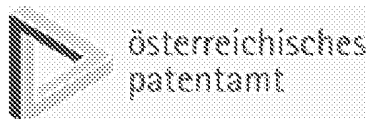


(19)



(10)

AT 518221 A1 2017-08-15

(12)

Österreichische Patentanmeldung

(21) Anmeldenummer: A 55/2016
(22) Anmeldetag: 04.02.2016
(43) Veröffentlicht am: 15.08.2017

(51) Int. Cl.: **C10J 3/06** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 508001 A4
US 5028241 A
WO 2011101022 A1
AT 506919 B1

(71) Patentanmelder:
GS GRUBER-SCHMIDT
1180 WIEN (AT)

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

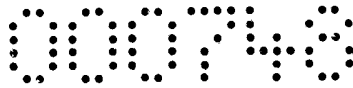
(74) Vertreter:
GRUBER-SCHMIDT JOHANN
1180 WIEN (AT)

(54) **Verfahren zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren zur Erzeugung eines Schwachgases aus biogenen Stoffen**

(57) Die Erfindung des Verfahrens zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren umfasst ein Luftgebläse (2) zum Ansaugen von Luft, die Messung von Druck (12) und Volumenstrom (13) der angesaugten Luft, der Verteilung des Volumenstromes auf vier Regelventile (14, 15, 16, 17), die Vorwärmung der einzelnen Volumenströme über Wärmetauscher (18, 19, 20, 21) und die Verteilung der Luftvolumenströme über einen Düsenboden (45) im Querschnitt des Reaktors. Der Düsenboden besteht aus Düsenringen (22, 23, 24) über die die Luft verteilt wird, Messung der Temperaturen in den Düsenringen (25, 31, 26). Das abgesaugte Rohgas (7) wird Druck (28) und Temperatur (27) gemessen, über einen Zyklon (8) grob gereinigt und dann der Gasreinigung (29) zugeführt und von einem Vakuumverdichter (30) angesaugt, auf dessen Druckseite, Druck (32) und Volumenstrom (33) gemessen werden. Die Erfindung umfasst auch die Ansaugung der Luft (1), die Verdichtung der Luft (34), die Auftrennung der Luft in Sauerstoff (40) und Volumenstrommessung, in einen Stickstoffanteil (37), einen Anteil in der Verwendung als Druckluft (38) und einem Volumenstrom (39) an Kohlendioxid (38) der dem Sauerstoff zugemischt wird.

Beschreibung

Die Erfindung des Verfahrens zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren umfasst ein Luftgebläse(2) zum Ansaugen von Luft, die Messung von Druck(12) und Volumenstrom(13) der angesaugten Luft, der Verteilung des Volumenstromes auf vier Regelventile (14,15,16,17) , die Vorwärmung der einzelnen Volumenströme über Wärmetauscher (18,19,20,21) und die Verteilung der Luftvolumenströme über einen Düsenboden(45) im Querschnitt des Reaktors. Der Düsenboden besteht aus Düsenringen (22, 23, 24) über die die Luft verteilt wird, Messung der Temperaturen in den Düsenringen (25,31,26). Das abgesaugte Rohgas(7) wird Druck(28) und Temperatur(27) gemessen, über einen Zyklon (8) grob gereinigt und dann der Gasreinigung (29) zugeführt und von einem Vakuumverdichter(30) angesaugt, auf dessen Druckseite, Druck (32) und Volumenstrom(33) gemessen werde. Die Erfindung umfasst auch die Ansaugung der Luft(1), die Verdichtung der Luft (34), die Auftrennung der Luft in Sauerstoff(40) und Volumenstrommessung, in einen Stickstoffanteil (37), einem Anteil in der Verwendung als Druckluft (38) und einem Volumenstrom (39) an Kohlendioxid (38) der dem Sauerstoff zugemischt wird.

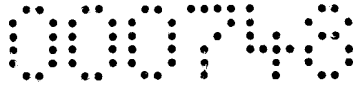


Verfahren zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren zur Erzeugung eines Schwachgases aus biogenen Stoffen

Die Erfindung des Verfahrens zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren zur Erzeugung eines Schwachgases aus biogenen Stoffen, umfasst einen Verdichter(2) zum Ansaugen von Luft, die Messung von Druck(12) und Volumenstrom(13) der angesaugten Luft, der Verteilung des Volumenstromes auf vier Regelventile (14,15,16,17) , die Vorwärmung der einzelnen Volumenströme über Wärmetauscher (18,19,20,21) und die Verteilung der Luftvolumenströme über einen Düsenboden im Querschnitt des Reaktors. Der Düsenboden(45) besteht aus Düsenringen (22, 23, 24) über die die Luft verteilt wird, Messung der Temperaturen(24, 31, 25) in den Düsenringen. Das abgesaugte Rohgas(7) wird Druck(28) und Temperatur(27) gemessen, über einen Zyklon (8) grob gereinigt und dann der Gasreinigung (29) zugeführt und von einem Vakuumverdichter(30) weiterbefördert, auf dessen Druckseite, Druck (32) und Volumenstrom(33) gemessen wird. Die Erfindung umfasst auch die Ansaugung der Luft(1), die Verdichtung der Luft (34), die Auftrennung der Luft in Sauerstoff(40) mit zugehöriger Volumenstrommessung(40), in einen Stickstoffanteil (37), einem Anteil in der Verwendung als Druckluft (38) und einem Volumenstrom (39) an Kohlendioxid (38) der dem Sauerstoff zugemischt wird und die Vorwärmung des Gasstromes (41) über den Gas Wärmetauscher (10).

Die Verwendung von biogenen Stoffen zur Energiegewinnung ist bekannt. Die biogenen Stoffe sind charakterisiert durch den Anteil an Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H_2) und Sauerstoff (O_2). Von untergeordneter Bedeutung ist der Stickstoffanteil (N_2), der nur als inertes Gas in Erscheinung tritt. Durch den hohen Anteil an Kohlenstoff(C) und Wasserstoff(H_2) kann im Zuge der thermochemischen Umwandlung ein Kohlenstoffmonoxid (CO) und Wasserstoff (H_2) reiches Gas, auch als Schwachgas bezeichnet, erzeugt werden. Durch die Verbrennung (= Oxidation) von Kohlenstoff(C) entsteht Kohlendioxid(CO_2) und Wasserdampf (H_2O). Als biogene Stoffe wird ein Oberbegriff an Biomasse bezeichnet.

In der weiteren Betrachtung wird nur mehr auf feste biogene Stoffe konzentriert, die einen hohen Anteil an Lignin aufweisen, und daher für die fermentative Umwandlung nicht in Betracht kommen. In der Praxis handelt es sich um Substrate aus der Wald- Forstwirtschaft und Holzwirtschaft, sowie der Landwirtschaft um biogene Stoffen, wie Holz, Altholz, Äste, Nadeln, Laub, Rinde, aber auch wie Sträucher, Stroh, Gräser, Maiskolben, Pferdemist, Kuhmist . Der hohe Ligninanteil und der hohe biogene Feststoffanteil sind ideal für die thermochemische Umwandlung, die einen höheren Wirkungsgrad als die mikrobielle und enzymatische Umwandlung (Fermentationsanlage) aufweist. Auch der Flächen und



Volumenbedarf von Anlagen der thermochemischen Umwandlung ist um ein vielfaches höher als der einer Fermentationsanlage. In der weiteren Betrachtungsweise konzentriert man sich auf die thermochemische Umwandlung mit Hilfe von Festbettreaktoren in Schachtbauweise.

Die Verwendung von Festbettreaktoren in Schachtbauweise ist bekannt. Die Schachtbauweise ist in der Regel ein Zylinder in stehender Form, mit einem Austrag am Reaktorboden, der zugleich der Schachtboden ist, und einem Deckel am Reaktorkopf, der zugleich den Schacht am Reaktorkopf abschließt. Der Festbettreaktor besteht aus einer Reaktorschale, die mit einer Ausmauerung, den inneren Kern als Schacht ermöglicht, in dem die thermochemische Umwandlung stattfindet. In einer bekannten Erweiterung wird Luft in den Reaktorschacht über Düsen am Schachtrand eingebracht. Das bedingt, dass nur bei im Durchmesser schmalen Reaktoren, die Randeindüsung der Luft in die Oxidationszone genügt, um die Oxidationszone im gesamten Schachtquerschnitt zu beeinflussen.

Biogene Stoffe kann man mittels des thermochemischen Verfahrens in einem Festbettreaktor in ein Schwachgas und ein Kohle und Asche Gemisch umwandeln. Die biogenen Stoffe auch als Substrat bezeichnet, weisen einen hohen Ligningehalt auf. Die thermochemische Umwandlung basiert auf dem Prinzip der Wärmezuführung, wodurch das Substrat im Reaktor getrocknet, pyrolysiert wird, und das Pyrolysegas mit Hilfe eines Kohlebettes zu den Hauptbestandteilen des Schwachgases reduziert wird, das sind Kohlenmonoxid(CO) und Wasserstoff(H_2), neben Wasserdampf(H_2O), Methan(CH_4), Methanol(CH_3OH), Kohlenwasserstoffen(C_xH_y) und Sauerstoff(O_2) – Kohlenwasserstoffverbindungen($\text{C}_x\text{H}_y\text{O}_z$), besser bekannt unter dem Sammelbegriff Teer.

Man erkennt also, dass die thermochemische Umwandlung Energie in Form von Wärme benötigt, die im Prozess der Umwandlung von Biomasse zu einem Schwachgas im Schachtreaktor erzeugt werden muss. Das hat einerseits den Vorteil, dass das Verfahren einfach ist, und den Nachteil, dass damit eine Limitierung des Umsatzes auf Grund der Schachtform gegeben ist. Bekannt sind die Schachtreaktoren auch als Gleichstromreaktor und Gegenstromreaktor, je nachdem ob das Schwachgas mit der Sinkrichtung der Biomasse ausgesaugt wird (= Gleichstrom) oder das Schwachgas entgegen der Sinkrichtung ausgesaugt wird.

Um den maximalen und optimalen Gasertrag an Schwachgas aus der Festbettvergasung zu gewinnen, und als eine Funktion der Substrattypen, Wassergehalt und Struktur (Körnung) gegeben ist, ist eine Regelung der thermochemischen Umwandlung in einem Festbettvergaser notwendig. Die Regelung umfasst somit den Massenstrom an zugeführter Biomasse, und die Wärmemenge die in der Oxidationszone erzeugt wird. Diesem Substrat - Regelkreis ist der energetische Regelkreis überlagert, der die energetische Leistung der Anlage, den Volumenstrom und den Heizwert des gewonnenen und gereinigten und aufbereiteten Schwachgases umfasst.

Die Aufgabe, die es nun zu lösen gilt, ist wie folgt definiert, die Regelung der Sauerstoffzuführung für die Erzeugung der Wärme in der Oxidationszone und der Verteilung im Schachtbereich des Reaktors, sodass eine gleichmäßige und maximale Gasausbeute im Reaktor erzielt werden kann. Die Aufgabe wird erweitert, indem Sauerstoff aus der Luft gewonnen wird, und der Heizwert des Schwachgases durch Zumischung eines Ballastgases geregelt werden kann.

Das in den Patent *US 6112677* dargestellte Gleichstrom Festbettverfahren zur Erzeugung eines Schwachgases zeigt, dass die Luft aus Träger für den benötigten Sauerstoff über den Reaktorrand eingebracht wird. Zudem wird der Reaktorschacht eingengt, um so den Querschnitt im Schachtverlauf zu verringern. Diese Ausführung hat zwei entscheidende Nachteile, die Verengung des Schachtes und die Luftzuführung am Rand des Reaktorschachtes. Die Luftzuführung über den Rand bedingt nur eine Reichweite von $\sim 30\%$ in das Schachtinnere bezogen auf den Querschnitt. Die Verengung bedingt eine Erhöhung der Durchtrittsgeschwindigkeit der Biomasse und damit die Möglichkeit einer Verstopfung.

Das in dem Patent *WO 2015 107 450 A1* beschriebene Verfahren zur Erzeugung von Schwachgas mit Hilfe von zwei oszillierenden Festbettreaktoren, zeigt dass die Luft als Träger für den benötigten Sauerstoff über den Reaktorrand eingebracht wird. Auch hier zeigt sich, dass die Lösung dieses Patenten nur für sehr schmale Reaktoren geeignet ist. Der Vorteil der hier vorliegenden Erfindung ist es, dass der benötigte Sauerstoff geregelt über den Reaktorquerschnitt eingebracht wird.

Das im Patent *CN 1044 19469 A* dargestellte Festbettverfahren zur Erzeugung eines Schwachgases bringt die Luft und den damit benötigten Sauerstoff über den Reaktorrand ein. Auch hier zeigt sich, dass die Lösung dieses Patenten nur für sehr schmale Reaktoren geeignet ist. Der Vorteil der hier vorliegenden Erfindung ist es, dass der benötigte Sauerstoff geregelt über den Reaktorquerschnitt eingebracht wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Regelung der Sauerstoffzuführung umfasst folgende Komponenten, die die Regelung und das Verfahren ermöglichen. Der Luftsauerstoff (1) wird über ein Gebläse angesaugt und über Regelventile (14,15,16,17) und über den Vorwärmern (18,19,20,21) für Luftsauerstoff dem Düsenboden(22,23,24) zugeführt. Der Düsenboden besteht aus Düsenringen (22,23,24), die die Träger der Verteilerdüsen sind.

Der Düsenboden stellt eine zentrale Komponente dieser Erfindung dar und stellt somit eine erfindungsgemäße Erweiterung der bekannten Schachtreaktoren (Gleichstrom, Gegenstrom) dar.

Der Düsenboden in der vorliegenden Erfindung besteht aus drei Ringen, und je Ring aus vier Segmenten. Die Ringen haben den Radius R_1 , R_2 , R_3 , die damit ermittelten Flächen der Ringe ergeben sich zu

$$r_1 \Rightarrow A_1 = \pi(r_1^2 - r_2^2)$$

$$r_2 \Rightarrow A_2 = \pi(r_2^2 - r_3^2)$$

$$r_3 \Rightarrow A_3 = \pi r_3^2$$

Damit verteilt sich bezogen auf die Ringflächen die am Reaktorkopf eingebrachte Biomasse in folgende Massenanteile bezogen auf die Flächensegmente des Düsenboden:

$$M_{B1} = A_1 \rho_{BM} h$$

$$M_{B2} = A_2 \rho_{BM} h$$

$$M_{B3} = A_3 \rho_{BM} h$$

Die zugehörigen Wärmeanteile, abgeleitet aus der Biomasse aufgeteilt auf die Düsenbodensegmente ergeben sich zu

$$Q_1 = M_{B1} H_u$$

$$Q_2 = M_{B2} H_u$$

$$Q_3 = M_{B3} H_u$$

Daraus ergibt sich folgende Größe: $Q/A = K$, das Verhältnis aus Wärme bezogen auf die Segmentfläche, und das gilt für alle drei Düsenringe. Das Verhältnis K ist für alle drei Segmentflächen konstant. In der Regelung wird als eine Randbedingung daher das Verhältnis K (K_1, K_2, K_3) der einzelnen Segmentflächen verwendet, indem der Luftvolumenstrom so geregelt wird, dass $K_1 \sim K_2 \sim K_3$ ist.

Ein weiterer Parameter ist die in den Segmentflächen des Düsenbodens(45) auftretende Strömungsgeschwindigkeit des Schwachgases. Setzt man voraus, dass die Temperatur in den Segmentflächen konstant ist $dT \sim \text{const}$, $c_p \sim \text{const}$. Dann ergibt sich folgender Zusammenhang

$$Q \sim m_g c_{pg} dT \Rightarrow m_g \sim \frac{Q}{c_{pg} dT}$$

$$m_{g1} \sim \frac{Q_1}{c_{pg} dT}$$

$$m_{g2} \sim \frac{Q_2}{c_{pg} dT}$$

$$m_{g3} \sim \frac{Q_3}{c_{pg} dT}$$

$$\sum_{i=1..3} m_{gi} = m_g$$

Daraus ergibt sich folgender Zusammenhang für die Strömungsgeschwindigkeiten in den Düsenringen

$$c_{g1} \sim \frac{m_{g1}}{\rho_g A_1}$$

$$c_{g2} \sim \frac{m_{g2}}{\rho_g A_2}$$

$$c_{g3} \sim \frac{m_{g3}}{\rho_g A_3}$$

$c_g \sim \text{const}$. Man sieht aus diesem Zusammenhang, dass $dT \sim \text{const}$ bedeutet, dass die Temperatur in den Düsenringen in Relation zueinander von gleicher Größenordnung ist. Als weitere Randbedingung für die Regelung der Sauerstoffzuführung über den Düsenboden ist dass die Temperatur in den Flächensegmenten von gleicher Größenordnung ist, $T_1 \sim T_2 \sim T_3$. Dadurch wird erreicht, dass die Schwachgasströmungsgeschwindigkeit in den Flächensegmenten $c_{g1} \sim c_{g2} \sim c_{g3}$ ist.

