



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2007 036 049 A1** 2009.02.05

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 036 049.7**

(22) Anmeldetag: **01.08.2007**

(43) Offenlegungstag: **05.02.2009**

(51) Int Cl.⁸: **C12M 1/107** (2006.01)

C12M 1/24 (2006.01)

C12P 5/02 (2006.01)

(71) Anmelder:

Fuß, Andreas, Dr., 33129 Delbrück, DE

(72) Erfinder:

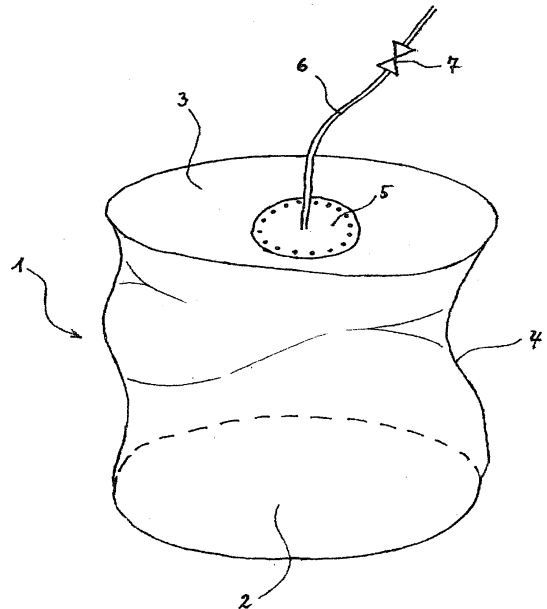
gleich Anmelder

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zur Verarbeitung, insbesondere Vergärung, von Biomasse unter Bildung von Biogas**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung beinhaltet ein Verfahren zur Verarbeitung, insbesondere Vergärung, von Biomasse, bei dem die zu vergärende Biomasse in einem mehrfach verwendbaren Gärbehälter bis zur vollständigen oder zumindest weitgehend vollständigen Mineralisation vergoren wird, wobei kein Austrag teilvergorener Biomasse aus dem Gärbehälter erfolgt, so daß keine nachzubehandelnde oder zu entsorgende teilvergorene Biomasse anfällt.

Weiterhin umfaßt die Erfindung einen Gärbehälter, der als flexible mehrfach verwendbare und weitgehend gasdichte Umhüllung der Biomasse von beliebiger Form und Größe ausgebildet ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum biologisch-anaeroben Abbau von zumindest teilweise organischer Biomasse, sowie auf eine Vorrichtung zur Durchführung dieses Verfahrens.

[0002] Unter Biomasse werden biologisch abbaubare organische Küchen- und Speiseabfälle verstanden, wie sie durch spezielle getrennte Sammlung in Haushalten erhalten werden (sogenannter Grünmüll, Biomüll, Bioabfall), sowie weiterhin Bioabfälle aus Lebensmittelverarbeitenden Industrie- und Gewerbebetrieben wie zum Beispiel Brauereien, Brennereien, Konservenfabriken, Stärkefabriken, Zuckerfabriken, bzw. biologisch abbaubare Abfallstoffe aus allen anderen Bereichen wirtschaftlicher Tätigkeit, wie z. B. Großmärkten, Kantinen, Gaststätten, Fast-Fond Restaurants, Schlachthöfen und der Antibiotikaerzeugung, der Pflanzenproduktion usw. Insbesondere zählen dazu auch Gartenabfälle jeglicher Art, wie zum Beispiel Baumschnitt, Grasschnitt, Heckschnitt, Laub, Holz, Reste bzw. Abfallstoffe aus landwirtschaftlicher Produktion (insbesondere Gülle und Fäkalien) sowie Grünschnitt jeglicher Art und beliebiger Herkunft (von Straßenrändern („Straßenbegleitgrün“), Parkanlagen sowie sonstigen öffentlichen oder privaten Liegenschaften). Weiterhin fallen darunter auch biologisch abbaubare Schlämme und Suspensionen aus dem kommunalen und industriellen Bereich (z. B. Kläranlagenschlämme und dergleichen) sowie vergärbare Abfall- oder Reststoffe, die auch anderweitig verwertet werden können, wie zum Beispiel Altpapier oder -Pappe. Die vorstehende Liste der geeigneten Biomassen ist nicht vollständig und es versteht sich von selbst, daß die Fermentation hier nicht genannter aber dennoch geeigneter biologisch abbaubarer Materialien in einer erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. nach einem erfindungsgemäßen Verfahren ebenfalls in den Umfang der Erfindung fällt. Insbesondere gilt dies auch für Pflanzen, die explizit zum Zwecke der Energie- oder Rohstoffgewinnung angebaut werden.

[0003] Der Vergärungsprozeß ist ein komplexer mehrstufiger Prozeß unter Beteiligung verschiedener Mikroorganismen, der sich nach gegenwärtigem Stand der Technik aus im wesentlichen vier Teilprozessen zusammensetzt:

- 1.) Hydrolyse
- 2.) Säurebildung (acidogene Phase)
- 3.) Essigsäurebildung (acetogene Phase)
- 4.) Methanbildung (methanogene Phase)

[0004] Um den an der jeweiligen Phase beteiligten Mikroorganismen möglichst optimale Lebensbedingungen zu bieten, müssen Flüssiggärverfahren mehrstufig, teilweise in getrennten Behältern, durchgeführt werden. In bekannten Verfahren sind daher umfangreiche Mischungsprozeduren, Umpump-Vor-

gänge sowie Messungen von Prozeßparametern (z. B. pH-Wert) erforderlich. Die Steuerung des Vergärungsprozesses ist damit ein technisch sehr aufwendiger und kostenintensiver Teil bekannter Verfahren.

[0005] Bei den bekannten Verfahren wird die Vergärung üblicherweise in starrwandigen Gärbehältern vorgenommen und der Gärbehälter kontinuierlich oder diskontinuierlich sowohl von vergorenem Material befreit als auch mit frischem Gärgut versetzt. Grundsätzlich bleibt die Vergärung nach bekannten Verfahren unvollständig, da auch im vergorenen Material noch organische Substanz enthalten ist. Ein Beispiel für eine derartige Anlage bzw. ein derartiges Verfahren ist aus der Schrift EP 0 974 643 B1 ersichtlich.

[0006] Bei allen bekannten Verfahren bedarf die Vergärungs-Vorrichtung aufwendiger Betreuung (Steuerung, Regelung), um die Lebensbedingungen der Mikroorganismen zu optimieren und damit die Raum-/Zeit-Ausbeute zu erhöhen, sowie die anfallenden Materialströme zu handhaben. Darüber hinaus ist die Herstellung und Montage starrwandiger Gärbehälter sehr kostenintensiv und arbeitsaufwendig.

[0007] Oftmals muß der Biomasse Wasser zugegeben werden, um das Material in einem pumpfähigen Zustand zu erhalten, was das Volumen an zu bewegendem Material beträchtlich erhöht, und damit auch die Abwasserlast.

[0008] Die Offenlegungsschrift EP 0 158 213 A2 offenbart ein Verfahren, das zwar in einer Ausführungsform eine flexible Abdeckung der gärenden Biomasse vorsieht, aber der Gärbehälter besteht nach wie vor aus starren Wänden, und die Folie wird innerhalb des Gärbehälters lediglich als Gasauffangglocke verwendet.

[0009] Die Offenlegungsschrift EP 0 036 065 A2 offenbart ein Verfahren nach dem Pfpfenströmungsprinzip, bei dem die frisch eingebrachte Biomasse ohne wesentliche Vermischung mit bereits enthaltener Biomasse durch den Reaktor hindurchströmt. Dadurch wird zwar der Aufwand zur vollständigen Durchmischung reduziert, dennoch bedarf es eines aufwendigen und teuren starrwandigen Gärbehälters sowie einer umfangreichen Prozeßsteuerung.

[0010] Bekannte Trockenfermentationsverfahren vermeiden zwar einige der Nachteile der Naßfermentationsverfahren (insbesondere die hohe Abwasserlast), weisen aber immer noch wesentliche Probleme auf, insbesondere die Verwendung starrwandiger Gärbehälter und aufwendige Anlagensteuerung sowie die Handhabung der vergorenen Biomasse, die nach wie vor aus dem Gärbehälter entfernt und weiterverarbeitet werden muß: Die EP 1 488 855 A1 of-

fenbart ein Fermentationsverfahren, bei dem die Biomasse durch Verpressen von Wasser befreit wird, um das Volumen der zu vergärenden Biomasse zu reduzieren. Sodann wird ggf. trocken fermentiert, jedoch nicht bis zur vollständigen oder zumindest weitgehenden Mineralisierung, so daß auch hier Aufwand zur Entleerung der Anlage aufgebracht werden muß. Außerdem muß viel Energie in die Konditionierung (Verpressung) des Gärgutes gesteckt werden. Die Gärbehälter bestehen aus gasdichtem Beton.

[0011] Die EP 1 301 583 B1 offenbart einen aus Stahlbeton-Elementen gefertigten Gärbehälter sowie eine aufwendige Anlagensteuerung.

[0012] Die DE 100 50 425 A betrifft ein Verfahren zur Methanisierung von biogenen Stückgütern in Trockenfermentern, bei dem aus den Stückgütern locker aufgespreste, mit einem Kunststoffnetz umwickelte Ballen hergestellt werden, um eine spätere Infiltration und Perkolation durch das Impfmateriale zu ermöglichen und gleichzeitig die Transportfähigkeit sicherzustellen. Auch hier fällt umfangreicher Aufwand zur Vor- und Nachbereitung der Biomasse an.

