

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 289/2016
(22) Anmeldetag: 13.06.2016
(43) Veröffentlicht am: 15.12.2017

(51) Int. Cl.: **C10J 3/00** (2006.01)
C10J 3/18 (2006.01)
B01J 19/18 (2006.01)

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

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

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

(54) **Vergasung biogener Stoffe in einem Schachtreaktor mit Hilfe von Mikrowellen Plasma**

(57) Die Erfindung umfasst das Verfahren der Vergasung als thermochemische Umwandlung von biogenen Stoffen in Schachtreaktoren (4), im Gleichstrom oder Gegenstrombetrieb unter Verwendung von Mikrowellen (39) als Energie zur Erzeugung eines reaktiven Plasmas (26) aus Wasserdampf oder Kohlendioxid, das am Zylinderumfang des Schachtreaktors verteilt (36,43,45,47) eingebracht wird, um so eine gleichmäßige Erwärmung des biogenen Substrates zu gewährleisten und eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu gewährleisten, mit einer niederen Plasmatemperatur und unter Verwendung eines Düsenringes (19), der die Eindüsung von unterschiedlichen Gasen (22,23) und Dämpfen (22,23) vor der Plasmazone ermöglicht, insbesondere erfindungsgemäß von Kohlendioxid und Wasserdampf zur Unterstützung der chemischen Reaktionen bei der thermochemischen Vergasung in der Plasmazone.

Die Erfindung umfasst die Vorrichtung bestehend aus einem Schachtreaktor (4), mit einem Doppelschleusensystem (2,3), Vorwärmern (16, 17) für die externen Gase und Dampfanteile, einem Zyklon (6) für die Reinigung des Rohgases, einer Rückführschnecke (10) des abgeschiedenen Kohleanteiles, einem Gleichrichter (11) am Reaktorboden, der die Aufgabe hat die Austragschnecke (12) mit Kohlesubstrat zu versorgen, in der Reaktormitte einen Düsenring (19) zum Einbringen von Gasen und Dämpfen über die Düsen in den Ringen(20,21), und der Mikrowellenanlage, bestehend aus Mikrowellengeneratoren (39), mit dem Mikrowellenmodulator(37), und den zugehörigen Wellenleitern(35) mit Kolben (40) zur Verteilung der Mikrowellenenergie am Schachumfang des Reaktors zur Erzeugung eines Mikrowellenplasma aus Kohlendioxid oder Wasserdampf unter Ausnützung der latenten Wärme im Rohgas zur Vorwärmung von Kohlendioxid oder Wasserdampf.

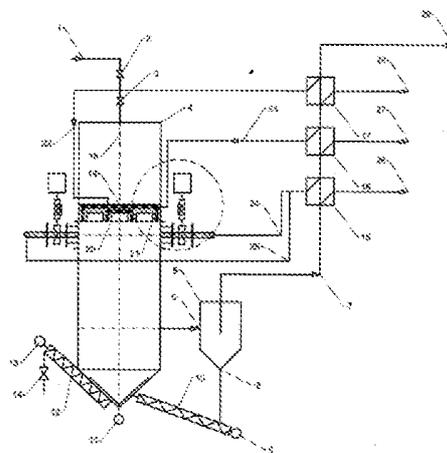
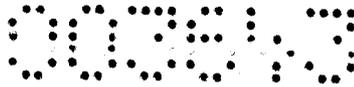


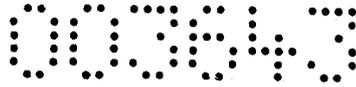
Abbildung: 1



Beschreibung

Die Erfindung umfasst das Verfahren der Vergasung als thermochemische Umwandlung von biogenen Stoffen in Schachtreaktoren (4), im Gleichstrom oder Gegenstrombetrieb unter Verwendung von Mikrowellen (39) als Energie zur Erzeugung eines reaktiven Plasmas (26) aus Wasserdampf oder Kohlendioxid, das am Zylinderumfang des Schachtreaktors verteilt (36,43,45,47) eingebracht wird, um so eine gleichmässige Erwärmung des biogenen Substrates zu gewährleisten und eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu gewährleisten, mit einer niederen Plasmatemperatur und unter Verwendung eines Düsenringes (19), der die Eindüsung von unterschiedlichen Gasen(22,23) und Dämpfen (22,23) vor der Plasmazone ermöglicht, insbesondere erfindungsgemäß von Kohlendioxid und Wasserdampf zur Unterstützung der chemischen Reaktionen bei der thermochemischen Vergasung in der Plasmazone.

Die Erfindung umfasst die Vorrichtung bestehend aus einem Schachtreaktor (4), mit einem Doppelschleusensystem(2,3), Vorwärmern (16,17) für die externen Gase und Dampfanteile, einem Zyklon (6) für die Reinigung des Rohgases, einer Rückführschnecke (10) des abgeschiedenen Kohleanteiles, einem Gleichrichter (11) am Reaktorboden, der die Aufgabe hat die Austragschnecke (12) mit Kohlesubstrat zu versorgen, in der Reaktormitte einen Düsenring (19) zum Einbringen von Gasen und Dämpfen über die Düsen in den Ringen(20,21), und der Mikrowellenanlage, bestehend aus Mikrowellengeneratoren (39), mit dem Mikrowellenmodulator(37), und den zugehörigen Wellenleitern(35) mit Kolben (40) zur Verteilung der Mikrowellenenergie am Schachtumfang des Reaktors zur Erzeugung eines Mikrowellenplasma aus Kohlendioxid oder Wasserdampf unter Ausnützung der latenten Wärme im Rohgas zur Vorwärmung von Kohlendioxid oder Wasserdampf.



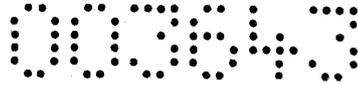
Vergasung biogener Stoffe in einem Schachtreaktor mit Hilfe von Mikrowellen Plasma

Die Erfindung umfasst das Verfahren der Vergasung als thermochemische Umwandlung von biogenen Stoffen in Schachtreaktoren (4), im Gleichstrom oder Gegenstrombetrieb unter Verwendung von Mikrowellen (39) als Energie zur Erzeugung eines reaktiven Plasmas (36) aus Wasserdampf oder Kohlendioxid, das am Zylinderumfang des Schachtreaktors verteilt (36,43,45,47) eingebracht wird, um so eine gleichmäßige Erwärmung des biogenen Substrates zu gewährleisten und eine gleichmäßige Temperaturverteilung zu gewährleisten, ein reaktives Plasma mit einer niederen Plasmatemperatur, sodass keine flüssige Schmelze entsteht und unter Verwendung eines Düsenringes (19), der die Eindüsung von unterschiedlichen Gasen(22,23) und Dämpfen (22,23) vor der Plasmazone ermöglicht, insbesondere von Kohlendioxid und Wasserdampf zur Unterstützung der chemischen Reaktionen bei der thermochemischen Vergasung in der Plasmazone im Reaktor.

Die Erfindung umfasst die Vorrichtung bestehend aus einem Schachtreaktor (4), mit einem Doppelschleusensystem(2,3), Vorwärmern (16,17) für die externen Gase und Dampfanteile, einem Zyklon (6) für die Reinigung des Rohgases, einer Rückführschnecke (10) des abgeschiedenen Kohleanteiles, einem Gleichrichter (11) am Reaktorboden, der die Aufgabe hat die Austragschnecke (12) mit Kohlesubstrat zu versorgen, in der Reaktormitte einen Düsenring (19) zum Einbringen von Gasen und Dämpfen über die Düsen in den Ringen(20,21), und der Mikrowellenanlage, bestehend aus Mikrowellengeneratoren (39), mit dem Mikrowellenmodulator(37), und den zugehörigen Wellenleitern(35) mit Kolben (40) zur Verteilung der Mikrowellenenergie am Schachumfang des Reaktors zur Erzeugung eines Mikrowellenplasma aus Kohlendioxid oder Wasserdampf unter Ausnützung der latenten Wärme im Rohgas zur Vorwärmung von Kohlendioxid oder Wasserdampf.

Die thermochemische Umwandlung in Form von Vergasung biogener fester Stoffe in einem Reaktor mit Schachtbauweise ist bekannt. Unter Schachtbauweise versteht man einen stehenden zylindrischen Körper, an dessen oberem Ende die Biomasse eingebracht wird, an dessen unterem Ende die Kohle ausgetragen wird. Für die Vergasung im Sinne einer thermochemischen Umwandlung von Biomasse in einem Schachtreaktor (4) sind biogene feste Stoffe besonders gut geeignet. Die Form und Stückigkeit biogener fester Stoffe ist von der Bauweise des Reaktors abhängig. Die Schachtbauweise bedingt eine grobe und feste Form, wie Pellets oder Briquettes oder bei Holz in Form von Plättchen. Dabei versteht man unter Pellets, die bei einem Schachtreaktor zum Einsatz kommen, grobe Pellets, technisch bekannt als industrielle Pellets, in der Regel mit einem Durchmesser von $d \sim 20$ mm. Die Briquettes, die bei Schachtreaktoren, im Rahmen der thermochemischen Umwandlung zum Einsatz kommt, sind grobe Briquettes in der Regel mit einem Durchmesser in der Größenordnung von $d=60$ mm bis 80 mm und einer Dicke von $s=20$ mm. Andere Formen grober fester biogener Stoffe sind z.B. Maisspindelkolben, in der Form von Kolben mit einer Länge von $L \sim 60$ mm und einem Durchmesser $d \sim 30$ mm, oder Hackgut mit einer Körnung G30 bis G50. Der technische Hintergrund für das grobe Substrat liegt in der Bauweise und Funktion des Reaktors als Schachtreaktor. In der Schachtbauweise erfolgt die Bewegung des biogenen Substrates in Richtung der Wirkung der Schwerkraft. Bedingt durch die Schwerkraft bewegt sich das Substrat vom Kopf des Reaktors zum Boden des Reaktors. Durch die Grobkörnigkeit im Substrat wird der entsprechende Freiraum zwischen dem Substrat geschaffen, in dem das austretende und ausgetriebene Gasgemisch und Dampfgemisch abgesaugt werden kann. Die grobe Struktur des biogenen Substrates ermöglicht es somit das Gasgemisch und Dampfgemisch mit Hilfe eines Vakuumbelüfters aus dem Schachtreaktor herauszusaugen. Dabei wird der Reaktor im Unterdruck betrieben. Das Herausaugen des Gasgemisches und des Dampfgemisches in Richtung der Schwerkraft, also in Richtung der Bewegung der Biomasse im Reaktor vom Reaktorkopf zum Reaktorboden, ist die bekannte Gleichstrombetriebsweise. Das Herausaugen des Gasgemisches und des Dampfgemisches entgegen der Schwerkraft, also entgegen der Bewegung der Biomasse im Reaktor vom Reaktorkopf zum Reaktorboden, ist die bekannte Gegenstrombetriebsweise.

Die Schachtbauweise in Form eines stehenden Zylinders ist eine technisch einfache, eine stabile und robuste Bauweise. Sie bietet technisch, wie oben dargestellt, die Möglichkeit des Gegenstrombetriebes oder des Gleichstrombetriebes. Die Frage der Wärmeerzeugung, Wärme um die thermochemische



Umwandlung und Reaktion zu ermöglichen und zu gewährleisten, ist technisch in der bekannten Bauweise gelöst worden, indem eine Oxidationszone vorhanden ist, in der mit Sauerstoff aus der Luft, ein Teil des biogenen Substrates im Reaktor verbrannt wird, und durch die Verbrennung die notwendige Wärme erzeugt wird. Diese Wärme ermöglicht die Trocknung des Substrates, indem der Wasserdampf ausgetrieben wird, in der Folge dann die Pyrolyse stattfinden kann, die eine Verkohlung des biogenen Substrates und das Erzeugen des Pyrolysegases ermöglicht. Durch die Verbrennung eines Teiles des biogenen Substrates entsteht neben der Kohlenstoffanteiles auch Asche. Daher bildet sich ein Gemisch aus Kohlenstoff(Kohle) und Asche, das in der Regel einen Konzentrationsanteil von 20% bis 40% Asche aufweist.

Die bekannte Technologie und Bauweise des Schachtreaktors und der Vergasung als thermochemischen Prozess zeichnet das Vorhandensein einer Oxidationszone aus, in der Sauerstoff zur Oxidation eines geringfügigen Anteiles an Biomasse verwertet wird. Die Erzeugung der für den Prozess notwendigen Wärme erfolgt also durch die Verbrennung eines Teiles der Biomasse mit Sauerstoff, der über zugeführte Luft eingebracht wird. Da nur ein geringer Anteil an Biomasse verbrannt wird, wird in Abhängigkeit von der benötigten Wärme auch nur ein geringer Anteil an Sauerstoff und damit an Luft benötigt. Der Luftanteil ist geringer als jener Luftanteil der zu einer vollständigen Verbrennung der vorhandenen Biomasse benötigt wird. Das ist bekannt, man dieses Luftverhältnis auch unterstöchiometrisches Verhältnis. Diese Technologie weist erhebliche Nachteile auf.

Es ist bekannt, dass bei ungleichförmiger Verteilung der Zuführung des Luftsauerstoffes in der Oxidationszone über den Reaktorquerschnitt betrachtet, eine ungleichförmige Verbrennung stattfindet und in der Folge kommt es zu einer ungleichförmigen Temperaturverteilung und damit zu einer ungleichförmigen Pyrolysegaserzeugung bzw. einer Vergasung, die von der Vollständigkeit abweichen kann.

Es ist bekannt, dass in der Gleichstrombetriebsweise der Teeranteil im ausgesaugten Rohgas geringer ist, weil das Pyrolysegas über das Kohle- und Aschebett gesaugt wird und das heiße Pyrolysegas mit dem Kohlenstoff reagieren kann. Da der Kohlenstoff reaktiv ist, werden Kohlenwasserstoffe zu Kohlenmonoxid und Wasserstoff reduziert.

