

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES  
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
16. Juli 2009 (16.07.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2009/086810 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**Nicht klassifiziert**

Schwandorf (DE). **VATER, Daniel** [DE/DE]; Bautzener  
Straße 57, 02953 Bad Muskau (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE2008/075014

(74) **Anwalt: ZIPSE HABERSACK KRITZENBERGER;**  
Hermann-Köhl-Str. 2a, 93049 Regensburg (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. Dezember 2008 (08.12.2008)

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,  
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ,  
CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE,  
EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID,  
IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK,  
LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW,  
MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT,  
RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ,  
TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM,  
ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2008 003 805.9 10. Januar 2008 (10.01.2008) DE

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von  
US): **SCHMACK BIOGAS AG** [DE/DE]; Am Bayern-  
werk 8, 92421 Schwandorf (DE).

(72) Erfinder; und

(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **REUTER, Monika**  
[DE/DE]; Carl-Orff-Straße 32, 84503 Altötting (DE).  
**DUCHOW, Vera** [DE/DE]; Fröbelstraße 17, 92421

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für  
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,  
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,  
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** CLOSTRIDIUM SARTAGOFORMUM FOR THE GENERATION OF BIOGAS

(54) **Bezeichnung:** CLOSTRIDIUM SARTAGOFORMUM ZUR ERZEUGUNG VON BIOGAS

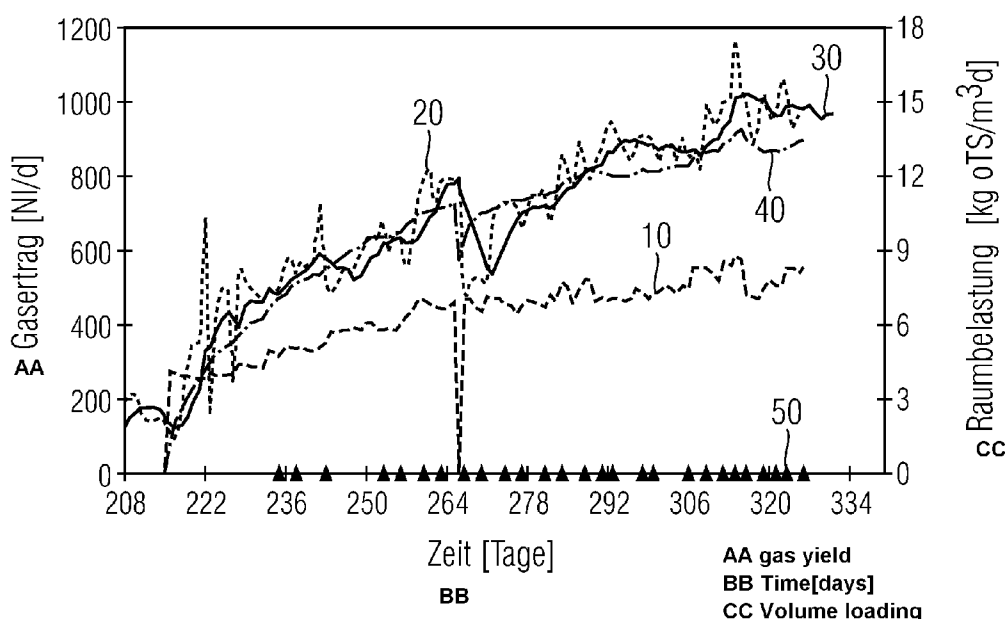


**FIG 4**

(57) **Abstract:** A method for generating biogas from biomass in a fermentation reactor is disclosed, wherein the biomass is treated with a microorganism of the type *Clostridium sartagoformum*.

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2009/086810 A2



TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Erklärung gemäß Regel 4.17:**

- hinsichtlich der Berechtigung des Anmelders, ein Patent zu beantragen und zu erhalten (Regel 4.17 Ziffer ii)

**Veröffentlicht:**

- ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts
- mit Angaben über hinterlegtes biologisches Material, eingereicht gemäss Regel 13bis, getrennt von der Beschreibung
- mit dem Sequenzprotokollteil der Beschreibung in elektronischer Form getrennt veröffentlicht; auf Antrag vom Internationalen Büro erhältlich

***Clostridium sartagoformum* zur Erzeugung von Biogas**

5

**Technisches Gebiet**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Biogas aus Biomasse unter Verwendung eines Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum*.

10

**Stand der Technik**

15 Biogasanlagen erzeugen Methan durch einen mikrobiellen Abbauprozess von organischen Substanzen. Das Biogas entsteht dabei in einem mehrstufigen Prozess der Vergärung oder Faulung durch die Aktivität von anaeroben Mikroorganismen, d.h. unter Ausschluss von Luft.

20 Das als Gärsubstrat verwendete organische Material besitzt aus chemischer Sicht einen hochmolekularen Aufbau, der in den einzelnen Verfahrensschritten einer Biogasanlage durch Stoffwechseltätigkeit der Mikroorganismen zu niedermolekularen Bausteinen abgebaut wird. Die bei der Fermentierung des organischen Gärsubstrats aktiven Populationen von Mikroorganismen sind bislang  
25 aber nur unzureichend charakterisiert.

Nach heutigem Kenntnisstand können vier nacheinander, aber auch parallel ablaufende und ineinander greifende biochemische Einzelprozesse unterschieden werden, die den Abbau von organischen Gärsubstraten zu den Endprodukten  
30 Methan und Kohlendioxid ermöglichen: Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese und Methanogenese.

In der Hydrolyse werden hochmolekulare, oft partikulär vorliegende, organische Verbindungen durch Exoenzyme (z.B. Cellulasen, Amylasen, Proteasen, Lipasen)

fermentativer Bakterien in lösliche Spaltprodukte überführt. Dabei werden beispielsweise Fette in Fettsäuren, Kohlenhydrate, wie z.B. Polysaccharide, in Oligo- und Monosaccharide sowie Proteine in Oligopeptide beziehungsweise Aminosäuren zerlegt. Die daneben gebildeten gasförmigen Produkte bestehen  
5 überwiegend aus Kohlendioxid.

Fakultativ und obligat anaerob lebende Bakterien, oftmals identisch mit den hydrolysierenden Bakterien, verstoffwechseln in der Acidogenese die Hydrolyseprodukte (z.B. Mono-, Disaccharide, Di-, Oligopeptide, Aminosäuren,  
10 Glycerin, langkettige Fettsäuren) intrazellulär zu kurzkettigen Fett- oder Carbonsäuren, wie beispielsweise Butter-, Propion- und Essigsäure, zu kurzkettigen Alkoholen wie zum Beispiel Ethanol und zu den gasförmigen Produkten Wasserstoff und Kohlendioxid.

15 In der sich anschließenden Acetogenese werden die in der Acidogenese gebildeten kurzkettigen Fett- und Carbonsäuren sowie die kurzkettigen Alkohole von acetogenen Bakterien aufgenommen und nach  $\beta$ -Oxidation als Essigsäure wieder ausgeschieden. Nebenprodukte der Acetogenese sind  $\text{CO}_2$  und molekularer Wasserstoff ( $\text{H}_2$ ).

20

Die Produkte der Acetogenese wie Essigsäure aber auch andere Substrate wie Methanol und Formiat werden durch Methan-bildende Organismen in der obligat anaerob verlaufenden Methanogenese zu Methan und  $\text{CO}_2$  umgesetzt. Das hier entstehende  $\text{CO}_2$  und auch das während der übrigen Prozessschritte, wie z.B. der  
25 Hydrolyse, gebildete  $\text{CO}_2$  kann wiederum durch Mikroorganismen mit dem angefallenen  $\text{H}_2$  ebenfalls zu Methan umgesetzt werden.

Die Erhöhung der Ausbeute an Endprodukten aus einer gegebenen Menge an Edukten stellt wie bei jeder chemischen Umsetzung auch im Fall der Herstellung  
30 von Biogas ein vordringliches Ziel der Prozessführung dar. Für die Erzeugung von Biogas aus Biomasse bedeutet dies, dass aus einer gegebenen Menge an organischem Gärsubstrat eine möglichst große Menge an Methan gebildet werden soll.

Daneben soll eine möglichst hohe Raumbelastung der Fermenter erreicht werden. Unter der Raumbelastung eines Fermenters versteht man die Menge an dem Fermenter zugeführten Substrat, die in Kilogramm organischer Trockensubstanz pro Kubikmeter Fermentervolumen und pro Tag angegeben wird. Die Menge an erzeugtem Biogas hängt stark von der Raumbelastung des Fermenters ab, wobei mit steigender Raumbelastung eine zunehmend größere Menge an Biogas erzeugt wird. Eine hohe Raumbelastung macht den Prozess der Biogaserzeugung also zunehmend ökonomisch rentabler, führt andererseits aber zu einer zunehmenden Destabilisierung der biologischen Prozesse der Fermentierung.

Es besteht daher weiterhin ein Bedarf an Verfahren zur Erzeugung von Biogas, die eine gegenüber dem Stand der Technik erhöhte Raumbelastung ermöglichen.

### Darstellung der Erfindung

Die Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein Verfahren zur Erzeugung von Biogas bereitzustellen, das eine gegenüber dem Stand der Technik erhöhte Raumbelastung des Fermentierungsreaktors ermöglicht.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch das Verfahren zur Erzeugung von Biogas gemäß Anspruch 1 gelöst. Weitere vorteilhafte Details, Aspekte und Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen, der Beschreibung und den Beispielen.

Die vorliegende Erfindung stellt ein Verfahren zur Erzeugung von Biogas aus Biomasse in einem Fermentierungsreaktor zur Verfügung. Der Biomasse wird ein Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zugesetzt.

Überraschenderweise hat sich gezeigt, dass durch die Zugabe von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* zum Gärsubstrat sowohl die Raumbelastung des Fermenters gesteigert werden kann als auch die Menge an gebildetem Biogas deutlich erhöht wird. Wie in experimentellen Untersuchungen

gezeigt werden konnte, bewirkt die Zugabe eines Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* eine Steigerung der Raumbelastung eines Fermenters um mehr als 50%, ohne dass eine Instabilität des Fermentationsprozesses eintreten würde. Parallel zu der erhöhten Raumbelastung wird die Menge an gebildetem Biogas mehr als verdoppelt. Zudem steigt die spezifische Ausbeute an Biogas an, da deutlich mehr der organischen Trockensubstanz abgebaut wird als bei fehlender Zugabe von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum*. Durch den erhöhten Abbaugrad kann eine deutlich erhöhte spezifische Gasausbeute bei einer verbesserten Substratausnutzung erzielt werden. Durch die Zugabe von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* kann die Verweilzeit des Gärsubstrats im Fermenter bei konstanter Gasausbeute deutlich verkürzt werden, wodurch die Erhöhung der Raumbelastung möglich wird. Der Einsatz von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* führt daher zu einer dramatischen Verbesserung von Effizienz und Wirkungsgrad von Biogasanlagen.

