

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 142/2019
(22) Anmeldetag: 24.04.2019
(43) Veröffentlicht am: 15.11.2020

(51) Int. Cl.: **C01B 3/04** (2006.01)
C01B 32/40 (2017.01)
B01J 19/08 (2006.01)
B01J 19/12 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2014165162 A1
DE 102010056421 A1
WO 2008148504 A2

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

(72) Erfinder:
Gruber-Schmidt Johann Dipl.Ing. Dr.
1180 Wien (AT)

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

(54) **Dissoziation von Kohlendioxid und Wasserdampf mit Hilfe von Plasma und Elektronenanregung zur Erzeugung eines synthetischen Gases**

(57) Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung eines synthetischen Gasgemisches 67 aus Kohlenmonoxid 59 und Wasserstoff 31 umfassend eine Wasserdampferzeugung 6,7,8,9 von Wasser 1,2 mit Hilfe von externer Wärme 13, 14, einem Wassertank 2 und Umwälzpumpen 3, 11, einer Elektronenanregung 63,64 des Wasserdampfes 15, einer Entspannungsdüse 21 mit Magnetwicklungen 20, die ein gepulstes wanderndes Magnetfeld erzeugen, sodass ein angeregtes Wasserdampfplasma erzeugt wird, einer Mischkammer 23, mit einem Vakuumverdichter 25,26, einem Verdichter 28 für das Sauerstoff-Wasserstoffgemisch 24 und einer Druckwechseladsorption 32 zur Abtrennung des Wasserstoffes 31 vom Sauerstoff 33. Zudem umfasst die Erfindung eine Kohlendioxiddampferzeugung mit Hilfe von externer Wärme 41 und der Entspannung von flüssigem Kohlendioxid 37 aus einem Kohlendioxidtank 38 mit Expansionsturbine 39, die den Verdichter für Sauerstoff und Kohlenmonoxid 54 antreibt, einer Elektronenanregung des Kohlendioxiddampfes 60,62, einer Entspannungsdüse 47 mit Magnetwicklungen 45, die ein gepulstes wanderndes Magnetfeld erzeugen, sodass ein angeregtes Kohlendioxiddampfplasma erzeugt werden kann, einer Mischkammer 49, mit einem Vakuumverdichter 51,52, einem Verdichter 54 für das

Sauerstoff Kohlenmonoxid Gemisch und einer Druckwechseladsorption 61 zur Abtrennung des Kohlenmonoxid 59 vom Sauerstoff 57. Kohlenmonoxid 59 und Wasserstoff 31 werden über die Regelarmaturen 65,66 zu einem synthetischen Gas 67 gemischt. Das synthetische Gas 67 wird verdichtet und das überschüssiges Kohlendioxid 74,75 verflüssigt und in einen Kohlendioxidtank 38 zurückgeführt.

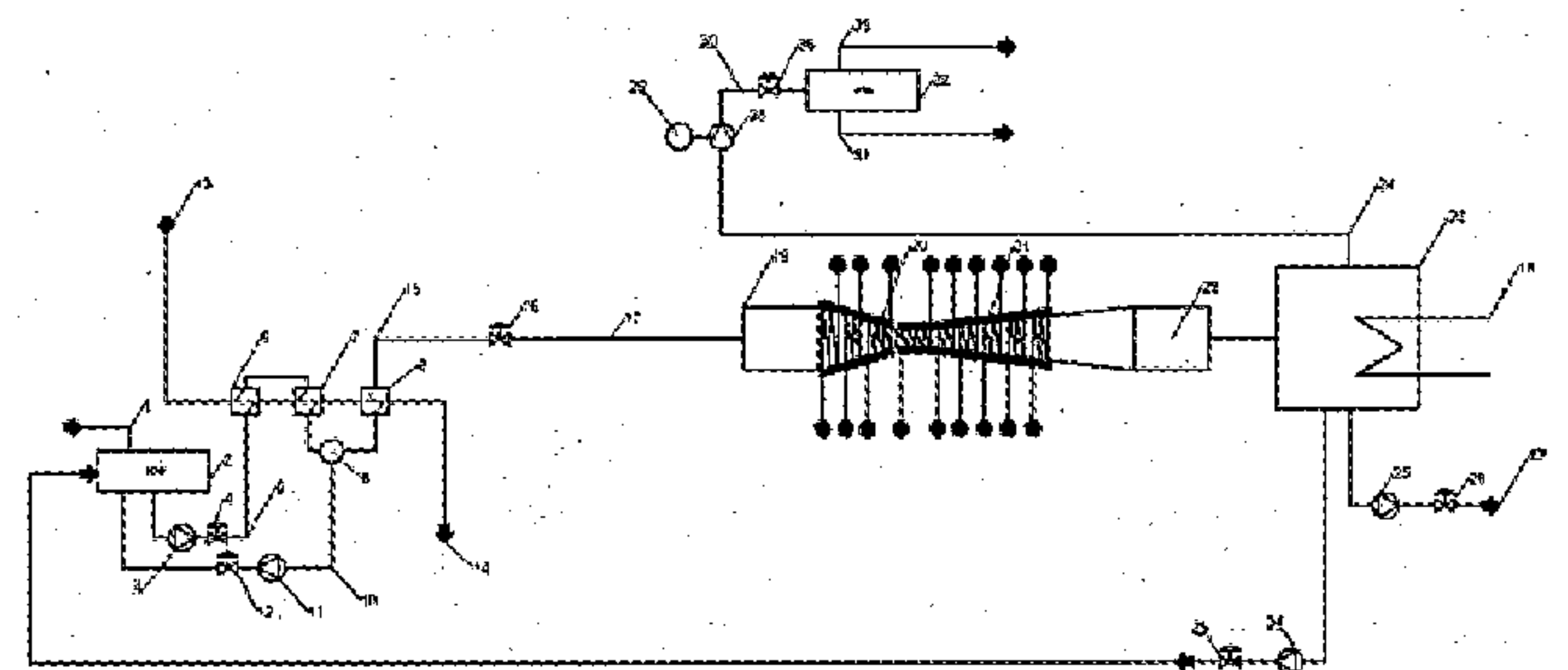


Abbildung 1

Zusammenfassung

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung eines synthetischen Gasgemisches 67 aus Kohlenmonoxid 59 und Wasserstoff 31 umfassend eine Wasserdampferzeugung 6,7,8,9 von Wasser 1,2 mit Hilfe von externer Wärme 13,14, einem Wassertank 2 und Umwälzpumpen 3,11, einer Elektronenanregung 63,64 des Wasserdampfes 15, einer Entspannungsdüse 21 mit Magnetwicklungen 20, die ein gepulstes wanderndes Magnetfeld erzeugen, sodass ein angeregtes Wasserdampfplasma erzeugt wird, einer Mischkammer 23, mit einem Vakuumverdichter 25,26, einem Verdichter 28 für das Sauerstoff Wasserstoffgemisch 24 und einer Druckwechseladsorption 32 zur Abtrennung des Wasserstoffes 31 vom Sauerstoff 33. Zudem umfasst die Erfindung eine Kohlendioxiddampferzeugung mit Hilfe von externer Wärme 41 und der Entspannung von flüssigem Kohlendioxid 37 aus einem Kohlendioxidtank 38 mit Expansionsturbine 39, die den Verdichter für Sauerstoff und Kohlenmonoxid 54 antreibt, einer Elektronenanregung des Kohlendioxiddampfes 60,62, einer Entspannungsdüse 47 mit Magnetwicklungen 45, die ein gepulstes wanderndes Magnetfeld erzeugen, sodass ein angeregtes Kohlendioxiddampfplasma erzeugt werden kann, einer Mischkammer 49, mit einem Vakuumverdichter 51,52, einem Verdichter 54 für das Sauerstoff Kohlenmonoxid Gemisch und einer Druckwechseladsorption 61 zur Abtrennung des Kohlenmonoxid 59 vom Sauerstoff 57. Kohlenmonoxid 59 und Wasserstoff 31 werden über die Regelarmaturen 65,66 zu einem synthetischen Gas 67 gemischt. Das synthetische Gas 67 wird verdichtet und das überschüssiges Kohlendioxid 74,75 verflüssigt und in einen Kohlendioxidtank 38 zurückgeführt.

Dissoziation von Kohlendioxid und Wasserdampf mit Hilfe von Plasma und Elektronenanregung zur Erzeugung eines synthetischen Gases

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung eines synthetischen Gasgemisches 67 aus Kohlenmonoxid 59 und Wasserstoff 31 umfassend eine Wasserdampferzeugung 6,7,8,9 von Wasser 1,2 mit Hilfe von externer Wärme 13,14, einem Wassertank 2 und Umwälzpumpen 3,11, einer Elektronenanregung 63,64 des Wasserdampfes 15, einer Entspannungsdüse 21 mit Magnetwindungen 20, die ein gepulstes wanderndes Magnetfeld erzeugen, sodass ein angeregtes Wasserdampfplasma erzeugt wird, einer Mischkammer 23, mit einem Vakuumverdichter 25,26, einem Verdichter 28 für das Sauerstoff Wasserstoffgemisch 24 und einer Druckwechseladsorption 32 zur Abtrennung des Wasserstoffes 31 vom Sauerstoff 33. Zudem umfasst die Erfindung eine Kohlendioxiddampferzeugung mit Hilfe von externer Wärme 41 und der Entspannung von flüssigem Kohlendioxid 37 aus einem Kohlendioxidtank 38 mit Expansionsturbine 39, die den Verdichter für Sauerstoff und Kohlenmonoxid 54 antreibt, einer Elektronenanregung des Kohlendioxiddampfes 60,62, einer Entspannungsdüse 47 mit Magnetwindungen 45, die ein gepulstes wanderndes Magnetfeld erzeugen, sodass ein angeregtes Kohlendioxiddampfplasma erzeugt werden kann, einer Mischkammer 49, mit einem Vakuumverdichter 51,52, einem Verdichter 54 für das Sauerstoff Kohlenmonoxid Gemisch und einer Druckwechseladsorption 61 zur Abtrennung des Kohlenmonoxid 59 vom Sauerstoff 57. Kohlenmonoxid 59 und Wasserstoff 31 werden über die Regelarmaturen 65,66 zu einem synthetischen Gas 67 gemischt. Das synthetische Gas 67 wird verdichtet und das überschüssiges Kohlendioxid 74,75 verflüssigt und in einen Kohlendioxidtank 38 zurückgeführt.

Kohlendioxid ($\text{CO}_2(\text{g})$) als Gas in Verbrennungsprozessen, in der Kältetechnik, in der Lebensmitteltechnik ist bekannt. In der heutigen Betrachtungsweise wird Kohlendioxid als Treibhausgas (GHG) angesehen und bewertet. Das hat zur Folge, dass man sich nun vermehrt der Frage der Nutzung und Verwendung von Kohlendioxid zuwendet.

Wasserdampf ($\text{H}_2\text{O}(\text{g})$) ist seit der industriellen Revolution ein fester unverzichtbarer Bestandteil technischer Prozesse. Das hat zu der heute bekannten Anwendungen in der Energietechnik in Form von Kraftwerksprozessen, Kochprozessen geführt. Ein Großteil der Thermodynamik fußt auf der Anwendung von Wasserdampf in technischen Prozessen. Man hat also über die Jahrzehnte weg eine andere Beziehung zu Wasserdampf aufgebaut, als zu Kohlendioxid.

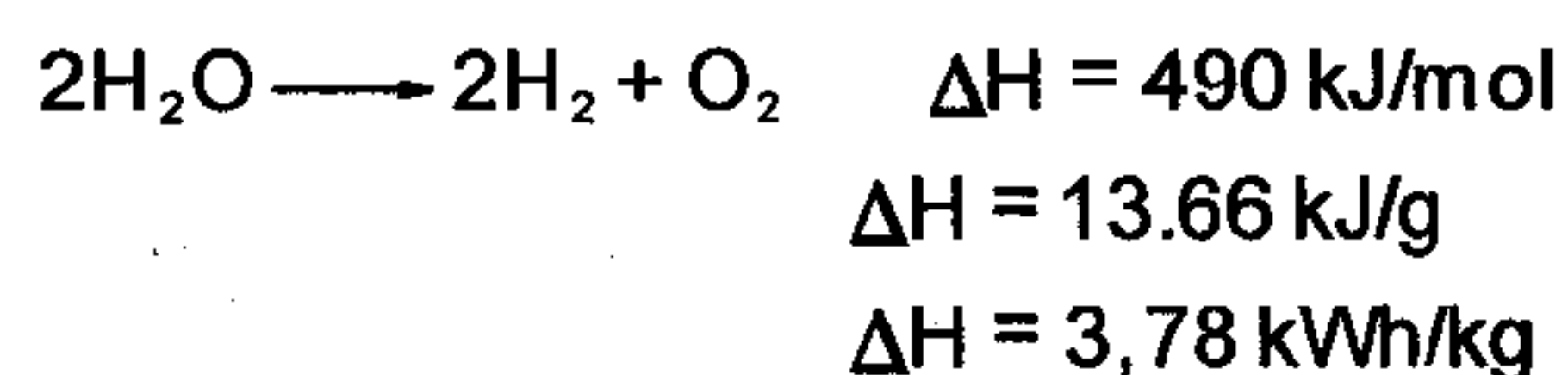
Der Zugang zu Kohlendioxid war lange Zeit geprägt von der Ansicht, die biogene Umwelt verwertet das Kohlendioxid zu Biomasse und Sauerstoff mittels der Photosynthese. Auf Grund dieser Eigenschaft der biogenen Struktur hat man sich wenig mit der Frage der Nutzung von Kohlendioxid, der Verwertung und Umwandlung von Kohlendioxid in Prozessen befasst. Man bewertete die Umwelt als unendlich regenerativ und unendlich groß, sodass jedwede Emission durch die biogene Struktur recycelt und verwertet wird.

