



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
BUNDESAMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

⑪ **CH 656 641 A5**

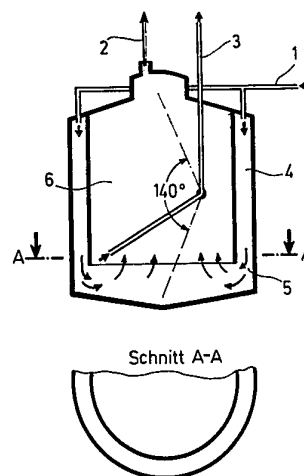
⑤① Int. Cl.4: C 12 P 5/02
C 12 M 1/00
C 02 F 11/04

⑫ **PATENTCHRIFT** A5

⑳ Gesuchsnummer:	214/82	㉚ Inhaber:	Messerschmitt-Bölkow-Blohm Gesellschaft mit beschränkter Haftung, München (DE)
㉑ Anmeldungsdatum:	14.01.1982		
㉓ Priorität(en):	28.01.1981 DE 3102739	㉛ Erfinder:	Brand, Rolf August, Ottobrunn (DE)
㉔ Patent erteilt:	15.07.1986		
㉞ Patentschrift veröffentlicht:	15.07.1986	㉜ Vertreter:	Bovard AG, Bern 25

⑤④ **Verfahren und Vorrichtung zur anaeroben Aufbereitung pflanzlicher und tierischer Biomasse.**

⑤⑦ Zur anaerobischen Aufbereitung einer Biomasse wird sie über eine Einlassleitung (1) in einen ringförmigen ersten Bereich (4) eines Reaktorbehälters eingeführt. Der Reaktorbehälter besitzt einen zweiten Bereich (5), der sich unterhalb des ersten Bereiches befindet. Über dem zweiten Bereich und vom ersten Bereich umschlossen ist ein dritter Bereich (6) vorhanden, der mit dem zweiten Bereich in Verbindung steht. Im ersten Bereich (4) wird die Biomasse mit säurebildenden Bakterien behandelt. Der zweite Bereich (5) dient für die Essigsäurebildung. Im dritten Bereich (6) erfolgt die Methanbildung. Das Verhältnis des Volumens des ersten und zweiten Bereiches zum dritten Bereich ist etwa 1:10. Das Methangas wird über einen Gasaustritt (2) aus dem Reaktorbehälter abgeführt. Über eine in den zweiten und dritten Bereich schwenkbare Auslassleitung (3) wird die abgebaute Biomasse aus dem Reaktorbehälter entfernt. Durch die oben angegebenen Massnahmen wird der Prozessablauf zuverlässiger und die Abbaugeschwindigkeit gesteigert.



PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur anaeroben Aufbereitung pflanzlicher und tierischer Biomasse, bestehend aus organischen Materialien mit relativ hohem Molekulargewicht, bei dem in einem Reaktorraum die hochmolekularen organischen Materialien durch Bakterienstämme in organische Materialien mit niedrigem Molekulargewicht und diese in niedere organische Säuren und unter Bildung von H_2 und CO_2 in Essigsäure übergeführt werden und dann die entstehenden Substanzen durch methanbildende Bakterien in CH_4 und CO_2 umgewandelt werden, dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorraum eine volumenmässige Aufteilung von Säurephase und Methanphase im Verhältnis von 1:10 erfolgt, wobei in dem abgeteilten Raum für die Säurephase die abgebauten Produkte nach unten sinken und durch eine offene Verbindung in den Fermentationsraum für die Methanbildung gelangen.

2. Bioreaktor zur Durchführung des Verfahrens nach Anspruch 1, mit Einlassleitungen (1) für die zu behandelnde organische Substanz, einem Gasaustritt (2) und einem aus allen Reaktorbereichen möglichen Austrag (3) für den Rest der ganz oder teilweise abgebauten Biomasse, gekennzeichnet durch einen Bereich (4) für die Behandlung der Biomasse mit säurebildenden Bakterien unter Einschluss eines unterhalb liegenden Bereiches (5) für die Essigsäure und einem damit in offener Verbindung stehenden Bereich (6) für die Methanbildung, wobei das Verhältnis des säurebildenden Bereiches zu dem methanbildenden Bereich bei 1:10 liegt.

3. Bioreaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass an der Aussenseite der Bereich (4) für die Säurebildung in Form eines Ringraumes angeordnet ist, der mit den Einlassleitungen (1) verbunden ist, dieser Bereich (4) in den Bereich (5) als Bodenraum für die Essigsäure einmündend gestaltet ist und dieser nach oben in offener Verbindung mit einem zentralen Raum (6) für die Methanbildung, der nach aussen hin von dem Bereich (4) umgeben ist, stehend ist.

4. Bioreaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Bereich (4) für die Säurebildung in Form mehrerer röhrenförmiger, mit den Einlassleitungen (1) verbundener Einzelabteile gestaltet ist, die nach unten in den Bereich (5) des Bodenraums für die Essigsäure offen und so über diesen Bodenraum mit dem übrigen, nach oben sich hin erstreckenden Bereich (6) für die Methanbildung verbunden sind.

5. Bioreaktor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass in ihm ein mit der Einlassleitung (1) verbundener Bereich (4) für die Säurebildung in Form eines Einzelabteils angeordnet ist, der nach unten in den Bereich (5) des Bodenraums für die Essigsäure offen ist und so über diesen Bodenraum mit dem übrigen, nach oben hin sich erstreckenden Bereich (6) für die Methanbildung verbunden ist, und bei dem eine wärmeisolierte Biogas-Speicherfolie (7) über den gesamten, oben geöffneten Bioreaktor gespannt ist.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur anaeroben Aufbereitung pflanzlicher und tierischer Biomasse, bestehend aus organischen Materialien mit relativ hohem Molekulargewicht, bei dem in einem Reaktorraum die hochmolekularen organischen Materialien durch Bakterienstämme in organische Materialien mit niedrigem Molekulargewicht und diese in niedere organische Säuren und unter Bildung von H_2 und CO_2 in Essigsäure übergeführt werden und dann die entstehenden Substanzen durch methanbildende Bakterien in CH_4 und CO_2 umgewandelt werden.

Insgesamt sind weltweit erhebliche Mengen von organischen Materialien, auch Abfall, vorhanden, die derzeit noch ungenutzt sind oder beseitigt werden müssen, die aber zur Er-

zeugung von Energie und Rohstoffen herangezogen werden können.

Bisher bekannt sind z.B. Methoden zur Behandlung von biochemischem Abfall durch Verbrennen, durch den aeroben oder anaeroben Abbau, durch Rückgewinnung oder durch Ablagern in das Meer. Abfälle und tierische Exkremente des landwirtschaftlichen Bereichs werden üblicherweise auf den Feldern ausgebracht. Es ist jedoch bekannt, dass durch diese Behandlungsformen eine sekundäre Umweltverschmutzung verursacht wird. Aufgrund von verschärften Bestimmungen hinsichtlich der Rückgewinnung bzw. Wiederverwendung und des Verbringens in das Meer hat sich in Teilbereichen das Verbrennungsverfahren weitgehend durchgesetzt. Dieses Verfahren ist jedoch von verschiedenen Problemen begleitet, wie die Behandlung des Rauchs, dem schlechten Geruch und den bei der Verbrennung gebildeten Aschen.

Biochemischer Abfall, wie Belebtschlamm, ist bereits durch anaerobe Stabilisierungsverfahren behandelt worden. Es ist bekannt, dass die anaeroben Stabilisierungsverfahren eine Reaktionsfolge umfassen, die zwei Hauptreaktionen einschliesst. Genauer gesagt umfassen sie eine «Säurefermentation», bei der die Molekulargewichte der organischen Substanzen in dem Abfall durch anaerobe Säure-Fermentations-Bakterien (Säurebildner oder Fäulnisbakterien) vermindert und die organischen Substanzen in niedermolekulare, organische Säuren, wie Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure, umgewandelt werden, und eine «Methan-Fermentation», bei der die in dieser Weise gebildeten Säuren durch Methan-Fermentations-Bakterien (Methanbildner oder methanbildende Bakterien) in $Methan + CO_2$ umgewandelt werden.

Üblicherweise wird ein solches Verfahren in Einphasenreaktoren durchgeführt, d.h. bei der üblichen Durchführung der anaeroben Stabilisierungsverfahren laufen beide Phasen, nämlich die Säurefermentation und die Methanfermentation im gleichen Reaktor in der gleichen physikalischen Umgebung nebeneinander ab. Hierbei tritt aber die Gefahr der Übersäuerung auf, da die Säurebildung im Methanbereich erfolgt.

Um dies zu verhindern, hat man bereits auch vorgeschlagen, das gesamte Verfahren in zwei Stufen durchzuführen, indem man nämlich den Säurebereich räumlich vom Methanbereich trennt. Dies führt aber zur Erhöhung der H_2 -Konzentration im Saurereaktor, wodurch die Essigsäurebildung zum Erliegen kommt. (H_2 -Inhibition). In der ersten Stufe werden nämlich aus den zuerst gebildeten Säuren schliesslich insbesondere Essigsäure gebildet und die Essigsäure bildenden Bakterien sind gegen eine Überkonzentration von H_2 sehr empfindlich. Essigsäure, H_2 und CO_2 sind jedoch Ausgangsprodukte der Methanbakterien für die Methanproduktion, so dass bei einer Übersäuerung die Methanproduktion auch zum Erliegen kommt.

