

# ERTRAGSSTEIGERUNG BEI BIOGASANLAGEN

## PILOTANLAGE ZUR VORGESCHALTETEN HYDROLYSE – TEIL 1

**B**iogasanlagen sind komplexe biologisch-technische Systeme, die über den laufenden Anlagenbetrieb eine wirtschaftliche Rendite erwirtschaften müssen. Voraussetzungen für den Erfolg sind eine individuelle verfahrenstechnische Planung und die optimale Gestaltung des täglichen Anlagenbetriebes sowie vorteilhafte biologische Bedingungen im Fermenter. Die Energieerträge von Biogasanlagen sind deshalb von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Zurzeit existieren in Deutschland ca. 3500 bis 4000 Biogasanlagen, wovon die meisten innerhalb der letzten 7 Jahre errichtet wurden. Es wurden allein 2006 ca. 1,3 Mrd. € in die Errichtung von Biogasanlagen investiert und Umsätze von ca. 1,6 Mrd. € in Verbindung mit dem Anlagenbetrieb zur Nutzung erneuerbarer Energien erzielt [1].

Viele Anlagen, die Ende der 90er Jahre gebaut wurden, sind aus heutiger Sicht bezüglich ihrer Konstruktion, technischen Ausrüstung und der Betriebsweise als nicht optimal einzustufen. Dies wirkt sich naturgemäß negativ auf die Wirtschaftlichkeit der Biogasanlagen aus, d.h. jede Preissteigerung bei den Substraten führt zu einer massiven Gefährdung der Wirtschaftlichkeit, speziell bei Anlagen, die ausschließlich nachwachsende Rohstoffe verarbeiten. Immer mehr Anlagenbetreiber stehen unter einem erhöhten Kostendruck für die Beschaffung der Einsatzstoffe. Die Betreiber sind daher

darauf angewiesen, eine möglichst hohe Biogasausbeute aus dem zur Verfügung stehenden Substrat zu gewinnen. Eine Möglichkeit, die zurzeit vielfach propagiert wird, ist der Einsatz einer Hydrolysestufe zur Vorbehandlung des Gärsubstrats.

Dabei steht die Idee im Vordergrund, bisher nicht genutztes Biogaspotenzial im Substrat durch eine Vorbereitung der Gärsubstrate mittels einer prozesstechnischen Vorstufe (Hydrolyse und Versauerung) verfügbar zu machen und damit die Gesamtbiogasausbeute zu erhöhen. Mit Hilfe des in der Vorstufe des zweistufigen Verfahrens einstellbaren Milieus sind pH-Werte unter 4 und Temperaturen von  $> 55^\circ\text{C}$  problemlos möglich. Bei einstufigen Prozessen, bei denen alle Vergärungsvorgänge parallel ablaufen, würde die Methanbildung bei sehr niedrigen pH-Werten zum Erliegen kommen. Die Vorstufe dient außerdem dazu, Substrate bzw. deren Bestandteile, wie z. B. Zellulose, aufzuspalten und für den anaeroben Abbau verfügbar zu machen. Dies ist insbesondere beim Einsatz von nachwachsenden Rohstoffen als Ausgangssubstrat von besonderer Bedeutung, da hier der Anteil zellulosehaltiger Pflanzenbestandteile sehr hoch ist. Die eigentliche Prozessstufe der Vergärung wird unabhängig von der Vorbehandlung gesteuert. Weiterer Vorteil der Vorstufe ist eine wesentlich geringere Menge an Wasser, die für die Einstellung eines pump- und