15 Fermentierung im Sinne der vorliegenden Erfindung umfasst sowohl anaerobe, wie auch aerobe Stoffumwandlungen durch die Einwirkung von Mikroorganismen, die zur Erzeugung von Biogas führen. Diese Erläuterung des Begriffs „Fermentierung“ ist unter dem Stichwort „Fermentation“ im Römpp-Chemielexikon in der 9., erweiterten Auflage, erschienen im Georg Thieme Verlag auf der Seite 1306, angegeben, auf das hiermit vollinhaltlich Bezug genommen wird.

Die spezifische Ausbeute an erzeugtem Biogas berechnet sich aus der Menge an erzeugtem Biogas dividiert durch die Menge an organischer Trockensubstanz. Die Frage, ob die Erzeugung von Biogas in einem bestimmten Fermenter unter bestimmten Bedingungen in einer befriedigenden Güte abläuft, lässt sich nicht alleine anhand der Menge an erzeugtem Biogas beurteilen. Selbstverständlich hängt die Menge an erzeugtem Biogas stark von der Menge an zugeführtem Substrat ab, also von der Menge an organischer Trockensubstanz, die in Kilogramm organischer Trockensubstanz angegeben wird. Treten Instabilitäten des Fermentierungsprozesses auf, so nimmt die spezifische Gasausbeute ab. Bei erfindungsgemäßem Zusatz von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* kann die Raumbelastung sogar über das übliche Maß hinaus erhöht werden, wodurch eine deutlich gesteigerte Gasmenge erzeugt wird. Durch den

erhöhten Abbaugrad kann eine deutlich erhöhte spezifische Gasausbeute bei einer verbesserten Substratausnutzung erzielt werden.

5 Unter der Bezeichnung „Art von Mikroorganismen“ wird im Rahmen der vorliegenden Erfindung die entsprechende grundlegende Kategorie der biologischen Taxonomie verstanden. Arten von Mikroorganismen werden anhand ihrer DNA-Sequenzen identifiziert und unterschieden. Unter eine bestimmte Art fallen dabei nicht nur Mikroorganismen mit einer ganz bestimmten DNA-Sequenz, sondern auch bis zu einem gewissen Umfang deren genetische Varianten. Dem einschlägigen  
10 Fachmann ist bekannt, welche Stämme von Mikroorganismen unter den Begriff „Art *Clostridium sartagoformum*“ fallen. Aus dem Stand der Technik ist die Isolierung von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* beispielsweise aus Fäkalien von Säuglingen bekannt (Stark, P.L.; Lee, A.; J. Pediatr. 1982; 100(3), S. 362-365). Im Zusammenhang mit der Herstellung von Biogas durch Fermentation organischer  
15 Substrate sind Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* nicht bekannt.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in Form einer Kultur von Mikroorganismen zugesetzt, die überwiegend aus einem Mikroorganismus der Art  
20 *Clostridium sartagoformum* besteht. In Gärsubstraten von Biogasanlagen konnten Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* nur in geringsten Spuren von weniger als 10<sup>-4</sup>% Anteil an der gesamten Anzahl von anwesenden Mikroorganismen nachgewiesen werden. Da für die Zugabe der Mikroorganismen die Menge an aus ihrem natürlichen Vorkommen isolierten Mikroorganismen nicht  
25 ausreicht, wird üblicherweise eine Vermehrung in Form einer Kultur vorgenommen. In der Praxis zeigt sich, dass die Zugabe der Mikroorganismen zu dem Gärsubstrat eines Fermenters am einfachsten direkt in Form einer Kultur von Mikroorganismen vorgenommen wird.

30 Die Zugabe der Kultur von *Clostridium sartagoformum* kann in Form einer Kultursuspension, in Form trockener, gefriergetrockneter oder feuchter Zellpellets oder auch in Form von Sporensuspensionen, Sporenpräparaten oder trockener, gefriergetrockneter oder feuchter Sporenpellets vorgenommen werden.

Da die bereits angesprochenen verschiedenen positiven Effekte auf den Gärprozess mit der Mikroorganismenart *Clostridium sartagoformum* verbunden sind, sollte diese Art von Mikroorganismen in der zugegebenen Kultur in einer das natürliche Vorkommen übersteigenden Menge anwesend sein. Selbstverständlich können

5 Mischkulturen in beliebiger Zusammensetzung für die Zugabe verwendet werden. Voraussetzung ist lediglich, dass die Art *Clostridium sartagoformum* in einer gegenüber dem natürlichen Vorkommen angereicherten Menge anwesend ist.

Die Bestimmung der Anteile verschiedener Arten von Mikroorganismen in

10 Mischkulturen stellt für den Fachmann kein Problem dar. So kann beispielsweise mit Hilfe von Fluoreszenz-markierten Oligosonden spezifisch der Anteil von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Mischung identifiziert werden. Wie bereits erwähnt, werden Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* bevorzugt in Form von Kulturen von Mikroorganismen dem

15 Gärsubstrat zugesetzt, wobei die Kulturen von Mikroorganismen überwiegend aus Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* bestehen. Wird neben der Bestimmung der Anzahl an Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* auch die Gesamtzahl an Mikroorganismen bestimmt, so kann der Anteil an Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* in der Kultur in Prozent

20 angegeben werden. Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* sind in einer Mischkultur dann die überwiegend anwesende Art von Mikroorganismen, wenn sie den höchsten prozentualen Anteil der verschiedenen in der Mischkultur anwesenden Arten von Mikroorganismen aufweisen.

25 Gemäß bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-4}\%$  der Gesamtzahl an in der zu dem Gärsubstrat zugegebenen Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus. Besonders bevorzugt macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-2}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen

30 aus und insbesondere bevorzugt macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 1% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus.

Gemäß weiteren bevorzugten Ausführungsformen macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 10% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus, besonders bevorzugt macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 50% der Gesamtzahl an in  
5 der Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus und insbesondere bevorzugt macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 90% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus.

Gemäß einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsformen wird eine Reinkultur  
10 eines Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zugesetzt. Die Reinkultur eines Mikroorganismus umfasst die Nachkommenschaft einer einzelnen Zelle, die durch einen mehrschrittigen Prozess aus einem Gemisch verschiedener Mikroorganismen isoliert wird. Dieser mehrschrittige Mechanismus beginnt mit der Abtrennung einer einzelnen Zelle aus einer Zellpopulation und erfordert, dass auch  
15 die aus der Zelle durch Wachstum und Zellteilung hervorgehende Kolonie von anderen Einzelzellen oder Kolonien getrennt bleibt. Durch eine sorgfältige Abtrennung einer Kolonie, erneutes Suspendieren in Flüssigkeit und wiederholtes Ausstreichen können gezielt Reinkulturen von Mikroorganismen gewonnen werden.

20 Die Isolierung einer Reinkultur kann jedoch auch in flüssigen Nährmedien erfolgen, sofern der gewünschte Organismus im Ausgangsmaterial zahlenmäßig überwiegt. Durch serienmäßige Verdünnung der Suspension in der Nährlösung lässt es sich schließlich erreichen, dass sich in der letzten Verdünnungsstufe nur noch eine Zelle befindet. Diese Zelle stellt dann die Basis für eine Reinkultur dar. Diese Erläuterung  
25 des Begriffs „Reinkultur“ und mögliche Verfahren zur Erzeugung dieser Reinkultur sind unter dem Stichwort „Reinkultur“ im Werk „Allgemeine Mikrobiologie“ von Hans G. Schlegel in der 7. überarbeiteten Auflage von 1992, erschienen im Georg Thieme Verlag auf der Seite 205 aufgeführt, auf das hiermit vollinhaltlich Bezug genommen wird.

30

Die so erhaltene Reinkultur ist darüber hinaus auch biochemisch durch spezifische Stoffwechselprozesse und -aktivitäten, sowie durch spezielle Wachstumsbedingungen gekennzeichnet. Aufgrund der spezifischen Stoffwechselprozesse und -aktivitäten kann die Zugabe einer Reinkultur eines

fermentativen Mikroorganismus in besonderem Maße zu einer verbesserten Kontrolle des komplexen Biogaserzeugungsprozesses beitragen.

5 Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird ein Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* als Bestandteil zumindest einer immobilisierten Kultur von Mikroorganismen zugesetzt. Da für die Zugabe der Mikroorganismen die Menge an aus ihrem natürlichen Vorkommen isolierten Mikroorganismen nicht ausreicht, wird üblicherweise eine Vermehrung in Form einer Kultur vorgenommen. In der Praxis zeigt sich, dass die Zugabe der  
10 Mikroorganismen zu dem Gärsubstrat eines Fermenters am einfachsten in Form einer immobilisierten Kultur von Mikroorganismen vorgenommen wird.

Da die bereits angesprochenen verschiedenen positiven Effekte auf den Gärprozess mit der Mikroorganismenart *Clostridium sartagoformum* verbunden sind, sollte diese  
15 Art von Mikroorganismen in der zugegebenen immobilisierten Kultur in einer im Vergleich zum natürlichen Vorkommen angereicherten Menge anwesend sein. Selbstverständlich können immobilisierte Mischkulturen in beliebiger Zusammensetzung für die Zugabe verwendet werden. Voraussetzung ist lediglich, dass Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge enthalten  
20 sind, die deren natürliches Vorkommen übersteigt.

Gemäß bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung macht der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-4}\%$  der Gesamtzahl an in der zu dem Gärsubstrat zugegebenen immobilisierten Kultur  
25 vorhandenen Mikroorganismen aus. Besonders bevorzugt macht der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-2}\%$  der Gesamtzahl an in der immobilisierten Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus und insbesondere bevorzugt macht der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 1% der Gesamtzahl an in der immobilisierten Kultur  
30 vorhandenen Mikroorganismen aus.

Gemäß weiteren bevorzugten Ausführungsformen macht der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 10% der Gesamtzahl an in der immobilisierten Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus, besonders bevorzugt

macht der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 50% der Gesamtzahl an in der immobilisierten Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus und insbesondere bevorzugt macht der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 90% der Gesamtzahl an in der immobilisierten Kultur  
5 vorhandenen Mikroorganismen aus.

Gemäß einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsformen wird zumindest eine immobilisierte Reinkultur eines Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zugesetzt.  
10

Als Trägermaterialien, auf denen der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* immobilisiert wird, können natürliche oder synthetische Polymere eingesetzt werden. Bevorzugt werden gelbildende Polymere verwendet. Diese haben den Vorteil, dass Bakterien innerhalb der Gelstruktur aufgenommen bzw. eingelagert  
15 werden können. Bevorzugt werden solche Materialien eingesetzt, die sich in Wasser langsam auflösen bzw. abgebaut werden, so dass die Freisetzung des Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* über einen längeren Zeitraum hinweg erfolgt.

