(19) Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2011 015 415 B4** 2018.11.15

(12) # Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2011 015 415.9**
(22) Anmeldetag: **29.03.2011**
(43) Offenlegungstag: **04.10.2012**
(45) Veröffentlichungstag der Patenterteilung: **15.11.2018**

(51) Int Cl.: ***C12P 5/02*** (2006.01)
C12M 1/107 (2006.01)
C10L 3/06 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Karlsruher Institut für Technologie, 76131 Karlsruhe, DE; Universität Hohenheim, 70599 Stuttgart, DE

(74) Vertreter:
Müller-Boré & Partner Patentanwälte PartG mbB, 80639 München, DE

(72) Erfinder:
Lemmer, Andreas, Dr., 70599 Stuttgart, DE; Zielonka, Simon, 70599 Stuttgart, DE; Oechsner, Hans, Dr., 72644 Oberboihingen, DE; Graf, Frank, Dr., 76131 Karlsruhe, DE; Reimert, Rainer, Prof. Dr., 65510 Idstein, DE; Bajohr, Siegfried, Dr., 69168 Wiesloch, DE

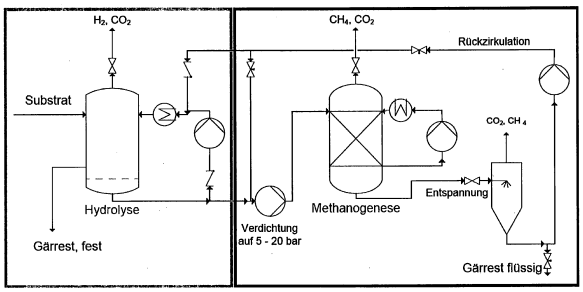
(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	**199 08 351**	**A1**
DE	**10 2008 038 502**	**A1**
DE	**10 2010 028 707**	**A1**
DE	**20 2008 008 335**	**U1**
EP	**2 503 002**	**A1**

NIZAMI, Abdul-Sattar; KORRES, Nicholas E.; MURPHY, Jerry D.: Review of the integraded process for the production of grass biomethane. In: Environmental Science and Technology, Vol. 43, 2009, No. 22, S. 8496-8508. - ISSN 0013-936X

(54) Bezeichnung: **Druckmethanisierung von Biomasse**

(57) Hauptanspruch: Verfahren zur Herstellung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-%, umfassend den Schritt des Umsetzens eines Perkolats durch methanogene Mikroorganismen zu Biogas,
wobei die Umsetzung in einem unter Überdruck betriebenen Reaktor durchgeführt wird,
wobei der Überdruck zumindest teilweise durch die Gasproduktion der methanogenen Mikroorganismen erzeugt wird,
wobei die Umsetzung zumindest teilweise bei einem Überdruck von 2 bis 100 bar durchgeführt wird,
wobei das Perkolat eine Flüssigkeit ist, welche organische Säuren, Alkohole und/oder lösliche Zucker enthält, und
wobei der Reaktor mit einem Druck betrieben wird, bei welchem die weitere Aufbereitung des Biogases und/oder dessen Einspeisung in das Erdgasnetz ohne weitere Verdichtung erfolgen kann.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-% mittels einer Druck-Methanogenese, als auch einen zur Durchführung der Druck-Methanogenese geeigneten Hochlast-Reaktor.

[0002] Biogas wird heute bereits in technischem Maßstab in vielen Anlagen produziert. In weit über 95 % dieser Biogasanlagen wird das produzierte Biogas in unmittelbarer Nähe zum Erzeugungsort in einem Block-Heiz-Kraftwerk (BHKW) in Strom und Wärme umgewandelt. Während die produzierte elektrische Energie vollständig in das öffentliche Stromnetz eingespeist und damit genutzt werden kann, stehen die zur Nutzung der produzierten Wärme notwendigen Wärmesenken nur partiell zur Verfügung.

[0003] Mit dem Erdgasnetz steht prinzipiell ein in Europa sehr gut verzweigtes Transportmedium zur Verfügung, mit dem Gase von dem Ort der Erzeugung zum Ort der Nutzung transportiert werden können. Biorohgas ist jedoch wassergesättigt und enthält neben dem Energieträger Methan (CH_4) beträchtliche Mengen an Kohlenstoffdioxid (CO_2 bis 50 Vol-%) und Schwefelwasserstoff (H_2S). Daher muss es vor der Einspeisung in das öffentliche Erdgasnetz aufbereitet werden, um die in den DVGW-Arbeitsblättern G 260 und G 262 geforderten Grenzwerte für die Gasbeschaffenheit in der öffentlichen Gasversorgung einhalten zu können. Aufbereitung und Einspeisung des Biogases erfolgt am Ort der Erzeugung. Die Entnahme des Gases aus dem Erdgasnetz und dessen Verwertung, beispielsweise in einem BHKW, kann dann an einen Verbraucher mit ganzjährig hohem Wärmebedarf erfolgen, so dass ein sehr hoher Gesamtnutzungsgrad erreicht wird. Die Erzeugung und Einspeisung von SNG (Substitute Natural Gas) in das Erdgasnetz der öffentlichen Gasversorgung stellt damit eine zukunftsfähige Alternative der Nutzung von Biomasse dar. Die Aufbereitung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz führt zu einer zeitlichen und räumlichen Entkopplung von Erzeugung und Nutzung und trägt dazu bei, die Gesamteffizienz der energetischen Biomassenutzung zu erhöhen.

[0004] Die Einspeisung von aufbereitetem Biogas in das Erdgasnetz wurde bereits von einigen Energieversorgungsunternehmen in Deutschland realisiert und weitere Einspeiseprojekte sind deutschlandweit geplant. In den bisherigen Anlagenkonzepten erfolgen die Biorohgaserzeugung und die Aufbereitung des Rohgases (CO_2, H_2S und Wasserdampfentfernung) in getrennten Anlagen. Häufig werden zur Biorohgaserzeugung einphasige, bei atmosphärischen Bedingungen betriebene Nass- oder Trockenfermenter genutzt. Die Abtrennung des CO_2 und H_2S erfolgt daran anschließend in getrennten Anlagen.