rührfähigen Substrats bei der (Nass-) Vergärung erforderlich ist. Das Substrat verfügt nach der Vorstufe auch bei höheren TS-Gehalten über gute Pump- und Rühreigenschaften. Durch diese Vorbehandlung minimieren sich die erforderlichen Reaktorvolumina erheblich, da der Abbau des Substrates schneller und mit höheren Raumbelastungen, d.h. kürzeren Verweilzeiten erfolgen kann. Die Bildung von Schwimm- und Sinkschichten wird deutlich reduziert. Der Prozess der Methanbildung kann durch genaue Steuerung der Substratzugabe aus der Vorstufe besser kontrolliert und stabiler gefahren werden. Die Vorteile der Nassvergärung (konstante Gasproduktion, gute Prozesssteuerung, hohe Gaserträge, geringere Verweildauern...) bleiben erhalten. Zusätzlich können die Vorteile, die sonst nur der Trockenvergärung zuzuschreiben sind (geringere Reaktorgröße, geringer Energiebedarf für Rührwerke, Heizung, geringere Mengen an Gärresten), ebenfalls genutzt werden.

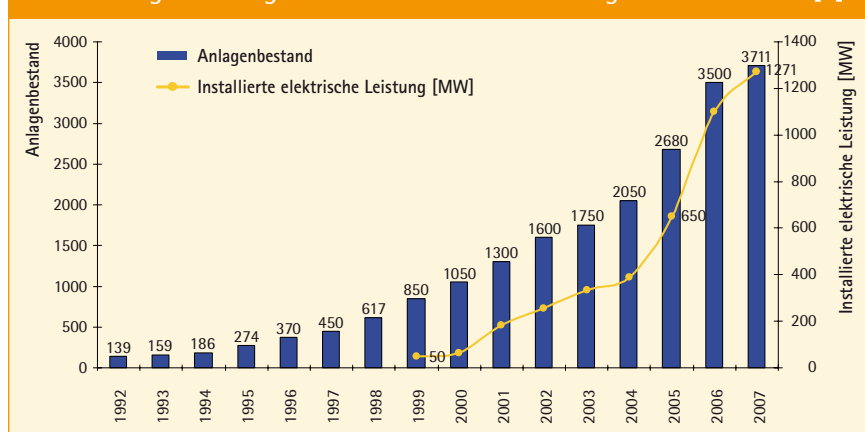
Durch die schnellere Methanbildung des vorbehandelten Materials sind ein schnelles An- und Abfahren der Anlage und damit eine bessere Steuerungsmöglichkeit gegeben. Dadurch kann z. B. bei einem Störfall schnell reagiert werden. Dieser Vorteil könnte bis zu einer stundengenauen bedarfsgerechten Stromerzeugung zur Abdeckung von Spitzenlasten führen, was sonst nur mit großen Gasspeichern möglich ist.

### Anlagenbiologie

Während die Anlagentechnik von Biogasanlagen relativ ausgereift ist, besteht bei der biologischen Prozessführung eine beträchtliche Variabilität. So werden z.B. Verweilzeiten zwischen einigen und teilweise über 100 Tagen angegeben, die Faulraumbelastung variiert zwischen über 1 bis zu  $5,5 \text{ kg}/(\text{m}^3\cdot\text{h})$  [3]. Auch bei der Fahrweise, dem täglichen Betrieb der Biogasanlagen bestehen immense Unterschiede. Teilweise werden die Anlagen nach Vorhandensein der Substrate und nicht nach dem biologischen Bedarf der Anlage beschickt.

Die Biogasbildung ist ein komplexer, vierstufiger biologischer Vorgang. Dabei

Bild 1: Biogasnutzung in Deutschland – Entwicklung von 1992–2007 [2]