20 Beispiele für geeignete Polymere sind Polyanillin, Polypyrrol, Polyvinylpyrrolidon, Polystyrol, Polyvinylchlorid, Polyvinylalkohol, Polyethylen, Polypropylen, Epoxidharze, Polyethylenimine, Polysaccharide wie Agarose, Alginat oder Cellulose, Ethylcellulose, Methylcellulose, Carboxymethylethylcellulose, Celluloseacetate, Alkali-Cellulosesulfat, Copolymere aus Polystyrol und Maleinsäureanhydrid,  
25 Copolymere aus Styrol und Methylmethacrylat, Polystyrolsulfonat, Polyacrylate und Polymethacrylate, Polycarbonate, Polyester, Silikone, Cellulosephthalat, Proteine wie Gelatine, Gummi arabicum, Albumin oder Fibrinogen, Gemische aus Gelatine und Wasserglas, Gelatine und Polyphosphat, Gelatine und Copolymere aus Maleinsäureanhydrid und Methylvinylether, Celluloseacetatbutyrat, Chitosan,  
30 Polydialkyldimethylammonium-chlorid, Mischungen aus Polyacrylsäuren und Polydiallyldimethylammoniumchlorid sowie deren Gemische. Das Polymermaterial kann auch mit Hilfe üblicher Vernetzer wie Glutaraldehyd, Harnstoff/Formaldehydharzen oder Taninverbindungen vernetzt werden.

Alginate als Immobilisate erweisen sich als besonders vorteilhaft, da sie zum einen keinen negativen Einfluss auf die Aktivität des Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* nehmen und da sie zum anderen durch Mikroorganismen langsam abgebaut werden. Durch den langsamen Abbau der Alginat-Immobilisate werden nach  
5 und nach die eingeschlossenen Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* freigesetzt.

Für die Immobilisation werden die Mikroorganismen mit einem Polymergel vermischt und dann in einer geeigneten Härterlösung gehärtet. Dazu werden sie zunächst mit  
10 einer Gellösung vermischt und anschließend in eine Härterlösung aus geeigneter Höhe getropft. Die genauen Vorgehensweisen zur Immobilisation sind dem Fachmann bekannt.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird zeitnah zur Zugabe eines  
15 Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zusätzliche Biomasse in den Fermentierungsreaktor gegeben. Dabei bezieht sich „zeitnah“ auf die Zeitspanne, die zwischen einer sich an die Zugabe der Mikroorganismen anschließende Zugabe von neuem Substrat vergeht. Diese Zeitspanne soll möglichst kurz gehalten werden, weshalb der Begriff „zeitnah“ auch eine parallele Zugabe des Mikroorganismus  
20 *Clostridium sartagoformum* und des neuen Substrats umfasst.

Die genannte Zeitspanne kann sich jedoch auch auf mehrere Stunden bis hin zu einem oder mehreren Tagen ausdehnen. Dabei kann die Raumbelastung im Fermentationsreaktor durch kontinuierliche Zugabe von neuem Substrat  
25 kontinuierlich gesteigert oder in etwa konstant gehalten werden, wobei die Fermentierung bei allen Raumbelastungen, bevorzugt bei einer Raumbelastung von  $\geq 0.5$  kg organischer Trockensubstanz pro  $m^3$  und Tag [kg oTS/ $m^3$ d], weiter bevorzugt bei einer Raumbelastung von  $\geq 4.0$  kg oTS/ $m^3$ d und besonders bevorzugt bei einer Raumbelastung von  $\geq 8.0$  kg oTS/ $m^3$ d durchgeführt werden kann, was im  
30 Vergleich zum gegenwärtigen Stand der Technik einer Erhöhung der Raumbelastung um mehr als das Doppelte entspricht.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsform wird daher die Raumbelastung im Fermentierungsreaktor durch kontinuierliche Zugabe von

Biomasse kontinuierlich gesteigert. Besonders bevorzugt erfolgt die Erzeugung von Biogas aus Biomasse bei einer Raumbelastung von  $\geq 0,5 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$ , insbesondere bevorzugt  $\geq 4,0 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$  und ganz besonders bevorzugt  $\geq 8,0 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$ .

5

Das verwendete Gärsubstrat kann insbesondere auch einen hohen Anteil an festen Bestandteilen aufweisen. Durch die Zugabe eines hydrolytisch aktiven, fermentativen Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* werden diese festen Bestandteile zumindest teilweise verflüssigt. Durch die erzielte Verflüssigung des Gärsubstrats aufgrund der Zugabe des Mikroorganismus *Clostridium*  
10 *sartagoformum* kann einem Eindicken des Fermentermaterials vorgebeugt und gezielt entgegengewirkt werden. Ein weiterer Flüssigkeitseintrag in das Gärsubstrat in Form von Wasser oder Gülle während der Fermentierung kann vermieden werden. Somit besteht ein weiterer Vorteil in der Schonung der Ressource  
15 Süßwasser. Ebenfalls von Vorteil ist der so erzielte Erhalt der Rühr- und Pumpfähigkeit des Substrats. Dadurch werden Rührwerke und Pumpen geschont und für den Rührvorgang ist deutlich weniger Energie erforderlich.

Gemäß einer weiteren Ausführungsform erfolgt die Erzeugung von Biogas aus  
20 Biomasse unter konstanter Durchmischung des Gärsubstrats. Durch die konstante Durchmischung des Gärsubstrats können die Kulturen von *Clostridium sartagoformum* besser im Gärsubstrat verteilt werden. Außerdem kann das gebildete Biogas besser aus dem Fermentationsprozess abgeführt werden.

25 Die konstante Durchmischung des Gärsubstrats führt zudem zu einer gleichmäßigen Wärmeverteilung im Fermentationsreaktor. Messungen der Temperatur im Fermentationsreaktor, die in periodischen Abständen, aber auch kontinuierlich durchgeführt wurden, ergaben, dass das Gärsubstrat in einem Temperaturbereich von  $20^\circ\text{C}$  bis  $80^\circ\text{C}$ , bevorzugt bei etwa  $40^\circ\text{C}$  bis  $50^\circ\text{C}$  effizient  
30 fermentiert wird. Diese Temperaturbereiche werden im Rahmen der vorliegenden Erfindung daher bevorzugt. Neben der Hydrolyse erfolgt insbesondere die letzte Stufe des Fermentationsprozesses, nämlich die Bildung von Methan durch methanogene Mikroorganismen, besonders effizient bei erhöhten Temperaturen.

Bevorzugt erfolgt daher die Erzeugung von Biogas aus Biomasse bei einer Temperatur von 20°C bis 80°C und besonders bevorzugt bei einer Temperatur von 40°C bis 50°C.

- 5 Sämtliche Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung sind selbstverständlich nicht auf einstufige Verfahren zur Herstellung von Biogas beschränkt. Der Einsatz von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* kann auch in zwei- oder mehrstufigen Verfahren erfolgen.
- 10 Gemäß einer weiteren Ausführungsform werden Gärsubstrat und ein Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* kontinuierlich zugegeben. Der kontinuierliche Betrieb eines Fermentationsreaktors soll bei einer stabilen mikrobiellen Biozönose zu einer kontinuierlichen Produktion von Biogas führen, wobei das Aussetzen der Substratzugabe zur Fermentation infolge einer
- 15 Prozessstörung vermindert werden soll.

- Ebenfalls ist die Ausführung dieses Fermentationsverfahrens und der damit zusammenhängenden Prozesse auch in einem diskontinuierlichen Betrieb, beispielsweise „Batch“-Fermentierung denkbar. So kann dem Gärsubstrat gemäß
- 20 einer weiteren Ausführungsform während der Fermentierung der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* beispielsweise in regelmäßigen Abständen zugegeben werden. Die Zugabe des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in regelmäßigen Abständen führt zu einer Steigerung der Lebendzellzahl und somit zu einem verbesserten Ablauf der fermentativen
- 25 Prozesse, beispielsweise der Hydrolyse bei einer gleichzeitig verbesserten Ausnutzung des Gärsubstrats für die Fermentierung.

- Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem
- 30 Gärsubstrat zugegeben, so dass nach Zugabe der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen  $10^{-8}\%$  und 50% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht. Insbesondere in Abhängigkeit von der Fermentergröße und damit in Abhängigkeit von der Menge an

Gärsubstrat kann zur Erzielung der gewünschten Wirkung eine Zugabe von sehr stark unterschiedlichen Mengen an Mikroorganismen notwendig werden.

5 Sowohl die Bestimmung der Gesamtzahl von Mikroorganismen in dem Gärsubstrat wie auch die Bestimmung der Anteile verschiedener Arten von Mikroorganismen im Gärsubstrat stellt für den Fachmann kein Problem dar. So kann beispielsweise mit Hilfe von Fluoreszenz-markierten Oligosonden spezifisch der Anteil verschiedener Mikroorganismen in dem Gärsubstrat identifiziert werden

10 Besonders bevorzugt wird ein Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben, dass nach Zugabe der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen  $10^{-6}\%$  und 25% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht. Insbesondere bevorzugt wird der Mikroorganismus der Art *Clostridium*  
15 *sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben, dass nach Zugabe der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen  $10^{-4}\%$  und 10% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht. Ganz besonders bevorzugt wird der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben, dass nach Zugabe  
20 der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen  $10^{-3}\%$  und 1% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht.

Es soll nochmals darauf hingewiesen werden, dass der Zusatz von  
25 Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* zu jedem beliebigen Zeitpunkt des Fermentationsprozesses erfolgen kann, insbesondere können Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* auch zum Animpfen von Gärsubstrat bei der erstmaligen Inbetriebnahme oder einer Wiederinbetriebnahme eines Fermenters verwendet werden.

30

Ebenso ist es möglich Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* bei Störungen des Fermentationsprozesses zur Stabilisierung der Fermentation zuzugeben. Solche Störungen können durch Überwachung bestimmter charakteristischer Parameter der Fermentierung frühzeitig erkannt werden.

Charakteristische Parameter geben Auskunft über die Qualität eines ablaufenden Fermentierungsprozesses zur Herstellung von Biogas. Solche charakteristischen Parameter sind nicht nur die Menge an erzeugtem Biogas und der Methangehalt des erzeugten Biogases sondern beispielsweise auch der Wasserstoffgehalt des erzeugten Biogases, der pH-Wert des Gärsubstrats, das Redoxpotential des Gärsubstrats, der Carbonsäuregehalt des Gärsubstrats, die Anteile verschiedener Carbonsäuren im Gärsubstrat, der Wasserstoffgehalt des Gärsubstrats, der Anteil der Trockensubstanz am Gärsubstrat, der Anteil der organischen Trockensubstanz am Gärsubstrat, die Viskosität des Gärsubstrats und die Raumbelastung des Fermentierungsreaktors.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch die Verwendung eines Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse.

Ebenso umfasst die vorliegende Erfindung den Stamm des Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1, wie er unter der Nr. DSM 19861 hinterlegt ist. Der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1 wurde in einer Reinkultur bei der Deutschen Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH in Braunschweig gemäß des Budapester Vertrages hinterlegt. Die Bezeichnung lautet: *Clostridium sartagoformum* SBG1 mit der Hinterlegungsnummer DSM 19861.