Neben der technischen und thermodynamischen Anwendung Wasser (H_2O) zu verdampfen haben sich Chemiker und Physiker auch mit der Spaltung von Wasser in seine Atome befasst. Das Wassermolekül besteht aus zwei Wasserstoffatomen (H_2) und einem Sauerstoffatom (O_2). Daher entstand die Frage über die Spaltung von Wasser in seine Atome wie Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2) im Rahmen der Elektrolyse. Führend in den

Anfängen der industriellen Entwicklung war M. Faraday, mit seinen Faradayschen Gesetzen.
(1. Gesetz der elektrolytischen Zelle)

Die Nasselektrolyse ist in der Folge entwickelt worden, die auf den experimentellen Erkenntnissen von M. Faraday zu dem Thema der Elektrolyse basiert. Die Nasselektrolyse ist geprägt von hohen Stromstärken und geringen Spannungen und verfügt zudem über eine Membran. Die Funktion der Membran dient dazu, dass die erzeugten Gasströme miteinander nicht vermischt werden. Die Forderung an die Eigenschaften der Membran ist gegeben, durch die Ionenleitfähigkeit, sodass der Stromfluss und damit die EMK wirksam sein kann. Die hohen Ströme bewirken, dass das Molekül zerrissen wird, zudem hohe Wärmeentwicklung stattfindet. Um die Ionenleitfähigkeit zu unterstützen wird neben Wasser auch noch ein Elektrolyt verwendet, wie etwa Kaliumlauge (KOH) oder Natriumlauge (NaOH). Man stellt fest, dass das Verfahren der Nasselektrolyse in der Dissoziation von Wasser eine Möglichkeit darstellt, jedoch für Kohlendioxid nicht anwendbar ist.

Betrachtet man den Energieverbrauch bei der Nasselektrolyse, dann stellt man fest: Die klassische Nasselektrolyse benötigt bei Wasser ($p=1\text{bar}$, $T \sim 85^\circ\text{C}$, $40\% \text{ KOH}$) eine elektrische Leistung bei einem Wirkungsgrad von 80% von $P \sim 4,85 \text{ kWh/m}^3 \text{ H}_2$.



Neben der Nasselektrolyse gibt es die inverse Brennstoffzelle, auf der Basis der Polymerelektrolytmembrane (PEM) oder der Festoxidbrennstoffzelle (SOFC) auf der Basis von keramischen und metallischen Festoxiden. Abgesehen von dem hohen technischen Aufwand, der energetische Verbrauch ist ident dem der Nasselektrolyse und beträgt bei Wasser ($p=1 \text{ bar}$, $T = 25^\circ\text{C}$) eine elektrische Leistung von $P \sim 4,85 \text{ kWh/m}^3 \text{ H}_2$.

Fasst man zusammen, so ist der Verbrauch an elektrischer Leistung für die klassische bekannte Elektrolyse sehr hoch, und damit ist die Anlage ineffizient.

Die Aufgabenstellung für die Erfindung besteht darin ein Verfahren zu finden, das weniger elektrische Leistung für die Dissoziation von Wasserdampf verbraucht, das auch für Kohlendioxiddampf und Wasserdampf geeignet ist, das die molekularen Eigenschaften des Wasserdampfes und des Kohlendioxids nutzbar macht, und das die Erzeugung eines synthetischen Gases aus Kohlenmonoxid, Wasserstoff ermöglicht. Die Aufgabenstellung umfasst auch ein Verfahren, das einfach strukturiert ist, das skalierbar ist und das mobil und stationär angewendet werden kann.

Das in dem Patent **WO 2005 005 009** dargestellte Verfahren beschreibt die Dissoziation von Wasserdampf mit Hilfe von Strahlungsenergie und die Trennung der so erzeugten Sauerstoffradikale und Wasserstoffradikale mit Hilfe einer Membran. Die Gastrennung soll mit Hilfe von Kohlendioxid und einem Katalysator unterstützt werden. Der Nachteil dieser Erfindung ist der physikalische Umstand, dass Radikale immer rekombinieren und nicht

trennbar sind, da in einem Ungleichgewichtszustand immer eine Rekombination stattfindet. Die Gastrennung mit einer Membran ist bekannt, der Nachteil ist die mechanische Trennung auf der Basis der unterschiedlichen Moleküldurchmesser.

Das in dem Patent **EP 2 405 721 A3** dargestellte Verfahren zeigt die Erzeugung von pulsierendem Plasma in einer Plasmaschweißdüse auf der Basis von Lichtbögen zwischen einer Kathode und Anode. Der Nachteil ist der geringe Wirkungsgrad und die geringe Möglichkeit der Regelung der Plasmafrequenz und Plasmaintensität.

Die thermodynamischen Eigenschaften von Wasserdampf sind in der nachfolgenden **Tabelle 1** aufgelistet. Um eine Plasmaelektrolyse bei Wasserdampf durchführen zu können, ist sicherzustellen, dass immer überhitzter Wasserdampf vorhanden ist. Der Dampfdruck hängt von dem kritischen Druckverhältnis eines Entspannungsdüse ab.

$$\frac{p^*}{p_0} = \left(\frac{1}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = 0.528$$

Bei einem Druck nach der Düse in einem Bereich von 1,5 bar bis 2 bar, man erhält einen Vordruck vor der Düse in einem Bereich von 3 bar bis 4 bar

Temperatur (°C)	Druck (bar)	Dichte (kg/m³)	Enthalpie (kJ/kg)	Entropie (kJ/kg-K)
120	1	0,55767	2716,6	7,4678
150	2	1,0418	2769,1	7,281
150	3	1,5773	2761,2	7,0791
150	4	2,1237	2752,8	6,9306

Tabelle 1: Darstellung der thermodynamischen Eigenschaften von Wasserdampf.

Die thermodynamischen Eigenschaften von Kohlendioxidampf sind in der nachfolgenden **Tabelle 2** aufgelistet. Um eine Plasmaelektrolyse bei Kohlendioxidampf durchführen zu können, ist sicherzustellen, dass immer überhitzter Kohlendioxidampf vorhanden ist. Der Dampfdruck hängt von dem kritischen Druckverhältnis eines Entspannungsdüse ab.

$$\frac{p^*}{p_0} = \left(\frac{1}{\kappa + 1}\right)^{\frac{\kappa}{\kappa - 1}} = 0.528$$

Bei einem Druck nach der Düse in einem Bereich von 1,5 bar bis 2 bar, man erhält einen Vordruck vor der Düse in einem Bereich von 3 bar bis 4 bar

Temperatur (°C)	Druck (bar)	Dichte (kg/m³)	Enthalpie (kJ/kg)	Entropie (kJ/kg-K)
25	1	1,7842	505,85	2,7393
25	2	3,5865	504,92	2,6062
25	3	5,4073	503,98	2,5274
25	4	7,2472	503,03	2,4708

Tabelle 2: Darstellung der thermodynamischen Eigenschaften von Kohlendioxidampf.

Um das Verfahren der Plasmaelektrolyse anwenden zu können ist der Aufbau des Wassermoleküls wesentlich: die Eigenschaften sind in folgender **Tabelle 3** zusammengefasst:

Wassermolekül	H₂O
Molares Gewicht	18,015 g/mol

Sauerstoffatom	1 (16 g/mol)
Wasserstoffatom	2 (1 g/mol)
Mittlerer Moleküldurchmesser	2,9 bis 3,5 Å
Mittlerer Winkel zwischen Sauerstoff und Wasserstoffatom	104,5°
Kovalente Bindung	0.0965 nm
Wasserstoffbindung	0.1770 nm
Ladungsstruktur	Tetraeder (167° +/- 20°)
Elektrisches Dipolmoment	1.85 Debye
Elektronennegativität von Sauerstoff	3.4
Elektronennegativität von Wasserstoff	2.1
Phasen von Wasser	fest, flüssig, dampfförmig

Tabelle 3: atomistische, physikalische und chemische Eigenschaften des Wassermoleküls

Um das Verfahren der Plasmaelektrolyse anwenden zu können ist der Aufbau des Kohlendioxidmoleküls wesentlich: die Eigenschaften sind in folgender **Tabelle 4** zusammengefasst:

Kohlenstoffdioxid	CO₂
Molares Gewicht	44,0996 g/mol
Kohlenstoffatom	1 (12 g/mol)
Sauerstoffatom	2 (16 g/mol)
Mittlerer Moleküldurchmesser	2,9 bis 3,5 Å
Mittlerer Winkel zwischen Sauerstoff und Kohlenstoffatom	180°, linearer Aufbau
Polare Eigenschaft	Keine, nahezu inertes Verhalten
Phasen	fest, flüssig, dampf

Tabelle 4: atomistische, physikalische und chemische Eigenschaften des Kohlendioxidmoleküls (CO₂)

Durch die Elektronegativität des Sauerstoffatom(O₂) mit 3,4 gegenüber der des Wasserstoffatom(H₂) mit 2,2 weist das Wassermolekül Partialladungen auf. Der Sauerstoff (O₂) ist dadurch partiell negativ (δ⁻), die Wasserstoffatome(H₂) partiell positiv (δ⁺). Die Wasserstoffbrücken (H-O) bilden sich zwischen den unterschiedlichen Partialladungen aus.

Wasserstoffbrücken (H-O) sind für eine Anzahl wichtiger Eigenschaften des Wassers verantwortlich. Darunter sind der flüssige Aggregatzustand bei Normalbedingungen, die Kohäsion, der relativ hohe Siedepunkt und die Dichteanomalie des Wassers.

Die typische Bindungslänge von Wasserstoffbrückenbindungen in Wasser ist 1.8Å. Beim Verdampfen müssen die Wasserstoffbrückenbindungen getrennt werden; hierdurch erklärt sich der (im Vergleich zu anderen Substanzen) hohe Energieaufwand, um flüssiges Wasser von 100 °C in Dampf von 100 °C umzuwandeln (daraus lässt sich die Verdampfungsenthalpie ableiten).

Das Kohlenstoffdioxidmolekül (CO₂) ist linear, alle drei Atome liegen auf einer geraden Linie. Der Kohlenstoff ist an die beiden Sauerstoffatome mit Doppelbindungen gebunden, wobei beide Sauerstoffatome zwei freie Elektronenpaare aufweisen. Der Kohlenstoff-Sauerstoff-Abstand beträgt 1.16 Å. Die Kohlenstoff-Sauerstoff-Bindungen sind durch die unterschiedlichen Elektronegativitäten von Kohlenstoff und Sauerstoff polarisiert; die elektrischen Dipolmomente heben sich aber durch die Molekülsymmetrie nach außen hin gegenseitig auf, so dass das Molekül kein elektrisches Dipolmoment aufweist.

Auf Grund des Aufbaues des Wassermoleküls und des Kohlendioxidmoleküls kann jedes Molekül zu Schwingungen angeregt werden. Beim Wassermolekül führt die Schwingungsanregung zu Schwingungen des Wasserstoffatoms gegenüber dem Sauerstoffatom. Die Schwingungsformen können symmetrische und asymmetrische in der Molekülebene stattfinden und in Form von Rotationsschwingungen aus der Molekülebene. In der nachfolgenden Tabelle sind die Frequenzen der ersten Schwingungsformen aufgelistet

Kohlendioxidmolekül		Λ (1/cm)
Symmetrische	C-O	1369,90
Asymmetrische	C-O	2283,48
Rotationsschwingung	O-C-O	648,91

Tabelle 5: Einige Frequenzen der Grundschwingungsformen des Kohlendioxidmoleküls [1]

Auf Grund des Aufbaues des Wassermoleküls und des Kohlendioxidmoleküls kann jedes Molekül zu Schwingungen angeregt werden. Beim Wassermolekül führt die Schwingungsanregung zu Schwingungen des Wasserstoffatoms gegenüber dem Sauerstoffatom. Die Schwingungsformen können symmetrische und asymmetrische in der Molekülebene stattfinden und in Form von Rotationsschwingungen aus der Molekülebene. In der nachfolgenden Tabelle sind die Frequenzen der ersten Schwingungsformen aufgelistet

Wasserdampfmolekül		Λ (1/cm)
Symmetrische	O-H	3656,65
Asymmetrische	O-H	3799,35
Rotationsschwingung	H-O-H	1594,59

Tabelle 6: Einige Frequenzen der Grundschwingungsformen des Wasserdampfmoleküls [1]

Die Anregung eines Gasmoleküls kann mit Hilfe der Erzeugung eines Nichtgleichgewichtszustandes erfolgen. Unter Nichtgleichgewichtszustand eines Gases versteht man die Kombination von folgenden Energiezuständen:

Translatorischer Energiezustand: unter Translatorischem Energiezustand versteht man die symmetrischen und asymmetrischen Schwingungsstand der Atome innerhalb eines Moleküls in der von den Atomen aufgespannten Ebene. (E_{trans}). Dieser Zustand wird erfindungsgemäß durch die Expansion in einer Entspannungsdüse 21,47 in den Überschallbereich angeregt. Unterstützt wird diese Anregung durch das Überführen des Gaszustandes in den Plasmazustand mit Hilfe von magnetischen Feldern 20,45 oder durch Mikrowellen 76,77.

Rotatorischer Energiezustand: unter rotatorischem Energiezustand versteht man die symmetrischen und asymmetrischen Schwingungsstand der Atome innerhalb eines Moleküles aus der von den Atomen aufgespannten Ebene. (E_{rot}). Dieser Zustand wird erfindungsgemäß durch die Expansion in einer Entspannungsdüse 21,47 in den Überschallbereich angeregt. Unterstützt wird diese Anregung durch das Überführen des Gaszustandes in den Plasmazustand mit Hilfe von magnetischen Feldern 20,45 oder durch Mikrowellen 76,77.

Harmonischer Energiezustand: der mit Hilfe der Quantenmechanik angeregte harmonische Schwingungszustand (E_{harm}). Dieser Zustand wird erfindungsgemäß durch die Elektronenanregung 62,64 angeregt.

Energiezustand der Elektronen: dieser beschreibt den Anregungszustand der Elektronen der Atome und des Moleküls. (E_{elektr}). Dieser Zustand wird erfindungsgemäß durch die Elektronenanregung 62,64 angeregt.

$$E = E_{\text{trans}} + E_{\text{rotat}} + E_{\text{harm}} + E_{\text{elektr}}$$

Im Nichtgleichgewichtszustand wird das Gas stetig neuen Energiezuständen unterworfen, die durch die äußeren Bedingungen, wie Kanalverengung in einer Düse (= Beschleunigung des Gases, Kompression des Gases und damit die Veränderung der Temperatur und des Druckes), wie pulsierendes Magnetfeld (Anregung der Elektronen der einzelnen Atome unter variablen mit einer definierten Frequenz schwingenden Magnetfeldern). Die Folge ist, dass in dem Gas die Besetzung der Energieniveaus nicht mehr zeitlich konstant ist und daher eine Umgruppierung der Atome im Plasmazustand möglich ist. Dieser Nichtgleichgewichtszustand des Gases hat zur Folge, dass der notwendige Energieaufwand zur Dissoziation des Gases gegenüber dem von M. Faraday aufgestellten empirischen Ansatzes deutlich geringer ist.