Die aus den einfachen analytischen Überlegungen abgeleiteten Relationen, zwischen Gasgeschwindigkeit, Temperaturverteilung, Biomasseverteilung, Wärmeverteilung, basierend auf der Geometrie des Düsenbodens, ermöglicht die optimierte Regelung der Sauerstoffzufuhr über den Düsenboden und seinen damit verbundenen Segmenten (22,23,24) und es ermöglicht den Umsatz der Biomasse zu Schwachgas über den Schachtquerschnitt des Reaktors zu beeinflussen.

Die Erfindung ist also nicht nur für Reaktoren in schmaler Bauweise geeignet, sondern auch für Reaktoren mit einem großen Schachtquerschnitt, also Reaktoren großer Umsatzleistung und großem Querschnittsdurchmesser. Dabei kann das Verfahren erfindungsgemäß auf Gegenstromreaktoren und Gleichstromreaktoren angewendet werden.

Für die thermochemische Umwandlung ist Sauerstoff notwendig. In den bisherigen Betrachtungen haben wird der Sauerstoff über die Luft dem Reaktor zugeführt. Erfindungsgemäß wird nicht nur Luft und der damit gelieferte Sauerstoff(O_2) für die Regelung verwendet, sondern auch Sauerstoff(O_2), der direkt aus der Luft durch Gastrennung aus der Luft gewonnen wird und mit Kohlendioxid (CO_2) angereichert wird. Als ein mögliches Verfahren zur Gastrennung wird die bekannte Technik der Druckwechseladsorption (PSA) eingesetzt.

Die Zuführung von Sauerstoff mit einer Zumischung von Kohlendioxid(CO_2) hat den weiteren Vorteil den Heizwert des Schwachgases auf einen Wert einzuregeln. Darunter versteht man folgenden Regelbereich:

Verwendet man nur Luft als Lieferant für den Sauerstoff(O_2) in der Oxidationszone, dann ergibt sich ein Schwachgas mit einem Heizwert von $1,4 \text{ kWh/Nm}^3$. Reduziert man auf reinen Sauerstoff dann ergibt sich ein Heizwert von $2,5 \text{ kWh/Nm}^3$. Durch die Zumischung von Kohlendioxid (CO_2) kann man einen Heizwert von $2,0 \text{ kWh/Nm}^3$ einregeln. Der Regelbereich umfasst den Bereich von $1,4 \text{ kWh/Nm}^3$ bis $2,5 \text{ kWh / Nm}^3$.

Die Erfindung umfasst daher auch die Zuführung eines Gasgemisches aus Sauerstoff(O_2) und Kohlendioxid(CO_2). Der Sauerstoff(O_2) wird aus dem bekannten Verfahren der Gastrennung gewonnen, in der Regel das bekannte Druckwechseladsorptionsverfahren. Diesem Verfahren vorgeschaltet ist ein Schraubenverdichter(34) der die Luft (1) auf 4 bara bis 8 bara verdichtet und mit einem Teil der verdichteten Luft die Anlage mit Druckluft(35) versorgen kann. Der andere Teil der Luft wird in den Gasanteil Sauerstoff(O_2)(40) und Stickstoff(N_2)(37) aufgetrennt. Dem Sauerstoff(O_2)(40) kann Kohlendioxid(CO_2)(38) zugemischt werden. Das Gasgemisch kann wieder auf zwei Arten vorgewärmt werden. Entweder über die Wärmetauscher in der Reaktorwand (18, 19, 20, 21), wo die Abwärme aus dem thermochemischen Verfahren genutzt wird, oder über ein Gas / Gas Wärmetauscher (10), der die Abwärme aus dem Rohgas(7) nutzt.

Die Verteilung der für die Oxidation notwendigen Luft(1) oder des Gasgemisches(41) erfolgt durch die Aufteilung in vier durch Regelventile(14,15,16,17) gesteuerte Volumenanteile, die dann den Düsenringen (22,23,24) zugeführt werden. Damit kann der Volumenstrom je Düsenring(22,23,24) und damit die Parameter Wärme, Gasgeschwindigkeit, Temperatur, über den Reaktorquerschnitt beeinflusst und somit geregelt werden.

Die Erfindung umfasst somit auch die Vorwärmung mit Wärmetauscher in der Reaktorwand (18, 19, 20, 21) und einem Wärmetauscher Gas / Gas (10). Unter den Wärmetauschern in der Reaktorwand (18, 19, 20, 21) versteht man Rohrbündel, die am Umfang der Reaktorwand in der Ausmauerung eingebaut werden. Das durchströmende Gas(41) wird von der Abwärme aus dem thermochemischen Verfahren in der Oxidationszone vorgewärmt und beeinflusst durch den höheren fühlbaren Wärmeinhalt so die Größenordnung der zu verbrennenden Biomasse, die dazu dient den Reaktor über die Oxidationszone mit den notwendigen Wärme zu versorgen.

Die Größenordnung des Volumenstromes an Luft(1) oder Gasgemisch(41) wird auch von dem Biomassestrom in den Reaktor und durch den Reaktor, beschrieben durch die Senkgeschwindigkeit des Substrates im Reaktor, beeinflusst. Die Senkgeschwindigkeit der Biomasse im Reaktor kann über die Kohle und Aschenauswurf ermittelt werden.

Ein Zusammenhang zwischen eingebrachter Biomasse und ausgetragener Asche lässt sich bei den Schachtreaktoren wie folgt ableiten:

$$m_B = m_A$$

$$A_B c_B \rho_{BM} = A_A c_A \rho_A \quad A_B \sim A_A$$

$$\frac{c_B}{c_A} = \frac{\rho_A}{\rho_{BM}}$$

Daraus leitet sich der Zusammenhang zwischen Biomasseeintrag und Aschenauswurf ab. Dieser erfahrungsgemäße Zusammenhang lässt sich auch auf Schachtquerschnitt und Schnecke anwenden:

$$m_B = m_A$$

$$A_B c_B \rho_{BM} = A_A c_A \rho_A \quad A_A \sim \kappa A_B$$

$$\frac{c_B}{c_A} = \kappa \frac{\rho_A}{\rho_{BM}}$$

Die Senkgeschwindigkeit der Biomasse in dem Schachtreaktor steht im Zusammenhang mit dem Umsatz der Biomasse zu einem Schwachgas und Kohle und Asche Gemisch und somit zum ausgetragenen Massenstrom an Kohle und Asche Gemisch. Die Änderung des Massenstromes an Biomasse im Reaktor bei der thermochemischen Umsetzung bedingt eine Änderung des zugeführten und verteilten Sauerstoffes im Düsenboden. Damit kann erfahrungsgemäß nicht nur der Volumenstrom an erzeugtem Schwachgas geregelt werden, sondern damit verbunden auch der erzeugte Gesamtwärmeinhalt des Schwachgases und damit verbunden die elektrische Leistung bei der Verbrennung des Schwachgases in einem Gas BHKW.

Mit der Veränderung des eingebrachten Biomassestoffstromes und der damit verbundenen Änderungen des Schwachgasvolumenstromes ist auch die zugehörige Leistung des Luftgebläses(2) oder Schraubenverdichters(34) und des Vakuumverdichters(30) zu regeln. Dazu benötigt man den parametermäßigen Zusammenhang zwischen Biomassestoffstrom und der Leistung des Vakuumverdichters(30) und des Luftgebläses(2), und den parametrischen Zusammenhang zwischen Biomassenstoffstrom und der Leistung des Vakuumverdichters(30) und des Schraubenverdichters(34).

Zusammenhang zwischen Leistung des Vakuumverdichters(30), des erzeugten Gases und des zugehörigen Unterdruckes ergibt sich zu

$$P_g \sim ((m_{MB} - m_A) + m_L) \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta} = m_{MB} (1 - \nu + \lambda) \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta}$$

$$m_g \sim (m_{MB} - m_A) + m_L \quad \lambda = \frac{m_{MB}}{m_L}$$

Zusammenhang zwischen Leistung des Luftgebläses und dem zugehörigen Volumenstromes an Luft ergibt sich zu

$$P_L \sim m_L \frac{dp_L}{\rho_L} \frac{1}{\eta} = m_{MB} \lambda \frac{dp_L}{\rho_L} \frac{1}{\eta}$$

$$\lambda = \frac{m_L}{m_{MB}}$$

Das Verhältnis von Schwachgas Massenstrom und Luft Massenstrom ergibt sich zu

$$m_g = m_{MB} - m_A + m_L = m_{MB}(1 - \nu + \lambda)$$

$$m_L = m_{MB} \lambda$$

$$\frac{m_g}{m_L} = \frac{1 - \nu + \lambda}{\lambda} \sim \frac{5}{3}$$

Das Verhältnis von Schwachgas Massenstrom zu Sauerstoff Massenstrom ergibt sich zu

$$m_g = m_{MB} - m_A + m_{O_2} = m_{MB}(1 - \nu + \lambda')$$

$$m_{O_2} = m_{MB} \lambda'$$

$$\frac{m_g}{m_{O_2}} = \frac{1 - \nu + \lambda'}{\lambda'} \sim 4$$

Aus den bisherigen Relationen zwischen Leistung des Gebläses(2), der Leistung des Vakuumverdichters(30), aus den Massenströmen Biomasse, Luft und Kohle und Asche und den dargestellten Relationen kann nun das Verhältnis der Leistung der beiden Verdichter abgeleitet werden. Das Verhältnis der Leistung des Vakuumverdichters(30) für Schwachgas im Verhältnis zur Leistung Gebläse(2) Luft lässt sich erfindungsgemäß ableiten

$$P_g = m_{MB}(1-\nu+\lambda) \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta} \sim m_{MB} \frac{5}{2} \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta}$$

$$P_L = m_{MB} \lambda \frac{dp_L}{\rho_L} \frac{1}{\eta} \sim m_{MB} \frac{3}{2} \frac{dp_L}{\rho_L} \frac{1}{\eta}$$

$$\frac{P_L}{P_g} = \frac{m_{MB} \lambda \frac{dp_L}{\rho_L} \frac{1}{\eta}}{m_{MB}(1-\nu+\lambda) \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta}} \quad \rho_L \sim \rho_g$$

$$\frac{P_L}{P_g} \sim \frac{\lambda \frac{dp_L}{\rho_L}}{(1-\nu+\lambda) \frac{dp_g}{\rho_g}} \sim \frac{\lambda}{1-\nu+\lambda} \frac{dp_L}{dp_g} \sim \frac{3}{5} \frac{dp_L}{dp_g}$$

Für das Verfahren zu der Regelung von Sauerstoff lässt sich somit eine Relation zwischen der mechanischen Leistung des Vakuumverdichters(30) und der mechanischen Leistung des Gebläses(2) darstellen, und stellt somit eine weitere wesentliche Randbedingung für die Regelung des Vollast und Teillastbetriebes der energetischen Leistung der Anlage dar.

Aus den bisherigen Relationen zwischen der mechanischen Leistung des Schraubenverdichters(34), der mechanischen Leistung des Vakuumverdichters(30), aus den Massenströmen Biomasse, Luft und Kohle und Asche und den dargestellten Relationen kann nun das Verhältnis der Leistung der beiden Verdichter abgeleitet werden.

Das Verhältnis der mechanischen Leistung des Vakuumverdichters(30) für Schwachgas und mechanischen Leistung Verdichter Sauerstoff(34) lässt sich erfindungsgemäß ableiten:

$$P_g = m_{MB}(1-\nu+\lambda') \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta} \sim m_{MB} \frac{5}{2} \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta}$$

$$P_{O_2} = m_{MB} \lambda' \frac{dp_{O_2}}{\rho_{O_2}} \frac{1}{\eta} \sim m_{MB} \frac{3}{2} \frac{dp_{O_2}}{\rho_{O_2}} \frac{1}{\eta}$$

$$\frac{P_{O_2}}{P_g} = \frac{m_{MB} \lambda' \frac{dp_{O_2}}{\rho_{O_2}} \frac{1}{\eta}}{m_{MB}(1-\nu+\lambda') \frac{dp_g}{\rho_g} \frac{1}{\eta}} \quad \varphi \rho_{O_2} \sim \rho_g$$

$$\frac{P_{O_2}}{P_g} \sim \frac{\lambda' \frac{dp_{O_2}}{\rho_{O_2}}}{(1-\nu+\lambda') \frac{dp_g}{\rho_g}} \sim \frac{\lambda'}{1-\nu+\lambda'} \varphi \frac{dp_{O_2}}{dp_g} \sim \frac{3}{5} \varphi \frac{dp_{O_2}}{dp_g}$$

Bei der Verwendung von Sauerstoff(O_2) mit Zumischung von Kohlendioxid (CO_2) reduziert sich der Volumenanteil um den Anteil an Stickstoff (N_2). Damit ergibt sich bei der energetischen Leistungsbilanz erfindungsgemäß der Vorteil, dass man weniger elektrische Energie auf der Seite des Vakuumverdichters(30) benötigt. Die elektrische Leistung für die angesaugte und Verdichtete Luft (34) teilt sich in drei Massenströme auf: Druckluftversorgung(35), geringen Anteil an Sauerstoff(40), der für die Oxidation benötigt wird.

Eine im erfindungsgemäßen Verfahren zentrale Funktion kommt der Bauform des Düsenbodens zu. Dieser ist in Form von Ringen ausgebildet (22,23,24). Der Aufbau der Ringe besteht im Kern aus einer Rohrleitung mit aufgeschweissten Düsen ummantelt mit Stampfmasse geformt zu einem Ring. Die Ringe sind konzentrisch angebracht, und werden vom Reaktorrund aus mit einer Rohrleitung versorgt. an einem Punkt bei jedem Düsenring befindet sich ein Temperaturmessgeber (25, 31,26). Die Anzahl der Ringe richtet sich nach dem Durchmesser des Festbettreaktors und beträgt in der Regel zwei bis vier Ringe. Die einzelnen konzentrischen Ringe in vier Segmente unterteilt und mit Rohrstützen zu einem Düsenboden verbunden. Dieser Düsenboden ist im Reaktormantel in der Ausmauerung gelagert und fixiert.

Die Lage des Düsenbodens (45) definiert die Funktionsweise des Festbettreaktors. Wird der Düsenboden(45) im Reaktorboden platziert und das Schwachgas als Rohgas am Reaktorkopf abgesaugt, dann spricht man von einem Gegenstromreaktor, denn die Biomasse wird am Reaktorkopf eingebracht, und das Schwachgas strömt entgegen der Sinkrichtung der Biomasse. Wird der Düsenboden(45) in der Reaktormitte gelagert, und das Schwachgas als Rohgas am Reaktorboden herausgesaugt, dann spricht man von einem Gleichstromfestbettreaktor, das Schwachgas strömt in Richtung der Sinkrichtung der Biomasse.

Für die Regelung ist jedoch erfindungsgemäß von Bedeutung, dass das Schwachgas als Rohgas aus dem Reaktor abgesaugt wird.

Um die Regelung für einen Lastbereich von 100% (= Auslegungspunkt) bis 30% (Teillast) umsetzen zu können, sind erfindungsgemäß die Messungen von Druck, Temperatur, Volumen, der Luftvolumenströme und Gasvolumenströme neben Leistung und Drehzahl bei den Verdichtern und Gebläsen mit Messgeber zu ermitteln.

Die Messgeber für die Regelung der Sauerstoffzuführung umfasst:

- Druck(13) und Volumen(12) Messgeber für die Luft oder Gasgemisch (Sauerstoff und Kohlendioxid)
- Temperatur Messgeber(25,26,31) im Düsenboden

- Druck(27) und Temperatur(28) des Rohgases
- Druck(33) und Volumenstrom(32) des Schwachgases
- Stellung und Öffnung der Regelventile (0% bis 100%)
- Elektrische Leistung und Drehzahl des Schwachgas Vakuumverdichters
- Elektrische Leistung und Drehzahl des Luftgebläses
- Volumenstrom Kohlendioxid (39)
- Volumenstrom Sauerstoff (40)
- Volumenstrom Gasgemisch (41)(Sauerstoff und Kohlendioxid)(12)

Die Zuordnung der Messgeber für die Regelung ergibt sich zu:

Die Messgeber (12) und (13) dienen dazu den Verdichtungsdruck und den Volumenstrom für die Luft(1) oder das Gasgemisch(41) zu erfassen. Zusätzlich wird Leistung und Drehzahl des Gebläses(2) oder des Schraubenverdichters(34) erfasst.

