



(19)  
**Bundesrepublik Deutschland**  
**Deutsches Patent- und Markenamt**

(10) **DE 199 47 339 B4 2005.02.24**

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **199 47 339.0**  
 (22) Anmeldetag: **01.10.1999**  
 (43) Offenlegungstag: **12.04.2001**  
 (45) Veröffentlichungstag  
 der Patenterteilung: **24.02.2005**

(51) Int Cl.7: **C12P 5/02**  
**C12M 1/107, C10L 3/00**

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden.

(71) Patentinhaber:  
**Tentscher, Wolfgang, Dr., 12167 Berlin, DE**

(74) Vertreter:  
**Schwabe, Sandmair, Marx, 81677 München**

(72) Erfinder:  
**gleich Patentinhaber**

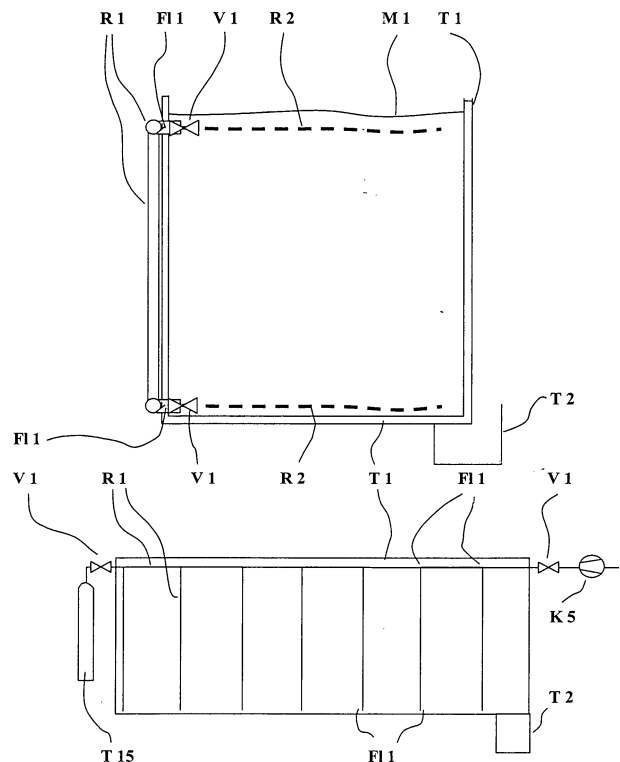
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
 gezogene Druckschriften:

**DE 44 19 766 C2**  
**DE 197 24 012 A1**  
**DE 197 21 280 A1**  
**DE 196 02 189 A1**  
**DE 195 32 359 A1**  
**DE 299 02 042 U1**  
**DE 297 09 266 U1**  
**DD 2 36 265 A1**  
**US 56 81 360 A**  
**US 41 00 023**  
**EP 08 90 388 A2**  
**EP 02 52 169 A1**  
**WO 99/32 600 A1**  
**Biosis Abstracts Nr. 1988: 198 621;**

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anlage zur Erzeugung und Aufbereitung von Biogas**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Erzeugung von Biogas, bei dem

- eine Biomasse, die aus einer Mischung aus Energiepflanzen und Gülle und/oder organischem Abfall besteht, mittels Mikroorganismen fermentativ anaerob abgebaut wird und
- aus einem bei dem Abbau entstehenden Biogasgemisch erdgasgleiches Biomethan und Kohlendioxid hergestellt werden, wobei
- die Biomasse in einem Zuführbehälter vorgemischt wird,
- aus dem Zuführbehälter in einen Reaktorbehälter (T 4) durch eine untere Öffnung (FI 3) in dem Reaktorbehälter (T 4) geleitet wird und
- Faulwasser aus dem Reaktorbehälter (T 4) durch eine obere Öffnung (FI 2) in dem Reaktorbehälter (T 4) auf die in dem Zuführbehälter befindliche Biomasse geleitet wird, dadurch gekennzeichnet, dass
- die Biomasse in einen Seitenschacht (T 3), der den Zuführbehälter bildet und unmittelbar an einer Wand außerhalb eines Reaktorbehälters (T 4) angeordnet ist, eingegeben wird und
- das Faulwasser aus dem Reaktorbehälter aufgrund des höheren...



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anlage zur Erzeugung und Aufbereitung von Biogas.

### Stand der Technik

**[0002]** Bisher wird Gülle allein oder in Verbindung mit Abfällen ausgefault und ein dabei entstehendes Biogas in Blockheizkraftwerken verstromt. Die Abgase werden in die Atmosphäre emittiert. Die BHKW-Abwärme ist nur zu einem Teil nutzbar. Der Wärmeüberschuß, der totgekühlt werden muß, ist besonders in der Sommerzeit sehr hoch.

**[0003]** Die WO 99/32600 A1 beschreibt einen Biogasreaktor mit einem Rührschacht, der unmittelbar an einer Seitenwand im Inneren des Reaktors angebracht ist. Eine obere Öffnung des Rührschachts liegt unterhalb der freien Oberfläche der ausgefaulten Flüssigkeit in dem Reaktor. Ein Rührwerk zur Durchmischung der Biomasse innerhalb des Reaktors ist bei einer unteren Öffnung des Rührschachts angeordnet, über die der Rührschacht mit dem Behälterinnenraum des Reaktors verbunden ist. Frische Biomasse wird durch einen Füllstutzen zugeführt, der in der Seitenwand des Reaktors oberhalb der oberen Öffnung des Seitenschachts ausgebildet ist. Die direkt in den Reaktor eingeführte Biomasse wird bei Betrieb des Rührwerks durch eine Sogwirkung in den Rührschacht eingesogen und beim Austritt aus dem Rührschacht durch die untere Öffnung durch das Rührwerk mit dem Material in dem Reaktor vermischt. Die Zufuhr von Pflanzenteilen oder gar ganzen Pflanzen oder auch grundsätzlich von faserigem Material ist schwierig, wenn nicht gar unmöglich. Auch die Einführung der frischen Biomasse unmittelbar in die ausgefaulte Flüssigkeit in dem Bioreaktor wirft Probleme auf. Es ist nicht sichergestellt, dass die gesamte eingeführte Biomasse durch den Rührschacht geführt und so ausreichend mit dem Material in dem Reaktor vermischt wird.

**[0004]** Ein Biogasreaktor mit einem äußeren Einwurfschacht ist aus der DE 299 02 042 U1 bekannt. Frische Biomasse wird über den Einwurfschacht z. B. mit Hilfe einer Schaufel direkt in den Reaktor gefüllt. Eine Aufbereitung der Biomasse durch Zerkleinerung, Vormischen oder Homogenisierung findet nicht statt.

**[0005]** In der US 4 100 023 ist ein Biogasreaktor mit mehreren Kammern zur aeroben und anaeroben Biogasherstellung beschrieben. Die Biomasse wird aus einem externen Tank, der eine Vormischeinrichtung aufweist, durch ein erstes Leitungssystem zu dem Reaktor geführt und durch eine untere Öffnung in den Reaktorbehälter eingeleitet. Für die Vormischung in dem externen Tank wird aus einer oberen Öffnung des Reaktorbehälters ausgefaulte Flüssigkeit aus

dem Reaktor über ein zweites Leitungssystem in den externen Tank geleitet. Hierfür wird eine Pumpeinrichtung verwendet.

**[0006]** Aus der DE 196 02 189 A1 ist ein Verfahren zum Recyclieren von weich- und/oder hartorganischen Stoffen, wie Pflanzen, Holz-, Haus- und Siedlungsabfall, Klärschlamm oder dergleichen bekannt. Aus dieser Druckschrift ist es bekannt, eine aufgefaserete Biomasse zunächst in ein Vorreaktor zu geben, in dem eine Homogenisierung der Biomasse stattfindet, bevor aus dem Vorreaktor das Gemisch in ein Biogasreaktor gelangt. Das entstehende Gas wird einer Gasreinigung unterzogen und in einem Gasspeicher gespeichert. Die ggf. anfallende flüssige Fasen aus einer Absetzwanne können über eine Entwässerung in den Vorreaktor zurückgeführt werden.

**[0007]** Aus der DE 197 24 012 A1 ist ein Verfahren und eine Anlage zur Nutzung von Biomasse bekannt, bei der Biomasse unterschiedliche Herkunft zunächst in einem Hygienisierungsbehälter einer Temperatur ausgesetzt wird und anschließend in einen Vorbehälter oder Vorgrube einer Biogasanlage überführt wird. Die Biomasse gelangt anschließend in einen Fermenter, wobei die Gase, die dort entstehen, in einem Gasspeicher gesammelt werden. Über eine Gasreinigung mit Trocknung und Entschwefelung gelangt das Biogas in ein Zündstrahl- oder Gasmotor.

### Aufgabenstellung

**[0008]** Aufgabe der Erfindung ist es, die wirtschaftliche Erzeugung und Verwertbarkeit von Biogas zu verbessern.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch die kennzeichnenden Merkmale der Ansprüche 1 und 13 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen gehen aus den Unteransprüchen hervor.

**[0010]** Demnach umfasst die erfindungsgemäße Biogasanlage einen Biogasreaktor mit wenigstens einem Reaktorbehälter in dem durch fermentativen, anaeroben Abbau einer Biomasse ein Biogas erzeugt wird. An einer Wand des Reaktorsbehälters ist wenigstens ein Seitenschacht angeordnet, der als Zuführbehälter für die Biomasse dient und aus dem die Biomasse in den Reaktorbehälter eingebracht wird. Ferner ist in dem Seitenschacht eine Vormischeinrichtung zur Vermischung der Biomasse vor dem Einbringen in den Reaktorbehälter angeordnet.

**[0011]** Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung von Biogas wird die Biomasse, die aus einer Mischung aus Energiepflanzen und Gülle und/oder organischem Abfall besteht, mittels Mikroorganismen fermentativ anaerob abgebaut. Aus dem bei dem Abbau entstehenden Biogasgemisch wird erdgasgleiches Biomethan und Kohlendioxid herge-

stellt, wobei die Biomasse zunächst in einen Seitenschacht an einer Wand eines Reaktorsbehälters eingegeben wird und ausgefaulte Flüssigkeit aus dem Reaktorbehälter auf die in dem Seitenschacht befindliche Biomasse geleitet wird. Die ausgefaulte Flüssigkeit wird zusammen mit der Biomasse durch eine untere Öffnung aus dem Seitenschacht in den Reaktorbehälter gefördert wird.

**[0012]** Nach der Erfindung wird Biogas aus Gülle und/oder organischen Abfällen und separat angebauten Pflanzen, d.h. nachwachsenden Rohstoffen, erzeugt. Dies geschieht in einem fermentativen anaeroben Abbau mittels Mikroorganismen. Ein bei dem Abbau entstehendes Biogasgemisch wird zu einem erdgasgleichen Biomethan und Kohlendioxid aufbereitet. Da als nachwachsender Rohstoff für die Erfindung vorzugsweise Pflanzen verwendet werden, wie sie in anderen Bereichen der Technik auch zur Energieerzeugung eingesetzt werden, werden die Pflanzen dieser Biofraktion nachfolgend als Energiepflanzen bezeichnet.

**[0013]** Eine erfindungsgemäße Biogasanlage weist eine Gastrennungseinrichtung auf, die einem Biogasreaktor nachgeschaltet ist. Die Gastrennungseinrichtung trennt erdgasgleiches Biomethan und Kohlendioxid aus dem erzeugten Biogas. Eine erfindungsgemäße Anlage eignet sich insbesondere zu Aufstellungen in einer landwirtschaftlichen Umgebung. Falls das erzeugte Biogas nicht ausreichend rein an Biomethan und Kohlendioxid ist, entsteht ein Restgasstrom, der anderweitig genutzt oder nur entsorgt, beispielsweise einfach abgelassen wird.

**[0014]** Ein Vorteil der Erfindung besteht darin, dass den bereits heute in Biogasanlagen abgebauten Biomassen Gülle und/oder organischer Abfall ein nachwachsender Rohstoff in Form der separat angebauten Energiepflanzen beigegeben wird und dadurch eine Biogasanlage mit einem stets optimalen Auslastungsgrad betrieben werden kann. Bei den organischen Abfällen handelt es sich insbesondere um organische Haushaltsabfälle, wie sie in Deutschland beispielsweise in der sogenannten Biotonne gesammelt werden, und organische Abfälle der Industrie. Bevorzugt wird Gülle aus der Tierhaltung verwertet. Durch die gleichzeitige Vergärung von Pflanzen mit Gülle und/oder organischen Abfällen ist es ferner möglich, größere Biogasanlagen zu bauen, die vorzugsweise in einem Leistungsbereich von 0,5 bis 5 MW arbeiten und die eine wirtschaftliche Verwertung von Gülle auch aus kleinen Tierhaltungen durch den economy-of-scale-effekt ermöglichen. Gülle wird bisher nur zu weniger als 1% für die Biogaserzeugung genutzt.

**[0015]** Mit den beiden erfindungsgemäßen Endprodukten, nämlich erdgasgleiches Biomethan und Kohlendioxid, liefert die Erfindung Produkte, die sich für

eine Verwertung durch die Allgemeinheit unmittelbar eignen. Das erfindungsgemäß erzeugte Biomethan kann insbesondere als Energielieferant dienen. Durch den Anbau und Zumischung von leicht vergärbare Biomasse kann aus Gülle und/oder Abfällen auch zusammen mit anderweitig gewonnenem Methan ein Teil des Erdgasbedarfes durch erneuerbares Biomethan ersetzt werden. Das weitere erfindungsgemäße Endprodukt, nämlich Kohlendioxid, steht für jede für diesen Rohstoff bekannte Verwertung zur Verfügung.

**[0016]** Besonders bevorzugt wird das erdgasgleiche Biomethan in ein Leitungsnetz eingeleitet. Hierbei kann es sich um ein bestehendes Erdgasnetz handeln. Es kann jedoch auch ein eigenes, zumindest in einer ersten Ausbaustufe lokal begrenzten Netz für die Einleitung und Durchleitung des Biomethans zu interessierten Verbrauchern, insbesondere zu Industriebetrieben, erst errichtet werden. Ein Vorteil der Erfindung liegt darin, dass das erfindungsgemäß erzeugte Biomethan anderweitig erzeugtem Erdgas, das bereits heute durch stationäre Leitungsnetze gefördert wird, zugemischt und mit diesem Erdgas transportiert werden kann. Es kann stattdessen oder auch zusätzlich in einer lokalen Anlage auf 250 bar komprimiert und in Druckbehälter abgefüllt werden.

**[0017]** Das abgetrennte Kohlendioxid ist vorzugsweise so rein, dass es einer direkten wirtschaftlichen Verwertung zuführbar ist, die beispielsweise in der Landwirtschaft in der näheren Umgebung der Biogasanlage erfolgen kann. Durch die direkte Verwertung von Kohlendioxid braucht der lange Kohlenstoffkreislauf über die Atmosphäre nicht abgewartet zu werden, bei dem bis zu 100 Jahre vergehen können, bis emittierter Kohlenstoff wieder assimiliert wird. Erst nach der wirtschaftlichen Verwertung des erfindungsgemäß erzeugten Kohlendioxids wird der Kohlenstoffkreislauf der Natur geschlossen. Nach der Erfindung kann das Kohlendioxid auch in ein bestehendes oder extra errichtetes CO<sub>2</sub>-Leitungsnetz eingespeist werden.

**[0018]** Dank einer in anderen Verwendungen altbekannten und bewährten feuchten Konservierungsmethode, der Silierung, kann die eigens für die Erfindung angebaute Biomasse über etwa 10 Monate hinweg konserviert werden, so dass die Biogasanlage gleichmäßig und täglich mit einer Mischung von Silage und Gülle und/oder organischen Abfällen beschickt werden kann. Die Speicherung mittels Silierung hat den Vorteil, dass die Kapazität der Biogasanlage an den Erdgasbedarf angepaßt werden kann, der in der Winterzeit viel höher als in der Sommerzeit ist. Die Kapazitätsauslegung der Biogasanlage erfolgt deshalb vorzugsweise für den Winterbedarf. Die Ressourcenproduktivität des Faktors Boden, d.h. der Energieertrag pro Fläche bei einer Biogaserzeugung

aus Ganzpflanzen, lässt sich gegenüber der von RME (Rapsmethylester) um das Drei- bis Vierfache erhöhen. Zudem hat Biogas sehr geringe CO<sub>2</sub>-Minderungskosten in Höhe von etwa DM 200/t CO<sub>2</sub>, zu heutigen Preisen. Bei RME sind CO<sub>2</sub>-Minderungskosten in Höhe von etwa DM 1.450/t CO<sub>2</sub> bekannt. Vorzugsweise werden gehäckselte Ganzpflanzen nach der Ernte in einem Fahrsilo siliert und zwischengespeichert.