Erfindungsgemäß wird daher ein Nichtgleichgewichtszustand durch eine Entspannung des Gases in einer Entspannungsdüse 21, 47 erreicht, die auf Überschallströmung beschleunigt. Das besondere an der Düsengeometrie besteht darin, dass der Eintrittsquerschnitt gleich dem Austrittsquerschnitt entspricht. Ziel ist es einen lange andauernden strömungstechnisch hervorgerufenen Nichtgleichgewichtszustand zu erreichen.

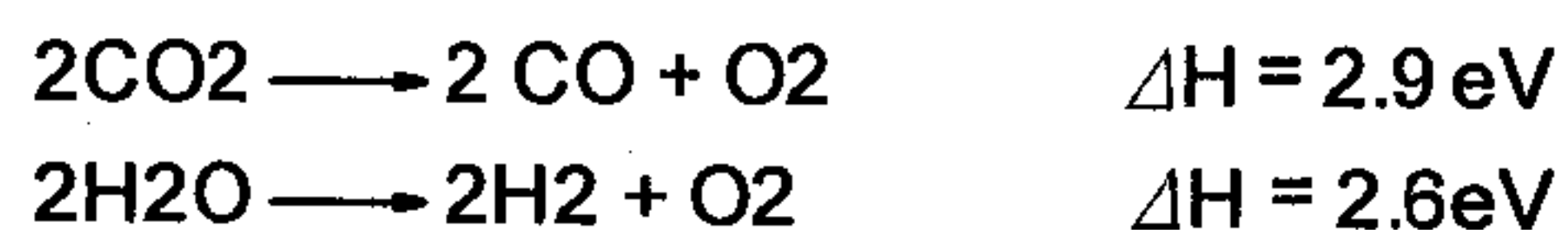
Um die Entspannungsdüse 21 anwenden zu können ist stets ein dampfförmiger Gaszustand zu erreichen. Das bedeutet bei Wasser 1 die Erzeugung von Wasserdampf 15, durch eine Verdampfungsvorrichtung 3,4,6,7,8,9. Dabei wird externe Abwärme 13,14 genutzt um Wasserdampf zu erzeugen. Die einfachste technische Bauform ist ein Durchlaufverdampfer, wie dieser bei stationären und mobilen Verdampfern verwendet wird.

Erfindungsgemäß wird auch bei Kohlendioxid 37 eine Entspannungsdüse 47 eingesetzt. Auch bei Kohlendioxid 37 muss ein dampfförmiger Zustand erreicht werden. Das Kohlendioxid wird in einem Tank 38 mit einem Druck von 70 bar in flüssiger Phase gelagert. Die Entspannung auf einen geringeren Druck von 1 bar bis 10 bar ermöglicht die Nutzung einer Entspannungsturbine 39. Danach wird das dampfförmige Kohlendioxid 42 der Entspannungsdüse 47 zugeführt.

Zur Erzeugung des Düsenenddruckes wird eine Vakuumkammer 23,49 verwendet, die mit Kühlschlägen 18, 46 auf eine niedrige Temperatur gekühlt wird. Die Vakuumverdichter 25,51 dienen dazu beim Anfahren der Ablage die inerten Gase abzusaugen.

Erfindungsgemäß erfolgt die Erzeugung eines thermodynamischen Nichtgleichgewichtszustandes in einer Düse, wobei das überkritische Druckverhältnis zur Anwendung kommt und damit im engsten Kanalquerschnitt ein Überschallströmung erfolgt. Um die Umgruppierung und damit die Dissoziation zu unterstützen wird erfindungsgemäß ein Plasmazustand des Gases erzeugt. Die einfachste und effizienteste Form ist ein durch magnetische Induktion erzeugtes Plasma 20,45, das mit bestimmten Vielfachen der Anregungsfrequenzen der Grundswingungszustände des Moleküls pulsiert.

Klassische Elektrolyse: (1eV ~ 96,45 kJ/mol)



Plasmaelektrolyse: (1eV ~ 96,45 kJ/mol)

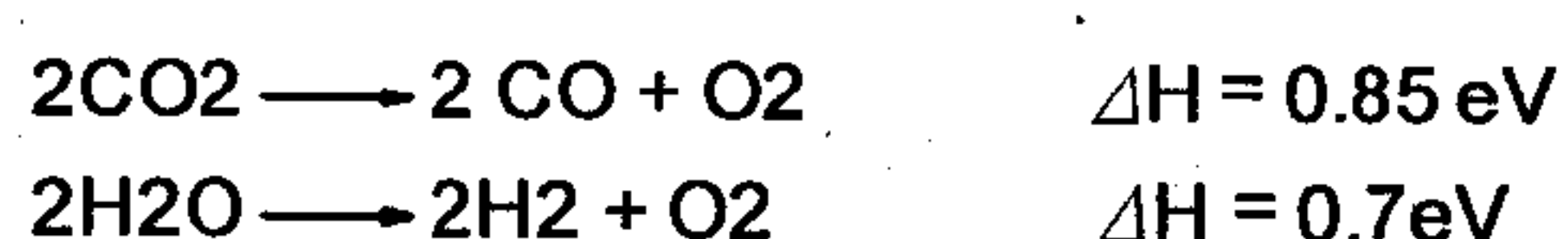


Tabelle 8: Durch die Plasmaelektrolyse kann der Nichtgleichgewichtszustand in der Gasströmung 21,47 noch verbessert und verstärkt werden.

Erfindungsgemäß wird ein Plasmazustand durch magnetische Wicklungen 20,45 oder durch Mikrowellen 76,77 erreicht. Durch die Aufteilung der magnetischen Anregung entlang des Düsenkanals kann mit unterschiedlichen Frequenzen der Plasmazustand angeregt werden. Zudem ergibt sich die Möglichkeit der Erzeugung einer Wanderwelle, was einem in Strömungsrichtung des Gases gepulsten anregendem Plasmazustand entspricht.

In der am Ende der Entspannungsdüse 21, 47 angebrachten Rekombinationskammer 22, 48 wird von den so erzeugten und gewonnenen Gasströmen wie Wasserstoff und Sauerstoff (24) und Kohlenmonoxid und Sauerstoff (50) ein Gleichgewichtszustand eingenommen, der eine Rückbildung verhindert.

Damit der Übergang in einen Plasmazustand und damit verbunden einen hohen Nichtgleichgewichtszustand noch effizienter erfolgen kann, wird der Wasserdampf 15 und das Kohlendioxid 42 erfindungsgemäß elektrisch mit Elektronen angeregt. Die Anregung erfolgt erfindungsgemäß mit Elektronen 62,64, die über eine Kathode abgestrahlt werden. Der Aufbau so einer Elektronenstrahlemitters besteht aus einer Kathode, dem eigentlichen Emitter an Elektronen, einem Gate zur Beschleunigung der Elektronen und der Absaugung von der Kathode selber, einem Magnetfeld zur Bündelung der abgestrahlten Elektronen und aus einem Lenardfenster (einen für die Elektronen durchsichtiges Fenster).

Erfindungsgemäß haben die Elektronen geringe Energien in dem Bereich von 0.5 eV bis 3 eV. Diese geringen Energien reichen aus, um die dampfförmigen Gasmoleküle anzuregen.

Der Elektronenstrahl aus den Emittoren 62,64 wird in eine Kammer 60,63 eingeleitet und durch Elektromagnete umgelenkt, sodass der Strahl mehrfach auf einer Kreisbahn die Kammer kreuzt und so die Kontaktwahrscheinlichkeit mit dem Gasmolekül erhöht wird.

Um die Verweilzeit des Gases zu erhöhen wird das Gas tangential in der Anregungskammer (EA) 60,63 eingedüset und somit eine rotatorische Strömung erzeugt (Drall) und die Verweilzeit des Gases in der Anregungskammer erhöht.

Erfindungsgemäß werden mehrere Emitter 62,64 entlang der Strömungsrichtung des Wasserdampfes 15 und Kohlendioxidampfes 42 in Serie bei der Anregung mit Elektronen verwendet, wobei in jeder Kammer eine Elektronenstrahl mit einer Energie im Bereiche von 0.5 eV bis 3 eV eingestrahlt wird.



Die klassische Elektrolyse basiert auf den empirischen Gesetze M. Faradays, der mit hohen Stromstärken und geringen Spannungen an der Oberfläche der Elektroden (Anode, Kathode), den Wasserstoff, den Sauerstoff aus dem Wassermolekül „herausreißt“. Die Elektrolyse nach M. Faraday umfasst die elektrolytische Zelle, in der die Elektroden in einem Elektrolyten eintauchen. Zwischen den Elektroden befindet sich ein Abstand um den Überschlager der elektrischen Energie zu vermeiden. Ein weiterer Nachteil ist die geringe Oberfläche der Elektroden.

Bei der elektrochemischen Zelle befindet sich zwischen den beiden Elektroden eine Membran. Ist diese Membran nicht ionenleitend, dann sind die beiden Elektroden getrennt und eine elektromotorische Kraft (EMK) kann nicht wirksam sein. Um also einen Fluss an Elektronen und Ionen zu ermöglichen, muss die Membran zumindest Ionenleitfähig sein. Damit ergibt sich an der Membran ein weiterer Potenzialunterschied und die Membran leitet entweder Anionen oder Kationen. Damit ergibt sich ein weiterer Nachteil in Form des Potenzialunterschiedes über die Membran hinweg:

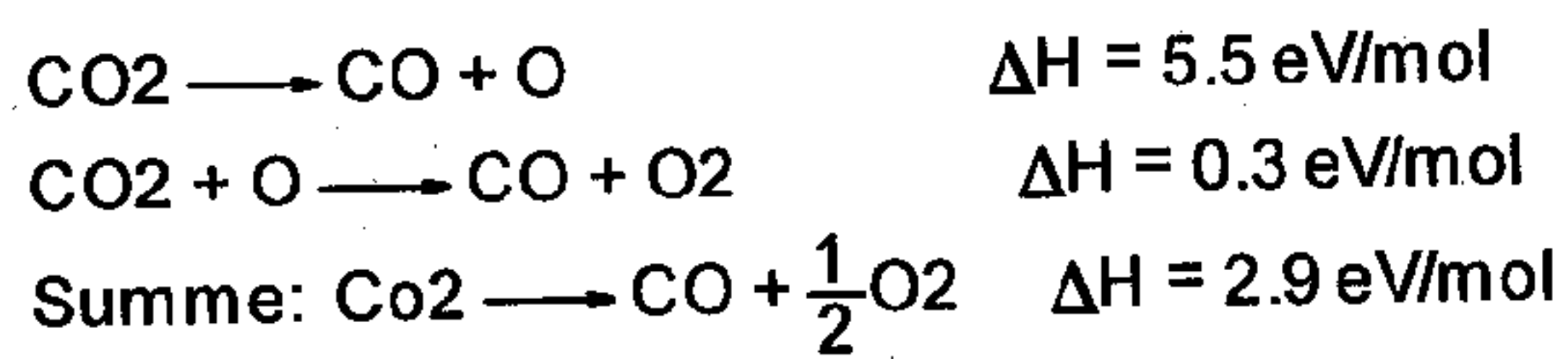
$$Q = n z F \quad n = \frac{m}{M} \quad Q = n z e N_A = \frac{m z F}{M}$$

$$Q = \int_{t_0}^{t_1} I(U, t) dt$$

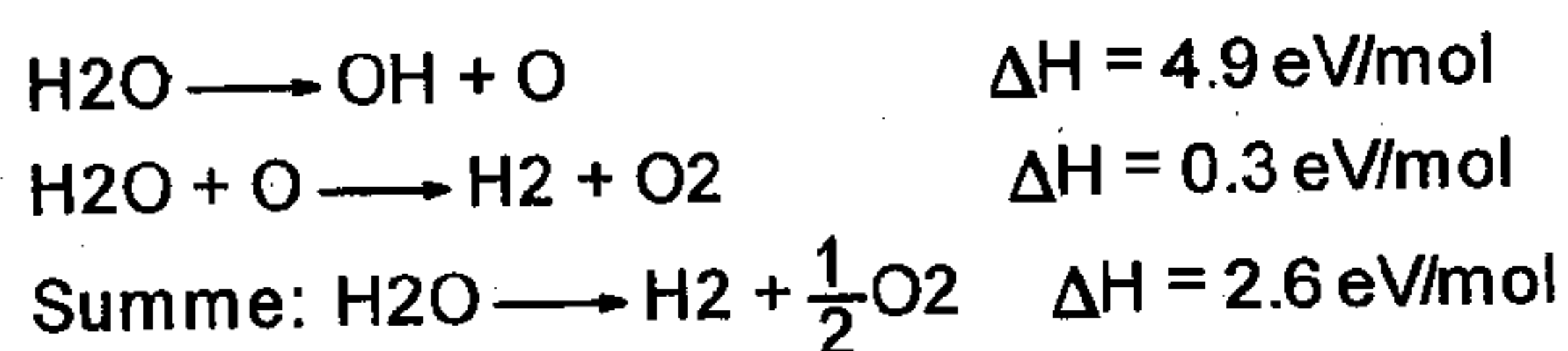
$$m = \frac{M \int_{t_0}^{t_1} I(U, t) dt}{z F} \quad (1. F. G)$$

Das erste Faradaysches Gesetz lautet: um eine bestimmte Menge eines Stoffes m abscheiden zu können wird elektrische Energie in Form von Ladungen ($e N_A$) $\sim I$ benötigt. Diese elektrische Energie wird in Form von Stromstärke ($I[A]$) integriert über die Zeiteinheit dargestellt.

Der Vorteil dieser Erfindung ist, dass man keine teuren Katalysatoren verwenden muss, wie bei der Festoxidzelle (SOFC Zelle) oder der Polymerelektrolytzelle (PEM Zelle). Zudem ist das Temperaturniveau sehr gering (150 °C beim Wasserdampf und 25°C beim Kohlendioxid) verglichen mit dem Temperaturniveau der SOFC oder SOEC.



