luftsauerstoff(O_2) zur Oxidation der Metall(III)oxide(CeO_2) zu Metalloxid Cerium(IV)oxid(Ce_2O_3) führt und so den Sauerstoff(O_2) aus der zugeführten Luft bindet
 - die Reaktoren(28,30) bei einer Temperatur von minimal 400°C, maximal von 800°C, bevorzugt 600°C betrieben werden,
 - Die Reaktoren(28,30) mit einem Druck des Luftsauerstoffes von minimal 2 bar, maximal 10 bar, bevorzugt 4 bar beaufschlagt werden

- das heiße Dimethylether(DME) Wasserdampfgemisch(23) in die Reaktoren(28,30) wechselweise geleitet wird und die Metalloxide(Ce_2O_3) (Cerium(IV)oxid) zu Metalloxid (CeO_2)(Cerium(III)oxid) reduziert werden,
 - das heiße Dimethylether(DME) Wasserdampfgemisch(23) in die Reaktoren(28,30) zu Kohlendioxid(CO_2), zu Wasserdampf(H_2O) und zu Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H_2) reduziert wird
 - die Reduktion des heißen Dimethylether(DME) Wasserdampfgemisch(23) Wärme freisetzt und so das Abgas(36) auf eine minimale Temperatur von 1000°C , maximal 2000°C , bevorzugt 1600°C erhitzt wird
 - das heiße Abgas(36) in einem induktiven Plasmagenerator(40) mit Hilfe über Spulen Induktiven erzeugten Magnetfelder zu einem Plasmagas umgewandelt wird
 - die magnetische Feldstärke der Spulen des induktiven Plasmagenerator(40) minimal 0.1T, maximal 1T, bevorzugt 0.5T beträgt
 - das heiße angeregte Plasmagas(41) in einen magnethydrodynamischen(MHG) Generator(42) geleitet wird
 - das Plasmagas(41) mit Hilfe induktiv erzeugter Magnetfelder(43) mit einer Feldstärke von minimal 1T, maximal 10T, bevorzugt 7T stark angeregt wird
 - das Plasma in einem Scheibengenerator(42) über radial angeordnete Lavalldüsen in einem Magnetfeld (44) entspannt wird und über normal zur Magnetfeldrichtung angeordnete Elektroden eine elektrische Leistung(47) von minimal 500kW ele , maximal 5MW ele, bevorzugt 1,0 MW ele erzeugt wird
 - das Abgas(46) aus dem MHD Generator(42) aus Kohlendioxid(CO_2), Wasserdampf(H_2O) und Restgasen(C_xH_y) besteht
 - die Restgase(C_xH_y) in dem Abgas(46) Kohlenwasserstoffe, wie Methan(CH_4), Formaldehyd(C_2H_2), Ethen(C_2H_4), Ethan(C_2H_6) sind
 - Das Abgas(46) einen minimalen Druck von 1 bar, einen maximalen Druck von 5 bar, bevorzugt einen Druck von 2 bar hat
 - Das Abgas(46) eine minimale Temperatur von 600°C , maximal 1000°C , bevorzugt 800°C hat
 - Der Abgaswärmetauscher(12) das Abgas(46) auf eine minimale Temperatur 400°C , eine maximale Temperatur 800°C , bevorzugt auf 500°C abkühlt.
 - Der Abgaswärmetauscher(4) das Abgas auf eine minimale Temperatur 200°C , eine maximale Temperatur 500°C , bevorzugt auf 300°C abkühlt.
 - Der Abgaswärmetauscher(49) das Abgas auf eine minimale Temperatur 120°C , eine maximale Temperatur 150°C , bevorzugt auf 125°C abkühlt.
 - Das Abgas(50) in dem Kondensator(51) auf eine minimale Temperatur von 90°C , eine maximale Temperatur 110°C , bevorzugt auf eine Temperatur von 100°C abgekühlt wird
 - Das Abgas(50) im Kondensator(51) einen minimalen Druck von 0.8 bar, einen maximalen Druck von 2 bar, bevorzugt einen Druck von 1.5 bar hat
 - Das Kondensat(10) dem Wassertank(1) zugeführt wird
2. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass flüssiger Dibuthylether(DBE) im Tank(20) verwendet wird
 3. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Verdichter(54), eine Regelarmatur(55), einen Überhitzer(56), Rückführung(63)

- Kennzeichnet dadurch, dass
 - Biogene Gase(53) bestehend aus Methan(CH_4), Kohlenwasserstoffen(C_xH_y), Wasserstoff(H_2) dem Prozess zugeführt werden,
 - Die biogenen Gase(53) über einen Kolbenverdichter(54) auf einen minimalen Druck von 10 bar, einen maximalen Druck von 150 bar, bevorzugt auf einen Druck von 100 bar verdichtet werden,
 - Die biogenen Gase(53) über einen Überhitzer(56) auf eine Temperatur von minimal 300°C , maximal 600°C , bevorzugt 400°C erwärmt werden
 - Die Wärme für die biogenen Gase(53) aus der Abluft(22) aus den Reaktoren(28,31) gewonnen wird.
 - Die Restgase(63) aus dem Abgas(46) des magnethydrodynamischen(MHD) Generator(42) den biogenen Gasen(53) zugeführt werden
 - Die Restgase(63) aus Kohlenwasserstoffen(C_xH_y), wie Methan(CH_4), Ethen(C_2H_4), Formaldehyd(C_2H_2) bestehen
4. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen magnethydrodynamischen(MHD) Generator(69)
- gekennzeichnet dadurch, dass
 - das heiße Plasma(41) aus dem Plasmagenerator(40) in einen MHD Generator(69) über eine Lavalldüse auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird und eine Machzahl von minimal 1,1, maximal 10, bevorzugt 7 aufweist
 - der Lavalldüseneinlauf mit induktiven Spulen (64) ausgestattet ist, die ein Magnetfeld mit einer Magnetfeldstärke von minimal 1T, maximal 10T, bevorzugt 5 T erzeugen
 - der Lavalldüsenauslauf mit induktiven Spulen ausgestattet ist, die ein Magnetfeld mit einer Magnetfeldstärke von minimal 1T, maximal 10T, bevorzugt 5T erzeugen
 - der Lavalldüsenauslauf mit Elektroden ausgestattet ist, die senkrecht zu dem Magnetfeld angeordnet sind und so die generierte elektrische Leistung ableiten lässt
 - Die Geschwindigkeit des Plasmas nach dem engsten Querschnitt der Lavalldüse eine Schallgeschwindigkeit von minimal $M=1.1$, maximal $M=10$, bevorzugt $M=7$ erreicht
 - der Verdichtungsstoß in dem Lavalldüsenauslauf am Ende der Lavalldüse stattfindet
 - die Elektronentemperatur(T_e) im Plasma am Düseneintritt einen minimalen Wert von 2000°K , einen maximalen Wert von 10000°K , bevorzugt einen Wert von 4000°K hat
5. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Kondensator(57) für Kohlendioxid(CO_2)
- gekennzeichnet dadurch, dass
 - das Abgas(50) einen minimalen Druck von 50 bar, einen maximalen Druck von 70 bar, bevorzugt einen Druck von 50 bar hat
 - das Abgas(50) in dem Kondensator(57) auf eine minimale Temperatur von 5°C , eine maximale Temperatur von 15°C , bevorzugt auf eine Temperatur von 10°C abgekühlt wird