[0013] Weiterhin ist aus der EP 0 934 998 B1 ein Trockenfermentations-Verfahren zur Methanisierung von schüttfähigen, stapelbaren oder stückigmachbaren Biomassen bekannt, das darauf beruht, die stückig gemachte Biomasse mit einer luftundurchlässigen Hülle zu umgeben und das entstandene Biogas durch einen eingestochenen Dorn abzuführen. Auch dieses Verfahren weist zahlreiche gravierende Nachteile auf: Es bedarf einer aufwendigen Vorbereitung der Biomasse mittels teurer Großgeräte (Verpressung zu Rund- oder Quaderballen) und ist daher immer noch sehr kostenintensiv. Außerdem bewirkt das Zusammensinken der gärenden Biomasse, daß die zunächst gasdichte Umhüllung undicht wird und Biogas entweicht. Dies geschieht insbesondere an der Einstichstelle des Gasentnahmedorns, da an dieser Stelle keinerlei Maßnahmen zur Abdichtung der Vorrichtung vorgesehen sind. Am Einstichdorn ist lediglich eine Flanschverbindung oder dergleichen vorgesehen, um unterschiedliche Ver- oder Entsorgungsleitungen mit dem Einstichdorn zu verbinden; sämtliche in der PS aufgeführten Verbindungsmöglichkeiten dienen nicht der Abdichtung des Gärtraumes an der Einstichstelle, sondern der Verbindung des Dorns mit externen Leitungen.

[0014] Ein weiterer großer Nachteil dieser bekannten Vorrichtung ist es, daß die gasdichte Hülle nur einmal verwendet werden kann. Jeder neue zu vergärende Ballen muß mit einer neuen Hülle versehen werden. Dadurch tritt ein großer Anfall von Hüllmaterial-Abfall auf, was dieses Verfahren unrentabel macht. Die doppelwandige Ausführung der Umhüllung der Biomasse verschärft diesen Nachteil noch zusätzlich. Darüber hinaus wird für jeden dieser „Ein-

mal-Gärbehälter" ein eigener Aufstellplatz benötigt. Da jeder Aufstellplatz bis zum Ende der Vergärung von dem betreffenden Gärbehälter belegt wird, wird für jede neue Charge, die vor Vergärungsende der vorhergehenden angefahren wird, weiterer Stellplatz benötigt.

[0015] Trotz gegebenenfalls vorgesehener sehr langer Nachgärzeit sieht das Verfahren gemäß EP 0 934 998 B1 explizit eine Ausbringung/Entleerung des vergorenen Materials vor, was mit wachsender Anzahl Einzelgärbehälter sehr schnell zu umfangreichen logistischen Maßnahmen führt. Mit zunehmender Nachgärzeit macht sich somit der Platzbedarf sehr schnell unangenehm bemerkbar und setzt dem Verfahren enge Grenzen.

[0016] Bedingt durch die Stückigmachung der Biomasse im Rahmen des bekannten Verfahrens sind der Größe der Anlage enge Grenzen gesetzt: Die Mindestgröße ist durch die Ballengröße vorgegeben, die wiederum durch die maschinelle Bearbeitung vorgegeben ist und üblicherweise im Bereich mehrerer hundert Kilogramm liegt. Die Maximalgröße wird durch den hohen Platzbedarf für die erforderliche Aufstellfläche der Einzelgärbehälter sehr stark eingeschränkt.

[0017] Das Verfahren gemäß EP 0 934 998 B1 sieht weiterhin vor, daß sich im Gärbehälter ein gewisser Überdruck aufbaut. Diese Ansammlung eines brennbaren Gasgemisches stellt jedoch ein Sicherheitsrisiko dar. Ein weiterer großer Nachteil des bekannten Verfahrens ist, daß jede neue Charge beimpft werden muß.

[0018] Einige Ausführungen des bekannten Verfahrens aus EP 0 934 998 B1 sehen zahlreiche aufwendige konstruktive Vorrichtungen vor (z. B. Stützkonstruktionen für die Kollektorfolie (**Fig. 8** in EP 0 934 998 B1), aufwendig gestaltete Perkolat-Sammelräume (**Fig. 9** in EP 0 934 998 B1) usw., die die Herstellungskosten des Gärbehälters ebenfalls erhöhen.

[0019] Die Ausführung des bekannten Verfahrens aus EP 0 934 998 B1 als „Tauchsack-Fermenter" gemäß **Fig. 10** in EP 0 934 998 B1 ist ebenfalls sehr aufwendig, da ein starrer Außenbehälter verwendet werden muß, in dem sich die Impflösung befindet, um die stückig gemachte Biomasse zu vergären.

[0020] Auch das in EP 0 934 998 B1 offenbarte Verfahren weist also den Nachteil hoher Kosten für die Herstellung des Gärbehälters auf und bedarf aufwendiger Maßnahmen, um die Biomasse vorzubereiten und die vergorene Rest-Biomasse zu handhaben und weiteren Nutzungsmöglichkeiten zuzuführen.

[0021] In der WO 92/18261 wird ein Verfahren offenbart, das mittels aufwendiger Flüssigkeits- und

Gas-Drainagesysteme die Vergärung aufgeschütteter Abfallstoffe beschreibt, wobei die aussickernden Flüssigkeiten aufgefangen und entsorgt werden müssen. Die gasdichte Flankenabdeckung wird mittels Ton-, Lehm- oder anderen geeigneten Aufschüttungen erreicht, die ggf. durch Einlagerung von Folienbahnen unterstützt wird, ohne daß die Folien gasdicht miteinander verbunden werden. Dieses Vorgehen stellt eine sehr aufwendige Herstellung des so erhaltenen „Meilers“ dar. Diese Vorrichtung kann auch nach Ausgärung der Biomasse nicht wiederverwendet werden, da eine Öffnung und Nachbeschickung nicht ohne Zerstörung des gesamten Aufbaus möglich ist; lediglich durch beim Aufbau vorgesehene Kanalisations- und Drainagesysteme kann in begrenztem Umfang eine Nachbefüllung realisiert werden.

[0022] Alle bekannten Verfahren nutzen entweder infolge der kurzen Aufenthaltszeiten der Biomasse in den Gärbehältern nur den leicht abbaubaren Anteil an der gesamten vorhandenen organischen Substanz, was die massenbezogene Ausbeute an zum Beispiel Biogas sehr stark reduziert, oder erlauben keine Mehrfachverwendung der Vorrichtung, sofern eine möglichst vollständige Vergärung angestrebt wird. Weiterhin ist die Herstellung des Gärbehälters bei allen bekannten Verfahren aufwendig und teuer, bzw. bei Einmalbehältern mit immer neuem Materialverbrauch verbunden.

Beschreibung

[0023] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die obengenannten Nachteile der bekannten Verfahren und Vorrichtungen wie insbesondere umfangreiche Vor- und Nachbehandlung der Biomasse, aufwendige Prozeßsteuerung, bzw. -Regelung, Entsorgung der vergorenen Biomasse, Ausnutzung nur der leicht abbaubaren Bestandteile, umfangreiche Abfallströme sowie die kostenaufwendige Herstellung des Gärbehälters zu vermeiden.

[0024] Diese Aufgabe wird bei einem Verfahren beziehungsweise einer Vorrichtung der eingangs genannten Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß der Gärbehälter nicht in Form eines starrwandigen Gefäßes ausgebildet wird, sondern in Form eines weitgehend flexiblen Beutels oder Ballons beliebiger Form und Größe, der mehrfach wiederbefüllt und verwendet werden kann, und das Verfahren nicht die Notwendigkeit beinhaltet, den Gärbehälter vor der Neubefüllung vollständig oder teilweise zu entleeren.

[0025] Infolge der vollständigen Vergärung werden nicht nur die Energiepotentiale der leicht abbaubaren Anteile genutzt, sondern auch diejenigen der schwer abbaubaren Anteile der Biomasse. Die massenbezogene Energieausbeute ist damit maximiert.

[0026] Durch die erfindungsgemäß unbegrenzt über die gesamte Lebensdauer des Gärbehälters hinweg mögliche Wiederbefüllung ohne vorherige Entleerung ausgegorenen Materials, ist das Verfahren bzw. die Vorrichtung mit geringstmöglichem Aufwand auf kleinstmöglicher Fläche und praktisch ohne Entsorgungsaufwand betreibbar. Die Entleerung des Gärbehälters von vergorenem Material ist nicht erforderlich, kann aber vorgenommen werden, ohne den Umfang der Erfindung oder ihrer Äquivalente zu verlassen.

[0027] Es ist insbesondere erfindungsgemäß, das entstehende Biogas ständig abzusaugen, so daß zu keinem Zeitpunkt größere Mengen Biogas im Gärbehälter enthalten sind. Dadurch wird das Explosionsrisiko minimiert. Der Aufbau eines Überdruckes im Gärbehälter ist nicht erforderlich, kann aber vorgesehen werden, ohne den Umfang der Erfindung oder ihrer Äquivalente zu verlassen. Ebenfalls erfindungsgemäß ist die isobare Durchführung des Verfahrens gegenüber dem Umgebungsluftdruck, oder die sicherheitstechnisch empfehlenswerte Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens durch kontinuierliches Aufrechterhalten eines geeignet großen Unterdruckes im Gärbehälter.