**[0019]** Die in dem Biogasreaktor abzubauenende Mischung wird vorzugsweise in einer Vormischeinrichtung, insbesondere in einer Vorgrube am Ort der Anlage und/oder einem integrierten Seitenschacht am Reaktor gemischt und homogenisiert. Besonders bevorzugt wird die Mischung in einem aus mehreren Teilreaktoren bzw. Behältern bestehenden Biogasreaktor ausgefault.

**[0020]** Ein rohes Biogas und ein entschwefeltes Biogas werden vorzugsweise in je wenigstens einem Gasspeicher, vorzugsweise in je wenigstens einem Niederdruckspeicher, zwischengespeichert. Die Speicherung erfolgt bevorzugt ohne Luft- bzw. Sauerstoffzugabe. Besonders bevorzugt erfolgt sie unter Luft- bzw. Sauerstoffabschluss.

**[0021]** Vorzugsweise ein Teil des Biogases wird in einer Energiestation zur Energiebedarfsdeckung der Biogasanlage an Wärme und Kälte und/oder Strom genutzt bzw. umgewandelt.

**[0022]** Eine vorzugsweise in der Anlage durchgeführte Entschwefelung des Biogases erfolgt bevorzugt ohne Luftzusatz bzw. Sauerstoffzugabe. Besonders bevorzugt erfolgt sie unter Abschluss von Luft bzw. Sauerstoff.

**[0023]** In der Gastrennungseinrichtung wird vorzugsweise zuvor entschwefeltes Biogas in Methan und Kohlendioxid getrennt. Bevorzugt erfolgt die Entschwefelung in einer eigenen Entschwefelungsstufe und die Trennung von Biomethan und Kohlendioxid in einer anschließend mit dem entschwefelten Biogas durchgeführten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe oder mehreren Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufen der Gastrennung. Vorzugsweise sind die Entschwefelung und die Methan-CO<sub>2</sub>-Trennung voneinander separiert, und es kann das entschwefelte Biogas der Methan-CO<sub>2</sub>-Trennung und wahlweise dem Speicher für entschwefeltes Biogas für eine anderweitige Verwendung zugeführt werden.

**[0024]** In einer besonders bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Trennung von Methan und CO<sub>2</sub> in mehreren, in Serie geschalteten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufen. Insbesondere erfolgt sie in zwei hintereinander geschalteten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufen. Die erste Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe verlässt ein methanreicher Teil-

strom und ein kohlendioxidreicher Teilstrom. Werden die Trennstufen als PSA-Kolonnen ausgebildet, welche mit Molekularsieben oder Flüssigkeit gefüllt sind, so fällt der kohlendioxidreiche Teilstrom als Desorptions- bzw. Evakuierungsgas an. Dieser Teilstrom wird einer weiteren, nachgeschalteten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe zugeführt, vorzugsweise jedoch nur, falls der Methangehalt in dem kohlendioxidreichen Teilstrom unterhalb eines vorgegebenen Werts liegt. Liegt der Methangehalt im kohlendioxidreichen Teilstrom über dem vorgegebenen Wert, so wird der kohlendioxidreiche Teilstrom vorzugsweise in eine frühere Verfahrensstufe zurückgeführt. Der genannte, vorgegebene Wert für den Restgehalt an Methan im kohlendioxidreichen Teilstrom liegt vorzugsweise bei 1 Vol.%. In der nachgeschalteten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe erfolgt eine weitere Anreicherung des Kohlendioxids im kohlendioxidreichen Teilstrom, so dass letztlich Kohlendioxid in einer für beliebige wirtschaftliche Anwendungen ausreichenden Reinheit erhalten wird.

**[0025]** Der Wobbeindex des erdgasgleichen Biomethans ist vorzugsweise nach DVGW G 260 als erdgasgleiches Gas aufbereitet.

**[0026]** Das Kohlendioxid hat eine Reinheit von vorzugsweise über 99%. Besonders bevorzugt wird Kohlendioxid mit Lebensmittelqualität gewonnen.

**[0027]** Die ausgefaulte Flüssigkeit wird in einem vorzugsweise mit einer Gasspeicherfolie abgedeckten Lagertank, der gleichzeitig Nachgärtank ist, für vorzugsweise 1 Monat und in vorzugsweise weiteren Lagertanks für vorzugsweise weitere 5 Monate zwischengespeichert und bevorzugt als Dünger auf landwirtschaftlichen Flächen verwendet.

**[0028]** Nachwachsende Rohstoffe werden vorzugsweise als ganze Pflanze geerntet und erfindungsgemäß zur Biogaserzeugung verwendet, im Vergleich zu Biodiesel, bei dem nur das Saatgut zur Energieerzeugung genutzt wird.

**[0029]** Vorteilhaft ist die Ausfäulung von frischen Pflanzen, angewelkten Pflanzen oder Silage oder einer Mischung daraus mit vorzugsweise 20-60% Trockensubstanz und Gülle mit vorzugsweise 4-20% Trockensubstanz in Biogasreaktoren.

**[0030]** Liegende vollständig gefüllte Reaktoren mit horizontalem Rührwerk haben sich als besonders robust erwiesen, um Mischungen mit hohen Trockensubstanzgehalten von vorzugsweise 10 bis 30% ohne Verstopfungen auszufaulen. Während der Ausfäulung werden die Trockensubstanz und die Viskosität bereits erheblich verringert. Stehende Gärbehälter, haben sich im Naßfermentationsverfahren mit Trockengehalten von vorzugsweise 5 bis 15% bewährt. Liegende und stehende Gärbehälter können

deshalb vorteilhaft miteinander in Reihenschaltung gekoppelt werden. Der liegende, vorzugsweise kleinere Gärtank wird als erste Stufe eingesetzt. Vorteilhaft ist auch die Zusammenschaltung stehender Reaktoren, vorzugsweise im Naßfermentationsverfahren.

**[0031]** Die Anordnung eines Seitenschachts unmittelbar an einem Biogasreaktor mit Befüllung des Reaktors von dem Seitenschacht aus und mit einem bevorzugten Abströmen von Flüssigkeit aus dem Reaktor in den Seitenschacht ist an sich auch ohne die Erfindung vorteilhaft. Ebenso gilt dies für die Ausbildung eines oder mehrerer Biogasspeicher als luftundurchlässige Speicher und auch für die Entschwefelung von Biogas ohne Luft- bzw. Sauerstoffzugabe. Auch die Einleitung von aus einem Biogas hergestelltem Biomethan und/oder Kohlendioxid in ein fest verlegtes Leitungsnetz kann für sich allein oder in Kombination mit offenbaren Merkmalen zum Vorteil eingesetzt werden. Diese weiteren Ausgestaltungen kommen zwar bevorzugt in Kombination mit der beanspruchten Erfindung zum Einsatz. Sie können vorteilhaft aber auch bei einer anderen Art der Biogaserzeugung, der Erzeugung aus anderen Ausgangsstoffen oder ohne die erfindungsgemäße Trennung eingesetzt werden. Schließlich ist auch ein Silo mit einem im Silo verlegten Leitungsnetz zur Einleitung von CO<sub>2</sub> in eine zu silierende Schüttung alleine für eine Silierung nutzbringend einsetzbar.

#### Ausführungsbeispiel

**[0032]** Bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung werden nachfolgend anhand der **Fig. 1, 3, 4** und **6 bis 8** erläutert. Die **Fig. 2** und **5** zeigen Ausführungen, die bezüglich der Vormischeinrichtung nicht patentgemäß sind, aber andere Merkmale offenbaren, die mit der patentgemäßen Vormischeinrichtung verwirklicht werden können. Es zeigen:

**[0033]** **Fig. 1** ein Fahrsilo,

**[0034]** **Fig. 2** einen Biogasreaktor mit zwei Reaktorbehältern und einer separaten Vorgrube als Vormischeinrichtung,

**[0035]** **Fig. 3** einen Reaktorbehälter mit einem integrierten Seitenschacht als Vormischeinrichtung,

**[0036]** **Fig. 4** den Seitenschacht der **Fig. 3** in einem anderen Schnitt,

**[0037]** **Fig. 5** eine Reihenschaltung eines liegenden und eines stehenden Reaktorbehälters,

**[0038]** **Fig. 6** eine Biogasspeicherung und Biogastrennung

**[0039]** **Fig. 7** den Speicher für entschwefeltes Bio-

gas gemäß **Fig. 6** und

**[0040]** **Fig. 8** eine Gastrennungseinrichtung.

**[0041]** **Fig. 1** zeigt ein Fahrsilo T1 in einem Querschnitt und darunter in einer Ansicht. Energiepflanzen, vorzugsweise Silomais, Raps, Weizen, Roggen, Hirse, Luzerne, Futterrüben, Zuckerrüben, Kartoffeln und/oder Gräser, werden vorzugsweise als Ganzpflanzen mit Feldhäckseln gehäckselt, zum Fahrsilo T1 transportiert und dort einsiliert. Der Siliervorgang umfaßt die Zugabe von Siliierhilfsmitteln, wie beispielsweise Melasse und/oder Impfkulturen, vorzugsweise eine Kompaktierung der losen Schüttung auf eine Schüttdichte von vorzugsweise 300 bis 600 kg/m<sup>3</sup> und Abdeckung mit Silofolie M1. Das Fahrsilo T1 ist mit einer waagerechten, vorzugsweise entlang des oberen Silorandes verlegten Rohrleitung R1 von vorzugsweise 1/2 bis 3 Zoll Durchmesser mit senkrechten, in vorzugsweise 2 bis 4 m Abstand angebrachten Abzweigungen zum Siloboden ausgestattet. Die senkrechten Abzweigungen haben Anschlüsse FI 1 an den Enden. Von diesen Anschlüssen sind perforierte Leitungen, vorzugsweise Schläuche R2, am Siloboden und auf die kompaktierten Pflanzen verlegt, über die eine vorzugsweise dem 1 bis 3-fachen des Porenvolumens entsprechende Menge an Kohlendioxid über direkt angeschlossene Druckflaschen T 15 oder über ein Gebläse K5 zugegeben wird, um sowohl gleich nach Kompaktierung als auch nach Abdeckung mit der Folie M1 zu Beginn des Siliervorganges den Sauerstoff zu verdrängen und die Silierverluste zu verringern. Die am Boden verlegten Schläuche R2 liegen vorteilhafterweise in Aussparungen bzw. Vertiefungen. Mit T2 ist eine Sickerwassergrube bezeichnet.

**[0042]** **Fig. 2** zeigt einen Biogasreaktor T4 mit einer vorgeschalteten, separaten Vormischeinrichtung in Form einer Vorgrube T3'. Die Vorgrube T3' ist nicht patentgemäß. Der Biogasreaktor T4 wird durch zwei Reaktorbehälter T 4a und T 4b gebildet, die wahlweise einzeln, parallel oder in Reihe betrieben werden können. Die Reaktorbehälter T 4a und T 4b werden im folgenden zusammen als Reaktor T4 oder als Teilreaktoren bezeichnet.

**[0043]** Die fertige Silage wird mit Radlader und/oder einer Greifvorrichtung aus dem Silo T1 entnommen, in einen Kipphänger oder auf ein Transportband gefüllt, zur Vorgrube T3' transportiert und in diese abgekippt. Der Transport mit dem Kipphänger erfolgt auf der Straße oder Schiene. Es kann eine Silierung in einem Silo aber auch am Ort der Biogasanlage vorhanden sein.

**[0044]** In der Vorgrube T3' befindet sich vorzugsweise zuvor bereits etwas Frischgülle und/oder Einstreu und/oder Festmist. Die Vorgrube T3' wird nach dem Abkippen der Silage mit Gülle und/oder Faulwasser

aufgefüllt und die Mischung mit einem in der Vorgrube T3' befestigten Rührwerk Rū1, vorzugsweise ein Schneidrührwerk, homogenisiert und vorzugsweise zerkleinert, bis sich ein Trockensubstanzgehalt von vorzugsweise 10 bis 30% einstellt.

**[0045]** In die Vorgrube T3' werden organische Abfälle und/oder Gülle gegeben, die vorher vorzugsweise erhitzt wurden. Hierfür dient ein Wärmetauscher WT2 der Anlage. Die im Wärmetauscher WT2 erhitzten Stoffe werden in einem Haltetank T7, der vorzugsweise mit einer Zusatzheizung versehen ist, bei vorzugsweise 70 bis 75°C für vorzugsweise 30 bis 60 min thermisch hygienisiert. Sie können über eine Pumpe P6 über eine Leitung R3 in die Vorgrube T3' und/oder von einer Leitung R4 in den Biogasreaktor T4 gepumpt werden.

**[0046]** Die Mischung in der Vorgrube T3' wird mit einer Dickstoffpumpe P1 über die Leitung R4 wahlweise über ein Ventil V8 oder ein Ventil V9 oder beide Ventile in einen der stehenden Teilreaktoren T 4a oder T 4b oder in beide Teilreaktoren befördert.

**[0047]** Fig. 3 zeigt einen stehenden Biogasreaktor T4 mit einem Seitenschacht T3 als integrierte Vormischeinrichtung. Fig. 4 zeigt den Seitenschacht T3 in einem zu Fig. 3 senkrechten Schnitt. Die Vormischeinrichtung T3 ist unmittelbar an dem Biogasreaktor T4 als Seitenschacht ausgebildet. Der Seitenschacht ist wegen der gleichen Funktion wie die Vorgrube ebenfalls mit T3 bezeichnet. Die beiden Teilreaktoren T 4a und T 4b im Ausführungsbeispiel der Fig. 2 können wie der Reaktor T4 der Fig. 3 und 4 ausgebildet, d. h. je mit einem Seitenschacht T3 versehen sein. Eine separate Vorgrube entfällt in diesem Falle vorzugsweise. Die Pumpe P1 und Teile der Rohrleitung R4 können entfallen oder anders eingesetzt werden.

**[0048]** Die silierten, festen, schüttfähigen Stoffe, Gülle und/oder organische Abfälle werden in den Seitenschacht T3 eingefüllt. Bei Ausbildung des Biogasreaktors T4 in Form mehrerer Teilreaktoren mit integrierten Seitenschächten T3 werden diese Stoffe bei Parallelbetrieb in jeden der Seitenschächte T3 eingefüllt. Die leichten pflanzlichen Stoffe neigen zur Brückenbildung und lassen sich nur schwierig nach unten befördern. Die Funktion des Seitenschachtes T3 wird durch erfindungsgemäße Einrichtungen verbessert. Vorzugsweise enthält solch ein Seitenschacht T3 einen Deckel, der aufgeklappt vorzugsweise als Ankippwand für feste Stoffe dient. Der Deckel verschließt den Seitenschacht T3 vorzugsweise geruchs- und spritzwasserdicht. Im Seitenschacht T3 ist ein vorzugsweise als Schneidrührwerk ausgebildetes Rührwerk Rū1 angebracht, welches die Stoffe miteinander vermischt und vorzugsweise zerkleinert. Der stehende Behälter des Reaktors T4 weist im Seitenschacht T3 vorzugsweise zwei Öffnungen FI 2 und FI

3 auf unterschiedlichen Höhen auf. Die zwei Öffnungen FI2 und FI3 liegen vorzugsweise diagonal übereinander, so dass eine Horizontalströmung im Seitenschacht T3 ebenfalls entsteht.

**[0049]** Die obere Öffnung FI 2, die vorzugsweise 2 bis 100 cm unterhalb des Seitenschachtdeckels liegt und in mehrere, vorzugsweise über 20 bis 100% der in Behälterumfangsrichtung gesehenen Breite des Seitenschachtes T3 verteilten Teilöffnungen unterteilt ist, ist vorzugsweise von Außen und/oder von Innen verschließbar. Dazu ist als Verschluss V3 eine Klappe mit vorzugsweise Rückschlagwirkung, ein Ventil oder ein Schieber oder Schnellschlußschieber eingesetzt. Vorzugsweise ist am Boden des Seitenschachtes T3 ein förderndes Tauchmotorrührwerk oder eine Pumpe P2 parallel oder senkrecht zum Reaktor T4 installiert. Wenn P2 betätigt wird, strömt durch den vorzugsweise gleichzeitig geöffneten Verschluss V3 ausgefaulte Flüssigkeit aus dem stehenden Reaktor T4 in den Seitenschacht T3 nach und spült die frischen Stoffe, insbesondere die festen, aufschwimmenden Pflanzenteile, direkt in P2. Die Spülwirkung kann gesteigert werden, indem der Verschluss V3 erst bei einem Differenzdruck von vorzugsweise 10 bis 200 cm Wassersäule plötzlich öffnet. Faulwasser sprüht vorzugsweise in den Seitenschacht T3.