Summenreaktion der einzelnen chemischen Reaktionen, wobei der energetische Aufwand auf die Erzeugung von Sauerstoffradikalen bezogen worden ist.



Summenreaktion der einzelnen chemischen Reaktionen für die Dissoziation von Wasserdampf, wobei der energetische Aufwand auf die Erzeugung von Sauerstoffradikalen bezogen worden ist.

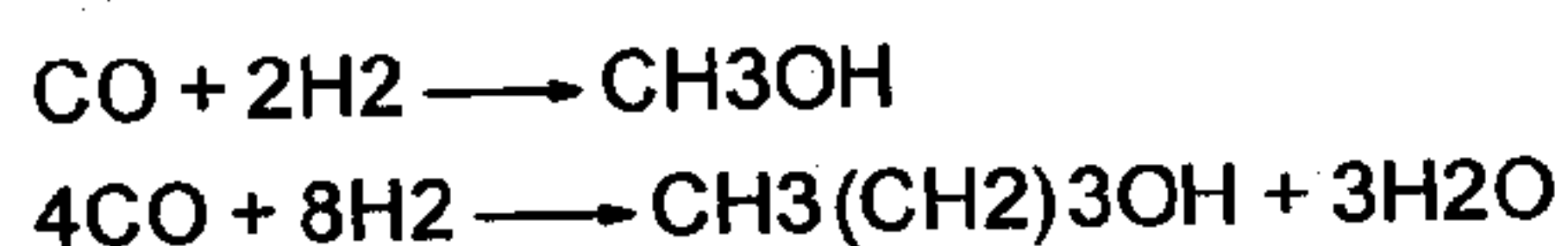
Verglichen mit der Energiedichte bei der Elektrode einer klassischen Nasselektrolyse ist die Energiedichte im angeregten Plasmazustand ~ 20 mal so hoch.

$$k \sim A e^{\frac{e E_v - h E_a}{k T}}$$

Die Aktivierungsenergie E_a wird durch die Schwingungsanregung E_v reduziert, was gleichbedeutend ist mit der zusätzlich benötigten Energie um das Molekül umzugruppieren.

Die Effizienz der Dissoziation des Gasmoleküls liegt zwischen 80% bis 90%, wobei die Dissipation in Form von Wärme an den Elektroden wie bei der Nasselektrolyse nicht gegeben ist. Der Nachteil der Nasselektrolyse ist nicht nur die hohe Stromstärke an den Elektroden, sondern auch der durch die hohe Stromstärke verbundene Verlust an Energie in Form von Wärme.

Erfindungsgemäß wird aus der Elektrolyse von Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O) ein Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2) erzeugt. Dieses Gasgemisch aus Kohlenmonoxid und Wasserstoff wird über Regelarmaturen in der Zusammensetzung und Konzentration geregelt sodass definierte molare Zusammensetzungen erzeugt werden können, die es ermöglichen Methanol (CH_3OH) oder Butanol ($\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3\text{OH}$) zu erzeugen



Erfindungsgemäß wird das bei der Kohlendioxid Plasmaelektrolyse nicht verbrauchte Kohlendioxid nach der Verdichtung auf einen Druck von 70 bar durch Kondensation 72,74,75 rückgewonnen und dem Kohlendioxidtank rückgeführt. Damit kann der Anteil an Kohlendioxid $< 0.1 \text{ Vol\%}$ im synthetischen Gas reduziert werden, was den Vorteil hat, dass man das so gewonnene Kohlendioxid wiederverwenden kann.

Die Trennung des erzeugten Gasgemisches aus Kohlenmonoxid und Sauerstoff 50 aus der Plasmaelektrolyse von Kohlendioxid und die Trennung des Gasgemisches aus Wasserstoff und Sauerstoff erfolgt erfindungsgemäß mit Hilfe der Druckwechseladsorption 61. Mit Hilfe von entsprechenden molekularen Sieben kann man auch geringe und kleinere Stoffströme von Gasgemischen mit sehr hoher Qualität auftrennen.

Erfindungsgemäß wird auch das Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff 24 mit Hilfe der Druckwechseladsorption 32 aufgetrennt. Mit Hilfe von entsprechenden molekularen Sieben kann man auch geringe und kleinere Stoffströme von Gasgemischen mit sehr hoher Qualität auftrennen.

Bei der Druckwechseladsorption nutzt man die kinetischen Durchmesser der Moleküle aus:

Molekül	Kinetischer Durchmesser (Å) (1Å ~ 0.1nm)
CO	3.1 bis 3.8
CO ₂	3.3
O ₂	2.9 bis 3.5
H ₂	2.3 bis 2.9
H ₂ O	2.7

Tabelle 7: Auflistung einiger kinetischer Moleküldurchmesser von Gasen und Dämpfen

Der scheinbare Nachteil der Vorverdichtung des Gasgemisches für die Adsorption wird durch die Verwertung des synthetischen Gasgemisches zu Dimethylether (DME) oder Dibutylether (DBE). Die Umwandlung erfolgt in einem Druckbereich von 30 bar bis 70 bar. Daher ist die Vorverdichtung des synthetischen Gases und die Abscheidung des Kohlendioxids in Form einer Verflüssigung ein Vorteil.

Ein wichtiger Vorteil dieses Verfahrens ist die einfache Skalierbarkeit von kleinen Gasströmen zu großen Gasströmen an Wasserdampf und Kohlendioxid. Damit kann man Anlagen im dezentralen erneuerbaren Energiebereich von elektrischen Leistungen von 500 kW bis 5000 kW mit dem erfindungsgemäßen Verfahren koppeln und so zu einer wirtschaftlichen und einfachen Verflüssigung von elektrischer Energie finden. Ein weiterer Vorteil ist die mögliche mobile Bauweise, die sich besonders bei dezentralen Anlagen bewährt.

Symbole und Zeichen

Zeichen

- 1 Wasser (destilliertes Wasser)
- 2 Wassertank
- 3 Pumpe für Wasser aus dem Wassertank
- 4 Regelarmatur für Wasser
- 5 Wasser
- 6 Vorwärmer für Wasser
- 7 Verdampfer zur Erzeugung von Wasserdampf
- 8 Abscheideflasche von Wasserdampf und Wasser
- 9 Überhitzer von Wasserdampf
- 10 Kondensat aus der Abscheideflasche
- 11 Pumpe zur Rückführung von Kondensat aus der Abscheideflasche
- 12 Regelarmatur
- 13 Zulauf externer Wärmestrom
- 14 Ablauf externer Wärmestrom
- 15 Wasserdampf
- 16 Regelarmatur für Wasserdampf
- 17 Drallkammer für Elektronenanregung von Wasserdampf
- 18 Kühlschlangen in Vakuumkammer 23
- 19 Drallkammer der Plasmadüse
- 20 magnetische Wicklungen zur Erzeugung eines gepulsten Magnetfelds
- 21 Entspannungsdüse
- 22 Rekombinationskammer am Austritt
- 23 Vakuumkammer
- 24 Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff
- 25 Vakuumverdichter
- 26 Regelarmatur
- 27 Abgas aus der Vakuumkammer (Auspumpen der Anlage, zur Erzeugung von Unterdruck)
- 28 Verdichter für die Druckwechseladsorption
- 29 Elektrischer Motor zum Antrieb des Verdichters
- 30 verdichtetes Gasgemisch
- 31 Wasserstoff
- 32 Druckwechseladsorption
- 33 Sauerstoff
- 34 Pumpe für Wasserkondensat (H₂O)
- 35 Regelarmatur für Wasserkondensat (H₂O)
- 36 Regelarmatur für den Verdichter 28 der Druckwechseladsorption
- 37 Kohlendioxid (CO₂)
- 38 Kohlendioxidtank (CO₂)
- 39 Entspannungsturbine
- 40 Elektrischer Motor
- 41 Verdampfer für Kohlendioxid (CO₂)
- 42 Kohlendioxiddampf (CO₂)
- 43 Regelarmatur für Kohlendioxid (CO₂)
- 44 Drallkammer für die Plasmadüse
- 45 Magnetwicklungen für die Erzeugung eines Plasmas
- 46 Kühlschlange der Vakuumkammer
- 47 Entspannungsdüse

- 48 Rekombinationskammer am Ende der Entspannungsdüse
- 49 Vakuumkammer
- 50 Gasgemisch aus Kohlendioxid (CO₂), Kohlenmonoxid (CO) und Sauerstoff (O₂)
- 51 Vakuumverdichter
- 52 Regelarmatur
- 53 Abgas aus der Vakuumkammer (zum Anfahren der Vakuumkammer)
- 54 Verdichter
- 55 verdichtetes Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO), Sauerstoff (O₂) und Kohlendioxid (CO₂)
- 56 Regelarmatur
- 57 Sauerstoff (O₂)
- 58 Druckwechseladsorption
- 59 Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂)
- 60 Elektronenanregung Kammer für Wasserdampf (CO₂)
- 61 Druckwechseladsorption
- 62 Elektronenemitter für Wasserdampf (CO₂)
- 63 Elektronenanregung Kammer für Kohlendioxid (H₂O)
- 64 Elektronenemitter Kammer Kohlendioxid (H₂O)
- 65 Regelarmatur für Wasserstoff (H₂)
- 66 Regelarmatur für Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid (CO₂)
- 67 Mischkammer für synthetisches Gasgemisch
- 68 Wärmetauscher als Rückkühler synthetisches Gasgemisch
- 69 Verdichter
- 70 Wärmetauscher als Rückkühler synthetisches Gasgemisch
- 71 Verdichter
- 72 Wärmetauscher als Kondensator für Kohlendioxid (CO₂)
- 73 synthetisches Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂)
- 74 Kohlendioxid Pumpe (CO₂)
- 75 Regelarmatur für Kohlendioxid (CO₂)
- 76 Mikrowellenanregungen für die Entspannungsdüse (45)
- 77 Mikrowellenanregungen für die Entspannungsdüse (20)

Symbole

EMK	Elektromotorische Kraft
PSA	Druckwechseladsorption
PL	Plasmagenerator, bestehend aus Magnetwicklungen in serieller Anordnung
CO ₂	Kohlendioxid
H ₂ O	Wasser
CO	Kohlenmonoxid
H ₂	Wasserstoff
EA	Elektronenanregung
DME	Dimethylether ((CH ₃) ₂ O)
DBE	Dibutylether ((CH ₃ (CH ₂) ₃) ₂ O)
PEM	Polymerelektrolytbrennstoffzelle
SOFC	Festoxidbrennstoffzelle

Literatur

- [1] T. Shimanouchi, Tables of molekular Vibrational Frequencies

Abbildungen

Abbildung 1

Die **Abbildung 1** zeigt einen Wassertank 1 von dem Wasser mit einer Pumpe 3 über ein Regelarmatur 4 einem Vorwärmer 6 und Verdampfer 7 einer Abscheideflasche 8 zugeführt, das überschüssige Wasser 10 wird mit einer Pumpe 11 und der zugehörigen Regelarmatur 12 dem Wassertank 2 rückgeführt. Der Sattedampf wird über den Überhitzer 9 leicht überhitzt und der Wasserdampf 15 der Regelarmatur 16 zugeführt und in eine Drallkammer 19 der Entspannungsdüse eingeleitet. In der Düse wird der Wasserdampf 15 beschleunigt und auf den Düsenenddruck entspannt. Der Düsenenddruck wird durch das Vakuumgebläse 25 mit dem zugehörigen Regelarmatur 26 in der Vakuumkammer 23 eingestellt. Die Entspannungsdüse 21 wird durch Magnetwicklungen 20 umgeben, die in Segmenten unterteilt sind. Diese Segmente ermöglichen so über den Verlauf des Expansionskanales die Erzeugung eines gepulsten variablen Magnetfeldes und so die Erzeugung eines Plasmas innerhalb der Düse. Das so erzeugte Gas- und Dampfgemisch aus Sauerstoff (O₂) 24, Wasserstoff (H₂) und Wasserdampf (H₂O) wird in die Vakuumkammer 23 eingeleitet, das Kondensat über die Pumpe abgesaugt und das Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff 24 dem Verdichter 28 zugeführt. Das verdichtete Gasgemisch 30 wird über die Regelarmatur 36 der Druckwechseladsorption 32 zugeführt, die das Gasgemisch in den Gasstrom Wasserstoff (H₂) 31 und Gasstrom Sauerstoff (O₂) 33 auftrennt.

Abbildung 2

Die **Abbildung 2** zeigt einen Tank für Kohlendioxid 38 von dem Kohlendioxid 37 mit einer Turbine 39 über ein Regelarmatur 43 einem Verdampfer 41 zugeführt und verdampft. Der Kohlendioxiddampf 42 wird in eine Drallkammer 44 der Entspannungsdüse 47 eingeleitet. In der Entspannungsdüse wird der Kohlendioxiddampf 42 beschleunigt und auf den Düsenenddruck entspannt. Der Düsenenddruck wird durch das Vakuumgebläse 51 mit dem zugehörigen Regelarmatur 52 in der Vakuumkammer 49 eingestellt. Die Entspannungsdüse 47 wird durch serielle Magnetwicklungen umgeben, die in Segmenten unterteilt sind. Diese Segmente ermöglichen so über den Verlauf des Expansionskanales die Erzeugung eines gepulsten variablen Magnetfeldes und ermöglichen so die Erzeugung eines Plasmas innerhalb der Entspannungsdüse 47. Das so erzeugte umgruppierte Gas und Dampfgemisch aus Sauerstoff, Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid 50 wird in die Vakuumkammer 49, die mit einer Kühlschlage 46 gekühlt wird, eingeleitet. Das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Sauerstoff (O₂) 50 dem Verdichter 54 zugeführt. Das verdichtete Gasgemisch 55 wird über die Regelarmatur 56 der Druckwechseladsorption 58 zugeführt, die das Gasgemisch in einen Gasstrom Kohlenmonoxid (CO) 59 und Gasstrom Sauerstoff (O₂) 57 auftrennt. Der Verdichter 54 wird über eine Turbine 39 angetrieben. Ergänzend wird der Verdichter 54 über einen elektrischen Motor 40 angetrieben.