Bakterien der Art *Clostridium sartagoformum* können mit Hilfe von dem Fachmann bekannten Methoden aus dem Gärsubstrat eines Fermenters isoliert werden. Dabei wird ein geeignetes Substrat aus einem Fermenter in ein Selektionsmedium eingebracht, über längere Zeit kultiviert und schließlich einzelne Kolonien von Mikroorganismen aus dem Selektionsmedium isoliert. Nach Vervielfältigung der daraus erhaltenen mikrobiellen DNA mittels PCR können auf der Basis der 16S rRNA Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* ausgewählt werden.

Bakterien *Clostridium sartagoformum* SBG1 wurden aus dem Gärsubstrat eines Nachgärers isoliert. Dazu wurde durch ein flüssiges Selektionsmedium Stickstoff und Kohlendioxid durchgeleitet, anschließend Na<sub>2</sub>S zu dem Selektionsmedium zugegeben und autoklaviert (20 Min. bei 121°C). Dann wurde die aus dem

Nachgärer gewonnene Biomasse in das Selektionsmedium eingebracht und für zumindest eine Woche bei einer Temperatur von mindestens 30°C kultiviert. Eine aus dem flüssigen Selektionsmedium gewonnene Probe wurde auf ein festes Selektionsmedium aufgebracht und nachfolgend die auf dem festen Selektionsmedium gewachsenen Kolonien von Mikroorganismen ausgewählt. Nach Vervielfältigung der erhaltenen mikrobiellen DNA mittels PCR konnte ein Vergleich mit bekannten DNA-Sequenz durchgeführt werden.

Nachdem die Bakterien *Clostridium sartagoformum* SBG1 erfolgreich aus dem Gärsubstrat des Nachgärers isoliert worden waren, wurden diese Mikroorganismen einer Sequenzanalyse unterzogen. Die 16S rRNA-Sequenz SEQ ID Nr. 1 umfasst 948 Nukleotide. Als nächster Verwandter wurde ein nicht kultivierter Bakterien Klon aaa62b07 mit der Gensequenz SEQ ID Nr. 2 identifiziert. Ein Vergleich der Sequenzen ergibt, dass insgesamt 9 Austausche von Nukleotiden oder Lücken vorliegen. Bei einer Länge der Sequenz von *Clostridium sartagoformum* SBG1 von 948 Nukleotiden errechnet sich mit Hilfe des FASTA-Algorithmus eine Übereinstimmung von 99,2%.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch Mikroorganismen mit einer Nukleinsäure, die eine Nukleotidsequenz aufweist, die einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,2% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist. Besonders bevorzugt enthält die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der mehr als 99,4% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist und insbesondere bevorzugt enthält die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der mehr als 99,6% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

Gemäß weiteren bevorzugten Ausführungsformen weist der Mikroorganismus eine Nukleotidsequenz auf, die einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,8% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist und besonders bevorzugt enthält die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der mehr als 99,9% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

Gemäß einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform enthält die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 entspricht.

- 5 Die vorliegende Erfindung umfasst also auch alle Mikroorganismen mit einer Nukleinsäure, deren Nukleotidsequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 lediglich an einer Position einen Nukleotidaustausch aufweist. Ebenso umfasst sind alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der
- 10 Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 lediglich an zwei Positionen einen Nukleotidaustausch aufweist. Daneben sind alle Mikroorganismen umfasst, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 lediglich an drei Positionen einen Nukleotidaustausch aufweist.

15

- Außerdem umfasst die vorliegende Erfindung auch alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 Nukleotidaustausche an vier Positionen aufweist. Ebenso umfasst sind alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen
- 20 Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 an fünf Positionen Nukleotidaustausche aufweist. Daneben sind alle Mikroorganismen umfasst, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 an sechs Positionen Nukleotidaustausche aufweist.

25

- Daneben umfasst die vorliegende Erfindung auch alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 Nukleotidaustausche an sieben Positionen aufweist. Ebenso umfasst sind alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz
- 30 zumindest einen Sequenzbereich aufweist, der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 an acht Positionen Nukleotidaustausche aufweist.

Es versteht sich von selbst, dass die Austausche der Nukleotide an beliebigen Position der DNA-Sequenz vorliegen können. Insbesondere können die Austausche

an beliebig weit voneinander entfernten Positionen vorliegen. Sind im Vergleich zur Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 beispielsweise sechs Nukleotide ausgetauscht, so können diese sechs ausgetauschten Nukleotide benachbart zueinander vorliegen. In diesem Fall wäre ein sechs Nukleotide langes Teilstück der Nukleotidsequenz  
5 SEQ ID Nr. 1 verändert. Ebenso können die sechs ausgetauschten Nukleotide aber beispielsweise jeweils 100 Nukleotide weit voneinander entfernt sein. Die Austausche können also in beliebigen Kombinationen vorliegen.

Ebenso können die genannten Austausche auch in Form von Lücken vorliegen. Die  
10 vorliegende Erfindung umfasst also auch alle Mikroorganismen mit einer Nukleinsäure, deren Nukleotidsequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 lediglich an einer Position ein Nukleotid fehlt. Ebenso umfasst sind alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in der gegenüber der Nukleotidsequenz  
15 SEQ ID Nr. 1 lediglich an zwei Positionen Nukleotide fehlen. Daneben sind alle Mikroorganismen umfasst, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in der gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 lediglich an drei Positionen Nukleotide fehlen.

20 Außerdem umfasst die vorliegende Erfindung auch alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in dem gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 Nukleotide an vier Positionen fehlen. Ebenso umfasst sind alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in dem im Vergleich zu der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr.  
25 1 an fünf Positionen Nukleotide fehlen. Daneben sind alle Mikroorganismen umfasst, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in dem gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 an sechs Positionen Nukleotide fehlen.

30 Daneben umfasst die vorliegende Erfindung auch alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen Sequenzbereich aufweist, in dem gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 Nukleotide an sieben Positionen fehlen. Ebenso umfasst sind alle Mikroorganismen, deren DNA-Sequenz zumindest einen

Sequenzbereich aufweist, in dem gegenüber der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 an acht Positionen Nukleotide fehlen.

Es versteht sich von selbst, dass die Nukleotide an beliebigen Position der DNA-Sequenz fehlen können. Insbesondere können die Lücken an beliebig weit voneinander entfernten Positionen vorliegen. Fehlen im Vergleich zur Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 beispielsweise sechs Nukleotide, so können diese sechs fehlenden Nukleotide in der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 benachbart zueinander vorliegen. In diesem Fall würde ein sechs Nukleotide langes Teilstück der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 fehlen. Ebenso können die sechs fehlenden Nukleotide in der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aber beispielsweise jeweils 100 Nukleotide weit voneinander entfernt sein. Die Lücken können also in beliebigen Kombinationen vorliegen.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch eine Kultur von Mikroorganismen geeignet zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse, wobei in der Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1 anwesend ist wie er unter der Nr. DSM 19861 hinterlegt wurde, wobei der Mikroorganismus zumindest  $10^{-4}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch eine Kultur von Mikroorganismen geeignet zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse, wobei in der Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend ist, der eine Nukleotidsequenz aufweist, die einen Sequenzbereich enthält, der zumindest 99,2% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist, wobei der Mikroorganismus zumindest  $10^{-4}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.

Bevorzugt ist in der zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse geeigneten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend, der eine Nukleotidsequenz mit einem Sequenzbereich besitzt, der mehr als 99,4% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist. Insbesondere bevorzugt enthält die Nukleotidsequenz einen

Sequenzbereich, der mehr als 99,6% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

5 Gemäß weiteren bevorzugten Ausführungsformen ist in der zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse geeigneten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend, der eine Nukleotidsequenz mit einem Sequenzbereich besitzt, der mehr als 99,8% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist. Ganz besonders bevorzugt enthält die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der mehr als 99,9% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

15 Gemäß einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform ist in der zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse geeigneten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend, der eine Nukleotidsequenz aufweist, die einen Sequenzbereich enthält, der der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 entspricht.

20 Gemäß weiteren bevorzugten Ausführungsformen macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-2}\%$ , bevorzugt zumindest 1% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen aus. Besonders bevorzugt macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 10%, insbesondere bevorzugt zumindest 25% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.

25 Ganz besonders bevorzugt macht der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 50%, insbesondere zumindest 75% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.

30 Ebenfalls bevorzugt sind Ausführungsformen, gemäß denen der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 90% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht. Besonders bevorzugt handelt es sich um eine Reinkultur von Mikroorganismen geeignet zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse, wobei es sich um eine Reinkultur des Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1 wie er unter der

Nr. DSM 19861 hinterlegt wurde oder wie er oben in Bezug auf seine Nukleotidsequenz charakterisiert wurde, handelt.

5 Besonders bevorzugt handelt es sich in den oben beschriebenen Fällen um eine immobilisierte Kultur von Mikroorganismen.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch eine immobilisierte Kultur von Mikroorganismen geeignet zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse, wobei in der immobilisierten Kultur von  
10 Mikroorganismen ein Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* anwesend ist wie er unter der Nr. DSM 19861 hinterlegt wurde.

Die vorliegende Erfindung umfasst auch eine immobilisierte Kultur von Mikroorganismen geeignet zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen  
15 Erzeugung von Biogas aus Biomasse, wobei in der immobilisierten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend ist, der eine Nukleotidsequenz aufweist, die einen Sequenzbereich enthält, der zumindest 99,2% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

20 Bevorzugt ist in der zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse geeigneten immobilisierten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend, der eine Nukleotidsequenz mit einem Sequenzbereich besitzt, der mehr als 99,4% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist. Insbesondere bevorzugt enthält die  
25 Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der mehr als 99,6% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

Gemäß weiteren bevorzugten Ausführungsformen ist in der zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse geeigneten  
30 immobilisierten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend, der eine Nukleotidsequenz die einen Sequenzbereich besitzt, der mehr als 99,8% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist. Ganz besonders bevorzugt enthält die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich, der mehr als 99,9% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.

Gemäß einer ganz besonders bevorzugten Ausführungsform ist in der zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse geeigneten immobilisierten Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus anwesend, der eine Nukleotidsequenz aufweist, die einen Sequenzbereich enthält, 5 der der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 entspricht.