**[0050]** P2 befördert die Stoffe vorzugsweise so in den Reaktor T4, dass Kurzschlußströmungen zu der oder den oberen Öffnungen FI 2 ausgeschlossen sind. Das Tauchmotorrührwerk oder die Pumpe P2 kann so angeordnet sein, dass die Förderrichtung von P2 senkrecht oder parallel zur Behälterwand durch die Öffnung FI 3 weist. Bei parallel zur Behälterwand des Reaktors T4 weisender Förderrichtung, wie in Fig. 4 dargestellt, ist die Ecke des Schachtes T3, in die das Rührwerk oder die Pumpe P2 fördert, vorzugsweise abgerundet, um den Reibungswiderstand zu verringern und gleichzeitig die Richtung des Stromes in den Behälter des Reaktors T4 vorzugeben. Der Radius der Abrundung ist vorzugsweise das 1 bis 8-fache des Querschnittes der unteren Öffnung FI 3. Eine vorzugsweise in das Innere entlang der Behälterwand reichende Erweiterung T 3,1 von T3 mit dem Querschnitt von dem 0,2 bis 2-fachen von FI 2 und einer Länge, die höchstens dem halben Umfang des Behälters des Reaktors T4 entspricht, verhindert eine Kurzschlußströmung. P2 fördert nach Beendigung des Beschickungsvorganges den Seitenschacht T3 vorzugsweise leer. Die untere Öffnung FI 2 wird dann vorzugsweise von Außen und/oder von Innen mit einem Verschluss V3,1 geschlossen. Die Öffnung FI 2 kann auf gleicher Höhe wie P2 oder 2 bis 100 cm über P2 angebracht sein, was den Vorteil hätte, dass P2 nicht trocken laufen kann.

**[0051]** Der Biogasreaktor T4 kann in mehrere, bevorzugt in höchstens 4 Teilreaktoren bzw. Reaktorbehälter aufgeteilt sein. Besonders bevorzugt ist er in

zwei Reaktorbehälter T 4a und T 4b aufgeteilt, wobei T 4a vorzugsweise ein stehender oder liegender zylindrischer Behälter ist. Behälter T 4b ist vorzugsweise ein stehender zylindrischer Behälter. Die Behälter des Biogasreaktors T4 stehen vorzugsweise gasseitig und hydraulisch miteinander in Verbindung. Gasseitig sind sie über eine Gasleitung R9 in Reihe geschaltet und direkt mit einem Gasspeicher T8 verbunden.

**[0052]** Die Fig. 2 und 6 zusammen zeigen eine komplette Biogasanlage mit Biogaserzeugung, -speicherung und -trennung.

**[0053]** Wenn der Reaktor, wie bevorzugt und in Fig. 2 dargestellt, aus zwei stehenden Behältern T 4a und T 4b besteht, werden die Behälter vorzugsweise durch Ansteuerung der Ventile V8, V9, V10, V11 und V12 wahlweise parallel oder in Reihe beschickt. Die Entleerung der Behälter geschieht durch Überlaufleitungen R6 direkt in einen Nachgärtank T6, der in Fig. 6 dargestellt ist, und/oder durch Abpumpen. Zum Abpumpen wird eine Pumpe P4 saugseitig über Ansteuerung der Ventile V10, V11 und V12 mit der Entleerungsleitung R7 des jeweiligen Behälters verbunden.

**[0054]** Mit einer strichlierten Linie ist eine Rohrleitung angedeutet, in der das Ventil V10 sitzt. Mittels dieser Verbindung und entsprechender Schaltung der Ventile V10 bis V12 können die beiden Teilreaktoren T4a und T4b wahlweise parallel oder in Reihe hintereinander betrieben werden.

**[0055]** Der stehende zylindrische Teilbehälter T4a und/oder T4b hat vorzugsweise ein Verhältnis von Höhe zu Durchmesser von 0,2 bis 4 zu 1, ist gasdicht und gasseitig vorzugsweise an der höchsten Stelle in einem Kopfraum T5 oder in einem Mannloch FI 5 im Kopfraum über die Rohrleitung R9 mit einem Biogasspeicher T8 für rohes Biogas verbunden (Fig. 6). Der Biogasspeicher T8 ist vorteilhafterweise in den Nachgärtank T6 integriert. Der Kopfraum T5 des Biogasreaktors T4 steht unter einem Gasüberdruck von vorzugsweise 1 bis 100 mbar und hat vorzugsweise eine Höhe von 30 bis 200 cm. Beim Abpumpen von ausgefallener Flüssigkeit aus dem Reaktor T4 strömt Biogas aus T8 hinein und beim Zupumpen der frischen Stoffe in T8 ab, um den Druckausgleich im Kopfraum T5 des Reaktors T4 zu gewährleisten. Zudem ist der Biogasreaktor T4 mit frostsicheren, vorzugsweise hydraulisch und/oder als Berstmembran wirkenden Über- und Unterdrucksicherungen ausgestattet, die an Stützen FI 6 und FI 7 vorzugsweise am Mannloch FI 5 angebracht sind. Die Überdrucksicherung spricht vorzugsweise bei 50 bis 150 mbar, die Unterdrucksicherung bei vorzugsweise -2 bis -10 mbar zum atmosphärischen Druck an.

**[0056]** Der stehende zylindrische Teilbehälter T 4a

und/oder T 4b enthält vorzugsweise ein langsam laufendes Rührwerk RÜ 2, welches von einem außerhalb des Reaktionsraums angeordneten drehrichtungsvariablen Motor Mo 2 angetrieben ist. Das Rührwerk RÜ 3 hat vorzugsweise eine mittig angebrachte, senkrechte Welle, an der vorzugsweise zwei Rührblätter befestigt sind: RÜbl 1 vorzugsweise am oberen Ende der Rührwelle unterhalb des Flüssigkeitsspiegels und RÜbl 2 vorzugsweise am unteren Ende der Rührwelle in der Nähe des Bodens des Behälters. Die beiden Rührblätter bewirken eine Zerstörung von Schwimm- und Sinkschichten und homogenisieren den Inhalt. Der Rührer RÜ 3 wird vorzugsweise in vorgegebenen Zeitintervallen angehalten und läuft ansonsten vorzugsweise ständig. Es handelt sich um einen vollständig durchmischten Reaktor, d.h. einen CSTR. Das Rührwerk RÜ 3 kann durch ein bis zwei Tauchmotorrührwerke gebildet sein, die vorzugsweise 20 bis 200 cm unter der Oberfläche und vorzugsweise 20 bis 200 cm über dem Boden befestigt sind, was auch für die Rührblätter RÜbl 1 und RÜbl 2 gilt.

**[0057]** Im stehenden Teilbehälter T 4a oder T 4a und T 4b sind außer Öffnungen für das Rührwerk RÜ 3 und die Über- und Unterdrucksicherung weitere Öffnungen für das Mannloch FI 5 im Kopfraum T5, für ein Sichtglas an der Grenze Flüssigkeitsspiegel und Kopfraum, für Rohrleitungen zum Zu- und Abpumpen der Flüssigkeit FI 10 und FI 9, für Temperatur- und Druckmessungen FI 11 und FI 12 sowie eines Stützens FI 13 zur Zugabe von Chemikalien vorgesehen. Die Öffnung FI 10 zum Zupumpen frischer Stoffe liegt vorzugsweise 50 bis 200 cm über der Reaktorunterkante. Die Öffnung FI 9 zum Abpumpen geht von der Mitte des vorzugsweise konisch oder waagrecht gestalteten Behälterbodens oder vorzugsweise seitlich in der Behälterwand bei waagrecht gestaltetem Behälterboden ab.

**[0058]** Der Reaktor T4 ist rundherum thermisch mit Wärmeschutz Iso 1 isoliert, um einen k-Wert von  $\leq 5$  W/m<sup>2</sup>K zu gewährleisten. In der Bodenplatte ist vorzugsweise eine Fußbodenheizung WT 1 mit einer Heizleistung von 4 bis 8 Watt/(m<sup>2</sup>K) verlegt. Die Fußbodenheizung WT 1 wirkt vorzugsweise in Ergänzung zu dem Wärmetauscher WT 2 und wird vorzugsweise mit Warmwasser über eine Heizungspumpe beschickt. Mit der Fußbodenheizung werden geringe Temperaturdifferenzen zur Reaktortemperatur von vorzugsweise  $> 5^{\circ}\text{C}$  ausgenutzt. Der Reaktor wird bevorzugt auch dann noch beheizt, wenn beispielsweise die Zuführung von Biomasse für einige Tage unterbrochen und/oder der Wärmetauscher WT 2 nicht in Betrieb ist.

**[0059]** Die Beheizung des Biogasreaktors auf vorzugsweise 26 bis 36 °C geschieht vorzugsweise über den außenliegenden Gegenstrom- und/oder Kreuzstromwärmetauscher WT 2, vorzugsweise ein Rohr-

bündelwärmetauscher, Plattenwärmetauscher, Spiralwärmetauscher und/oder GÜlle-GÜlle-Wärmetauscher, der thermisch mit Iso 2 isoliert ist, um vorzugsweise einen k-Wert von  $\leq 3 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$  zu gewährleisten. Die Heizleistung des Wärmetauschers WT2 ist so dimensioniert, dass vorzugsweise der gesamte Stoffstrom der Biomassen vorzugsweise in Verbindung mit dem Wärmetauscher WT 2 und den Halte-tanks/Hygienisierungsbehältern T 7,1 und T 7,2 auf vorzugsweise  $\leq 40 \text{ }^\circ\text{C}$  oder vorzugsweise nur Teilströme wie beispielsweise GÜlle und/oder organische Abfälle auf bis zu vorzugsweise  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  erhitzt werden können und vorzugsweise mit dieser Energie der Reaktor auf die gewünschte Temperatur von vorzugsweise 26 bis  $36 \text{ }^\circ\text{C}$  gebracht werden kann. Die Energiezufuhr erfolgt vorzugsweise mit heißem Wasser und/oder Dampf von vorzugsweise  $\leq 130 \text{ }^\circ\text{C}$  aus einer Energiestation T10 am Ort der Anlage. Besonders vorteilhaft ist es, wenn Abwärme der in der Anlage eingesetzten gekapselten Kompressoren für die Gase Biogas, Methan und Kohlendioxid für die Beheizung von T 4, T 4a, T 4b, T 7, T 7,1, T 7,2 und in WT 2 und/oder WT 4 verwendet wird. Bekanntlich wird nur etwa ein Drittel der elektrischen Anschlussleistung in Verdichtungsarbeit, jedoch etwa 2 Drittel in Abwärme umgesetzt. Falls erforderlich, kann ein auf vorzugsweise bis  $75 \text{ }^\circ\text{C}$  erhitzter Flüssigkeitsteilstrom oder der gesamte Strom in vorzugsweise zwei bis vier, vorzugsweise wechselweise beschickten Hygienisierungsbehältern T7,1 und T7,2 bei dieser Temperatur vorzugsweise 30 bis 60 min lang gehalten werden. Die  $\leq 75 \text{ }^\circ\text{C}$  heißen hygienisierten Stoffe werden mit der Pumpe P6 in den Gegenstromwärmetauscher WT 2, besonders bevorzugt ein GÜlle-GÜlle-Wärmetauscher, und/oder in den Biogasreaktor T4 und/oder den Seitenschacht T3 gepumpt.

**[0060]** Die homogenisierte Mischung wird aus dem Seitenschacht T3 mittels der Dickstoffpumpe P1 auf einmal oder vorzugsweise in bis zu 3 über den Tag verteilten Chargen durch die Leitung R4, bei entsprechender Ansteuerung der Ventile V6 und V7 über den außenliegenden Wärmetauscher WT 2, in den Biogasreaktor T4 bzw. in dessen Behälter T 4a und/oder T 4b gepumpt. Bevor in T4 bzw. Behälter T 4a und/oder T 4b gepumpt wird, wird vorzugsweise die gleiche Menge aus dem Biogasreaktor abgepumpt, wenn nicht auf Überlauf geschaltet ist. Das zugepumpte Volumen wird so gewählt, dass in dem Biogasreaktor bzw. in allen Teilreaktoren von T4 ohne T6 zusammengenommen vorzugsweise eine durchschnittliche hydraulische Aufenthaltszeit von 15 bis 80 Tagen gewährleistet wird.

**[0061]** Fig. 5 zeigt eine besonders bevorzugte Ausführungsalternative zu den stehenden Teilbehältern der Fig. 2 mit einem liegenden Teilbehälter T 4a und einem damit in Reihe geschalteten, stehenden Teilbehälter T4b. Wenn der Reaktor T4, wie bevorzugt und in Fig. 5 dargestellt, aus einem liegenden und ei-

nem stehenden Behälter besteht, werden die Behälter hydraulisch so in Reihe geschaltet, dass der liegende Behälter T 4a über die Pumpe P1 zuerst beschickt wird. Der Überlauf fließt ohne weitere Pumparbeit in T 4b. Die Ausführungsalternative der Fig. 5 ist in Bezug auf die Vormischeinrichtung nicht patentgemäß.

**[0062]** Der liegende zylindrische Behälter T 4a mit kreisförmigem Querschnitt ist auf Stützen aufgestellt, die vorzugsweise 2 – 4 m auseinander liegen. Er hat ein Volumen von 100 bis  $200 \text{ m}^3$  und enthält ein durchgehendes horizontales Rührwerk RÜ 3, dessen Rührflügel tragende Welle an den beiden Enden und zusätzlich in Abständen von vorzugsweise 2 – 4 m gelagert ist. Die Reaktorenden sind vorzugsweise als Böden in Klöpferform gestaltet. Der Behälter T 4a enthält an jedem Ende ein Mannloch FI 5. Vorzugsweise das erste Drittel des Behälters ist auf der Unterseite mit einem Heizmantel WT4 umschlossen. Der Stutzen FI 13 dient zur Zugabe von Chemikalien und ragt vorzugsweise 10 bis 20 cm in den Behälter hinein. Auf der Rührerwelle sind in Abständen von vorzugsweise 0,5 bis 2 m Rührarme befestigt. Jeder Rührarm ist gegenüber dem benachbarten um einen Winkel von  $18^\circ$  bis  $36^\circ$  versetzt auf der Welle angeordnet. Die gemischten Stoffe mit vorzugsweise 5 bis 40% Trockensubstanz werden mit der Pumpe P1 über die Rohrleitung R4 und Ventil V5, das vorzugsweise eine Rückschlagklappe ist, in den liegenden Fermenter T4a gepumpt, durchlaufen den Fermenter in vorzugsweise 4 bis 10 Tagen und treten vorzugsweise zusammen mit dem gebildeten Gas durch ein Rohr R5 und eine Rückschlagklappe V 15 in den stehenden Fermenter T 4b ein. Durch diese Vorgehensweise ist der liegende Fermenter T 4a ständig gefüllt, steht unter dem Druck, der durch die Flüssigkeitssäule im senkrechten Reaktor T 4b vorgegeben ist, und benötigt keinen Gasdruck. Ansammlungen von abgesetzten Stoffen werden vorzugsweise über eine am Ende angebrachte nicht dargestellte Schnecke gelegentlich abgezogen. Die Förderung durch den Behälter T 4a erfolgt vorzugsweise durch die Pumpe P1 und nicht durch das Rührwerk RÜ 3.

**[0063]** Fig. 6 zeigt die Speicherung und Trennung des Biogases.

**[0064]** Der Biogasspeicher T8 ist vorzugsweise ein Niederdruckgasspeicher, der bei separater Aufstellung in einer vorzugsweise feuerhemmenden Umhüllung untergebracht ist. Vorteilhafterweise ist T8 in den Nachgärtank T6 als Abdeckung integriert. Der Nachgärtank T6 ist mit einem von einem Motor Mo 4 angetriebenen, seitlich angebrachten Rührwerk RÜ 4 ausgerüstet. Der Speicher T8 wird von einer Membran M2, insbesondere einer Folie luftundurchlässig abgeschlossen. Der Nachgärtank T6 bildet ein Teil des Reaktors T4.



**[0065]** In den bisherigen Biogasspeichern ist ein Gasraum über einer abschließenden Membran der Luft ausgesetzt, absichtlich belüftet und/oder unter Luftdruck gesetzt, um dem Biogas unter der Membran einen Druck zu verleihen. Zur Herstellung von vermarktungsfähigem, erdgasgleichen Biomethan und Kohlendioxid ist erfindungsgemäß hingegen der Kontakt zu Luft und insbesondere Sauerstoff verhindert. An die Reinheit von Kohlendioxid werden besonders hohe Anforderungen gestellt. Deshalb wird für die Membran M2 eine sehr geringe Permeabilität für Luft bei 0 bis 30°C von vorzugsweise höchstens 150 cm<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup>bar24h) gefordert. Bei preisgünstigen Membranen mit Permeabilitäten im oberen, erfindungsgemäß noch zulässigen Bereich wird vorzugsweise ein Schutzraum M 3,1 ausgebildet, um die Isolation zu verbessern. Dieser Schutzraum M 3,1 wird erfindungsgemäß statt mit Luft vorzugsweise mit Prozeßgasen, vorzugsweise mit Biogas und/oder Kohlendioxid, gespült. Der Schutzraum M 3,1 kann mehrfach unterteilt sein und/oder insbesondere durch mehrere Schutzräume M 3,1 übereinander gebildet werden. Vorgefertigte Schutzräume können an Gasspeichern, die vorzugsweise als Säcke und/oder Kissen ausgebildet sind, angebracht werden. Biogas dient nach dem Durchgang durch den Schutzraum M 3,1 vorzugsweise zur Prozeßenergieerzeugung in einer in der Anlage integrierten Energiestation. Durchgeleitetes Kohlendioxid dient vorzugsweise als Dünger in Treibhäusern und/oder zur Entwesung von Lagern, wo der Sauerstoffgehalt nicht stört.

