



Advanced Renewable Energy Systems
Forschungs- und Entwicklungsgesellschaft für
regenerative Energieerzeugungsanlagen



Physiologisches Institut
Tierärztliche Hochschule Hannover

Verfahrenstechnische und mikrobiologische Optimierung der stofflichen Umsetzung von primär cellulosehaltigen Reststoffen

1) Der Stand der Technik und seine Nachteile

Pflanzliche Biomasse besteht zu einem sehr hohen Anteil aus Zellwänden. Ihre Hauptbestandteile sind Cellulose, Hemicellulosen und Lignin. Die Umsetzung dieser Substanzen zu Biogas durch klassische Biogasanlagen ist bisher unbefriedigend. Derzeit installierte Anlagen zur Gasproduktion aus Biomasse nutzen in der Regel lediglich die in der Phytomasse vorhandenen Zucker, Stärke, Proteine und Fette. Zudem erfordert der Prozess lange Verweilzeiten im Gärbehälter im Bereich von ca. 30-120 Tagen. Hieraus resultiert zugleich die erhebliche Größe der Reaktoren, da angesichts der langen Verweilzeiten ein entsprechendes Reaktorvolumen bereitgestellt werden muss. Verschärft wird die Situation zusätzlich durch den begrenzten Trockensubstanzanteil je Kubikmeter Reaktorvolumen, da die Masse rühr- bzw. pumpfähig bleiben muss. Wesentliche Biomassenstoffströme (Stroh, Grasschnitte, etc.) sind mit den herkömmlichen Verfahren insofern nicht sinnvoll für die Bioenergienutzung erschließbar. Außerdem fallen selbst beim Einsatz von Ganzpflanzensilagen und vergleichbaren Materialien erhebliche Mengen faserhaltiger Gärrückstände an, da die cellulosehaltigen Substratkomponenten nicht effektiv abgebaut werden. Diese Mengen an unvergorenen Gärrückständen sind von nicht unerheblicher Bedeutung. So bleiben beispielsweise beim Einsatz von Mais-Ganzpflanzensilage, als einem der Standardsubstrate der Biogasgewinnung, etwa 20-25 Prozent der eingesetzten Biomasse als Rückstand zurück. Generell zeigen alle in der Praxis ermittelten Daten zum Gasertrag, dass die erzielbare Gasmenge je Tonne Substrat in negativer Korrelation zu deren Celluloseanteil steht.

Bereits seit mehreren Jahren werden daher verschiedene alternative Verfahren zur Hydrolyse von Cellulose in Betracht gezogen, wobei auch das Vorbild des Pansens als Möglichkeit zu einer Abkürzung der Gärzeiten diskutiert und in Versuchen erprobt wurde. Dabei wurden in der Regel lediglich die Mikroorganismen bzw. die Partikel des Pansens in herkömmliche Anlagenkonzepte eingebracht und eine kurzfristige Verbesserung beobachtet. Das von Natur aus effiziente Stoffwechselprinzip des Pansens wurde nicht übertragen.

Die Idee, die Mikrobiologie des Pansens zur Umsetzung von Cellulose einzusetzen, ist insofern nicht neu. Jedoch traten dabei stets Probleme auf, die einem kontinuierlichen Anlagenbetrieb bei gleichzeitiger Nutzung der besonderen Vorteile der Pansenbiologie entgegenstanden. Aus diesem Grunde konnten sich

entsprechende Vorschläge im Hinblick auf eine Änderung des technischen Verfahrens der Biogasgewinnung bisher nicht durchsetzen. Die Gründe hierfür sind vielfältiger Art, angefangen von der Systemarchitektur der Anlagen bis zur Prozessführung.

Nunmehr steht jedoch eine Reaktorstruktur zur Verfügung, deren Einsatz seit Mai 2008 einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb ermöglicht. Ausgehend von einer geringen Menge Panseninhalt als Startinokulum (ca. 400 Liter Panseninhalt auf ca. 5 m³ Reaktorvolumen) ist es gelungen, die Mikroorganismenkulturen des Pansens außerhalb des lebenden Tieres zu kultivieren und in einen kontinuierlichen Anlagenbetrieb zu integrieren.