Eine bekannte Form der Betriebsstörung, insbesondere beim einstufigen Methangärprozess ist das Absinken des pH-Werts unter eine für die Methanbakterien zulässige Grenze. Hauptursache dafür ist ein vergleichsweise zu schnelles Wachstum der Säurebakterien. Dies kann z.B. die Folge einer vorübergehenden Stoffwechselhemmung der Methanbakterien oder eines zu grossen Eintrags an frischer Abfallmasse, d.h. Biomasse sein.

Einstufenverfahren (Säure-, Essigsäure- und Methanbildner befinden sich in einem Reaktorraum) neigen dabei zur eskalierenden Übersäuerung. Das liegt daran, dass die säurebildenden Bakterien gegenüber äusseren Einflüssen relativ unempfindlich und von anderen Bakterien unabhängig sind, während die Essigsäure- und Methanbakterien aufeinander angewiesen und überaus empfindlich sind. Säure, d.h. die zuerst gebildeten Säuren, kann in Essigsäure bei Abwesenheit

von Methanbakterien aufgrund der H_2 -Inhibition nur bis zu einer bestimmten H_2 -Konzentration abgebaut werden. Hat die Säureanreicherung erst begonnen, so hemmt diese zunehmend den Stoffwechsel der Methanbakterien, deren Teilungsrate zudem nur etwa 1/10 der der Säurebakterien beträgt. Durch den reduzierten Stoffwechsel der Methanbakterien wird weniger H_2 abgebaut, wodurch die H_2 -Konzentration im Substrat ansteigt. Dadurch wird der Stoffwechsel der Essigsäurebakterien gehemmt und kommt schliesslich zum Erliegen. Die Essigsäure wird jedoch für den Metabolismus der Methanbakterien benötigt.

Nur, wenn der Vorgang der Übersäuerung rechtzeitig erkannt wird, kann ein Umkippen (Übersäuern) im Reaktor durch Abbrechen des Substrateintrags verhindert werden.

Ein weiterer bekannter Nachteil des Einstufenverfahrens sind unterschiedliche Einflüsse des Substrats in den einzelnen Abbauphasen auf die unterschiedlichen Gruppen der Mikroorganismen. Es werden z.B. Inhibitoren mit dem Substrat eingetragen (O_2 als Inhibitor für Methanbakterien) oder diese entstehen während des Abbaus (H_2 als Inhibitor für Essigsäurebakterien). Ausserdem können die optimalen physikalischen Lebensbedingungen, die sich bei den einzelnen Bakteriengruppen unterscheiden, beim Einstufenverfahren nicht berücksichtigt werden.

Diese beim Einstufenverfahren unvermeidlichen Nachteile begrenzen die theoretische Gasausbeute des Einstufenverfahrens auf 2 m³ Biogas (Methan + CO₂) pro m³ Faulraumvolumen, die unter optimalen Bedingungen erreichbar sind (normal sind 1 m³ Biogas/m³ Faulraumvolumen).

Es wurde nun gefunden, dass durch die Trennung der einzelnen Abbauphasen, aber anders als in dem bisher bekannten Zweistufenverfahren, ein Vielfaches dieser Gasausbeute in einem einzigen Reaktor zu erreichen ist. Die Trennung der Säurephase von der Methanphase wird hierbei ermöglicht, aber es wird so vorgegangen, dass bei der Essigsäurebildung, bei der auch H_2 und CO₂ entstehen, H_2 -zehrende Methanbakterien zur Verringerung des H_2 -Partialdrucks anwesend sind. Auf diese Weise wird eine Kontrolle des Säureeintrags in den Methanbereich des Reaktors ermöglicht und gleichzeitig die H_2 -Inhibition der acetogenen Bakterien vermieden. Dadurch wird der Prozessablauf zuverlässig und die Abbaurates gesteigert.

Das erfindungsgemässe Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass in dem Reaktorraum eine volumenmässige Aufteilung von Säurephase und Methanphase im Verhältnis von 1:10 erfolgt, wobei in dem abgeteilten Raum für die Säurephase die abgebauten Produkte nach unten sinken und durch eine offene Verbindung in den Fermentationsraum für die Methanbildung gelangen.