**[0066]** Ein insgesamt sehr geringer Durchgang von Luft wird vorzugsweise gewährleistet durch eine Edelstahlmembran, eine metallbedampfte Kunststoffolie und/oder eine wenigstens zweischichtige Membran M2. Zwei Schichten werden vorzugsweise gebildet durch flexible Kunststoffolien oder durch eine gasdichte starre Behälterabdeckung mit darunter liegender flexibler Folie, wobei der Schutzraum M 3,1 vorzugsweise mit rohem Biogas, entschwefeltem Biogas oder Kohlendioxid gefüllt und vorzugsweise durchströmt und das Biogas nach Verlassen des Schutzraumes M 3,1 vorzugsweise in der Energiestation verbraucht wird. Der Schutzraum M 3,1 hat ein konstantes oder variables Volumen. Ein konstantes Volumen des Schutzraumes M 3,1 wird vorzugsweise bei Gassäcken und Gaskissen erreicht, indem die beiden vorzugsweise flexiblen und/oder dehnbaren Folien durch Abstandshalter getrennt sind. Durch die Form der Abstandshalter kann ein kontrollierter Gasfluß unterstützt werden, um Kurzschlußströmungen zu unterbinden. Die Abstandshalter können gasdicht oder porös mit einem Porenvolumen von bis zu 99,9% sein. Der Schutzraum M 3,1 kann in mehrere Räume unterteilt sein, die vorzugsweise je einen eigenen Gaszutritt und Gasausgang haben. Der Gasspeicher T8 kann, wie die weiteren Gasspeicher der Anlage ebenfalls, mehrere übereinander angebrachte Lagen von Schutzräumen enthalten, um die Isola-

tion gegen Lufteintritt zu verbessern.

**[0067]** Ein Schutzraum M 3,1 mit einem variablen Schutzraumvolumen stellt sich bei der Kombination Membran/starre Platte ein, beispielsweise zwischen einer in einem starren Behälter befestigten flexiblen Membran und den Seitenwänden und dem Dach des Behälters, weil sich die flexible und/oder dehnbare Membran, insbesondere Folie, dem Füllungsgrad anpaßt. Dies führt dazu, dass der Schutzraum größer wird, wenn das Gasspeichervolumen kleiner wird und umgekehrt. Die Gesamtgasmenge an Gas im Schutzraum M 3,1 und im Speicher T8 bleibt gleich.

**[0068]** Durch die Erfindung wird vorzugsweise Luftzutritt in das gespeicherte rohe und/oder entschwefelte Biogas verhindert. Außerdem wird ein Überdruck von vorzugsweise 1 bis 100 mbar im Schutzraum M 3,1 und im gespeicherten Biogas erzeugt, der bei Gasspeichern mit variablem Schutzraumvolumen die Arbeit eines Gebläses K1 und/oder K 2 unterstützt.

**[0069]** Zusätzlich zu dem als Rohgasspeicher dienenden Speicher T8 weist die Biogasspeicherung einen separaten Reingasspeicher T11 auf. In dem Reingasspeicher T11 wird entschwefeltes Biogas gespeichert. Über dem Reingasspeicher T11 wird mittels einer für die Belange der Praxis für Sauerstoff nicht permeablen Membran M3 wieder ein Schutzvolumen M 3,1 gebildet, das mit dem Schutzvolumen M 3,1 des Rohgasspeichers T8 ständig verbunden oder bei Bedarf verbindbar ist.

**[0070]** In Bezug auf den Reingasspeicher T11 und dessen Zwischenvolumen M 3,1 wird ergänzend stets auch auf **Fig. 7** verwiesen. Der Reingasspeicher T11 ist als doppelwandiges Gasspeicherkissen oder -sack mit innerem Speicher T11, umgebendem flexiblen Zwischenraum M 3,1 und diesen umgebende, feuerfeste Umhüllung T9 ausgebildet. In Bezug auf die doppelschichtige Membran M3 und das von der Membran M3 gebildete Schutzvolumen M 3,1 gilt das zur Membran M2 und deren Schutzvolumen M 3,1 Gesagte gleichermaßen. Sämtliche Gasspeicher der Anlage können wie der Reingasspeicher T11 ausgebildet sein.

**[0071]** Vorzugsweise ein Teilstrom des durch einen Motor angetriebenen Rohgasgebläses K 1 und/oder des durch einen Motor angetriebenen Reingasgebläses K 2 und/oder des durch einen Motor Mo 10 angetriebenen CO<sub>2</sub>-Gebläses K 5 geförderten Gases wird in die Zwischenräume M 3,1 zwischen M 2 und/oder M 3 in den Gasspeichern T8 und/oder T11 in Reihe oder parallel geleitet. Der Gasspeicher T8 ist vorzugsweise mit einer Fackel verbunden, welche plötzliche Überschüsse an Biogas abfackeln kann. Wäre der Gasspeicher T8 separat aufgestellt, so wäre vorzugsweise am tiefsten Punkt ein Ventil angebracht,

wie Ventil **16** des Speichers **11**, über das Kondensat abgezogen wird. Die flexible Hülle M3 des Gasspeichers T11 ist vorzugsweise mit einer Vorrichtung verbunden, die den Füllstand anzeigt. Das saugseitig mit dem Gasraum des Biogasspeichers T8 verbundene Gebläse K1 sorgt für den notwendigen Vordruck im Rohgas für eine bevorzugte Weiterleitung zumindest eines Teilstromes in den Zwischenraum M 3,1 von M 3 und/oder zur Energiestation und/oder zu einer Gastrennungseinrichtung T 12.

**[0072]** Vorzugsweise wird die H<sub>2</sub>S-Konzentration im rohen Biogas auf 1 bis 500 ppm gesenkt, indem über eine Dosierpumpe P3 vorzugsweise Eisen-III in T 4a und/oder T 4b vorzugsweise proportional zum Schwefelgehalt des zugeführten frischen Stoffgemisches und/oder Biogasvolumenstrom zugegeben wird. Die Zugabe kann vorteilhafterweise auch direkt in die Vormischeinrichtung T3 erfolgen.

**[0073]** Vorteilhafterweise bildet diese Entschwefelung eine Vorstufe, und die vollständige Entschwefelung des Biogases erfolgt in einer ersten Trennstufe der Gastrennungseinrichtung T 12. Das so entschwefelte Biogas (Reingas) wird vorzugsweise in den separaten Gasspeicher T 11 gepumpt und steht von dort aus der Gastrennungseinrichtung T 12 und/oder vorzugsweise nach Durchgang durch die Zwischenräume M 3,1 der Membranen M2 und/oder M3 der Energiestation zur Verfügung.

**[0074]** Die Energiestation T10 entnimmt erfindungsgemäß rohes und/oder entschwefeltes Biogas über das Gebläse K1 aus dem Biogasspeicher T8 für rohes Biogas, über Gasleitung R11 aus dem Zwischenraum M 3,1 von T8, aus dem Zwischenraum M 3,1 des Gasspeichers T 11 für entschwefeltes Biogas und/oder direkt aus T 11 über das Gebläse K 2 und Gasleitung R 10.

**[0075]** Die Energiestation T10 besteht vorzugsweise aus einem Blockheizkraftwerk (BHKW) des Typs Ottomotor oder Zündstrahler, das wärmeseitig mit einer Temperaturspreizung von vorzugsweise 70 bis 130°C arbeitet, einer Brennstoffzelle und/oder einer Absorptionskältepumpe und/oder einem Heizkessel. Das in der Energiestation untergebrachte BHKW und/oder die Brennstoffzelle hat die Aufgabe, so viel Energie an Strom, Wärme und/oder Kälte aus Biogas zu erzeugen, dass vorzugsweise der Energiebedarf der Biogasanlage und der Gastrennungseinrichtung an Strom, Kälte und/oder Wärme gedeckt wird. Wenn es wirtschaftlich ist, können zusätzlich auch landwirtschaftliche Betriebe mit Strom, Wärme und/oder Kälte beliefert werden. Zusätzlich oder alternativ zu dem BHKW ist vorzugsweise eine Absorptionswärme-/kältepumpe und/oder ein Heizkessel aufgestellt, der vorzugsweise die benötigte Wärme und/oder Kälte aus Biogas erzeugt. Es ist auch schon vorteilhaft, wenn die Energiestation nur den Bedarf an Prozess-

wärme und Prozesskälte deckt und der Prozesselektricitätsbedarf aus dem öffentlichen Netz gedeckt wird. Bei vorzugsweise gleichzeitiger Nutzung von Wärme, beispielsweise zur Erwärmung von Stoffen in den Wärmetauschern, und Kälte, beispielsweise bei der Kondensation von Feuchte und bei der CO<sub>2</sub>-Kompression aus der Absorptionswärme-/kältepumpe, ist der Wirkungsgrad um den Faktor 1,1 bis 1,9 besser als der eines Brennwertkessels. Strom wird vorzugsweise aus dem Netz bezogen, wenn keine Kraft-Wärme-Kopplung installiert ist. Die Energiestation ist in einem Container untergebracht, läuft vorzugsweise vollautomatisch über eine eigene EMSR- und SPS-Anlage und wird über den Füllstand der Biogasspeicher, den Gasvolumenstrom, den Methangehalt und/oder den Energiebedarf der Biogasanlage an vorzugsweise Strom, Wärme und/oder Kälte kontrolliert. Das BHKW ist vorzugsweise wärmegeführt, um die Temperatur im Biogasreaktor, im außenliegenden Wärmetauscher, bei der Hygienisierung und/oder in der Gastrennungseinrichtung aufrechtzuerhalten und die Energie bereitzustellen.

**[0076]** Die Biogastrennungseinrichtung T 12 entnimmt Biogas vorzugsweise aus dem Gasspeicher T8 für rohes Biogas über das Gebläse K 1. In einer Entschwefelungsstufe T12a, die einer Kältefalle zur Kondensatentfernung folgt, wird H<sub>2</sub>S entfernt. Die Entschwefelung in der Gastrennungseinrichtung T 12 wird vorzugsweise zusätzlich zu einer Entschwefelung mittels Chemikalienzugabe im Biogasreaktor T4 durchgeführt, beispielsweise der beschriebenen Eisen-III Zugabe. Die Entschwefelung erfolgt in diesem Fall in zwei Stufen. In der Gastrennungseinrichtung T 12 wird der Schwefelgehalt des Biogases auf 5 ppm oder weniger vermindert. Im Reaktor T4 erfolgt eine Entschwefelung auf vorzugsweise 5 bis 500 ppm. Die Entschwefelung in der Gastrennungseinrichtung kann nach einer anderen bevorzugten Ausführung auch die einzige Art der Entschwefelung sein. Auch in diesem Falle wird der Schwefelgehalt im entschwefelten Biogas auf 5 ppm oder weniger gesenkt. Vorzugsweise wird das gesamte Biogas entschwefelt und nicht nur der Teil, der nicht in der Energiestation genutzt wird. Das in der der Entschwefelungsstufe entschwefelte Biogas kann in dem separaten Gasspeicher T 11 für entschwefeltes Biogas zwischengespeichert werden. Das entschwefelte Biogas wird direkt nach der Entschwefelungsstufe wahlweise entweder einer nachfolgenden CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>-Trennungsstufe T12b oder dem Reingasspeicher T 11 zur Zwischenspeicherung zugeführt oder es werden zwei Teilströme gebildet, einer zur Trennstufe T12b und einer zu T11. Aus T 11 wird es über das Reingasgebläse K2 und die Gasleitung R10 bei geöffnetem Ventil V 18 für die CH<sub>4</sub>-CO<sub>2</sub>-Trennung entnommen.

**[0077]** Die Gastrennungseinrichtung T 12 ist vorzugsweise in sich vollständig automatisch geregelt und gesteuert, vorzugsweise durch eine EMSR- und

SPS-Anlage. Die Gastrennungseinrichtung T 12 besteht vorzugsweise aus bei wechselndem Druck arbeitenden PSA-Modulen, insbesondere Molekularsieben und/oder absorbierenden Flüssigkeiten, zur Anreicherung von Methan bzw. Abtrennung von Kohlendioxid. Den PSA-Modulen vorgeschaltet sind vorzugsweise jodidbeaufschlagte Aktivkohlefilter zur Adsorption von Schwefelwasserstoff und Geruchsstoffen und Molekularsiebe für halogenierte Bestandteile. An die Stelle der PSA-Module können bei konstantem und niedrigem Überdruck arbeitende Membranmodule treten, die aus dem Biogas selektiv Schwefelwasserstoff und/oder Kohlendioxid entfernen. Sie bestehen vorzugsweise aus hydrophoben, mit Flüssigkeit durchströmten Membranen, die mit dem Biogas vorzugsweise im Kreuz- oder Gegenstrom angeströmt werden. Die Gase diffundieren durch die Membran in die Flüssigkeit, wobei vorzugsweise in der ersten Trennstufe Schwefelwasserstoff und in der zweiten Trennstufe Kohlendioxid von der für diesen Zweck jeweils ausgewählten Flüssigkeit vorzugsweise selektiv absorbiert werden.

**[0078]** Die aus der Gastrennungseinrichtung T12 austretenden Gase Biomethan und Kohlendioxid haben eine Reinheit von vorzugsweise mindestens 95,0 Vol%. Der Methanverlust beträgt vorzugsweise weniger als 5%. Erdgasgleiches Biomethan wird vorzugsweise mit Tetrahydrothiophen (THT) in einer Konzentration von vorzugsweise über 10 mg/m<sup>3</sup> in einer nicht dargestellten Odierstation odoriert und entweder über einen mit dem Motor Mo 8 angetriebenen, vorzugsweise zwei- bis dreistufigen Kompressor K3 auf vorzugsweise 250 bar komprimiert und in Druckflaschen T 14 abgefüllt und/oder über einen mit dem Motor Mo 9 angetriebenen Kompressor K4 auf einen Druck über Atmosphärendruck, vorzugsweise auf einen Druck im Bereich von 100 mbar bis 100 bar, komprimiert und über eine Volumenstrommessung durch eine Rohrleitung R 14 in ein Erdgasnetz eingespeist. Die Leitgröße für die Einspeisung in das Erdgasnetz und damit für die Ansteuerung der Gastrennungseinrichtung ist vorzugsweise der CH<sub>4</sub>-Gehalt und/oder die Methanzahl und/oder der Wobbeindex des einzuspeisenden Biomethans. Der Wobbeindex liegt vorzugsweise zwischen 10 und 15 kWh/m<sup>3</sup>. Wird der vorgegebene Wert für die Leitgröße nicht erreicht, so wird das Biomethan in die Gastrennungseinrichtung T12 zurückgeführt oder vorzugsweise in den Gasspeicher T8.

**[0079]** Kohlendioxid wird vorzugsweise über einen für Luft nicht permeablen Niederdruckspeicher T 13 als Zwischenpuffer geleitet. Aus dem Speicher T 13 wird das Kohlendioxid mit einem motorangetriebenen Kompressor K6 als Flüssig-CO<sub>2</sub> in Druckbehälter T 15, beispielsweise Druckflaschen oder Tankwagen, abgefüllt und/oder in Rohrleitungen für flüssiges CO<sub>2</sub> eingeleitet und/oder als Gas aus dem Gasspeicher T 13 über das Gebläse K5 in Rohrleitungen zum Trans-

port für gasförmiges CO<sub>2</sub> abgegeben. Das Gebläse K5 leitet vorzugsweise über ein Ventil V 19 einen Teilstrom in den Zwischenraum M 3,1 der vorzugsweise doppelschichtigen Membran M3, um in dem Zwischenraum M 3,1 einen stabilen Überdruck von vorzugsweise 1 bis 100 mbar zu erzeugen. Überschüssiges CO<sub>2</sub> wird in die Umgebung abgelassen. Eine Membran M4 ist mehrwandig ausgeführt, im Ausführungsbeispiel doppelwandig, und bildet einen mit CO<sub>2</sub> gefüllten Zwischenraum. Für die Membran M4 gilt das zu den Membranen M2 und M3 Gesagte.