[0005] Die anaerobe Konversion von Biomasse zu Biogas verläuft über vier Abbauschritte (Hydrolyse, Acidogenese, Acetogenese, Methanogenese) (vgl. Sahm, H.: Biologie der Methan-Bildung, Chem.-Ing. Tech 53 (1981) Nr. 11, Weinheim: Verlag Chemie GmbH, 2001, S. 854-863). Dabei werden Hydrolyse und Acidogenese von den sog. primären Gärern, die Acetatbildung von den sekundären Gärern durchgeführt. Der letzte der Abbauschritte, die Methanbildung, erfolgt durch die methanogenen (Mikro)organismen (Methanogene), die zur Gruppe der Archaea (Archaebakterien) gehören (vgl. Fuchs, G. (Hrsg): Allgemeine Mikrobiologie, Stuttgart u. New York: Thieme-Verlag, 2007, 8. Auflage). Unter allen Lebewesen nehmen die Methanogenen eine Sonderstellung ein. Viele ihrer Stoffwechselprozesse können nur mit Hilfe von Coenzymen ablaufen, die bei anderen Mikroorganismen nur sehr vereinzelt eine Rolle spielen. Aufgrund dieser einzigartigen Stoffwechselprozesse stellen die methanogenen Organismen besondere Ansprüche an die Milieubedingungen, um optimale Umsatzleistungen erzielen zu können. Diese Milieuanforderungen unterscheiden sich grundlegend von denen der sog. primären und sekundären Gärern, also von den Mikroorganismen, deren Stoffwechselendprodukte u.a. die organischen Säuren, Alkohole bzw. das Acetat sind. Aus diesem Grund ist eine Zweiteilung des Biogasprozesses von Vorteil.

[0006] Im Rahmen verschiedener Forschungsprojekte an dem Institut für Agrartechnik (ATB) in Potsdam-Bornim (vgl. Schönberg, M., Linke, B.: Vergärung von Roggen-Ganzpflanzensilage in einer zweiphasigen Prozessführung. Wie viel Biogas steckt in Pflanzen? Abschluss-Symposium des Biogas Crops Network (BCN). Potsdam Bornim: Leibnitz-Institut für Agrartechnik Potsdam Bornim e.V.; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 68, 2009, S. 114-125), der Brandenburgisch-Technischen-Universität (BTU) in Cottbus (vgl. Busch, G., Buschmann, J.: Vergärung von Maissilage in einer zweiphasigen Prozessführung - Forschungsergebnisse und Erfahrungen bei der praktischen Umsetzung in technischen Anlagen. Wie viel Biogas steckt in Pflanzen? Abschluss-Symposium des Biogas Crops Network (BCN). Potsdam Bornim: Leibnitz-Institut für Agrartechnik Potsdam Bornim e.V.; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 68, 2009, S. 153-168) und der Universität Hohenheim (vgl. Zielonka, S.; Lemmer, A.; Oechsner, H.; Jungbluth, T.: Vergärung von Grassilage in einer zweiphasigen Prozessführung. Wie viel Biogas steckt in Pflanzen? Abschluss-Symposium des Biogas Crops Network (BCN). Potsdam Bornim: Leibnitz-Institut für Agrartechnik Potsdam Bornim e.V.; Bornimer Agrartechnische Berichte, Heft 68, 2009, S. 140-152) wurden in den vergangenen Jahren Untersuchungen zur zweiphasigen Vergärung von Ener-

giepflanzen durchgeführt. Dabei zeigte sich, dass die Trennung der Phasen es ermöglicht, für die Methanbildung Hochleistungs-Festbettreaktoren, die bisher ausschließlich in der anaeroben Abwasserreinigung installiert werden, einzusetzen und damit den Prozess gegenüber herkömmlichen Fermentationsverfahren zu intensivieren. Diese Hochleistungsreaktoren erreichen gegenüber konventionellen einphasigen Fermentern eine bis um den Faktor 5,9 höhere Raumbelastung (bis 29,5 kg CSB / m^3*d), so dass sehr hohe reaktorspezifischen Methanbildungsraten erreicht werden können (vgl. Bischofsberger W., Dichtl N., Rosenwinkel K.-H., Seyfried C. F., Böhnke B.: Anaerobtechnik, Springer Verlag Berlin, Heidelberg 2005, 2. Auflage).

[0007] DE 199 08 351 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Einrichtung zur Bereitstellung von Biogas aus einer Biogasanlage mit einem Reaktionsraum und einem Gasspeicher.

[0008] DE 10 2010 028 707 A1 beschreibt ein Verfahren und eine Anlage zur Perkolation von festen biogenen Stoffen in einem zwei- oder mehrstufigen Biogasverfahren, wobei das in der Hydrolysestufe gebildete Methan einer energetischen Nutzung zugeführt wird und vom energetisch nicht nutzbaren CO_2, welches bei der Hydrolyse entsteht, weitgehend befreit wird.

[0009] DE 20 2008 008 335 U1 beschreibt einen Reaktor zur Erzeugung von Biogas aus Biomasse, welcher einen gasdichten Faulbehälter und eine Biogasentnahmeeinrichtung umfasst.

[0010] DE 10 2008 038 502 A1 beschreibt ein Verfahren zur Erzeugung von Biogas aus einem Gärsubstrat, welches faserförmige lignocellulosehaltige Rohstoffe enthält.

[0011] EP 2 503 002 A1 stellt Stand der Technik nach § 3(2) PatG dar und offenbart ein Verfahren zur Herstellung von Methangas aus Pennisetum, das Verfahren umfassend einen Schritt (iiia) oder (iiib) der Fermentation von Pennisetum unter Normal- oder Unterdruck sowie ein Verfahren zur Herstellung von Synthesegas, umfassend einen Schritt (ii) des Herstellens einer Vergasungsmasse durch Entwässern, gefolgt von einem Schritt (iii) des Vergasens zu Synthesegas unter Überdruck.