Für die Erzeugung eines Gasgemisches aus Sauerstoff und Kohlendioxid ist zudem der Volumenstrom an Sauerstoff(40) und Volumenstrom an Kohlendioxid(39) zu erfassen.

Damit ist es möglich die Regelung des Luftgebläses(2) und des Schraubenverdichters(34) durchzuführen.

Die Regelventile (14,15,16,17) dienen dazu den Volumenanteil des Sauerstoffes im Reaktorquerschnitt in den einzelnen Flächensegmenten (22, 23, 24) zu verteilen. Im Zusammenwirken mit den Temperaturmessgebern (25, 31, 26) kann der optimale Volumenanteil an Sauerstoff ermittelt und geregelt werden.

Die Messung von Druck(28) und Temperatur(27) des Rohgases(7) ermöglicht im Zusammenwirken mit der Messung von Druck(33) und Volumenstrom(32) des Vakuumverdichters(30) die Regelung der Leistung der Anlage und des Umsatzes an Biomasse im Reaktor zu Schwachgas. Von dem Vakuumverdichter(30) werden die Drehzahl und Leistung gemessen.

Die Verdichter(2) (34) und der Vakuumverdichter(30) werden mit Elektromotoren angetrieben, die in einem Drehzahl, Leistungsbereich von 30% bis 100% Frequenzumrichter geregelt sind. Damit ergibt sich die Möglichkeit der Erfassung der Messgrößen, wie die Spannung, die Stromstärke, die elektrische Leistung, über die Drehzahl des Drehfeldes (proportional der Drehzahl des Motors) das zugehörige Drehmoment. Damit ist das regelungstechnische Verfahren in sich messtechnisch geschlossen.

Damit ergeben sich folgende Regelungsabschnitte:

- Regelung des Volumenstromes an Sauerstoff (3,41)
- Regelung des optimalen Umsatzes im Reaktorschacht (Verteilung des Sauerstoffes im Querschnitt)
- Regelung der Leistung der Anlage und des erzeugten Volumenstromes an Schwachgas (= Energieinhalt)

Die Regelung wird über die Prozessleittechnik (PLT) in der Anlage sichergestellt und wird praktisch auf der Basis einer bekannten SPS umgesetzt.

Die Anwendung dieser Erfindung ist bei allen Festbettreaktoren möglich, die zur Erzeugung eines Schwachgases eingesetzt werden, die das Schwachgas für die Verwertung in einer KWK (Kraft-Wärme Kopplung) mit einem Gasmotor zur Erzeugung von Strom (elektrischer) Energie und Abwärme in einem Leistungsbereich von 100 kW ele bis 500 kW ele. Zur Gewinnung des Schwachgases mit dem thermochemischen Umwandlung in einem Festbettreaktor macht die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahren zur Regelung der Sauerstoffzuführung notwendig.

Eine weitere Anwendung ist die Verflüssigung von Biomasse zu Treibstoffen wie Dimethylether (DME) und (DEE). Auch bei dieser Anwendung im kleinen Leistungsbereich von 100 kW ele bis 500 kW ele ist ein Schwachgas aus einem Festbettreaktor gewonnen notwendig und daher die Sauerstoffzuführung in dem Festbettreaktor zu regeln.

Zeichen und Symbole

1	Luft(für Oxidationszone)
2	Gebläse
3	verdichtete Luft
4	Festbettreaktor
5	zylindrischer Schacht
6	Luftdüsen Reaktorwand
7	Rohgas
8	Zyklon
9	Kohle und Asche Gemisch
10	Wärmetauscher Heißgas / Luft
11	abgekühltes Heißgas
12	Volumenstrom – Messgeber (Luft)
13	Druck – Messgeber (Luft)
14	Regelventil Luft oder Gasgemisch
15	Regelventil Luft oder Gasgemisch
16	Regelventil Luft oder Gasgemisch
17	Regelventil Luft oder Gasgemisch
18	Wärmetauscher
19	Wärmetauscher
20	Wärmetauscher
21	Wärmetauscher
22	äußerer Düsenring / Düsenboden
23	mittlerer Düsenring / Düsenboden
24	innerer Düsenring / Düsenboden
25	Temperatur Messgeber
26	Temperaturmessgeber
27	Temperatur Messgeber (Rohgas)
28	Druck Messgeber (Rohgas)
29	Gasreinigung
30	Vakuumverdichter
31	Temperatur Messgeber
32	Volumenstrom Messgeber
33	Druck Messgeber
34	Schrauben Verdichter (Luft)
35	Druckluft
36	PSA (Gastrennung)
37	Stickstoff gewonnen aus Luft

38	Kohlendioxid
39	Volumenstrom Messgeber Kohlendioxid
40	Volumenstrom Messgeber Sauerstoff
41	Gasgemisch Kohlendioxid und Sauerstoff
42	Motor + FU Luftgebläse
43	Motor + FU Schraubenverdichter
44	Motor + FU VakuumVerdichter
45	Düsenboden

Symbole der Formeln und Gleichungen

M_{MB}	=	Biomasse Massenstrom (kg/sec)
m_L	=	Luft Massenstrom (kg/sec)
m_g	=	Massenstrom Schwachgas (kg/sec)
m_A	=	Massenstrom Kohle und Asche (kg/sec)
m_{O_2}	=	Massenstrom Sauerstoff (kg/sec)
R_1	=	Radius Düsenring Außen (m)
R_2	=	Radius Düsenring Mitte (m)
R_3	=	Radius Düsenring Innen (m)
A_1	=	Segmentfläche Außen (m ²)
A_2	=	Segmentfläche Mitte (m ²)
A_3	=	Segmentfläche Innen (m ²)
Q_1	=	Wärme Segmentfläche A_1 (kW)
Q_2	=	Wärme Segmentfläche A_2 (kW)
Q_3	=	Wärme Segmentfläche A_3 (kW)
T_1	=	Temperatur Segment A_1 (K)
T_2	=	Temperatur Segment A_2 (K)
T_3	=	Temperatur Segment A_3 (K)
c_{g1}	=	Gasgeschwindigkeit Segment A_1 (m/sec)
c_{g2}	=	Gasgeschwindigkeit Segment A_2 (m/sec)
c_{g3}	=	Gasgeschwindigkeit Segment A_3 (m/sec)
ρ_g	=	Dichte Schwachgas (kg/Nm ³)
ρ_L	=	Dichte Luft (kg/Nm ³)
d_{pg}	=	Druckunterschied Schwachgas (Pa)
d_{pL}	=	Druckunterschied Luft (Pa)
η	=	Wirkungsgrad Gebläse, Verdichter, Vakuumverdichter)(gleich angenommen)

c_{pg}	=	spez. Wärmekapazität Schwachgas (W/m^2K)
c_{pL}	=	spez. Wärmekapazität Luft (W/m^2K)
H_u	=	Heizwert des Schwachgases (kWh/Nm^3)
P_g	=	Leistung Vakuumverdichter Schwachgas (kW)
P_L	=	Leistung Gebläse Luft (kW)
P_{O_2}	=	Leistung Sauerstoff (kW)
λ	=	Verhältnis Massenstrom Biomasse / Massenstrom Luft (x)
v	=	Verhältnis Massenstrom Asche u. Kohle / Massenstrom Biomasse (x)
λ'	=	Verhältnis Massenstrom Biomasse / Massenstrom Sauerstoff (x)
κ	=	Verhältnis Querschnitt Reaktor zur Aschenschnecke Querschnitt (m^2/m^2)
A_A	=	Querschnittsfläche Schachtreaktor (m^2)
A_B	=	Querschnittsfläche Aschen und Kohle Schnecke (m^2)
C_A	=	Sinkgeschwindigkeit Biomasse (m/sec)
C_B	=	Sinkgeschwindigkeit Asche und Kohle (m/sec)
dT	=	Temperaturgradient ($T_g - T_L$)
U	=	Spannung (V)
I	=	Strom (A)
M_t	=	Drehmoment (Nm)
n	=	Drehzahl (1/min)
ω	=	Winkelgeschwindigkeit (rad/sec)
ϕ	=	Sauerstoff Verhältnis in der Luft

Abbildungen

Abbildung 1

Die Abbildung 1 zeigt den Stand der Technik bei Gegenstrom Festbettreaktoren. Der notwendige Luftsauerstoff(1) wird mit einem Gebläse(2) angesaugt, die verdichtete Luftsauerstoff (3) wird in den Festbettreaktor (4) eingebracht. Bei der Bauweise eines Gegenstromreaktors ist der Düsenstock am Umfang des Schachtes am Boden des Reaktors angebracht. Es ist bekannt, dass der Düsenstock aus Luftdüsen am Umfang des Reaktorschachtes in der Ausmauerung befindet. Die Luft wird nur über den Reaktorrand eingebracht. Das Rohgas (7) wird aus dem Reaktor am Reaktorkopf abgesaugt und über einen Zyklon (8) geführt, wo der Grobanteil an ausgetragener Kohle und Asche abgesondert wird und (9) in den Reaktor rückgeführt wird. Das Heissgas (11) wird in der Regel der Gasreinigung zugeführt.

Abbildung 2

Die Abbildung 2 zeigt den Stand der Technik bei Gleichstrom Festbettreaktoren. Der notwendige Luftsauerstoff(1) wird mit einem Gebläse(2) angesaugt, die verdichtete Luftsauerstoff (3) wird in den Festbettreaktor (4) eingebracht. Bei der Bauweise eines Gleichstromreaktors ist der Düsenstock am Umfang des Schachtes am Boden des Reaktors angebracht. Es ist bekannt, dass der Düsenstock aus Luftdüsen am Umfang des Reaktorschachtes in der Ausmauerung befindet. Die Luft wird nur über den Reaktorrand eingebracht. Das Rohgas (7) wird aus dem Reaktor im Bereich des Reaktorboden abgesaugt und über einen Zyklon (8) geführt, wo der Grobanteil an ausgetragener Kohle und Asche abgesondert wird und (9) in den Reaktor rückgeführt wird. Das Heissgas (11) wird in der Regel der Gasreinigung zugeführt.

Abbildung 3

Die Abbildung 3 zeigt ein Luftgebläse(2), das die Luft (1) ansaugt und verdichtet(3), dabei werden der Volumenstrom(12) und der Druck(13) gemessen. Die Luft(3) wird auf vier Regelventile (14, 15, 16, 17) verteilt, die den Volumenstrom regeln und den in der Reaktorwand integrierten Wärmetauschern (18, 19, 20, 21) zuführt. Die Luft wird über die Wärmetauscher erwärmt, und den Düsenringen (22, 23, 24) zugeführt. Diese Düsenringe stellen den Düsenboden dar. Der äußerste Ring (22) besteht aus zwei Segmenten mit erwärmter Luft versorgt werden, der mittlere Ring(23) und der innere Ring(24) bestehen aus einem Segment. Über die Düsenringe wird die Luft auf die einzelnen Düsenbodensegmente verteilt. Für die Regelung der Luftvolumenströme in den einzelnen Düsensegmenten die Temperatur gemessen, innerer Ring Temperaturmeßstelle (25), mittlerer Ring Temperaturmeßstelle (31), äußerer Ring Temperaturmessstelle (27). Das Rohgas (7) wird aus dem Reaktor mit dem Vakuumverdichters(30) abgesaugt und über den Zyklon(8) geführt. Für die Regelung wird die Temperatur (27) und der Druck(28) des Rohgases gemessen. Der abgeschiedene Kohle und Ascheanteil (9) wird dem Reaktor

rückgeführt. Das Rohgas (7) wird mit einem Wärmetauscher (10) abgekühlt und als abgekühltes Schwachgas(11) der Gasreinigung(29) zugeführt. Das gereinigt Gas wird vom Saugzuggebläse(30) angesaugt, und verdichtet und zur Regelung der Volumenstrom(32) und der Druck(33) gemessen. Für die Regelung werden folgen Messdaten ermittelt: Volumenstrom(12) der Luft, Druck(13) der Luft, Leistung und Drehzahl des Luftgebläses (2) , Temperaturen im Düsenboden (25,26,31), Stellung der Regelventile (14,15,16,17), Druck(28) und Temperatur(27) des Rohgases, Volumenstrom(32) und Druck(32) des gereinigten Schwachgases (11) und die Leistung und Drehzahl des Vakuumschwachgasverdichters (30).

Abbildung 4

Die Abbildung 4 zeigt ein Luftgebläse(2), das die Luft (1) ansaugt und verdichtet(3), dabei werden der Volumenstrom(12) und der Druck(13) gemessen. Die Luft(3) wird über den Wärmetauscher (10) geführt und durch das heiße Rohgas (7) erwärmt und dann auf vier Regelventile (14, 15, 16, 17) verteilt, die den Volumenstrom regeln. Die Luft wird den Düsenringen (22, 23, 24) zugeführt. Diese Düsenringe stellen den Düsenboden dar. Der äußerste Ring (22) besteht aus zwei Segmenten mit erwärmter Luft versorgt werden, der mittlere Ring(23) und der innere Ring(24) bestehen aus einem Segment. Über die Düsenringe wird die Luft auf die einzelnen Düsenbodensegmente verteilt. Für die Regelung der Luftvolumenströme in den einzelnen Düsensegmenten die Temperatur gemessen, innerer Ring Temperaturmeßstelle (25), mittlerer Ring Temperaturmessstelle (31), äußerer Ring Temperaturmessstelle (27). Das Rohgas(7) wird aus dem Reaktor mit dem Vakuumverdichter (30) abgesaugt und über den Zyklon(8) geführt. Für die Regelung werden die Temperatur (27) und der Druck(28) des Rohgas gemessen. Der abgeschiedene Kohle und Ascheanteil (9) wird dem Reaktor rückgeführt. Das Rohgas (7) wird mit einem Wärmetauscher (10) abgekühlt und als abgekühltes Schwachgas(11) der Gasreinigung(29) zugeführt. Das gereinigt Gas wird vom Saugzuggebläse(30) angesaugt, und verdichtet und zur Regelung der Volumenstrom(32) und der Druck(33) gemessen. Für die Regelung werden folgen Messdaten ermittelt: Volumenstrom(12) der Luft, Druck(13) der Luft, Leistung und Drehzahl des Luftgebläses (2) , Temperaturen im Düsenboden (25,26,31), Stellung der Regelventile (14,15,16,17), Druck(28) und Temperatur(27) des Rohgas, Volumenstrom(32) und Druck(32) des gereinigten Schwachgases (11) und die Leistung und Drehzahl des Vakuumschwachgasverdichters (30).

Abbildung 5

Die Abbildung 5 zeigt einen Luftverdichter(34), das die Luft (1) ansaugt und verdichtet, einen Teil als Druckluft(35) dem Prozess zur Verfügung stellt, den anderen Teil einer Gastrennanlage (36) zugeführt, in der Regel eine Druckwechselanlage (PSA) Anlage, wobei der Stickstoff (37) abgeschieden wird. Der so gewonnene Sauerstoff wird im Volumenstrom(40) gemessen und mit Kohlendioxid(CO₂) (38) angereichert. Das zugemischte Kohlendioxid(38) wird im Volumenstrom(39) gemessen. Das

Gasgemisch aus Sauerstoff(O_2) und Kohlendioxid(CO_2) (41) wird dem Reaktorprozess zugeführt, dabei werden der Volumenstrom(12) und der Druck(13) gemessen. Die Luft(3) wird auf vier Regelventile (14, 15, 16, 17) verteilt, die den Volumenstrom regeln und den in der Reaktorwand integrierten Wärmetauschern (18, 19, 20, 21) zuführt. Die Luft wird über die Wärmetauscher erwärmt, und den Düsenringen (22, 23, 24) zugeführt. Diese Düsenringe stellen den Düsenboden dar. Der äußerste Ring (22) besteht aus zwei Segmenten mit erwärmter Luft versorgt werden, der mittlere Ring(23) und der innere Ring(24) bestehen aus einem Segment. Über die Düsenringe wird die Luft auf die einzelnen Düsenbodensegmente verteilt. Für die Regelung der Luftvolumenströme in den einzelnen Düsensegmenten die Temperatur gemessen, innerer Ring Temperaturmessstelle (25), mittlerer Ring Temperaturmessstelle (31), äußerer Ring Temperaturmessstelle (27). Das Rohgas(7) wird aus dem Reaktor mit dem Vakuumverdichter (30) abgesaugt und über den Zyklon(8) geführt. Für die Regelung werden die Temperatur (27) und der Druck(28) des Rohgas gemessen. Der abgeschiedene Kohle und Ascheanteil (9) wird dem Reaktor rückgeführt. Das Rohgas (7) wird mit einem Wärmetauscher (10) abgekühlt und als abgekühltes Schwachgas(11) der Gasreinigung(29) zugeführt. Das gereinigt Gas wird vom Saugzuggebläse(30) angesaugt, und verdichtet und zur Regelung der Volumenstrom(32) und der Druck(33) gemessen. Für die Regelung werden folgen Messdaten ermittelt: Volumenstrom(12) der Luft, Druck(13) der Luft, Leistung und Drehzahl des Luftgebläses (2) , Temperaturen im Düsenboden (25,26,31), Stellung der Regelventile (14,15,16,17) , Druck(28) und Temperatur(27) des Rohgases, Volumenstrom(32) und Druck(32) des gereinigten Schwachgases (11) und die Leistung und Drehzahl des Vakuumschwachgasverdichters (30).