- das Kohlendioxid(CO₂) in dem Abgas(50) in dem Kondensator als flüssige Phase abgeschieden wird
 - das flüssige Kohlendioxid(60) teilweise mit einem minimalen Volumenanteil von 5%, mit einem maximalen Volumenanteil 50%, bevorzugt mit einem Volumenanteil von 10% dem biogenen Gas (53) rückgeführt wird,
6. das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Kondensator für Quecksilber(61)
- gekennzeichnet dadurch, dass
 - zur Unterstützung der Ionisierung dampfförmiges Quecksilber(Hg) im Prozess verwendet wird
 - das dampfförmige Quecksilber(62) dem heißen Gasstrom(36) vor dem induktiven Plasmagenerator(40) zugemischt wird
 - der Anteil an Quecksilber(Hg) im Gasvolumenstrom(36) einen minimalen Wert von 1%, einen maximalen Wert von 15%, bevorzugt einen Wert von 5% aufweist
 - mit dem dampfförmigen Quecksilber(Hg) die Ionisierung des heißen Gases(36) auf einen minimalen Wert von 1%, einen maximalen Wert von 10%, bevorzugt auf einen Wert von 5% erhöht
 - das dampfförmige Quecksilber im Abgas Volumenstrom (48) im Wärmetauscher(61) auf eine Temperatur von minimal 280°C, maximal 350°C, bevorzugt auf 300°C abgekühlt wird, und das Quecksilber im Kondensator(61) als flüssige Phase aus dem Abgasstrom(48) abgeschieden wird