Abbildung 3

Die **Abbildung 3** zeigt einen Wassertank 1 von dem Wasser mit einer Pumpe 3 über ein Regelarmatur 4 einem Vorwärmer 6 und Verdampfer 7 einer Abscheideflasche 8 zugeführt, das überschüssige Wasser 10 wird mit einer Pumpe 11 und der zugehörigen Regelarmatur 12 dem Wassertank 2 rückgeführt. Der Sattedampf wird über den Überhitzer 9 leicht überhitzt und der Wasserdampf 15 der Regelarmatur 16 zugeführt und in die Drallkammer der Elektronenanregung 63, mit den Elektronenstrahlkathoden 64 eingeleitet. Von der Elektronenanregungskammer wird der hochangeregte Wasserdampf in den Drallraum 19 der Entspannungsdüse 20,21 eingeleitet. In der Düse wird der Wasserdampf 15 beschleunigt und auf den Düsenenddruck entspannt. Der Düsenenddruck wird durch das Vakuumgebläse 25 mit dem zugehörigen Regelarmatur 26 in der Vakuumkammer 23 eingestellt. Die

Entspannungsdüse 21 wird durch Mikrowellenanregungen 76 umgeben, die in Segmenten unterteilt sind. Diese Segmente ermöglichen so über den Verlauf des Expansionskanales die Erzeugung eines gepulsten variablen Mikrowellenfeldes 76 und so die Erzeugung eines Plasmas innerhalb der Düse. Das so erzeugte Gas- und Dampfgemisch aus Sauerstoff (O₂) 24, Wasserstoff (H₂) und Wasserdampf (H₂O) wird in die Vakuumkammer 23 eingeleitet, das Kondensat über die Pumpe abgesaugt und das Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff 24 dem Verdichter 28 zugeführt. Das verdichtete Gasgemisch 30 wird über die Regelarmatur 36 der Druckwechseladsorption 32 zugeführt, die das Gasgemisch in den Gasstrom Wasserstoff (H₂) 31 und Gasstrom Sauerstoff (O₂) 33 auftrennt.

Abbildung 4

Die **Abbildung 4** zeigt einen Tank für Kohlendioxid 38 von dem Kohlendioxid 37 mit einer Turbine 39 über ein Regelarmatur 43 einem Verdampfer 41 zugeführt und verdampft. Der Kohlendioxiddampf 42 wird in eine Drallkammer der Elektronenanregungskammer 60 eingeleitet. Von der Elektronenanregungskammer 60,62 wird der hochangeregte Kohlendioxiddampf in den Drallraum der Entspannungsdüse 45,47 eingeleitet. In der Entspannungsdüse wird der Kohlendioxiddampf 42 beschleunigt und auf den Düsenenddruck entspannt. Der Düsenenddruck wird durch das Vakuumgebläse 51 mit dem zugehörigen Regelarmatur 52 in der Vakuumkammer 49 eingestellt. Die Entspannungsdüse 47 wird durch serielle Mikrowellenanregungen 77 umgeben, die in Segmenten unterteilt sind. Diese Segmente ermöglichen so über den Verlauf des Expansionskanales die Erzeugung eines gepulsten variablen Mikrowellenfeldes und ermöglichen so die Erzeugung eines Plasmas innerhalb der Entspannungsdüse 47. Das so erzeugte umgruppierte Gas und Dampfgemisch aus Sauerstoff, Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid 50 wird in die Vakuumkammer 49, die mit einer Kühlschlage 46 gekühlt wird, eingeleitet. Das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Sauerstoff (O₂) 50 dem Verdichter 54 zugeführt. Das verdichtete Gasgemisch 55 wird über die Regelarmatur 56 der Druckwechseladsorption 58 zugeführt, die das Gasgemisch in einen Gasstrom Kohlenmonoxid (CO) 59 und Gasstrom Sauerstoff (O₂) 57 auftrennt. Der Verdichter 54 wird über eine Turbine 39 angetrieben. Ergänzend wird der Verdichter 54 über einen elektrischen Motor 40 angetrieben.

Abbildung 5

Die **Abbildung 5** zeigt einen Wassertank 1 von dem Wasser mit einer Pumpe 3 über ein Regelarmatur 4 einem Vorwärmer 6 und Verdampfer 7 einer Abscheideflasche 8 zugeführt, das überschüssige Wasser 10 wird mit einer Pumpe 11 und der zugehörigen Regelarmatur 12 dem Wassertank 2 rückgeführt. Der Satttdampf wird über den Überhitzer 9 leicht überhitzt und der Wasserdampf 15 der Regelarmatur 16 zugeführt und in die Drallkammer der Elektronenanregung 63, mit den Elektronenstrahlkathoden 64 eingeleitet. Von der Elektronenanregungskammer wird der hochangeregte Wasserdampf in den Drallraum 19 der Entspannungsdüse 20,21 eingeleitet. In der Düse wird der Wasserdampf 15 beschleunigt und auf den Düsenenddruck entspannt. Der Düsenenddruck wird durch das Vakuumgebläse 25 mit dem zugehörigen Regelarmatur 26 in der Vakuumkammer 23 eingestellt. Die Entspannungsdüse 21 wird durch Magnetwicklungen 20 umgeben, die in Segmenten unterteilt sind. Diese Segmente ermöglichen so über den Verlauf des Expansionskanales die Erzeugung eines gepulsten variablen Magnetfeldes und so die Erzeugung eines Plasmas innerhalb der Düse. Das so erzeugte Gas- und Dampfgemisch aus Sauerstoff (O₂) 24, Wasserstoff (H₂) und Wasserdampf (H₂O) wird in die Vakuumkammer 23 eingeleitet, das Kondensat über die Pumpe abgesaugt und das Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff 24 dem Verdichter 28 zugeführt. Das verdichtete Gasgemisch 30 wird über die Regelarmatur 36 der Druckwechseladsorption 32 zugeführt, die das Gasgemisch in den Gasstrom Wasserstoff (H₂) 31 und Gasstrom Sauerstoff (O₂) 33 auftrennt.

Die **Abbildung 5** zeigt zudem einen Tank für Kohlendioxid 38 von dem Kohlendioxid 37 mit einer Turbine 39 über ein Regelarmatur 43 einem Verdampfer 41 zugeführt und verdampft. Der Kohlendioxiddampf 42 wird in eine Drallkammer der Elektronenanregungskammer 60 eingeleitet. Von der Elektronenanregungskammer 60,62 wird der hochangeregte Kohlendioxiddampf in den Drallraum der Entspannungsdüse 45,47 eingeleitet. In der Entspannungsdüse wird der Kohlendioxiddampf 42 beschleunigt und auf den Düsenenddruck entspannt. Der Düsenenddruck wird durch das Vakuumgebläse 51 mit dem zugehörigen Regelarmatur 52 in der Vakuumkammer 49 eingestellt. Die Entspannungsdüse 47 wird durch serielle Magnetwicklungen umgeben, die in Segmenten unterteilt sind. Diese Segmente ermöglichen so über den Verlauf des Expansionskanales die Erzeugung eines gepulsten variablen Magnetfeldes und ermöglichen so die Erzeugung eines Plasmas innerhalb der Entspannungsdüse 47. Das so erzeugte umgruppierte Gas und Dampfgemisch aus Sauerstoff, Kohlenmonoxid (CO) und Kohlendioxid 50 wird in die Vakuumkammer 49, die mit einer Kühlschlage 46 gekühlt wird, eingeleitet. Das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Sauerstoff (O₂) 50 dem Verdichter 54 zugeführt. Das verdichtete Gasgemisch 55 wird über die Regelarmatur 56 der Druckwechseladsorption 58 zugeführt, die das Gasgemisch in einen Gasstrom Kohlenmonoxid (CO) 59 und Gasstrom Sauerstoff (O₂) 57 auftrennt. Der Verdichter 54 wird über eine Turbine 39 angetrieben. Ergänzend wird der Verdichter 54 über einen elektrischen Motor 40 angetrieben.

Das Wasserstoffgas 31 wird über die Regelarmatur 65, das Kohlenmonoxid 59 wird über die Regelarmatur 62 einer Mischkammer 67 zugeführt und das so erzeugte synthetische Gasgemisch einem Wärmetauscher 68 zugeführt, dann einem ersten Verdichter 69 mit einem zugehörigen Rückkühler 70 und einer zweiten Verdichter 71 mit einem zugehörigen Kondensator 72, in dem das Kohlendioxid verflüssigt vom synthetischen Gas 73 abgeschieden wird. Das flüssige Kohlendioxid wird mit der Pumpe 74 und der zugehörigen Regelarmatur 75 dem Kohlendioxidtank 38 rückgeführt.

Abbildung 6

Die **Abbildung 6** zeigt eine mögliche Anordnung der Expansionsdüsen am Umfang der Vakuumkammer 22,48. Die Expansionsdüsen 21, 47 sind so am Umfang angeordnet, dass die Gasströmung in Rotation versetzt wird, sodass das Wasserkondensat über die Pumpe 34 abgesaugt werden kann.

Abbildung 7

Die **Abbildung 7** zeigt eine mögliche Bauform der Elektronenanregungskammer 60,63. Der Dampf wird tangential in eine Drallkammer eingedüst. Der sich nun rotatorisch bewegendende Dampf wird nun der Elektronenstrahlung 62,64 ausgesetzt, wobei der Elektronenstrahl am Umfang durch Magnete umgelenkt wird und in die Kammer rückgeführt wird. In der Abbildung sind drei Kammern mit Elektronenanregung als mögliche Konfiguration dargestellt.

Ansprüche

1. Das Verfahren zur Erzeugung eines synthetischen Gasgemisches aus Kohlenmonoxid (59) und Wasserstoff (31) umfassend einen Wassertank (2) mit den Pumpen (3,11) und den Verdampfern (6,7,8), einer Regelarmatur (17), einer Entspannungsdüse (20), einer Vakuumkammer(23) mit einem Vakuumverdichter(25) und einer Pumpe (34), einem Verdichter (28) für das Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff (24), einer Druckwechseladsorption (32), einen Kohlendioxidtank(38), einer Entspannungsturbine(39), einem Verdampfer (41), einer Entspannungsdüse (47), einer Vakuumkammer(49) mit zugehörigen Vakuumverdichter(51), einem Verdichter (54) für das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid und Sauerstoff (50), einer Druckwechseladsorption (61), einer Regelarmatur (66) und (65), einer Mischkammer (67),

Gekennzeichnet dadurch, dass

- Das Volumen des Wassertanks (2) minimal 1000 Liter, maximal 5000 Liter beträgt
- Der Wassertank (2) drucklos verwendet wird,
- Das im Wassertank (2) verwendete Wasser (1) destilliertes Wasser eine Leitfähigkeit von minimal 1 $\mu\text{S/cm}$ bis maximal 5 $\mu\text{S/cm}$ hat,
- Die Pumpe (3) einen Wasserdruck von minimal 1 bar bis maximal 10 bar erzeugt,
- Die Pumpe (11) zur Rückführung des in der Abscheideflasche (8) anfallenden Kondensates (13) verwendet wird,
- Der Wärmetauscher (6) zur Vorwärmung von Wasser (5) mit einer Wassertemperatur von minimal 70°C bis maximal 90°C verwendet wird,
- Der Wärmetauscher (7) als Verdampfer von Wasser (5) mit einer Verdampfungstemperatur von minimal 100°C bis maximal 120°C verwendet wird,
- Der Wärmetauscher (9) als Überhitzer von Wasserdampf mit einer Überhitzungstemperatur von minimal 120°C bis maximal 150°C verwendet wird,
- Die Abwärme (13,14) in gasförmiger und dampfförmiger Phase verfügbar ist und die Temperatur minimal 200°C, maximal 800°C beträgt,
- Die Regelarmatur (17) dazu verwendet wird um den Volumenstrom und den Düsenvordruck zu regeln,
- Der Volumenstrom in die Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf minimal 1 m^3/h bis maximal 10 m^3/h beträgt,
- Der Druck vor der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf minimal 1 bar maximal 10 bar beträgt,
- Die Temperatur vor der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf minimal 120°C bis maximal 150°C beträgt,
- Der Wasserdampf (15) tangential in die Entspannungsdüse (21) eingedüst wird, und so ein strömungsmäßiger Drall erzeugt wird,
- Die Eintrittsfläche und Austrittsfläche der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf gleich groß sind und minimal 10 cm^2 maximal 100 cm^2 beträgt,
- Der engste Querschnitt der Entspannungsdüse (21) so bemessen ist, dass der Wasserdampf auf eine Geschwindigkeit von minimal 1 Mach bis maximal 10 Mach beschleunigt wird,

- Der engste Querschnitt der der Entspannungsdüse (21) so bemessen, dass der Druck in der Düse minimal 1 mbar maximal 100 mbar beträgt,
- Die Vakuumkammer (23) zur Erzeugung des Düsenenddruckes (23) verwendet, einen minimalen Wert von 1 mbar bis maximal 100 mbar hat,
- Die Temperatur in der Vakuumkammer (23) erzeugt durch eine Kühlschlange (18) einen minimalen Wert von 1°C bis maximal 25°C hat
- Der Verdichter (25) über einen elektrischen Motor angetrieben als Kolbenverdichter ausgebildet ist, um einen Druck von minimal 1 mbar bis maximal 100 mbar zu erzeugen,
- Das Gasgemisch (24) aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht,
- Das Gasgemisch (24) über einen mit einem elektrischen Motor (28) angetriebenen Kolbenverdichter (28) auf einen Druck minimal 2 bar maximal 10 bar verdichtet wird,
- Der Volumenstrom des Gasgemisches (24) über eine Regelarmatur (36) auf einen minimalen Wert 0,1 m³/h bis maximal 10 m³/h geregelt wird,
- Das Gasgemisch (30) mit einer Druckwechseladsorption (32) in den Gasstrom Sauerstoff (35) und Gasstrom Wasserstoff (31) aufgetrennt wird,
- Das Volumen des Kohlendioxidtanks (38) beträgt minimal 1000 Liter, maximal 5000 Liter beträgt
- Der Kohlendioxidtank (38) einen Druck minimal 50 bar maximal 70 bar hat,
- Das Kohlendioxid (37) in flüssiger Phase verwendet wird,
- Eine Entspannungsturbine (39) verwendet wird, um das Kohlendioxid von einem Druck auf minimal 1 bar oder maximal 10 bar zu entspannen,
- Ein Wärmetauscher (41) zur Vorwärmung von Kohlendioxid (42) mit einer Temperatur von minimal 30°C bis maximal 90°C verwendet wird,
- Die Regelarmatur (43) dazu verwendet wird um den Volumenstrom und den Düsenvordruck zu regeln,
- Der Volumenstrom an Kohlendioxid (42) in die Entspannungsdüse (47) minimal 1 m³/h bis maximal 10 m³/h beträgt,
- Der Druck vor der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxiddampf minimal 1 bar maximal 10 bar beträgt,
- Die Temperatur vor der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxiddampf minimal 120°C bis maximal 150°C beträgt,
- Der Kohlendioxiddampf (42) tangential in die Entspannungsdüse (47) eingedüst wird und so ein strömungsmäßiger Drall erzeugt wird,
- Die Eintrittsfläche und Austrittsfläche der Entspannungsdüse (47) für Wasserdampf gleich groß sind und minimal 10 cm² maximal 100 cm² beträgt,
- Der engste Querschnitt der Entspannungsdüse (47) so bemessen ist, dass der Kohlendioxiddampf auf eine Geschwindigkeit von minimal 1 Mach bis maximal 10 Mach beschleunigt wird,
- Der engste Querschnitt der der Entspannungsdüse (47) so bemessen, dass der Druck in der Düse minimal 1 mbar maximal 100 mbar beträgt,
- Die Vakuumkammer (49) zur Erzeugung des Düsenenddruckes (48) verwendet, einen minimalen Wert von 0,001bar bis maximal 0,1 bar hat,
- Die Temperatur in der Vakuumkammer (49) erzeugt durch eine Kühlschlange (46) einen minimalen Wert von 1°C bis maximal 25°C hat