Es ist bekannt, dass in der Gegenstrombetriebsweise der Teeranteil im ausgesaugten Rohgas höher ist, weil das Pyrolysegas über das biogene Substrat gesaugt wird, wodurch das biogene Substrat besser erwärmt wird, der Verkohlungsprozess und der Pyrolyseprozess beschleunigt stattfindet, jedoch der Teeranteil durch die Nichtvorhandene Wirkung des reaktiven Kohlenstoffes nicht reduziert werden kann. Zudem ist bekannt, dass neben dem hohen Teergehalt, auch eine hoher Anteil am Partikel im Rohgas enthalten ist.

Es ist bekannt, dass mit der Notwendigkeit der Oxidationszone zur Erzeugung von Wärme, der reine Pyrolyseprozess nicht stattfinden kann. Der reine Pyrolyseprozess erfolgt nur dann, wenn extern Wärme eingetragen wird, jedoch ohne Zuführung von Sauerstoff (Luftsauerstoff). Das definiert das bekannte Verfahren der Pyrolyse. Der externe Wärmeeintrag ist notwendig, weil die Pyrolyse endotherm ist, also Wärme benötigt wird, damit diese stattfinden kann.

Das in dem Patent *US 2014 / 0306161-A1* beschriebene Verfahren und die beschriebene Vorrichtung geht von einem Wirbelschichtreaktor aus, an dessen Umfang 3 Plasmageneratoren angebracht sind. In dem Patent wird eine Festbettwirbelschicht mit einer flüssigen Schlacke kombiniert und das Syngas mit Plasmagas kombiniert. Die im Patent angegebenen Temperaturen von 950°C bis 1200°C ergeben in der Regel keine flüssige Schlacke. Das Syngas mit einem reaktiven Plasmagas in Kontakt zu bringen, führt dazu, dass das Syngas mit dem Sauerstoff im Plasma reagiert und oxidiert.

Das in dem Patent *US 2014/ 0306160 A1* angeführte Verfahren und die beschriebene Vorrichtung in Form einer Festbettwirbelschicht werden mit feinem Substrat befeuert und soll mit Hilfe von Mikrowellenplasma aufgeheizt werden. Schwerpunkt liegt auf der Trennung des Substrates in einen Feinteil und Grobanteil. Der Nachteil dieser Erfindung ist der technische Aufwand und der hohe energetische Aufwand für die Zerkleinerung des groben Substrates.



Das in dem Patent *US 2009 / 0000938 – A1* beschriebene und angeführte Verfahren und der Vorrichtung beschriebene thermochemische Vergasungsverfahren basiert auf der Mikrowellenaufheizung und ist in Form eines großen rotierenden Tellers ausgeführt, auf dessen Seite die Mikrowellenenergie auf das vorbeibewegte Substrat einwirken kann. Hier wird kein Plasma eingebracht, das mit dem Substrat reagieren kann, sondern es wird Mikrowellenenergie mit dem Substrat in Kontakt gebracht.

Das in dem Patent *MX2007008317A* beschriebene Verfahren und die beschriebene Vorrichtung weist einen sehr schlanken Reaktor auf, auf dessen Länge eine Abfolge von Mikrowellen Wellenleiter angebracht sind. Dieses Patent basiert auf Mikrowellenenergie die mit dem Substrat in Kontakt kommt, jedoch existiert keine Durchmischung. Die Durchstrahlungstiefe von Mikrowellen sind stark vom Substrat abhängig und die Wahrscheinlichkeit, dass ein grosser Teil des Substrates nicht aufgeheizt und thermochmisch umgewandelt wird ist sehr hoch.

Die Aufgabe besteht nun darin, den Wärmeeintrag so zu verändern, dass der Wärmeeintrag mit einem zugeführten sehr reaktiven Medium erfolgt, sodass neben der Vergasung auch die Betriebsweise der Pyrolyse, je nach Wahl des reaktiven Mediums, möglich ist, zudem soll auch ein Gasgemisch und oder ein Dampfgemisch in die Reaktionszone eingebracht werden können, sodass die Gaszusammensetzung des ausgesaugten Rohgases verändert werden kann, und es soll bei einem Schachtreaktor die Betriebsweise nach dem Gleichstromprinzip oder Gegenstromprinzip möglich sein. Die Aufgabe besteht somit auch darin, dass die Schachtbauweise des Reaktors erhalten bleibt.

Die Erfindung löst die Aufgabe damit, dass der Reaktor in Schachtbauweise gebaut wird. Unter Schachtbauweise versteht man erfindungsgemäß, dass es sich um einen stehenden Zylinder handelt, auf dessen Kopf das biogene Substrat, über eine Doppelschleuse eingebracht wird. Die Doppelschleuse hat den Vorteil, der Trennung zwischen Reaktor und biogene Substratförderung. Zudem wird die Doppelschleuse mit CO_2 inertisiert und stellt somit eine Trennung des Brandabschnittes dar. Die Doppelschleuse ermöglicht zudem die gesteuerte und geregelte und kontrollierte Einbringung des biogenen Substrates in den Reaktor.

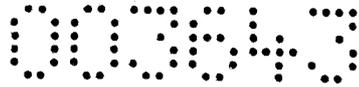
Die Schachtbauweise ist erfindungsgemäß zudem charakterisiert, dass es einen Kohle und Aschebehälter am Boden des Reaktors gibt. Der Boden des Reaktors ist kegelförmig ausgebildet, und besitzt einen Gleichrichter, der den Austrag des Kohle und Aschegemisches mit einer gasdichten Schnecke ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird der Austrag des Rohgases, das aus dem Reaktor abgesaugt wird, im Bereich des Reaktorunterteiles angeordnet, dann wird damit eine Gleichstrombetriebsweise ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird der Austrag des Rohgases, das aus dem Reaktor abgesaugt wird, am Kopf des Reaktors angeordnet, dann wird damit die Gegenstrombetriebsweise ermöglicht.

Der Schachtreaktor zeichnet sich zudem aus durch die Verwendung eines Zyklones, der das Rohgas von den Kohle und Aschepartikel reinigt und die abgeschiedene Kohle und Aschepartikel mit einer gasdichteten Rückführschnecke in den Reaktorboden rückgeführt wird.

Um die Flexibilität in der thermochemischen Umwandlung der Vergasung und der Pyrolyse zu verbessern und zu erhöhen, wird im Schachtreaktor eine Struktur(19) mit Düsenringen (20,21) verwendet. Dieser Düsenring (20,21) hat die Funktion und Möglichkeit ein Gasgemisch und Dampfgemisch in die Reaktionszone einzubringen. Zudem kann teilweise die im abgesaugten Rohgas (7) enthaltene latente Wärme auf das Gas und Dampfgemisch übertragen werden. Dazu werden Gasvorwärmer und Dampfvorwärmer (15,16,17) verwendet und eingesetzt.



Um kostengünstig und in einfacher Weise Niedertemperaturplasma zu erzeugen, wird das bekannte Verfahren der Mikrowellen angewendet. Die Technologie der Mikrowellen ist bekannt. Unter Mikrowellen versteht man elektromagnetische Wellen mit einer Frequenz im Bereich von 500 MHz bis 100 GHz. In der technischen Praxis haben sich zwei Frequenzen bewährt, die Frequenz von 900 MHz und 2,45 GHz. Mikrowellen werden mit einem Magnetron erzeugt, wobei elektrische Energie über das Magnetron in elektromagnetische Schwingungen umgewandelt wird. Der Umwandlungswirkungsgrad beträgt bei der Frequenz von 900 MHz 85% und bei 2,45 GHz 85% ist also sehr hoch. Zudem wird neben dem Magnetron auch ein Modulator verwendet, der es ermöglicht die Schwingungsfrequenz und die Leistung abzustimmen, sowie die Wellenleiter die die elektromagnetische Wellen verteilen und leiten. Diese Wellenleiter sind in der Regel wie der Modulator mit Wasser gekühlt, um eine thermische Überlastung zu vermeiden.

Im weiteren Abschnitt werden Kenndaten und Parameter der Mikrowellentechnologie dargestellt: Verlustleistung, Dämpfung, Eindringtiefe, Wärmeleistung, Aufheizgeschwindigkeit, Frequenzen und Wellenlängen.

Die Verlustleistung P_{ver} kann wie folgt qualitativ beschrieben werden:

$$P_{\text{ver}} = 2\pi f E^2 \varepsilon_0 \varepsilon_r' \tan(\delta) \quad [\text{kW}]$$

$P_{\text{ver}} = [\text{W/m}^3]$ (Verlustleistung)

$f = [\text{Hz}]$ (Mikrowellenfrequenz)

$E = [\text{V/m}]$ (Elektrische Feld)

$\varepsilon_0 = 8,845 \cdot 10^{-12}$ (Dielektrizitätskonstante)

Die Dämpfung beschreibt das Maß der absorbierten eingebrachten Energie

$$\alpha = \frac{\pi \varepsilon_r''}{\lambda_0 \sqrt{\varepsilon_r'}} \quad [1/\text{m}]$$

$\lambda_0 = c_0/f$ [m] (Wellenlänge)

Die Eindringtiefe beschreibt in Abhängigkeit der Dämpfung die Eindringtiefe der eingebrachten Energie

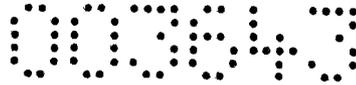
$$s = \frac{1}{2\alpha} \quad [\text{m}]$$

Die Aufheizgeschwindigkeit beschreibt das zeitliche und dynamische Verhalten des Energieeintrages in dem Medium:

$$\frac{dQ}{dt} = \varepsilon_0 E^2 f \frac{\varepsilon_r''}{\rho c_p} \quad [^\circ/\text{sec}][\text{kJ}/\text{sec}]$$

Unter Mikrowellen versteht man folgende Frequenz und Wellenlängen und deren Zusammenhang:

Frequenz f(Mhz)	Wellenlänge (cm)
433,9	69,14
915	32,75
2450	12,24
5800	5,17
24125	1,36



In der Praxis hat sich die Frequenz von 2450 Mhz durchgesetzt und ist in Form von entsprechenden Mikrowellengeneratoren erhältlich. Die obigen Darstellungen und Erläuterungen sind vereinfachte qualitative Überlegungen, die aber in klarer Form zeigen, dass Mikrowellen zur Erzeugung von Plasma aus Gasen und Dämpfen geeignet sind, und zudem den Vorteil haben, dass es sich um ein Niedertemperaturplasma handelt. Unter Niedertemperatur versteht man Plasmatemperaturen von 200°C bis 400°C als latente thermisch Temperatur des Plasma, wobei die Elektronentemperatur $T_e \sim 2000^\circ\text{K}$ bis 8000°K beträgt. Die Elektronentemperatur bestimmt die chemische Reaktivität des Plasma. Das macht diese Technologie technisch interessant.

Die Anwendung von Mikrowellen bei Gasen und Dämpfen weist folgende Eigenschaften auf: die Verlustleistung $P_{\text{ver}} \sim \ll 1$, die Dämpfung $\alpha \sim \ll 1$, die Durchdringtiefe $s \sim \gg 1$, die Aufheizgeschwindigkeit $dQ/dt \sim \gg 1$. Um einen hohen Umsetzungsgrad der elektromagnetischen Energie in ein Niedertemperaturplasma zu erreichen ist eine Überlagerung der elektromagnetischen Wellen (40) vorzusehen.

Der Plasmagenerator besteht aus einem Mikrowellengenerator (39), mit nachgeschalteten Isolator(38), einem Modulator(37), sowie einem Mikrowellenrohr(35), das dazu dient die Leistung zu leiten und zu verdichten, und um so ein Plasmazustand erzeugen zu können. Das Mikrowellenrohr ist so ausgeformt, dass eine Verdichtung der Strahlungsenergie zu einer höheren Intensität erfolgt. Um die Einstellung der Verdichtung technisch zu ermöglichen und zu erreichen, wird am Ende des Wellenrohres ein beweglicher Kolben (40) verwendet, der dazu dient, die reflektierten Wellen so zu reflektieren, dass eine Überlagerung und damit eine Verstärkung erfolgt und nicht eine vollständige oder teilweise Auslöschung.

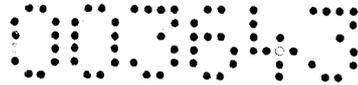
Mikrowellen sind geeignet in einem Gas oder Dampf einen Plasmazustand zu erzeugen. Unter Plasma versteht man ein Fluid das aus Ionen, Atomen, Radikalen, Molekülen und frei beweglichen Elektronen besteht. Dieses Fluid ist bedingt durch die frei beweglichen Elektronen, Ionen und Radikale in einem metastabilen Zustand und sehr reaktiv. Durch die begrenzt eingebrachte Energie erreicht das Gas im Plasmazustand eine Temperatur von 200°C bis 400°C.

Um nun eine thermisch reaktive Zone im Reaktor zu schaffen muss ein reaktives thermisch aufgeheiztes Plasma als Fluid in den Reaktor(4) eingebracht werden. Das wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, indem Wasserdampfplasma oder Kohlendioxidplasma erzeugt wird. Wasserdampfplasma besteht aus $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{H}_2\text{O}, \text{H}^+, \text{O}^-, \text{OH}^-$ und freie bewegliche Elektronen e^- . Das Kohlendioxidplasma besteht aus $\text{CO}, \text{C}, \text{CO}_2, \text{O}^-$ und freie bewegliche Elektronen e^- . Die Erfindung beschränkt sich auf die Anwendung und den Einsatz von Wasserdampfplasma und Kohlendioxidplasma.