[0028] An einer geeigneten Stelle des flexiblen Gärbehälters, vorzugsweise an der Oberseite, befindet sich eine zumindest teilweise gasdicht wiederverschließbare Öffnung, durch die der Gärbehälter mit Biomasse befüllt werden kann. An anderer oder an gleicher Stelle, ggf. integriert in den als starrer Deckel ausgeführten Verschuß des Gärbeutels, ist zumindest teilweise gasdicht ein Stutzen angebracht, durch den das gebildete Produkt, insbesondere Biogas, abgeführt werden kann.

[0029] Jegliche Verschußtechnik, die die zumindest teilweise Gasdichtigkeit des Verschlusses gewährleistet, ist erfindungsgemäß, insbesondere Verschraubung, Verklemmung (zum Beispiel mittels Schnellspannvorrichtung, oder als Seeger-Verschuß ausgebildet) und Einpressung des Deckels in den Deckelsitz. Auch die Ausführung der Abdichtung entlang des Deckelrandes nach Art eines Siphons ist erfindungsgemäß, zum Beispiel indem der Deckelrand in eine flüssigkeitsgefüllte Rinne eintaucht.

[0030] Anstelle eines starrwandigen Verschlusses kann ein geeigneter Bereich der Gärbeutelwandung mit Hilfe eines zumindest teilweise gasdichten Reißverschlusses oder Klettverschlusses als wiederverschließbare Einfüllöffnung ausgebildet sein. Eine weitere erfindungsgemäße Ausführungsform des Verschlusses der Einfüllöffnung sieht vor, daß als Deckel ein entsprechend dimensioniertes Stück Wandmaterial nach der Befüllung aufgeklebt bzw. aufgeschweißt wird, und so den Gärraum geeignet (zumindest teilweise gasdicht) verschließt. Die Abdichtung

des Verschlusses mittels Magnetkraft ist ebenfalls erfindungsgemäß.

[0031] In einer weiteren erfindungsgemäßen Ausbildung kann der Gärbeutel zur geometrischen Stabilisierung mit einem Innen- oder Außenskelett aus Metall, Holz, Kunststoff, Stein, Keramik oder Mauerwerk versehen werden, um zumindest Teilbereiche des Gärbeutels formstabil zu halten.

[0032] Es ist ebenfalls erfindungsgemäß, den Gärbeutel mehrschichtig bzw. doppelwandig auszuführen. Die Schichtzwischenräume bzw. das Innere der Doppelwandung können erfindungsgemäß mit einem geeigneten Fluid, insbesondere Gas oder Gasgemisch unter Druck befüllt werden, wodurch ebenfalls eine gewisse Formstabilität erreicht werden kann.

[0033] Die Herstellung des Gärbeutels kann in vielfältiger Art und Weise erfolgen, insbesondere durch Zusammenkleben oder Zusammenschweißen aus geeignet zurechtgeschnittenen Folienstücken beziehungsweise Wandelementen. Es ist ebenfalls erfindungsgemäß möglich, den Gärbeutel mittels beliebiger bekannter Ab-, Umform- sowie Blas- und Gieß-Verfahren aus geeigneter Rohmasse in einem Stück zu fertigen.

[0034] Die in bekannten Anlagen bzw. bei bekannten Verfahren erforderlichen umfangreichen Maßnahmen zur Schaffung geeigneter Wachstumsbedingungen werden im erfindungsgemäßen Verfahren vermieden, indem möglichst wenige Eingriffe vorgenommen werden, so daß sich die Mikroorganismen selbst ihr eigenes Wachstumsmilieu schaffen und erhalten. An jeder Stelle im Gärbehälter entsteht somit das jeweils optimale Mikroklima für den Abbau der dort befindlichen Biomasse. Die Ausbildung dieser Mikroklimata kann erfindungsgemäß auch durch Beimpfung mit mehreren verschiedenen Impfmaterialien begünstigt werden.

[0035] Die Gärbeutelwandung wird vorteilhafterweise einschichtig bzw. einlagig ausgeführt, um die Herstellungskosten niedrig zu halten. Es ist jedoch ohne weiteres möglich, die Wandung mehrlagig/mehrschichtig mit oder ohne Hohlräumen zwischen den einzelnen Lagen bzw. Schichten auszuführen, ohne dadurch den Umfang dieser Erfindung oder ihrer Äquivalente zu verlassen. Eine mehrlagige bzw. mehrwandige Ausführung kann zum Beispiel zum Zwecke der Wärmeisolation wünschenswert sein.

[0036] Der Dimensionierung der Vorrichtung sind keinerlei Grenzen gesetzt: Sie kann wenige Quadratmeter oder gar nur Bruchteile eines Quadratmeters umfassen und damit die Verarbeitung im Kilogrammmaßstab (eingesetzte Biomasse) erlauben, als auch viele tausend Quadratmeter groß ausgeführt werden und somit die Verarbeitung von Biomasse im Multi-Ki-

lotonnen-Maßstab erlauben.

[0037] Wesentliche Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind der äußerst geringe Abwasseranfall (bei optimaler Prozeßführung fällt keinerlei Abwasser an) und der extrem geringe Prozeßenergie-Bedarf (bei optimaler Prozeßführung bedarf es – abgesehen von der Befüllung und dem Entfernen des gebildeten Produktes – keinerlei künstlicher Zufuhr von Prozeßenergie). Nicht nur die Handhabung der Biomasse während der Vergärung kann unterbleiben, auch auf die Entfernung der ausgegorenen Biomasse aus dem Gärbehälter kann über einen längeren (z. B. jahrzehntelangen) Zeitraum hinweg verzichtet werden. Es ist möglich und erfindungsgemäß, über den gesamten Verwendungszeitraum des Gärbehälters hinweg, keinerlei Entleerung des Gärbehälters vorzunehmen.

[0038] Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Gärbehälters (Gärbeutels, Gärballons) ist es, daß er bei der Herstellung örtlichen Gegebenheiten angepaßt werden kann, zum Beispiel durch Einbau in bereits bestehende Räumlichkeiten, die Ausnutzung verwinklelter „toter Räume“, die ansonsten nicht genutzt werden können, usw.

[0039] Aus dem erfindungsgemäßen Verbleib sämtlicher nach der Vergärung übriggebliebener Reststoffe im Gärbehälter ergibt sich als weiterer wesentlicher Vorteil des Verfahrens, daß es ein sehr hygienisches Verfahren ist: Bei den bekannten Verfahren besteht aufgrund der Handhabung der vergorenen Biomasse immer die Gefahr der Kontamination damit beschäftigter Personen. Diese Gefahr besteht bei dem erfindungsgemäßen Verfahren nicht, da die einmal eingebrachte Biomasse nicht mehr aus dem Gärbehälter entfernt werden muß.

[0040] Die Verwendung des erfindungsgemäßen Gärbehälters für die Durchführung eines bekannten Verfahrens fällt ebenfalls in den Umfang dieser Erfindung.

[0041] Insbesondere bedarf es für das erfindungsgemäße Verfahren keinerlei Vorbehandlung der zu vergärenden Biomasse. Das Verfahren ist einfach, kostengünstig, beliebig skalierbar, wartungsarm und in hohem Maße dezentralisierbar.

[0042] Ein weiterer wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist der geringe Platzbedarf der erfindungsgemäßen Anlage, der aus der erfindungsgemäßen Vergärung bis zur weitgehend vollständigen Mineralisation und der anschließenden Wiederverwendbarkeit der Vorrichtung folgt.

[0043] Wesentliche kostenreduzierende Punkte der erfindungsgemäßen Vorrichtung bzw. ihrer Ausfüh-

rungsformen sind die vorzugsweise einwandige Ausführung der flexiblen Behälterwandung, der Verzicht auf aufwendige Misch-Prozeduren sowie Zugaben von Nähr- oder Hilfsstoffen für das Mikroorganismenwachstum und wiederholte Beimpfungen, wobei die mehrwandige Ausführung der Behälterwandung, die Durchführung von Mischprozeduren und Zugaben von Nähr- oder Hilfsstoffen für das Mikroorganismenwachstum sowie mehrmalige Beimpfungen möglich sind, ohne den Umfang der Erfindung oder ihrer Äquivalente zu verlassen.

[0044] Ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, daß nur die erste in den Gärbehälter einzubringende Charge beimpft werden muß. Dennoch ist es möglich, jede neue Charge zu beimpfen, ohne den Umfang der Erfindung oder ihrer Äquivalente zu verlassen.

[0045] Darüber hinaus ist es ein weiterer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens, daß es nicht erforderlich ist, das Perkolat kontinuierlich oder in regelmäßigen Abständen umzupumpen. Sollte es dennoch gewünscht sein, das Perkolat umzupumpen, was möglich ist, ohne den Umfang der Erfindung oder ihrer Äquivalente zu verlassen, so kann das beliebig sporadisch erfolgen, oder in regelmäßigen Abständen, oder kontinuierlich.

[0046] Ein weiterer besonderer Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens beziehungsweise der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist, daß verschiedenartige Substrate sowohl gemischt als auch getrennt verarbeitet werden können. In einer erfindungsgemäßen Ausführungsform des Verfahrens kann zum Beispiel in einem Gärbehälter ausschließlich Grasschnitt vergoren werden, was zu einem Biogas mit besonders hohem Methananteil führt. In einer anderen erfindungsgemäßen Ausführungsform können zum Beispiel ein oder mehrere sehr gut für die Vergärung geeignete Substrate mit einem oder mehreren schlecht geeigneten Substraten gemischt werden, um letztere der Vergärung zuzuführen, die ohne die Beimengung ersterer nicht oder nicht effektiv erfolgen würde.