**[0080]** Fig. 8 zeigt eine Gastrennungseinrichtung T12 und deren Zu- und Ableitungen. Die Gastrennungseinrichtung T12 der Fig. 8 ist gegenüber der Gastrennungseinrichtung T12 der Fig. 6 um eine zweite Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12c erweitert. Die Gastrennungseinrichtung T12 der Fig. 8 kann in sämtlichen Ausführungen der Erfindung alternativ zu der vereinfachten Ausführung der Fig. 6 verwendet werden. Das vorstehend zur Gastrennungseinrichtung T12 Gesagte gilt daher gleichermaßen auch für die Gastrennungseinrichtung T12 der Fig. 8. Insbesondere ist die Einbettung in die Gesamtanlage mit Ausnahme der nachstehend beschriebenen Besonderheiten die gleiche wie in Fig. 6.

**[0081]** Insgesamt weist die Gastrennungseinrichtung T12 der Fig. 8 drei hintereinander geschaltete Trennstufen T12a, T12b und T12c auf. T12a bildet die Entschwefelungsstufe und die beiden Trennstufen T12b und T12c sind Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufen, für die je die vorstehenden Ausführungen zu solchen Trennstufen T12a und T12b gelten. Jede der beiden Trennstufen T12b und T12c wird durch mehrere PSA-Kolonnen gebildet, die je mit Molekularsieben oder Flüssigkeit gefüllt sind, die selektiv Kohlendioxid absorbieren und Methan hindurchströmen lassen. Die jeweils mehreren PSA-Kolonnen einer der Trennstufe T12b und T12c werden batchweise betrieben, wobei durch Parallelschaltung und zeitlich gestaffelte Beschickung der mehreren Kolonnen in der jeweiligen Trennstufe eine Vergleichmäßigung im Produktstrom erzielt wird.

**[0082]** In den PSA-Kolonnen der ersten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12b werden der methanreiche Teilstrom M und ein kohlendioxidreicher Teilstrom C in an sich bekannter Weise in einem PSA-Verfahren erhalten. Der methanreiche Teilstrom M wird, wie bereits beschrieben, in T14 gespeichert, oder unmittelbar in ein festverlegtes Methanrohrleitungsnetz eingespeist.

**[0083]** In den PSA-Kolonnen der ersten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12b wird der kohlendioxidreiche Teilstrom C bei der Desorption und einer anschließenden Evakuierung gebildet. Bei dem PSA-Verfahren wird Kohlendioxid bei einem Druck von 6 bis 8 bar absorbiert und bei einer anschließen-

den Drucksenkung desorbiert. Zum Ende der Desorption wird ein geringer Unterdruck angelegt, es wird somit evakuiert. Zu Anfang der Desorption enthält der kohlendioxidreiche Teilstrom C das meiste Methan in einer relativ hohen Konzentration von 5 bis 10 Vol%. Ferner enthält der Teilstrom C auch noch andere im Biogas enthaltene Begleitstoffe, die in einem Vorfilter vor der ersten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12b oder in der Trennstufe T12b selbst zurückgehalten worden sind und bei der Desorption ebenfalls desorbiert werden. Die Konzentration dieser Begleitstoffe, beispielsweise flüchtige Fettsäuren, Aldehyde, Ketone, Silane, Alkohole usw., hängt eng mit der Zusammensetzung der Inputstoffe und den Ausfaltungsbedingungen im Bioreaktor T4 zusammen. Schon die Ausfaltung von beispielsweise Apfelsinenschalen, Friteusefetten, tierischen Fetten, Kosmetika usw. kann zu flüchtigen höher- und niedermolekularen, leicht bis schwer kondensierbaren Spurenstoffen im Biogas führen. Die zusätzliche oder alleinige Ausfaltung solcher Stoffe, insbesondere in Kombination mit einer hohen Raumbelastung von über 5kg organischer Trockenmasse pro m<sup>3</sup> Reaktorvolumen und Tag, ergibt mehr Begleitstoffe im Biogas als die Ausfaltung reiner Gülle und reiner Energiepflanzen. Mit fortschreitender Desorption nimmt der Gehalt an Methan im kohlendioxidreichen Teilstrom C und auch der Gehalt von Begleitstoffen ab, d.h. es nimmt die Reinheit des Kohlendioxids zu.

**[0084]** In einer die zwei Trennstufen T12b und T12c verbindenden Leitung ist eine Verzweigung **20** vorgesehen, durch die hindurch der kohlendioxidreiche Teilstrom C wahlweise der nachgeschalteten Trennstufe T12c, unmittelbar dem Kohlendioxidspeicher T13 oder in eine frühere Verfahrensstufe zurückgeführt werden kann. Die in den jeweiligen Verbindungsleitungen eingezeichneten Ventile werden entsprechend geschaltet. In der Verbindungsleitung zwischen den Trennstufen T12b und T12c ist vor der Verzweigung **20** eine Messeinrichtung angeordnet, mit der der Restgehalt an Methan im kohlendioxidreichen Teilstrom C ermittelt wird.

**[0085]** Zu Beginn und im anfänglichen Verlauf der Desorption ist der Restgehalt an Methan im Teilstrom C meist so groß, dass der kohlendioxidreiche Teilstrom C in eine oder mehrere der früheren Verfahrensstufen zurückgeführt wird. Dementsprechend sind die beiden Ventile in den Leitungen zur Trennstufe T12c und zum Kohlendioxidspeicher T13 geschlossen. Im Verlaufe der Desorptions- und Evakuierungsphase sinkt der Restgehalt an Methan im Teilstrom C. Wird ein vorgegebener Restgehalt unterschritten, vorzugsweise 1 Vol.% Restgehalt an Methan, so wird durch entsprechende Schaltung der Ventile der kohlendioxidreiche Teilstrom C der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12c zugeführt. In dieser Trennstufe T12c wird das im Teilstrom C enthaltene Kohlendioxid aufkonzentriert. Der Strom mit

dem aufkonzentrierten Kohlendioxid wird anschließend aus T12c zu dem Kohlendioxidspeicher T13 geleitet. Sollte die Kohlendioxidreinheit im Teilstrom C bereits so hoch sein, dass der Teilstrom C als Kohlendioxidgas oder, nach Verflüssigung, als Flüssig-CO<sub>2</sub> verkauft werden kann, so wird durch entsprechende Schaltung der Ventile der Teilstrom C unmittelbar zu dem Kohlendioxidspeicher T13 geleitet.

**[0086]** Ist der kohlendioxidreiche Teilstrom C aus der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12b mit Methan und/oder anderen Spurenstoffen noch hoch beladen, wie insbesondere zu Beginn der Desorption, so werden die Ventile in den Leitungen zur Trennstufe T12c und zum Kohlendioxidspeicher T13 geschlossen, und es erfolgt eine Rückführung in eine frühere Verfahrensstufe. Durch solch eine Rückführung kann zusätzlich auch der Methanverlust stark reduziert werden. Ferner können eventuelle organische Begleitstoffe durch beispielsweise anaeroben Abbau oder physikalisch chemische Reaktionen abgetrennt werden, um deren Anreicherung zu verhindern. Ob die Konzentration eines Begleitstoffes ermittelt werden kann, hängt natürlich von der Ausbildung der Messeinrichtung vor der Verzweigung **20** ab. Das Vorhandensein und die Konzentration organischer Begleitstoffe kann alternativ auch aufgrund von Erfahrungswerten abgeschätzt werden. Grundsätzlich gilt dies auch für den Restgehalt an Methan. Eine Messung einer Restkonzentration ist daher nicht unumgänglich erforderlich, sondern lediglich vorteilhaft. Die Rückführung erfolgt insbesondere bei hohen Methanrestgehalten, vorzugsweise bei Methanrestgehalten von wenigstens 1 Vol.%, da in solch einem Fall auch noch die Methangewinnung lohnt. Die Rückführung erfolgt aber auch, falls ein Begleitstoff mit solch einem hohen Gehalt im Teilstrom C enthalten ist, dass eine ausreichende Anreicherung von Kohlendioxid der nachgeschalteten Trennstufe T12c nicht möglich oder nicht wünschenswert ist.

**[0087]** Wird beispielsweise lediglich ein hoher Methanrestgehalt festgestellt, so wird der Teilstrom C vorzugsweise in die erste Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12b zurückgeführt. Wird ein vorgegebener Gehalt eines anderen organischen Begleitstoffs überschritten, so erfolgt stattdessen vorzugsweise die Rückführung in ein Organikfilter zum Herausfiltern solcher Begleitstoffe. Ist das Organikfilter vor der Entschwefelungsstufe T12a angeordnet, wie dies üblicherweise der Fall ist, so erfolgt die Rückführung durch Zumischung zu dem Gasstrom in der Leitung R8 aus dem Gasspeicher T8 für rohes Biogas. Insbesondere für den Fall, dass der Gehalt eines weiteren Begleitstoffs oder mehrerer weiterer Begleitstoffe einen vorgegebenen Wert überschreitet, erfolgt ebenso bevorzugt stattdessen oder als Teilstrom eine Rückführung in einen oder mehrere Behälter des Bioreaktors T4 oder in einen oder mehrere Festbettreaktoren T4c. Letztere sind vorzugsweise als senkrecht stehende Fest-

bettreaktoren, insbesondere als Füllkörperkolonnen, ausgebildet. Bei Rückführung in einen Behälter des Bioreaktors T4 wird der Teilstrom C in die faulende Flüssigkeit eingeblasen. Ist ein Festbettreaktor T4c oder sind mehrere Festbettreaktoren T4c vorgesehen, so wird in solch einen Festbettreaktor T4c ausgefaulte Flüssigkeit von dem Überlauf des Bioreaktors T4 über die Leitung R6 zugeführt. Der Teilstrom C wird in einen Bodenbereich des Festbettreaktors T4c geführt. Dem aufsteigenden Teilstrom C rieselt in dem Festbettreaktor T4c oder in den Festbettreaktoren T4c die ausgefaulte Flüssigkeit von oben entgegen. Da der Festbettreaktor bzw. die mehreren Festbettreaktoren T4c bei sehr geringer Raum- und Faulschlammbelastung arbeitet bzw. arbeiten, werden die organischen Begleitstoffe im Teilstrom C stark abgebaut. Der derart gereinigte Teilstrom C wird dem Gasspeicher T8 zugeführt.

**[0088]** Falls infolge der Ausfäulung im Bioreaktor T4 das Auftreten von Begleitstoffen im Biogas wahrscheinlich ist, kann das rohe Biogas auch direkt, entweder vor oder nach dem Gasspeicher T8 über solch einen Festbettreaktor T4c geleitet werden. Hierfür dient eine von R9 abzweigende Leitung R9a, durch die das Biogas aus dem Biogasreaktor T4 in gleicher Weise wie der kohlendioxidreiche Teilstrom C durch den Festbettreaktor T4c geführt wird.

**[0089]** Für die Reinheit des Kohlendioxids ist es besonders vorteilhaft, wenn nach Durchlauf der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe T12c und vor der Zuführung zum Kohlendioxidsspeicher T13 oder einer direkten Einspeisung in ein Leitungsnetz eine weitere Aufkonzentrierung vorzugsweise im flüssigen Zustand durch Destillation, Strippen und/oder Aktivkohlefilter erfolgt.

**[0090]** Es soll schließlich auch daran hingewiesen werden, dass die anhand der Fig. 8 beschriebene Gastrennungseinrichtung T12 und das im Zusammenhang mit Fig. 8 betriebene Trennverfahren nicht nur bei einer in einem PSA-Verfahren betriebenen Gastrennungseinrichtung mit Vorteil eingesetzt werden kann, sondern beispielsweise auch im Zusammenhang mit Membranverfahren zur Gastrennung.

#### Bezugszeichenliste

##### Silierung

|             |                                      |
|-------------|--------------------------------------|
| <b>T 1</b>  | Fahrsilo                             |
| <b>R 1</b>  | Rohr für CO <sub>2</sub>             |
| <b>V 1</b>  | Ventil im Silo                       |
| <b>M 1</b>  | Silofolie                            |
| <b>T 2</b>  | Sickersaftgrube                      |
| <b>FI 1</b> | Stützen für Schlauchanschlüsse       |
| <b>R 2</b>  | Schlauch für CO <sub>2</sub> -Zugabe |
| <b>T 15</b> | Tank für flüssiges CO <sub>2</sub>   |
| <b>K 5</b>  | CO <sub>2</sub> -Gebläse             |

##### Vormischung

|              |   |
|--------------|---|
| <b>T 3</b>   | Seitenschacht                             |
| <b>T 3'</b>  | Vorgrube                                  |
| <b>Rü 1</b>  | Rührer mit Schneidrührwerkswirkung        |
| <b>Mo 1</b>  | Motor am Schneidrührwerk                  |
| <b>P 1</b>   | Dickstoffpumpe                            |
| <b>V 2</b>   | Ventil an Dickstoffpumpe                  |
| <b>FI 2</b>  | Obere Öffnung im Seitenschacht            |
| <b>FI 3</b>  | Untere Öffnung im Seitenschacht           |
| <b>V 3</b>   | Verschluß an FI 2                         |
| <b>P 2</b>   | Tauchmotorrührwerk oder Pumpe             |
| <b>FI 4</b>  | Deckel auf dem Seitenschacht              |
| <b>T 3,1</b> | Verlängerung des Seitenschachtes am Boden |
| <b>V 3,1</b> | Verschluß an FI 3                         |
| <b>R 3</b>   | Druckleitung zur Vorgrube                 |

##### Biogaserzeugung

|               |  |
|---------------|--|
| <b>T 4</b>    | Biogasreaktor  |
| <b>T 4a</b>   | Liegender oder stehender Fermenter   |
| <b>T 4b</b>   | Stehender Fermenter  |
| <b>T 4c</b>   | Füllkörperkolonne  |
| <b>T 5</b>    | Kopfraum im Biogasreaktor  |
| <b>FI 5</b>   | Mannloch   |
| <b>FI 6</b>   | Stützen für Überdrucksicherung im Biogasreaktor                                    |
| <b>FI 7</b>   | Stützen für Unterdrucksicherung im Biogasreaktor                                   |
| <b>Rü 2</b>   | Rührwerk im Biogasreaktor  |
| <b>Rübl 1</b> | Oberes Rührblatt am Rührwerk   |
| <b>Rübl 2</b> | Unteres Rührblatt am Rührwerk  |
| <b>Mo 2</b>   | Motor am senkrechten Rührwerk im stehenden Fermenter                               |
| <b>Rü 3</b>   | Rührwerk im liegenden Fermenter  |
| <b>Mo 3</b>   | Getriebemotor am Rührwerk im liegenden Fermenter                                   |
| <b>P 3</b>    | Dosierpumpe für Chemikalienzugabe  |
| <b>P 4</b>    | Entleerungspumpe für Biogasbehälter  |
| <b>Iso 1</b>  | Thermische Isolierung am Biogasreaktor   |
| <b>WT 1</b>   | Wärmetauscher Fußbodenheizung im Biogasreaktor                                     |
| <b>FI 9</b>   | Zuführöffnung  |
| <b>FI 10</b>  | Entleerungsöffnung   |
| <b>FI 11</b>  | Stützen für Temperaturmessung  |
| <b>FI 12</b>  | Stützen für Druckmessung   |
| <b>FI 13</b>  | Öffnung für Chemikalienzugabe  |
| <b>V 5</b>    | Rückschlagklappe vor liegendem Fermenter T 4a                                      |
| <b>V 6</b>    | Ventil vor außenliegendem Wärmetauscher  |
| <b>V 7</b>    | Ventil in Wärmetauscherumgehungsleitung  |
| <b>V 8</b>    | Ventil nach Dickstoffpumpe vor T 4a  |
| <b>V 9</b>    | Ventil nach Dickstoffpumpe vor T 4b  |
| <b>V 10</b>   | Ventil in Entleerungsleitung von T 4a zwischen T 4a und T 4b                       |
| <b>V 11</b>   | Ventil in Entleerungsleitung von T 4a vor V 10 in Saugleitung von Entleerungspumpe |