Die Leistung der Mikrowellengeneratoren wird nach der benötigten Wirkungstiefe im Reaktorquerschnitt bemessen, um so eine Wirkung des eingedüsten Plasmastrahles bis zur Reaktormitte zu erreichen und mit dem benötigten Massenstrom an reaktivem Plasma die Erzeugung der benötigten Wärme in Reaktionszone im Reaktor zu erzeugen. Mit den Plasmaleitern und den Einstrahlrohren verteilt am Umfang des Schachtreaktors ist die Wärmezone und Reaktionszone im Schachtreaktor lagemäßig definiert. Die Steuerung der Plasmageneratoren umfasst die elektrische Energieversorgung, die zugehörigen elektrischen Gleichrichter für den benötigten Gleichstrom und die zugeführte elektrische Leistung in Form der Stromstärke.

Eine Möglichkeit ist erfindungsgemäß das Eindüsen von Wasserdampfplasma in der Schachtreaktor(4). Wasserdampfplasma besteht aus $\text{H}_2, \text{O}_2, \text{H}^+, \text{O}^-, \text{OH}^-$ und H_2O das dem Reaktor in der reaktiven Zone zugeführt wird. Besonders reaktionsfreundlich sind die H^+, O^- , und OH^- Ionen, die mit der Biomasse reagieren. Zudem wird O_2 zugeführt der ebenfalls mit dem Kohlenstoff der Biomasse reagiert und CO_2 und CO erzeugt. In der Regel besitzt das Rohgas aus der thermochemischen Vergasung mit Luft eine Zusammensetzung von $\text{CO} \sim 23\%$ und $\text{H}_2 \sim 20\%$, $\text{CO}_2 \sim 12\%$ Rest N_2 . Man sieht also, dass das Molare Verhältnis $\text{CO}:\text{H}_2$ von 1:1 nicht erreicht wird. Durch das Wasserdampfplasma wird nun H_2 zugeführt, sodass eine folgende Zusammensetzung möglich ist: $\text{CO} \sim 40\%$ und $\text{H}_2 \sim 40\%$, $\text{CO}_2 \sim 20\%$, also ein molares Verhältnis von 1:1 erreicht werden kann.

Ein weiterer Erfindungsgemäßer Vorteil ist der Umstand, dass mit dem Wasserdampfplasma kein Stickstoff (N_2) zugeführt wird. Damit wird der störende Stickstoffanteil aus der Luftzuführung vermieden.



Es verbleibt nur mehr der Stickstoffanteil (N_2) aus der zugeführten Biomasse, der bei fester biogenen Stoffen in der Regel sehr gering ist.

Das Wasserdampfplasma erzeugt mit Mikrowellen, ist ein Niedertemperaturplasma, das mit einer Temperatur von 200°C bis maximal 400°C erzeugt wird, und in den Schachtreaktor eingedüst wird. Die niedrige Temperatur ist von Vorteil, weil damit die Verflüssigung der Biomasse in Form von Schlacke vermieden wird, und so eine thermochemische Vergasung möglich ist, die neben dem Schwachgas aus Kohle erzeugt. Die Temperatur in der reaktiven Zone, in der das Plasma eingedüst wird, hat eine Temperatur von $T \sim 1000^\circ\text{C}$ bis 1200°C und entsteht aus der Reaktion der Sauerstoffradikale und des Sauerstoffes mit der Biomasse.

Durch das mit Mikrowellen erzeugte Wasserdampfplasma kann erfindungsgemäß im Querschnitt des Reaktors die Erwärmung und die Temperaturen in einem Temperaturbereich von 800°C bis 1200°C erreicht werden. Die entsprechend hohen Temperaturen werden durch die chemischen Reaktionen vom eingedüsten Plasma in der reaktiven Zone im Schachtreaktor mit der eingebrachten Biomasse erreicht werden.

Eine weitere erfindungsgemäße Möglichkeit ist das Eindüsen von Kohlendioxidplasma. Kohlendioxidplasma besteht aus CO , O_2 , C , O^- , und e^- das dem Reaktor zugeführt wird. Besonders reaktionsfreudig sind die C , O^- Ionen, die mit der Biomasse reagieren. Zudem wird O_2 zugeführt der ebenfalls mit dem Kohlenstoff der Biomasse reagiert und CO_2 und CO erzeugt. In der Regel besitzt das Rohgas aus der thermochemischen Vergasung mit Luft eine Zusammensetzung von $\text{CO} \sim 23\%$ und $\text{H}_2 \sim 20\%$, $\text{CO}_2 \sim 12\%$ Rest N_2 . Man sieht also, dass das Molare Verhältnis $\text{CO}:\text{H}_2$ von 1:1 nicht erreicht wird. Durch das Kohlendioxidplasma wird nun Kohlenstoff(C), Kohlenmonoxid(CO) zugeführt, sodass das Ungleichgewicht in der molaren Verteilung von CO und H_2 noch verstärkt wird.

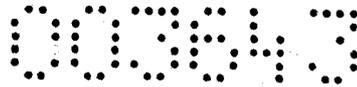
Um die Wirkung und den Einsatz des durch Mikrowellen erzeugten Plasmas zu verbessern und auch die chemischen Reaktionen in der thermisch reaktiven Zone zu regeln und zu steuern wird erfindungsgemäß zudem ein Düsenring im Zusammenwirken mit der reaktiven Zone im Reaktorschacht verwendet. Über den Düsenring werden verschiedene Gas und Dämpfe der thermisch aktiven Reaktionszone zugeführt. Die Gas und Dämpfe werden mit Hilfe der Vorwärmer thermisch erwärmt und so ein Teil der im Rohgas enthaltenen latenten Wärme in den Reaktor in die reaktive Zone rückgeführt. Das erhöht erfindungsgemäß den Umsetzungswirkungsgrad in der reaktiven Zone bei der thermochemischen Umwandlung der biogenen Stoffe erheblich.

Die bisherigen beschriebenen Komponenten der Anlage betreffen die erfindungsgemäße Vorrichtung des Schachtreaktors.

Durch Mikrowellen erzeugtes Plasma ist eine Oxidationszone durch Verbrennung von biogenen Stoffen mit Luftsauerstoff nicht notwendig. Um die thermochemische Umwandlung der biogenen Stoffe zu verbessern und die Erzeugung von besseren Gasqualitäten und die Gaszusammensetzung beeinflussen zu können werden zusätzliche Gase und überhitzte Dämpfe in die thermisch reaktive Wärmezone eingebracht. Damit wird auf die chemischen Reaktionen und auf das damit verbundene Verfahren technisch Einfluss genommen.

Eine Möglichkeit ist das Eindüsen von gasförmig überhitztem Kohlendioxid über die Struktur der Düsenringe (19) vor der reaktiven Plasmazone. Durch das eingedüste reaktive Plasma können in der reaktiven Zone im Querschnitt des Reaktors durch die chemischen Reaktionen von Plasma mit Biomasse Temperaturen in einem Temperaturbereich von 800°C bis 1200°C erreicht werden. Damit kann die Reaktion von Kohlenstoff mit Kohlendioxid zu Generatorgas (Kohlenmonoxid(CO)) unterstützt werden. Dabei handelt es sich um ein sehr langsame und endotherme Reaktion, was eine lange Verweilzeit des Kohlenstoffes in der reaktiven Zone bedingt.

Durch die Schachtbauweise kann eine lange Verweilzeit des biogenen Substrates(1) im Reaktor(4) erreicht werden. Die Absenkgeschwindigkeit hängt von der Gaserzeugung und dem Massendurchsatz des biogenen Substrates ab.



$$A = D^2 \frac{\pi}{4} [\text{m}^2] \quad M = \rho c A [\text{kg} / \text{sec}]$$

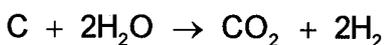
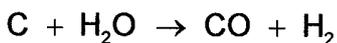
Bei einem durchschnittlichen exemplarischen Substratverbrauch von $M \sim 350 \text{ kg/h}$ und einer Dichte von $\sim 275 \text{ kg/m}^3$ und einem Reaktordurchmesser $D \sim 1 \text{ m}$ ergeben sich folgende Senkgeschwindigkeiten $c \sim 1,2 \text{ m/h}$. Die reaktive Zone ist mit einer $h \sim 0,5 \text{ m}$ gegeben, das ergibt eine mittlere Verweildauer von $t \sim 0,5 \text{ h}$. Die nutzbare Schachthöhe des Reaktors ist mit $h \sim 4 \text{ m}$ gegeben, sodass eine Verweildauer von $t \sim 4 \text{ h}$ für einen vollständigen Durchlauf gegeben ist. Damit zeigt sich der Vorteil der Schachtbauweise: man kann eine lange Verweilzeit des Substrates im Reaktor erreichen, was für die Diffusionsgeschwindigkeit von Bedeutung ist, denn so können auch langsamere chemische Prozesse stattfinden und ein guter Umsetzungswirkungsgrad erreicht werden. Der Nachteil ist, dass nicht beliebig viel Substratmasse umgesetzt werden kann, wenn man mit dem Verfahren der Schnellentgasung bei einem Doppelschneckenreaktor wo eine Verweilzeit von durchschnittlich 30 Sekunden bis 60 Sekunden gegeben ist, vergleicht. Die Schnellentgasung im Doppelschneckenreaktor setzt in der Regel 2 t/h bis 5 t/h an biogenen Substrat um.

Durch die lange Verweilzeit des biogenen Substrates im Schachtreaktor, werden langsame chemische Reaktionen (Boudouard Reaktion), wie die Bildung von Kohlenmonoxid(CO) unterstützt.



Unterstützt wird die Bildung von Kohlenmonoxid(CO) erfindungsgemäß zusätzlich durch den Unterdruck im Reaktor, da das Gas aus dem Reaktor herausgesaugt wird. Dieser Unterdruck in der Größenordnung von 50 mbar bis 100 mbar unter dem Umgebungsdruck hat nicht nur einen verfahrenstechnischen Vorteil, sondern auch einen betrieblichen Vorteil. Durch das Heraussaugen nimmt man Einfluss auf die volumetrische Umsatzleistung. Der betriebliche Vorteil liegt im höheren Schutz der Anlage. Durch den Unterdruck wird bei Leckagen Luft aus der Umgebung eingesaugt, und es tritt kein Gas an die Umgebung aus. Die Bauweise des Reaktors mit seinen Komponenten verlangt daher eine gasdichte Bauweise.

Eine andere Möglichkeit ist die Eindüsung von überhitztem Wasserdampf über den Düsenring(19). Damit kann die Reaktion von Kohlenstoff(C) mit Wasserdampf(H_2O) zu Wassergas($\text{CO}, \text{H}_2, \text{CO}_2$) unterstützt werden. Damit kann bei Verwendung eines Kohlendioxidplasmas das Ungleichgewicht in der molaren Verteilung von CO zu H_2 ausgeglichen werden und so erfindungsgemäß ein molares Verhältnis von CO : H_2 in der Größenordnung von $1 : 1$ erreicht werden.



Auch bei dem Einsatz von Wasserdampfplasma erweist sich der Unterdruck im Reaktor als Vorteil, weil auf diese Weise das Rohgas zusammen mit dem Wasserdampf durch ein Kohlebett gesaugt werden kann und in der Folge der reaktive Kohlenstoff mit dem Wasserdampf zu Kohlendioxid(CO_2) und Wasserstoff(H_2) reagieren kann.

Eine Anwendung der erfindungsgemäßen Vorrichtung und des erfindungsgemäßen Verfahrens ist neben der bekannten Anwendung als Biomasse - KWK(Kraft Wärme Kopplung) Anlage, zur Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme auch die Anwendung in der Erzeugung von flüssigen Treibstoffen wie Dimethylether(DME) oder Diethylether(DEE). Dabei wird das Verfahren der direkten Synthese verwendet, was voraussetzt, dass das Verhältnis von Kohlenmonoxid(CO) zu Wasserstoff(H_2) einen molaren Verhältniswert von $1 : 1$ aufweist, wie in der Erfindung dargestellt. Durch das hier vorgestellte Verfahren ist der Stickstoffanteil im Schwachgas gewonnen aus der thermochemischen Umwandlung vom gewonnenen Rohgas nur auf den Stickstoffanteil im biogenen Substrat beschränkt. Durch die Zuführung von externen Gasen und Dämpfen, erfindungsgemäß von Kohlendioxid und Wasserdampf, kann in Abhängigkeit von den zugeführten Substraten, und der zugeführten Mengen an Plasma, der Konzentrationsanteil von Kohlenmonoxid(CO) zu Wasserstoff(H_2) auf das gewünschte molare Verhältnis von $1 : 1$ ausgegelt werden kann.



Die Anwendung dieser Erfindung in der einfachsten Form ist die Erzeugung von elektrischer Energie und Wärme bekannt als KWK (Kraft Wärme Kopplung) Anlage. Der Leistungsbereich ist üblicherweise im erneuerbaren dezentralen Anwendungen auf einen Bereich von 50 kW ele bis 500 kW ele beschränkt.

Aus der Anwendung von Biomasse (oftmals nur das bekannte Waldhackgut) in den KWK Anlagen hat man die Erfahrung gemacht, dass der variable Wassergehalt, zu variabler Zusammensetzung des Rohgases bei den Komponenten Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H₂) führt. Diese Erfindung ermöglicht es die durch unterschiedliche Zusammensetzung des biogenen Substrates bedingten Schwankungen aus zu regeln und einen hohen Heizwert des Rohgases zu erreichen. Eine weitere Anwendung dieser Erfindung ist die Verwertung von biogenen Stoffen, die von der bekannten Biomasse (Waldhackgut) abweichen. Durch die Erfindung wird es möglich gemacht, auch andere biogene Stoffe wie Maiskolben, Kerne, Schalen, Strauchgut, Gräser, Rinde, Gärreste von Biogasanlagen energetisch zu verwerten. Die Flexibilität der Anlage kann damit erhöht werden und es kann mit der Erfindung auch biogene Masse, verwertet werden, die auf Deponien und im Abfall gelandet sind. Damit kann der Druck auf die nachwachsenden Rohstoffe vermindert werden und die Verwertung von biogenen Abfallstoffen verbessert werden.