[0047] Die in einigen Ausführungsformen bekannter Verfahren (zum Beispiel auf Basis von Abroll-Containern) vorgesehenen aufwendigen Pufferbehälter für Perkolatflüssigkeit sind in der erfindungsgemäßen Vorrichtung nicht erforderlich. Als Perkolat-Sammelräume dienen lediglich in den Gärbehälter eingelegte Drainage-Schläuche oder -Rohre bekannter Bauart, in denen die Perkolat-Ansaugleitung mündet.

[0048] Das erfindungsgemäße Verfahren läßt sich in einer bevorzugten Ausführungsform wie folgt beschreiben. Die für die Vergärung vorgesehene Biomasse wird durch die Öffnung in den flexibelwandigen Gärbehälter eingebracht. Bei der erstmaligen,

oder auch jeder weiteren chargenweisen Befüllung, kann die Biomasse – sofern sie nicht bereits entsprechende Bestandteile enthält oder zuvor mit geeigneten Mikroorganismen angeimpft wurde – mit einer ausreichenden Menge Impfmateriale versetzt werden. Als Impfmateriale kann jegliches biologisches Material verwendet werden, das geeignete methanogene Mikroorganismen enthält. Als Impfmateriale können zum Beispiel Fäkalien, insbesondere Kuhdung, Kläranlagen-Ablauf oder Material aus anderen Gärbehältern verwendet werden. Auch der Einsatz angezüchteter Impfkulturen sowie die gleichzeitige Verwendung mehrerer Impfmateriale ist erfindungsgemäß. Insbesondere ist es auch erfindungsgemäß, Schlamm vom Grunde fauliger Gewässer oder andere Impfmateriale zu verwenden, die psychrophile methanogene Bakterien enthalten.

[0049] Nachdem die Biomasse eingefüllt ist, wird der Gärbehälter zumindest teilweise gasdicht verschlossen und sich selbst überlassen. Die in dem Material befindlichen Mikroorganismen schaffen sich selbst das für sie geeignete Mikroklima, so daß bereits nach wenigen Wochen, günstigenfalls bereits nach wenigen Tagen die Biogasbildung einsetzt. Vorteilhafterweise kann man den befüllten Gärbehälter auch nach der Beschickung evakuieren, um den in der Luft enthaltenen Stickstoff aus dem Gärraum zu entfernen, wodurch man von Anfang an ein sehr reines Biogas erhält. Alternativ kann man die ersten Gasfraktionen verwerfen, bis der im Gärbehälter verbliebene Stickstoff verdrängt ist.

[0050] Natürlich ist es möglich, den Gärbehälter jederzeit mit weiterer Biomasse zu beschicken. Dazu muß lediglich eventuell angesammeltes Produkt (Biogas) abgepumpt werden, damit man den Behälter gefahrlos öffnen kann. Nach Zugabe weiterer Biomasse wird der Gärbehälter erneut verschlossen und wieder sich selbst überlassen. Aus der im Gärbehälter bereits vorhandenen Biomasse dringen die Mikroorganismen in die frische Füllung vor und sorgen für eine weitgehende Methanisierung des Materials. Um diese natürliche Besiedelung des frisch eingebrachten Materials mit der gewünschten Mikroflora und -fauna zu begünstigen, kann es vorgesehen sein, das am Boden des Gärbeutels angesammelte Sickerwasser im Gärbehälter umzupumpen und dadurch das frische Material schnellstmöglich zu impfen. Natürlich ist es auch möglich und erfindungsgemäß, das anfallende Sickerwasser geeignet zu analysieren und gegebenenfalls zu konditionieren, um die Lebensbedingungen der Mikroorganismen zu optimieren. Dieser und anderer Steuer- und Regelungsaufwand ist nicht zwangsläufig erforderlich, stellt jedoch eine weitere erfindungsgemäße Ausgestaltung des Verfahrens dar. Weiterhin ist es erfindungsgemäß, den Gärbeutel mit einer wärmeisolierenden Außenhülle zu umgeben und/oder eine geeignete Heizvorrichtung zu implementieren. Es ist auch erfindungs-

gemäß, daß der Gärbeutel allein durch Umgebungswärme und Sonneneinstrahlung temperiert wird.

[0051] Den optimalen Nutzen erreicht die erfindungsgemäße Vorrichtung, bzw. das erfindungsgemäße Verfahren dadurch, daß – abgesehen von der Befüllung des Gärbeutels und der Entnahme des Produktes keinerlei Prozeßsteuerungen/Wartungen vorgenommen werden müssen. Die Gewinnung des Produktes erfolgt also ohne jeglichen Steuer- oder Regelungs- sowie Überwachungsaufwand. Insbesondere auf die Entnahme vergorenen Materials kann erfindungsgemäß weitestgehend verzichtet werden, da das Material vollständig mineralisiert wird. Durch den sehr starken Schrumpfungsprozeß der Biomasse, dem sich die Hülle des Gärbehälters anpaßt, wird ständig wieder Platz im Inneren des Gärbehälters frei, um neues Material aufzunehmen, so daß der erfindungsgemäße Gärbehälter über die gesamte – bei entsprechender Ausführung Jahrzehnte währenden – Betriebsdauer nie entleert oder gereinigt werden muß. Es ist klar ersichtlich, daß mit diesem erfindungsgemäßen Verfahren, beliebige saisonal oder kontinuierlich anfallende Biomasse, insbesondere Grasschnitt, Heckenschnitt, Herbstlaub, Gartenabfall usw. ohne jegliche Vorbehandlung sicher und effektiv verarbeitet werden kann. Es ist auch erfindungsgemäß, mehrere Gärbehälter gemeinsam zu betreiben. Der Betrieb mehrerer Gärbehälter kann erfindungsgemäß sowohl parallel als auch zeitlich gestaffelt erfolgen.

[0052] Von besonderem Vorteil bei dem erfindungsgemäßen Verfahren, bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung ist es, daß sich zu jedem Zeitpunkt nur sehr wenig Biogas im Gärbehälter befindet, da sich das Behältervolumen dem Befüllungsgrad anpaßt. Dies erhöht die Anlagensicherheit und reduziert das Explosionsrisiko im Falle einer Leckage.

[0053] Der Produktaustrag kann in bekannter Weise erfolgen, und zwar sowohl kontinuierlich als auch diskontinuierlich, sensorgesteuert oder manuell, sowohl bei gasförmigen als auch bei flüssigen Produkten.

[0054] Selbstverständlich kann die Anlage erfindungsgemäß auch mit einer oder mehreren geeigneten baugleichen oder bauverschiedenen Beschickungseinrichtungen, z. B. Förderschnecke, Schleuse, Förderband oder dergleichen versehen werden.

[0055] Es versteht sich von selbst, daß die Verwendung der Vorrichtung beziehungsweise die Durchführung des Verfahrens für einen anderen Vergärungsprozeß als die Biogasgewinnung, sowie auch für aerobe Fermentationsverfahren, ebenfalls in den Umfang der Erfindung sowie ihrer Äquivalente fällt. Dazu gehört insbesondere auch die Herstellung von unter den Verfahrensbedingungen flüssigen Produkten beziehungsweise Produktlösungen oder Produkt-Sus-

pensionen. Es sind daher auch Ausführungsformen erfindungsgemäß, die die Entnahme von flüssigen Produkten, Produktlösungen oder Produkt-Suspensionen beinhalten, insbesondere ist es auch erfindungsgemäß, das anfallende Perkolat durch Extraktion oder andere geeignete Prozesse auf gewünschte Produkte hin aufzubereiten, wobei das Perkolat sowohl im Kreislauf geführt werden als auch anschließend entsorgt oder anderen Verwendungszwecken zugeführt werden kann.

[0056] Die wesentlichen vorteilhaften Details der Erfindung werden anhand der nachfolgenden Zeichnungen näher beschrieben, welche ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung wiedergeben, ohne dabei in irgendeiner Weise den Schutzbereich der angeschlossenen Patentansprüche zu beschränken.

[0057] Es wird noch darauf hingewiesen, daß die Zeichnungen lediglich schematische Beschreibungen eines Ausführungsbeispiels zeigen und keine Maßstabszeichnungen darstellen. So stellen sie insbesondere keinerlei Beschränkungen hinsichtlich der für den Aufbau des Gärbeutels verwendeten Füge-techniken oder Materialien dar. Sie sind nur beispielhaft vorgestellt. Es sind beliebige weitere Füge- bzw. Fertigungstechniken denkbar und erfindungsgemäß, sofern sie die zumindest teilweise Gas- und/oder Flüssigkeitsdichtigkeit gewährleisten. Dies gilt insbesondere auch für die Art und Weise des Deckelverschlusses während des Gärbetriebs. Dieser Verschuß muß erfindungsgemäß zumindest teilweise gas-/flüssigkeitsdicht sowie wiederverwendbar sein, wobei auch kostengünstige nur einmal verwendbare geklebte/geschweißte Verschlüsse im Sinne der Erfindung wiederverwendbar sind. Auch hinsichtlich der verwendeten Materialien werden keine Einschränkungen gemacht; jegliches ausreichend gasdichte, langzeitstabile und hinreichend flexible Material kann erfindungsgemäß für den Bau der Vorrichtung verwendet werden, ohne den Umfang der Erfindung zu verlassen.