|              |   |              |   |
|--------------|---|--------------|---|
| <b>V 12</b>  | Ventil in Entleerungsleitung von T 4b in Saugleitung von Entleerungspumpe | <b>T 14</b>  | CH <sub>4</sub> -Tank 250 bar   |
| <b>R 4</b>   | Druckleitung nach Dickstoffpumpe vor T 4a und T 4b                        | <b>R 14</b>  | Gasleitung für Biomethan zum Erdgasnetz   |
| <b>R 5</b>   | Verbindungsleitung von Teilreaktor T 4a zu T 4b                           | <b>R 15</b>  | Gasleitung nach Entschwefelungsstufe zum Gasspeicher T 11                       |
| <b>R 6</b>   | Überlaufleitung T 4a  | <b>K 5</b>   | CO <sub>2</sub> -Gebläse zur direkten Entnahme                                  |
| <b>R 7</b>   | Überlaufleitung T 4b  | <b>Mo 10</b> | Motor am CO <sub>2</sub> -Gebläse   |
| <b>T 6</b>   | Nachgärtank   | <b>K 6</b>   | CO <sub>2</sub> -Kompressor zur Verflüssigung                                   |
| <b>Mo 4</b>  | Motor am Rührwerk im Nachgärtank  | <b>T 15</b>  | Tank für flüssiges CO <sub>2</sub>  |
| <b>Rü 4</b>  | Seitlich angebrachtes Rührwerk im Nachgärtank                             | <b>V 19</b>  | Ventil in Abzweigung zum Zwischenraum in CO <sub>2</sub> -Speichermembran (M 4) |
| <b>M 2</b>   | Gasspeichermembran über Nachgärtank                                       | <b>R 16</b>  | Leitung zum Zwischenraum in CO <sub>2</sub> -Speichermembran                    |
| <b>WT 2</b>  | Außenliegender Wärmetauscher zur Erhitzung                                | <b>T 16</b>  | Zwischenraum bei Gasspeicherfolie für CO <sub>2</sub>                           |
| <b>Iso 2</b> | Thermische Isolierung am Wärmetauscher                                    |              |   |
| <b>T 7</b>   | Haltetank für Hygienisierung  |              |   |
| <b>P 6</b>   | Förderpumpe nach Haltetank  |              |   |
| <b>WT 4</b>  | Heizmantel am liegenden Fermenter T 5, 1                                  |              |   |
| <b>V 15</b>  | Rückschlagklappe nach liegendem Behälter                                  |              |   |
|              | Gasspeicherung und -trennung  |              |   |
| <b>T 8</b>   | Gasspeicher für rohes Biogas  |              |   |
| <b>M 3</b>   | Folie im Biogasspeicher, roh und entschwefelt                             |              |   |
| <b>T 9</b>   | Feuerhemmende Umhüllung um Folienspeicher                                 |              |   |
| <b>V 16</b>  | Kondensatablaßventil am Biogasspeicher                                    |              |   |
| <b>K 1</b>   | Gebläse für rohes Biogas  |              |   |
| <b>R 8</b>   | Gasleitung nach Gebläse für rohes Biogas                                  |              |   |
| <b>R 9</b>   | Gasleitung nach Biogasreaktor zum Gasspeicher für rohes Biogas            |              |   |
| <b>T 10</b>  | Energiestation  |              |   |
| <b>T 11</b>  | Gasspeicher für entschwefeltes Biogas                                     |              |   |
| <b>K 2</b>   | Gebläse für entschwefeltes Biogas   |              |   |
| <b>Mo 7</b>  | Motor für Gebläse   |              |   |
| <b>V 18</b>  | Ventil in Gasleitung für entschwefeltes Gas nach Gebläse                  |              |   |
| <b>R 10</b>  | Gasleitung nach Gebläse für entschwefeltes Biogas                         |              |   |
| <b>R 11</b>  | Gasleitung zur Energiestation   |              |   |
| <b>R 12</b>  | Gasleitung zwischen den Zwischenräumen M 3, 1                             |              |   |
| <b>T 12</b>  | Gastrennungseinrichtung   |              |   |
| <b>T 12a</b> | Entschwefelungsstufe  |              |   |
| <b>T 12b</b> | erste Methan-CO <sub>2</sub> -Trennstufe                                  |              |   |
| <b>T 12c</b> | zweite Methan-CO <sub>2</sub> -Trennstufe                                 |              |   |
| <b>20</b>    | Verzweigung   |              |   |
| <b>T 13</b>  | Niederdruck CO <sub>2</sub> -Speicher                                     |              |   |
| <b>M 4</b>   | CO <sub>2</sub> -Speichermembran für Niederdruckspeicher                  |              |   |
| <b>R 13</b>  | Rohrleitung für CO <sub>2</sub> nach Niederdruckspeicher                  |              |   |
| <b>K 3</b>   | CH <sub>4</sub> -Kompressor 250 bar                                       |              |   |
| <b>K 4</b>   | CH <sub>4</sub> -Kompressor 50 bar  |              |   |
| <b>Mo 8</b>  | Motor am CH <sub>4</sub> -Kompressor 250 bar                              |              |   |
| <b>Mo 9</b>  | Motor am CH <sub>4</sub> -Kompressor 50 bar                               |              |   |

### Patentansprüche

- Verfahren zur Erzeugung von Biogas, bei dem
  - eine Biomasse, die aus einer Mischung aus Energiepflanzen und Gülle und/oder organischem Abfall besteht, mittels Mikroorganismen fermentativ anaerob abgebaut wird und
  - aus einem bei dem Abbau entstehenden Biogasmisch erdgasgleiches Biomethan und Kohlendioxid hergestellt werden, wobei
  - die Biomasse in einem Zuführbehälter vorgemischt wird,
  - aus dem Zuführbehälter in einen Reaktorbehälter (T 4) durch eine untere Öffnung (FI 3) in dem Reaktorbehälter (T 4) geleitet wird und
  - Faulwasser aus dem Reaktorbehälter (T 4) durch eine obere Öffnung (FI 2) in dem Reaktorbehälter (T 4) auf die in dem Zuführbehälter befindliche Biomasse geleitet wird,**dadurch gekennzeichnet**, dass
  - die Biomasse in einen Seitenschacht (T 3), der den Zuführbehälter bildet und unmittelbar an einer Wand außerhalb eines Reaktorbehälters (T 4) angeordnet ist, eingegeben wird und
  - das Faulwasser aus dem Reaktorbehälter aufgrund des höheren Flüssigkeitsstandes in dem Reaktorbehälter gegenüber dem Flüssigkeitsstand in dem Seitenschacht durch die obere Öffnung (FI 2) direkt in den Seitenschacht abströmt.
- Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Energiepflanzen siliert und für den späteren Abbau gelagert werden.
- Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass eine aus den Energiepflanzen bestehende Biomasse für den Abbau 20-60% Trockensubstanz aufweist.
- Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Biogasmisch ohne Zugabe von Luft, insbesondere ohne Zugabe von Sauerstoff, entschwefelt wird; vorzugsweise wird es unter Sauerstoffabschluss, insbesondere untere Luftabschluss, entschwefelt.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Schwefel bei einer Teilentschwefelung als Sulfid ausgefällt wird.

6. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Sulfidausfällung mit Eisen-III erfolgt.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Eisen-III als Hydroxid oder Chlorid in eine Vormischeinrichtung (T 3) für den Abbau oder in die gärende Mischung bei dem Abbau zugegeben wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine vollständige Entschwefelung des Biogasgemisches auf 0,1 bis 30 mg/m<sup>3</sup> in einer Gastrennungseinrichtung (T 12) erfolgt.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Entschwefelung des Biogasgemisches mit Aktivkohle und/oder in Molekularsieben und/oder in gasangeströmten, hydrophoben, flüssigkeitsdurchströmten Membranen erfolgt.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Biogas in einer ersten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12b) ein methanreicher Teilstrom (M) und ein kohlendioxidreicher Teilstrom (C) gebildet werden und Kohlendioxid in dem kohlendioxidreichen Teilstrom (C) durch Abtrennung von Restmethan in einer nachgeschalteten, zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12c) aufkonzentriert wird.

11. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der kohlendioxidreiche Teilstrom (C) nur bei Unterschreitung eines vorgegebenen Gehalts von Restmethan der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12c) zugeführt und bei Überschreitung des vorgegebenen Gehalts an Restmethan in eine frühere Stufe des Verfahrens zurückgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der kohlendioxidreiche Teilstrom (C) bei Überschreitung eines vorgegebenen Restgehalts an Methan zurückgeführt wird in den fermentativen Abbau, in ein Organikvorfilter einer Gastrennungseinrichtung (T12) und/oder in die erste Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12b).

13. Biogasanlage umfassend

a) einen Biogasreaktor (T 4) mit wenigstens einem Reaktorbehälter (T 4a, T4b), in dem durch fermentativen, anaeroben Abbau einer Biomasse ein Biogas

erzeugt wird,

b) einen Zuführbehälter mit einer Vormischeinrichtung (T 3) zur Vermischung der Biomasse aus dem die Biomasse in den Reaktorbehälter (T 4) eingebracht wird und

c) eine Gastrennungseinrichtung (T 12), der das erzeugte Biogas zugeführt wird und die aus dem Biogas erdgasgleiches Biomethan und Kohlendioxid trennt,

d) wobei der Reaktorbehälter eine untere Öffnung (FI 3), durch die Biomasse aus dem Zuführbehälter in den Reaktorbehälter geleitet wird, und eine obere Öffnung (FI 2) aufweist, durch die Faulwasser aus dem Reaktorbehälter in den Zuführbehälter geleitet wird,

dadurch gekennzeichnet, dass

e) wenigstens ein Seitenschacht (T 3) als Zuführbehälter unmittelbar an einer Wand außerhalb des Reaktorbehälters (T 4) angeordnet ist und

f) die obere Öffnung (FI 2) auf solch einer Höhe angeordnet ist, dass Faulwasser aus dem Reaktorbehälter (T 4) direkt in den Seitenschacht abströmt.

14. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die obere Öffnung (FI 2) aus einer oder mehreren Teilöffnungen besteht und 20 bis 100% der Breite des Seitenschachtes (T 3) einnimmt,

15. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass ein Verschluss (V 3) die obere Öffnung (FI 2) bei einer Druckdifferenz von 10 bis 200 cm Wassersäule plötzlich öffnet und das Faulwasser in den Seitenschacht (T 3) vorzugsweise sprüht.

16. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Förderung durch ein auf dem Boden des Seitenschachtes (T 3) befindliches, förderndes Tauchmotorrührwerk oder eine Pumpe (P 2) erfolgt, das oder die parallel zur Wand des stehenden Reaktors (T 4) schräg in den Reaktor (T 4) fördert.

17. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Tauchmotorrührwerk oder die Pumpe (P 2) über eine abgerundete Ecke des Seitenschachtes (T 3) schräg in den Reaktor (T 4) fördert.

18. Anlage nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Seitenschacht (T 3) von der unteren Öffnung (FI 3) aus in Förderrichtung des Rührwerks oder der Pumpe (P 2) ins Innere des Reaktors (T 4) entlang der Reaktorwand verlängert (T 3,1) ist.

19. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Biogasreaktor (T 4) aus mehreren Behältern (T 4a, T 4b, T6)

besteht.

20. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Biogasreaktor (T 4) aus zwei Behältern (T 4a) und (T 4b) besteht.

21. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Biogasreaktor (T 4) aus zwei Behältern (T 4a) und (T 4b) und einem Nachgärtank (T 6) besteht.

22. Anlage nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Behälter (T 4a, T 4b) des Reaktors (T 4) in Reihe oder parallel geschaltet oder schaltbar sind.

23. Anlage nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein stehender Behälter (T 4a, T 4b) des Reaktors (T 4) ein Rührwerk (Rü 2) enthält.

24. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Drehzahl des Rührwerkes (Rü 2) 2 bis 100 Umdrehungen pro min beträgt und die Drehrichtung umkehrbar ist.

25. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Rührwerk (Rü 2) durch ein senkrecht stehendes Rührwerk oder zwei Tauchmotorrührwerke gebildet wird.

26. Anlage nach einem der sieben vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein erster Behälter (T 4a) ein liegender Behälter und in Reihe mit einem zweiten Behälter (T 4b) geschaltet ist.

27. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Behälter (T 4a) einen kreisförmigen Querschnitt hat.

28. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Behälter (T 4b) ein stehender Behälter ist.

29. Anlage nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Behälter (T 4b) einen kreisförmigen Querschnitt hat.

30. Anlage nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Behälter (T 4a) ein Volumen von 100 bis 200 m<sup>3</sup> bei einem Durchmesser von 3 bis 4 m hat und aus Stahl mit 2 bis 4 mm dickem Blech gefertigt ist.

31. Anlage nach einem der fünf vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der liegende Behälter (T 4a) ein durchgehendes horizontales Rührwerk (Rü 3) enthält mit einer Rührflügel tra-

genden Welle, wobei jeder Rührflügel gegenüber dem benachbarten um einen Winkel aus dem Bereich von 18° bis 36° versetzt auf der Welle angeordnet ist.

32. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Rührwerk (Rü 3) nur eine radiale Rührwirkung entfaltet und dem Behälterinhalt keinen Vorschub verleiht und dass eine fördernde Wirkung in dem Behälter (T 4a) nur durch eine Stoffzuführung ausgeübt wird.

33. Anlage nach einem der sieben vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der liegende Behälter (T 4a) auf der Unterseite mit einem Heizmantel (WT 4) umschlossen ist, der 20 bis 80% der Unterseite des liegenden Behälters (T 4,1) bedeckt.

34. Anlage nach einem der acht vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der liegende Behälter (T 4a) keinen Gasdom enthält und das gebildete Gas zusammen mit Flüssigkeit über eine Rückschlagklappe (V 15) in den zweiten Behälter (T 4b) entleert, wobei eine Austrittsöffnung an einem oberen Ende des liegenden Behälters (T 4a) angeordnet ist.

35. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein separater Gasspeicher (T 8) für rohes Biogas vorgesehen ist.

36. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der separate Gasspeicher (T 8) in einen Nachgärtank (T 6) des Reaktors (T 4) integriert ist.

37. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche dadurch gekennzeichnet, dass der Biogasreaktor (T4) über eine Gasleitung (R 9) direkt mit dem Gasspeicher (T 8) für rohes Biogas verbunden ist.

38. Anlage nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass rohes Biogas aus dem Gasspeicher (T8) in die Gastrennungseinrichtung (T 12) gefördert wird.

39. Anlage nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Membran (M 2) auf dem Nachgärtank (T 6) schwimmt und Biogas von dem Reaktor (T4) durch eine Behälterwand des Nachgärtanks (T 6) von unten durch die Flüssigkeitsoberfläche in den Gasspeicher (T8) unter der Membran (M 2) oder durch eine Behälterwand des Nachgärtanks (T 6) direkt in den Gasspeicher (T 8) unter der Membran (M 2) eintritt.

40. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch,



dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (M 2) im Nachgärtank (T 6) gasdicht befestigt ist.

41. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (M 2) des Gasspeichers (T8) durch Materialien und/oder doppelte Schichten luftundurchlässig ist.

42. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Gasspeichermembran (M 2) mehrere übereinanderliegende Schichten aufweist.

43. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gaspermeabilität jeder Schicht bei 0 bis 30°C höchstens  $150 \text{ cm}^3/(\text{m}^2\text{bar}24\text{h})$  beträgt.

44. Anlage nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (M 2) einen Schutzraum (M 3,1) bildet.

45. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen Schichten der Membran (M 2), falls die Membran ein Gasspeichersack oder Gasspeicherkissen ist, mit Abstandshaltern konstant gehalten wird.

46. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Form der Abstandshalter einen kontrollierten Gasfluß unterstützt und Rückströmungen und Kurzschlußströmungen verhindert.

47. Anlage nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schutzraum (M 3,1) ein variables Volumen hat.

48. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass zur Einstellung eines variablen Volumens ein starrer Behälter verwendet wird, in dem die flexible Membran (M 2) befestigt ist.

49. Anlage nach einem der fünf vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Schutzraum (M 3,1) mit rohem und/oder entschwefeltem Biogas gefüllt ist.

50. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das Biogas nach einem Durchströmen des Schutzraumes (M 3,1) in eine Energiestation (T 10) der Anlage gefördert wird.

51. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Biogas in der Gastrennungseinrichtung (T 12) in einer Entschwefelungsstufe auf 0,1 bis  $30 \text{ mg/m}^3$  Schwefel entschwefelt und in einem Gasspeicher (T 11) für entschwefeltes Biogas gespeichert wird.

52. Anlage nachdem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Gasspeicher (T 11) für entschwefeltes Biogas eine Membran (M 3) und eine Umhüllung (T 9) umfasst oder daraus besteht.

53. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (M 3) gasdicht auf 40 bis 60% der Höhe der zylindrischen, senkrecht stehenden, feuerhemmenden und gasdichten Umhüllung (T 9) befestigt ist.

54. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Membran (M 3) einen Schutzraum (M 3,1) bildet, der mit rohem und/oder entschwefeltem Biogas mit einem Überdruck von 1 bis 100 mbar gefüllt ist.

55. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der Schutzraum (M 3,1) von dem Biogas durchströmt wird.

56. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gebläse (K 2) das entschwefelte Biogas aus einem Gasraum der Membran (M 3) des Biogasspeichers (T 11) absaugt und zumindest einen Teilstrom in den Schutzraum (M 3,1) des Gasspeichers (T 8) für rohes Biogas und/oder des Gasspeichers (T11) für entschwefeltes Biogas fördert.