[0012] NIZAMI, Abdul-Sattar; KORRES, Nicholas E.; MURPHY, Jerry D.; Review of the integrated process for the production of grass biomethane. In: Environmental Science and Technology, Vol. 43, 2009, No. 22, S. 8496-8508. - ISSN 0013-936X beschreibt die Herstellung von Biomethan aus Gras.

[0013] Die etablierte Technologie zur Erzeugung von Biogas besitzt zwei entscheidende Nachteile. Einerseits ist der CO_2-Gehalt im Biorohgas sehr hoch und erfordert daher einen beträchtlichen Aufwand für die Gasreinigung. Andererseits muss das nahezu drucklos anfallende Biorohgas vor der Aufbereitung und der Einspeisung in das Erdgasnetz in der Regel auf Drücke zwischen 4 und 16 bar verdichtet werden, was einen weiteren technischen und energetischen Aufwand mit sich bringt.

[0014] Daher liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren bereitzustellen, welches die Herstellung von Biogas mit einem besonders hohen Methangehalt ermöglicht, wodurch eine Aufarbeitung des Biogases vor der Einspeisung in beispielsweise ein Erdgasnetz verringert oder vermieden werden kann, als auch einen zur Durchführung des Verfahrens geeigneten Reaktor bereitzustellen.

[0015] Diese Aufgabe wird gemäß der vorliegenden Erfindung durch die in den Ansprüchen gekennzeichneten Ausführungsformen gelöst.

[0016] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-%, wobei das Verfahren den Schritt des Umsetzens eines Perkolats durch methanogene Mikroorganismen zu Biogas umfasst, wobei die Umsetzung in einem unter Überdruck betriebenen Reaktor durchgeführt wird, und wobei der Überdruck zumindest teilweise durch die Gasproduktion der methanogenen Mikroorganismen erzeugt wird.

[0017] Gemäß der vorliegenden Erfindung unterliegt der Begriff „Biogas“ keiner spezifischen Einschränkung und schließt sämtlichen Gase und Gasgemische, insbesondere Methan-haltige Gasgemische, ein, welche durch fermentative Umsetzung von Biomasse durch Mikroorganismen gewonnen werden können. Dabei ist der hierin verwendete Begriff „Biomasse“ nicht auf ein bestimmtes Substrat beschränkt, sondern schließt sämtliche Substrate und deren Kombinationen ein, welche zur Gewinnung von Biogas verwendet werden können. Beispiele für Biomasse sind sämtliche Energiepflanzen, wie Mais, Gräser, Getreide oder Zuckerrüben, als auch tierische Exkremente, wie Gülle oder Festmist. Ebenso können biogene Rest- und Abfallstoffe wie Speisereste, Flotatfette u.ä. Ausgangsstoffe der Biogasbildung darstellen.

[0018] Der Begriff „Perkolat“ wie hierin verwendet unterliegt keiner spezifischen Einschränkung und schließt sämtliche Stoffe oder Stoffgemische ein, welche durch methanogene Mikroorganismen zumindest teilweise zu Methan umgesetzt werden können.

[0019] Dabei kann ein erfindungsgemäßes Perkolat beispielsweise eine wässrige Lösung verschiedener organischer Verbindungsklassen sein.

[0020] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist das im wie vorstehend definierten Verfahren verwendete Perkolat eine Flüssigkeit, welche organische Säuren, Alkohole und/oder (vorzugsweise in polaren Lösungsmitteln wie Wasser) lösliche Zucker enthält. Gemäß einer spezifischen Ausführungsform enthält das im erfindungsgemäßen Verfahren verwendete Perkolat u.a. Essigsäure und/oder Acetat, und/oder längerkettige organische Säuren und/oder deren Salze und/oder Alkoholverbindungen und/oder gelöste Zuckerverbindungen.

[0021] Der Begriff „Mikroorganismen“ schließt gemäß der vorliegenden Erfindung sämtliche in der fermentativen Verarbeitung von Biomasse verwendbaren Mikroorganismen ein. Der Begriff beinhaltet in seiner allgemeinen Form sowohl primäre und sekundäre Gärer als auch methanogene Mikroorganismen, d.h. solche Mikroorganismen, deren Stoffwechselprodukte beispielsweise organische Säuren, Alkohole, lösliche Zucker und insbesondere Essigsäure und Acetate sind, als auch Methan erzeugende Mikroorganismen. Der Ausdruck „methanogene Mikroorganismen“ bezieht sich gemäß der vorliegenden Erfindung auf sämtliche Mikroorganismen, die befähigt sind, (Fermentationsprodukte von) Biomasse zumindest teilweise zu Methan umzuwandeln. Dabei schließt der Ausdruck „methanogene Mikroorganismen“ solche Mikroorganismen ein, die entweder autark oder unter Mitwirkung weiterer Substanzen oder Mikroorganismen eine wie vorstehend erwähnte Produktion von Methan bewirken können.

[0022] Der Begriff „Überdruck“ wie hierin verwendet schließt sämtliche Drücke oberhalb des Standarddrucks von 1 bar ein. Dabei beinhaltet der Ausdruck „unter Überdruck betrieben“ auch Ausführungsformen, in welchen der Überdruck nur in bestimmten Phasen der Methanogenese anliegt. Beispielsweise schließt dieser Ausdruck auch eine Ausführungsform ein, gemäß welcher der anfängliche Druck zum Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Reaktors dem Umgebungsdruck entspricht und erst im Laufe der Methanogenese zunimmt.

[0023] Der Überdruck wird gemäß dem vorstehend definierten Verfahren zumindest teilweise durch die methanogenen Mikroorganismen selbst erzeugt, sodass eine Verdichtung durch beispielsweise Pumpen oder Kompressoren in der Regel entfallen kann. Gemäß einer spezifischen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Überdruck ausschließlich durch die beteiligten methanogenen Mikroorganismen erzeugt. Dabei bedeutet der Ausdruck „ausschließlich“, dass außer der zur Überwindung der Druckdifferenz beim Einfüllen der Flüssigkeit der Hydrolysestufe in den Methanogenese-Reaktor nötigen Pumparbeit keinerlei zusätzliche Verdichtungsarbeit geleistet wird.