Abbildung 6

Die Abbildung 6 zeigt einen Luftverdichter(38), das die Luft (1) ansaugt und verdichtet, einen Teil als Druckluft(35) dem Prozess zur Verfügung stellt, den anderen Teil einer Gastrennanlage (36) zugeführt, in der Regel eine PSA Anlage, wobei der Stickstoff (37) abgeschieden wird. Der so gewonnene Sauerstoff wird im Volumenstrom(40) gemessen und mit Kohlendioxid(CO_2) (38) angereichert. Das zugemischte Kohlendioxid(CO_2)(38) wird im Volumenstrom(39) gemessen. Das Gasgemisch aus Sauerstoff(O_2) und Kohlendioxid(CO_2) (41) wird dem Reaktorprozess zugeführt, dabei werden der Volumenstrom(12) und der Druck(13) gemessen. Das Gasgemisch(3) wird über den Wärmetauscher (10) geführt, durch das gegenlaufende Heißgas (7) erwärmt und auf vier Regelventile (14, 15, 16, 17) verteilt, die den Volumenstrom regeln und den Düsenringen (22, 23, 24) zugeführt. Diese Düsenringe stellen den Düsenboden dar. Der äußerste Ring (22) besteht aus zwei Segmenten mit erwärmter Luft versorgt werden, der mittlere Ring(23) und der innere Ring(24) bestehen aus einem Segment. Über die Düsenringe wird die Luft auf die einzelnen Düsenbodensegmente verteilt. Für die Regelung der Luftvolumenströme in den einzelnen Düsensegmenten die Temperatur gemessen, innerer Ring Temperaturmessstelle (25), mittlerer Ring Temperaturmessstelle (31), äußerer Ring Temperaturmessstelle (27). Das Rohgas (7) wird aus dem Reaktor mit dem Vakuumverdichter (30) abgesaugt und über den Zyklon(8) geführt. Für die Regelung werden die Temperatur (27) und der

Druck(28) des Rohgases gemessen. Der abgeschiedene Kohle und Ascheanteil (9) wird dem Reaktor rückgeführt. Das Rohgas (7) wird mit einem Wärmetauscher (10) abgekühlt und als abgekühltes Schwachgas(11) der Gasreinigung(29) zugeführt. Das gereinigt Gas wird vom Saugzuggebläse(30) angesaugt, und verdichtet und zur Regelung der Volumenstrom(32) und der Druck(33) gemessen. Für die Regelung werden folgen Messdaten ermittelt: Volumenstrom(12) der Luft, Druck(13) der Luft, Leistung und Drehzahl des Luftgebläses (2) , Temperaturen im Düsenboden (25,26,31), Stellung der Regelventile (14,15,16,17), Druck(28) und Temperatur(27) des Rohgases, Volumenstrom(32) und Druck(32) des gereinigten Schwachgases (11) und die Leistung und Drehzahl des Vakuumschwachgasverdichters (30).

Abbildung 7

Die Abbildung 7 zeigt die möglichen Lagen des Düsenbodens im Festbettschachtreaktor. Die einfachste Bauweise des Düsenbodens ist in der Mitte des Schachtreaktors, wie dieser bei der Gleichstrom Festbettbauweise verwendet wird, eine weitere Möglichkeit ist die Lage am Kopf des Reaktors, oder im unteren Bereich des Festbettschachtreaktors, was der Gegenstrombauweise entspricht. In allen Varianten können die Düsen im Düsenboden die Luft in Richtung der Schwerkraftwirkung oder gegen die Richtung der Schwerkraftwirkung die Luft oder das Gasgemisch verteilen.

Abbildung 8

Die Abbildung 8 zeigt eine mögliche Bauform des Düsenbodens, bestehend aus Ringen mit integrierten Rohrleitungen zur Verteilung der Luft. Der äußere Ring besteht aus zwei Segmenten und wird daher je Segment mit einer Rohrleitung versorgt, der mittlere Ring besteht aus einem Segment und einer Rohrleitung versorgt, und der innere Ring besteht ebenfalls aus einem Segment und einer Rohrleitung, die den Ring versorgt.

Ansprüche

1. Verfahren zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren zur Erzeugung von Schwachgas aus biogenen Stoffen, umfasst den Verdichter (2) von Luft, die Messgeber Druck(13) und Volumenstrom(12), die Regelventile (14,15,16,17), die Wärmetauscher (18,19,20,21), die Düsenringe des Düsenboden (22,23,24), die Temperatur Messgeber (25,31,26) im Düsenboden(45), die Messgeber für das Rohgas Schwachgas Druck(27) und Temperatur(28), den Verdichter für Schwachgas(30) und die Messgeber Druck(32) und Volumenstrom(33) ,

gekennzeichnet dadurch, dass

- der Verdichter(2) für Luft als Gebläse, im speziellen als SeitenkanalGebläse ausgebildet,
- der Verdichter (2) mit einem Motor und FU(42) elektrisch angetrieben wird
- der Motor und FU(42) in einem Drehzahlbereich geregelt wird, minimale Drehzahl 30%, maximale Drehzahl 120%, bevorzugt eine Drehzahl von 100%
- der Sauerstoff in Form von Luft(1) über den Düsenboden(45) in den Reaktor(4) eingebracht wird
- der Luftvolumenstrom(3) im Verhältnis zum Biomassenstrom(kg/sec) mit minimal 1,1 ($\text{Nm}^3/\text{kg BM}$) bis maximal 1,6 ($\text{Nm}^3/\text{kg BM}$) eingebracht wird, bevorzugt 1,4 ($\text{Nm}^3/\text{kg BM}$)
- der Druck nach dem Verdichter(2) minimal 1,05 bara, maximal 1,25 bara beträgt, bevorzugt 1,1 bara
- die Regelventile (14,15,16,17) den Volumenstrom(3) an Luft aufteilen, minimal in 10% maximal in 90% je Leitung, bevorzugt in 25% je Leitung
- die Luftvolumenströme aus den einzelnen Regelventilen (14,15,16,17) in Wärmetauschern (18,19,20,21) vorgewärmt werden, minimal auf eine Temperatur $T = 100^\circ\text{C}$, maximal auf eine Temperatur $T = 300^\circ\text{C}$, bevorzugt auf eine Temperatur von $T = 250^\circ\text{C}$
- die Wärmetauscher (18,19,20,21) in Form von Rohrbündel parallel zur Reaktorwand in der Ausmauerung des Reaktorschachtes ausgebildet sind.

- Die Fläche der Rohrbündelwärmetauscher so ausgebildet ist, dass die Luft auf die bevorzugte Temperatur von $T=250^{\circ}\text{C}$ in jedem Rohrbündelwärmetauscher vorgewärmt wird
- Jedem Luftvolumenstrom (14,15,16,17) ein eigener Rohrbündelwärmetauscher (18,19,20,21) zugeordnet wird,
- der Düsenboden (45) in Form von Düsenringen (22,23,24) ausgebildet ist, minimal mit einem Ring, maximal mit vier Ringen, bevorzugt mit drei Ringen
- Die Düsenringe(22,23,24) mit Querstreben zu einem Düsenboden(45) als stabile Struktureinheit mit vier Auflagern verbunden sind
- die Temperatur Messgeber bei den Düsenringen (25,31,26), die Temperatur im Glutbett(Oxidationszone) messen, minimal $T=800^{\circ}\text{C}$, maximal $T=1400^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $T=1200^{\circ}\text{C}$
- das angesaugte Rohgas(7) als Schwachgas eine Temperatur (28) von minimal $T=400^{\circ}\text{C}$, maximal eine Temperatur $T=800^{\circ}\text{C}$ hat, bevorzugt eine Temperatur $T=650^{\circ}\text{C}$
- der Druck des angesaugten Rohgases(7) als Schwachgas einen Druck minimal von $p=0,7$ bara, maximal einen Druck $p=0,9$ bara, bevorzugt einen Druck $p=0,8$ bara aufweist.
- der Verdichter (30) für das Schwachgas als Vakuumverdichter ausgebildet ist, im speziellen als Drehkolbenverdichter
- der Verdichter (30) mit einem Motor und FU(44) elektrisch angetrieben wird
- der Motor und FU(44) in einem Drehzahlbereich geregelt wird, minimale Drehzahl 30%, maximale Drehzahl 120%, bevorzugt eine Drehzahl von 100%
- Das Schwachgas auf der Druckseite des Verdichters(30) einen Druck aufweist minimal $p=1,05$ bara, maximal $p=1,2$ bara, bevorzugt $p=1,1$ bara.
- Das Schwachgas auf der Saugseite des Verdichters(30) einen Druck aufweist minimal $p=0,9$ bara, maximal $p=0,5$ bara, bevorzugt $p=0,6$ bara.

2. Verfahren nach Anspruch 1, umfasst einen Gas / Gas Wärmetauscher (10),

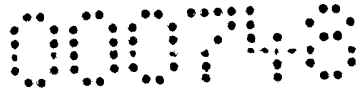
gekennzeichnet dadurch, dass

- statt der Wärmetauscher (18,19,20,21) ein Gas / Gas Wärmetauscher (10) verwendet wird
- Die angesaugte undverdichtete Luft(3) auf eine Temperatur vorgewärmt wird, minimal $T=100^{\circ}\text{C}$, maximal $T=300^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $T=250^{\circ}\text{C}$
- das heiße Schwachgas(7) über den Gas Gas Wärmetauscher, durch Abgabe der Wärme an die Luft(3) auf eine Temperatur abgekühlt wird, minimal $T=250^{\circ}\text{C}$, maximal $T=400^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $T=350^{\circ}\text{C}$.

3. Verfahren nach Anspruch 1, umfasst einen Verdichter(34) für die angesaugte Luft, eine Gastrennung(36) zur Abtrennung von Sauerstoff(40) mit dem Messgeber für den Volumenstrom (40) an Sauerstoff, der Zumischung von Kohlendioxid(38) mit der Messung des Volumenstromes (39)

gekennzeichnet dadurch dass,

- der Verdichter(34) als Schraubenverdichter ausgeführt ist
- der Verdichter(34) mit einem Motor und FU(43) elektrisch angetrieben wird
- der Motor und FU(43) in einem Drehzahlbereich geregelt wird, minimale Drehzahl 30%, maximale Drehzahl 120%, bevorzugt eine Drehzahl von 100%
- als Gastrennung(39) für die angesaugte Luft, das Druckwechseladsorptionsverfahren angewendet wird
- der Sauerstoff(40) mit einer Konzentration von minimal 95%, maximal 100%, bevorzugt 98% verwendet wird
- Kohlendioxid(38) dem Sauerstoff(40) angereichert wird, minimal 0%, maximal 47%, bevorzugt mit 10%



- ein Gasgemisch aus Sauerstoff(40) und Kohlendioxid(38) erzeugt wird, minimal mit 100% Sauerstoff und 0% Kohlendioxid, maximal 53% Sauerstoff(40) und 47% Kohlendioxid, bevorzugt Sauerstoff(40) 90% und Kohlendioxid(38) 10%
- ein Teil der verdichteten angesaugten Luft(1) als Druckluft in der Anlage verwendet wird, minimal 0% des angesaugten Volumenstromes, maximal 100% des angesaugten Volumenstromes an Luft, bevorzugt 25% der angesaugten Luft

4. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch das

- der Düsenboden(45) im Reaktorboden angebracht ist, und die Luft(3) oder das Gasgemisch(41) über die Düsenringe(22,23,24) entgegen der Sinkrichtung der Biomasse ausströmt und am Reaktorkopf abgesaugt wird

5. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch das

- der Düsenboden(45) in der Reaktormitte angebracht ist, und die Luft(3) oder das Gasgemisch(41) über die Düsenringe(22,23,24) mit der Sinkrichtung der Biomasse ausströmt und am Reaktorboden abgesaugt wird