10 **Kurze Beschreibung der Zeichnungen**

Zur Illustration der Erfindung und zur Verdeutlichung ihrer Vorzüge werden nachfolgend Ausführungsbeispiele angegeben. Die Ausführungsbeispiele sollen im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 6 näher erläutert werden. Es versteht sich von selbst, dass die im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen gemachten Angaben die Erfindung nicht beschränken sollen. Es zeigen:

Fig. 1 Messergebnisse einer Fermentierung: Aufgetragen sind die Menge an erzeugtem Biogas, der 6-tägige gleitende Durchschnitt der Menge an erzeugtem Biogas, die theoretische Gasproduktion sowie die Raumbelastung des Fermenters gegen die Zeit;

Fig. 2 Messergebnisse der Fermentierung gemäß Figur 1: Aufgetragen sind die Konzentration an Essigsäure, die Konzentration an Propionsäure, das Essigsäureäquivalent und der pH-Wert gegen die Zeit;

Fig. 3 Messergebnisse der Fermentierung gemäß Figur 1: Aufgetragen sind die Raumbelastung des Fermenters, der prozentuale Trockensubstanzanteil im Gärsubstrat und der prozentuale Anteil der organischen Trockensubstanz gegen die Zeit;

Fig. 4 Messergebnisse einer Fermentierung unter Zugabe von *Clostridium sartagoformum* SBG1 und ansonsten identischen Bedingungen wie in der Fermentierung gemäß den Figuren 1 bis 3: Aufgetragen sind die Menge

an erzeugtem Biogas, der 6-tägige gleitende Durchschnitt der Menge an erzeugtem Biogas, die theoretische Gasproduktion sowie die Raumbelastung des Fermenters gegen die Zeit;

Fig. 5 Messergebnisse der Fermentierung gemäß Figur 4: Aufgetragen sind die Konzentration an Essigsäure, die Konzentration an Propionsäure, das Essigsäureäquivalent und der pH-Wert gegen die Zeit;

Fig. 6 Messergebnisse der Fermentierung gemäß Figur 4: Aufgetragen sind die Raumbelastung des Fermenters, der prozentuale Trockensubstanzanteil im Gärsubstrat und der prozentuale Anteil der organischen Trockensubstanz gegen die Zeit.

### Wege zur Ausführung der Erfindung

#### 5 Vergleichsbeispiel

Die Figur 1 zeigt Messergebnisse verschiedener charakteristischer Parameter während eines Fermentationsprozesses in einem Versuchsfermenter mit einem Volumen von 150 l unter realistischen Anlagenbedingungen. Die mit dem  
10 Bezugszeichen 10 versehene Kurve zeigt den zeitlichen Verlauf der Raumbelastung des Fermenters in Kilogramm organischer Trockensubstanz je Kubikmeter je Tag ( $\text{kg oTS/m}^3\text{d}$ ) und die mit dem Bezugszeichen 20 gekennzeichnete Kurve den zeitlichen Verlauf des gesamten erzeugten Biogases in Normliter (Gasvolumen bei 273,15 K und 1013 mbar) je Tag ( $\text{NI/d}$ ). Mit dem Bezugszeichen 30 ist der zeitliche  
15 Verlauf des 6-tägigen gleitenden Durchschnitts des gesamt erzeugten Biogases in  $[\text{NI/d}]$  gekennzeichnet und der zeitliche Verlauf der theoretischen Gasproduktion in  $[\text{NI/d}]$  ist durch das Bezugszeichen 40 markiert.

Das Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL) aber auch  
20 die Landesanstalt für Landwirtschaft haben Richtwerte herausgegeben, die in etwa angeben, welche Mengen an Biogas in Abhängigkeit vom eingesetzten Substrat bei

einer stabilen Fermentierung zu erwarten sind. Diese theoretischen Richtwerte können somit die Menge an theoretisch erzeugbarem Biogas widerspiegeln. Alternativ können auch von anderen Instituten in anderen Ländern herausgegebene Richtwerte verwendet werden. Der zeitliche Verlauf der theoretischen Gasproduktion 40 in [NI/d] wurde nach solchen Richtwerten berechnet.

Der Figur 1 ist zu entnehmen, dass im Verlauf der ersten 35 Tage ein kontinuierlicher und stabiler Fermentationsprozess stattfindet, der durch einen Anstieg der Raumbelastung auf etwa 6,5 kg oTS/m<sup>3</sup>d sowie durch eine mit der Raumbelastung kontinuierliche zunehmende Bildung von Biogas gekennzeichnet ist. Ab Tag 36 ist eine Abweichung der erzeugten Biogasmenge von der theoretischen Gasproduktion zu beobachten. Aufgrund einer unkontrolliert hohen Säurekonzentration im Gärsubstrat, die in Figur 2 dargestellt wird, wird die Raumbelastung durch ein Aussetzen der Steigerung der Substratzufuhr ab dem Tag 38 ungefähr konstant gehalten. Da die Säurekonzentrationen jedoch weiterhin unkontrollierbar bleiben, wird am Tag 67 und am Tag 76 kein Substrat zugeführt und die Substratzufuhr ab dem Tag 78 vollständig ausgesetzt. Es zeigte sich, dass eine maximale Raumbelastung von 5,5 kg oTS/m<sup>3</sup>d erreicht werden konnte. Bei einer höheren Raumbelastung ist aufgrund des Zusammenbruchs des Fermentationsprozesses kein stabiler Betrieb mehr möglich.

Figur 2 zeigt die zeitabhängige Entwicklung der Konzentrationen charakteristischer Carbonsäuren während des bereits im Zusammenhang mit Figur 1 erläuterten Fermentationsprozesses. Gezeigt ist der zeitliche Verlauf des pH-Werts (mit 60 bezeichnete Kurve), des Essigsäureäquivalents zur Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren (mit 70 bezeichnete Kurve), der Essigsäurekonzentration (mit 80 bezeichnete Kurve) und der Propionsäurekonzentration (mit 90 bezeichnete Kurve). Die Säurekonzentrationen werden dabei in Milligramm je Liter Gärsubstrat (mg/l) angegeben.

30

Die Bestimmung flüchtiger Fettsäuren als Summenparameter im Gärsubstrat erfolgte durch Wasserdampfdestillation einer mit Phosphorsäure angesäuerten Gärsubstratprobe. Das Destillat wurde anschließend mit Natronlauge gegen

Phenolphthalein titriert. Alternativ bzw. zur Unterscheidung der einzelnen Carbonsäuren ist auch eine gaschromatografische Bestimmung möglich.

Es zeigte sich, dass der pH-Wert in den ersten 35 Tagen des Versuchs nahezu  
5 stabil bei pH 7,5 lag. Aufgrund der unkontrolliert hohen Säurekonzentration ab dem  
Tag 36 wurde, wie im Zusammenhang mit der Figur 1 erläutert, die Substratzufuhr  
zunächst nicht weiter gesteigert und am Tag 67, am Tag 76 bzw. ab dem Tag 78  
vollständig ausgesetzt. Begleitend zur unkontrolliert hohen Säurekonzentration sinkt  
der pH-Wert leicht in ein schwach saures Milieu ab, womit sich ein instabiler  
10 Fermentationsprozess abzuzeichnen beginnt. Der pH-Wert pendelt sich erst dann  
wieder im neutralen bis leicht alkalischen Milieu ein, wenn die Säurekonzentration  
gegen Null absinkt. Diese Erholung des pH-Werts ist durch den mikrobiellen Abbau  
der Säuren im Gärsubstrat zu erklären, unterstützt durch das Fehlen weiterer Sub-  
stratzufuhr.

15  
Figur 3 zeigt den Trockensubstanzgehalt des Fermenterinhalt in Abhängigkeit von  
der Raumbelastung während des bereits im Zusammenhang mit den Figuren 1 und  
2 erläuterten Fermentationsprozesses. Gezeigt ist der zeitliche Verlauf der  
Raumbelastung in  $[\text{kg oTS}/\text{m}^3\text{d}]$  (mit dem Bezugszeichen 10 gekennzeichnete  
20 Kurve), des prozentualen Trockensubstanzanteils (mit dem Bezugszeichen 110A  
gekennzeichnete Kurve) und des prozentualen Anteils der organischen  
Trockensubstanz (mit dem Bezugszeichen 110B gekennzeichnete Kurve). Der  
prozentuale Trockensubstanzanteil gibt die gesamte Masse organischer und  
anorganischer Substanzen wie beispielsweise Sand an.

25  
Aus Figur 3 lässt sich erkennen, dass mit dem in Figur 2 dargestellten Anstieg der  
Säurekonzentration am Tag 36 ebenso der prozentuale Trockensubstanzgehalt  
sowie der prozentuale Gehalt an organischer Trockensubstanz ansteigt. Trotz der  
vorgenommenen Reduzierung der Raumbelastung am Tag 38, die zwischen den  
30 Tagen 38 bis 67 nahezu konstant bei 5,5 bis 6,0  $\text{kg oTS}/\text{m}^3\text{d}$  bleibt, reichert sich  
organische Trockensubstanz 110B an, die nicht mehr ausreichend fermentiert  
werden kann. Erst mit dem Aussetzen der Substratzufuhr ab Tag 78 erholen sich  
die biologischen Prozesse, so dass die organische Trockensubstanz wieder

fermentiert wird, was an dem Absinken des Anteils der Trockensubstanz 110B ersichtlich ist.

***Clostridium sartagoformum* SBG1**

5

Bakterien der Art *Clostridium sartagoformum* SBG1 wurden erfolgreich aus dem Gärsubstrat eines Nachgärers isoliert. Die Hinterlegung des Organismus erfolgte in einer Reinkultur bei der Deutschen Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen GmbH gemäß des Budapester Vertrages (*Clostridium sartagoformum* SBG1 mit der Hinterlegungsnummer DSM 19861).

10

Die Isolation der Mikroorganismen erfolgte mithilfe eines Selektionsmediums, das Carboxymethylcellulose als einzige Kohlenstoffquelle beinhaltete. Carboxymethylcellulose besitzt sehr große Ähnlichkeit mit der in Gärsubstraten von Biogasanlagen enthaltenen Cellulose und weist zudem durch die Verknüpfung der Hydroxylgruppen mit Carboxymethylgruppen (-CH<sub>2</sub>-COOH-) eine verbesserte Löslichkeit in wässrigem Medium auf. Das zur Selektion von *Clostridium sartagoformum* SBG1 eingesetzte Medium wurde mit N<sub>2</sub> und CO<sub>2</sub> begast, damit die Selektion unter anaeroben Bedingungen erfolgen konnte. Enthaltener Restsauerstoff wurde anschließend mit Hilfe von 0,5 g/l Na<sub>2</sub>S reduziert.

15

20

Das Selektionsmedium wurde anschließend mit dem Überstand von Material aus einem Nachgärer beimpft. Nach einer einwöchigen Kultivierung bei 40°C zeigten sich bei mikroskopischer Analyse einzelne Stäbchen. Eine weitere Selektion der Flüssigkulturen erfolgte durch den Ausstrich auf anaeroben Carboxymethylcellulose-Platten. Das Zellmaterial der gewachsenen Kolonien diente zur Vervielfältigung der mikrobiellen DNA mittels der Colony-PCR Methode nach einem Standard-Programm. Nach der Sequenzanalyse der Kolonien erbrachte der phylogenetische Vergleich der daraus generierten Sequenzdaten mittels BLAST-Programm (basic local alignment search tool) der Datenbank [www.ncbi.nlm.nih.gov](http://www.ncbi.nlm.nih.gov), dass die erhaltene Sequenz dem Organismus *Clostridium sartagoformum* als nächstem Verwandten zugeordnet werden kann.