[0024] Der Ausdruck „Reaktor“ ist gemäß der vorliegenden Erfindung nicht spezifisch eingeschränkt und schließt sämtliche Reaktionsgefäße ein, welche im vorstehend erwähnten Verfahren eingesetzt werden können. Ein im erfindungsgemäßen Verfahren verwendbarer (Hochlast-)Reaktor ist somit lediglich dahingehend eingeschränkt, dass dieser unter Überdruck im Sinne der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann. Der im erfindungsgemäßen Verfahren verwendbare Reaktor ist bezüglich der Betriebsart in keiner Weise eingeschränkt und kann beispielsweise im Batch-Betrieb (diskontinuierlich) als auch kontinuierlich verwendet werden. Um eine möglichst hohe fermenterspezifische Methanproduktivität zu erreichen, ist die Verwendung eines Reaktors mit einem System der Biomasseanreicherung vorgesehen. Als Reaktorsysteme kommen dabei beispielsweise Festbett-, Fließbett- und UASB-Reaktoren in Frage, einschließlich sämtlicher vergleichbarer oder kombinierter Systeme.

[0025] Das vorstehend definierte Verfahren erlaubt die Herstellung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-%. Gemäß einer spezifischen Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist das derart hergestellte Biogas einen Methangehalt von mindestens 85 Vol.-%, mindestens 90 Vol.-% oder mindestens 95 Vol.-% auf.

[0026] Eine weitere Ausführungsform betrifft ein Verfahren wie vorstehend definiert, wobei der Reaktor kontinuierlich betrieben wird.

[0027] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Umsetzung bei einem Überdruck von 2 bis 100 bar durchgeführt. Durch die Verwendung eines wie vorstehend erwähnten Überdrucks kann ein Bio(roh)gas mit einem besonders hohen Methangehalt erhalten werden. Darüber hinaus kann hierdurch die zur Einspeisung in ein Gasnetz erforderliche Verdichtung bereits im Verlauf der Methanogenese durchgeführt werden. Dabei kann die Umsetzung in einem zur unmittelbaren Einspeisung geeigneten Druckbereich stattfinden und an die Erfordernisse des jeweiligen Gasnetzes, beispielsweise Verteilernetze, Mitteldrucknetze oder Ferngasleitungen, angepasst werden. Gemäß der vorliegenden Erfindung wird die Umsetzung bei einem Überdruck von 2 bis 100 bar, bei einem Überdruck von 2 bis 50 bar oder bei einem Überdruck von 2 bis 10 bar durchgeführt, wobei gemäß weiterer Ausführungsformen die Untergrenze des Druckbereichs 5, 10, 20 oder 30 bar betragen kann, während die Obergrenze 100, 80, 50 oder 40 bar betragen kann. Gemäß einer spezifischen Ausführungsform wird die Umsetzung bei einem Überdruck von 4 bis 16 bar durchgeführt.

[0028] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird der Reaktor zudem mit einem Druck betrieben, bei welchem die weitere Aufbereitung des Biogases und/oder dessen Einspeisung in das Erdgasnetz ohne weitere Verdichtung erfolgen kann. Ein solcher Druck liegt beispielsweise in einem Bereich von 2 bis 100 bar, 2 bis 50 bar, oder 2 bis 10 bar, wobei gemäß weiterer Ausführungsformen die Untergrenze des Druckbereichs 5, 10, 20 oder 30 bar betragen kann, während die Obergrenze 100, 80, 50 oder 40 bar betragen kann.

[0029] Das im Methanreaktor gewonnene methanreiche Biogas kann, sofern für die weitere Verwendung notwendig, aufgrund des hohen Drucks während der Fermentation ohne weitere Verdichtung einer nachfolgenden Aufbereitung zugeführt werden. Eine genügende Reinheit vorausgesetzt, kann das Gas des Methanreaktors auch direkt in das Erdgasnetz eingespeist oder als Kraftstoff verwendet werden.

[0030] Der pH-Wert des verwendeten Perkolats, das dem Methanreaktor zugeführt wird, liegt in einem Bereich von 3,5 bis 8,0, vorzugsweise in einem Bereich von 4,0 bis 7,0 und mehr bevorzugt in einem Bereich von 4,5 bis 6,5. Der Methanreaktor wird dagegen bei einem pH-Wert in einem Bereich von 6,5 bis 8,5, vorzugsweise in einem Bereich von 6,7 bis 8,2 und mehr bevorzugt in einem Bereich von 6,8 bis 8,0 betrieben.

[0031] Gemäß einer weiteren Ausführungsform wird das im vorstehend definierten Verfahren verwendete Perkolat durch ein Verfahren erhalten, welches die Schritte (a) Bereitstellen von Biomasse in einem Fermenter, (b) Durchführen einer fermentativen Umsetzung der Biomasse durch Mikroorganismen und (c) Abtrennen der nicht oder nicht vollständig fermentierten Faser- und Gerüstsubstanzen der Biomasse, um ein flüssiges Perkolat zu erhalten, umfasst.

[0032] Das Verfahren zum Erhalten des Perkolats wie vorstehend definiert ist nicht spezifisch eingeschränkt und kann sowohl als einstufiges Verfahren im gleichen Reaktor wie die Methanogenese, als auch getrennt als erste Stufe eines zweistufigen Verfahrens durchgeführt werden. Die Auslegung als zweistufiges Verfahren ist gemäß der vorliegenden Erfindung bevorzugt, da hierdurch jeweils separat ideale Reaktionsbedingungen (beispielsweise bezüglich pH-Wert, Temperatur, usw.) jeweils für die Perkolat-Herstellung (Hydrolyse, Acidogenese und Acetogenese), als auch die Methanogenese eingestellt werden können. Zudem kann durch die zweiphasige Prozessführung das Volumen des Methanreaktors reduziert werden.