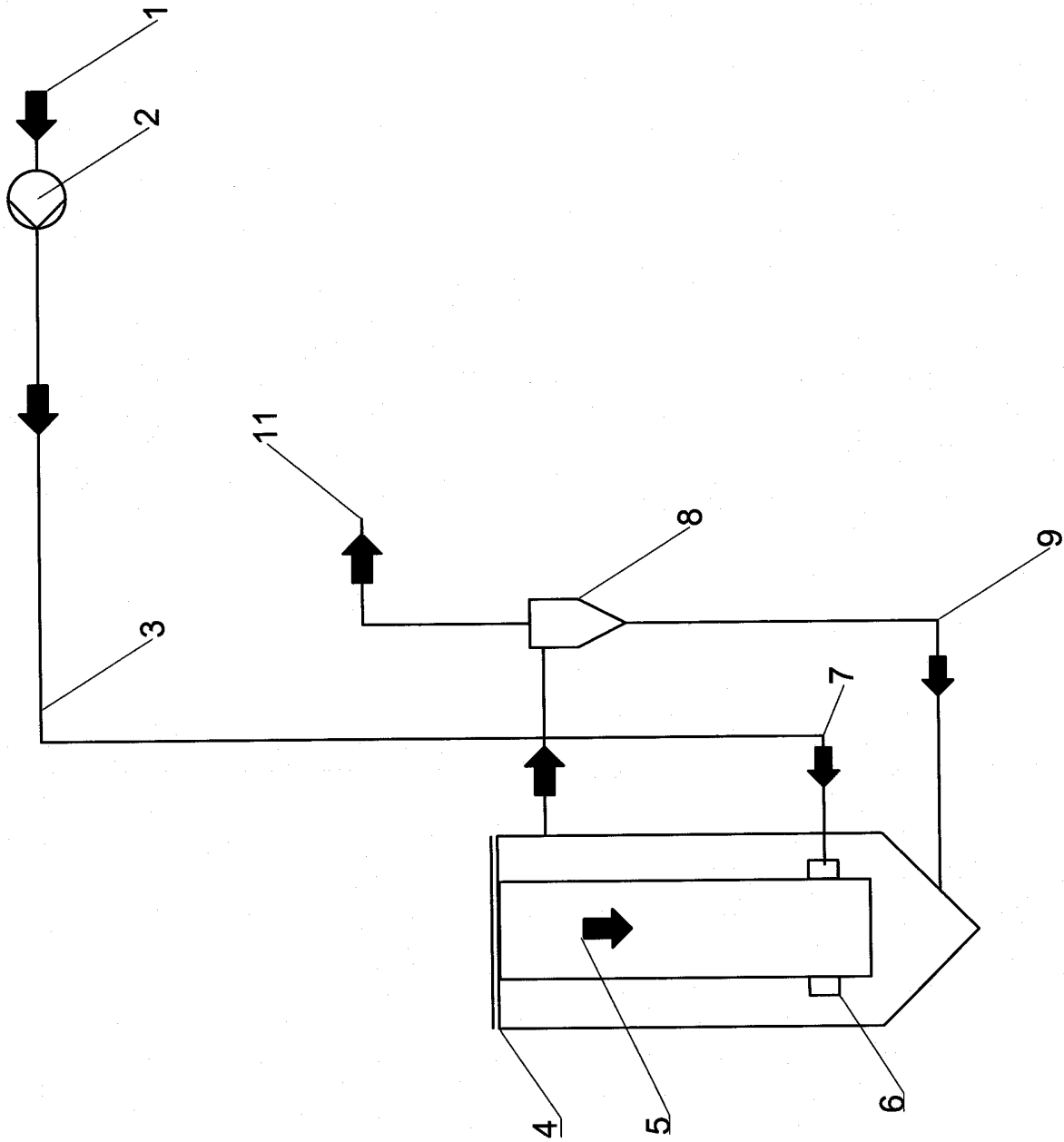


Abbildung 1

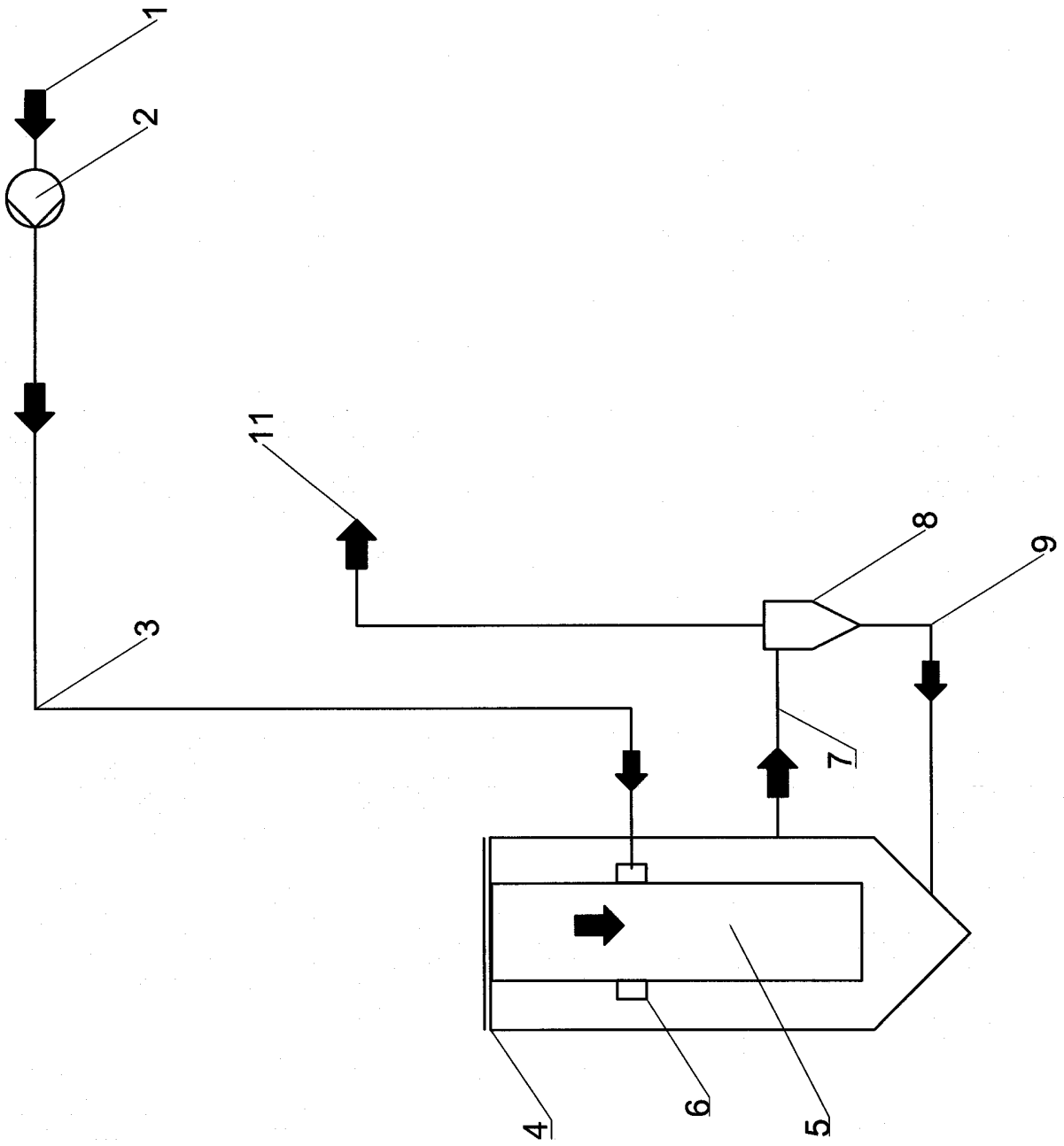


Abbildung 2

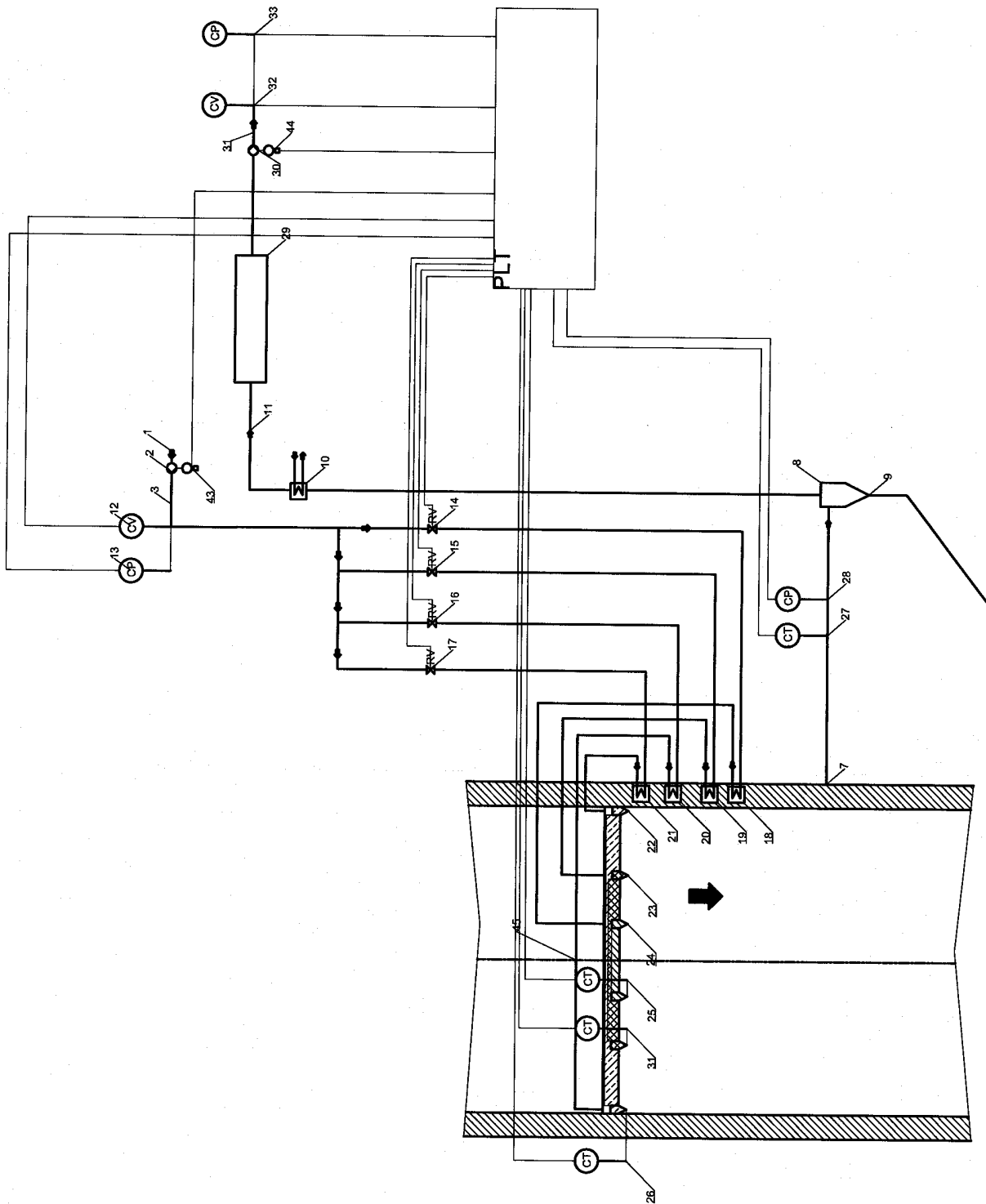


Abbildung 3

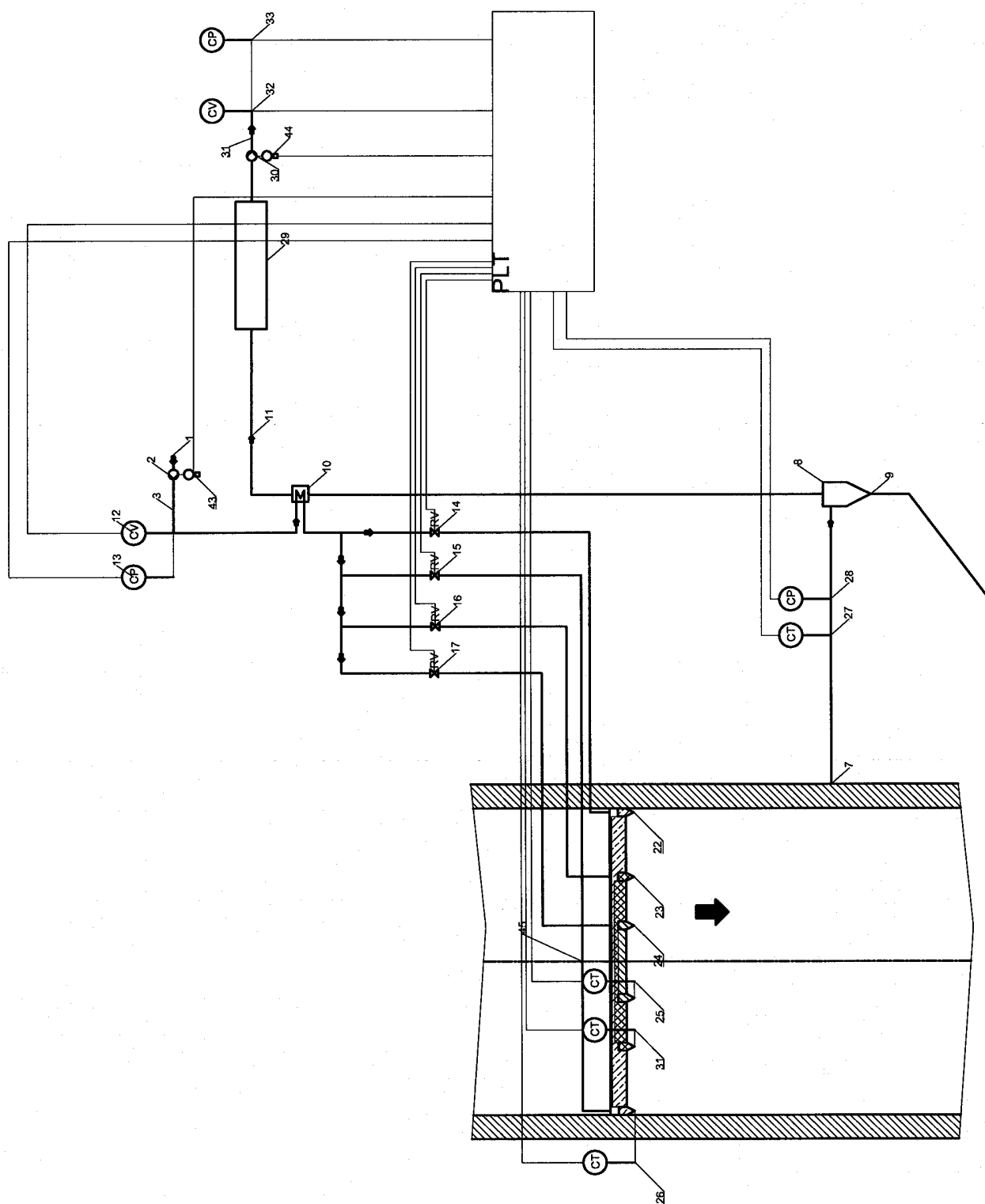


Abbildung 4

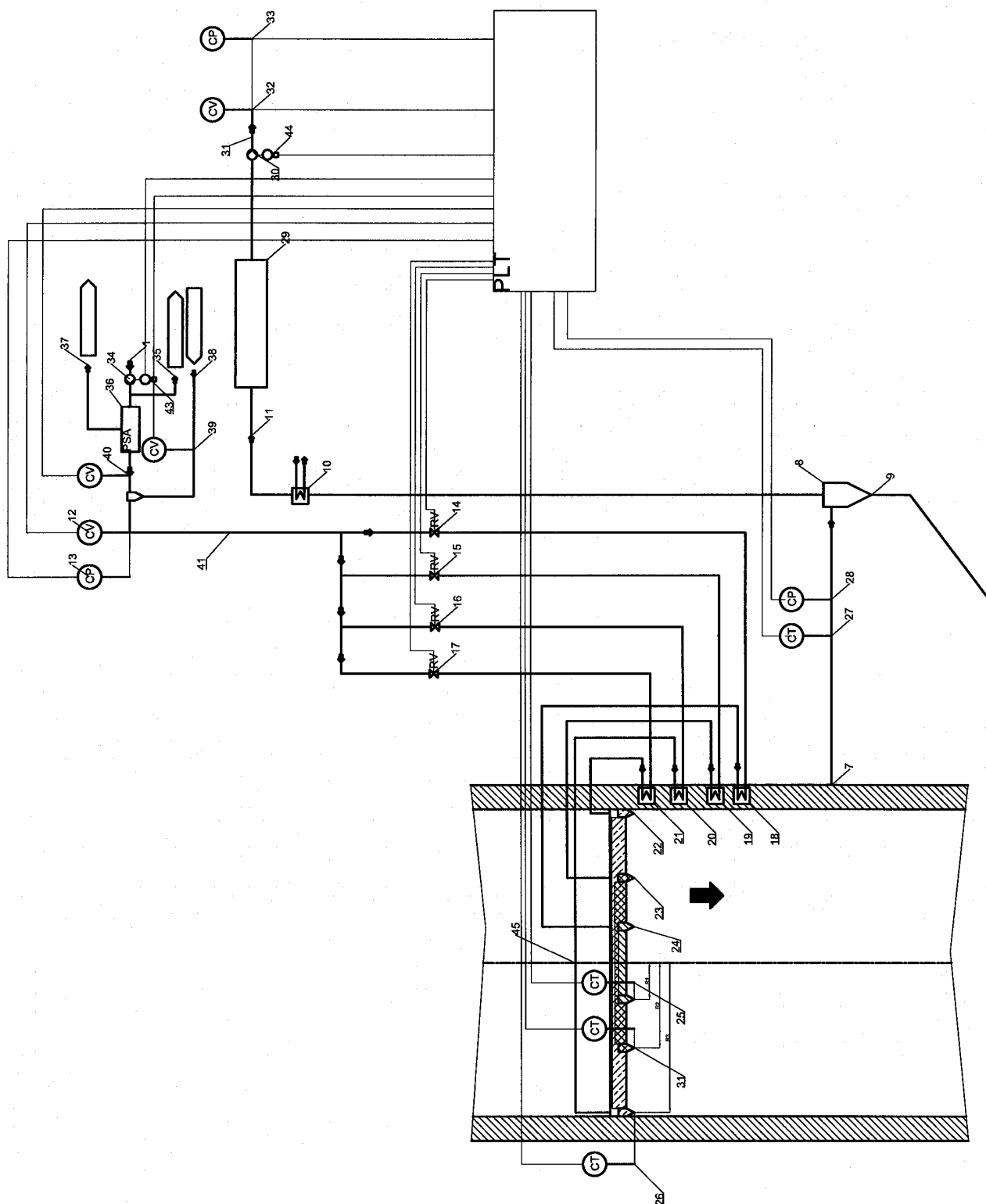
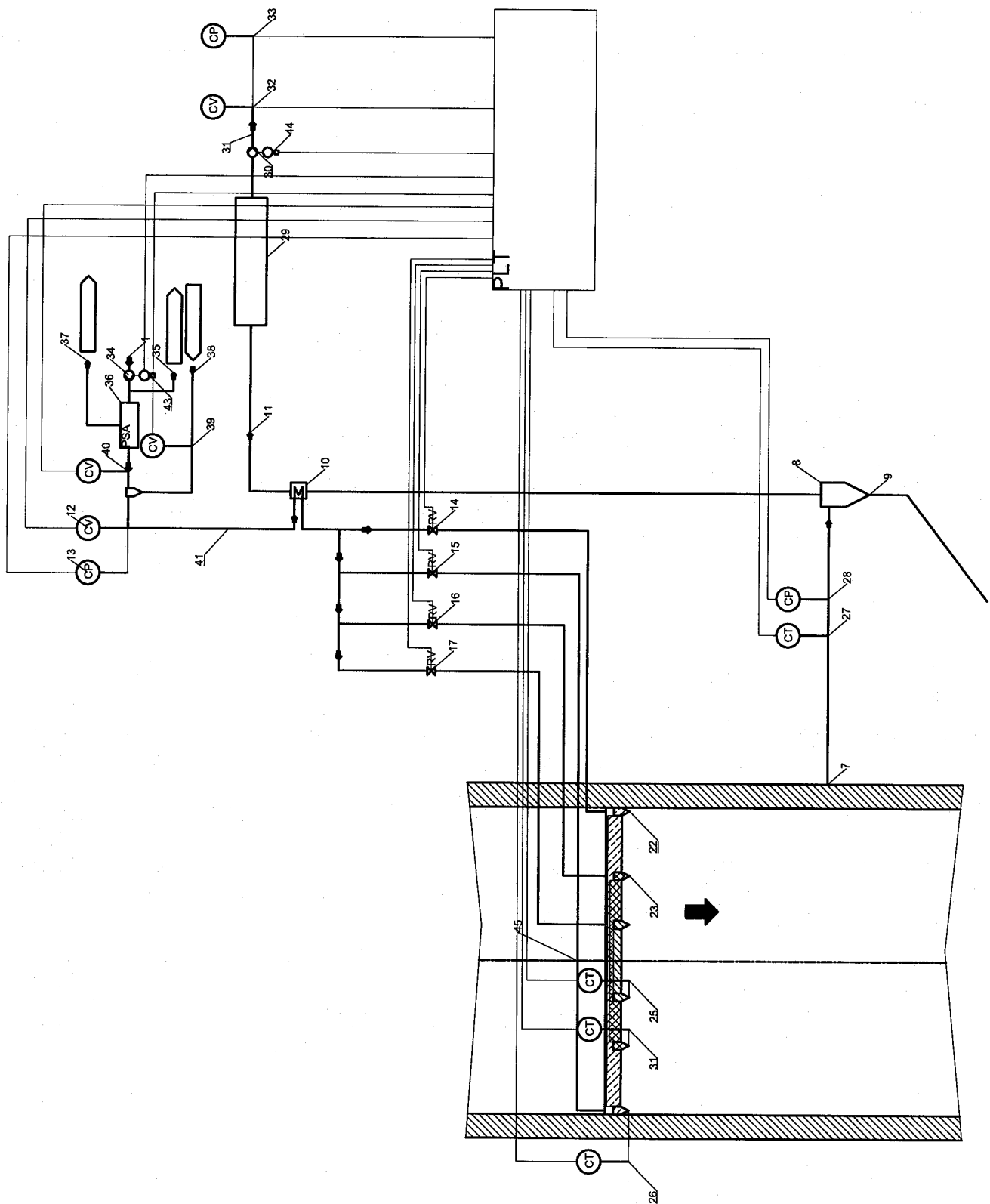