00258

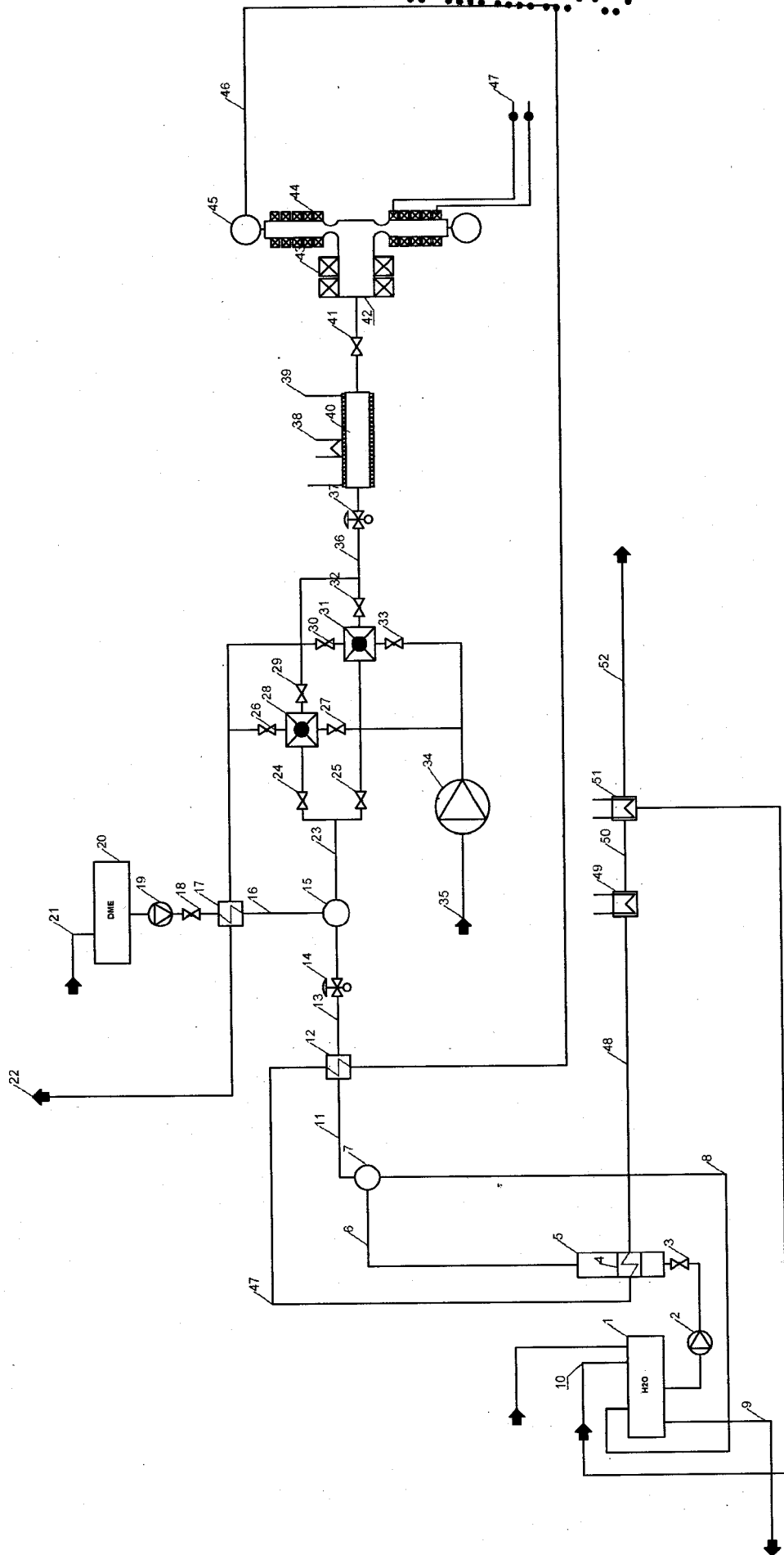


Abbildung 1

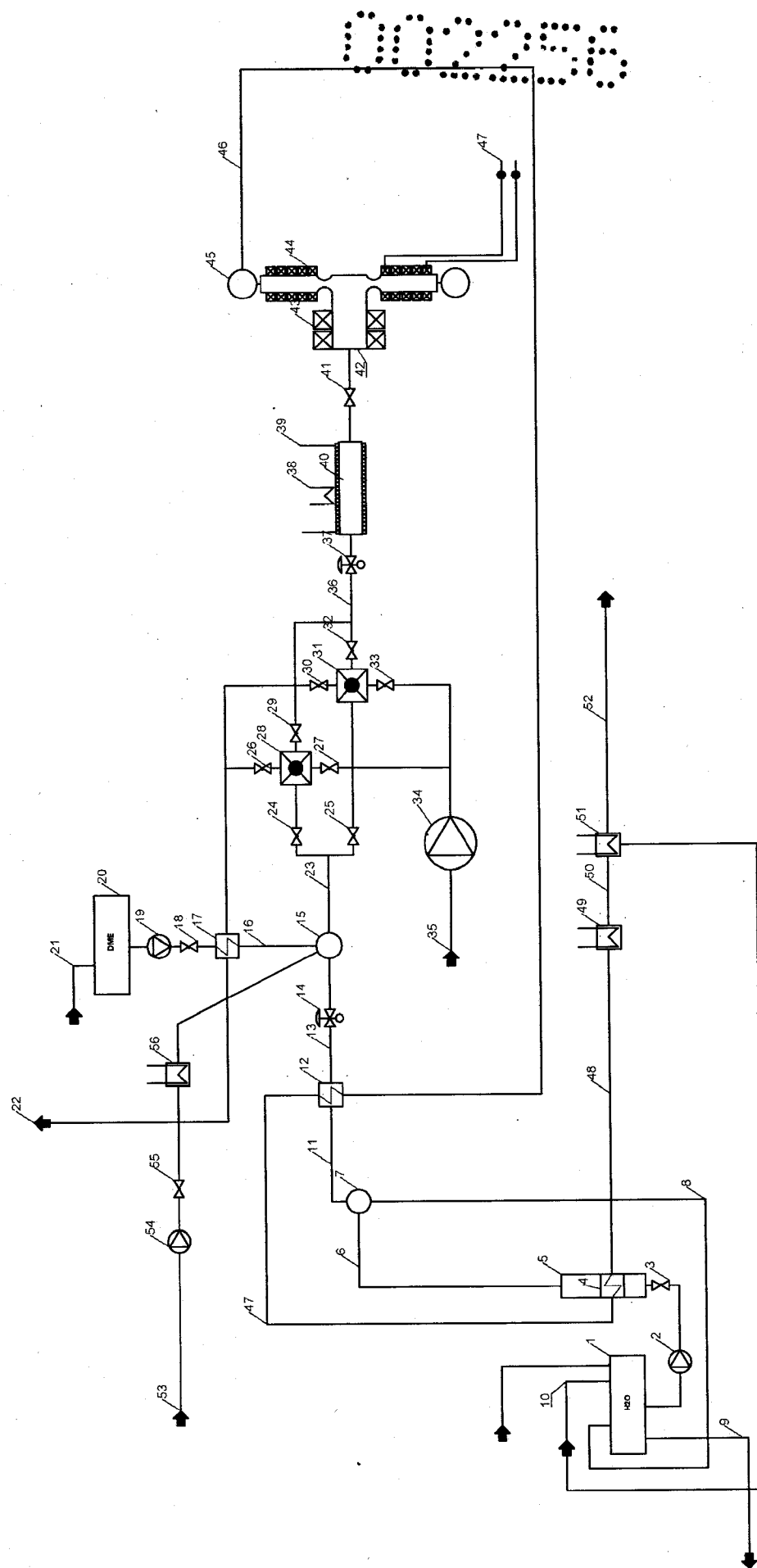


Abbildung 2

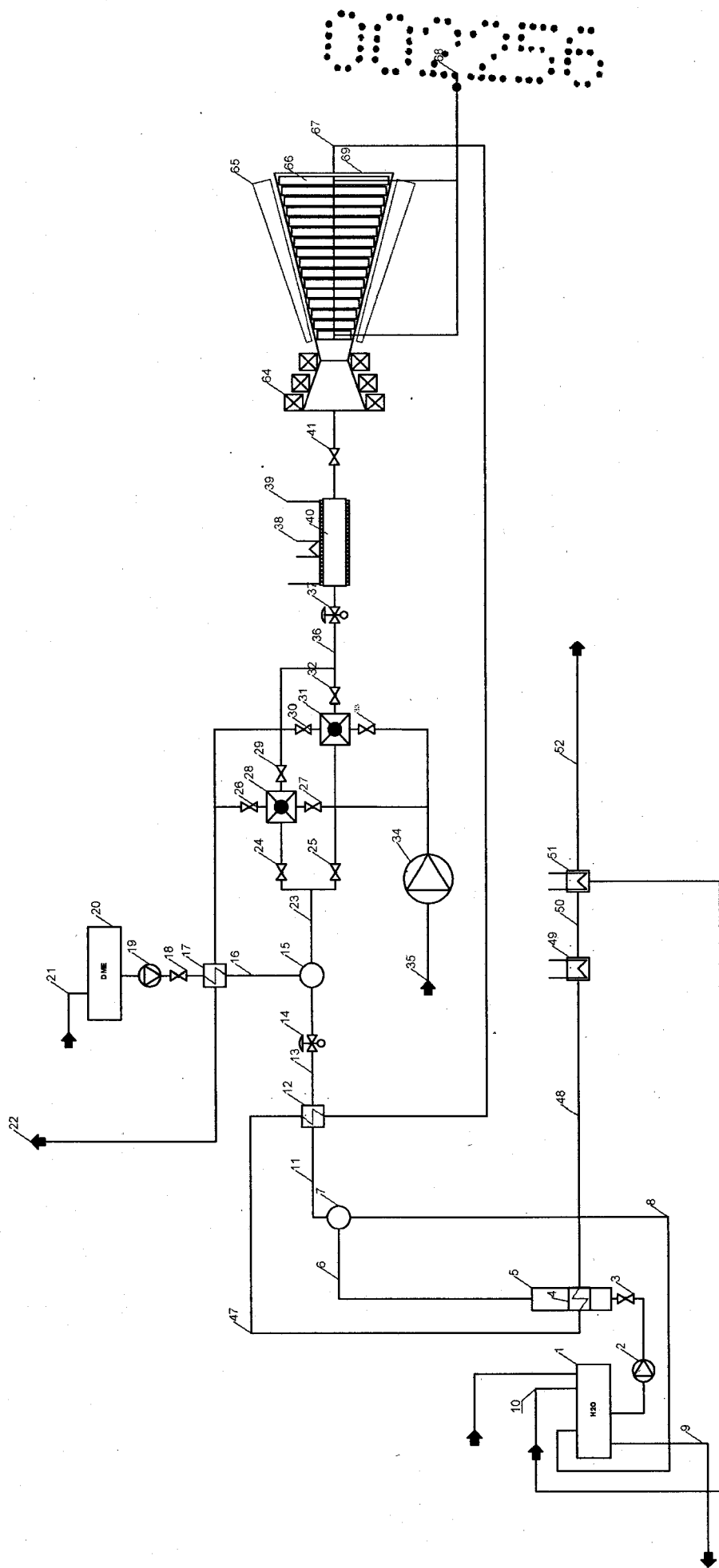


Abbildung 3

000258

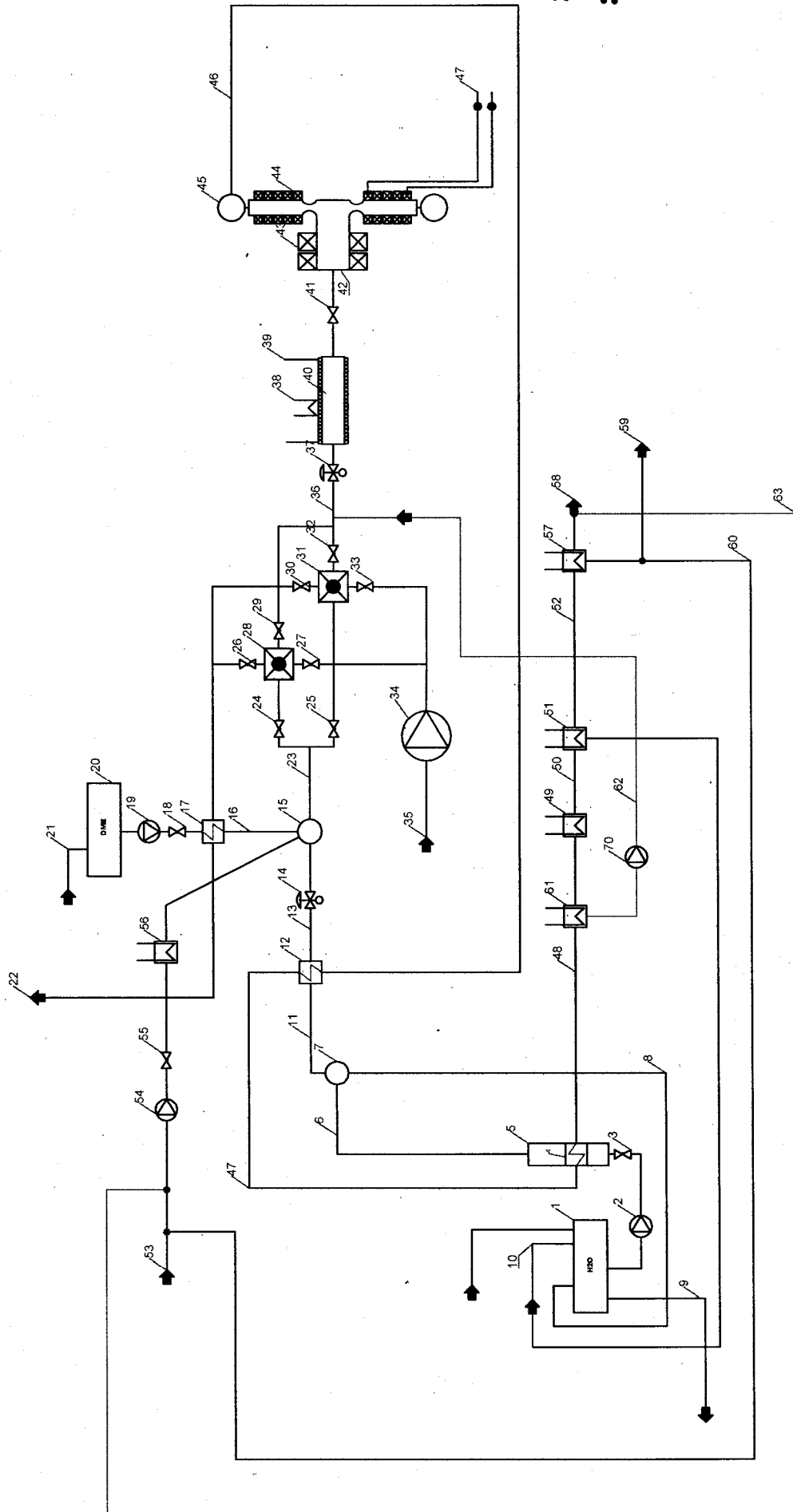


Abbildung 4

00258

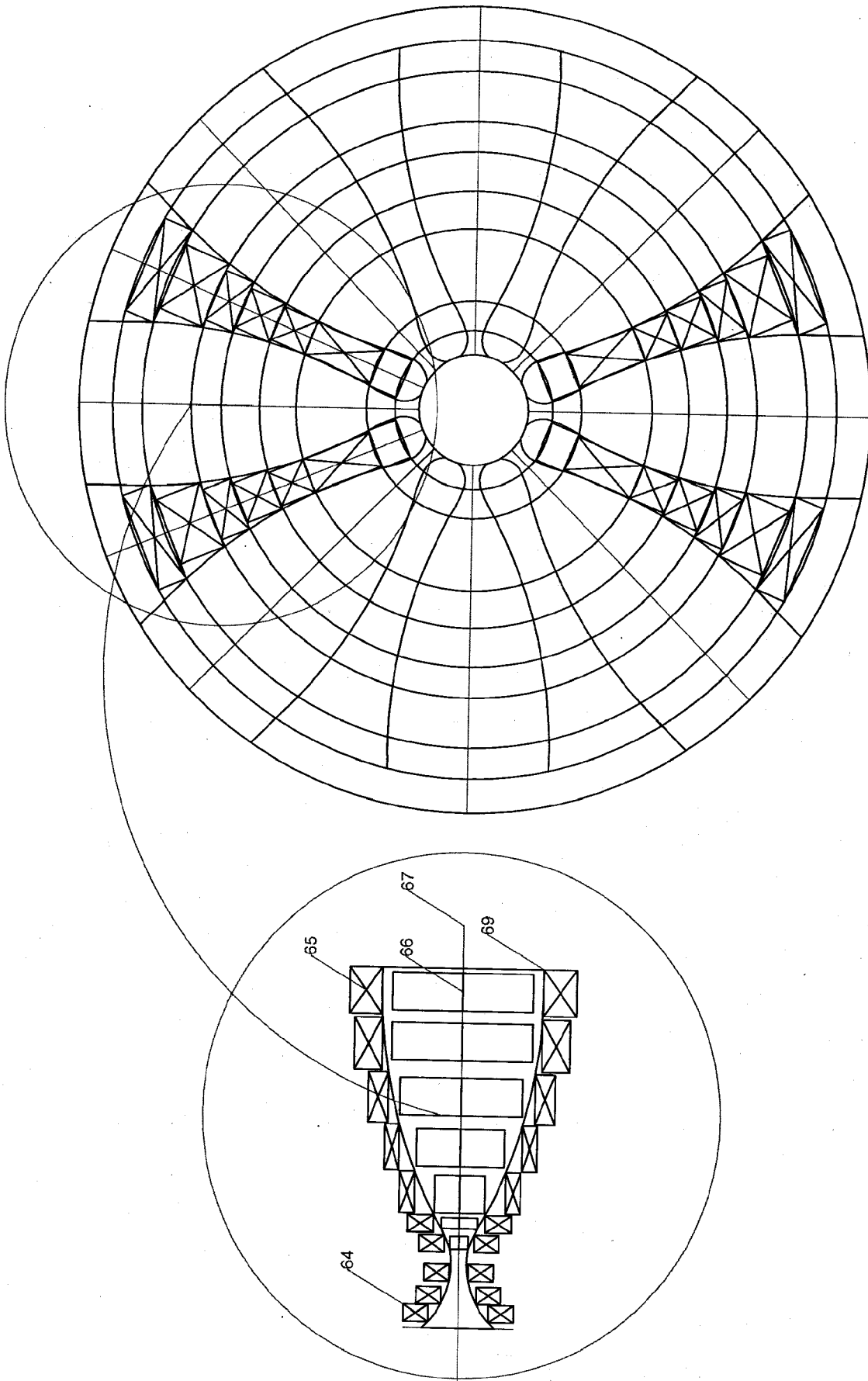


Abbildung 5

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

F23R 3/28 (2006.01); **H02K 44/08** (2006.01); **H02N 3/00** (2006.01); **H05H 1/02** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

F23R 3/28 (2013.01); **H02K 44/08** (2013.01); **H02N 3/00** (2015.10); **H05H 1/02** (2013.01);
Y02E 30/126 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

F23R, H02K, H02N, H05H, Y02E

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPI, PATENW, PATDEW, IEEEExplore, ScienceDirect

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **25.04.2018** eingereichten Ansprüchen **1-6** erstellt.