[0033] Eine weitere Ausführungsform betrifft ein wie vorstehend definiertes Verfahren, wobei der Fermenter zur Perkolatgewinnung ein kontinuierlich oder diskontinuierlich beschickter Feststoff-, Trocken- oder Flüssigkeitsreaktor ist.

[0034] Des Weiteren betrifft die vorliegende Erfindung ein wie vorstehend definiertes Verfahren, wobei der pH-Wert im Fermenter beispielsweise kleiner als 7 ist. Insbesondere liegt der pH-Wert im Fermenter zur Perkolatgewinnung in einem Bereich von 3,5 bis 8,0, vorzugsweise in einem Bereich von 4,0 bis 7,0 und mehr bevorzugt in einem Bereich 4,5 bis 6,5.

[0035] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft ein wie vorstehend definiertes Verfahren, wobei die Faserabtrennung in Schritt (c) innerhalb und/oder außerhalb des Fermenters mittels Bioleaching und/oder physikalischer Trennung durchgeführt wird.

[0036] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist der Begriff „Bioleaching“ in keiner spezifischen Weise eingeschränkt und betrifft im Allgemeinen eine drucklose Siebabtrennung. Das Bioleaching kann beispielsweise in dem Fermenter zur Perkolatherstellung oder separat davon durchgeführt werden. Ebenso ist der hierin verwendete Begriff „physikalische Trennung“ nicht spezifisch eingeschränkt uns schließt sämtliche physikalischen Trennverfahren ein, welche geeignet sind, Feststoffe von Flüssigkeiten voneinander zu trennen. Beispielsweise können im Rahmen der vorliegenden Erfindung Filter- oder Siebsysteme oder Pressschneckenseparatoren als physikalische Trennmittel eingesetzt werden.

[0037] Eine spezifische Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft ein wie vorstehend definiertes Verfahren zur Herstellung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-%, wobei das Verfahren zwei Phasen umfasst, wobei die erste Phase die Schritte (a) Bereitstellen von Biomasse in einem Fermenter, (b) Durchführen einer fermentativen Umsetzung der Biomasse durch Mikroorganismen und (c) Abtrennen der nicht oder nicht vollständig fermentierten Faser- und Gerüstsubstanzen der Biomasse, um ein flüssiges Perkolat zu erhalten, umfasst, und wobei die zweite Phase die Schritte (d) Umsetzen des unter Schritt (c) erhaltenen Perkolats in einem unter Überdruck betriebenen Reaktor zu Biogas, wobei der Überdruck zumindest teilweise durch die Gasproduktion der methanogenen Mikroorganismen erzeugt wird und (e) Isolieren des unter Schritt (d) erzeugten Biogases aus dem Reaktor, umfasst.

[0038] Ein weiterer Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft einen Reaktor zur Durchführung einer Druck-Methanogenese aus einem Perkolat, wobei der Reaktor derart eingerichtet ist, dass er mit einem Überdruck von 2 bis 100 bar, mit einem Überdruck von 2 bis 50 bar oder mit einem Überdruck von 2 bis 10 bar betrieben wird, wobei gemäß weiterer Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Reaktors die

Untergrenze des Betriebsdruckbereiches 5, 10, 20 oder 30 bar betragen kann, während die Obergrenze 100, 80, 50 oder 40 bar betragen kann.

[0039] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft einen Reaktor wie vorstehend definiert, wobei der Reaktor eine Vorrichtung zur Biomassenanreicherung umfasst.

[0040] Eine weitere Ausführungsform der vorliegenden Erfindung betrifft die Verwendung eines wie vorstehend definierten Reaktors in einem Verfahren wie vorstehend definiert.

[0041] Die Figuren zeigen:

Fig. 1 zeigt einen beispielhaften schematischen Aufbau einer zweistufigen Anlage zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei in der ersten Stufe (Hydrolyse, Acidogenese und Acetogenese) das Perkolat erhalten wird. In der zweiten Stufe wird das Perkolat durch methanogene Mikroorganismen unter Überdruck zu Biogas mit einem hohen Methangehalt umgewandelt.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm, in welchem die Abhängigkeit des pH-Werts vom CO_2-Partialdruck, jeweils in Wasser und einer Ammoniak-Lösung, dargestellt wird.

Fig. 3 zeigt die ein Diagramm, welches die Gaszusammensetzung in einer mesophilen Druckfermentation bei 37°C und mit dem Gesamtdruck p_{MR} im Reaktor darstellt.

[0042] Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt die besonders effiziente Herstellung von Biogas mit einem vorteilhaften hohen Methangehalt von mindestens 80 Vol.-% durch Druck-Methanogenese. Hierdurch wird ermöglicht, das ein Großteil des durch die Mikroorganismen erzeugten CO_2-Gases (und H_2S-Gases) in Lösung, d.h. in der Fermentationsflüssigkeit, bleibt, sodass eine üblicherweise erforderliche Aufbereitung des Biorohgases verzichtbar wird oder mit deutlich verringertem Aufwand möglich ist. Darüber hinaus liegt das durch das erfindungsgemäße Verfahren erhältliche Biogas bereits in komprimierter Form vor, dass eine entsprechende energieaufwändige Komprimierung zur unmittelbaren Einspeisung beispielsweise in Erdgasnetze nicht mehr erforderlich ist. Der zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens erforderliche Überdruck wird dabei von den methanogenen Mikroorganismen im Wesentlichen selbst erzeugt, wobei der Überdruck überraschenderweise keinen negativen Einfluss auf die Aktivität/Produktivität/Konversionsleistung dieser Mikroorganismen bzgl. der Methanogenese hat.