Abbildung 5

0007-4226



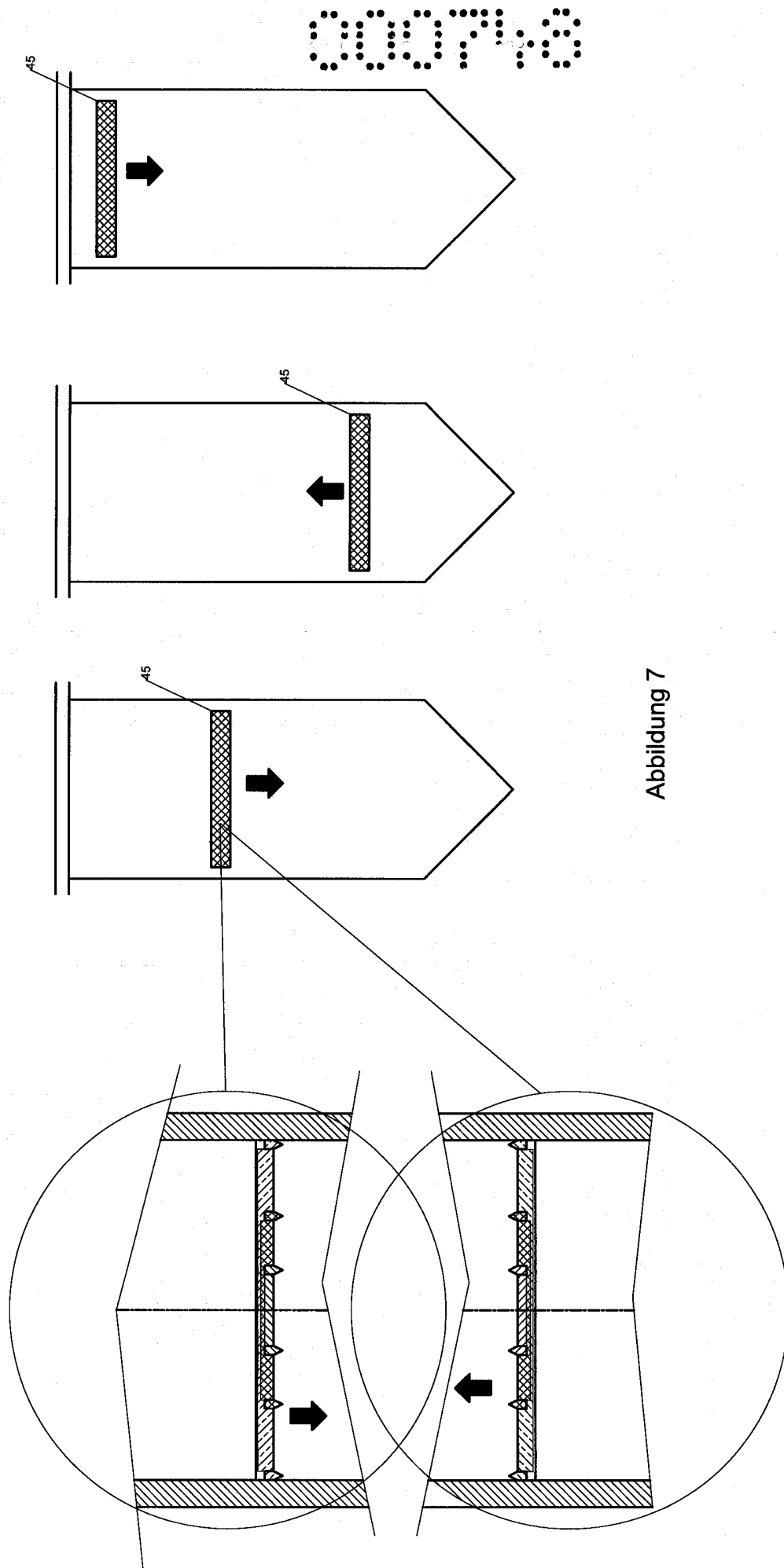


Abbildung 7

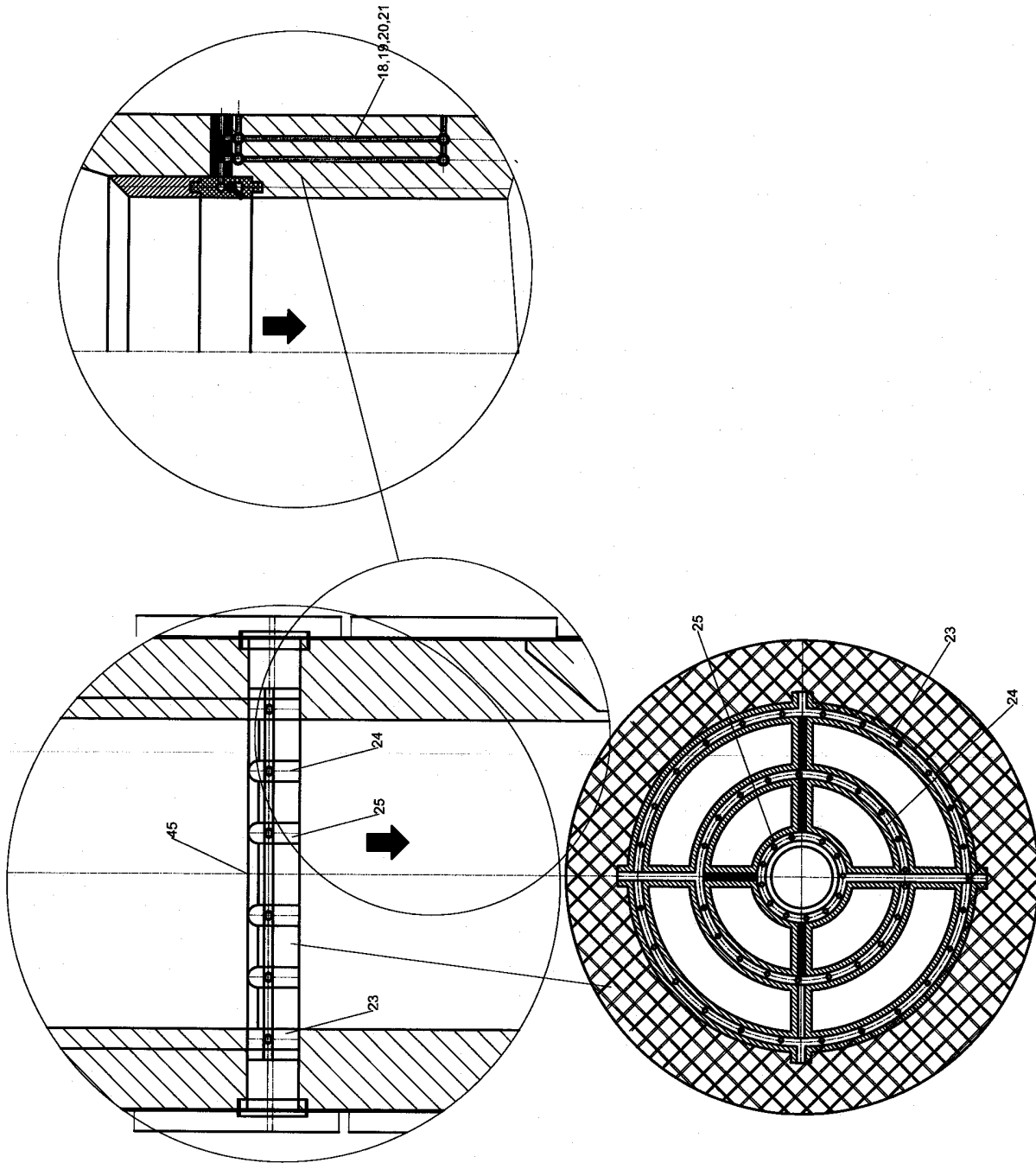


Abbildung 8

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
C10J 3/06 (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
C10J 3/06 (2013.01); **C10J 2300/0916** (2013.01); **C10J 2200/15** (2013.01); **C10J 2300/0956** (2013.01)

Recherchierte Prüfsubstanz (Klassifikation):
C10J

Konsultierte Online-Datenbank:
EPDOC, WPIAP, X-FULL

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **04.02.2016** eingereichten Ansprüchen **1-5** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	AT 508001 A4 (SCHIEFER ERWIN [AT]) 15. Oktober 2010 (15.10.2010) Seite 5, die untersten zwei Absätze; Fig. 1	1-5
A	US 5028241 A (KOOIMAN CORNELIS A et al.) 02. Juli 1991 (02.07.1991) Fig 8,9; Spalte 6, Zeilen 30 - 42.	1-5
A	WO 2011101022 A1 (BIG DUTCHMAN INT GMBH) 25. August 2011 (25.08.2011) Fig. 1, 3; Beschreibung Seite 14, Zeile 19 - Seite 20, Zeile 6	1-5
A	AT 506919 B1 (SAILER WALTER DIPL ING [AT]) 15. April 2012 (15.04.2012) Fig. 1,2; Ansprüche 1,8; Beschreibung [0008-0009]	1-5

Datum der Beendigung der Recherche:
16.12.2016

Seite 1 von 1

Prüfer(in):
MÜLLER-HIEL Renate

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

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

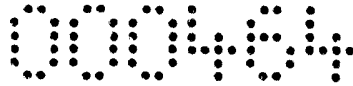


Ansprüche

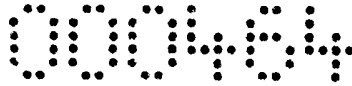
1. Vorrichtung zur Sauerstoffzuführung bei Festbettreaktoren zur Erzeugung von Schwachgas aus biogenen Stoffen, umfasst den Verdichter (2) von Luft, die Messgeber Druck(13) und Volumenstrom(12), die Regelventile (14,15,16,17), die Wärmetauscher (18,19,20,21), die Düsenringe des Düsenboden (22,23,24), die Temperatur Messgeber (25,31,26) im Düsenboden(45), die Messgeber für das Rohgas Schwachgas Druck(27) und Temperatur(28), den Verdichter für Schwachgas(30) und die Messgeber Druck(32) und Volumenstrom(33) ,

gekennzeichnet dadurch, dass

- der Verdichter(2) für Luft als Gebläse, im speziellen als SeitenkanalGebläse ausgebildet,
- der Verdichter (2) mit einem Motor und digitalen Frequenzumrichter(42) elektrisch angetrieben wird
- der Motor und FU(42) in einem Drehzahlbereich geregelt wird, minimale Drehzahl 30%, maximale Drehzahl 120%, bevorzugt eine Drehzahl von 100%
- der Sauerstoff in Form von Luft(1) über den Düsenboden(45) in den Reaktor(4) eingebracht wird
- der Luftvolumenstrom(3) im Verhältnis zum Biomassenstrom(kg/sec) mit minimal 1,1 ($\text{Nm}^3/\text{kg BM}$) bis maximal 1,6 ($\text{Nm}^3/\text{kg BM}$) eingebracht wird, bevorzugt 1,4 ($\text{Nm}^3/\text{kg BM}$)
- der Druck nach dem Verdichter(2) minimal 1,05 bara, maximal 1,25 bara beträgt, bevorzugt 1,1 bara
- die Regelventile (14,15,16,17) den Volumenstrom(3) an Luft aufteilen, minimal in 10% maximal in 90% je Leitung, bevorzugt in 25% je Leitung
- die Luftvolumenströme aus den einzelnen Regelventilen (14,15,16,17) in Wärmetauschern (18,19,20,21) vorgewärmt werden, minimal auf eine Temperatur $T = 100^\circ\text{C}$, maximal auf eine Temperatur $T = 300^\circ\text{C}$, bevorzugt auf eine Temperatur von $T = 250^\circ\text{C}$
- die Wärmetauscher (18,19,20,21) in Form von Rohrbündel parallel zur Reaktorwand in der Ausmauerung des Reaktorschachtes ausgebildet sind.



- Die Fläche der Rohrbündelwärmetauscher so ausgebildet ist, dass die Luft auf die bevorzugte Temperatur von $T=250^{\circ}\text{C}$ in jedem Rohrbündelwärmetauscher vorgewärmt wird
- Jedem Luftvolumenstrom (14,15,16,17) ein eigener Rohrbündelwärmetauscher (18,19,20,21) zugeordnet wird,
- der Düsenboden (45) in Form von Düsenringen (22,23,24) ausgebildet ist, minimal mit einem Ring, maximal mit vier Ringen, bevorzugt mit drei Ringen
- Die Düsenringe(22,23,24) mit Querstreben zu einem Düsenboden(45) als stabile Struktureinheit mit vier Auflagern verbunden sind
- die Temperatur Messgeber bei den Düsenringen (25,31,26), die Temperatur im Glutbett(Oxidationszone) messen, minimal $T=800^{\circ}\text{C}$, maximal $T=1400^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $T=1200^{\circ}\text{C}$
- das angesaugte Rohgas(7) als Schwachgas eine Temperatur (28) von minimal $T=400^{\circ}\text{C}$, maximal eine Temperatur $T=800^{\circ}\text{C}$ hat, bevorzugt eine Temperatur $T=650^{\circ}\text{C}$
- der Druck des angesaugten Rohgases(7) als Schwachgas einen Druck minimal von $p=0,7$ bara, maximal einen Druck $p=0,9$ bara, bevorzugt einen Druck $p=0,8$ bara aufweist.
- der Verdichter (30) für das Schwachgas als Vakuumverdichter ausgebildet ist, im speziellen als Drehkolbenverdichter
- der Verdichter (30) mit einem Motor und FU(44) elektrisch angetrieben wird
- der Motor und FU(44) in einem Drehzahlbereich geregelt wird, minimale Drehzahl 30%, maximale Drehzahl 120%, bevorzugt eine Drehzahl von 100%
- Das Schwachgas auf der Druckseite des Verdichters(30) einen Druck aufweist minimal $p=1,05$ bara, maximal $p=1,2$ bara, bevorzugt $p=1,1$ bara.
- Das Schwachgas auf der Saugseite des Verdichters(30) einen Druck aufweist minimal $p=0,9$ bara, maximal $p=0,5$ bara, bevorzugt $p=0,6$ bara.