Eine wichtige erfindungsgemäße Eigenschaft ist der Umstand, dass es zu keiner Bildung von Schlacke in der reaktiven Zone im Schachtreaktor (4) kommt. Schlacke entsteht, wenn Temperaturen von mehr als 1600°C erreicht werden und die Karbonate (Asche) zu schmelzen beginnen. Durch die niedrigen Temperaturen von 800°C bis 1200°C bildet sich Kohlenstoff in Form von poröser Kohle, die für weitere chemische Reaktionen im Schachtreaktor (4) verwendet werden kann und der unverbrauchte Anteil aus dem Reaktor am Reaktorboden ausgetragen wird. Damit bleibt die thermochemische Umwandlung von biogenen Stoffe mit Plasma ein einfach handhabbares, stabiles und robustes Verfahren. Die Anwendungen in der erneuerbaren Energie bleiben mit dieser Erfindung auch weiterhin in einem Bereich von 50 kW ele bis 500 kW ele möglich.

Abbildungen

Abbildung 1

Die Abbildung 1 zeigt den Vergasungsreaktor (4) in Schachtbauweise. Am Kopf des Reaktors befindet sich der Eintrag der biogenen Masse (1) über ein Doppelschleusensystem bestehend aus der Schleuse (2) und Schleuse (3), in der Praxis gebaut als redundantes Klappensystem, angetrieben hydraulisch, mit einer mechanischen Rückstellfeder abgesichert. In der Mitte des Schachtes befindet sich eine Düsenringstruktur (19) über den unterschiedliche Gas und Dämpfe (22,23) in den Reaktor (4) über die Düsenringe (20,21) eingebracht werden können. Nach dem Düsenring befindet sich die heiße Zone, in der die benötigte Wärme generiert wird und in den Reaktor eingebracht wird. Die Wärme wird durch reaktives Plasma, das mit der Biomasse reagiert, in der Oxidationszone (= heiße Zone) erzeugt. Die Mikrowellen werden mit einem Magnetron (39) erzeugt. Die erzeugten Mikrowellen werden in dem Tunern (37) moduliert und über die Wellenleiter (35) und (34,35,36) in die Plasmazone (36) eingebracht und erzeugen das benötigte Plasma, das in den Reaktor eingeleitet wird. Um das Rohgas(5) aus dem Reaktor zu bekommen, wird das Rohgas (5) aus dem Reaktor gesaugt und über einen Zyklon (6) grob vorgereinigt (7). Die dabei abgeschiedene Kohle (8) wird über die gasdichte Kohleschnecke (10) angetrieben mit einem Motor(9) in den Kohlebereich des Schachtreaktors rückgeführt. Am Boden des Schachtreaktors wird der Kohlenstoff mit einem Verteiler (11) gleichverteilt. Das heiße grob gereinigte Rohgas (7) wird über den Wärmetauscher (15) geführt. Dieser Wärmetauscher (15) dient dazu, das Fluid (26) für das Plasma vorzuwärmen und den Plasmadüsen (24,25) zugeführt. Das Rohgas wird zu dem über die Wärmetauscher (16,17) geführt, über die dem Düsenring zugeführten Gase und Dämpfe erwärmt werden. Durch die Verwendung von zwei Wärmetauscher kann man zwei unterschiedliche Fluide (27,28) vorwärmen (22,23) und der Oxidationszone zuführen. Das abgekühlte Rohgas (29) wird für die weitere Gasaufbereitung zur Verfügung gestellt. Die im Zyklon (6) angeschiedene Kohle (8) wird über die Rückführschnecke (10) mit Antrieb (9) in den Reaktorboden rückgeführt. Der Reaktorboden hat einen Gleichrichter (11) der die Kohle der Austragschnecke (12) mit Antrieb (13) und gasdichter Armatur (14) zuführt.

Abbildung 2

Die Abbildung 2 zeigt den Aufbau eines Plasmagenerators. Der Dampf oder das Gas (24) wird über das Regelventil (30) der Vorkammer (31) zugeführt. Das Kondensat wird über (32) abgeleitet. Das Gas oder der Dampf wird über einen Swirler (33) der Düsenkammer (34) zugeführt. In dem Plasmarohr (36) wird das Plasma erzeugt. Als Erzeugung werden Mikrowellen verwendet, die im Mikrowellengenerator(39) erzeugt werden, danach folgt ein Isolator (38), dann ein Tuner (Modulator) (37) und dann das Mikrowellenrohr (36), an dessen Ende ein Kolben angebracht ist, der dazu dient, die Mikrowellen zu reflektieren, sodass eine Verstärkung erfolgt. Plasmarohr (36) und Mikrowellenrohr (35) sind wassergekühlt.

Abbildung 3

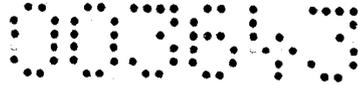
Die Abbildung 3 zeigt die am Umfang des Reaktors angebrachten Plasmarohre, die einen gleichmäßigen und symmetrischen Eintrag am Umfang ermöglicht. Was allen Anordnungen gleich ist, es werden maximal vier Zuleitungen für das Gas oder den Dampf verwendet.

Abbildung 4

Die Abbildung 4 zeigt die Struktur der Düsenringe, mit den am Umfang verteilten Düsen. Die Struktur (19) besteht in der gezeigten Bauform aus zwei Ringen (20,21) in die die Düsen (41,42) eingebracht sind. Der Düsenring (20) wird über die Leitung (22) versorgt, der Düsenring (21) über die Leitung (23).

Abbildung 5

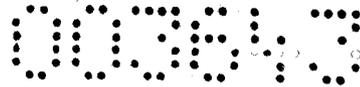
Die Abbildung 5 zeigt die Steuerung des Massenstromes des Plasmafluides, und die Steuerung der Energiezuführung der Plasmaeinheiten. Das Ausgangsfluid wird im Tank (51) gelagert, und über die Pumpe (52) einem Verdampfer oder Vorwärmer (54) zugeführt. Das überschüssige Fluid wird in den Tank rückgeführt. Die Wärme für den Verdampfer (54) wird über (55) extern zugeführt. Der Druck nach der Pumpe wird mit (53) gemessen, die Temperatur nach dem Vorwärmer (54) mit (56) gemessen. Das vorgewärmte Gas oder der Satttdampf wird dem Überhitzer (15) zugeführt. Nach dem Überhitzer werden



gemessen, Druck (57), Temperatur (58), Volumenstrom (59). Der überhitzte Dampf wird aufgeteilt (24,25,50,49) und den Regelventilen (44,46,30,48) zugeführt. Die Plasmaleitungen (36,43,45,47) bringen das Plasma in den Reaktor(4) ein. Die für die Mikrowellenerzeugung notwendige Energie wird in (64) zur Verfügung gestellt, und über die Gleichrichter (60,61,62,63) den Mikrowellengeneratoren zugeführt. Es wird die Leistung der zugeführten elektrischen Energie (65,66,67,68) gemessen.

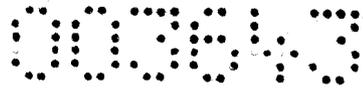
Abbildung 6

Die Abbildung 6 zeigt den Vergasungsreaktor (4) in Schachtbauweise. Am Kopf des Reaktors befindet sich der Eintrag der biogenen Masse (1) über ein Doppelschleusensystem bestehend aus der Schleuse (2) und Schleuse (3), in der Praxis gebaut als redundantes Klappensystem, angetrieben hydraulisch, mit einer mechanischen Rückstellfeder abgesichert. In der Mitte des Schachtes befindet sich eine Düsenringstruktur (19) über den unterschiedliche Gas und Dämpfe (22,23) in den Reaktor (4) über die Düsenringe (20,21) eingebracht werden können. Nach dem Düsenring befindet sich die heiße Zone, in der die benötigte Wärme generiert wird und in den Reaktor eingebracht wird. Die Wärme wird durch reaktives Plasma, das mit der Biomasse reagiert, in der Oxidationszone (= heiße Zone) erzeugt. Die Mikrowellen werden mit einem Magnetron (39) erzeugt. Die erzeugten Mikrowellen werden in dem Tunern (37) moduliert und über die Wellenleiter (35) und (34,35,36) in die Plasmazone (36) eingebracht und erzeugen das benötigte Plasma, das in den Reaktor eingeleitet wird. Um das Rohgas(5) aus dem Reaktor zu bekommen, wird das Rohgas (5) aus dem Reaktor gesaugt und über einen Zyklon (6) grob vorgereinigt (7). Die dabei abgeschiedene Kohle (8) wird über die gasdichte Kohleschnecke (10) angetrieben mit einem Motor(9) in den Kohlebereich des Schachtreaktors(4) rückgeführt. Am Boden des Schachtreaktors wird der Kohlenstoff mit einem Verteiler (11) gleichverteilt. Das heiße grob gereinigte Rohgas (7) wird über den Wärmetauscher (15) geführt. Dieser Wärmetauscher (15) dient dazu, das Fluid (26) für das Plasma vorzuwärmen und den Plasmadüsen (24,25) zugeführt. Das Rohgas wird zu dem über die Wärmetauscher (16,17) geführt, über die dem Düsenring zugeführten Gase und Dämpfe erwärmt werden. Durch die Verwendung von zwei Wärmetauscher kann man zwei unterschiedliche Fluide (27,28) vorwärmen (22,23) und der Oxidationszone zuführen. Das abgekühlte Rohgas (29) wird für die weitere Gasaufbereitung zur Verfügung gestellt. Die im Zyklon (6) angeschiedene Kohle (8) wird über die Rückführschnecke (10) mit Antrieb (9) in den Reaktorboden rückgeführt. Der Reaktorboden hat einen Gleichrichter (11) der die Kohle der Austragschnecke (12) mit Antrieb (13) und gasdichter Armatur (14) zuführt.

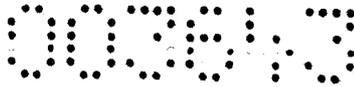


Symbole und Zeichen

- 1 biogene Stoffe
- 2 Doppelschleuse
- 3 Doppelschleuse
- 4 Schachtreaktor
- 5 Rohgas
- 6 Zyklon
- 7 Reingas
- 8 Kohle
- 9 Antrieb Kohleschnecke
- 10 Kohleschnecke
- 11 Kohlegleichrichter
- 12 Kohleaustragschnecke
- 13 Antrieb Kohleaustragschnecke
- 14 gasdichte Armatur
- 15 Wärmetauscher
- 16 Wärmetauscher
- 17 Wärmetauscher
- 18 Biomasse im reaktor
- 19 Struktur Düsenringe
- 20 Düsenringe
- 21 Düsenringe
- 22 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 23 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 24 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 25 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 26 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 27 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 28 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 29 Rohgas
- 30 Regelarmatur
- 31 Vorkammer
- 32 Kondensatventil
- 33 Swirrkammer
- 34 Düsenkammer
- 35 Mikrowellenrohr
- 36 Plasmarohr
- 37 Modulator
- 38 Isolator
- 39 MW Generator
- 40 MW Kolben
- 41 Düsenring
- 42 Düsenring
- 43 Plasmarohr
- 44 Regelarmatur
- 45 Plasmarohr
- 46 Regelarmatur
- 47 Plasmarohr
- 48 Regelarmatur
- 49 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 50 Kohlendioxid, Wasserdampf
- 51 Tank
- 52 Pumpe
- 53 Druckmessung
- 54 Verdampfer
- 55 externe Wärme
- 56 Temperaturmessung



- 57 Druckmessung
- 58 Temperaturmessung
- 59 Volumenstrommessung
- 60 AC / DC Konverter
- 61 AC / DC Konverter
- 62 AC / DC Konverter
- 63 AC / DC Konverter
- 64 Energieversorgung
- 65 elektr. Leistungsmessung
- 66 elektr. Leistungsmessung
- 67 elektr. Leistungsmessung
- 68 elektr. Leistungsmessung

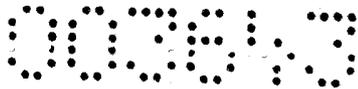


Ansprüche

1. Das erfindungsgemäße Verfahren zur thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma umfassend das Fluid(24,25) das zu Plasma umgewandelt werden soll, der Regelarmatur(30), einer Vorkammer (31), einem Swirler(33), einer Düse(34) der Mikrowellengenerator (39), einem Isolator(37), einem Modulator(37), dem Wellenleiter(35) und dem Plasmarohr(36), den Schachtreaktor (4), einer Struktur aus Düsenringen (19), einer Doppelschleuse (3,4)

Gekennzeichnet dadurch, dass

- als Fluid (24,25), das in den Plasmazustand übergeführt wird, Kohlendioxid(CO_2) und überhitzter Wasserdampf(H_2O) verwendet werden, bevorzugt überhitzter Wasserdampf(H_2O)
- die Temperatur des Fluides(24,25) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen $T=100^\circ\text{C}$ bis maximal $T=200^\circ\text{C}$ liegt, bevorzugt bei $T=150^\circ\text{C}$
- der Druck des Fluides(24,25) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen $p=100$ mbarü bis maximal $p=2000$ mbarü liegt, bevorzugt bei $p=1000$ mbarü
- die elektrische Leistung des Mikrowellengenerators zwischen minimal $P=10$ kW bis maximal $P=100$ kW liegt, bevorzugt bei $P=75$ kW.
- der Volumenstrom des Fluides(24,25) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen minimal $V=5\text{Nm}^3/\text{h}$ bis maximal $V=300$ Nm^3/h liegt, bevorzugt bei $V=75$ Nm^3/h ,
- der Modulator (37) eine Abstimmung auf die Frequenz der Mikrowellen von minimal $f = 900$ MHz bis maximal $f=24500$ MHz, bevorzugt $f=2450$ MHz, ermöglicht
- der Swirler (36) dazu dient, dem Fluid vor der Düse einen Rotationsdrall zu verleihen
- die Düse (34) eine Beschleunigung des Fluides auf Überschall mit einer Schallgeschwindigkeit minimal $M=1,5$ bis maximal $M= 7$ ermöglicht, bevorzugt $M=5$ (fünffache Schallgeschwindigkeit)
- nach der Düse (34) im Plasmarohr (36) die Stosswellen erzeugt durch die Düse weitergeleitet werden und so der bevorzugte Nichtgleichgewichtszustand im Fluid erreicht wird
- über die Struktur (19) der Düsenringe (20,21) Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf(H_2) vor der reaktiven Plasmazone im Schacht eingebracht werden können.
- die Temperatur der über die Struktur (19) der Düsenringe (20,21) eingebrachten Gase und Dämpfe minimal bei $T=100^\circ\text{C}$ bis maximal $T=200^\circ\text{C}$ liegt, bevorzugt bei einer Temperatur $T=150^\circ\text{C}$ liegt,
- der Druck der über die Struktur (19) der Düsenringe (20,21) eingebrachten Gase und Dämpfe minimal bei einem Überdruck von $p=5$ mbarü bis maximal 100mbarü liegt, bevorzugt bei $p=10$ mbarü liegt,
- im Schachtreaktor(4) ein Unterdruck gegenüber dem Umgebungsdruck herrscht minimal $p=5$ mbar bis maximal $p=200$ mbar, bevorzugt bei $p=100$ mbar unter dem Umgebungsdruck
- mit der Regelarmatur (30, 44,45,47) der Massenstrom des Fluides vor dem Plasmarohr reduziert werden kann, in einem Betriebsbereich von minimal $m\text{-wt}=30\%$ bis maximal $m\text{-wt}=80\%$, bevorzugt in einem Betriebsbereich von $m\text{-wt}=50\%$.
- der über die Doppelschleuse (2,3) eingebrachte biogene Stoffstrom m minimal $m=50$ kg/h bis maximal $m=500$ kg/h, bevorzugt $m=300$ kg/h beträgt.