[0043] Das erfindungsgemäße Verfahren bietet bezüglich der Erzeugung und Aufbereitung zahlreiche Vorteile. Zum Einen kann durch die bei erhöhtem Druck ablaufende Methanogenese die Reinigung und Einspeisung von Biogas in das Erdgasnetz wesentlich energieeffizienter durchgeführt werden, da keine Nachverdichtung nötig ist und der Methangehalt bereits nach der Methanisierungsstufe deutlich höher liegt als bei herkömmlichen Verfahren. Die Druckerhöhung wird dabei im Wesentlichen oder ausschließlich durch die Gasproduktion der Mikroorganismen realisiert. Darüber hinaus kann beispielsweise durch die Trennung von Versäuerung (Hydrolyse und Acidogenese) und Methanogenese eine Prozessintensivierung im Vergleich zur herkömmlichen einstufigen Fermentation realisiert werden, wobei die Raumbelastung um den Faktor von etwa 6 gesteigert werden kann. Daher können die notwendigen Fermenter- bzw. Reaktorvolumina im Gegensatz zu einphasigen Systemen deutlich reduziert werden.

[0044] Im Folgenden wird die vorliegende Erfindung anhand von Beispielen weiter erläutert, ohne hierauf beschränkt zu sein.

Beispiel 1: Druckfermentation
- Einfluss auf den pH-Wert

[0045] Durch einen erhöhten CO_2-Partialdruck kommt es zu einem Absinken des pH-Wertes in der Fermentationsflüssigkeit. Als wässrige Lösung läuft darin die Kohlensäurereaktion und -dissoziation ab:

$$CO_{2,aq} + H_2O \leftrightarrow H_2CO_3$$

$$H_2CO_3 + H_2O \leftrightarrow HCO_3^- + H_3O^+$$

$$HCO_3^- + H_2O \leftrightarrow CO_3^{2-} + H_3O^+$$

[0046] In **Fig. 2** ist der pH-Wert mit den CO_2-Partiatdruck p_{CO2} gezeigt. Links in Wasser und rechts in einer mit 0,8 g/l Ammoniak gepufferten wässrigen Lösung. Dies ist ein für die Mikroorganismen unbedenkliche Konzentration, die typischerweise in bisherigen Versuchen der Landesstelle für Agrartechnik und Bioenergie aufgetreten ist.

[0047] Durch die interne NH_3/NH_4^+-Pufferung sinkt der pH-Wert also auch für hohe CO_2 Partialdrücke nicht unterhalb des optimalen pH-Bereiches für die Methanbildung im Bereich von 6,7 bis 7,8.

Beispiel 2: Druckfermentation - Methananreicherung

[0048] Der erhöhte Fermentationsdruck hat auch direkt positive Auswirkungen auf die Gaszusammensetzung, da die Fermentationsflüssigkeit wie eine Druckwasserwäsche oder eine schwache chemische Wäsche wirkt. Dies liegt an der höheren physikalischen Löslichkeit von Kohlenstoffdioxid im Vergleich zu Methan in wässrigen Lösungen. Durch die Kohlen-

säurereaktion wird ein Teil des CO_2 zusätzlich chemisch als Kohlensäure gespeichert und so aus dem Gasstrom entfernt. Dadurch kann eine Erhöhung des Methananteils im Biogas bis über 90 mol-% erreicht werden.

[0049] Die Methananreicherung in Abhängigkeit der Drucks im Reaktor ist der **Fig. 3** zu entnehmen. Dabei liegt eine konstante Gasproduktion vor.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Herstellung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-%, umfassend den Schritt des Umsetzens eines Perkolats durch methanogene Mikroorganismen zu Biogas,
wobei die Umsetzung in einem unter Überdruck betriebenen Reaktor durchgeführt wird,
wobei der Überdruck zumindest teilweise durch die Gasproduktion der methanogenen Mikroorganismen erzeugt wird,
wobei die Umsetzung zumindest teilweise bei einem Überdruck von 2 bis 100 bar durchgeführt wird,
wobei das Perkolat eine Flüssigkeit ist, welche organische Säuren, Alkohole und/oder lösliche Zucker enthält, und
wobei der Reaktor mit einem Druck betrieben wird, bei welchem die weitere Aufbereitung des Biogases und/oder dessen Einspeisung in das Erdgasnetz ohne weitere Verdichtung erfolgen kann.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Perkolat durch ein Verfahren erhalten wird, umfassend die Schritte:
(a) Bereitstellen von Biomasse in einem Fermenter,
(b) Durchführen einer fermentativen Umsetzung der Biomasse durch Mikroorganismen und
(c) Abtrennen der nicht oder nicht vollständig fermentierten Faser- und Gerüstsubstanzen der Biomasse, um ein flüssiges Perkolat zu erhalten.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der Fermenter ein kontinuierlich oder diskontinuierlich beschickter Feststoff-, Trocken- oder Flüssigreaktor ist.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, wobei der pH-Wert im Fermenter kleiner als 7 ist.