werden Methan, Kohlendioxid, Wasserstoff und andere Gase in Spuren aus einer Vielzahl von verschiedenen Substraten gebildet. In der Hydrolyse werden die komplexen, langkettigen Substrate, wie z. B. Kohlenhydrate, Eiweiße, Fette in einfachere, kurzkettige organische Verbindungen, wie Zucker, Amino- und Fettsäuren, aufgespalten. Dabei setzen die Mikroorganismen Enzyme (Biokatalysatoren) frei, die die Substrate auf biochemischem Weg zersetzen. In der zweiten Phase, der Acidogenese oder Versäuerungsphase, werden die in der Hydrolyse gebildeten Zwischenprodukte zu niedrigeren Fettsäuren, Kohlendioxid und Wasserstoff umgewandelt. Zu den Fettsäuren gehören hauptsächlich Essig-, Propion- und Buttersäure. Unter ungünstigen Bedingungen können aber auch Valerian-, Capron- und Enanthensäure gebildet werden. Letztere weisen auf eine Hemmung des Abbaus durch Versäuerung hin. Im dritten Schritt, der Acetogenese oder Essigsäurebildung werden die flüchtigen Fettsäuren zu Essigsäure, Wasserstoff und Kohlendioxid umgewandelt. Dabei steigt der Wasserstoffgehalt an und kann für die essigsäurebildenden Bakterien schädlich sein. Die essigsäureproduzierenden Mikroorganismen sind deshalb darauf angewiesen, dass ein Teil der methanogenen Bakterien den Wasserstoff in Methan umwandelt. Im letzten Schritt, der Methanogenese, wird Methan aus den Produkten der Acetogenese gebildet.

Der Abbau in der Vergärung erfolgt durch eine Vielzahl von Mikroorganismen, die sowohl fakultativ anaerob (leben sowohl mit als auch ohne Sauerstoff) und anaerob (ohne Sauerstoff lebend) Natur sind. Die hydrolysierenden Bakterien und Mikroorganismen sind fakultativ anaerob, existieren in enger Symbiose mit den versäuernden Bakterien zusammen und haben die gleichen Milieuanforderungen. Deshalb bietet es sich an, diese beiden Abbauphasen räumlich zusammen zu fassen. Finden alle vier Phasen in einem Fermenter statt, wird das System als einphasiges Verfahren



Bild 2: Ansicht

bezeichnet. Erfolgt eine räumliche Trennung von Hydrolyse/Acidogenese) und Methanbildung, spricht man von einem zweiphasigen Prozess.

Eine viel diskutierte Frage ist die nach dem geschwindigkeitsbestimmenden Teilprozess der Vergärung. Bekannt ist, dass methanogene Organismen geringe Wachstumsraten aufweisen. Oft wird diese Bakteriengruppe verantwortlich gemacht, wenn Übersäuerungen auftreten. Die Umsetzung der Essigsäure erfolgt auf Grund der niedrigen Wachstumsraten nicht rasch genug, was wiederum zu einer Anreicherung von Essigsäure und anderen Zwischenprodukten, i. d. R. organischen Säuren, führt. Andere Autoren [4], [7] vertreten die Meinung, dass eine Steigerung der Biogasausbeute und die Stabilität der Biogasanlage maßgeblich durch die erste Stufe des Prozesses, der Hydrolyse und dem dabei stattfindenden Abbau der Substrate, bestimmt wird.

### Mobile, nachrüstbare Hydrolyseeinheit

Ziel der Forschung war die Entwicklung einer mobilen, containerbasierten

Hydrolyseeinheit, die in bestehende Anlagensysteme integriert werden kann, und der Test unter Praxisbedingungen. Die Pilotanlage für die Versuche besteht aus einem Standardabrollcontainer mit 21 m<sup>3</sup> Inhalt. Die Seitenwände des Containers wurden mit 10 cm starken Dämmplatten isoliert. Der Container wird durch ein Schott in einen Hydrolyseraum und einen Bereich zur Unterbringung der technischen Geräte unterteilt. In diesem Bereich sind zwei, vom Reaktionsraum durch Siebe abgetrennte Pumpenschächte angeordnet. Unter Berücksichtigung des Freibords von 0,50 m beträgt das effektive Volumen damit ca. 12 m<sup>3</sup> (5,0 x 2,35 x 1,0 m). Der Boden des Reaktionsraumes besteht aus 3 mm starkem Lochblech mit einem Lochdurchmesser von 30 mm, das auf Traversen befestigt ist. Der Abstand vom Containerboden zum Lochblech beträgt 20 cm, um einen freien Fluss des Perkolats zu ermöglichen. Der Container besitzt an der Rückseite eine zweiflügelige, mit Gummilippen abgedichtete Tür, die zur Substratentnahme genutzt wird.