Blick auf die Pilotanlage.
Vorne liegend: der künstliche Pansen,
dahinter der Reaktor zur
Fettsäurevergärung

2) Das Vormagensystem der Wiederkäuer – Ein hocheffizientes natürliches Vorbild und seine technologische Umsetzung

Den zentralen Ausgangspunkt des zweistufigen Verfahrens bildet u.a. die technologische Nachahmung des Vormagens (Rumen) der Wiederkäuer. Zwar wird auch in der einschlägigen Fachliteratur immer wieder die klassische Biogasanlage mit einem Pansen verglichen, jedoch ist diese Aussage sachlich unzutreffend.



Die Innenwand des Pansens mit ihren zahlreichen Zotten zur Vergrößerung der Oberfläche der Magenwand und zur Steigerung der Resorptionsrate der mit Fettsäuren angereicherten Pansenflüssigkeit. Deutlich erkennbar: die Schlundöffnung.

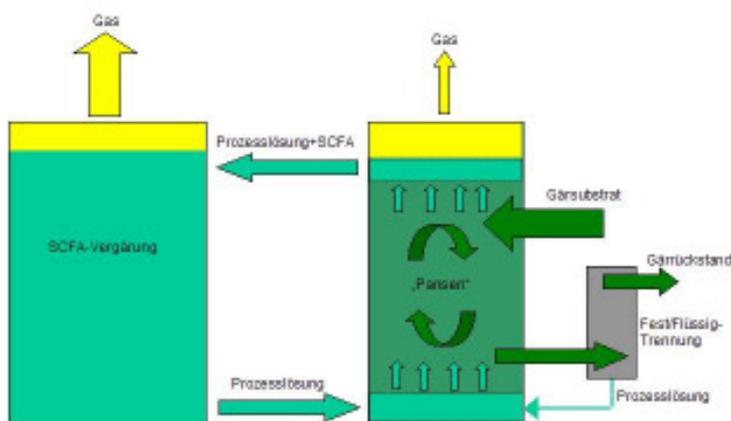
In physiologischer Hinsicht stammen die Mikroorganismen, welche in herkömmlichen Biogasanlagen die stoffliche Umwandlung der Gärsubstrate zu Biogas bewerkstelligen, aus den zum Einsatz gelangenden tierischen Exkrementen und entsprechen daher im Wesentlichen der Mikrobiologie des Dickdarms. Die üblicherweise verwendeten Kulturen haben ihren Ursprung daher am Ende des

Verdauungssystem, in welchem eine geringere Stoffwechselaktivität vorliegt als in den Vormagenabteilungen. Als besonders problematisch erweist sich ferner, dass die vom Tier zusammen mit seinen Exkrementen ausgeschiedenen Kulturen nur noch zu einem geringen Teil biologisch aktiv sind.

Da der Pansen der Wiederkäuer am Anfang des Verdauungssystems steht, während sich der Dickdarm an dessen Ende befindet, ist eine Gleichsetzung beider Systeme unzulässig. Beiden Organen kommt eine völlig unterschiedliche Funktion zu. Dementsprechend unterscheiden sie sich auch im Hinblick auf die in ihnen anzutreffenden mikrobiellen Biozönosen. Zwar findet auch im Dickdarm eine gewisse stoffliche Umsetzung von bis dahin noch nicht umgewandelter Cellulose statt, jedoch kann diese nicht mit jenem stofflichen Abbau gleichgesetzt werden, der im Pansen erfolgt. Aus diesem Grunde sind klassische Biogasanlagen hauptsächlich auf die stoffliche Umsetzung der in den Gärsubstraten enthaltenen Stärke, Proteine und Fette angewiesen. Diese Substanzen können durch den Einsatz von Speiseabfällen oder von Ganzpflanzen, z.B. im Wege der Beimischung von Ganzpflanzensilage, leicht bereitgestellt werden, da hierbei auch der stärkehaltige Fruchtanteil der Pflanzen für eine Vergärung verfügbar ist.