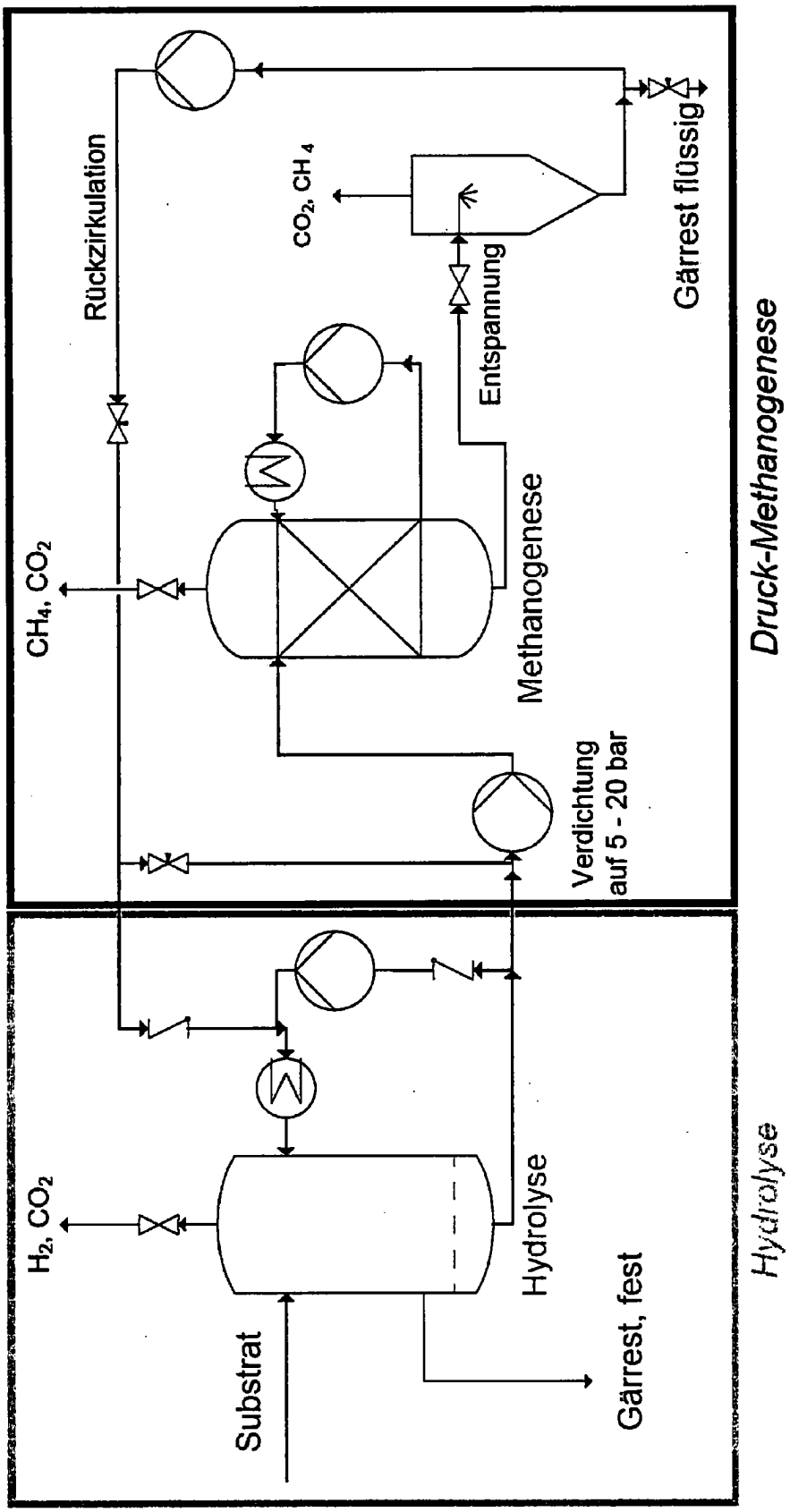
5. Verfahren zur Herstellung von Biogas mit einem Methangehalt von mindestens 80 Vol.-%, nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei das Verfahren zwei Phasen umfasst,
wobei die erste Phase die Schritte umfasst:
(a) Bereitstellen von Biomasse in einem Fermenter,
(b) Durchführen einer fermentativen Umsetzung der Biomasse durch Mikroorganismen und
(c) Abtrennen der nicht oder nicht vollständig fermentierten Faser- und Gerüstsubstanzen der Biomasse, um ein flüssiges Perkolat zu erhalten, und
wobei die zweite Phase die Schritte umfasst:
(d) Umsetzen des unter Schritt (c) erhaltenen Perkolats in einem unter Überdruck betriebenen Reaktor zu Biogas, wobei der Überdruck zumindest teilweise durch die Gasproduktion der methanogenen Mikroorganismen erzeugt wird und
(e) Isolieren des unter Schritt (d) erzeugten Biogases aus dem Reaktor.

6. Reaktor zur Durchführung einer Druck-Methanogenese aus einem Perkolat, wobei der Reaktor derart eingerichtet ist, dass er mit einem Druck von 2 bis 100 bar betrieben wird.

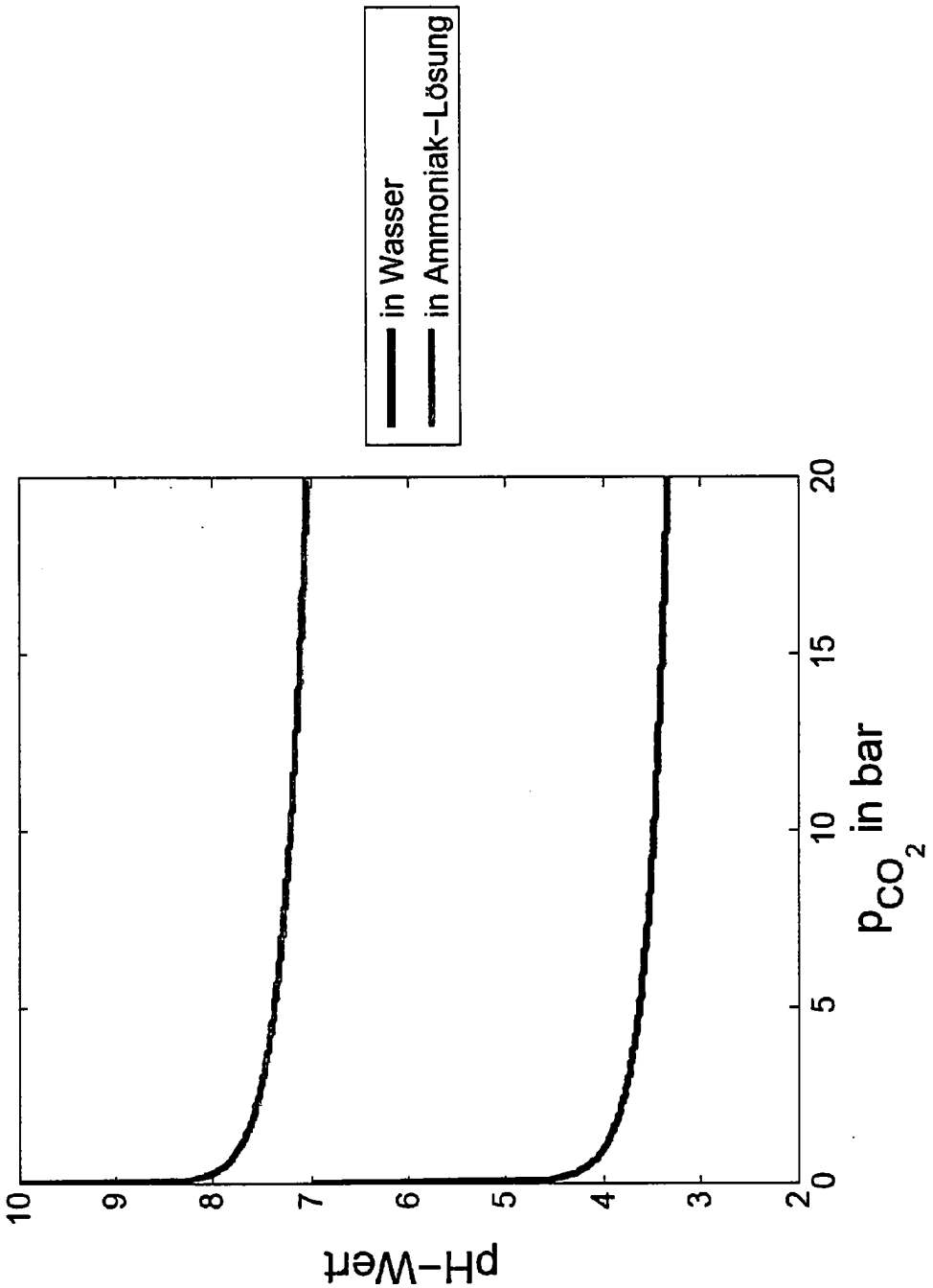
7. Reaktor nach Anspruch 6, wobei der Reaktor ein Festbett-, Fließbett- oder UASB-Reaktor ist.