Bezugszeichenliste

1	Gärbehälter
2	Bodenfolie
3	Deckelfolie
4	Wandfolie
5	Deckel
6	Produktausführung
7	Absperrventil
8a	Biomasse (frisch)
8b	Biomasse (zumindest teilweise vergoren)

[0058] **Fig. 1** zeigt schematisch eine perspektivische Darstellung einer zylinderförmigen Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

[0059] **Fig. 2** zeigt eine schematische Darstellung eines senkrechten Querschnitts durch eine zylinderförmige Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung in frisch gefülltem Zustand.

[0060] **Fig. 3** zeigt eine schematische Darstellung eines senkrechten Querschnitts durch eine zylinderförmige Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung nachdem die eingefüllte Biomasse auf geringes Volumen zusammengesunken ist.

[0061] **Fig. 1** zeigt eine zylinderförmige Ausführungsform, bei der der Gärbeutel **1** durch Verschweißen, Verkleben, Verklemmen oder irgendeiner anderen geeigneten Fügeart aus einer kreisförmigen Bodenfolie **2**, einer ebenfalls kreisförmigen Deckelfolie **3** sowie einer rechteckigen Wandfolie **4** gebildet wird. Die Fügung der Einzelteile ist derart ausgeführt, daß der dadurch gebildete Gärbeutel zumindest teilweise gasdicht ist. In der Deckelfolie befindet sich eine wiederverschließbare Öffnung von ausreichender Größe, um den Gärbeutel zu befüllen. Diese Öffnung kann mittels Deckel **5** zumindest teilweise gasdicht verschlossen werden. Von Deckel **5** aus führt eine Gasableitung **6** zu einer im übrigen nicht gezeigten Produktsammeleinrichtung. Die Produktableitung und damit der Gärbeutel kann durch Ventil **7** verschlossen werden. Die Betätigung des Ventils kann sowohl manuell als auch elektrisch, ggf. elektronisch gesteuert, erfolgen, was in den Abbildungen um der Übersichtlichkeit willen nicht gezeigt ist. Der Deckel **5** wird in der gezeigten Ausführungsform durch Verschrauben zumindest teilweise gasdicht an der Deckelfolie **3** befestigt, was in **Abb. 1** durch die Punktierung entlang des Deckelrandes angedeutet ist. Zur Befestigung des Deckels an der Deckelfolie ist jede beliebige Befestigungsart geeignet und erfindungsgemäß, die es gestattet, den Deckel zumindest teilweise gasdicht oder zumindest teilweise flüssigkeitsdicht zu befestigen.

[0062] **Fig. 2** gibt in schematischer Weise einen senkrechten Querschnitt durch einen frisch befüllten Gärbeutel wieder. Man erkennt deutlich die voluminöse, mehr oder weniger lockere (ggf. vorverdichtete) Aufschüttung der frisch eingefüllten Biomasse **8a**, die den zylindrischen Gärbeutel weitgehend ausfüllt.

[0063] **Fig. 3** gibt in schematischer Weise einen senkrechten Querschnitt durch einen Gärbeutel mit teilweise vergorener Biomasse **8b** wieder. Man erkennt deutlich, daß die Biomasse **8b** gegenüber der frischen Befüllung **8a** (**Fig. 2**) sehr stark verdichtet ist, und sich der Gärbeutel durch Zusammensacken dem Inhalt zumindest teilweise angepaßt hat. In dieser Situation ist es möglich und erfindungsgemäß, das aktuell im Gärbeutel befindliche Produkt (z. B. Biogas) abzusaugen, den Beutel zu öffnen, und frische Biomasse nachzufüllen, ohne zuvor die bereits teilweise vergorene alte Biomasse aus dem Gärbeutel entfer-

nen zu müssen.

[0064] Die Beurteilung der erfindungsgemäßen Flexibilität, bzw. der erfindungsgemäßen „nicht Starrwandigkeit“ erfolgt an Prüfstücken, die dieselbe Dicke aufweisen, wie die zur Anwendung beabsichtigte Materialstärke beträgt. Die Länge des zu verwendenden Prüfstückes beträgt das fünfzigfache der Breite, und die Breite das zehnfache der zur Anwendung beabsichtigten Materialstärke.

[0065] Zur Prüfung wird das Probestück des zu beurteilenden Materials waagrecht gelagert, wobei es nur an zwei Punkten unterstützt wird, die sich im Abstand von je 1/30 der Länge des Prüfstücks von den Endpunkten befinden. Als Maß für die Flexibilität dient der Grad der Durchbiegung. Als „nicht starrwandig“ bzw. „flexibel“ im Sinne der Erfindung gelten Materialien, deren derart unter Einwirkung des irdischen Schwerefeldes nach einstündiger Lagerung bei einer Temperatur von 20°C und einem Absolutdruck von 1013 hPa auf Meeresspiegel-Niveau ermittelte Durchbiegung mindestens der Dicke des Prüflings entspricht.

[0066] Gleichwertig zur Beurteilung der Flexibilität nach vorstehend beschriebener Methode sind Ergebnisse, die in geeigneten Vorrichtungen unter Bedingungen gewonnen wurden, die den vorstehend beschriebenen entsprechen.

[0067] Es ist ohne weiteres einsichtig, daß das erfindungsgemäße Verfahren auch mit Hilfe aller bekannten Gärbehältertypen durchgeführt werden kann, ohne dabei den Umfang der Erfindung zu verlassen.

[0068] Es ist selbstverständlich, daß sämtliche Maßnahmen zur Optimierung des Gärprozesses, die an bekannten Vorrichtungen bzw. im Rahmen bekannter Verfahren angewendet werden, mit der vorliegenden Vorrichtung ebenfalls vorgenommen werden können, ohne den Umfang der Erfindung zu verlassen. Das betrifft insbesondere Vorrichtungen zum Wärmen, Kühlen und Umwälzen von Gärsubstrat, Perkolat oder Produkt sowie Vorrichtungen zur Zugabe von Nährstoffen für die Mikroorganismen. Auch die teilweise oder vollständige Entfernung von vollständig oder teilweise ausgegorener Biomasse stellt eine, wenn auch weniger optimale, Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dar und fällt damit in den Umfang der Erfindung.

[0069] Die vorbeschriebenen Merkmale und Maßnahmen des Verfahrens bzw. der Vorrichtung können dabei teils einzeln, teils in Kombination miteinander Verwendung finden, und es sei erwähnt, daß alle in der Beschreibung, den Ansprüchen und den Zeichnungen dargestellten Merkmale und Konstruktionsdetails sowohl einzeln als auch in beliebiger Kombination miteinander wesentliche Bedeutung haben.

[0070] Die gegenständliche Erfindung wird in keiner Weise auf die vorangegangenen Beschreibungen und Ausführungen beschränkt; im Gegenteil, es sind viele andere Ausführungsvarianten und Verfahrensweisen möglich, welche die kennzeichnenden Merkmale der Erfindung aufweisen und durch die Patentsprüche abgedeckt werden.

[0071] Weitere Änderungen und Ergänzungen der beschriebenen Ausführungsformen, zu welchen der Fachmann aufgrund des Studiums der obigen Beschreibung und ohne erfinderisches Zutun angeregt wird, fallen ebenfalls in den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung.

ZITATE ENHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- EP 0974643 B1 [[0005](#)]
- EP 0158213 A2 [[0008](#)]
- EP 0036065 A2 [[0009](#)]
- EP 1488855 A1 [[0010](#)]
- EP 1301583 B1 [[0011](#)]
- DE 10050425 A [[0012](#)]
- EP 0934998 B1 [[0013](#), [0015](#), [0017](#), [0018](#), [0018](#), [0018](#), [0019](#), [0019](#), [0020](#)]
- WO 92/18261 [[0021](#)]

Patentansprüche

1. Verfahren zur Verarbeitung, insbesondere Vergärung, von schütffähiger, stückigmachbarer, stapelbarer oder fließfähiger Biomasse, **dadurch gekennzeichnet**, daß die zu vergärende Biomasse in einem mehrfach verwendbaren, zumindest teilweise gasdichten Gärbehälter bis zur vollständigen oder zumindest weitgehend vollständigen Mineralisation vergoren wird, wobei die in den Gärbehälter einzubringende Biomasse abgesehen von einer eventuellen einmaligen Beimpfung nicht vorbehandelt werden muß, und kein Austrag teilvergorener Biomasse aus dem Gärbehälter erfolgt, so daß keine nachzubehandelnde oder zu entsorgende teilvergorene Biomasse anfällt, und die Verwendung der Gärungsprodukte beliebig ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß darauf verzichtet wird, noch in Gärung befindliche oder ausgegorene Biomasse aus dem Gärbehälter zu entfernen, bevor neue Biomasse nachgefüllt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Biomasse nach vollständiger oder teilweiser Vergärung zumindest teilweise aus dem Gärbehälter entfernt wird, bevor neue Biomasse eingefüllt wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Biomasse nicht vollständig vergoren wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Biomasse Gräschnitt, Strauchschnitt, Baumschnitt, Laub, Straßenbegleitgrün oder beliebige andere Abfälle bzw. Reststoffe aus der Landschaftspflege, öffentlichen oder privaten Garten- oder Parkanlagen einzeln oder in beliebiger Kombination verwendet werden.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Biomasse biologisch abbaubare Reststoffe (zum Beispiel Kläranlagenschlämme, Rückstände von Gärungsprozessen, sonstige Schlämme oder Suspensionen) beliebiger industrieller Produktionsprozesse oder sonstiger wirtschaftlicher Tätigkeiten, auch aus dem kommunalen Bereich, Abfallstoffe aus der Papierindustrie oder Altpapier bzw. -pappe einzeln oder in beliebiger Kombination verwendet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß als Biomasse Teile von Pflanzen beziehungsweise Organismen, oder vollständige Pflanzen beziehungsweise Organismen einzeln oder in beliebiger Kombination verwendet werden, bei denen es sich nicht um Abfall- bzw. Reststoffe handelt, die also explizit zum Zwecke der Ener-

gie- oder Rohstoffgewinnung angebaut bzw. gezüchtet wurden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß eine Vorbehandlung der Biomasse, wie zum Beispiel Zusatz von Wasser, Hygienisierung, Homogenisierung, Mahlung, Entwässerung usw. vorgenommen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß keinerlei Vorbehandlung der Biomasse, auch keine Impfung vorgenommen wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Biomasse zur Einleitung der Vergärung in geeigneter Weise mindestens einmal vor, während oder nach der Befüllung mit geeignetem Impfmateriale beimpft wird.