Die Übertragung des Pansenkonzeptes in ein technologisches Verfahren erlaubt dagegen den Zugriff auf das effizienteste System des Celluloseaufschlusses, welches die Natur im Laufe der Evolution hervorgebracht hat. Außerdem verhält sich das System überaus tolerant gegenüber Änderungen der Nährstoffmenge und Nährstoffzusammensetzung und verträgt sogar eine zeitweise Störung seiner prinzipiell anaeroben Milieubedingungen. Es arbeitet bei moderaten Temperaturen (ca. 39°C) und kann auch Substrate mit hohem Feuchtigkeitsanteil problemlos einer sinnvollen energetischen Verwertung zuführen. Dies gelingt im Rahmen eines zweistufigen Verfahrens.

Übersichtsskizze : Aufbau und Funktionsprinzip einer Anlage zur Cellulosevergärung



Innerhalb der ersten Stufe (Hydrolyse und Versäuerung), erfolgt durch einen synthetischen Pansen mit der der Pansenmikrobiologie eigenen Effizienz ein stofflicher Abbau der dem Reaktor zugeführten primär cellulosehaltigen Materialien zu kurzkettigen Fettsäuren. Um die physikalisch-chemischen Milieubedingungen

innerhalb des synthetischen Pansens konstant zu halten, werden die kurzkettigen Fettsäuren durch eine künstliche Magenwand resorbiert. Zwar findet auch im Inneren des synthetischen Pansens - wie beim natürlichen Vorbild - eine gewisse Methanbildung statt, doch leistet dieser Methanertrag nur einen untergeordneten Beitrag zum Gesamtmethanertrag des Systems (ca. 20 Prozent).

Entscheidend für die Leistungsfähigkeit der Technologie ist vielmehr der in einem

zweiten Reaktor stattfindende Abbau der zuvor im synthetischen Pansen gebildeten kurzkettigen Fettsäuren zu Methan und Kohlendioxid. Da bei dem technischen Verfahren dem Pansen kein lebender Organismus nachgeschaltet ist, der die Fettsäuren für seinen eigenen Stoffwechsel benötigt, stehen diese in vollem Umfang für eine rein energetische Verwertung zur Verfügung. Die kurzkettigen Fettsäuren werden dabei im Inneren des zweiten Reaktors mit Hilfe dort angesiedelter und auf den Abbau kurzkettiger Fettsäuren spezialisierter Mikroorganismenstämme zu Methan und Kohlendioxid umgesetzt, wodurch die im Gesamtsystem zirkulierende Prozesslösung wieder regeneriert wird, um sich anschließend im Pansen erneut mit Fettsäuren anzureichern.

Mit dem neuen Reaktortyp auf Basis der Mikrobiologie des Pansens erfolgt primär ein Aufschluss der Cellulose mit dem Ziel einer wesentlich effizienteren Nutzung der in der Biogasanlage eingesetzten Phytomasse. Im Unterschied zu den bislang zur Anwendung gelangenden Technologien ermöglicht das Verfahren eine deutliche Verringerung der Verweilzeit der Gärsubstrate in den Fermentern und somit die Möglichkeit einer massiven Verringerung des erforderlichen Reaktorvolumens bzw. eine deutliche Steigerung der möglichen Substratzufuhr.

Aufgrund des zur Anwendung gelangenden mikrobiologischen Prozesses sowie der besonderen konstruktionstypischen Merkmale des Reaktoraufbaus, stellt das Verfahren einen eigenständigen Weg der Biogaserzeugung neben der klassischen Nassfermentation bzw. den in Entwicklung befindlichen Verfahren zur Trockenfermentation (z.B. „Garagenfermenter“) dar.