25

30

Versuche mit einer Reinkultur des hydrolytisch aktiven, fermentativen Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1 zeigten, dass der Zusatz zum stark zähflüssigen, viskosen Carboxymethylcellulose-haltigen Selektionsmedium zu einer sukzessiven Verflüssigung des Mediums führt.

5

### Beispiel

Die Figur 4 zeigt Messergebnisse verschiedener charakteristischer Parameter während eines Fermentationsprozesses in einer Versuchsanlage unter den im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 3 beschriebenen Anlagenbedingungen. Die mit dem Bezugszeichen 10 versehene Kurve zeigt den zeitlichen Verlauf der Raumbelastung des Fermenters in Kilogramm organischer Trockensubstanz je Kubikmeter je Tag ( $\text{kg oTS/m}^3\text{d}$ ) und die mit dem Bezugszeichen 20 gekennzeichnete Kurve den zeitlichen Verlauf des gesamten erzeugten Biogases in Normliter (Gasvolumen bei 273,15 K und 1013 mbar) je Tag ( $\text{NI/d}$ ). Mit dem Bezugszeichen 30 ist der zeitliche Verlauf des 6-tägigen gleitenden Durchschnitts des gesamt erzeugten Biogases in  $\text{NI/d}$  gekennzeichnet und der zeitliche Verlauf der theoretischen Gasproduktion in  $\text{NI/d}$  ist durch das Bezugszeichen 40 markiert.

Im Unterschied zu der im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 3 beschriebenen Fermentierung wurde bei dem nachfolgend mit Bezug auf die Figuren 4 bis 6 diskutierten Fermentationsprozess erfindungsgemäß der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* dem Gärsubstrat zugesetzt. Die Zeitpunkte der Zugabe von *Clostridium sartagoformum* SBG1 sind durch mit dem Bezugszeichen 50 markierte Dreiecke auf der X-Achse gekennzeichnet.

In dem beschriebenen Ausführungsbeispiel wurde eine Reinkultur von *Clostridium sartagoformum* eingesetzt. Ebenso können aber auch Mischkulturen mit einem Anteil an *Clostridium sartagoformum* verwendet werden.

30

Ab dem Tag 215 wurde eine kontinuierliche Steigerung der Raumbelastung von ca.  $4,25 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$  auf ca.  $8,5 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$  am Tag 314 vorgenommen. Innerhalb dieses Zeitraums wurde mehrfach eine Reinkultur von *Clostridium sartagoformum* SBG1 zum Gärsubstrat hinzugegeben. Der Einbruch der Raumbelastung am Tag

266 ist auf ein technisches Problem zurückzuführen, das an diesem Tag zu einem Ausfall der Substratzufuhr in der Biogasanlage geführt hat.

Der erste Einsatz einer Reinkultur von *Clostridium sartagoformum* SBG1 erfolgte am Versuchstag 235. Zum Zeitpunkt der ersten Mikroorganismenzugabe wurde der Fermenter mit einer Raumbelastung von etwa 4,5 kg organischer Trockensubstanz/m<sup>3</sup> und Tag betrieben. Dazu wurde die Zellmasse aus 1l einer Vorkultur von *Clostridium sartagoformum* SBG1, die 5 Tage bei einer Temperatur von etwa 40°C inkubiert worden war, eingesetzt. Die Zellzahl dieser Vorkultur besaß eine Zelldichte von ca.  $2,0 \times 10^8$  Zellen/ml mit einem Anteil lebender Zellen von über 90%. Während die Zugabe zunächst im 1l-Maßstab zweimal wöchentlich erfolgte, wurde die Zugabemenge ab dem Versuchstag 277 verdoppelt, sodass zweimal wöchentlich eine Zugabe der Zellmasse aus 2l einer Vorkultur von *Clostridium sartagoformum* SBG1 erfolgte.

Ab Versuchstag 293 wurde dreimal wöchentlich Zellmasse aus 2l einer Vorkultur von *Clostridium sartagoformum* SBG1 zugegeben. Zudem wurde die Inkubationsdauer der Vorkultur auf mindestens 7 Tage ausgedehnt, wodurch die Zelldichte auf durchschnittlich  $1 \times 10^9$  Zellen/ml anstieg. Durch die Zugabe der Reinkulturen von *Clostridium sartagoformum* SGB1 konnte die Raumbelastung im weiteren Versuchsverlauf bis auf einen am Tag 314 erreichten Maximalwert von etwa 8,5 kg oTS/m<sup>3</sup>d gesteigert werden.

Parallel zur steigenden Raumbelastung konnte eine Steigerung des Biogasertrages beobachtet werden. Dabei war eine Übereinstimmung der erzeugten Biogasmenge in Normliter/Tag [Nl/d] mit der theoretischen Gasproduktion in Normliter/Tag [Nl/d] zu beobachten, wobei die erzeugte Biogasmenge etwa ab dem Tag 288 nahezu konstant über dem theoretisch zu erwartenden Biogasertrag lag. Dies ist auf die gesteigerte Zugabe der *Clostridium sartagoformum* SBG1-Reinkultur ab dem Tag 277 zurückzuführen.

Nach den Versuchstagen 290 und 308 ist zudem zu beobachten, dass der Gasertrag kurzzeitig deutlich über den theoretischen Wert anstieg, um sich anschließend der theoretischen Kurve wieder zu nähern. Diese Erhöhungen der

Biogasproduktion gehen einher mit einer jeweiligen Erhöhung der zugegebenen Mikroorganismenmenge. Daraus lässt sich schließen, dass nach einer Adaptionsphase, in der eine Grundkonzentration an Mikroorganismen aufgebaut werden muss, eine Erhöhung der Zellzahl zu einer Beschleunigung der Hydrolyse führt.

Figur 5 zeigt die zeitabhängige Entwicklung der Konzentrationen charakteristischer Carbonsäuren während des bereits in Zusammenhang mit Figur 4 beschriebenen Fermentationsprozesses. Gezeigt ist der zeitliche Verlauf des pH-Wertes (mit dem Bezugszeichen 60 gekennzeichnete Kurve), des Essigsäureäquivalents zur Bestimmung der flüchtigen Fettsäuren in [mg/l], markiert mit dem Bezugszeichen 70, der Essigsäurekonzentration in [mg/l] (mit dem Bezugszeichen 80 gekennzeichnete Kurve) und der Propionsäurekonzentration in [mg/l] (mit dem Bezugszeichen 90 gekennzeichnete Kurve).

Aus Figur 5 ist zu entnehmen, dass der pH-Wert während des Fermentationsprozesses konstant blieb und sich im neutralen bis leicht alkalischen Milieu zwischen pH 7 und 8 befand. Bereits zu Beginn des Fermentationsprozesses war ein drastischer Abfall der Konzentration des Essigsäureäquivalents, der Essigsäurekonzentration und der Propionsäurekonzentration zu erkennen. Insgesamt blieb die Fettsäurekonzentration dauerhaft niedrig und eine Anreicherung längererkettiger Fettsäuren konnte nicht beobachtet werden.

Weder die im Zusammenhang mit der Figur 4 bereits beschriebene drastisch gesteigerte Substratzufuhr noch die am Tag 266 ausgesetzte Substratzufuhr bewirkte auffällige Spitzen in der Konzentration der Carbonsäuren. Das bedeutet, dass die in der Hydrolyse und in der sich anschließenden Acido- und Acetogenese erzeugten Zwischenprodukte während der Methanogenese als letztem Schritt der Biogassynthese zu Biogas umgesetzt werden. Somit wurde gezeigt, dass die Fermentationsprozesse auch bei lang anhaltender hoher Belastung gut ablaufen, so dass keine Anreicherung von organischen Zwischenprodukten stattfindet und folglich eine Langzeitstabilität des Fermentationsprozesses gegeben ist.

Figur 6 zeigt den Trockensubstanzgehalt des Fermenterinhalts und die Raumbelastung während des bereits im Zusammenhang mit den Figuren 4 und 5 erläuterten Fermentationsprozesses. Gezeigt ist der zeitliche Verlauf der Raumbelastung in [kg oTS/m<sup>3</sup>d] (mit dem Bezugszeichen 10 gekennzeichnete Kurve), des prozentualen Trockensubstanzanteils (mit dem Bezugszeichen 110A gekennzeichnete Kurve) und des prozentualen Anteils der organischen Trockensubstanz (mit dem Bezugszeichen 110B gekennzeichnete Kurve).

Zum Zeitpunkt der ersten Zugabe einer Reinkultur von *Clostridium sartagoformum* SBG1 am Versuchstag 235 wurde der Fermenter mit einer Raumbelastung von etwa 4,5 kg organischer Trockensubstanz/m<sup>3</sup> und Tag betrieben. Die Raumbelastung der Anlage konnte infolge der Zugabe von *Clostridium sartagoformum* SBG1 weiter gesteigert werden. Dabei blieb der prozentuale Gehalt an Trockensubstanz beziehungsweise organischer Trockensubstanz nahezu konstant. Diese Beobachtung legt nahe, dass während der Fermentierung des Gärsubstrats keine Anhäufung von nicht-fermentierter organischer Trockensubstanz erfolgt. Die Zugabe von Reinkulturen von *Clostridium sartagoformum* SBG1 trägt also zu einer kontinuierlichen Umsetzung der enthaltenen Trockenmasse im Gärsubstrat bei, welche wiederum zu einer kontinuierlichen Fermentierung führt, indem die Anhäufung von Trockensubstanz vermindert wird.

In Phasen, in denen die Biogasanlage bei konstanter Raumbelastung betrieben wird, ist sogar eine Abnahme der Trockensubstanz zu beobachten, was darauf schließen lässt, dass die *Clostridium sartagoformum* SBG1-Mikroorganismen mit ihrer hydrolytischen Stoffwechselaktivität nicht nur die Anhäufung von Trockensubstanz im Fermenter vermindern, sondern auch die hydrolytische Umsetzung dieser Trockensubstanz verbessern.

Damit belegen die Figuren 4 bis 6 den positiven Effekt der Zugabe des hydrolytisch aktiven, fermentativen Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1 auf die Hydrolyse organischer Trockensubstanz. Durch die Zugabe von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* kann die Raumbelastung eines Fermenters unter ansonsten identischen Bedingungen von etwa 5,5 kg oTS/m<sup>3</sup>d auf rund 8,5 kg oTS/m<sup>3</sup>d, also um mehr als 50% gesteigert werden, ohne dass sich eine Instabilität

des Fermentationsprozesses auch nur andeuten würde. Parallel zu der erhöhten Raumbelastung wird die Menge an gebildetem Biogas mehr als verdoppelt. Zudem steigt die spezifische Ausbeute an Biogas an, da deutlich mehr der organischen Trockensubstanz abgebaut wird als bei fehlender Zugabe von Mikroorganismen der

5 Art *Clostridium sartagoformum*. Der Einsatz von Mikroorganismen der Art *Clostridium sartagoformum* führt zu einer dramatischen Verbesserung von Effizienz und Wirkungsgrad von Biogasanlagen.