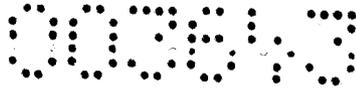
- der über die Doppelschleuse (2,3) eingebrachte biogene Stoffstrom einen Wassergehalt minimal $m\text{-wt}\%=10$ bis maximal $m\text{-wt}\%=25$, bevorzugt $m\text{-wt}\%=15$ hat.
2. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Wärmetauscher (15) zum Vorwärmen des Fluides, das zu Plasma umgewandelt werden soll,

Gekennzeichnet dadurch, dass

- die Temperatur des Rohgases (7) aus dem Zyklon(6) minimal $T=500^{\circ}\text{C}$ bis maximal $T=700^{\circ}\text{C}$ hat, bevorzugt $T=650^{\circ}\text{C}$,
 - die Temperatur des Rohgases (7) mit dem Wärmetauscher (15) reduziert wird, in dem die Wärme auf das zu erwärmende Fluid(24) für die Plasmaerzeugung übertragen wird, minimal um eine Temperaturdifferenz von $dT=50^{\circ}\text{C}$ bis maximal um $dT=250^{\circ}\text{C}$, bevorzugt um eine Temperaturdifferenz von $dT=100^{\circ}\text{C}$,
 - der Druck des Rohgases (7) einen Unterdruck gegenüber dem Umgebungsdruck von $p=10$ mbar bis maximal $p=400$ mbar aufweist, bevorzugt $p=100$ mbar unter dem Umgebungsdruck,
 - der Volumenstrom des Rohgases (7) einen Wert minimal bei $V=50$ Nm^3/h bis maximal $V=1500$ Nm^3/h aufweist, bevorzugt $V=800$ Nm^3/h ,
 - die Temperatur des Fluides (24,25) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen minimal $T=100^{\circ}\text{C}$ bis maximal $T=200^{\circ}\text{C}$ liegt, bevorzugt bei einer Temperatur $T=150^{\circ}\text{C}$ liegt,
 - der Druck des Fluides (24,25) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen $p=100$ mbarü bis maximal $p=2000$ mbarü liegt, bevorzugt bei $p=1000$ mbarü gegenüber dem Umgebungsdruck liegt
 - der Volumenstrom des Fluides (26) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen 5 Nm^3/h bis 300 Nm^3/h liegt, bevorzugt bei 75 Nm^3/h ,
3. Das erfindungsgemäße Verfahren nach Anspruch 1, umfassend einen Wärmetauscher (16,17) zum Vorwärmen des Zusatzfluides(22,23), das über die Struktur(19) der Düsenringe (20,21) in den Schachtreaktor eingedüst wird,

Gekennzeichnet dadurch, dass

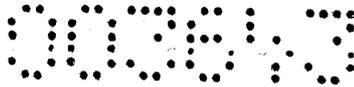
- die Temperatur des Rohgases (7) nach dem Wärmetauscher(15) minimal $T=200^{\circ}\text{C}$ bis maximal $T=700^{\circ}\text{C}$ hat, bevorzugt eine Temperatur $T=500^{\circ}\text{C}$,
- die Temperatur des Rohgases (7) mit dem Wärmetauscher (16) reduziert wird, in dem die Wärme auf das zu erwärmende Fluid(23) übertragen wird, minimal um eine Temperaturdifferenz von $dT=50^{\circ}\text{C}$ bis maximal um $dT=250^{\circ}\text{C}$, bevorzugt um eine Temperaturdifferenz von $dT=100^{\circ}\text{C}$,
- die Temperatur des Rohgases (7) mit dem Wärmetauscher (17) reduziert wird, in dem die Wärme auf das zu erwärmende Fluid(22) übertragen wird, minimal um eine Temperaturdifferenz von $dT=50^{\circ}\text{C}$ bis maximal um $dT=250^{\circ}\text{C}$, bevorzugt um eine Temperaturdifferenz von $dT=100^{\circ}\text{C}$,
- der Druck des Rohgases(7) einen Unterdruck gegenüber dem Umgebungsdruck von $p=10$ mbar bis maximal $p=400$ mbar aufweist, bevorzugt $p=100$ mbar unter dem Umgebungsdruck,
- der Volumenstrom des Rohgases(7) einen Wert minimal bei $V=50$ Nm^3/h bis maximal $V=1500$ Nm^3/h aufweist, bevorzugt $V=800$ Nm^3/h liegt,



- die Temperatur des Fluides (22,23) vor der Eindüsung in den Schachtreaktor zwischen minimal $T=100^{\circ}\text{C}$ bis maximal $T=200^{\circ}\text{C}$ liegt, bevorzugt bei $T=150^{\circ}\text{C}$ liegt,
 - der Druck des Fluides (22,23) vor der Eindüsung in den Schachtreaktor als Überdruck zwischen minimal $p=100$ mbarü bis maximal $p=2000$ mbarü liegt, bevorzugt bei $p=1000$ mbarü liegt,
 - der Volumenstrom des Fluides (22,23) vor der Eindüsung in den Schachtreaktor zwischen $V=5$ Nm^3/h bis $V=300$ Nm^3/h liegt, bevorzugt bei $V=75$ Nm^3/h liegt,
 - als Fluid (22,23) Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf(H_2O) verwendet werden, bevorzugt Wasserdampf(H_2O)
4. Die erfindungsgemäße Verrichtung zur thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma umfassend einen Schachtreaktor (4), die Doppelschleusen (2,3), die Struktur aus Düsenringen (19), den Plasmarohren (36,43,45,47), Zyklon (6), der Rückführschnecke (10), einem rotierenden Schaber (11), einer Austragschnecke (12), einer Armatur an der Austragschnecke (14),

Gekennzeichnet dadurch, dass

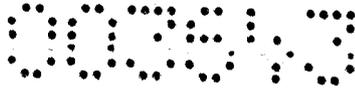
- das Rohgas(5) aus dem Schachtreaktor(4) herausgesaugt wird
 - die Lage des Ansaugstutzens über der Struktur der Düsenringe (19) und unter der Struktur der Düsenringe (19) liegt, bevorzugt unter der Struktur der Düsenringe(19)
 - der biogene Stoff (18) in Richtung der Schwerkraft auf Grund seines Eigengewichtes bewegt wird abhängig von dem ausgetragenen Kohleanteil am Unterteil des Schachtreaktors
 - die Kohle mit einem rotierenden Schaber(11) der Schnecke zugeführt wird
 - die Armatur (14) an der Austragschnecke gasdicht ausgeführt ist
 - die im Zyklon (6) abgeschiedene Kohle (8) mit einer Schnecke(10) rückgeführt wird
 - die Plasmarohre(36,43,45,47) am Umfang des Schachtreaktors symmetrisch angeordnet sind, minimal 3 Plasmarohre bis maximal 12 Plasmarohre, bevorzugt 4 Plasmarohre am Umfang,
 - das Plasmarohre zu Gruppen zusammengefasst sind, minimal 3 Gruppen bis maximal 12 Gruppen, bevorzugt 4 Gruppen, die mit dem Fluid versorgt werden,
 - die Doppelschleusen (2,3) als bewegliche Klappen, jeder Klappe schwenkbar mit einem Öffnungswinkel von 90° , jede Klappe mit beidseitig zwei pneumatischen zylindrischen Antrieben für die Bewegung der Klappe ausgeführt sind
 - die Doppelschleusen (2,3) und die eingebauten beweglichen Klappen technisch gasdicht ausgeführt sind
 - die Doppelschleusen (2,3) und die eingebauten beweglichen Klappen technisch druckfest ausgeführt sind, minimal auf einen Überdruck $p=6$ barü maximal auf $p=16$ barü, bevorzugt auf $p=10$ barü Überdruck.
5. Die erfindungsgemäße Verrichtung zur Steuerung der thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma nach Anspruch 4, umfassend einen Tank(51), einer Fördereinrichtung(52), einem Wärmetauscher (54), einer Druckmessung (53, 57), einer Temperaturmessung (56,58),



einer Volumenstrommessung (59), Regelarmaturen (30,44,46,48), der Energieversorgung (64), der AC/DC Konverter (60,61,62,63), der elektr. Leistungsmessung (65,66,67,68)

Gekennzeichnet dadurch, dass

- das Fluid, das im Tank (51) gespeichert wird, Wasser ist
- Das Tankvolumen (51) minimal $V=1\text{m}^3$, maximal $V=5\text{m}^3$, bevorzugt $V=2\text{m}^3$ aufweist,
- die Fördereinrichtung (52) eine Wasserpumpe, in Form einer Kreiselpumpe ist, die das Wasser aus dem Tank zum Verdampfer fördert,
- der Wärmetauscher (54) ein Verdampfer ist, der Sattedampf erzeugt,
- der Wärmetauscher (54) elektrisch beheizt wird, um Sattedampf zu erzeugen,
- der Wasserdampf aus dem Verdampfer als Sattedampf erzeugt wird, mit einer Temperatur minimal von $T=100^\circ\text{C}$ bis $T=200^\circ\text{C}$, bevorzugt $T=120^\circ\text{C}$, einem Sattedampfdruck von $p=100\text{mbar}$ bis $p=2000\text{mbar}$, bevorzugt $p=1000\text{mbar}$,
- überschüssiges Wasser dem Tank (51) rückgeführt wird
- der Sattedampf mit einem Wärmetauscher (15), der die latente Wärme im Rohgas(7) ausnützt, überhitzt wird,
- der überhitzte Wasserdampf eine Temperatur von minimal $T=120^\circ\text{C}$ bis maximal $T=200^\circ\text{C}$, bevorzugt $T=150^\circ\text{C}$ aufweist
- der überhitzte Wasserdampf über Regelarmaturen(44,46,48,30) im Volumenstrom geregelt wird, minimal $V=1\text{m}^3/\text{h}$ bis maximal $V=50\text{m}^3/\text{h}$, bevorzugt $V=10\text{m}^3/\text{h}$,
- die Mikrowellengeneratoren (39) mit elektrischer Energie über die AC/DC Konverter (60,61,62,63) versorgt werden, minimal mit einer elektrischen Leistung $P=10\text{ kW}$, maximal mit einer elektrischen Leistung $P=75\text{ kW}$, bevorzugt mit einer elektrischen Leistung $P=30\text{ kW}$
- die AC/DC Konverter von einer elektrischen Energieversorgung(64) gespeist werden, minimal mit einer elektrischen Leistung $P=30\text{ kW}$ bis maximal mit einer elektrischen Leistung $P=300\text{ kW}$, bevorzugt mit einer elektrischen Leistung $P=150\text{ kW}$,
- das Wasserdampfplasma(36,43,45,47) eine Temperatur aufweist minimal 150°C , maximal 600°C , bevorzugt 200°C ,
- die Druckmessung (53) nach der Pumpe (52) einen Messbereich aufweist, minimal einen Überdruck $p=0\text{ bar}$, maximal einen Überdruck $p=6\text{ bar}$,
- die Temperaturmessung(56) nach dem Verdampfer(54) einen Messbereich aufweist, minimal eine Temperatur $T=0^\circ\text{C}$ bis maximal eine Temperatur $T=200^\circ\text{C}$,
- die Druckmessung (53) nach dem Überhitzer(15) einen Messbereich aufweist, minimal einen Überdruck $p=0\text{ bar}$, maximal einen Überdruck $p=6\text{ bar}$,
- die Temperaturmessung(58) nach dem Überhitzer einen Messbereich aufweist, minimal eine Temperatur $T=0^\circ\text{C}$, maximal eine Temperatur $T=200^\circ\text{C}$,
- die Volumenstrommessung(59) einen Messbereich aufweist, minimal $V=0\text{ Nm}^3/\text{h}$, maximal $V=100\text{ Nm}^3/\text{h}$,



- die elektrische Leistungsmessung (65,66,67,68) einen Messbereich aufweist, minimal $P = 0 \text{ kW}$ bis maximal $P=100 \text{ kW}$

6. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Steuerung nach Anspruch 4

Gekennzeichnet dadurch, dass

- das Fluid, das im Tank(51) gespeichert wird, Kohlendioxid(CO_2) ist
- der Druck im Tank(51) minimal einen Druck $p=2 \text{ bar}$, maximal einen Druck $p=70 \text{ bar}$, bevorzugt einen Druck $p=10 \text{ bar}$ aufweist,
- das Kohlendioxid im Tank(51) in gasförmiger Phase vorliegt,
- der Wärmetauscher (54) ein Vorwärmer ist, der elektrisch beheizt wird (55),
- die Temperatur (56) des vorgewärmten Kohlendioxid(CO_2) minimal $T= 50^\circ\text{C}$, maximal $T=200^\circ\text{C}$, bevorzugt $T=100^\circ\text{C}$ aufweist
- die Fördereinrichtung(52) eine Entspannungsvorrichtung ist, die den Druck vom Tank auf einen Druck (53) vor dem Vorwärmer entspannt, der minimal $p = 1 \text{ bar}$, maximal $p = 10 \text{ bar}$, bevorzugt $p = 3 \text{ bar}$ ist,
- kein überschüssiges Kohlendioxid(CO_2) anfällt, da es bereits dampfförmig ist,
- das Kohlendioxid mit einem Wärmetauscher (15), der die latente Wärme im Rohgas ausnützt, überhitzt wird,
- das erhitzte Kohlendioxid(CO_2) eine Temperatur von minimal $T=120^\circ\text{C}$ bis maximal $T=200^\circ\text{C}$, bevorzugt $T=150^\circ\text{C}$ aufweist,
- das erhitzte Kohlendioxid über Regelarmaturen(30,44,45,48) im Volumen geregelt wird, minimal $V=1 \text{ m}^3/\text{h}$, maximal $V=50 \text{ m}^3/\text{h}$, bevorzugt $V=10 \text{ m}^3/\text{h}$,
- das Kohlendioxidplasma eine Temperatur aufweist minimal $T=150^\circ\text{C}$, maximal $T=600^\circ\text{C}$, bevorzugt $T=200^\circ\text{C}$

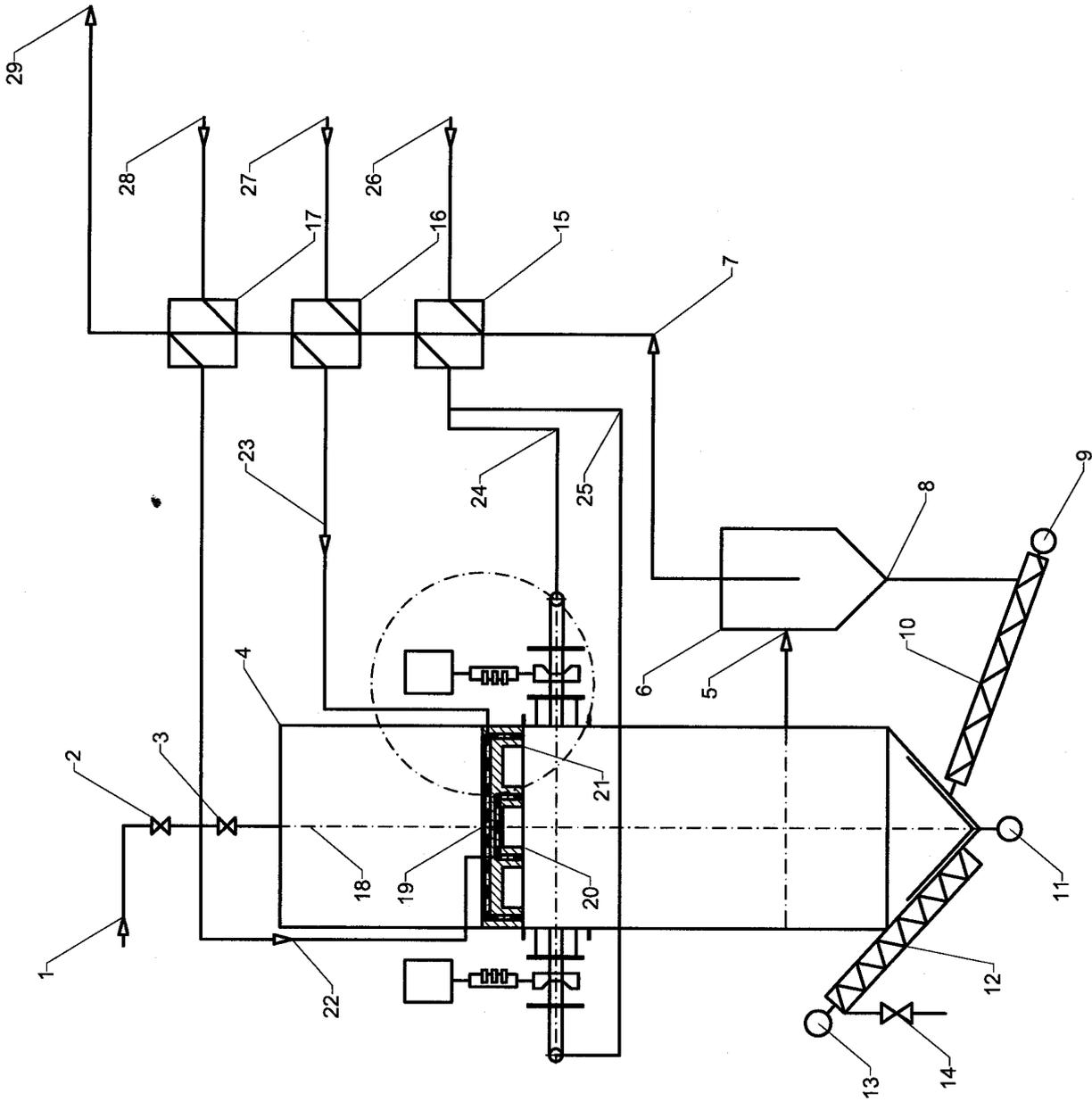


Abbildung: 1

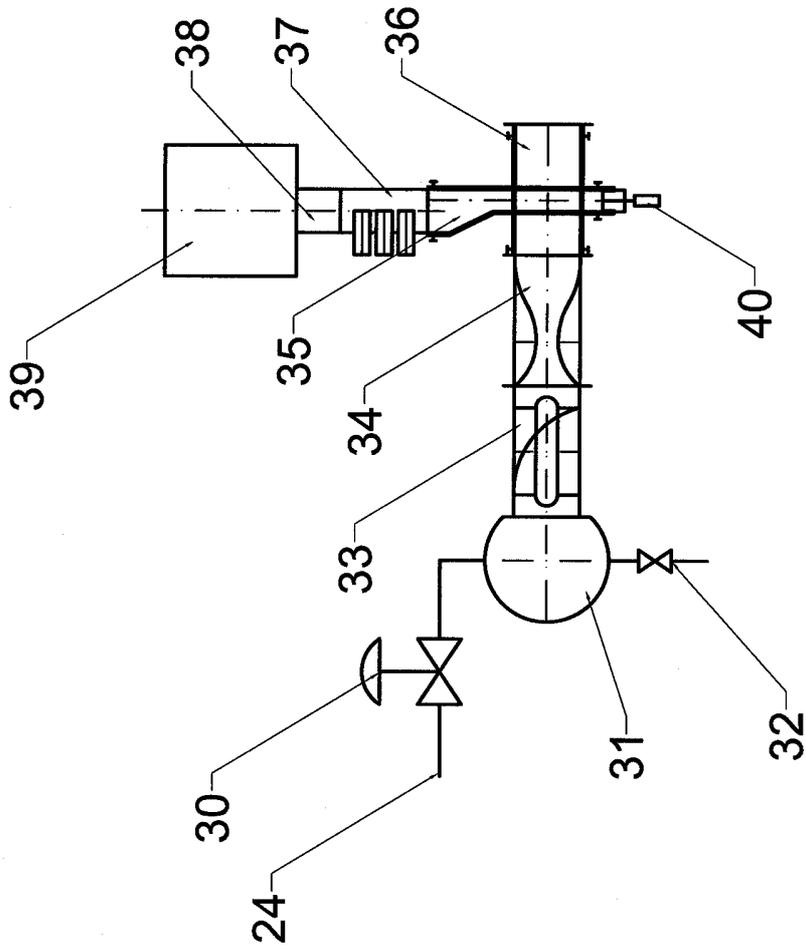


Abbildung: 2

00343

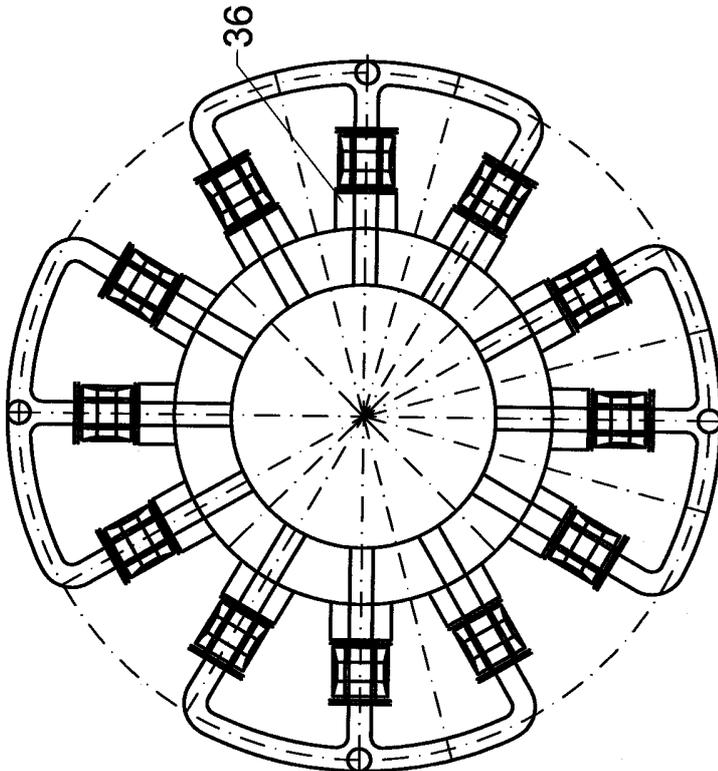
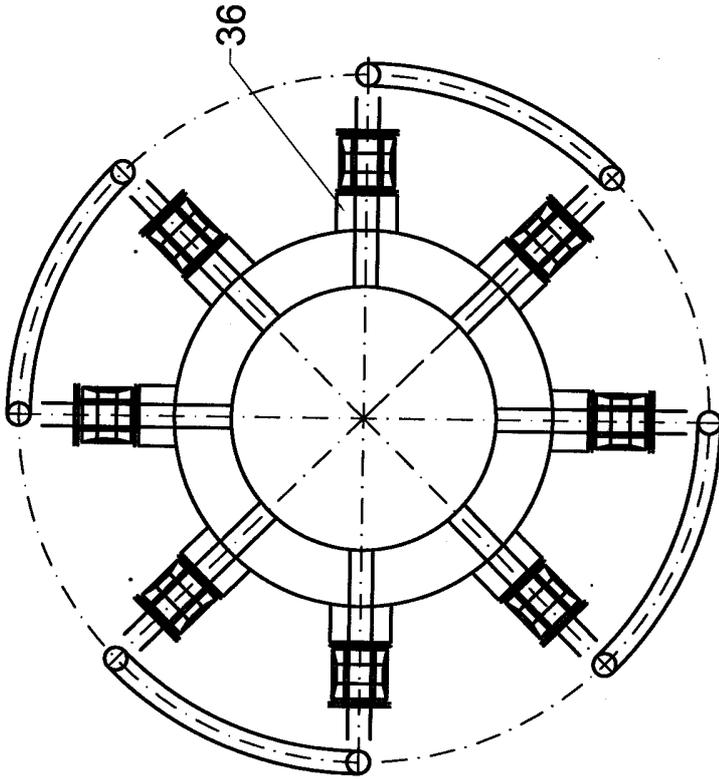