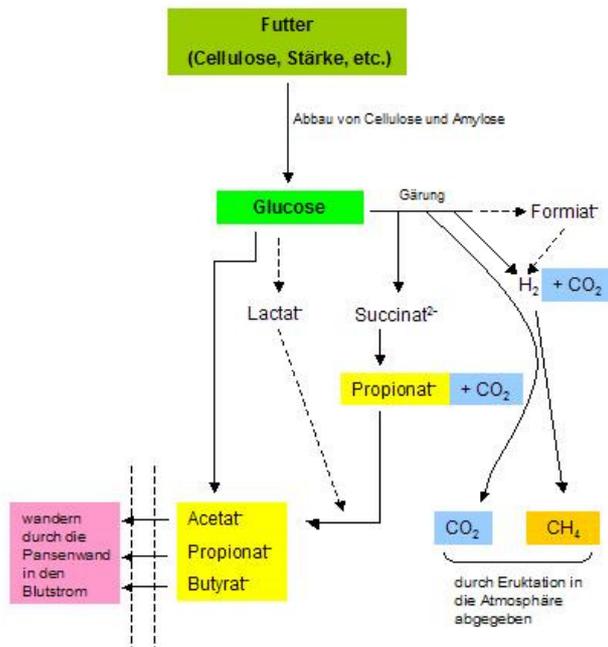
Mit Hilfe des Verfahrens sind viele der in der Landwirtschaft anfallenden Reststoffe und Nebenprodukte (z.B. zweiter u. dritter Grasschnitt, Stroh, etc.) energetisch nutzbar, was dem Auftreten einer Konkurrenzsituation von Nahrungs- und Energiepflanzenanbau unmittelbar entgegenwirkt.

3) Heu, Stroh, Gärrückstände konventioneller Biogasanlagen – Die besondere fermentative Potenz der Pansengärung

Soll die Biogasgewinnung unter Verwendung des Nicht-Frucht-Anteils der Pflanzen erfolgen oder sollen andere primär cellulosehaltige Reststoffe aus Landwirtschaft (z.B. Heu, Stroh), Gewerbe (z.B. Treber, Kleie, Altpapier und Kartonagen, etc.) und Landschaftspflege zu Biogas umgesetzt werden, so setzt dies zunächst voraus, dass die Mikroorganismen im Bioreaktor zu einer schnellen Hydrolyse von Cellulose befähigt sind. Ein besonders effektives natürliches Vorbild stellen in dieser Hinsicht die Wiederkäuer dar, deren Pansen einen kontinuierlich arbeitenden Bioreaktor (Chemostaten) darstellt, in welchem die Cellulose als Hauptbestandteil des überwiegend faserhaltigen Futters durch spezialisierte Mikroorganismen zu kurzkettigen Fettsäuren, insbesondere Essigsäure, Propionsäure und Buttersäure, abgebaut wird. Dieser Abbau der Cellulose erfolgt mit einem sehr hohen Wirkungsgrad, sowohl in quantitativer, als auch in zeitlicher Hinsicht. So können beim Tier (Rind) als natürlichem Vorbild des technologischen Verfahrens aus einer Futterration von bis zu 20 kg/d bei einer Verweilzeit von nur drei Tagen ca. 6-9 kg kurzkettiger Fettsäuren gebildet werden. Diese Fettsäuren werden über die Magenwand resorbiert und dienen dem Tier als Grundlage seines Energiestoffwechsels sowie der Synthese von Milchinhaltstoffen. Da der Pansen beim Rind ein Volumen zwischen 100 und 150 Liter besitzt, entspricht die tägliche Futterzufuhr einer Menge von ca. 150-200 kg/m³-d und überschreitet damit deutlich die volumenbezogene Gärsubstratzufuhr klassischer Biogasanlagen.

Die Pansenmikroorganismen leisten die Aufgabe der Hydrolyse der Cellulose selbst. Zusätzliche Einrichtungen zum physikalischen (Temperatur, Druck) oder chemischen (Enzyme, Säuren, Laugen) Celluloseaufschluss sind insofern nicht notwendig.

Im Rahmen der Pansengärung finden parallel Prozesse der Hydrolyse, Versäuerung und Methanbildung statt.



Abbau von Cellulose und Stärke im Pansen: Vom Tier emittiertes Methan wird im Wege der Kohlendioxid-Reduktion mittels Wasserstoff gebildet. Die Grundstoffe der Methanbildung stammen aus dem Zerfall von intermediär gebildeter Ameisensäure sowie aus der Decarboxylierung von Bernsteinsäure.

Die Gesamtstöchiometrie der Vergärungsprozesse lässt sich dabei folgendermaßen beschreiben:

- 1) Cellulose -> Glucose (Hydrolyse)
- 2) 115 Glucose -> 130 Acetat- + 40 Propionat- + 30 Butyrat- + 120 CO₂ + 70 CH₄ + 50 H₂O

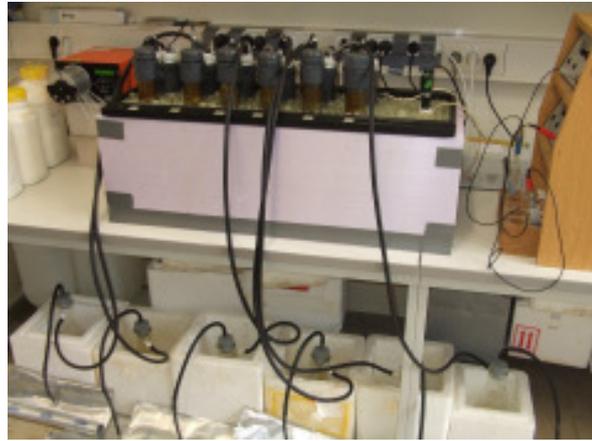
Die bei der Pansengärung gebildeten Fettsäuren können in einem zweiten Reaktor unmittelbar zu Methan und Kohlendioxid umgesetzt werden.

- 3) 130 Acetat -> 130 CH₄ + 130 CO₂
- 4) 40 Propionat -> 70 CH₄ + 50 CO₂
- 5) 30 Butyrat -> 75 CH₄ + 45 CO₂

Insgesamt stammen ca. 80% des Methanertrags aus dem stofflichen Abbau der innerhalb des synthetischen Pansens gebildeten kurzkettigen Fettsäuren. Erst die Nutzung dieses Potenzials macht den besonderen Sinn einer Technologie aus, welche den Pansenprozess technologisch zur Methangewinnung einsetzt. In der Summe (Mischung des Pansengases und des Gases aus der Fettsäurevergärung) entsteht so ein der stöchiometrischen Zusammensetzung der Cellulose entsprechendes Methan-Kohlendioxid-Gemisch mit einem Methan-Anteil von 50% (in der Praxis ca. 52-54 % CH₄, 46-48 % CO₂, H₂S < 20 ppm).



Gärrückstand einer konventionellen Biogasanlage (Mais-Ganzpflanzensilage)



Laborsystem zur Untersuchung der Substratabbauraten, der Fettsäurebildung sowie der mikrobiellen Zusammensetzung

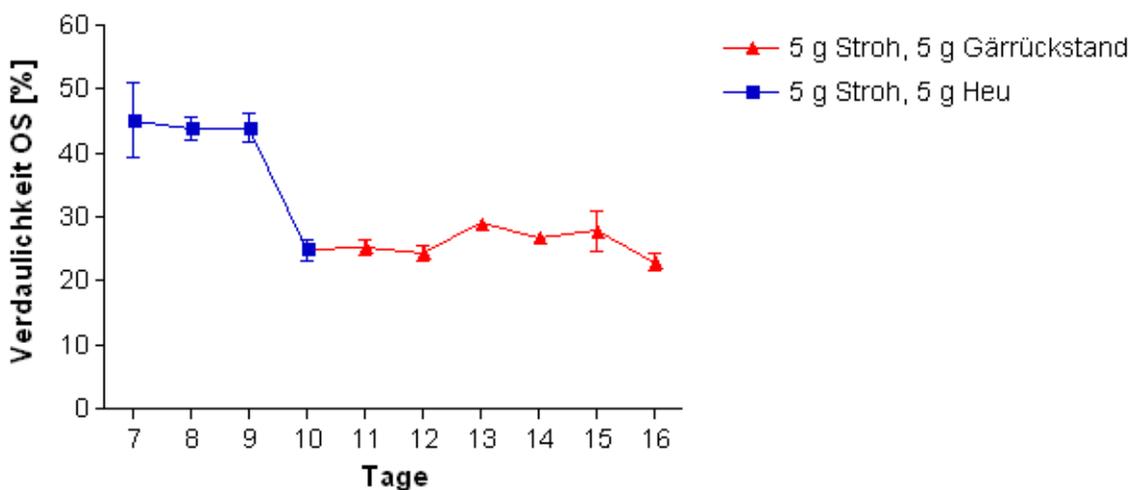
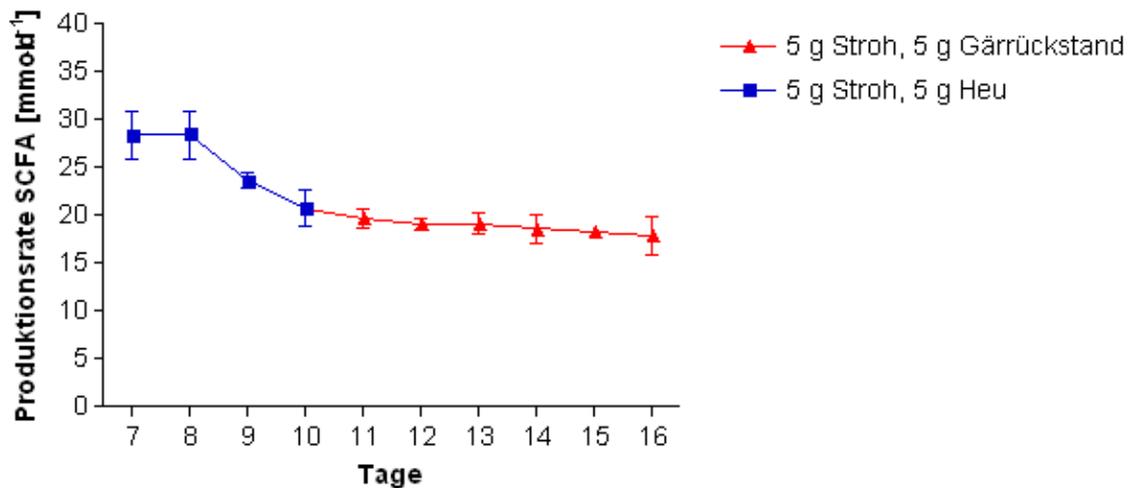
Die besondere fermentative Leistungsfähigkeit der Biozönose des Pansens sei nachfolgend anhand eines als problematisch zu bewertenden Substratgemisches dargestellt. Dabei wurde zunächst die Stabilität der mikrobiellen Biozönose in den Laborfermentern überprüft, indem als Substrat das übliche Futter (Heu, Stroh) jener Tiere eingesetzt wurde, aus deren Pansen die Kultur zur Inkubation der Fermenter entnommen worden war.



Rind mit einer Fistel zur unmittelbaren Entnahme von Mageninhalt aus dem Pansen

Nach neun Tagen wurde anschließend das Substrat vollständig auf ein Stroh-Gärrückstand-Gemisch umgestellt. Trotz dieser für eine Wiederkäuerfütterung völlig atypischen Vorgehensweise, stellte sich die mikrobielle Population sehr schnell auf diesen neuen Zustand ein. Beim Heu handelt es sich um ein für die Mikroorganismen des Pansens recht gut abbaubares Material, welches mit einer täglichen Abbaurate von bis zu 25 Prozent der organischen Substanz zu kurzkettigen Fettsäuren umgesetzt werden kann (Verdaulichkeit OS bei zwei Tagen Verweilzeit der Probe im Fermenter). Wie realistischerweise zu erwarten ist, geht die Fermentationsrate bei einem plötzlich erfolgenden Wechsel zu einem qualitativ schlechten Futter bzw. Gärs substrat zunächst zurück. Dies gilt insbesondere dann, wenn es sich dabei um extrem faserhaltige und lignifizierte Komponenten handelt. Dennoch stabilisierte sich das System sehr schnell und erreichte selbst unter diesen besonders ungünstigen Fütterungsbedingungen noch immer eine tägliche Substratabbaurrate im Bereich zwischen 10-15 Prozent. Dabei ist zu bedenken, dass der hier eingesetzte Gärrückstand aus einer konventionellen Biogasanlage bereits für etwa 90 Tage

einem mikrobiellen Abbau ausgesetzt worden war. Insofern waren alle leichter hydrolysierbaren Bestandteile zuvor entfernt worden.