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Erzeugung von Biogas aus Biomasse in einem Fermentierungsreaktor, dadurch gekennzeichnet, dass der Biomasse ein Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zugesetzt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in Form einer Kultur von Mikroorganismen zugesetzt wird, wobei der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-4}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-2}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 1% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 10% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 50% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum*

zumindest 75% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.

- 5 8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zumindest 90% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
- 10 9. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 2 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine Reinkultur des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zugesetzt wird.
- 15 10. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* der Biomasse als Bestandteil zumindest einer immobilisierten Kultur von Mikroorganismen zugesetzt wird.
- 20 11. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zeitnah zur Zugabe des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zusätzliche Biomasse in den Fermentierungsreaktor gegeben wird.
- 25 12. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Raumbelastung im Fermentierungsreaktor durch kontinuierliche Zugabe von Biomasse kontinuierlich gesteigert wird.
- 30 13. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung von Biogas aus Biomasse bei einer Raumbelastung von  $\geq 0,5 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$ , bevorzugt  $\geq 4,0 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$ , besonders bevorzugt  $\geq 8,0 \text{ kg oTS/m}^3\text{d}$ , durchgeführt wird.
14. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung von Biogas aus Biomasse unter konstanter Durchmischung des Gärsubstrats erfolgt.

15. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Erzeugung von Biogas aus Biomasse bei einer Temperatur von 20°C bis 80°C, bevorzugt bei einer Temperatur von 40°C bis 50°C durchgeführt wird.
16. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Zugabe von Gärsubstrat und die Zugabe des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* kontinuierlich erfolgen.
17. Verfahren nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben wird, dass nach Zugabe der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen 10<sup>-8</sup>% und 50% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht.
18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben wird, dass nach Zugabe der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen 10<sup>-6</sup>% und 25% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht.
19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben wird, dass nach Zugabe der Anteil des Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen 10<sup>-4</sup>% und 10% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht.
20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* in einer Menge zu dem Gärsubstrat zugegeben wird, dass nach Zugabe der Anteil des

Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zwischen  $10^{-3}\%$  und 1% der Gesamtzahl an in dem Gärsubstrat anwesenden Mikroorganismen ausmacht.

- 5    21. Verwendung eines Mikroorganismus der Art *Clostridium sartagoformum* zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse.
22. Stamm des Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* SBG1, der bei der DSMZ unter der Nr. 19861 hinterlegt ist.
- 10    23. Mikroorganismus mit einer Nukleinsäure, die eine Nukleotidsequenz aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,2% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.
- 15    24. Mikroorganismus nach Anspruch 23, dadurch gekennzeichnet, dass die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,4% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.
- 20    25. Mikroorganismus nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,6% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.
- 25    26. Mikroorganismus nach Anspruch 25, dadurch gekennzeichnet, dass die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,8% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.
- 30    27. Mikroorganismus nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich enthält, der mehr als 99,9% Sequenzidentität mit der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 aufweist.
28. Mikroorganismus nach Anspruch 27, dadurch gekennzeichnet, dass die Nukleotidsequenz einen Sequenzbereich enthält, der der Nukleotidsequenz SEQ ID Nr. 1 entspricht.

29. Kultur von Mikroorganismen geeignet zum Einsatz in einem Verfahren zur fermentativen Erzeugung von Biogas aus Biomasse, dadurch gekennzeichnet, dass in der Kultur von Mikroorganismen ein Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* gemäß den Ansprüchen 22 bis 28 anwesend ist, wobei der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-4}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
30. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 29, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest  $10^{-2}\%$  der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
31. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 1% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
32. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 31, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 10% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
33. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 32, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 25% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
34. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 33, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 50% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
35. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 34, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 75% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.

36. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 35, dadurch gekennzeichnet, dass der Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* zumindest 90% der Gesamtzahl an in der Kultur vorhandenen Mikroorganismen ausmacht.
- 5 37. Kultur von Mikroorganismen nach Anspruch 36, dadurch gekennzeichnet, dass es sich um eine Reinkultur des Mikroorganismus *Clostridium sartagoformum* handelt.
- 10 38. Kultur von Mikroorganismen nach zumindest einem der Ansprüche 29 bis 37, dadurch gekennzeichnet, dass es sich um eine immobilisierte Kultur von Mikroorganismen handelt.