Kategorie*)	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 3467842 A (CARRASSE) 16. September 1969 (16.09.1969) Figuren; Zusammenfassung; Spalte 2, Zeile 60 - Spalte 3, Zeile 45.	1-6
A	US 3720850 A (WAY) 13. März 1973 (13.03.1973) Figuren; Zusammenfassung; Spalte 3, Zeilen 21-54.	1-6
A	US 4516043 A (VIGIL et al.) 07. Mai 1985 (07.05.1985) Figuren; Zusammenfassung; Spalte 2, Zeilen 27-43.	1-6
A	DE 102013105503 A1 (STERNER) 04. Dezember 2014 (04.12.2014) Figuren; Zusammenfassung; Paragrafen 0013, 0034.	1-6
A	US 2012153772 A1 (LANDA et al.) 21. Juni 2012 (21.06.2012) Figuren; Zusammenfassung; Paragrafen 0022, 0174.	1-6

Datum der Beendigung der Recherche:
06.03.2019

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

MESA PASCASIO Johannes

*) Kategorien der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand 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.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- 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. Das Verfahren zur Erzeugung von elektrischer Leistung und nutzbarer thermischer Energie umfassend einen DME Tank (20), eine DME Pumpe (19), eine Regelarmatur (18), einen DME Verdampfer (17), einen Wassertank (1), eine Pumpe (2), eine Regelarmatur (3), Verdampfer (5), eine Dampftrammel (7), einen Überhitzer (12), eine Regelarmatur (14), eine Mischkammer (15), einen Reaktor (28) mit zugehörigen Armaturen (24,26,27,29), einen Reaktor (31) mit zugehörigen Armaturen (25,30,33,32), einen Verdichter (34), einen Plasmagenerator (40), einen magnetohydrodynamischen Generator (42), einen Wärmetauscher (49), einen Kondensator (51)
 - Gekennzeichnet dadurch, dass
 - flüssiges Dimethylether aus einem Tank (20) über die Pumpe (19) dem Verdampfer (17) zugeführt wird und Dimethylether auf eine minimale Temperatur von 300°C, auf eine maximale Temperatur von 600°C erwärmt wird,
 - das flüssige Dimethylether (20) in einem Wärmetauscher (17) verdampft wird,
 - das dampfförmige Dimethylether mit dem überhitzten Wasserdampf (13) in einem Mischer (15) gemischt wird,
 - der Volumenanteil an Wasserdampf (13) im Mischer (15) minimal 5%, maximal 50%, bevorzugt 35% im Dimethylether Wasserdampfgemisch (23) beträgt und mit einer Regelarmatur (14) geregelt wird,
 - Der Druck des Dimethylether Wasserdampfgemisch (23) einen minimalen Wert von 10 bar, einen maximalen Wert von 150 bar hat,
 - Wasser aus dem Tank (1) über eine Pumpe (2) dem Verdampfer (4,5) zugeführt wird
 - das Gemisch aus Heißwasser und Sattedampf (6) in einer Dampftrammel (7) in einen trockenen Sattedampf (11) und in Heißwasser (8) getrennt wird,
 - der Sattedampf (11) wird über einen Überhitzer (12) auf eine minimale Temperatur von 300°C, auf eine maximale Temperatur von 600°C überhitzt wird,
 - Der Druck des Wasserdampfs (6) einen minimalen Wert von 10 bar, einen maximalen Wert von 150 bar hat,
 - Luft (35) über den Verdichter (34) angesaugt wird und den Reaktoren (28,30) wechselweise über eine Armatur (27, 33) zugeführt wird,
 - Eine Kugelschüttung in einem Reaktor (28) bestehend aus Aluminiumoxid Al_2O_3 beschichte mit dem Metalloxid Cerium(III)oxid CeO_2 vorhanden ist,
 - Die Luft mit dem Metalloxid Cerium(III)oxide CeO_2 in Kontakt kommt und der Luftsauerstoff zur Oxidation der Metall(III)oxide CeO_2 zu Metalloxid Cerium(IV)oxid Ce_2O_3 führt und so den Sauerstoff aus der zugeführten Luft bindet,
 - die Reaktoren (28,30) bei einer Temperatur von minimal 400°C, maximal von 800°C, bevorzugt 600°C betrieben werden,
 - Die Reaktoren (28,30) mit einem Druck des Luftsauerstoffes von minimal 2 bar, maximal 10 bar, bevorzugt 4 bar beaufschlagt werden,
 - das heiße Dimethylether Wasserdampfgemisch (23) in die Reaktoren (28,30) wechselweise geleitet wird und die Metalloxide Cerium(IV)oxid zu Metalloxid Cerium(III)oxid reduziert werden,

- das heiße Dimethylether Wasserdampfgemisch (23) in die Reaktoren (28,30) zu Kohlendioxid, zu Wasserdampf und zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff reduziert wird,
 - die Reduktion des heißen Dimethylether Wasserdampfgemisch (23) Wärme freisetzt und so das Abgas (36) auf eine minimale Temperatur von 1000°C, maximal 2000°C erhitzt wird,
 - das heiße Abgas (36) in einem induktiven Plasmagenerator (40) mit Hilfe über Spulen Induktiven erzeugten Magnetfelder zu einem Plasmagas umgewandelt wird
 - die magnetische Feldstärke der Spulen des induktiven Plasmagenerator (40) minimal 0.1T, maximal 1T beträgt,
 - das heiße angeregte Plasmagas (41) in einen magnethydrodynamischen Generator (42) geleitet wird,
 - das Plasmagas (41) mit Hilfe induktiv erzeugter Magnetfelder (43) mit einer Feldstärke von minimal 1T, maximal 10T stark angeregt wird,
 - das Plasma in einem Scheibengenerator (42) über radial angeordnete Lavalldüsen in einem Magnetfeld (44) entspannt wird und über normal zur Magnetfeldrichtung angeordnete Elektroden eine elektrische Leistung (47) von minimal 500kW ele, maximal 5MW ele erzeugt wird,
 - die Restgase C_xH_y in dem Abgas (46) Kohlenwasserstoffe, wie Methan, Formaldehyd C_2HO , Ethen C_2H_2 , Ethan C_2H_4 sind,
 - Das Abgas (46) einen minimalen Druck von 1 bar, einen maximalen Druck von 5 bar hat,
 - Das Abgas (46) eine minimale Temperatur von 600°C, maximal 1000°C hat,
 - Der Abgaswärmetauscher (12) das Abgas (46) auf eine minimale Temperatur 400°C, eine maximale Temperatur 800°C abkühlt,
 - Der Abgaswärmetauscher (4) das Abgas auf eine minimale Temperatur 200°C, eine maximale Temperatur 500°C abkühlt,
 - Der Abgaswärmetauscher (49) das Abgas auf eine minimale Temperatur 120°C, eine maximale Temperatur 150°C abkühlt,
 - Das Abgas(50) in dem Kondensator (51) auf eine minimale Temperatur von 90°C, eine maximale Temperatur 110°C abgekühlt wird,
 - Das Abgas (50) im Kondensator (51) einen minimalen Druck von 0.8 bar, einen maximalen Druck von 2 bar hat,
 - Das Kondensat (10) dem Wassertank (1) zugeführt wird.
2. Das Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass flüssiger Dibutylether im Tank (20) verwendet wird.
3. Das Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Verdichter (54), eine Regelarmatur (55), einen Überhitzer (56), Rückführung (63)
- Kennzeichnet dadurch, dass
 - Biogene Gase (53) bestehend aus Methan CH_4 , Kohlenwasserstoffen C_xH_y , Wasserstoff H_2 dem Prozess zugeführt werden,
 - Die biogenen Gase (53) über einen Kolbenverdichter (54) auf einen minimalen Druck von 10 bar, einen maximalen Druck von 150 bar verdichtet werden,

- Die biogenen Gase (53) über einen Überhitzer (56) auf eine Temperatur von minimal 300°C, maximal 600°C erwärmt werden,
 - Die Wärme für die biogenen Gase (53) aus der Abluft (22) aus den Reaktoren (28,31) gewonnen wird.
 - Die Restgase (63) aus dem Abgas (46) des magnethydrodynamischen Generators (42) den biogenen Gasen (53) zugeführt werden,
 - Die Restgase (63) aus Kohlenwasserstoffen C_xH_y , wie Methan CH_4 , Ethen C_2H_4 , Formaldehyd C_2HO bestehen.
4. Das Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen magnethydrodynamischen Generator (69)
- gekennzeichnet dadurch, dass
 - das heiße Plasma (41) aus dem Plasmagenerator (40) in einen MHD Generator (69) über eine Lavalldüse auf Überschallgeschwindigkeit beschleunigt wird und eine Machzahl von minimal 1.1, maximal 10 aufweist,
 - der Lavalldüseneinlauf mit induktiven Spulen (64) ausgestattet ist, die ein Magnetfeld mit einer Flussdichte von minimal 1T, maximal 10T erzeugen,
 - der Lavalldüsenauslauf mit induktiven Spulen ausgestattet ist, die ein Magnetfeld mit einer Flussdichte von minimal 1T, maximal 10T erzeugen,
 - der Lavalldüsenauslauf mit Elektroden ausgestattet ist, die senkrecht zu dem Magnetfeld angeordnet sind und so die generierte elektrische Leistung ableiten lässt,
 - Die Geschwindigkeit des Plasmas nach dem engsten Querschnitt der Lavalldüse eine Schallgeschwindigkeit von minimal $M=1.1$, maximal $M=10$ erreicht,
 - der Verdichtungsstoß in dem Lavalldüsenauslauf am Ende der Lavalldüse stattfindet,
 - die Elektronentemperatur T_e im Plasma am Düseneintritt einen minimalen Wert von 2000°K, einen maximalen Wert von 10000°K hat.
5. Das Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Kondensator (57) für Kohlendioxid
- gekennzeichnet dadurch, dass
 - das Abgas (50) einen minimalen Druck von 50 bar, einen maximalen Druck von 70 bar hat,
 - das Abgas (50) in dem Kondensator (57) auf eine minimale Temperatur von 5°C, eine maximale Temperatur von 15°C abgekühlt wird,
 - das Kohlendioxid CO_2 in dem Abgas (50) in dem Kondensator als flüssige Phase abgeschieden wird,
 - das flüssige Kohlendioxid (60) teilweise mit einem minimalen Volumenanteil von 5%, mit einem maximalen Volumenanteil 50%, bevorzugt mit einem Volumenanteil von 10% dem biogenen Gas (53) rückgeführt wird,
6. Das Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Kondensator für Quecksilber (61)

- gekennzeichnet dadurch, dass
- zur Unterstützung der Ionisierung dampfförmiges Quecksilber im Prozess verwendet wird,
- das dampfförmige Quecksilber (62) dem heißen Gasstrom (36) vor dem induktiven Plasmagenerator (40) zugemischt wird,
- der Anteil an Quecksilber im Gasvolumenstrom (36) einen minimalen Wert von 1%, einen maximalen Wert von 15% aufweist,
- mit dem dampfförmigen Quecksilber die Ionisierung des heißen Gases (36) auf einen minimalen Wert von 1%, einen maximalen Wert von 10 erhöht,
- das dampfförmige Quecksilber im Abgas Volumenstrom (48) im Wärmetauscher (61) auf eine Temperatur von minimal 280°C, maximal 350°C abgekühlt wird, und das Quecksilber im Kondensator (61) als flüssige Phase aus dem Abgasstrom (48) abgeschieden wird.