2. Vorrichtung nach Anspruch 1, umfasst einen Gas / Gas Wärmetauscher (10),

gekennzeichnet dadurch, dass

- statt der Wärmetauscher (18,19,20,21) ein Gas / Gas Wärmetauscher (10) verwendet wird
- Die angesaugte undverdichtete Luft(3) auf eine Temperatur vorgewärmt wird, minimal $T=100^{\circ}\text{C}$, maximal $T=300^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $T=250^{\circ}\text{C}$
- das heiße Schwachgas(7) über den Gas Gas Wärmetauscher, durch Abgabe der Wärme an die Luft(3) auf eine Temperatur abgekühlt wird, minimal $T=250^{\circ}\text{C}$, maximal $T=400^{\circ}\text{C}$, bevorzugt $T=350^{\circ}\text{C}$.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, umfasst einen Verdichter(34) für die angesaugte Luft, eine Gastrennung(36) zur Abtrennung von Sauerstoff(40) mit dem Messgeber für den Volumenstrom (40) an Sauerstoff, der Zumischung von Kohlendioxid(38) mit der Messung des Volumenstromes (39)

gekennzeichnet dadurch dass,

- der Verdichter(34) als Schraubenverdichter ausgeführt ist
- der Verdichter(34) mit einem Motor und FU(43) elektrisch angetrieben wird
- der Motor und FU(43) in einem Drehzahlbereich geregelt wird, minimale Drehzahl 30%, maximale Drehzahl 120%, bevorzugt eine Drehzahl von 100%
- als Gastrennung(39) für die angesaugte Luft, das DruckwechseladsorptionsVorrichtung angewendet wird
- der Sauerstoff(40) mit einer Konzentration von minimal 95%, maximal 100%, bevorzugt 98% verwendet wird
- Kohlendioxid(38) dem Sauerstoff(40) angereichert wird, minimal 0%, maximal 47%, bevorzugt mit 10%



- ein Gasgemisch aus Sauerstoff(40) und Kohlendioxid(38) erzeugt wird, minimal mit 100% Sauerstoff und 0% Kohlendioxid, maximal 53% Sauerstoff(40) und 47% Kohlendioxid, bevorzugt Sauerstoff(40) 90% und Kohlendioxid(38) 10%
- ein Teil der verdichteten angesaugten Luft(1) als Druckluft in der Anlage verwendet wird, minimal 0% des angesaugten Volumenstromes, maximal 100% des angesaugten Volumenstromes an Luft, bevorzugt 25% der angesaugten Luft

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch das

- der Düsenboden(45) im Reaktorboden angebracht ist, und die Luft(3) oder das Gasgemisch(41) über die Düsenringe(22,23,24) entgegen der Sinkrichtung der Biomasse ausströmt und am Reaktorkopf abgesaugt wird

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch das

- der Düsenboden(45) in der Reaktormitte angebracht ist, und die Luft(3) oder das Gasgemisch(41) über die Düsenringe(22,23,24) mit der Sinkrichtung der Biomasse ausströmt und am Reaktorboden abgesaugt wird

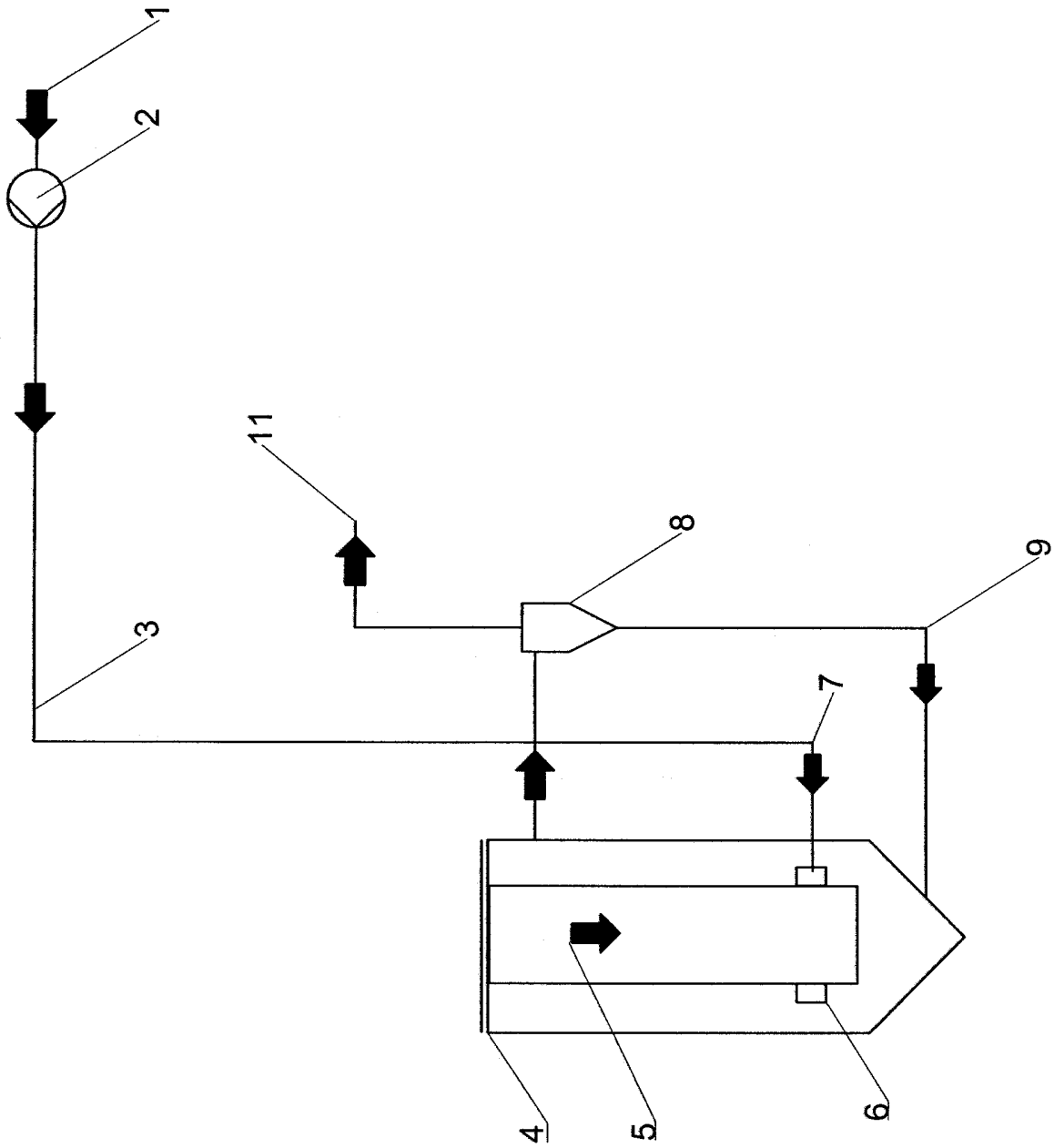


Abbildung 1

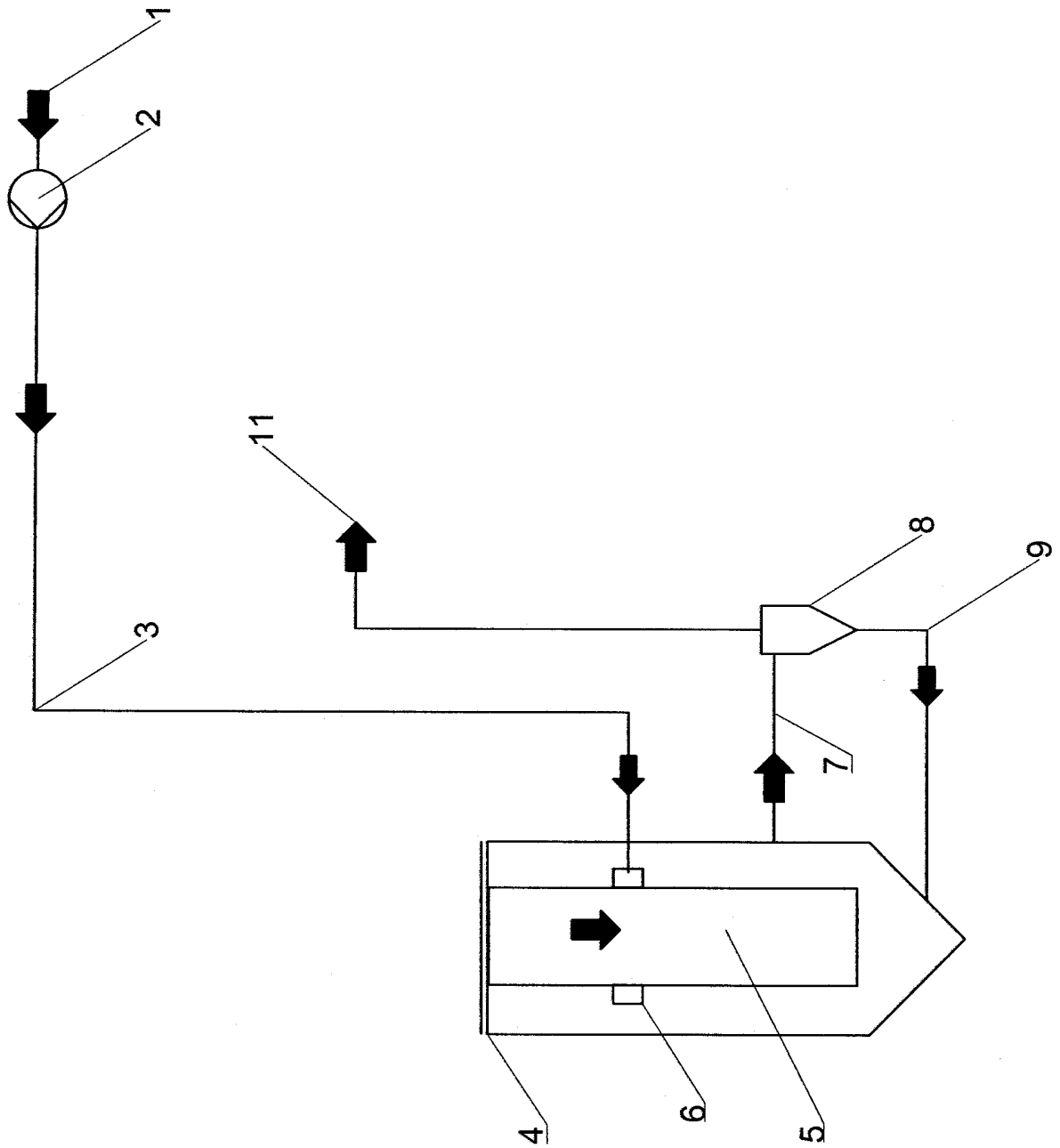


Abbildung 2

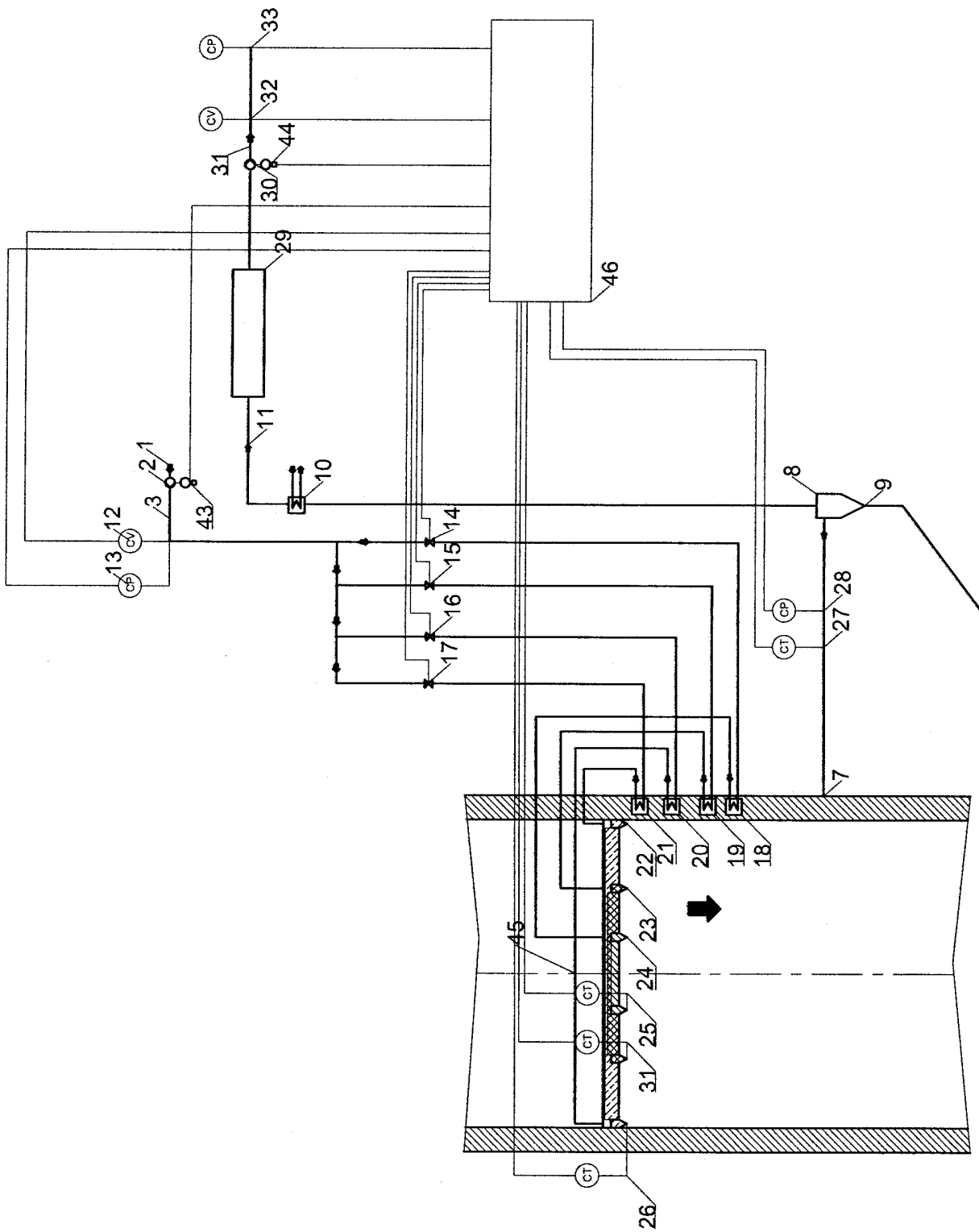


Abbildung 3

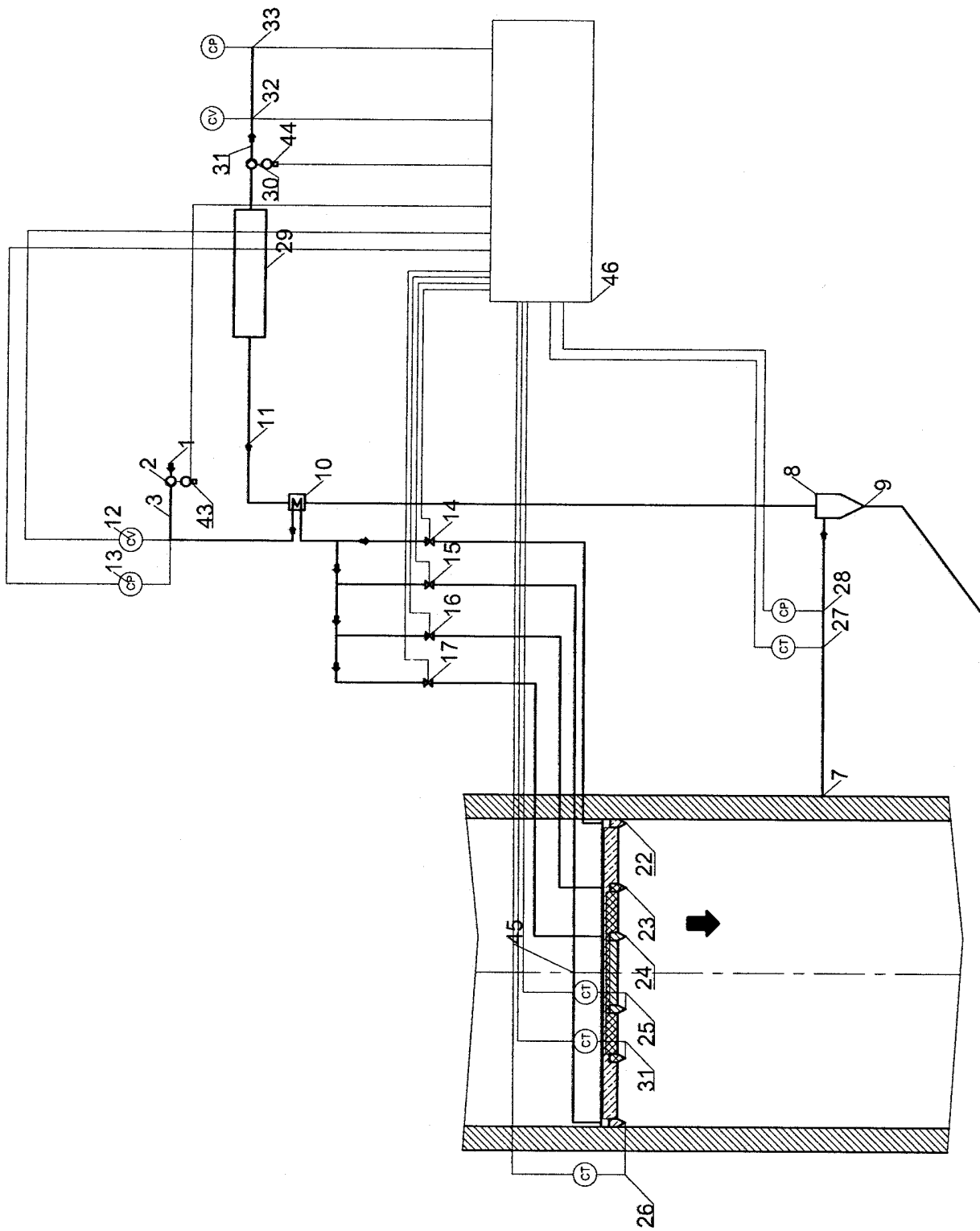


Abbildung 4

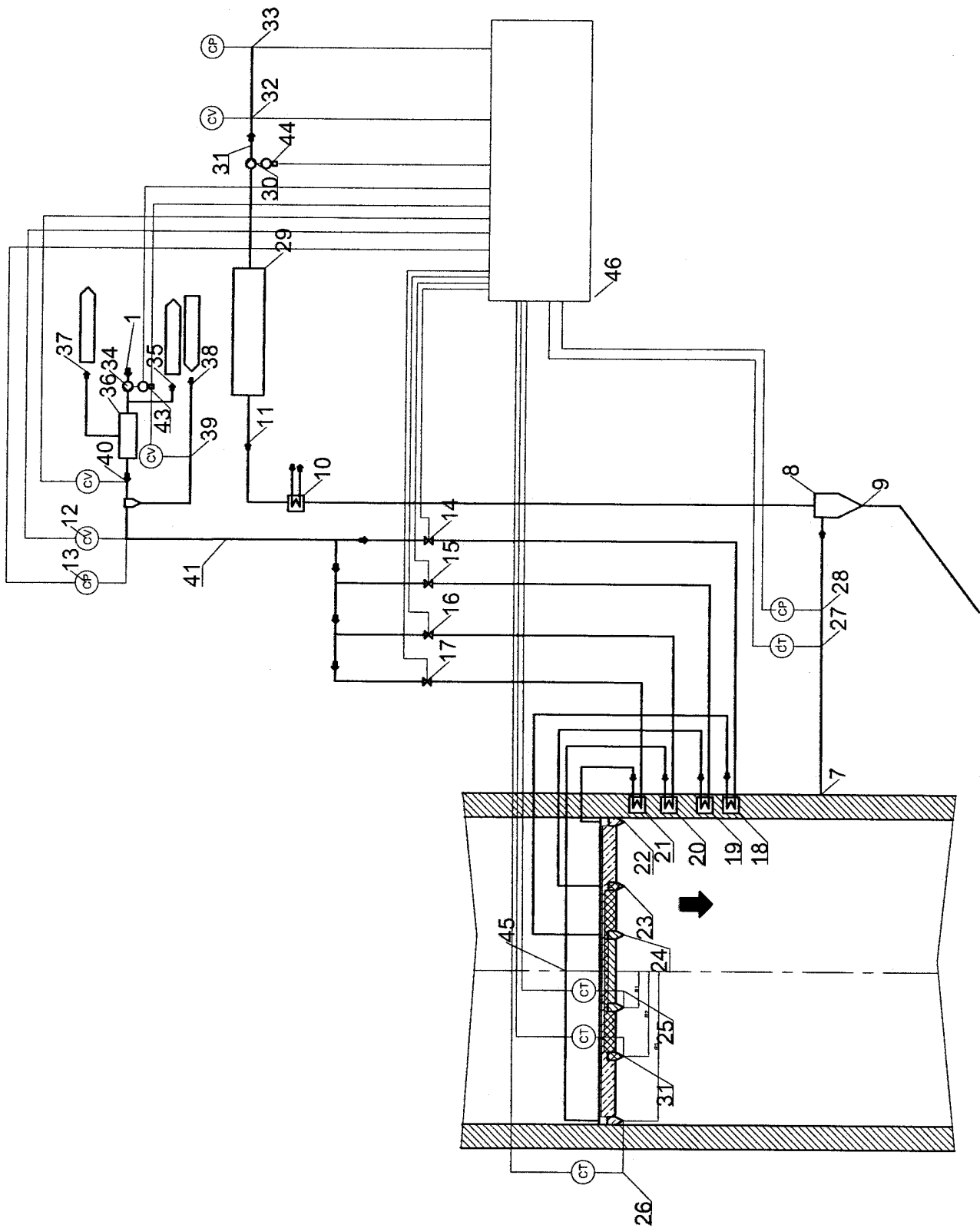


Abbildung 5

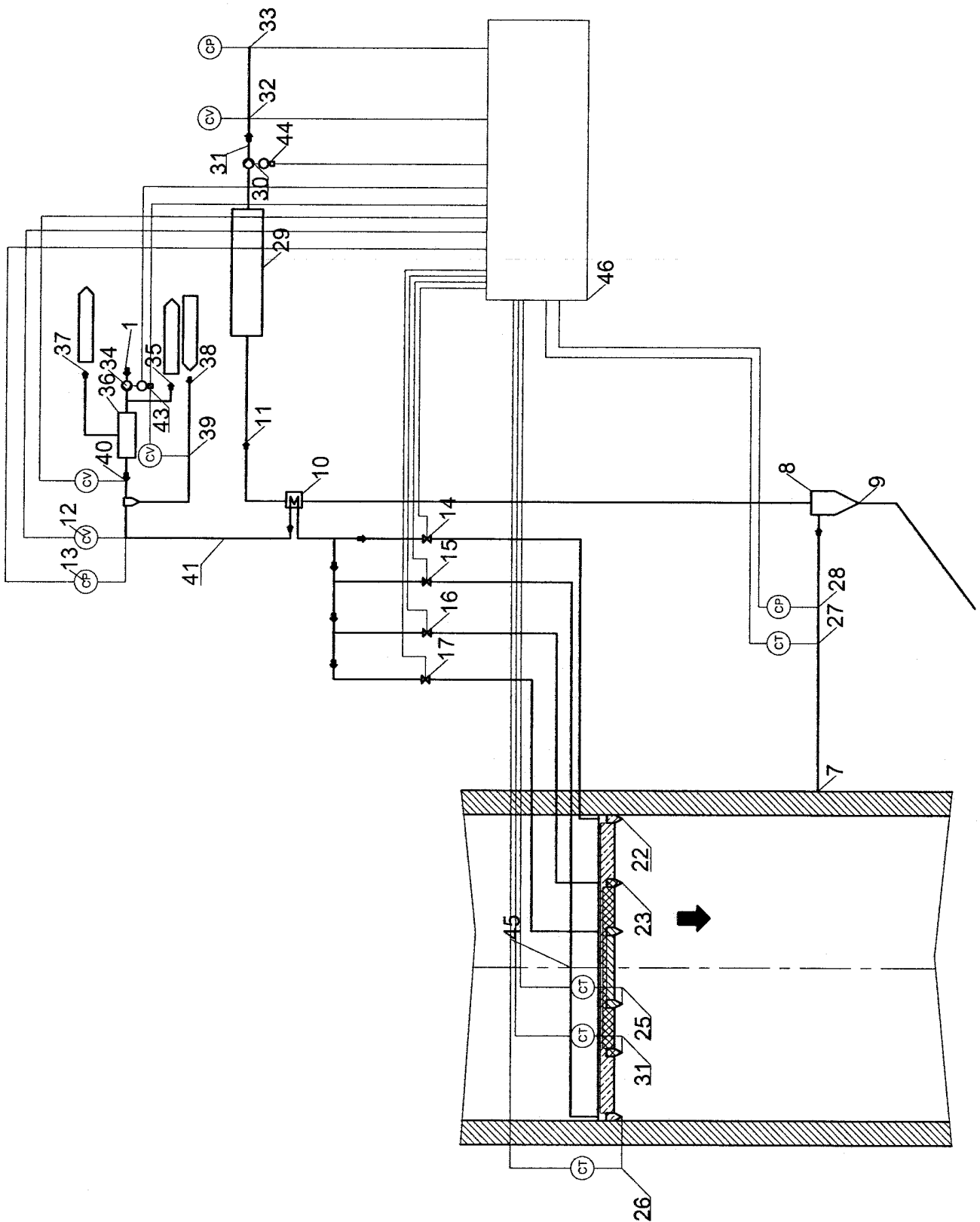


Abbildung 6

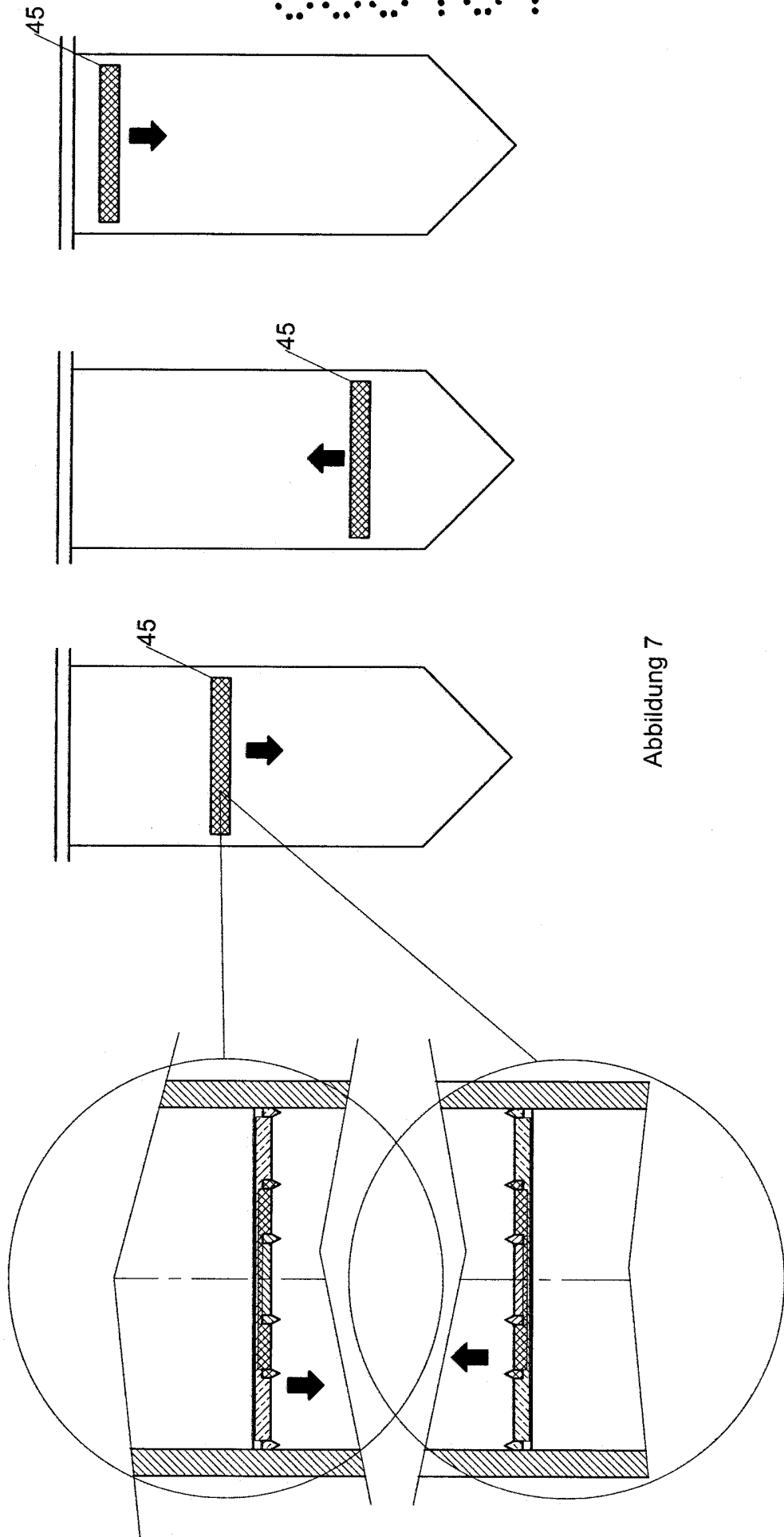


Abbildung 7

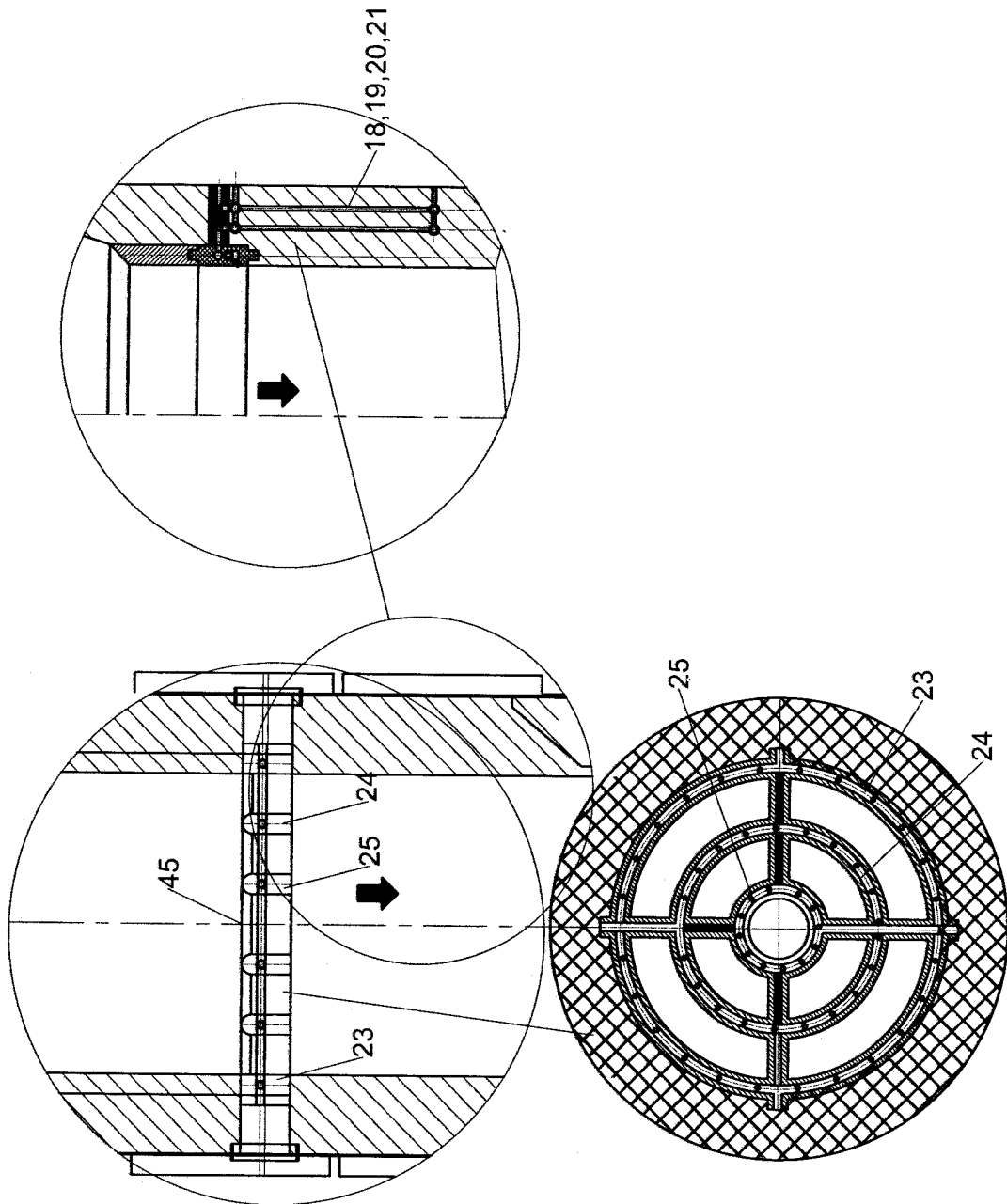


Abbildung 8