Abbildung: 3

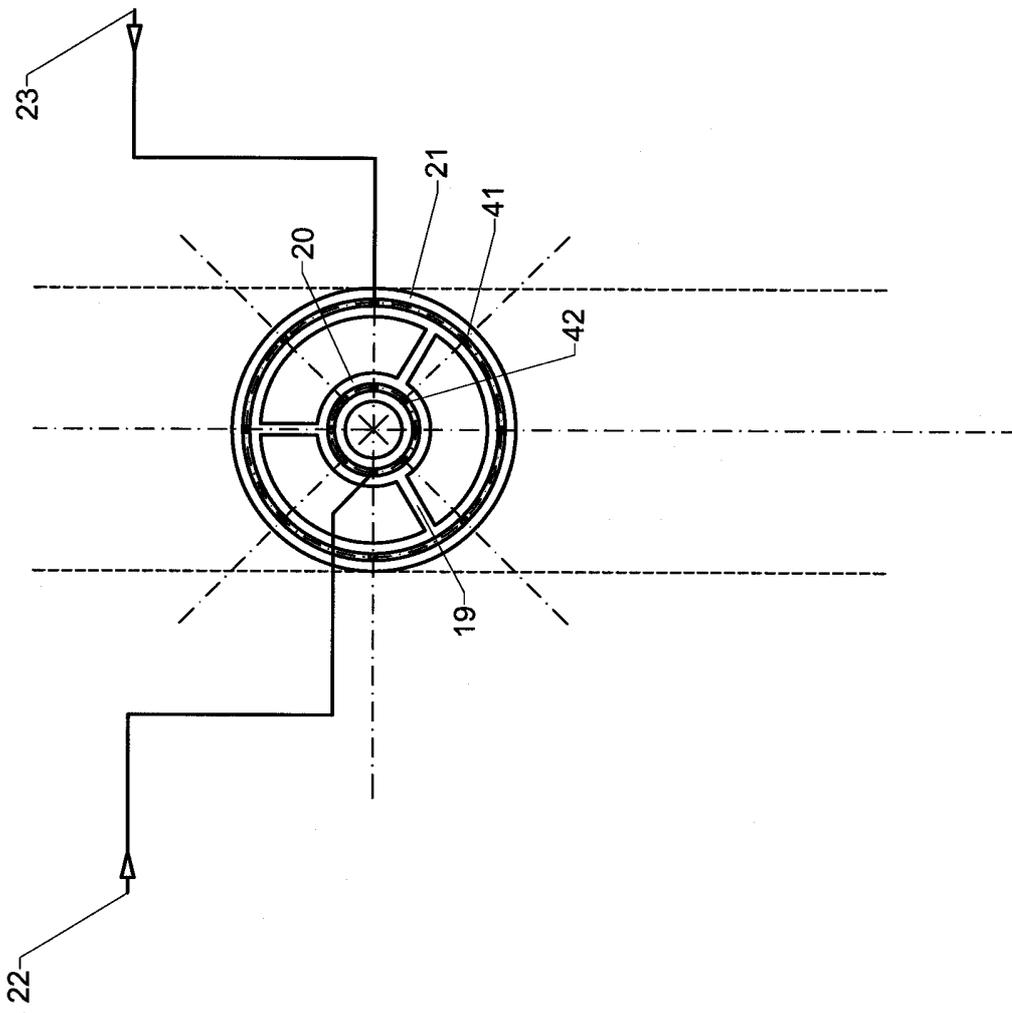


Abbildung: 4

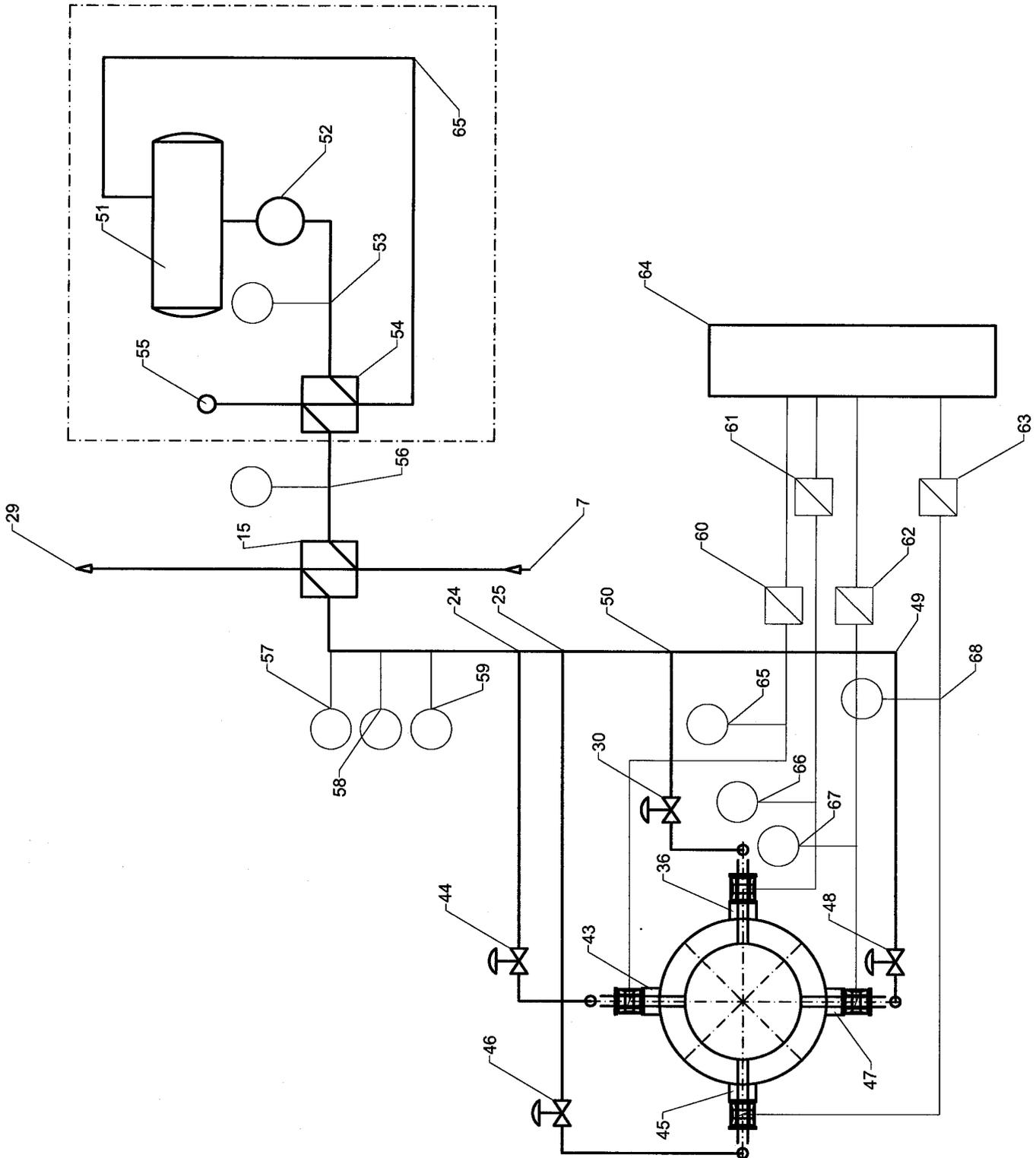


Abbildung: 5

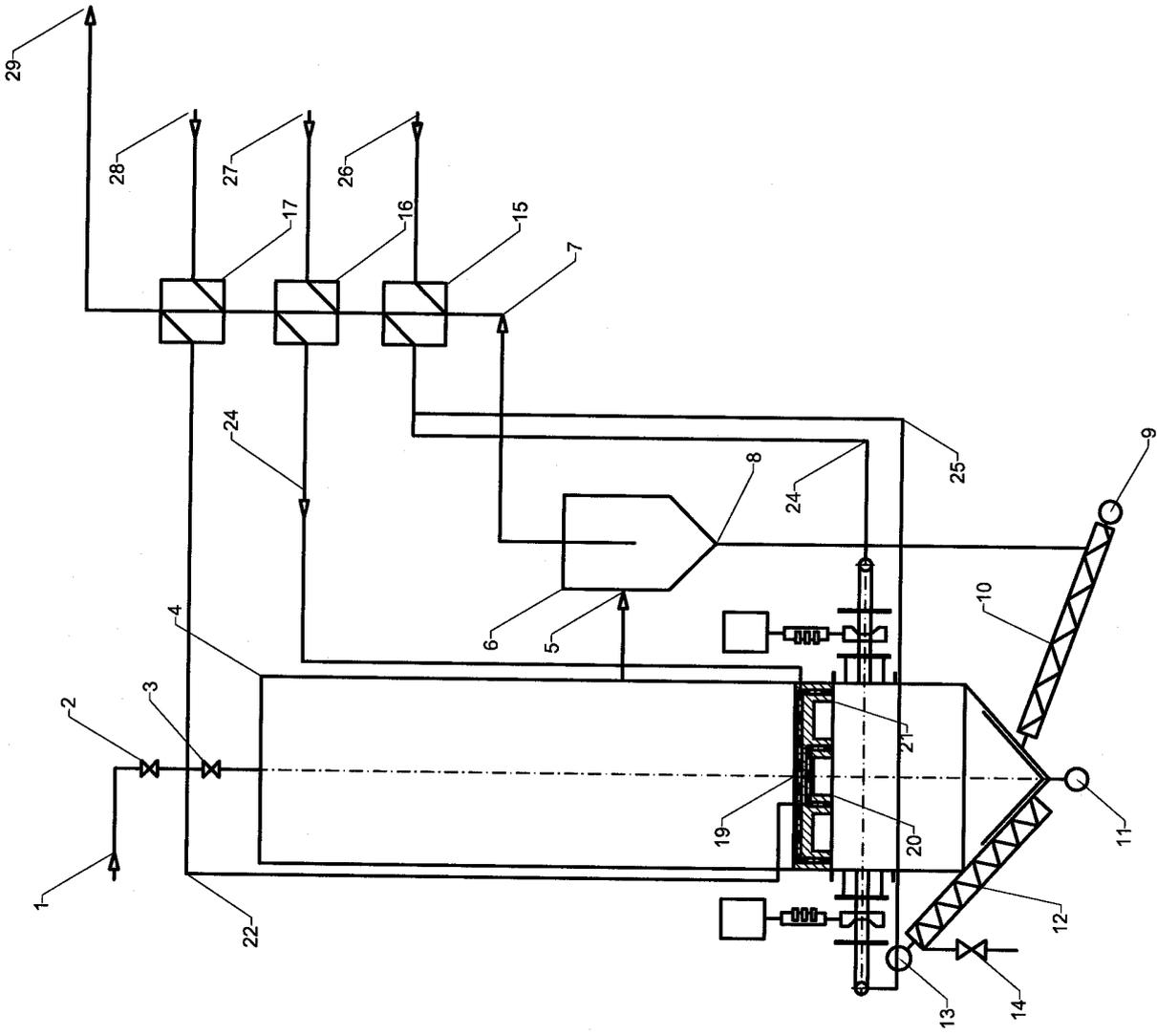


Abbildung: 6

Ansprüche

1. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma umfassend das Fluid (24,25,49,50) das zu Plasma umgewandelt werden soll, der Regelarmatur (30), einer Vorkammer (31), einem Drallelement (33), einer Düse(34) der Mikrowellengenerator (39), einem Isolator (37), einem Modulator(37), dem Wellenleiter(35) und dem Plasmarohr (36), dem Schachtreaktor (4), einer Struktur aus Düsenringen (19),

Gekennzeichnet dadurch, dass

- als Fluid (24,25,49,50), das in den Plasmazustand übergeführt wird, Kohlendioxid(CO₂) und überhitzter Wasserdampf(H₂O) verwendet werden, bevorzugt überhitzter Wasserdampf(H₂O)
 - die Temperatur des Fluides(24,25,49,50) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen minimal T=100 (°C) bis maximal T=200 (°C), bevorzugt bei T=150 (°C) liegt
 - der Druck des Fluides(24,25,49,50) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen minimal p=100 (mbar(ü)) bis maximal p=2000 (mbar(ü)), bevorzugt bei p=1000 (mbar(ü)) liegt
 - die elektrische Leistung des Mikrowellengenerators zwischen minimal P=10 (kW) bis maximal P=100 (kW), bevorzugt bei P=75 (kW) liegt.
 - der Volumenstrom des Fluides(24,25,49,50) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen minimal V=5 (Nm³/h) bis maximal V=300 (Nm³/h), bevorzugt bei V=75 (Nm³/h) liegt,
 - der Modulator (37) eine Abstimmung auf die Frequenz der Mikrowellen von minimal f = 900 (MHz) bis maximal f=24500 (MHz), bevorzugt f=2450 (MHz), ermöglicht
 - der Drallelement (36) dazu dient, dem Fluid vor der Düse(34) einen starken Rotationsdrill zu verleihen
 - die Düse (34) eine Beschleunigung des Fluides auf Überschall mit einer Schallgeschwindigkeit minimal Ma=1,5 bis maximal Ma= 7, bevorzugt Ma=5 ermöglicht,
 - nach der Düse (34) im Plasmarohr (36) die Stoßwellen erzeugt durch die Düse weitergeleitet werden und so der benötigte thermodynamische Nichtgleichgewichtszustand im Fluid erreicht wird
 - über die Struktur (19) der Düsenringe (20,21) Kohlendioxid(CO₂) und Wasserdampf(H₂) vor der reaktiven Plasmazone im Schacht eingebracht werden können.
 - die Temperatur der über die Struktur (19) der Düsenringe (20,21) eingebrachten Gase und Dämpfe minimal bei T=100 (°C) bis maximal T=200 (°C), bevorzugt bei einer Temperatur T=150 (°C) liegt,
 - der Druck der über die Struktur (19) der Düsenringe (20,21) eingebrachten Gase und Dämpfe minimal bei einem Überdruck von minimal p=5 (mbar(ü)) bis maximal 100 (mbar(ü)), bevorzugt bei p=10 (mbar(ü)) liegt,
 - mit der Regelarmatur (30,44,45,47) der Massenstrom des Fluides vor dem Plasmarohr der Plasmageneratoren in einem Betriebsbereich von minimal m-wt=30 (%) bis maximal m-wt=80 (%), bevorzugt in einem Betriebsbereich von m-wt=50 (%) reduziert werden kann,
2. Die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Anspruch 1, umfassend einen Wärmetauscher (15) zum Vorwärmen des Fluides, das zu Plasma umgewandelt werden soll,

Gekennzeichnet dadurch, dass

- die Temperatur des Produktgases (7) aus dem Zyklon(6) minimal $T=500$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal $T=800$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt $T=650$ ($^{\circ}\text{C}$) hat,
 - die Temperatur des Produktgases (7) mit dem Wärmetauscher (15) reduziert wird, in dem die Wärme auf das zu erwärmende Fluid(24) für die Plasmaerzeugung minimal um eine Temperaturdifferenz von $dT=50$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal um $dT=250$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt um eine Temperaturdifferenz von $dT=100$ ($^{\circ}\text{C}$) übertragen wird,
 - der Druck des Produktgases (7) einen Unterdruck gegenüber dem Umgebungsdruck von $p=10$ (mbar(u)) bis maximal $p=400$ (mbar(u)), bevorzugt $p=100$ (mbar(u)) aufweist,
 - der Volumenstrom des Produktgases (7) einen Wert minimal bei $V=50$ (Nm^3/h) bis maximal $V=1500$ (Nm^3/h), bevorzugt $V=800$ (Nm^3/h) aufweist,
 - die Temperatur des Fluides (24,25,49,50) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen minimal $T=100$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal $T=200$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt bei einer Temperatur $T=150$ ($^{\circ}\text{C}$) liegt,
 - der Druck des Fluides (24,25,49,50) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen $p=100$ (mbar(ü)) bis maximal $p=2000$ (mbar(ü)), bevorzugt bei $p=1000$ (mbar(ü)) gegenüber dem Umgebungsdruck liegt,
 - der Volumenstrom des Fluides (24,25,49,50) vor der Umwandlung in den Plasmazustand zwischen $V=5$ (Nm^3/h) bis maximal $V=300$ (Nm^3/h) liegt, bevorzugt bei $V=75$ (Nm^3/h) liegt,
3. Die erfindungsgemäße Vorrichtung nach Anspruch 1, umfassend einen Wärmetauscher (16,17) zum Vorwärmen des Zusatzfluides(22,23), das über die Struktur(19) der Düsenringe (20,21) in den Schachtreaktor(4) eingeströmt wird,