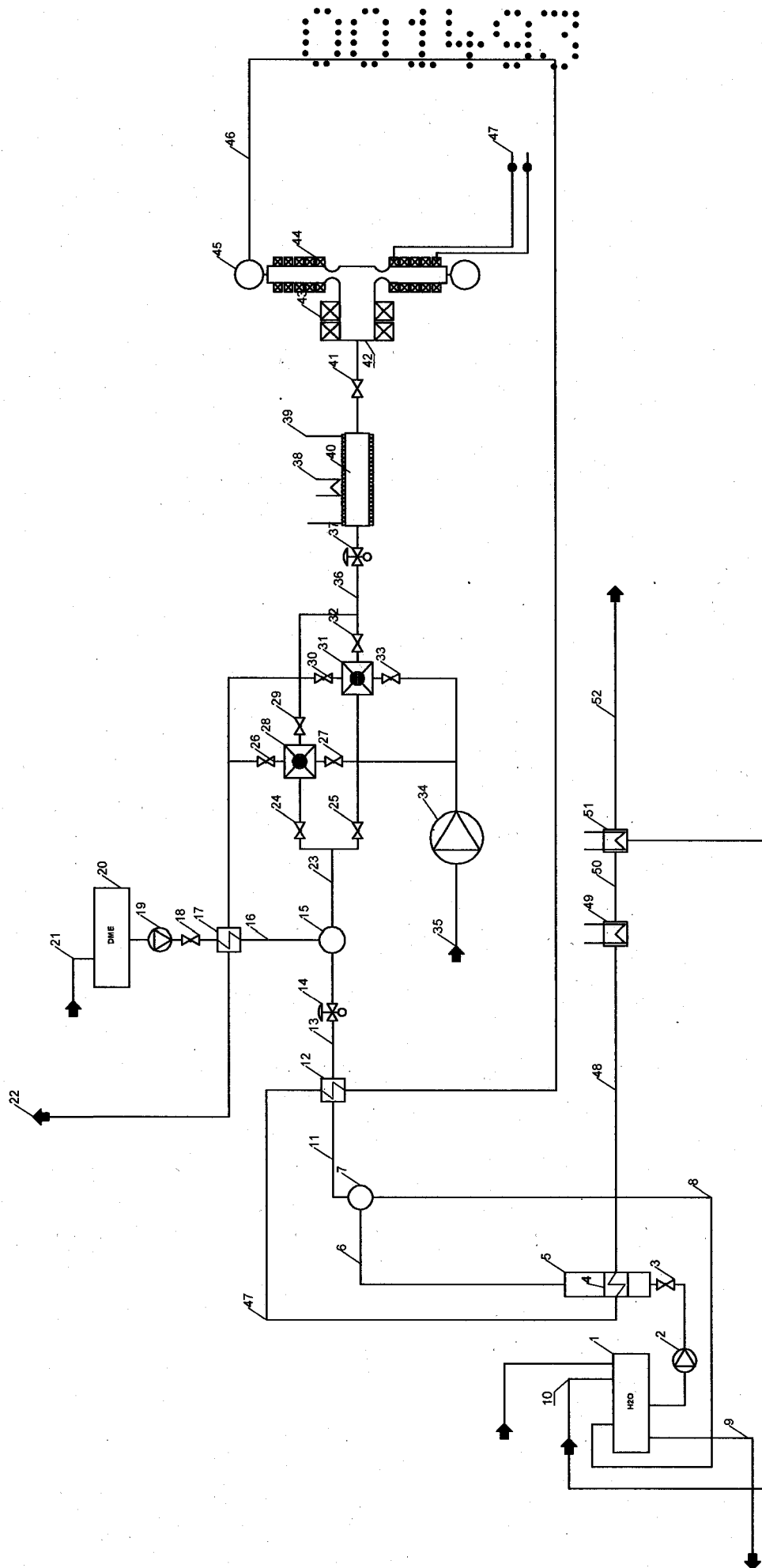


Abbildung 1

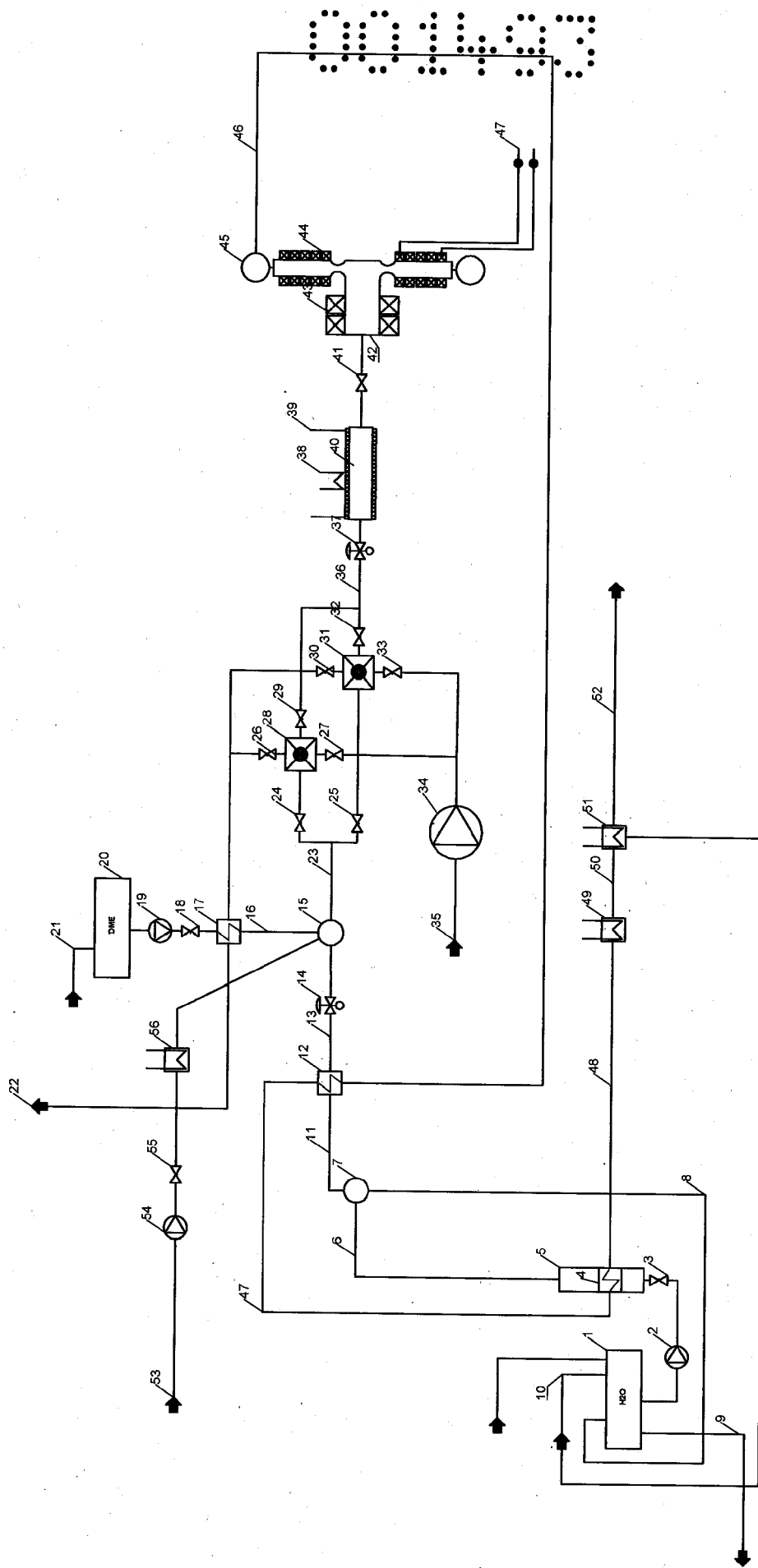
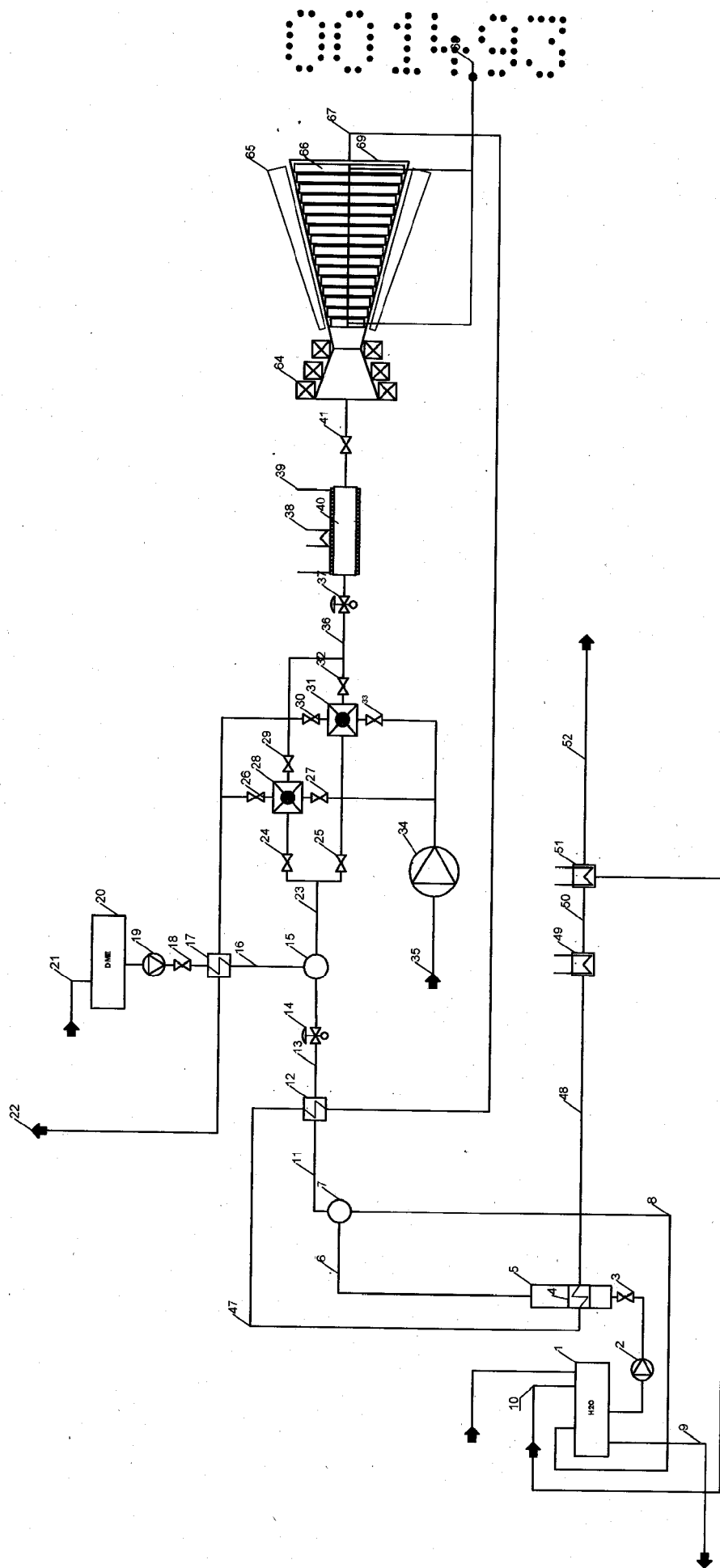