- Der Verdichter (54) neben der Entspannungsturbine (39) über einen elektrischen Motor (40) angetrieben als Kolbenverdichter ausgebildet ist, um einen Druck von minimal 1 mbar bis maximal 100 mbar zu erzeugen,
 - Das Gasgemisch (50) aus Kohlenmonoxid CO und Sauerstoff O₂ besteht,
 - Das Gasgemisch (50) über einen mit einem elektrischen Motor (40) und einer Entspannungsturbine (39) angetriebenen Kolbenverdichter (54) auf einen Druck minimal 2 bar maximal 10 bar verdichtet wird,
 - Der Volumenstrom des Gasgemisches (50) über eine Regelarmatur (56) auf einen minimalen Wert 0,1 m³/h bis maximal 10 m³/h geregelt wird,
 - Das Gasgemisch (55) mit einer Druckwechseladsorption (61) in den Gasstrom Sauerstoff (57) und Gasstrom Kohlenmonoxid (59) aufgetrennt wird,
 - Die Regelarmatur (65) den Volumenstrom an Wasserstoff (31) mit einem minimalen Wert 0,1 m³/h bis zu einem Maximalen Wert 10 m³/h regelt,
 - Die Regelarmatur (66) den Volumenstrom an Kohlenmonoxid (59) mit einem minimalen Wert 0,1 m³/h bis zu einem Maximalen Wert 10 m³/h regelt,
 - Die Regelarmatur (65) für Wasserstoff (31), die Regelarmatur (66) für Kohlenmonoxid (59) ein Gasgemisch in der Mischkammer (67) in einem molaren Verhältnis von 1:1 bis 1:3 ermöglicht
 - Der Druck des Gasgemisches in der Mischkammer (67) einen minimalen Wert 1 bar, maximal einen Wert von 10 bar hat.
2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend magnetische Wicklungen (20) entlang der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf (15),

gekennzeichnet dadurch, dass

- Die magnetischen Wicklungen die Erzeugung einer magnetischen Feldstärke von minimal von 1 Tesla bis maximal von 10 Tesla ergeben,
 - Die magnetischen Wicklungen (20) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitte entlang der Entspannungsdüse (21) unterteilt sind und so ein sequentielles Magnetfeld entlang dem Expansionsverlauf der Düse (21) erzeugt wird,
 - Die magnetischen Wicklungen über den Querschnittsverlauf der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf (15) so verteilt sind, dass vom Düseneintritt bis zum Düsenaustritt ein variables wanderndes Magnetfeld erzeugt wird, das ein pulsierendes Wasserdampfplasma erzeugt.
3. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend magnetische Wicklungen (45) entlang der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxid (42)

Gekennzeichnet dadurch, dass

- Die magnetischen Wicklungen die Erzeugung einer magnetischen Feldstärke von minimal von 1 Tesla bis maximal von 10 Tesla ergeben,
- Die magnetischen Wicklungen (45) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitte entlang der Entspannungsdüse (47) unterteilt sind und so ein sequentielles Magnetfeld entlang dem Expansionsverlauf der Düse (47) erzeugt wird,

- Die magnetischen Wicklungen über den Querschnittsverlauf der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxid (42) so verteilt sind, dass vom Düsen Eintritt bis zum Düsenaustritt ein variables wanderndes Magnetfeld erzeugt wird, das ein pulsierendes Kohlendioxidplasma erzeugt.
4. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend Mikrowellenanregungen (76) um die Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf (15),
gekennzeichnet dadurch, dass
- Die Mikrowellenanregungen (76) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitten entlang des Düsenquerschnittverlaufes (21) wirksam sind,
 - Die Mikrowellen (76) mit einer Frequenz von minimal 0.4 GHz bis maximal 10 GHz betrieben werden
 - Die Mikrowellenanregungen (76) ein pulsierendes Wasserdampfplasma in der Entspannungsdüse (21) erzeugen
5. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend Mikrowellenanregungen (77) um die Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxid (42),
gekennzeichnet dadurch, dass
- Die Mikrowellenanregungen (77) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitten entlang des Düsenquerschnittverlaufes (47) wirksam sind,
 - Die Mikrowellen (76) mit einer Frequenz von minimal 0.4 GHz bis maximal 10 GHz betrieben werden
 - Die Mikrowellenanregungen (77) ein pulsierendes Kohlendioxidplasma in der Entspannungsdüse (47) erzeugen
6. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Wärmetauscher (68), einen Verdichter (69) mit einem zugehörigen Wärmetauscher (69), einen Verdichter (70) mit einem zugehörigen Wärmetauscher (71), einer Pumpe (74) für Kohlendioxid,
gekennzeichnet dadurch, dass
- Der Wärmetauscher (6) das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) auf eine die Temperatur minimal von 1°C bis maximal 25°C abkühlt,
 - Der Verdichter (69) elektrisch angetrieben als Schraubenverdichter ausgeführt einen minimalen Druck des Gasgemisches (67) von 15 bar, maximal von 20 bar erzeugt,
 - Der Wärmetauscher (70) das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) auf eine die Temperatur minimal von 1°C bis maximal 25°C abkühlt,
 - Der Verdichter (71) hydraulisch angetrieben als Kolbenverdichter ausgeführt einen minimalen Druck des Gasgemisches (67) von 30 bar, maximal von 70 bar erzeugt,
 - Der Wärmetauscher (72) das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) auf eine die Temperatur minimal von 1°C bis maximal 25°C abkühlt,
 - Der Wärmetauscher (72) das im synthetischen Gasgemisch enthaltene Kohlendioxid (CO₂) verflüssigt und als Kondensat abscheidet,

- Die Pumpe (74) hydraulisch angetrieben und als Kolbenverdichter ausgeführt, das flüssige Kohlendioxid mit einem Volumenstrom von 1 L/h bis 100 L/h in den Tank (38) rückführt,
- Die Regelarmatur (75) den Volumenstrom an flüssigem Kohlendioxid minimal mit 1 L/h bis maximal 100L/h regelt.