Gekennzeichnet dadurch, dass

- die Temperatur des Produktgases (7) nach dem Wärmetauscher(15) minimal $T=200$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal $T=700$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt eine Temperatur $T=500$ ($^{\circ}\text{C}$) hat,
- die Temperatur des Produktgases (7) mit dem Wärmetauscher (16), indem die Wärme auf das zu erwärmende Fluid(23) übertragen wird, minimal um eine Temperaturdifferenz von minimal $dT=50$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal um $dT=250$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt um eine Temperaturdifferenz von $dT=100$ ($^{\circ}\text{C}$) reduziert wird,
- die Temperatur des Produktgases (7) mit dem Wärmetauscher (17), indem die Wärme auf das zu erwärmende Fluid(22) übertragen wird, minimal um eine Temperaturdifferenz von $dT=50$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal um $dT=250$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt um eine Temperaturdifferenz von $dT=100$ ($^{\circ}\text{C}$) reduziert wird,
- der Druck des Produktgases(7) einen Unterdruck minimal von $p=10$ (mbar(u)) bis maximal $p=400$ (mbar(u)), bevorzugt $p=100$ (mbar(u)) aufweist,
- der Volumenstrom des Produktgases(7) einen Wert minimal bei $V=50$ (Nm^3/h) bis maximal $V=1500$ (Nm^3/h), bevorzugt $V=800$ (Nm^3/h) aufweist,
- die Temperatur des Fluides (22,23) vor der Einströmung in den Schachtreaktor(4) zwischen minimal $T=100$ ($^{\circ}\text{C}$) bis maximal $T=200$ ($^{\circ}\text{C}$), bevorzugt bei $T=150$ ($^{\circ}\text{C}$) liegt,
- der Druck des Fluides (22,23) vor der Einströmung in den Schachtreaktor(4) einen Wert minimal $p=100$ (mbar(ü)) bis maximal $p=2000$ (mbar(ü)), bevorzugt bei $p=1000$ (mbar(ü)) aufweist,

- der Volumenstrom des Fluides (22,23) vor der Einströmung in den Schachtreaktor(4) zwischen minimal $V=5$ (Nm^3/h) bis maximal $V=300$ (Nm^3/h), bevorzugt bei $V=75$ (Nm^3/h) liegt,
 - als Fluid (22,23) Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf(H_2O) verwendet werden, bevorzugt Wasserdampf(H_2O)
4. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma umfassend einen Schachtreaktor (4), die Doppelschleusen (2,3), die Struktur aus Düsenringen (19), den Plasmarohren (36,43,45,47), Zyklon (6), der Rückführschnecke (10), einem rotierenden Schaber (11), einer Austragschnecke (12), einer Armatur an der Austragsschnecke (14),

Gekennzeichnet dadurch, dass

- der über die Doppelschleuse (2,3) eingebrachte biogene Stoffstrom minimal $m=50$ (kg/h) bis maximal $m=500$ (kg/h), bevorzugt $m=300$ (kg/h) beträgt.
- der über die Doppelschleuse (2,3) eingebrachte biogene Stoffstrom einen Wassergehalt minimal $m\text{-wt}\%=10$ (%) bis maximal $m\text{-wt}\%=25$ (%), bevorzugt $m\text{-wt}\%=15$ (%) hat.
- im Schachtreaktor(4) ein Unterdruck gegenüber dem Umgebungsdruck minimal $p=5$ ($\text{mbar}(u)$) bis maximal $p=200$ ($\text{mbar}(u)$), bevorzugt bei $p=100$ ($\text{mbar}(u)$) herrscht,
- das Produktgas(5) aus dem Schachtreaktor(4) herausgesaugt wird
- die Lage des Ansaugstutzens des Produktgases(5) über der Struktur der Düsenringe (19) und unter der Struktur der Düsenringe (19) liegt, bevorzugt unter der Struktur der Düsenringe(19)
- der biogene Stoff (18) sich in Richtung der Schwerkraft auf Grund seines Eigengewichtes bewegt abhängig von dem ausgetragenen Kohleanteil mit der Austragsschnecke (12)
- die bei der thermochemischen Umwandlung anfallende unverbrauchte Kohle am Boden des Schachtreaktors(4) mit einem rotierenden Schaber(11) der Austragsschnecke(12) zugeführt wird
- die Armatur (14) an der Austragsschnecke(12) gasdicht ausgeführt ist
- die im Zyklon (6) abgeschiedene Kohlepartikel (8) mit einer Schnecke(10) in den Schachtreaktor(4) rückgeführt wird
- die Plasmarohre(36,43,45,47) am Umfang des Schachtreaktors symmetrisch minimal 3 Plasmarohre bis maximal 12 Plasmarohre, bevorzugt 4 Plasmarohre am Umfang angeordnet sind,
- das Plasmarohre zu Gruppen minimal 3 Gruppen bis maximal 12 Gruppen, bevorzugt 4 Gruppen zusammengefasst sind,
- die Doppelschleusen (2,3) als bewegliche Klappen, jede Klappe schwenkbar mit einem Öffnungswinkel von 90° , jede Klappe mit beidseitig zwei pneumatischen zylindrischen Antrieben für die Bewegung der Klappe ausgeführt sind
- die Doppelschleusen (2,3) in Form der Klappen technisch gasdicht ausgeführt sind
- die Doppelschleusen (2,3) in Form der Klappen minimal auf einen Überdruck $p=6$ ($\text{bar}(\ddot{u})$) maximal auf $p=16$ ($\text{bar}(\ddot{u})$), bevorzugt auf $p=10$ ($\text{bar}(\ddot{u})$) technisch druckfest ausgeführt sind.

5. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Steuerung der thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma nach Anspruch 1, umfassend einen Tank(51), einer Fördereinrichtung(52), einem Wärmetauscher (54), einer Druckmessung (53, 57), einer Temperaturmessung (56,58), einer Volumenstrommessung (59), Regelarmaturen (30,44,46,48), der Energieversorgung (64), der AC/DC Konverter (60,61,62,63), der elektr. Leistungsmessung (65,66,67,68)

Gekennzeichnet dadurch, dass

- das Fluid, das im Tank (51) gespeichert wird, Wasser ist
- Das Tankvolumen (51) minimal $V=1 \text{ (m}^3\text{)}$, maximal $V=5 \text{ (m}^3\text{)}$, bevorzugt $V=2 \text{ (m}^3\text{)}$ aufweist,
- die Fördereinrichtung (52) eine Wasserpumpe, in Form einer Kreiselpumpe ist, die das Wasser aus dem Tank zum Verdampfer fördert,
- der Wärmetauscher (54) ein Verdampfer ist, der Sattdampf erzeugt,
- der Wärmetauscher (54) elektrisch beheizt wird, um Sattdampf zu erzeugen,
- der Wasserdampf(26) aus dem Verdampfer(54) als Sattdampf mit einer Temperatur minimal von $T=100 \text{ (}^\circ\text{C)}$ bis maximal $T=200 \text{ (}^\circ\text{C)}$, bevorzugt $T=120 \text{ (}^\circ\text{C)}$, einem Sattdampfdruck von $p=100 \text{ (mbar(ü))}$ bis maximal $p=2000 \text{ (mbar(ü))}$, bevorzugt $p=1000 \text{ (mbar(ü))}$ erzeugt wird,
- überschüssiges Wasser(65) dem Tank (51) rückgeführt wird
- der Sattdampf(26) mit einem Wärmetauscher (15), der die latente Wärme aus dem Produktgas(7) ausnützt, überhitzt wird,
- der überhitzte Wasserdampf(24,25,49,50) eine Temperatur von minimal $T=120 \text{ (}^\circ\text{C)}$ bis maximal $T=200 \text{ (}^\circ\text{C)}$, bevorzugt $T=150 \text{ (}^\circ\text{C)}$ aufweist
- der überhitzte Wasserdampf über Regelarmaturen(44,46,48,30) im Volumenstrom minimal $V=1 \text{ (m}^3\text{/h)}$ bis maximal $V=50 \text{ (m}^3\text{/h)}$, bevorzugt $V=10 \text{ (m}^3\text{/h)}$ geregelt wird,
- die Mikrowellengeneratoren (39) mit elektrischer Energie über die AC/DC Konverter (60,61,62,63) minimal mit einer elektrischen Leistung $P=10 \text{ (kW)}$, maximal mit einer elektrischen Leistung $P=75 \text{ (kW)}$, bevorzugt mit einer elektrischen Leistung $P=30 \text{ (kW)}$ versorgt werden,
- die AC/DC Konverter(60,61,62,63) von einer elektrischen Energieversorgung(64) minimal mit einer elektrischen Leistung $P=30 \text{ (kW)}$ bis maximal mit einer elektrischen Leistung $P=300 \text{ (kW)}$, bevorzugt mit einer elektrischen Leistung $P=150 \text{ (kW)}$ versorgt werden,
- das Wasserdampfplasma(36,43,45,47) eine Temperatur minimal $T=150 \text{ (}^\circ\text{C)}$, maximal $T=600 \text{ (}^\circ\text{C)}$, bevorzugt $T=200 \text{ (}^\circ\text{C)}$ aufweist
- die Druckmessung (53) nach der Pumpe (52) einen Messbereich minimal einen Wert $p=0 \text{ (bar(ü))}$, maximal einen Überdruck $p=6 \text{ (bar(ü))}$ aufweist
- die Temperaturmessung(56) nach dem Verdampfer(54) einen Messbereich minimal eine Temperatur $T=0 \text{ (}^\circ\text{C)}$ bis maximal eine Temperatur $T=200 \text{ (}^\circ\text{C)}$ aufweist,
- die Druckmessung (57) nach dem Überhitzer(15) einen Messbereich minimal Wert von $p=0 \text{ (bar(ü))}$, maximal einen Überdruck $p=6 \text{ (bar(ü))}$ aufweist,
- die Temperaturmessung(58) nach dem Überhitzer einen Messbereich minimal eine Temperatur $T=0 \text{ (}^\circ\text{C)}$, maximal eine Temperatur $T=200 \text{ (}^\circ\text{C)}$ aufweist,



- die Volumenstrommessung(59) einen Messbereich minimal $V=0$ (Nm^3/h), maximal $V=100$ (Nm^3/h) aufweist,
- die elektrische Leistungsmessung (65,66,67,68) einen Messbereich minimal $P = 0$ (kW) bis maximal $P=100$ (kW) aufweist.

6. Die erfindungsgemäße Vorrichtung zur Steuerung der thermochemischen Vergasung mit Mikrowellenplasma nach Anspruch 5, umfassend einen Tank(51), einer Fördereinrichtung(52), einem Wärmetauscher (54), einer Druckmessung (53, 57), einer Temperaturmessung (56,58), einer Volumenstrommessung (59), Regelarmaturen (30,44,46,48), der Energieversorgung (64), der AC/DC Konverter (60,61,62,63), der elektr. Leistungsmessung (65,66,67,68)

Gekennzeichnet dadurch, dass

- das Fluid, das im Tank(51) gespeichert wird, flüssiges Kohlendioxid(CO_2) ist
- der Druck im Tank(51) minimal einen Wert von $p=2$ (bar(ü)), maximal einen Druck $p=70$ (bar(ü)), bevorzugt einen Druck $p= 50$ (bar(ü)) aufweist,
- das Kohlendioxid im Tank(51) in flüssiger Phase vorliegt,
- der Wärmetauscher (54) ein Vorwärmer ist, der elektrisch beheizt wird (55),
- die Temperatur (56) des vorgewärmten Kohlendioxid(CO_2) einen Werte minimal $T= 50$ ($^\circ\text{C}$), maximal $T=200$ ($^\circ\text{C}$), bevorzugt $T=100$ ($^\circ\text{C}$) beträgt,
- die Fördereinrichtung(52) eine Entspannungsvorrichtung in Form einer Pumpe ist, die den Druck vom Tank(51) auf einen Druck (53) vor dem Vorwärmer entspannt, der minimal $p = 1$ (bar(ü)), maximal $p = 10$ (bar(ü)), bevorzugt $p = 3$ (bar(ü)) ist,
- das Kohlendioxid(CO_2) mit einem Wärmetauscher (15), der die latente Wärme im Produktgas(5,7) ausnützt, überhitzt wird,
- das überhitzte Kohlendioxid(CO_2) eine Temperatur von minimal $T=120$ ($^\circ\text{C}$) bis maximal $T=200$ ($^\circ\text{C}$), bevorzugt $T=150$ ($^\circ\text{C}$) aufweist,
- das überhitzte Kohlendioxid(CO_2) über Regelarmaturen(30,44,45,48) im Volumen minimal $V=1$ (m^3/h), maximal $V=50$ (m^3/h), bevorzugt $V=10$ (m^3/h) geregelt wird,
- das Kohlendioxidplasma(36,43,45,47) eine Temperatur minimal $T=150$ ($^\circ\text{C}$), maximal $T=800$ ($^\circ\text{C}$), bevorzugt $T=600$ ($^\circ\text{C}$) aufweist.