Abbildung 2



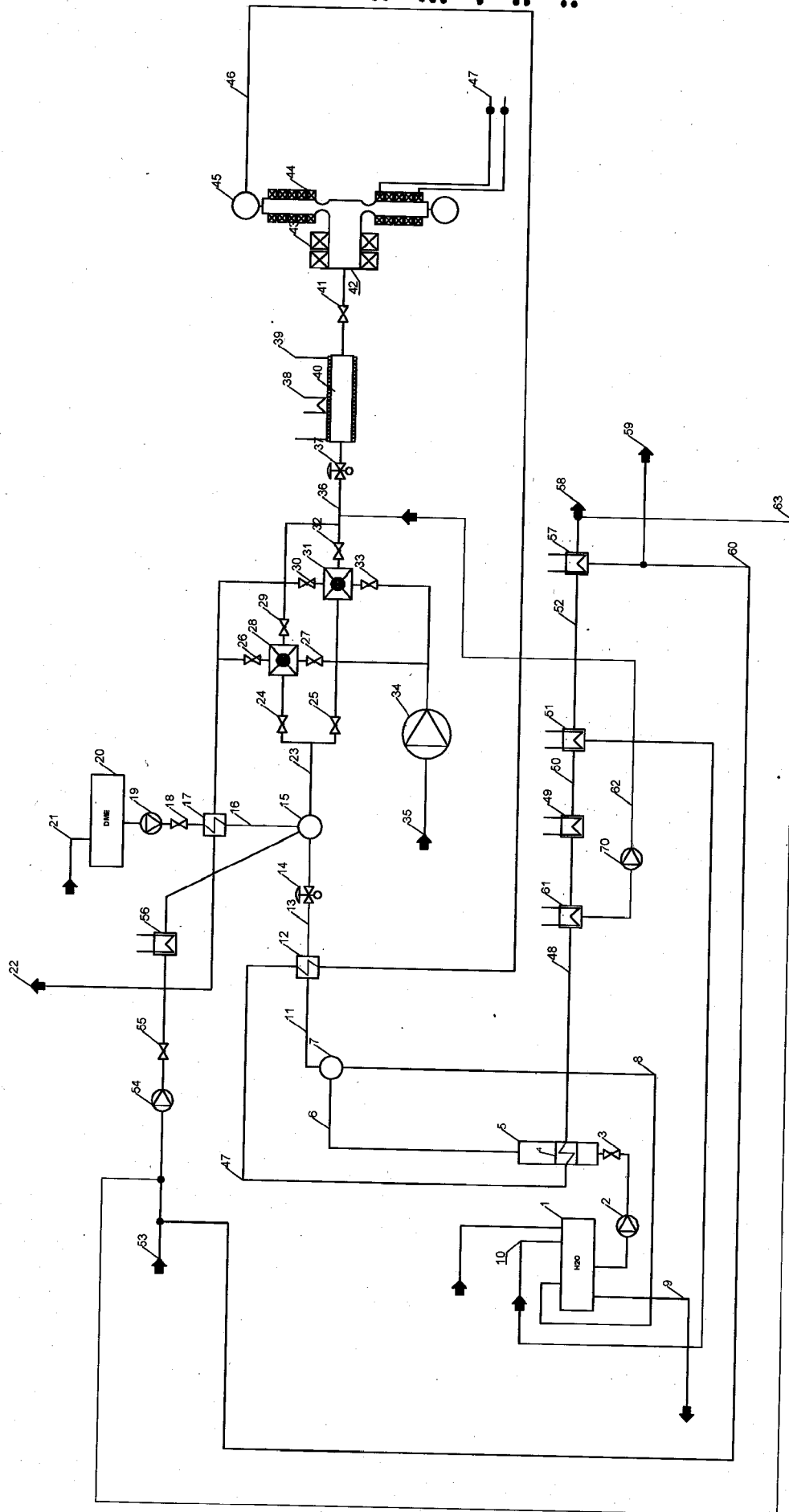


Abbildung 4

001493

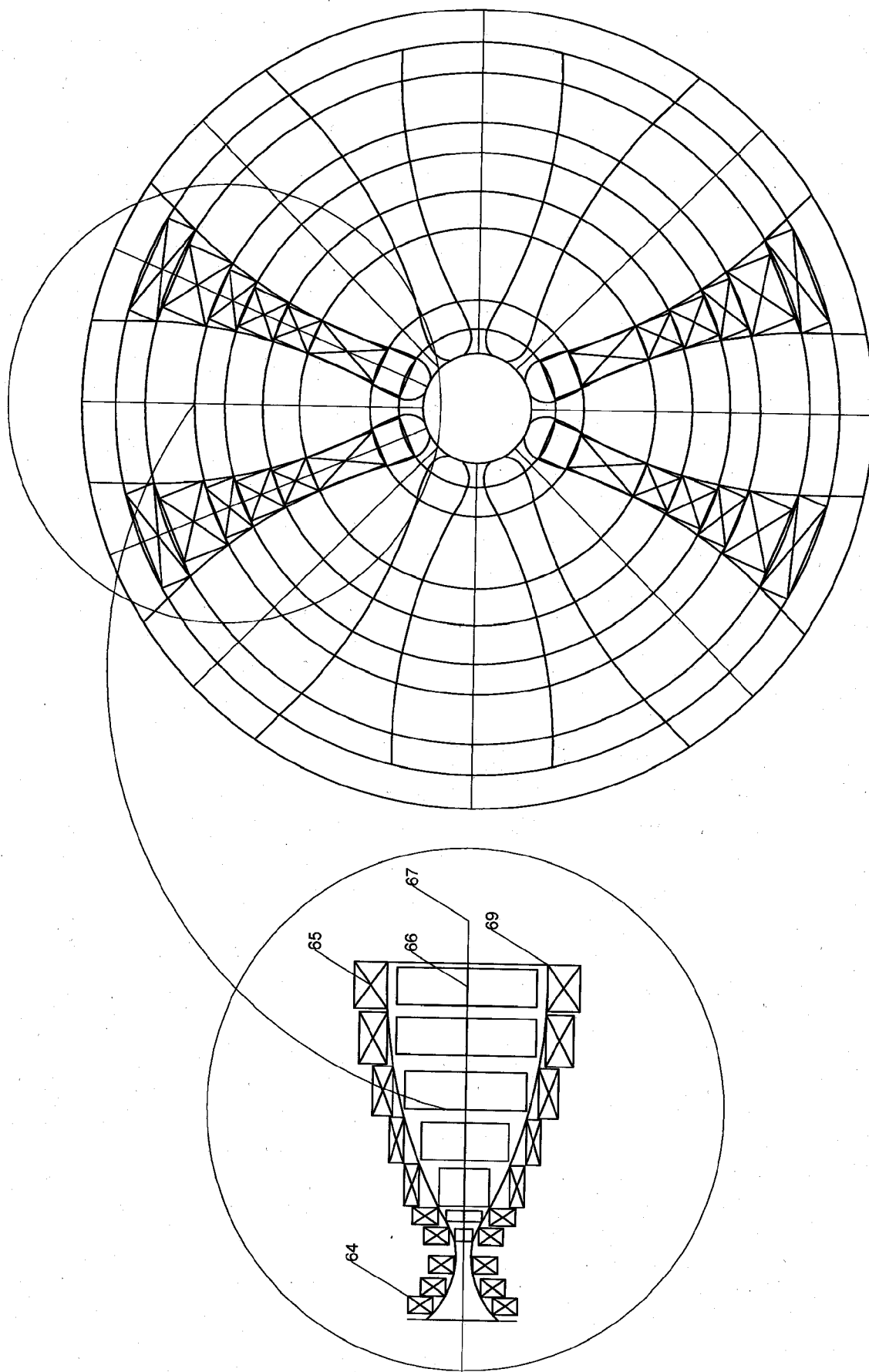


Abbildung 5