Der Bioreaktor zur Durchführung des erfindungsgemässen Verfahrens mit Einlassleitungen für die zu behandelnde organische Substanz, einem Gasaustritt und einem aus allen Reaktorbereichen möglichen Austrag für den Rest der ganz oder teilweise abgebauten Biomasse ist gekennzeichnet durch einen Bereich für die Behandlung der Biomasse mit säurebildenden Bakterien unter Einschluss eines unterhalb liegenden Bereichs für die Essigsäure und einem damit in offener Verbindung stehenden Bereich für die Methanbildung, wobei das Verhältnis des säurebildenden Bereichs zu dem methanbildenden Bereich bei 1:10 liegt.

Drei Ausführungsformen eines solchen Reaktors sollen nun anhand der Figuren 1, 2 und 3 geschildert werden.

Normalerweise wird der Reaktor folgendermassen betrieben:

Biomasse (Polymere, wie Kohlehydrate, Fette, Eiweiss), die auf die optimale Temperatur (etwa 30 °C) der 1. Abbaustufe (fermentative Stufe) gebracht wurde, wird oben über die Einlassleitung (1) in den Fermentationsraum (4) eingetragen, in dem die Polymeren in Monomere und danach im wesentlichen in Fettsäure, CO₂ und H_2 abgebaut werden. Während dieses Abbauprozesses sinken die Abbauprodukte dieser Stufen in den nach unten offenen Teil (5) dieses Fermentationsraums im Übergang zu dem Boden des Reaktors und nehmen etwa die Temperatur des methanbildenden Bereiches an (etwa 35 °C). Da, wie gesagt, der Fermentationsraum bei (5) unten offen ist, wird auf diese Weise der Eintritt der abgesunkenen Abbauprodukte dieser Stufen (im wesentlichen Essigsäure, H_2 und CO₂) in den Fermentationsraum (6) ermöglicht, in dem die Methanbildung erfolgt.

In diesem Fall entstehen Methan und CO₂, also Biogas, das am Reaktordom durch die Leitung (2) ausgetragen wird. Nach der Methangärung abgebautes Substrat kann aus allen Bereichen des Reaktors mittels der schwenkbaren Austragleitungen (3) ausgetragen werden.

Die Aufteilung des Reaktorraums in Fermentationsräume kann auf unterschiedliche Weise bewerkstelligt werden. Wesentlich ist dabei nur, dass die Volumina im umgekehrten Verhältnis zu den Abbauraten der Prozessstufen

Säure + Essigsäurebildung/Methanbildung stehen. Dieses umgekehrte Verhältnis beträgt normalerweise 1/10.

Beispiele für die Möglichkeiten der Aufteilung des Reaktorraums in die betreffenden Fermentationsräume sind in den Figuren 1, 2 und 3 angegeben.

In Fig. 1 findet die Säuregärung in einem Ringraum (4) statt, wie dies auch der Querschnitt an der Stelle AA zeigt, der nach unten offen ist, so dass die abgesunkenen Produkte, die im wesentlichen aus Essigsäure, CO₂ und H_2 bestehen, in Berührung mit der Methanbildungszone (6) kommen, die von dem Ringraum umgeben wird. Diesen Methanbildungsraum bestreicht eine Auslassleitung (3), die zum Austragen der abgebauten Biomasse aus allen Bereichen bestimmt ist.

In Fig. 2 sind verschiedene röhrenförmig ausgebildete Fermentationsräume in dem übrigen Reaktorraum vorgesehen, in der die Säurebildung stattfindet. Dies ist auch gut aus dem gleichfalls in Fig. 2 aufgeführten Schnitt AA durch den Reaktorraum zu ersehen. Diese röhrenförmigen Fermentationsräume stehen bei (5) in offener Verbindung mit dem Boden des Reaktorraums, so dass die abgesunkenen Produkte, insbesondere Essigsäure, H_2 und CO₂, in Berührung mit dem übrigen methanbildenden Bereich stehen. Zum Austrag der abgebauten Biomasse aus allen Reaktorbereichen ist wiederum eine schwenkbare Auslassleitung (3) vorgesehen.

In Fig. 3 ist ein Einzelabteil (4), das mit Einlassleitungen (1) versehen ist, vorgesehen, in dem die Säurebildung bei (5) stattfindet und über diesen Abschnitt (5) mit dem übrigen Reaktorraum (6) in Verbindung steht. Dieser Reaktorraum (6) ist nach oben hin offen und von einer wärmeisolierenden Biogas-Speicherfolie (7) überwölbt, unter der sich das entstandene Biogas (2) sammelt.

Für die durch die Figuren dargestellten Ausführungsformen gilt natürlich die oben angegebene Bedingung, dass die Volumina im umgekehrten Verhältnis zu den Abbauraten der Prozessstufen Säure + Essigsäurebildung/Methanbildung stehen soll. Dieses umgekehrte Verhältnis beträgt normalerweise 1/10.