4) Weitere Vorteile des Verfahrens

Das Verfahren benötigt keine angegorene Gülle oder andere Exkremente tierischer Herkunft als Quelle stoffwechselaktiver Mikroorganismenstämmen, sondern kommt lediglich mit einer ökologisch völlig unproblematischen wässrigen Lösung verschiedener Elektrolyte als Prozesslösung aus, welche im Hinblick auf ihre stoffliche Zusammensetzung annähernd dem Speichel der Wiederkäuer vergleichbar ist. Da die Prozesslösung im Kreislauf geführt wird, ist der Wasserbedarf des Verfahrens als gering einzustufen und wird gewöhnlich bereits über den Feuchtigkeitsanteil der Substrate problemlos ausgeglichen. Da viele Biomassen relevante Feuchtigkeitsmengen enthalten, bietet sich der fermentative Weg gegenüber thermisch-pyrolytischen Technologien geradezu an, da bei diesen stets erhebliche Energiemengen als Verdampfungswärme zur Trocknung der Materialien bereitgestellt werden müssen.

Als Startinokulum dient eine einmalige Inkubation mit Panseninhalt. Dabei sind im Verhältnis zum Reaktorvolumen auch relativ kleine Mengen ausreichend, da im synthetischen Pansen die gezielte weitere Kultivierung der relevanten Mikroorganismenpopulationen erfolgt. Nach einer erfolgreichen Inkubation, kann darüber hinaus ein bereits in Betrieb befindlicher synthetischer Pansen als

Inkubationsquelle für weitere Reaktoren dienen. Es besteht somit kein zusätzlicher Bedarf an originärem Panseninhalt.

Die Anwendung der Mikrobiologie des Pansens erlaubt infolge des besonders effektiven stofflichen Substratumsatzes den Bau deutlich kleinerer Anlagen (ca. 1/10 des üblichen Volumens bei gleicher Ausgangsleistung). Dies wird durch die hohen täglichen Abbauraten ermöglicht, welche regelmäßig im Bereich zwischen 10-25 Prozent liegen. Damit ist in einem zeitlichen Rahmen von nur 10 bis 20 Tagen ein stofflicher Abbau von bis zu 90 Prozent möglich. Der Substratbedarf liegt dabei zwischen 35-70 kg TS/m³d und ermöglicht eine volumenbezogene Leistung im Bereich zwischen 6-12 kW/m³ (thermisch).

Für den praktischen Einsatz ist die technologische Konzeption eines Anlagentyps vorgesehen, der im Unterschied zu bisherigen Biogasanlagen nicht als dauerhaftes Bauwerk unmittelbar vor Ort errichtet werden muss, sondern unter Anwendung standardisierter Container in Serie gefertigt werden kann. Alle zentralen Komponenten, d.h. der synthetische Pansen und die Fermenter zur Umsetzung der Fettsäuren können als Baugruppen vorgefertigt werden. Vor Ort erfolgt lediglich die Verbindung der Reaktoren zu einem Gesamtsystem. Ein weiterer wesentlicher Vorteil dieser Vorgehensweise besteht in dem hohen Maß an Flexibilität, die ein modulares System eröffnet. Ein solches System bietet die Möglichkeit, auf die Art und Menge der verfügbaren Gärsubstrate bzw. die angestrebte Energiemenge individuell zu reagieren. Durch den Einsatz eines kaskadierbaren Komponentensystems lassen sich alle Anlagengrößen realisieren. Dies gilt insbesondere für kleinere und mittlere Anlagen zur dezentralen Energieversorgung.