Unter dem Lochblech befinden sich

Tabelle 1: Milieuanforderungen [6]

Einflussgröße	Hydrolyse/Versäuerung	Methangärung
Temperatur	25–35 °C	mesophil: 32–42 °C thermophil: 50–58 °C
pH-Wert	5,2–6,3	6,7–7,5
C/N-Verhältnis	10–45	20–30
Feststoffgehalt	< 40 % TS	< 30 % TS
Redox-Potenzial	+ 400– - 300 mV	< -250 mV
Nährstoffbedarf C : N : P : S	500 : 15 : 5 : 3	600 : 15 : 5 : 3
Spurenelemente	keine spez. Ansprüche	essentiell: Ni, Co, Mo, Se

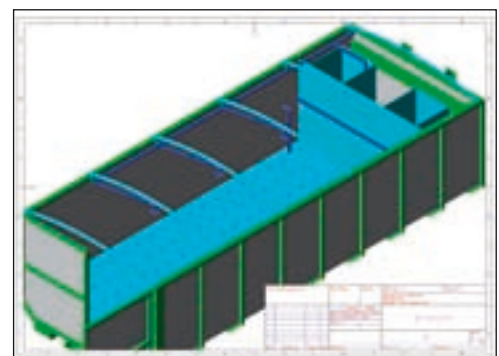


Bild 3: 3D Modell

die Heizleitungen. Die Erwärmung des Heizwassers erfolgte bei den Versuchen durch eine 35 kW Ölheizungsanlage. Im Praxisbetrieb an vorhandenen Biogasanlagen kann und muss die Abwärme des BHKW für Heizzwecke genutzt werden. Der Anschluss ist in den meisten Fällen ohne Probleme möglich, da Biogasanlagen in der Regel über Heizkreise verfügen, an die das System angeschlossen werden kann. Der Container ist mit einer Temperatursonde ausgestattet, die die Temperaturen im Reaktionsraum protokolliert. Die Temperatur im Container kann über die Vorlauftemperatur der Heizung geregelt werden. Im abgetrennten Schott im Container befinden sich zwei Pumpenschächte. Nur ein Schacht wurde mit einer Pumpe versehen, da sich deren Leistung als ausreichend herausstellte. Die Pumpe mit einer Leistung von 30 m<sup>3</sup>/h dient zur Zirkulation des Perkolates und zur Weiterleitung in den Gärbehälter. Um eine Verstopfung der Pumpen zu vermeiden, wurde vor den Pumpenschächten ein Sieb installiert. Dieses Sieb besteht ebenfalls aus 3 mm Lochblech mit einem Lochdurchmesser von 30 mm.

Das System zur Rezirkulation von Perkolat besteht aus flexiblem PVC-Spiralschlauch (DN 50), das mit der Pumpe und den drei Perkolatdüsen verbunden ist. Vor den Perkolatdüsen ist ein justierbarer Prallteller zur besseren Verteilung des Perkolats über das Substrat angebracht. Jeder der drei Stränge kann durch Kugelhähne separat geöffnet, geschlossen und teilweise auch der Durchfluss geregelt werden. Jeder Strang ist an einer Traverse befestigt, die gleichzeitig die Abdeckung stützt. Im Leitungssystem nahe der Pumpe befindet sich ein Abzweig mit Kugelhahn, der zum Abpumpen der Perkolatflüssigkeit genutzt wird. Die Versuche wurden von Mai bis November 2007 durchgeführt.

### Versuche

Da Versuchsprogramm wurde wie folgt durchgeführt:

1. Nullversuche zum Testen der Anlage und ihrer Komponenten (V0)
2. Versuche mit Bioabfall, kurze Behandlungsdauer, hohe Temperatur (V1)
3. Versuche mit Bioabfall, lange Behandlungsdauer, niedrige Temperatur (V2)
4. Versuche mit Silomais (V3)

Sämtliche Versuche wurden als Dreifachansatz gefahren. Ausgangsmaterialien für die Versuchsreihen 1 und 2 war kommunaler Bioabfall der Stadt Erfurt. Der Abfall wurde aus frisch auf der Kompostanlage eingetroffenen Chargen gewonnen. Die Sammelintervalle im Stadtgebiet betragen ein bis zwei Wochen, so dass das Material maximal 14 Tage alt war.

Für die Versuchsreihe V3 wurde frischer Silomais, der von der Agrarprodukt und Handel GmbH Töteltstedt direkt nach der Ernte und dem Shreddern auf die Kompostanlage geliefert wurde, eingesetzt.

Teil 2 mit der Versuchsbeschreibung, Auswertung und den Schlussfolgerungen folgt in der nächsten Ausgabe der „SONNENENERGIE“.

### Quellen

- [1] BMU 2007: Erneuerbare Energien in Zahlen – nationale und internationale Entwicklung – Stand 2007, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Referat Öffentlichkeitsarbeit 11055 Berlin (Hrsg.)
- [2] FVB 2008: Anlagenstatistik des Fachverbandes Biogas e.V., September 2007.
- [3] Reinhold, G. (2006): Substrateinsatz, Düngungsfragen und Entwicklungstendenzen. Fachtagung Bio-

gas der Arbeitsgruppe Biogas beim TBV e.V., Nordhausen, 13.06.2006

- [4] Gerhardt, M.; Pelenc, V.; Bäuml, M. Der Einsatz hydrolytischer Enzyme in der landwirtschaftlichen Biogasproduktion: Ergebnisse aus der Praxis. Fortschritt beim Biogas, Internationale Konferenz, Stuttgart 18.–21. September 2007.
- [5] Kaiser, F.; Metzner, T.; Effenberger, M.; Gronauer, A. (2007): Sicherung der Prozessstabilität in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Straße 38, 85354 Freising-Weihenstephan (Hrsg.)
- [6] Weiland, P. (2001) Grundlagen der Methangärung – Biologie und Substrate. In: Biogas als regenerative Energie – Stand und Perspektiven, VDI-Bericht 1620, VDI-Gesellschaft Energietechnik (Hrsg.), VDI-Verlag, Düsseldorf.
- [7] Gleixner, A.J. (2005): Voraufbereitung durch Separierung und Hydrolyse. 2. Norddeutsche Biogastagung, Hildesheim 10.06.2005.
- [8] FNR (2004): Handreichung Biogasgewinnung und -nutzung. Fachagentur für nachwachsende Rohstoffe e.V. Gülzow (Hrsg.), Leipzig 2004.

### ZU DEN AUTOREN:

► *Dr.-Ing. Matthias Klauß* ist Diplom-Bauingenieur und arbeitet seit 2000 in den Bereichen biologische Abfallbehandlung, erneuerbare Energien, Biogas und Photovoltaik.

klauß@biovag.de

► *Dipl.-Ing. Jörg Matthes* ist Diplom-Bauingenieur und arbeitet seit 2005 in den Bereichen Biogas, Deponietechnik und Grundbau.

matthes@biovag.de

Tabelle 2: Versuchsprogramm

Name	Dauer [h]	Material	Zieltemp. [°C]	Vorlauftemp. [°C]	Pumpintervalle [min/h]
Versuchsreihe 1					
V1-1	72	Bioabfall	55	90	30
V1-2	72	Bioabfall	55	90	30
V1-3	72	Bioabfall	55	90	30
Versuchsreihe 2					
V2-1	240	Bioabfall	40	50	30
V2-2	240	Bioabfall	40	50	30
V2-3	240	Bioabfall	40	50	30
Versuchsreihe 3					
V3-1	240	Maissilage	40	50	30
V3-2	72	Maissilage	40	50	30
V3-3	72	Maissilage	40	50	30