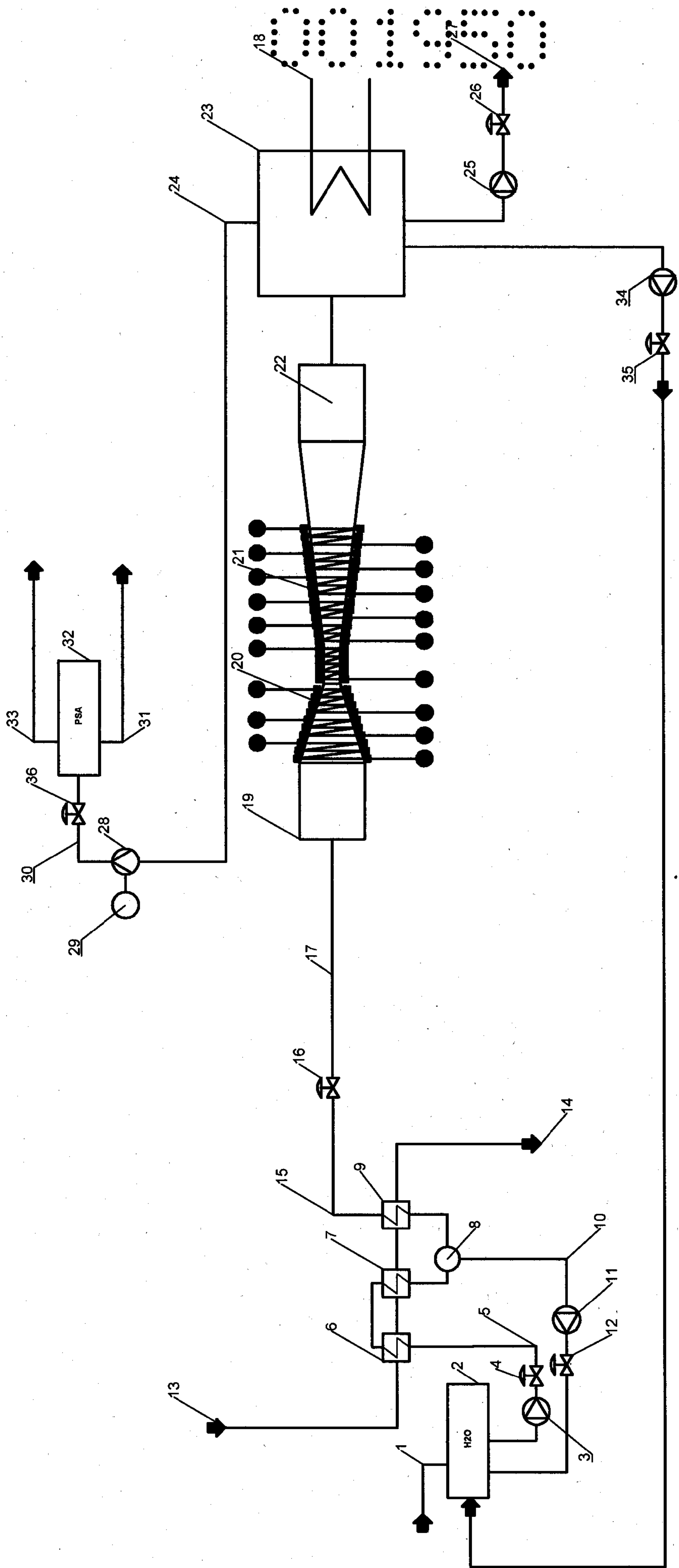


Abbildung 1

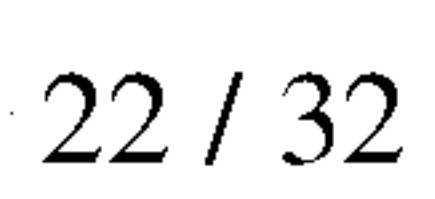


Abbildung 2

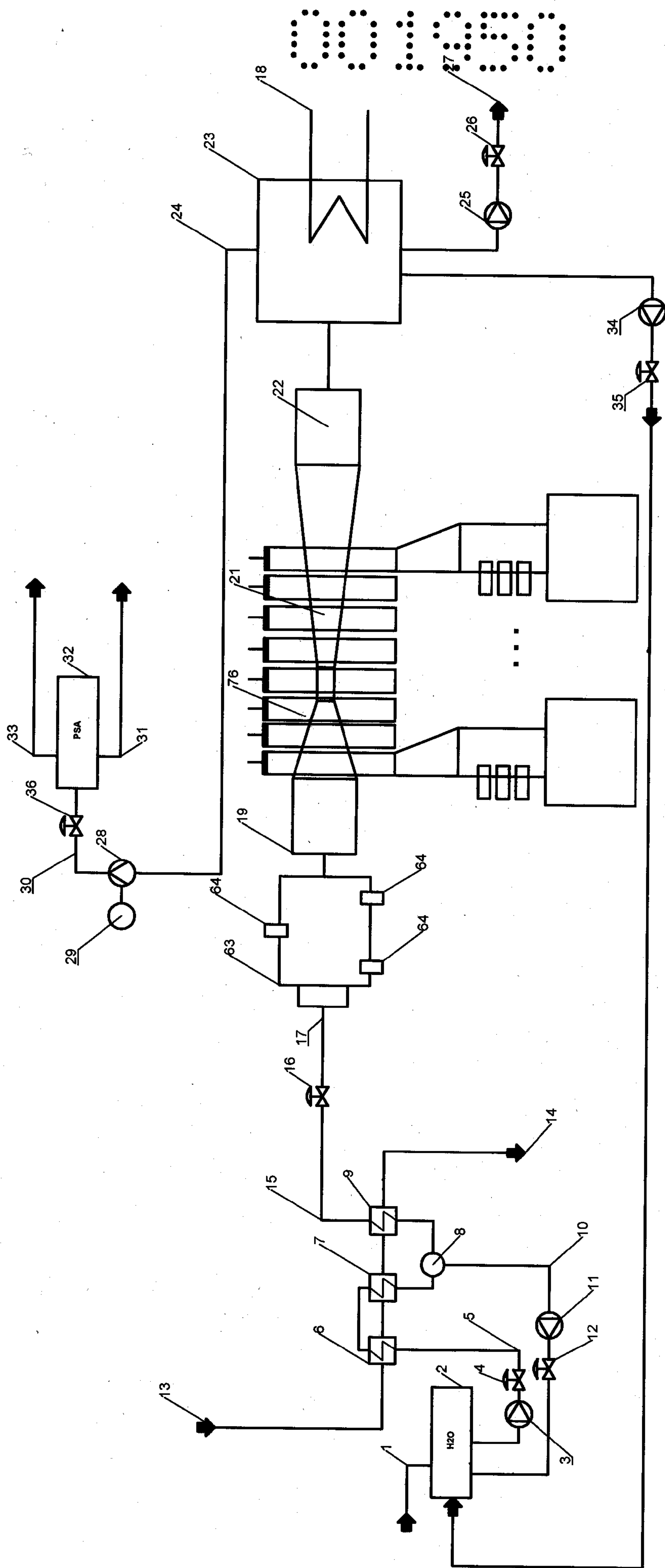


Abbildung 3

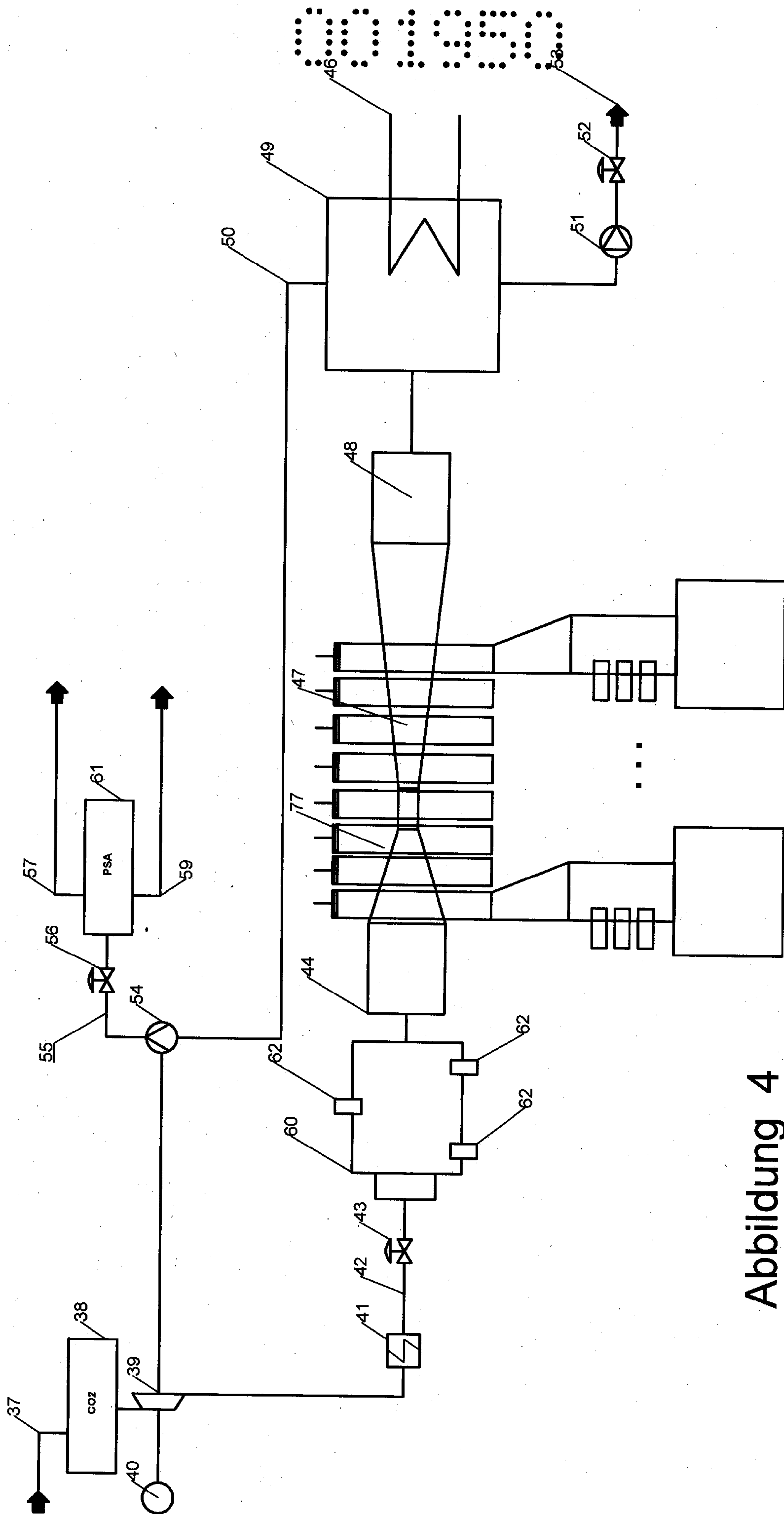


Abbildung 4

001950

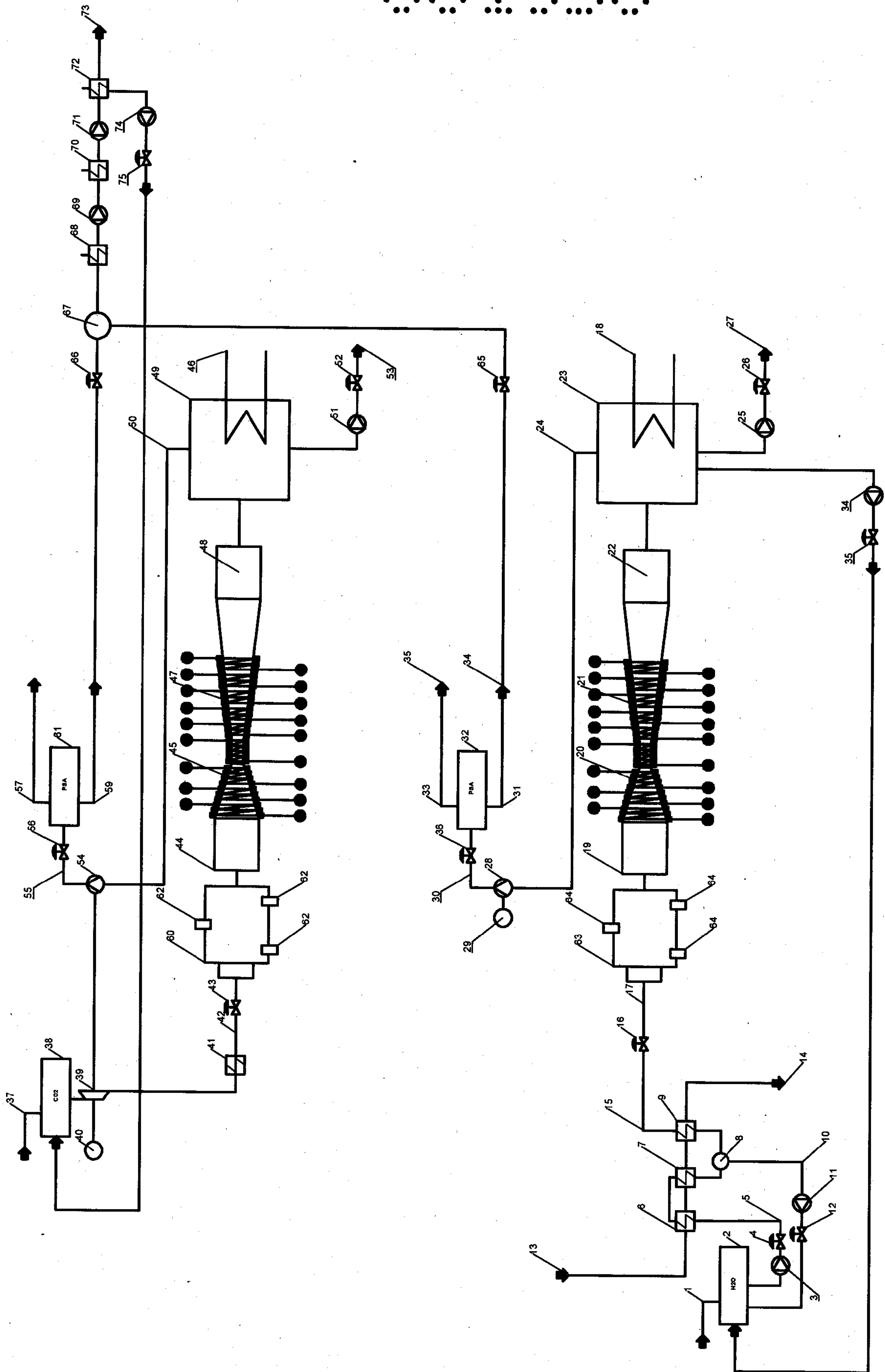


Abbildung 5

001950

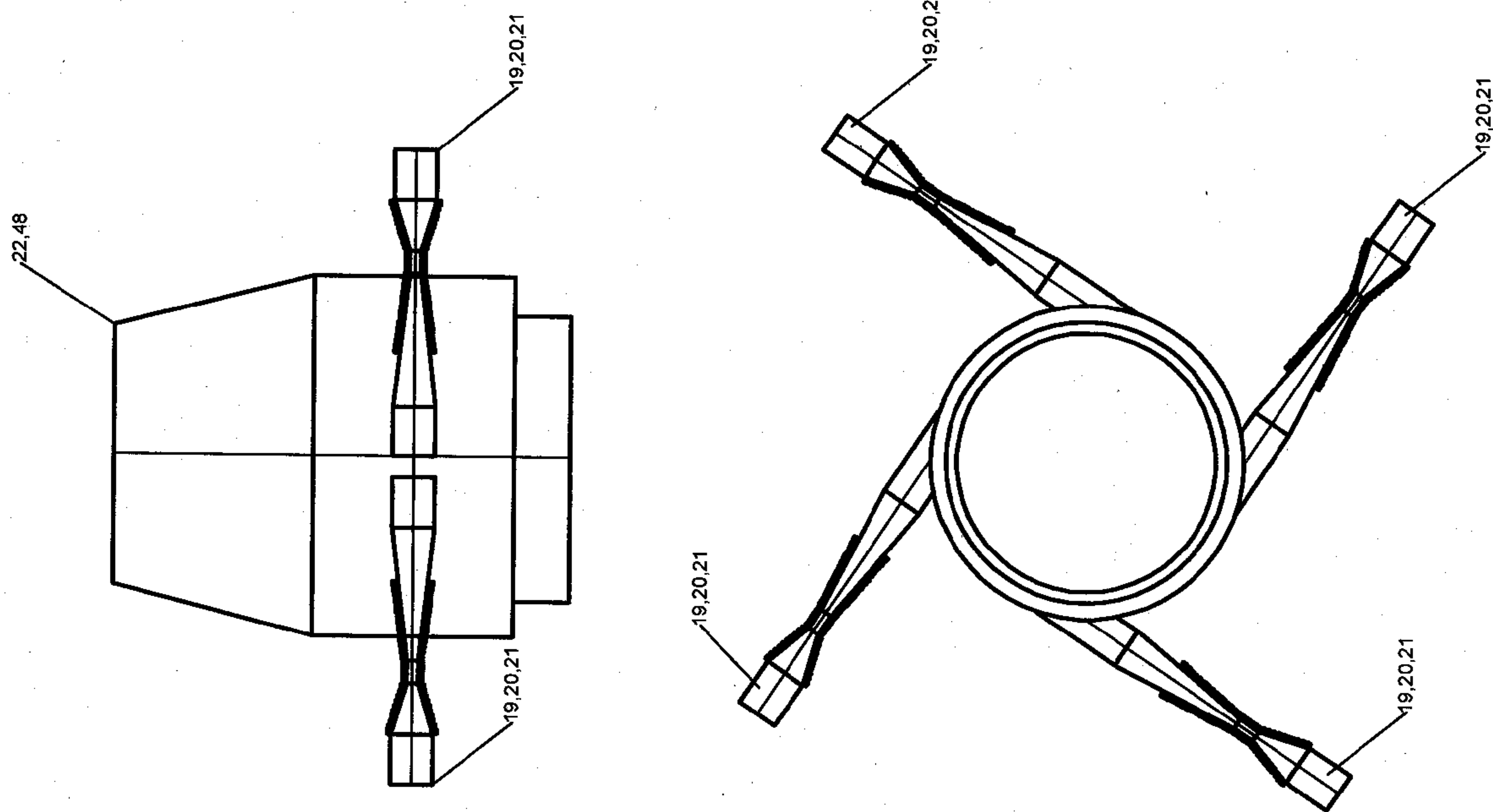


Abbildung 6

001950

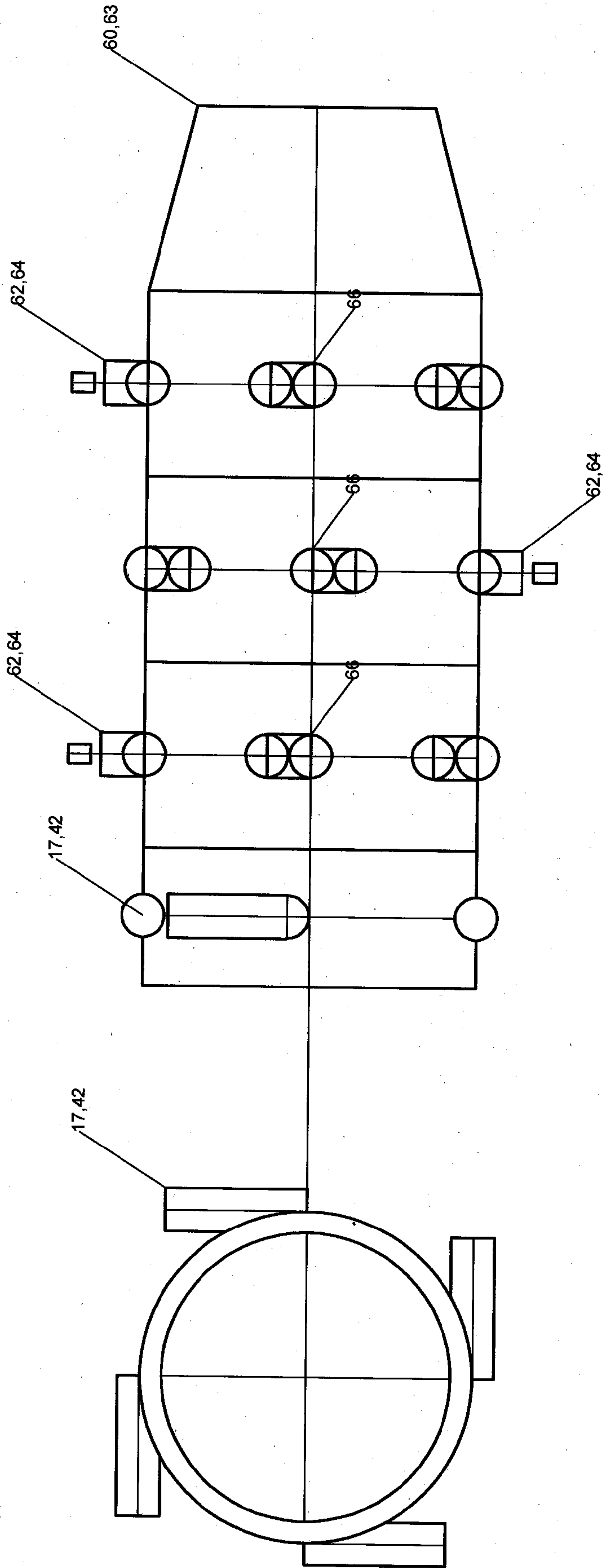


Abbildung 7

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:

C01B 3/04 (2006.01); C01B 32/40 (2017.01); B01J 19/08 (2006.01); B01J 19/12 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:

C01B 3/045 (2013.01); C01B 32/40 (2017.08); B01J 19/085 (2013.01); B01J 19/087 (2013.01); B01J 19/126 (2013.01); C01B 2203/0861 (2013.01)

Recherchierter Prüfstoff (Klassifikation):

C01B, B01J

Konsultierte Online-Datenbank:

EPODOC, WPIAP, Volltext-Patentdatenbanken EN und DE, Internet

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am 24.04.2019 eingereichten Ansprüchen 1-6 erstellt.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	WO 2014165162 A1 (POWERDYNE, INC. [US]) 09. Oktober 2014 (09.10.2014) Das ganze Dokument	1-6
A	DE 102010056421 A1 (BPG BETEILIGUNGS GMBH [DE]) 28. Juni 2012 (28.06.2012) Das ganze Dokument	1-6
A	WO 2008148504 A2 (CONPOWER ENERGIEANLAGEN GMBH & CO KG [DE]) 11. Dezember 2008 (11.12.2008) Seiten 8-10; Figur 1	1-6

Datum der Beendigung der Recherche:

20.02.2020

Seite 1 von 1

Prüfer(in):

ENGLISCH Julia

*) 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 eines synthetischen Gasgemisches aus Kohlenmonoxid (59) und Wasserstoff (31),

umfassend einen Wassertank (2) mit den Pumpen (3,11) und den Verdampfern (6,7,8), einer Regelarmatur (16), einer Entspannungsdüse (21), einer Vakuumkammer(23) mit einem Vakuumverdichter(25) und einer Pumpe (34), einem Verdichter (28) für das Gasgemisch aus Wasserstoff und Sauerstoff (24), einer Druckwechseladsorption (32), einen Kohlendioxidtank(38), einer Entspannungsturbine(39), einem Verdampfer (41), einer Entspannungsdüse (47), einer Vakuumkammer(49) mit zugehörigen Vakuumverdichter(51), einem Verdichter (54) für das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid und Sauerstoff (50), einer Druckwechseladsorption (58), einer Regelarmatur (66) und (65), einer Mischkammer (67), magnetische Wicklungen (20) entlang der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf (15), magnetische Wicklungen (45) entlang der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxid (42),

Gekennzeichnet dadurch, dass

- Das Volumen des Wassertanks (2) minimal 1000 Liter, maximal 5000 Liter beträgt
- Der Wassertank (2) drucklos verwendet wird,
- Das im Wassertank (2) verwendete Wasser (1) destilliertes Wasser eine Leitfähigkeit von minimal 1 $\mu\text{S/cm}$ bis maximal 5 $\mu\text{S/cm}$ hat,
- Die Pumpe (3) einen Wasserdruck von minimal 1 bar bis maximal 10 bar erzeugt,
- Die Pumpe (11) zur Rückführung des in der Abscheideflasche (8) anfallenden Kondensates (13) verwendet wird,
- Der Wärmetauscher (6) zur Vorwärmung von Wasser (5) mit einer Wassertemperatur von minimal 70°C bis maximal 90°C verwendet wird,
- Der Wärmetauscher (7) als Verdampfer von Wasser (5) mit einer Verdampfungstemperatur von minimal 100°C bis maximal 120°C verwendet wird,
- Der Wärmetauscher (9) als Überhitzer von Wasserdampf mit einer Überhitzungstemperatur von minimal 120°C bis maximal 150°C verwendet wird,
- Die Abwärme (13,14) in gasförmiger und dampfförmiger Phase verfügbar ist und die Temperatur minimal 200°C, maximal 800°C beträgt,
- Die Regelarmatur (16) dazu verwendet wird um den Volumenstrom und den Düsenvordruck zu regeln,
- Der Volumenstrom in die Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf minimal 1 m^3/h bis maximal 10 m^3/h beträgt,
- Der Druck vor der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf minimal 1 bar maximal 10 bar beträgt,
- Die Temperatur vor der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf minimal 120°C bis maximal 150°C beträgt,
- Der Wasserdampf (15) tangential in die Entspannungsdüse (21) eingedüst wird, und so ein strömungsmäßiger Drall erzeugt wird,
- Die Eintrittsfläche und Austrittsfläche der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf gleich groß sind und minimal 10 cm^2 maximal 100 cm^2 beträgt,

- Der engste Querschnitt der Entspannungsdüse (21) so bemessen ist, dass der Wasserdampf auf eine Geschwindigkeit von minimal 1 Mach bis maximal 10 Mach beschleunigt wird,
- Der engste Querschnitt der der Entspannungsdüse (21) so bemessen, dass der Druck in der Düse minimal 1 mbar maximal 100 mbar beträgt,
- Die Vakuumkammer (23) zur Erzeugung des Düsenenddruckes (23) verwendet, einen minimalen Wert von 1 mbar bis maximal 100 mbar hat,
- Die Temperatur in der Vakuumkammer (23) erzeugt durch eine Kühlschlange (18) einen minimalen Wert von 1°C bis maximal 25°C hat
- Der Verdichter (25) über einen elektrischen Motor angetrieben als Kolbenverdichter ausgebildet ist, um einen Druck von minimal 1 mbar bis maximal 100 mbar zu erzeugen,
- Das Gasgemisch (24) aus Wasserstoff und Sauerstoff besteht,
- Das Gasgemisch (24) über einen mit einem elektrischen Motor (29) angetriebenen Kolbenverdichter (28) auf einen Druck minimal 2 bar maximal 10 bar verdichtet wird,
- Der Volumenstrom des Gasgemisches (24) über eine Regelarmatur (36) auf einen minimalen Wert 0,1 m³/h bis maximal 10 m³/h geregelt wird,
- Das Gasgemisch (30) mit einer Druckwechseladsorption (32) in den Gasstrom Sauerstoff (35) und Gasstrom Wasserstoff (31) aufgetrennt wird,
- Das Volumen des Kohlendioxidtanks (38) beträgt minimal 1000 Liter, maximal 5000 Liter beträgt
- Der Kohlendioxidtank (38) einen Druck minimal 50 bar maximal 70 bar hat,
- Das Kohlendioxid (37) in flüssiger Phase verwendet wird,
- Eine Entspannungsturbine (39) verwendet wird, um das Kohlendioxid von einem Druck auf minimal 1 bar oder maximal 10 bar zu entspannen,
- Ein Wärmetauscher (41) zur Vorwärmung von Kohlendioxid (42) mit einer Temperatur von minimal 30°C bis maximal 90°C verwendet wird,
- Die Regelarmatur (43) dazu verwendet wird um den Volumenstrom und den Düsenvordruck zu regeln,
- Der Volumenstrom an Kohlendioxid (42) in die Entspannungsdüse (47) minimal 1 m³/h bis maximal 10 m³/h beträgt,
- Der Druck vor der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxiddampf minimal 1 bar maximal 10 bar beträgt,
- Die Temperatur vor der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxiddampf minimal 120°C bis maximal 150°C beträgt,
- Der Kohlendioxiddampf (42) tangential in die Entspannungsdüse (47) eingedüst wird und so ein strömungsmäßiger Drall erzeugt wird,
- Die Eintrittsfläche und Austrittsfläche der Entspannungsdüse (47) für Wasserdampf gleich groß sind und minimal 10 cm² maximal 100 cm² beträgt,
- Der engste Querschnitt der Entspannungsdüse (47) so bemessen ist, dass der Kohlendioxiddampf auf eine Geschwindigkeit von minimal 1 Mach bis maximal 10 Mach beschleunigt wird,
- Der engste Querschnitt der der Entspannungsdüse (47) so bemessen, dass der Druck in der Düse minimal 1 mbar maximal 100 mbar beträgt,
- Die Vakuumkammer (49) zur Erzeugung des Düsenenddruckes (48) verwendet, einen minimalen Wert von 0,001bar bis maximal 0,1 bar hat,

- Die Temperatur in der Vakuumkammer (49) erzeugt durch eine Kühlschlange (46) einen minimalen Wert von 1°C bis maximal 25°C hat
 - Der Verdichter (54) neben der Entspannungsturbine (39) über einen elektrischen Motor (40) angetrieben als Kolbenverdichter ausgebildet ist, um einen Druck von minimal 1 mbar bis maximal 100 mbar zu erzeugen,
 - Das Gasgemisch (50) aus Kohlenmonoxid CO und Sauerstoff O₂ besteht,
 - Das Gasgemisch (50) über einen mit einem elektrischen Motor (40) und einer Entspannungsturbine (39) angetriebenen Kolbenverdichter (54) auf einen Druck minimal 2 bar maximal 10 bar verdichtet wird,
 - Der Volumenstrom des Gasgemisches (50) über eine Regelarmatur (56) auf einen minimalen Wert 0,1 m³/h bis maximal 10 m³/h geregelt wird,
 - Das Gasgemisch (55) mit einer Druckwechseladsorption (58) in den Gasstrom Sauerstoff (57) und Gasstrom Kohlenmonoxid (59) aufgetrennt wird,
 - Die Regelarmatur (65) den Volumenstrom an Wasserstoff (31) mit einem minimalen Wert 0,1 m³/h bis zu einem Maximalen Wert 10 m³/h regelt,
 - Die Regelarmatur (66) den Volumenstrom an Kohlenmonoxid (59) mit einem minimalen Wert 0,1 m³/h bis zu einem Maximalen Wert 10 m³/h regelt,
 - Die Regelarmatur (65) für Wasserstoff (31), die Regelarmatur (66) für Kohlenmonoxid (59) ein Gasgemisch in der Mischkammer (67) in einem molaren Verhältnis von 1:1 bis 1:3 ermöglicht
 - Der Druck des Gasgemisches in der Mischkammer (67) einen minimalen Wert 1 bar, maximal einen Wert von 10 bar hat,
 - Die magnetischen Wicklungen (20) die Erzeugung einer magnetischen Flussdichte von minimal von 1 Tesla bis maximal von 10 Tesla ergeben,
 - Die magnetischen Wicklungen (20) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitte entlang der Entspannungsdüse (21) unterteilt sind und so ein sequentielles Magnetfeld entlang dem Expansionsverlauf der Düse (21) erzeugt wird,
 - Die magnetischen Wicklungen (20) über den Querschnittsverlauf der Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf (15) so verteilt sind, dass vom Düseneintritt bis zum Düsenaustritt ein variables wanderndes Magnetfeld erzeugt wird, das ein pulsierendes Wasserdampfplasma erzeugt,
 - Die magnetischen Wicklungen (45) die Erzeugung einer magnetischen Flussdichte von minimal von 1 Tesla bis maximal von 10 Tesla ergeben,
 - Die magnetischen Wicklungen (45) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitte entlang der Entspannungsdüse (47) unterteilt sind und so ein sequentielles Magnetfeld entlang dem Expansionsverlauf der Düse (47) erzeugt wird,
 - Die magnetischen Wicklungen (45) über den Querschnittsverlauf der Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxid (42) so verteilt sind, dass vom Düseneintritt bis zum Düsenaustritt ein variables wanderndes Magnetfeld erzeugt wird, das ein pulsierendes Kohlendioxidplasma erzeugt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend Mikrowellenanregungen (76) um die Entspannungsdüse (21) für Wasserdampf (15),
- gekennzeichnet dadurch, dass
- Die Mikrowellenanregungen (76) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitten entlang des Düsenquerschnittverlaufes (21) wirksam sind,

- Die Mikrowellen (76) mit einer Frequenz von minimal 0.4 GHz bis maximal 10 GHz betrieben werden
 - Die Mikrowellenanregungen (76) ein pulsierendes Wasserdampfplasma in der Entspannungsdüse (21) erzeugen
3. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend Mikrowellenanregungen (77) um die Entspannungsdüse (47) für Kohlendioxid (42),
gekennzeichnet dadurch, dass
- Die Mikrowellenanregungen (77) in minimal einen Abschnitt bis maximal zehn Abschnitten entlang des Düsenquerschnittverlaufes (47) wirksam sind,
 - Die Mikrowellen (76) mit einer Frequenz von minimal 0.4 GHz bis maximal 10 GHz betrieben werden
 - Die Mikrowellenanregungen (77) ein pulsierendes Kohlendioxidplasma in der Entspannungsdüse (47) erzeugen
4. Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Wärmetauscher (68), einen Verdichter (69) mit einem zugehörigen Wärmetauscher (70), einen Verdichter (71) mit einem zugehörigen Wärmetauscher (72), einer Pumpe (74) für Kohlendioxid,
gekennzeichnet dadurch, dass
- Der Wärmetauscher (68) das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) auf eine die Temperatur minimal von 1°C bis maximal 25°C abkühlt,
 - Der Verdichter (69) elektrisch angetrieben als Schraubenverdichter ausgeführt einen minimalen Druck des Gasgemisches (67) von 15 bar, maximal von 20 bar erzeugt,
 - Der Wärmetauscher (70) das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) auf eine die Temperatur minimal von 1°C bis maximal 25°C abkühlt,
 - Der Verdichter (71) hydraulisch angetrieben als Kolbenverdichter ausgeführt einen minimalen Druck des Gasgemisches (67) von 30 bar, maximal von 70 bar erzeugt,
 - Der Wärmetauscher (72) das Gasgemisch aus Kohlenmonoxid (CO) und Wasserstoff (H₂) auf eine die Temperatur minimal von 1°C bis maximal 25°C abkühlt,
 - Der Wärmetauscher (72) das im synthetischen Gasgemisch enthaltene Kohlendioxid (CO₂) verflüssigt und als Kondensat abscheidet,
 - Die Pumpe (74) hydraulisch angetrieben und als Kolbenverdichter ausgeführt, das flüssige Kohlendioxid mit einem Volumenstrom von 1 L/h bis 100 L/h in den Tank (38) rückführt,
 - Die Regelarmatur (75) den Volumenstrom an flüssigem Kohlendioxid minimal mit 1 L/h bis maximal 100L/h regelt.