1/3

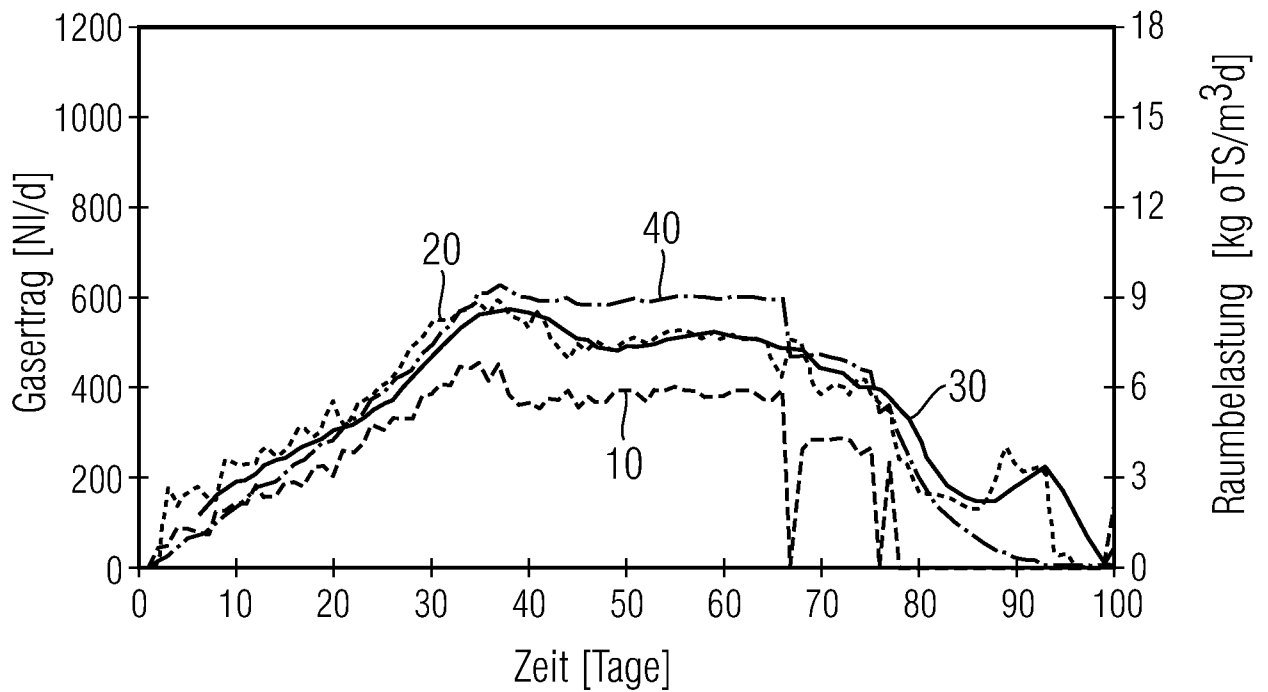


FIG 1

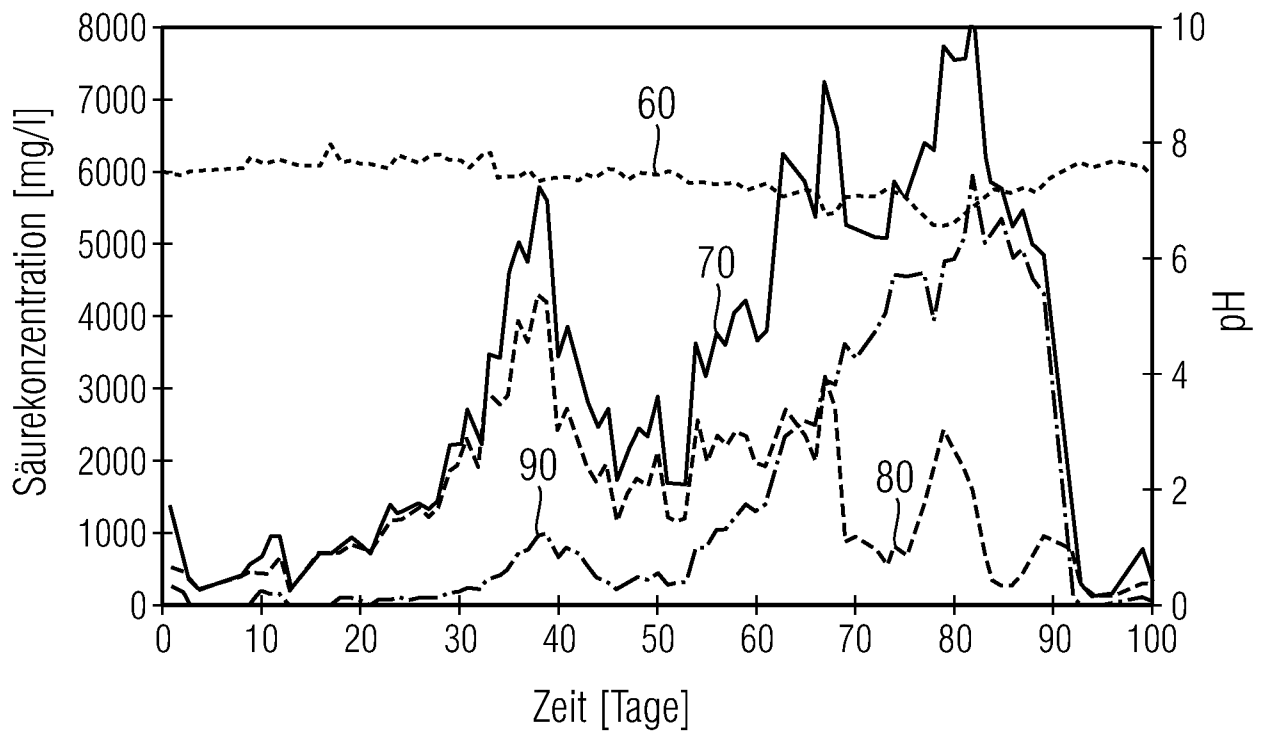


FIG 2

2/3

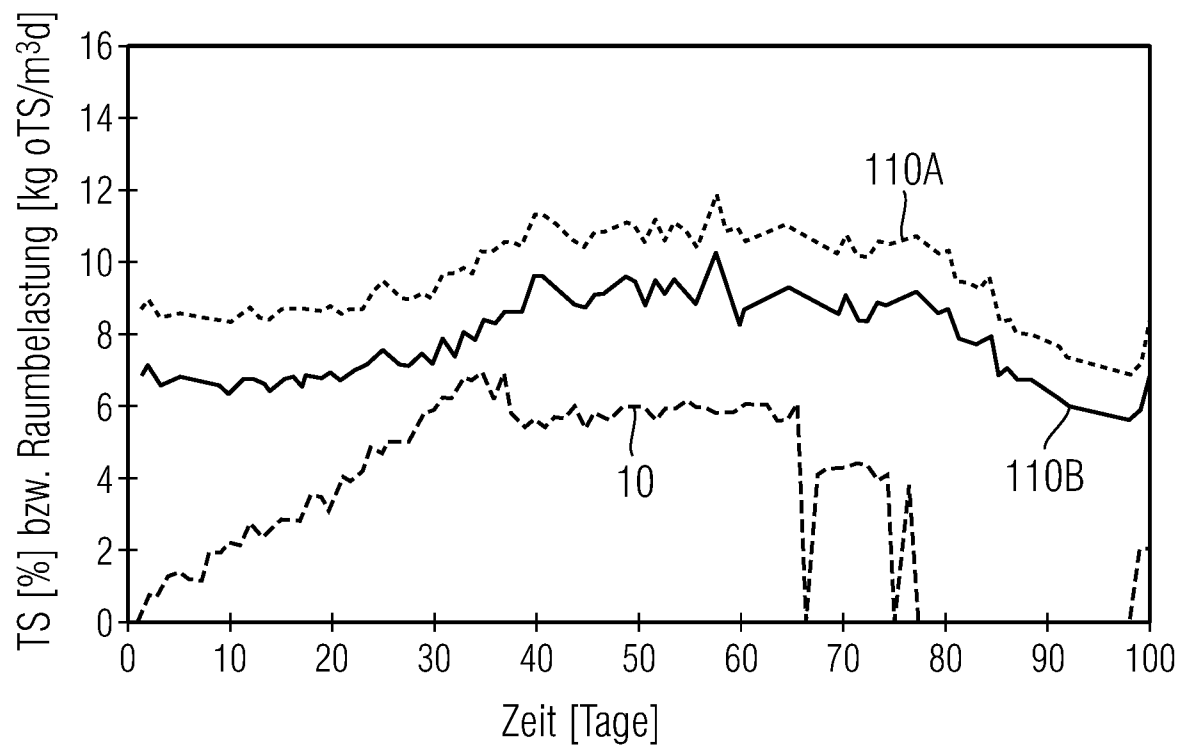


FIG 3

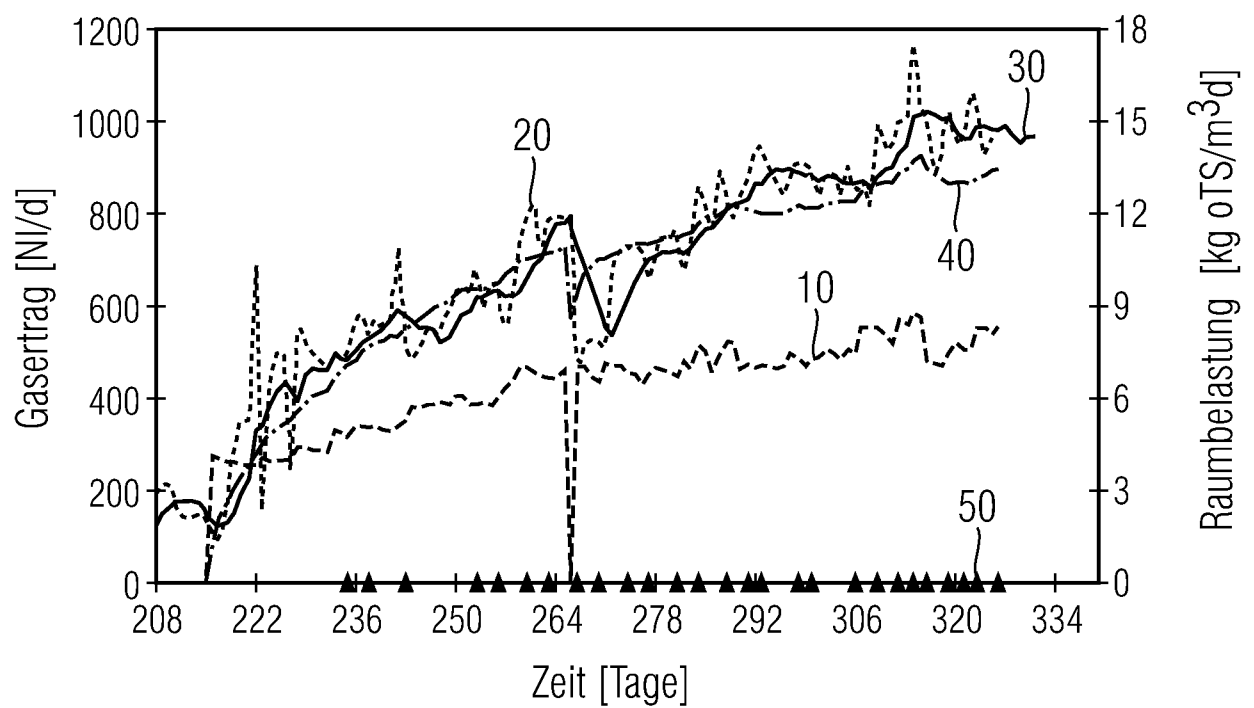


FIG 4

3/3

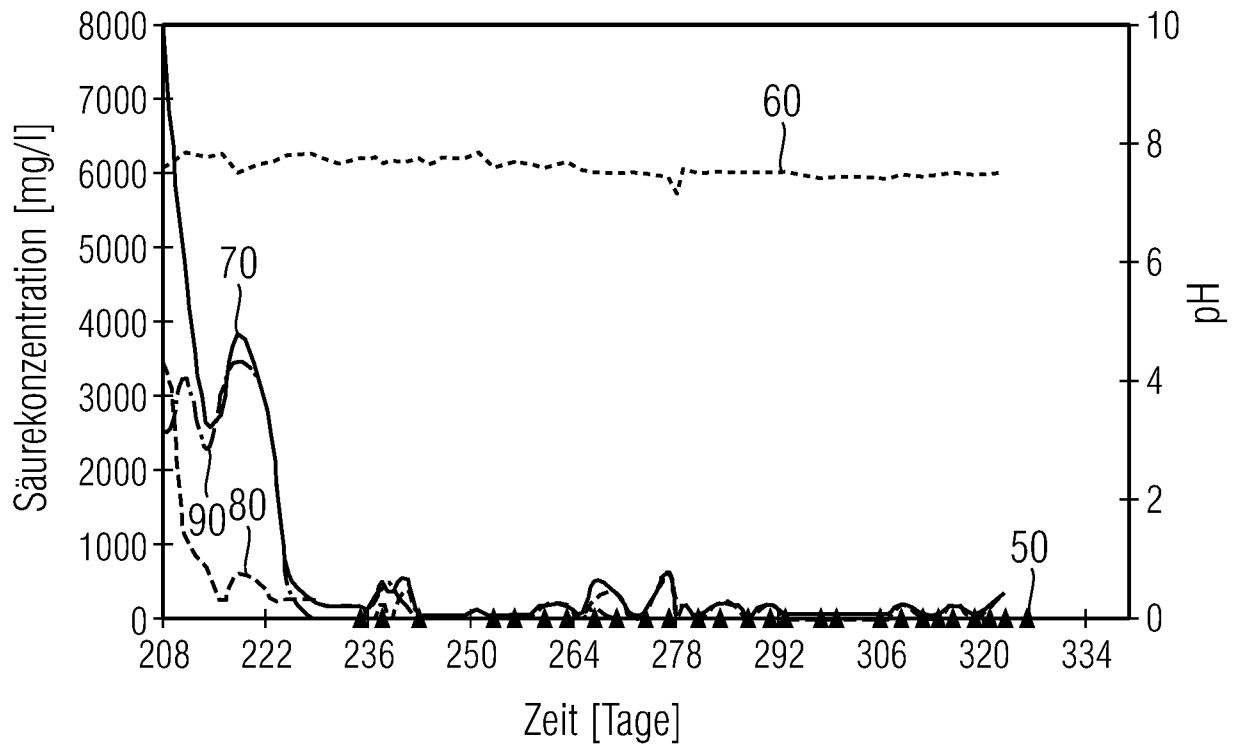


FIG 5

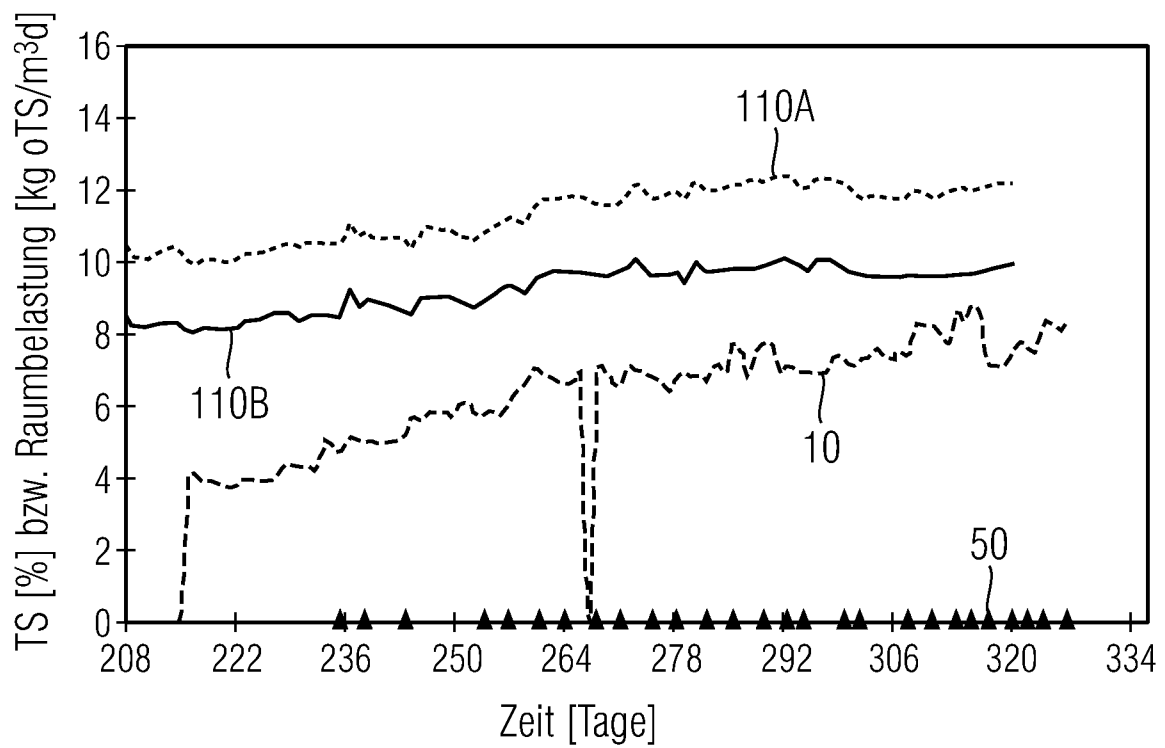


FIG 6