57. Anlage nach einem der sechs vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Gebläse (K 2) das entschwefelte Biogas aus dem Gasspeicher (T 11) absaugt und zur CO<sub>2</sub>-CH<sub>4</sub>-Trennung der Gastrennungsanlage (T 12) fördert.

58. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in einer Energiestation aus Biogas in einem Kessel Prozeßdampf von 100 bis 130 °C erzeugt und in der Gastrennungseinrichtung (T 12) eingesetzt wird.

59. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass in der Gastrennungseinrichtung (T 12) Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid und Methan voneinander getrennt werden.

60. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gastrennungseinrichtung (T 12) in einem PSA-Verfahren (Pressure-Swing-Absorption) arbeitet.

61. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass das PSA-Verfahren in der Gastrennungseinrichtung (T 12) mit Aktivkohlefiltern ausgestattet ist.

62. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden

Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das PSA-Verfahren in der Gastrennungseinrichtung (T 12) mit Molekularsieben ausgestattet ist.

63. Anlage nach einem der drei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das PSA-Verfahren in der Gastrennungseinrichtung (T 12) mit Druckwäschen und absorbierenden Flüssigkeiten ausgestattet ist.

64. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch, gekennzeichnet, dass die Gastrennungseinrichtung (T 12) mit kontinuierlich arbeitenden Aktivkohlefiltern ausgestattet ist.

65. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gastrennungseinrichtung (T 12) mit einer kontinuierlich arbeitenden Membrantrenneinrichtung ausgestattet ist.

66. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass kontinuierlich arbeitende Membranen der Membrantrenneinrichtung hydrophobe, flüssigkeitsdurchströmte Membranen sind, die von außen mit Biogas und seinen Komponenten im Kreuz- oder Gegenstrom angeströmt werden.

67. Anlage nach einem der zwei vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit in den Membranen selektiv Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid absorbiert.

68. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gastrennungseinrichtung (T 12) Mittel zur Aufkonzentrierung von Kohlendioxid in vorzugsweise flüssigem Zustand durch Destillation, Strippen und Aktivkohlefilter enthält.

69. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gastrennungseinrichtung (T 12) Biogas so aufbereitet, dass Biomethan als erdgasgleiches Gas und Kohlendioxid mit einer Reinheit von > 99% anfällt und die Methanverluste weniger als 5% betragen.

70. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Biomethan als erdgasgleiches Gas über eine Mengenummessung am Ort der Anlage in eine Erdgasleitung eingespeist wird.

71. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Biomethan als erdgasgleiches Gas über Kompressor (K 4) und Rohrleitung (R 14) mit Mengenummessung (Ms 8) in einen Hochdruckspeicher der Anlage gefördert wird.

72. Anlage nach einem der vorhergehenden An-

sprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kohlendioxid in einen am Ort der Anlage vorgesehenen Niederdruckspeicher (T 13) eingeleitet wird.

73. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kohlendioxid am Ort der Anlage in ein fest verlegtes Leitungsnetz für flüssiges CO<sub>2</sub> zur weiteren Verwertung gefördert wird.

74. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Kohlendioxid am Ort der Anlage in ein fest verlegtes Leitungsnetz für gasförmiges CO<sub>2</sub> zur weiteren Verwertung gefördert wird.

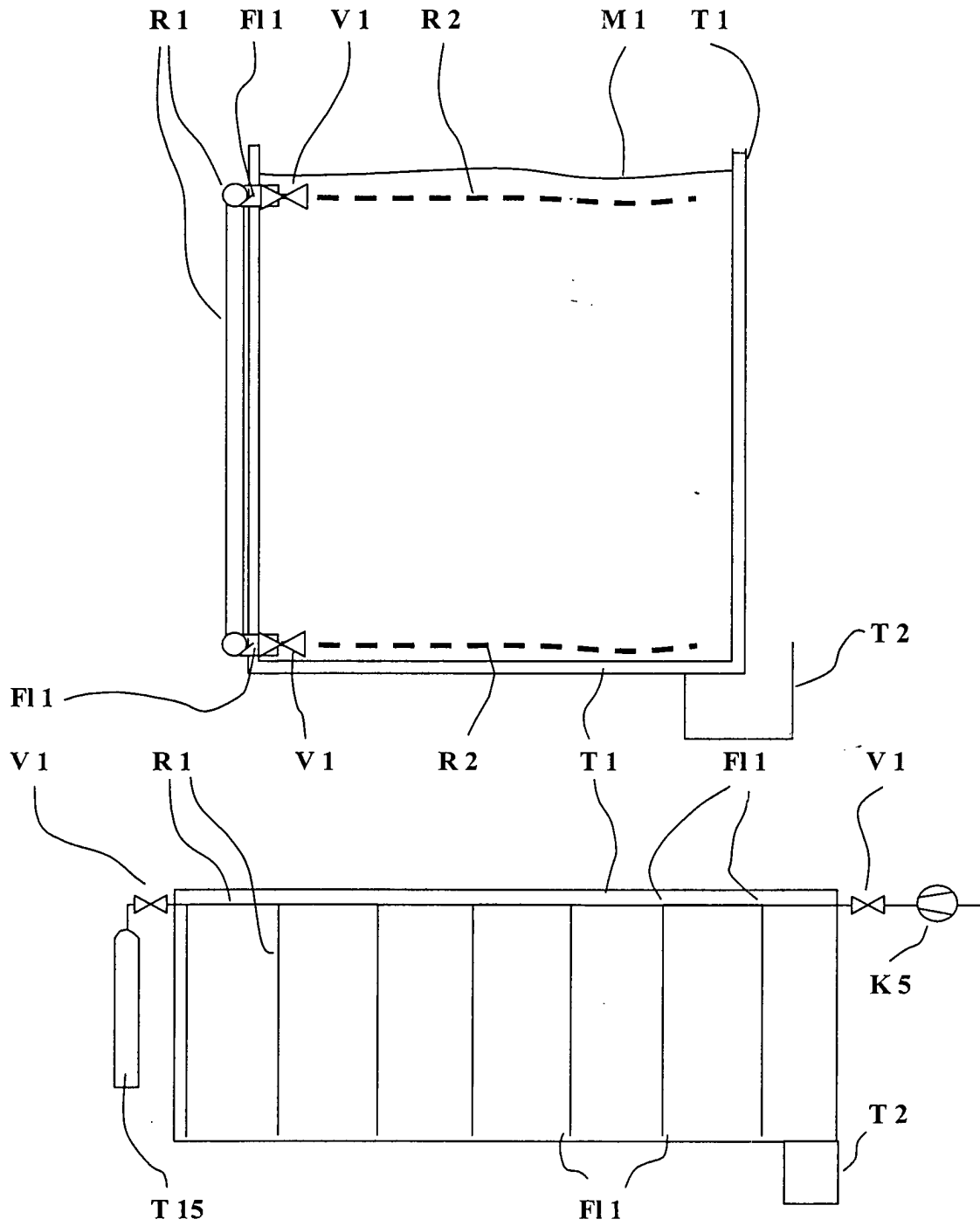
75. Anlage nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Gastrennungseinrichtung (T12) eine erste Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12b) aufweist, die aus dem Biogas einen methanreichen Teilstrom (M) und einen kohlendioxidreichen Teilstrom (C) trennt, dass die Gastrennungseinrichtung (T12) eine zweite Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12c) aufweist und dass ein Auslass der ersten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12b) für den kohlendioxidreichen Teilstrom (C) durch eine Fluidverbindung mit einem Einlass der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12c) verbunden ist.

76. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass in der Fluidverbindung eine Verzweigung (20) vorgesehen ist und dass der kohlendioxidreiche Teilstrom (C) durch die Verzweigung (20) hindurch der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12c) zuführbar oder in wenigstens einen der zweiten Methan-CO<sub>2</sub>-Trennstufe (T12c) vorgeschalteten Teil (T4c) der Anlage zurückführbar ist.

77. Anlage nach dem vorhergehenden Anspruch, dadurch gekennzeichnet, dass der vorgeschaltete Anlagenteil durch einen Festbettreaktor (T 4c) gebildet wird, der mit einem Flüssigkeitsauslass (R6) des Biogasreaktors (T4) verbunden ist und dass der zurückgeführte, kohlendioxidreiche Teilstrom (C) in dem Festbettreaktor (T 4c) durch einen Rieselstrom einer ausgefaulten Flüssigkeit aus dem Biogasreaktor (T4) geführt wird.

Es folgen 8 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



Figur 1

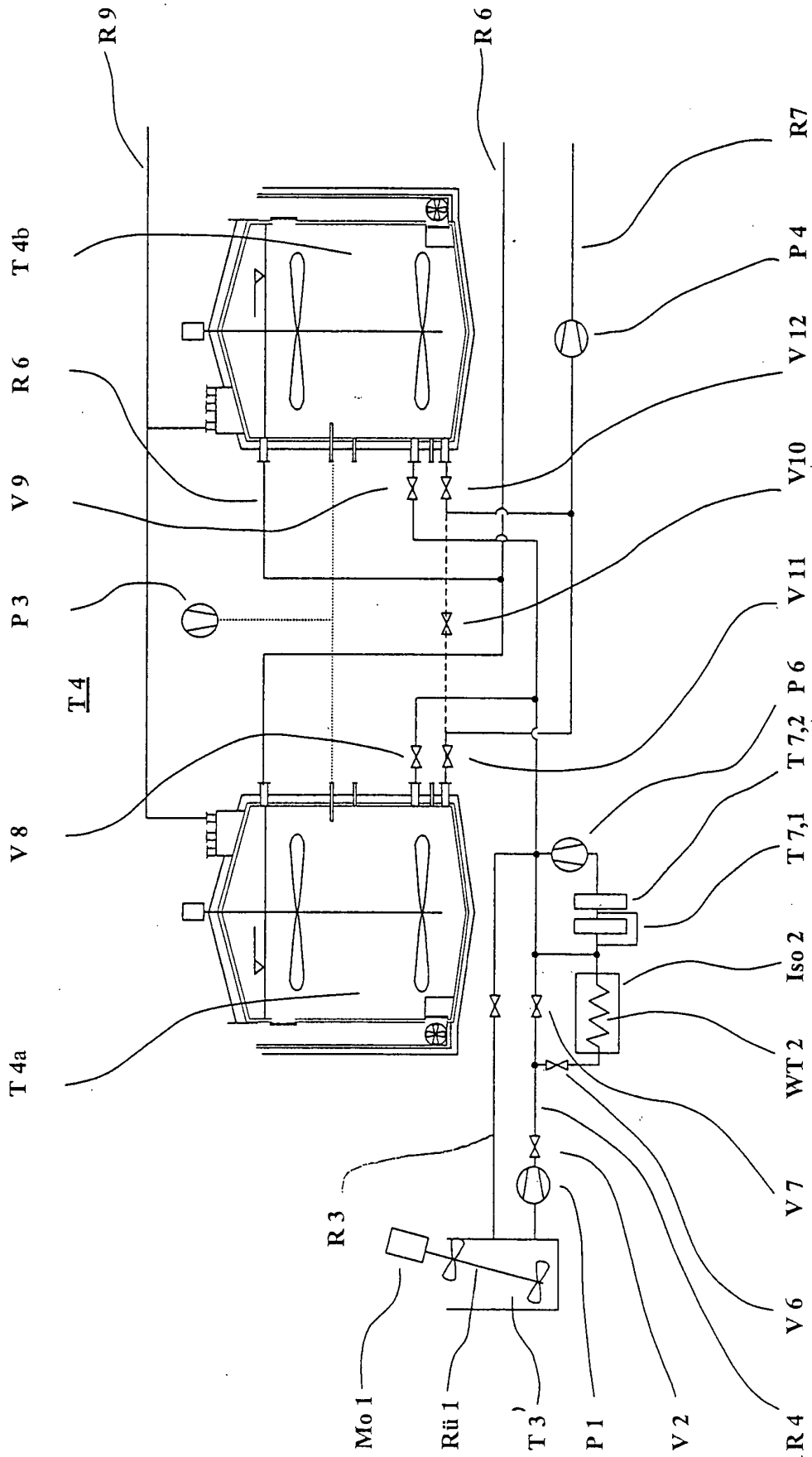
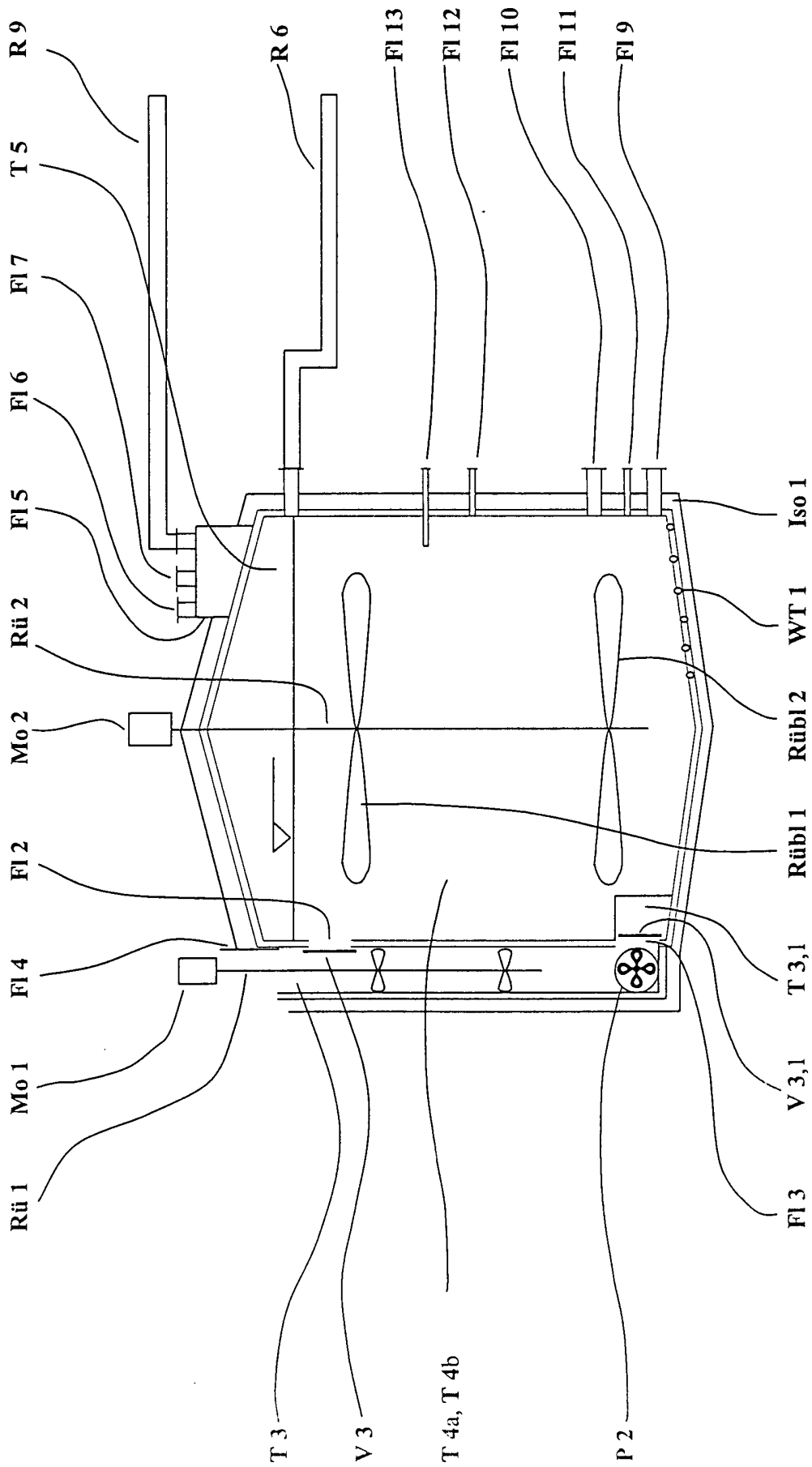
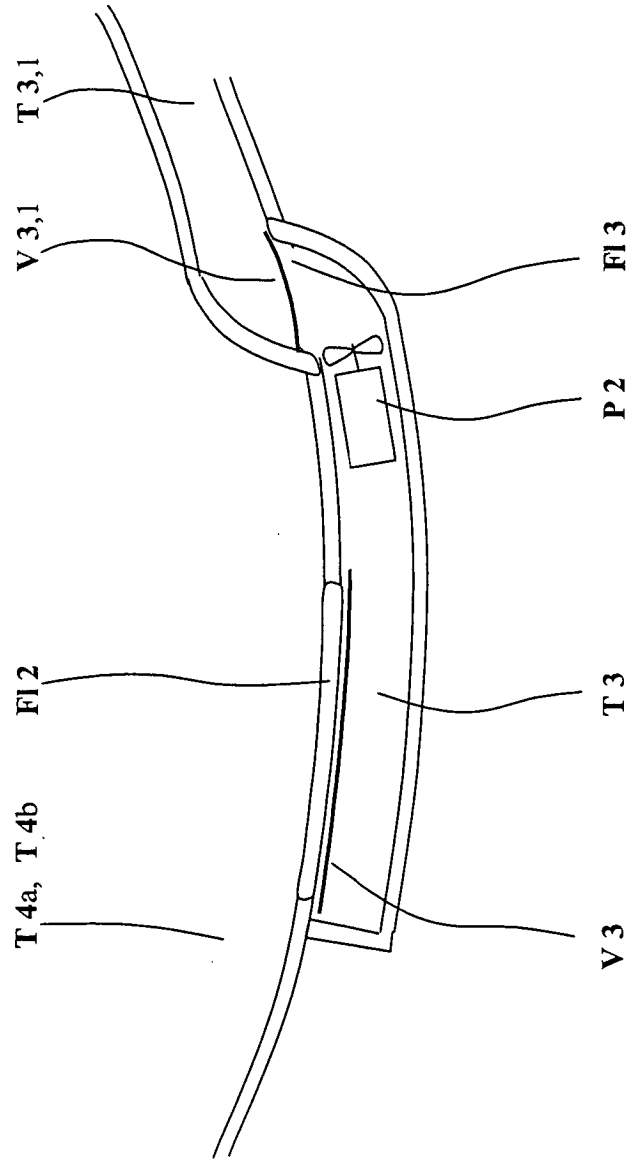