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

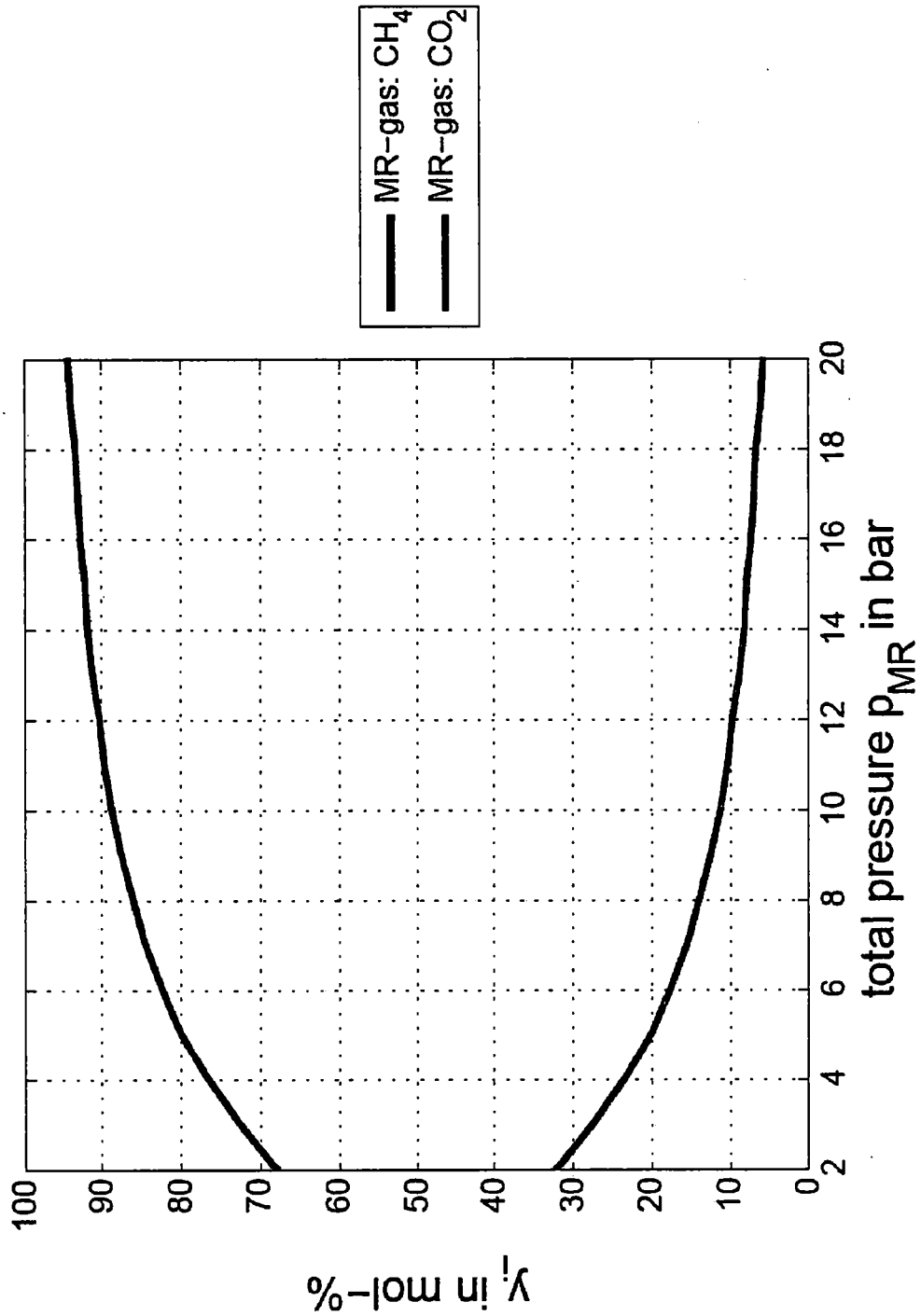
Anhängende Zeichnungen



Figur 1


in Wasser
in Ammoniak-Lösung
pH-Wert
10
9
8
7
6
5
4
3
2
0
5
10
15
20
p_{CO_2} in bar

Figur 2


MR-gas: CH_4
MR-gas: CO_2
y_i in mol-%
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
2
4
6
8
10
12
14
16
18
20
total pressure p_{MR} in bar

Figur 3