Selbstverständlich eröffnet der neuartige Anlagentyp auch die Möglichkeit zum Einsatz der bisher üblichen Gärsubstrate. Das Verfahren kann problemlos auch leicht hydrolysierbare Kohlenhydrate oder Proteine stofflich umsetzen. Jedoch eröffnet gerade die Spezialisierung auf primär cellulosehaltige Substrate völlig neue Einsatzmöglichkeiten für bisher eher vernachlässigte Substratströme. Diese wären ansonsten nur im Wege einer aufwendigen physikalischen (Temperatur, Druck) bzw. chemischen (Enzyme, Säuren, Laugen) Vorbehandlung in konventionellen Anlagen einsetzbar, da die von der Pansenbiologie bereits kostenfrei zur Verfügung gestellte Cellulosehydrolyse in zusätzlichen Aggregaten unter Einsatz von Energie erfolgen muss.

Besonders hervorzuheben ist jedoch, dass das Verfahren einen zentralen Beitrag zur Entschärfung der zunehmenden Konkurrenzsituation im Hinblick auf die Flächennutzung leisten kann, weil es möglich ist, die Anlagen allein mit dem Nicht-Frucht-Anteil der Pflanzen zu betreiben. Die Früchte stehen insofern für die Ernährung von Mensch und Tier zur Verfügung. Neben landwirtschaftlichen Reststoffen können auch viele gewerbliche Reststoffe (z.B. Treber, Kleie, Altpapier und Kartonagen) und Landschaftspflegematerialien eingesetzt werden. Generell eröffnen sich aufgrund des extrem breiten Substratspektrums vollkommen neue Perspektiven der Gewinnung cellulosehaltiger Substrate unter gleichzeitiger Berücksichtigung zentraler Fragestellungen des Natur-, Trinkwasser- und Bodenschutzes.

Über die Erzeugung eines qualitativ hochwertigen und somit leichter auf Erdgasqualität aufbereitbaren Biogases hinaus, sichert der Einsatz des Verfahrens zugleich die Bewahrung wichtiger Pflanzennährstoffe, insbesondere von Phosphor und Stickstoff. Gerade der Stickstoff geht bei thermischen Biomassennutzungsformen in der Regel verloren und muss im Wege der gezielten Düngung ersetzt werden.

Außerdem kann der Gärrückstand (im wesentlichen Lignin) als Bodenverbesserer eingesetzt werden und dient damit dem Erhalt der Humusbilanz. Die in stofflicher Hinsicht massiv durch den Gärprozess aufgeschlossenen Gärrückstände stellen insofern einen weitestgehend dem Dung vergleichbaren Bodenverbesserer dar. Darüber hinaus liefert das Verfahren bei entsprechender Fütterung der Anlage neben Biogas auch große Mengen mikrobiellen Proteins (bis zu 25 kg/m³d), welches z.B. im Rahmen der Tierernährung als wertvolles Futtermittel zum Einsatz gelangen könnte.

Ferner bietet die Anwendung der spezifischen Mikrobiologie des Pansens über die Erzeugung kurzkettiger Fettsäuren hinaus zahlreiche weitere Vorteile. So finden im Pansen u.a. auch Detoxifikationsprozesse (Abbau von Phytotoxinen) sowie die Synthese von Vitaminen statt.

Zuletzt zeigt sich die besondere fermentative Potenz der Vormagenmikrobiologie der Wiederkäuer u.a. auch darin, dass es auf diesem Wege sogar gelingt, die faserhaltigen Gärrückstände konventioneller Biogasanlagen mit einer Abbaurrate von ca. 10 Prozent TS/Tag in kurzkettige Fettsäuren umzuwandeln. Damit zeichnen sich in der Perspektive auch Möglichkeiten des Repowerings bereits bestehender Biogasanlagen im Zusammenhang mit einer deutlich effektiveren Nutzung der eingesetzten Biomassen ab.

Kontaktdaten: ARES Consultants GbR Dr. rer. nat. Michael Strecker Heinrich-Kümmel-Str. 8 30169 Hannover Tel.: (0511) 22081-20/-21 Fax: (0511) 22081-22 E-Mail: michael.strecker@ares-consultants.de	Physiologisches Institut Tierärztliche Hochschule Hannover Prof. Dr. Gerhard Breves Bischofsholer Damm 15/102 30173 Hannover Tel.: (0511) 856-7271 Fax: (0511) 856-7687 E-Mail: gerhard.breves@tiho-hannover.de
---	--