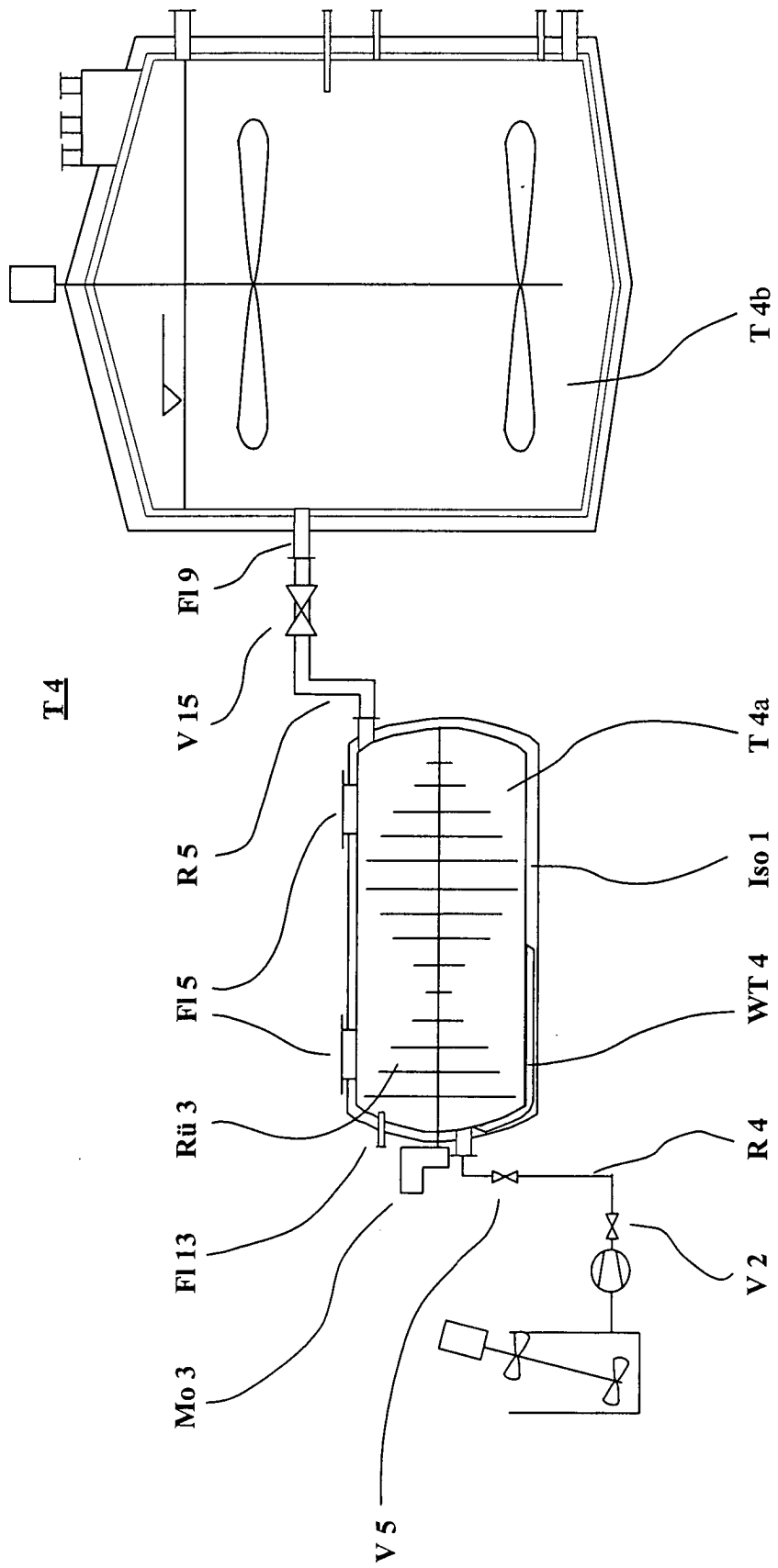
Figure 2



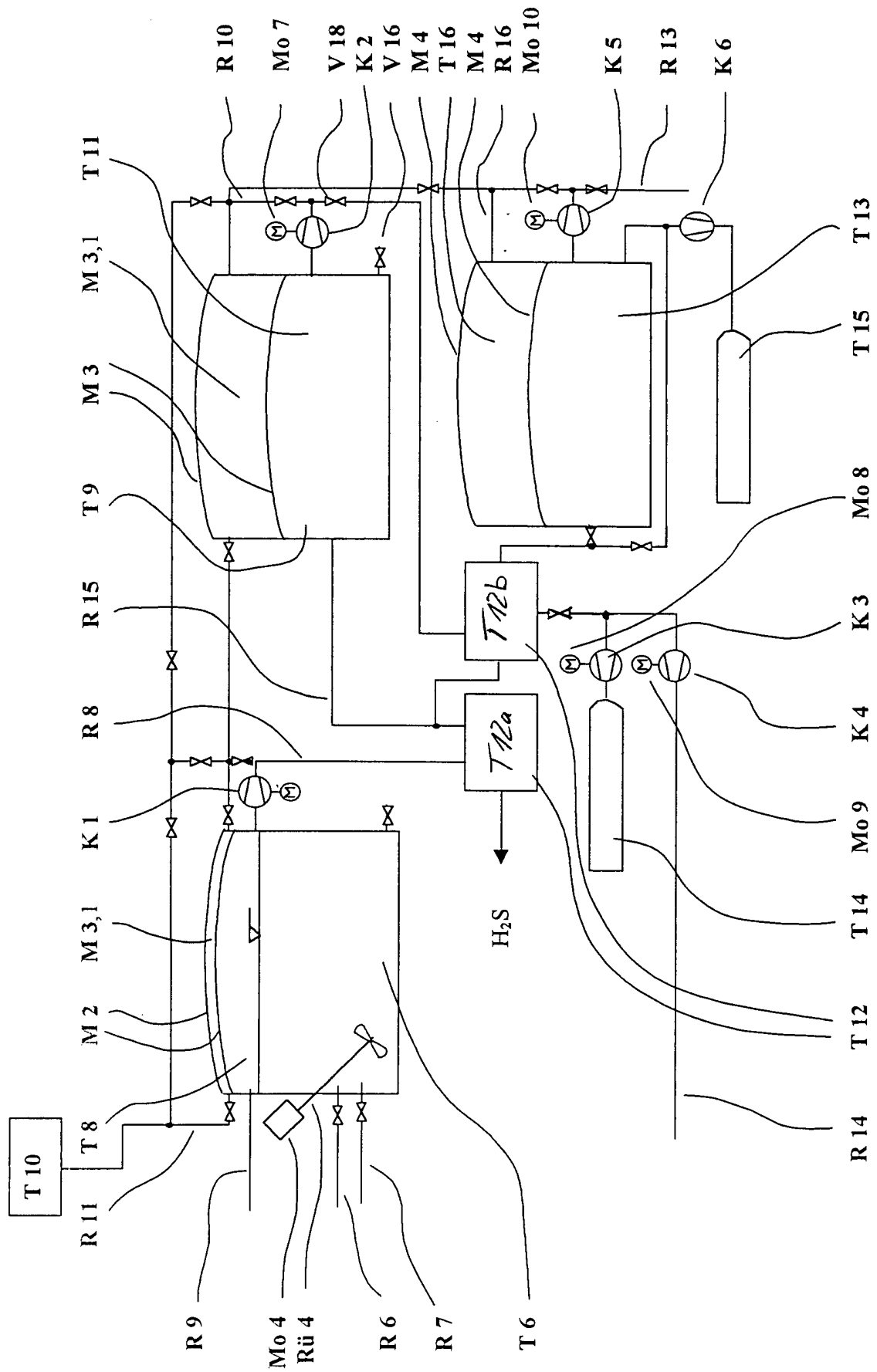
Figur 3



Figur 4

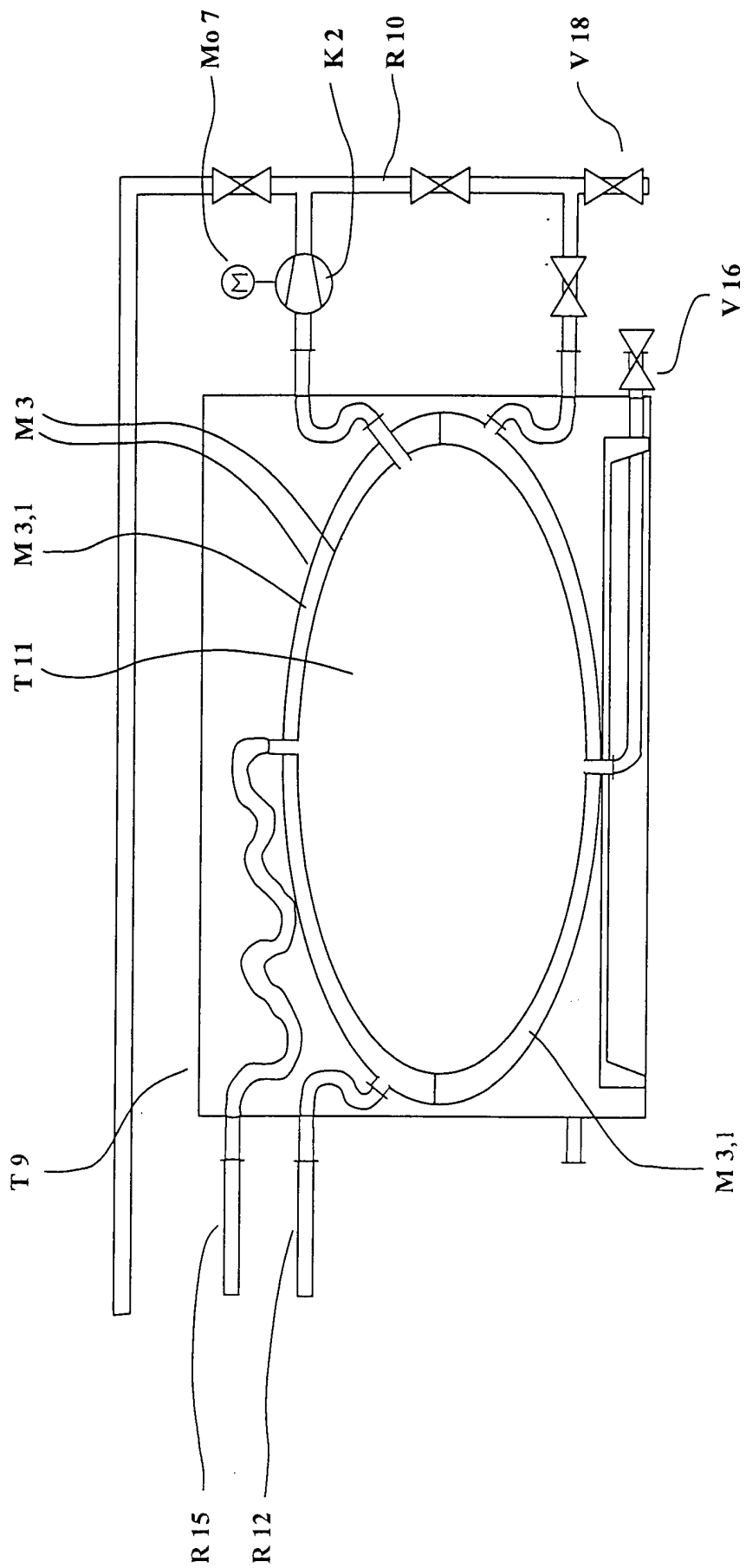


Figur 5



Figur 6





Figur 7

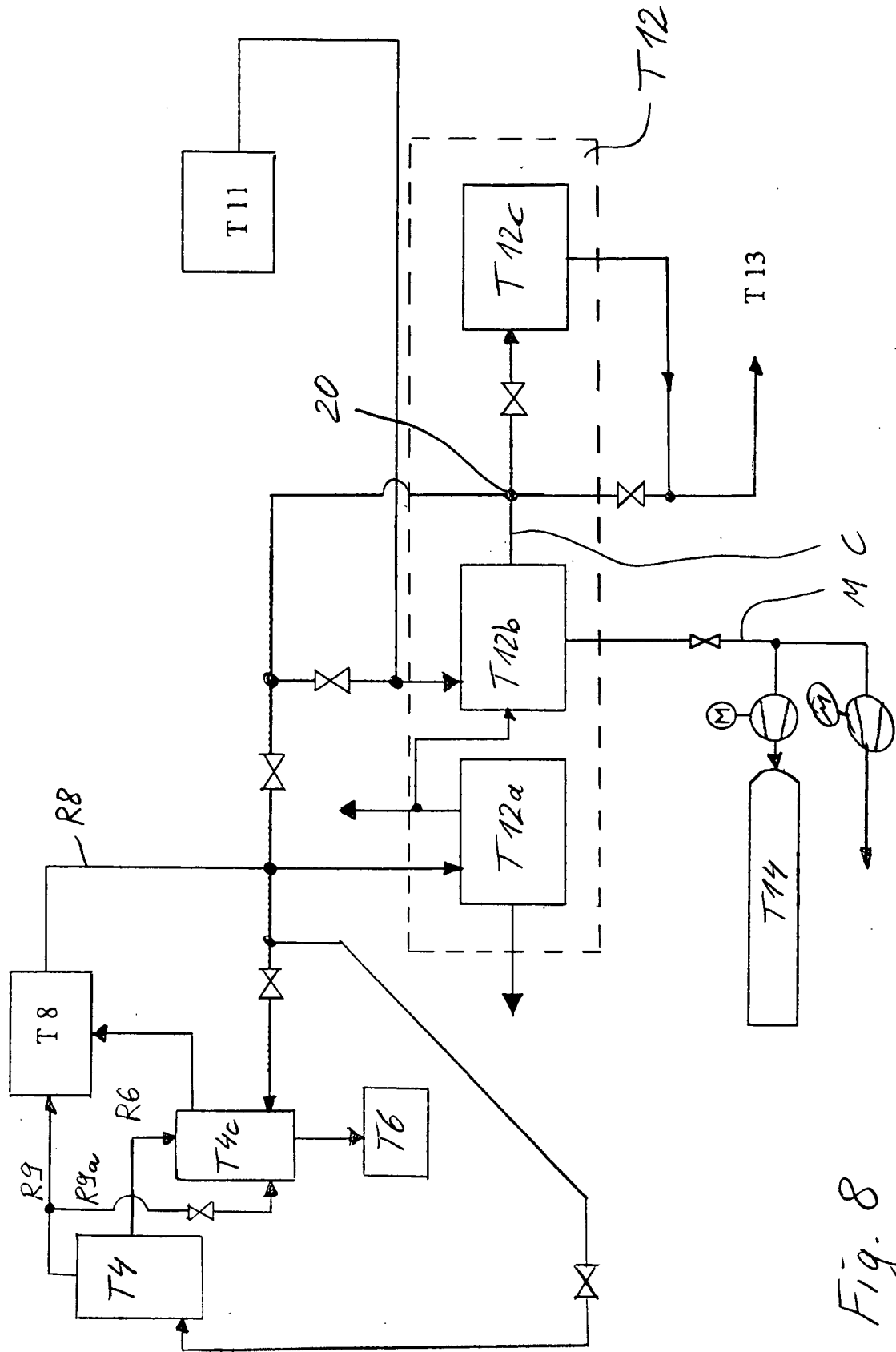


Fig. 8