11. Verfahren nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere verschiedene Impfmateriale verwendet werden, insbesondere derart verschiedene, daß durch die Beimpfung sowohl thermophile als auch mesophile als auch psychrophile Mikroorganismen in einer der Kombinationen

- a. thermophil + mesophil oder
 - b. thermophil + psychrophil oder
 - c. psychrophil + mesophil oder
 - d. thermophil + mesophil + psychrophil
- eingebraucht werden.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Beimpfung der Biomasse mit den mindestens zwei unterschiedlichen Impfmateriale derart erfolgt, daß sich die Impfmateriale nach Befüllung des Gärbehälters an solchen Positionen im Gärbehälter befinden, an denen die für die betreffenden Mikroorganismen geeigneten Bedingungen herrschen bzw. im Verlaufe der Vergärung herrschen werden.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein fließfähiges Impfmateriale verwendet wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein nicht-fließfähiges Impfmateriale verwendet wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß die zu vergärende Biomasse vor, während oder nach Einbringen in den Gärbehälter mit Zusatzstoffen versetzt wird, die die Vergärung der Biomasse günstig beeinflussen, insbesondere mit Nährstoffen und/oder Cofermenten für die an der Fermentation beteiligten Mikroorganismen, Puffersubstanzen, die der pH-Wert-Regulierung dienen oder Wasser zur Einstellung eines gewünschten Feststoffgehaltes.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Beimpfung der Chargen außer der ersten zumindest teilweise mittels anlageneigenem Perkolat, oder anlageneigenem bereits in Vergärung befindlichem Material, oder mit anlageeigenem ausgegorenen Material erfolgt.

17. Verfahren nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, daß die Beimpfung der einzelnen Chargen nach Befüllung durch Behälter-interne Umwälzung von Gärsubstrat oder Perkolat erfolgt.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß die Beimpfung der Chargen grundsätzlich oder teilweise nicht mit anlageneigenem Perkolat, oder anlageneigenem bereits in Vergärung befindlichem Material, oder mit anlageeigenem ausgegorenen Material erfolgt.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 18, dadurch gekennzeichnet, daß fluide Produkte, insbesondere Biogas, möglichst kontinuierlich, bzw. in geeignet kurzen Abständen aus dem Gärbehälter entfernt werden, so daß zu keinem Zeitpunkt größere Produktmengen im Gärbehälter vorhanden sind.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter mehrfach chargenweise befüllt wird, wobei weitere Chargen hinzugefügt werden können, bevor bereits enthaltene Chargen vollständig vergoren sind.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter kontinuierlich befüllt wird, wobei die kontinuierliche Befüllung in dem Maße erfolgt, wie die bereits im Gärbehälter befindliche Biomasse abgebaut wird, so daß trotz der kontinuierlichen Befüllung kein Austrag von Biomasse aus dem Gärbehälter stattfindet.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter nur einmal befüllt wird und keine Wiederverwendung erfolgt, der Gärbehälter also als einmalige Umhüllung der Biomasse ausgebildet ist.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 19, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter mehrfach chargenweise befüllt wird, wobei weitere Chargen erst dann hinzugefügt werden, nachdem bereits enthaltene Chargen vollständig oder zumindest weitgehend vollständig vergoren sind.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß die anfallenden Biomassen entweder so sortiert werden, daß nur für eine gemeinsame Vergärung geeignete Biomassen in einen gemeinsamen Gärbehälter gelangen, oder aber so gemischt werden, daß leicht vergärbare mit schwer vergärbaren Materialien gemeinsam in einen

Gärbehälter gelangen, wodurch letztere der Vergärung zugänglich gemacht werden.

25. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 23, dadurch gekennzeichnet, daß nur Biomassen gleicher Art oder gleicher Herkunft in einem gemeinsamen Gärbehälter vergoren werden.

26. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 25, dadurch gekennzeichnet, daß vor der chargenweisen Befüllung des Gärbehälters bereits gebildetes Produkt (insbesondere Biogas) abgesaugt wird.

27. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß nach der chargenweisen Befüllung mit Biomasse die dabei eingedrungene Luft aus dem Gärbehälter entfernt wird, um schnellstmöglich anaerobe Verhältnisse zu schaffen, wobei die Entfernung der Luft durch Abpumpen oder Verdrängung durch andere Gase bzw. Gasmischungen erfolgen kann.

28. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 26, dadurch gekennzeichnet, daß nach der chargenweisen Befüllung mit Biomasse eine aerobe Vorfermentierungsphase (Säurebildungsphase) erzeugt wird, indem die bei der Befüllung eingedrungene Luft im Gärbehälter belassen, oder sogar zusätzliche Luft oder Sauerstoff zugegeben wird.

29. Verfahren nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, daß die aerobe Vorfermentierungsphase (Säurebildungsphase) durch mehrmaliges, vorzugsweise drei- bis fünfmaliges Absaugen und erneutes Belüften, jeweils nach Verbrauch des Sauerstoffs, verlängert wird.

30. Verfahren nach einem der Ansprüche 28 oder 29, dadurch gekennzeichnet, daß die nach Abschluß der aeroben Vorfermentierung (Säurebildungsphase) im Gärbehälter verbliebene sauerstoffarme bzw. sauerstofffreie, hauptsächlich aus Stickstoff sowie variierenden Anteilen Produkt (insbesondere Biogas) bestehende Gasmischung abgezogen wird, bevor die Produktbildung verstärkt einsetzt, bzw. bevor mit dem Auffangen von Produkt (insbesondere Biogas) begonnen wird.

31. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 30, dadurch gekennzeichnet, daß die Biomasse vor Beginn der Vergärung mechanisch verdichtet wird.

32. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 31, dadurch gekennzeichnet, daß der Biomasse Wasser zugesetzt wird, um eine übermäßige Selbsterwärmung und ggf. Selbstentzündung zu unterbinden oder einen gewünschten Trockensubstanz-Anteil zu erreichen.

33. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis

32, dadurch gekennzeichnet, daß so viel Wasser zugesetzt wird, daß die Biomasse im Verlaufe der Vergärung aufgrund der durch den Abbau bedingten Verminderung des Biomasse-Volumens schließlich vollständig wasserbedeckt ist.

34. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 33, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter mit einer Drainagevorrichtung versehen ist, um anfallendes Perkolat aufzufangen.

35. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 34, dadurch gekennzeichnet, daß sich die Biomasse während der Vergärung in eine oder mehrere weitgehend flüssige Phasen und mindestens eine sehr feststoffreiche Phase trennt, und die angesammelte Flüssigkeit aus dem Gärbehälter entfernt wird, während die Feststoffanteile weitgehend oder zumindest teilweise im Gärbehälter verbleiben.

36. Verfahren nach vorstehendem Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, daß die Trennung des Substrats in Flüssigphase und Feststoffanteil dadurch erreicht wird, daß das in der Anlage bereits vorhandene Substrat als Filtermasse wirkt, durch die die flüssigen Anteile hindurchtreten und abgezogen werden, während die Feststoffanteile im Gärbehälter verbleiben.

37. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 36, dadurch gekennzeichnet, daß im Gärbehälter mittels geeigneter Vorrichtungen ständig ein geringer Unterdruck, oder aber gleicher Absolutdruck wie außerhalb des Gärbehälters, aufrechterhalten wird.

38. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß eventuell gewünschte Wartungs- oder Steuer- bzw. Regelarbeiten und/oder das Entfernen des gebildeten Produktes und/oder das Einbringen der Biomasse, manuell je nach Bedarf durchgeführt werden.

39. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 37, dadurch gekennzeichnet, daß eventuell gewünschten Wartungs- oder Steuer- bzw. Regelarbeiten und/oder das Entfernen des gebildeten Produktes und/oder das Einbringen der Biomasse, computer- oder mikroprozessorgesteuert automatisch unter Auswertung geeigneter Sensorsignale durchgeführt werden.

40. Verfahren, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei der kennzeichnenden Merkmale der vorangegangenen Ansprüche 1 bis 39 kombiniert werden.

41. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß bei der Verarbeitung der Biomasse Biogas gewonnen wird.

42. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 40, dadurch gekennzeichnet, daß das Verfahren nicht der Biogasgewinnung dient, sondern der Gewinnung mindestens eines anderen fluiden (gasförmigen oder flüssigen) Produktes, insbesondere der Gewinnung von Propionsäure, Butansäure oder anderen biotechnologisch herstellbaren Substanzen, wobei es insbesondere auch erfindungsgemäß ist, Produkte aus dem Perkolat zu extrahieren, und Lösungen von festen Substanzen in zum Beispiel Wasser sowie Suspensionen und Emulsionen ebenfalls als Flüssige Produkte verstanden werden, und der Fermentationsvorgang je nach Erfordernis anaerob oder aerob durchgeführt wird.

43. Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorstehenden Ansprüche 1 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß als Gärbehälter nicht ein Gärbehälter gemäß den Ansprüchen 44 bis 71 verwendet wird, sondern entweder ein beliebiger starrwandiger Gärbehälter bekannter Art, oder aber ein Behälter, der dem ursprünglichen Verwendungszweck gemäß nicht explizit als Gärbehälter konzipiert ist, sondern eigentlich anderen Zwecken dient, aber – gegebenenfalls nach erforderlichen Umbauten – als Gärbehälter für das erfindungsgemäße Verfahren dienen kann, wobei darunter insbesondere Behälter zu verstehen sind, die dem ursprünglichen Verwendungszweck nach

a) zum Auffangen, Sammeln oder Lagern von Flüssigkeiten, insbesondere Regenwasser, bestimmt sind, oder

b) zum Auffangen, Sammeln oder Lager von Abfall- oder Reststoffen bestimmt sind.

44. Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 42, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter in Form eines teilweise oder vollständig nicht starrwandigen, zumindest teilweise gasdichten, wiederverschließbaren und mehrfach verwendbaren Behältnisses beliebiger Form und Größe ausgebildet ist, wobei insbesondere mehr als 20% der Behälteroberfläche als flexible Wandung ausgebildet sind, und die für die Prozeßführung erforderlichen Zu- und/oder Ableitungen in geeigneter Form (z. B. durch Flanschverbindungen, Verschraubungen, Verguß, Schweißen, Kleben, Klemmen, Ausnutzung von Magnet- oder Adhäsionskräften oder dergleichen mehr) und an geeigneter Stelle mit der Gärbehälterwandung oder dem Gärbehälterverschluß zumindest teilweise gasdicht verbunden sind.

45. Vorrichtung nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß der Verschluß des Gärbehälters durch Verschrauben, Anflanschen, Verklemmen (zum Beispiel Seegerverschluß), Verkleben, Verschweißen, durch Fixierung unter Ausnutzung von Magnet- oder Adhäsionskräften, durch Reißverschluß- oder Klettverschluß-Technik, oder dergleichen mehr erreicht wird, wobei jedes der erfindungs-

gemäßen Verfahren sowohl mit oder ohne geeignete Dichtung, Dichtungsflüssigkeit oder Dichtungsmasse angewendet werden kann, und es sich bei dem Verschluss sowohl um ein separates vom Gärbehälter abtrennbares Verschluss-Element handeln kann, als auch um ein entsprechend dimensioniertes Teil der Behälterwandung, bzw. ein Stück Behälterwandmaterial.

46. Vorrichtung nach Anspruch 44, dadurch gekennzeichnet, daß das für die Wandung verwendete Material so flexibel ist, daß sich ein Probestück gleicher Materialstärke wie sie in der Anwendung beabsichtigt ist, mit einer um den Faktor 10 gegenüber der Dicke größeren Breite sowie ebenfalls einer um den Faktor 50 größeren Länge gegenüber der Breite bei einständiger horizontaler Lagerung bei einer Temperatur von 20°C und einem Absolutdruck von 1013 hPa auf Meereshöhe-Niveau oder unter vergleichbaren Bedingungen um mindestens so viel durchbiegt, wie der Materialstärke entspricht, wobei das Probestück lediglich an zwei jeweils so weit von den Enden entfernten Punkten aufliegt, wie der Breite des Probestückes entspricht und die Messung der Durchbiegung in der Mitte des Probestückes erfolgt.

47. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 45, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandung aus mehreren verschiedenen Materialien ausgeführt ist, wobei mindestens ein Material eine Flexibilität aufweist, die den kennzeichnenden Merkmalen gemäß Anspruch 46 entspricht.

48. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter aus Einzelteilen durch Verpressen/Klammern/Verschrauben, Verkleben oder Verschweißen zusammengesetzt ist.

49. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 47, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter nahtlos aus einem Teil nach beliebigen bekannten Herstellungsverfahren gefertigt ist.

50. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 49, dadurch gekennzeichnet, daß die Wandung des Gärbehälters mehrschichtig aufgebaut ist, wobei die Schichten ganzflächig miteinander verbunden sein können, oder sich zwischen ihnen ein gekammerter oder nicht-gekammerter Hohlraum befindet, der zumindest zeitweilig flüssigkeits- oder gasgefüllt sein kann.

51. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 50, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens eine zumindest teilweise gasdicht verschließbare Öffnung zur Befüllung oder Entleerung vorhanden ist, sowie mindestens eine Zuleitung für eventuelle Zusatzstoffe und/oder mindestens eine Ableitung für das gebildete Produkt, wobei der Austrag des üblicherweise

gasförmigen Produktes, insbesondere Biogases, in bekannter Weise erfolgen kann.

52. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 51, dadurch gekennzeichnet, daß nur eine Zu- bzw. Ableitung vorhanden ist, durch die abwechselnd oder gleichzeitig eventuelle Zusatzstoffe zugeführt und gebildetes Produkt abgeführt werden können.

53. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß die Gärgefäßwandung in gefülltem Zustand im wesentlichen in Form eines regelmäßigen geometrischen Körpers, z. B. als Quader, Würfel, Zylinder, Kugel, Kegel, Kegelstumpf, Kugelsegment, Pyramide, Pyramidenstumpf oder einer anderen Form, ausgebildet ist.

54. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 44 bis 52, dadurch gekennzeichnet, daß die Gärgefäßwandung in nicht regelmäßiger Form ausgebildet ist, wobei sie insbesondere derart ausgebildet und dimensioniert sein kann, daß sie eine vorgegebene Räumlichkeit in gefülltem Zustand möglichst vollständig ausfüllt.

55. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 54, dadurch gekennzeichnet, daß das Innere des Gärbehälters in mehrere Kammern aufgeteilt ist.

56. Vorrichtung nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter mehrere, mindestens jedoch zwei Einfüll- beziehungsweise Entleerungsöffnungen aufweist, wobei jede oder einige der Öffnungen jeweils mindestens einer der Kammern zugeordnet ist.

57. Vorrichtung nach Anspruch 55, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter mehrere, mindestens jedoch zwei Zu- beziehungsweise Ableitungen, beziehungsweise kombinierte Zu-/Ableitungen nach Anspruch 52 aufweist, durch die eventuelle Zusatzstoffe zu- beziehungsweise gebildetes Produkt abgeleitet werden können, wobei jede oder einige der Zu- beziehungsweise Ableitungen jeweils mindestens einer der Kammern zugeordnet sind.

58. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 57, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung mit einer oder mehreren geeigneten baugleichen oder bauverschiedenen Beschickungseinrichtungen, wie zum Beispiel Förderschnecke, Schleuse, Förderband oder dergleichen versehen ist.

59. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 58, dadurch gekennzeichnet, daß die Behälterwandung aus mindestens zwei verschiedenen Materialien aufgebaut ist.

60. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 59, dadurch gekennzeichnet, daß zur geometrischen Stabilisierung des Gärbehälters ein Innen- oder Außenskelett aus Holz, Metall, Metallegierung, Kunststoff, Verbundwerkstoff, Keramik oder Mauerwerk vorgesehen ist.

61. Vorrichtung nach vorangehendem Anspruch 60, dadurch gekennzeichnet, daß das Innen- oder Außenskelett aus mindestens zwei verschiedenen Werkstoffen aufgebaut ist.

62. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 61, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter zumindest teilweise mit einer Wärmeisolationsschicht versehen ist.

63. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 62, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter entweder

- a) mit mindestens einer Heizeinrichtung versehen ist, mit der er aktiv geheizt werden kann, oder
- b) mit mindestens einer Kühleinrichtung versehen ist, mit der er aktiv gekühlt werden kann, oder
- c) sowohl mit mindestens einer Kühleinrichtung als auch mit mindestens einer Heizeinrichtung, beziehungsweise mit mindestens einer kombinierten Heiz-/Kühleinrichtung versehen ist, so daß er sowohl aktiv geheizt als auch aktiv gekühlt werden kann.

64. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 63, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter durch direkte oder indirekte Sonneneinstrahlung beheizt wird, wobei die in den Randbereichen aufgenommene Wärmeenergie durch Wärmeleitung, Konvektion oder durch Umpumpen einer geeigneten Wärmeträgerflüssigkeit im Gärbehälter verteilt wird, wobei es sich bei der verwendeten Wärmeträgerflüssigkeit auch um Perkolat oder die Biomasse selbst handeln kann.

65. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter in zweischaliger Bauform derart ausgebildet ist, daß die Bodenfläche eine der Schalen bildet und eine halbkugelschalenförmige, glockenartige oder sonstwie sphärische Ausgestaltung des Deckels nach Aufschichten des Gärguts zumindest teilweise gas- oder flüssigkeitsdicht übergestülpt wird, wobei die Wandung bei dieser Ausführungsform nicht flexibel sein muß, sondern auch in starrer, statisch stabiler Form ausgebildet sein kann.

66. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß der Gärbehälter in einschaliger sphärischer Bauform derart ausgebildet ist, daß der Gärbehälter die Umwandlung und Abdeckung der Biomasse bildet, und auf die Ausbildung einer künstlichen geschlossenen Bodenfläche verzichtet wird, so daß die natürli-

che Abdichtungsfähigkeit der Aufstellfläche genutzt wird, wobei die Wandung bei dieser Ausführungsform nicht flexibel sein muß, sondern auch in starrer, statisch stabiler Form ausgebildet sein kann.

67. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 64, dadurch gekennzeichnet, daß zumindest teilweise darauf verzichtet wird, die Boden- und/oder Decken- und/oder Seitenwandung des Gärbehälters auszubilden, und stattdessen die natürliche Abdichtungsfähigkeit der Aufstellfläche und/oder einer anderen geeigneten Fläche genutzt wird, wobei die Vorrichtung derart an die geeignete Fläche angefügt wird, daß der vom Gärbehälter und der geeigneten Fläche umschlossene Raum zumindest teilweise gasdicht ist.

68. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 67, dadurch gekennzeichnet, daß der Füllgrad des Gärbehälters mit Produkt, insbesondere Biogas, durch geeignete Messung der Aus- oder Einwölbung der Gärgefäßwandung, beziehungsweise eines Teiles der Gärgefäßwandung, bestimmt wird.

69. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 68, dadurch gekennzeichnet, daß die Wölbung des Gärbehälters infolge Produktbildung, beziehungsweise der Druckaufbau im Gärbehälter, dazu verwendet wird, das Produkt aus dem Gärbehälter zu entfernen.

70. Vorrichtung, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens zwei der kennzeichnenden Merkmale der vorangegangenen Ansprüche 44 bis 69 miteinander kombiniert werden.

71. Gemeinsamer Betrieb von mindestens zwei Vorrichtungen nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 70, dadurch gekennzeichnet, daß die Befüllung jeweils gleichzeitig oder zeitversetzt erfolgt.

72. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 71 für die Vergärung von Biomasse nach herkömmlichem Stand der Technik, insbesondere nach bekannten Prinzipien der Durchfluß-, Batch- oder Rührkessel-Verfahren, unter Verwendung bekannter Steuerungs- und Regelparameter sowie bekannter Maßnahmen zur Förderung des Wachstums der Mikroorganismen und der Handhabung der Biomasse.

73. Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 72, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung der Gewinnung von Biogas dient.

74. Verwendung einer Vorrichtung nach einem der vorausgegangenen Ansprüche 44 bis 71 für die Vergärung von Biomasse, dadurch gekennzeichnet,

daß der Prozeß nicht der Biogasgewinnung dient, sondern der Gewinnung mindestens eines anderen fluiden (gasförmigen oder flüssigen) Produktes, insbesondere von Propionsäure, Butansäure oder anderen biotechnologisch herstellbaren Substanzen, wobei unter „flüssigem Produkt“ auch eine Lösung von festen Substanzen in zum Beispiel Wasser oder eine Suspension verstanden wird, und der Fermentationsvorgang je nach Erfordernis anaerob oder aerob durchgeführt wird.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1:

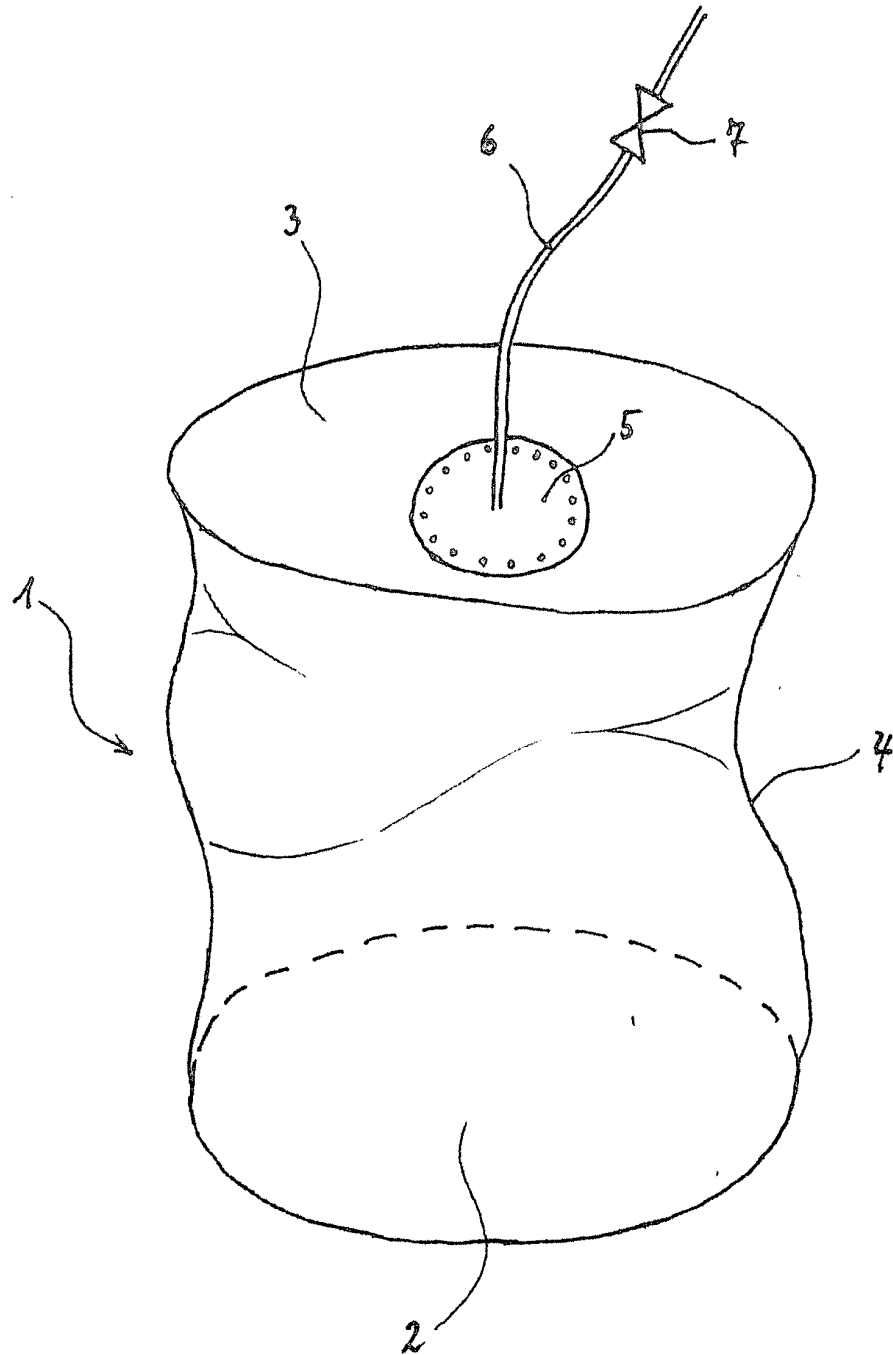


Fig. 2:

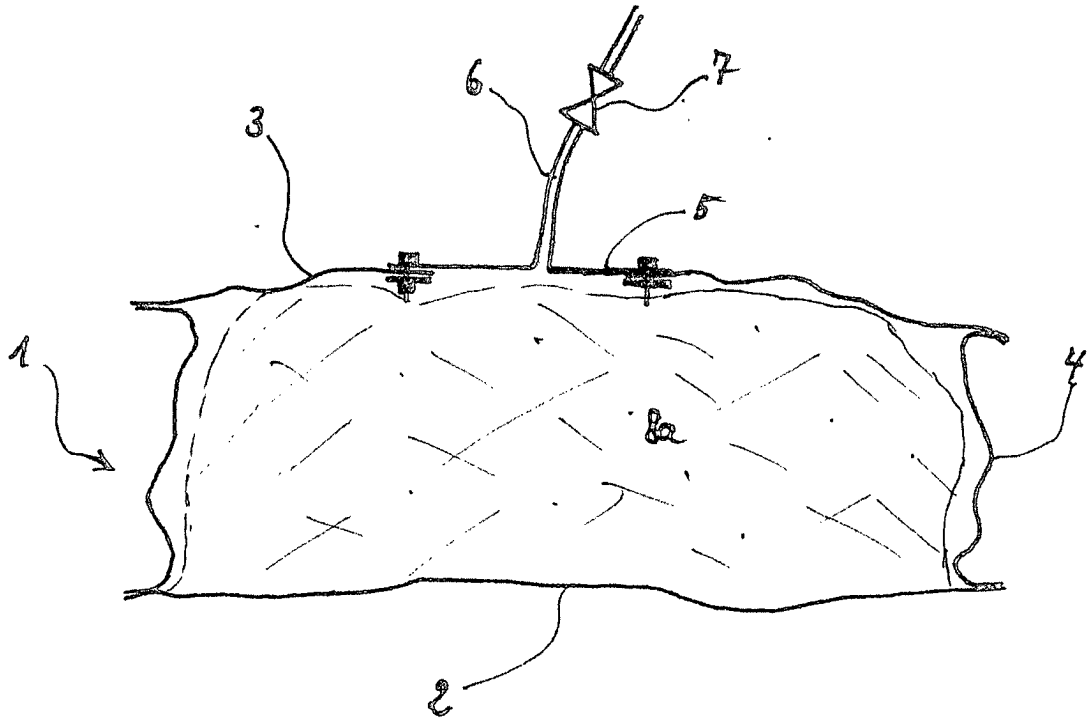


Fig. 3:

