

Stand der Technik von Biogasanlagen

R. BRAUN

Technische Nutzung der Methangärung

Vorrangiger Zweck der Methangärung war ursprünglich die anaerobe Stabilisierung (Faulung) von Abwasser bzw. Klärschlamm. Zehntausende solcher Klärschlammfäultürme sind heute weltweit in Betrieb. In den siebziger Jahren wurden weiters zahlreiche Industrieanlagen zur anaeroben Vorreinigung von hochbelasteten Industrieabwässern errichtet. Erst in den letzten Jahren werden Fäultürme auch zur Bioabfallbehandlung (Vergärung) eingesetzt. Das anfallende Biogas, aus Umweltschutzgründen in diesen Anwendungsbereichen errichteten, Fäultürme war willkommenes Nebenprodukt, aufgrund des niedrigen Energiepreinsniveaus als alleinige alternative Energiequelle, jedoch nicht konkurrenzfähig. Die frühen landwirtschaftlichen Biogasanlagen wurden ebenfalls primär zur Geruchsverminderung von Gülle, Vermeidung von Emissionen (NH_3) bzw. Düngerwertverbesserung errichtet. Ökonomisch waren diese Anlagen, auch unter Berücksichtigung des anfallenden Biogases, meistens unwirtschaftlich und von hohen Förderungen abhängig. Die Mitverwertung von „Co-Substraten“ verbessert die Wirtschaftlichkeit „landwirtschaftlicher“ Biogasanlagen aufgrund der anfänglich erlösten Abfall - Behandlungsbeiträge, führt aber rasch zu unerwünschten landwirtschaftlichen „Abfallentsorgungsanlagen“.

Erst die Schaffung garantierter Strom Einspeisetarife durch das Elektrizitätswirtschafts- und Organisationsgesetz (EIWOG) BGBl. I Nr. 1998/143 bzw. das Ökostromgesetz BGBl. I Nr. 2002/149 verbesserten die ökonomischen Randbedingungen zur Erzeugung von Biogas. In der Folge wurden zahlreiche landwirtschaftliche Biogasanlagen zum Zwecke der Stromerzeugung neu errichtet. Insgesamt existieren in Deutschland

derzeit etwa 2000 (Anonym, 2002), in Österreich nach Jauschnegg (2003) etwa 110 landwirtschaftliche Biogasanlagen. Gemäß länderweiser Erhebung (BUSIC, 2004) waren in Österreich im Dezember des Vorjahres 119 Biogasanlagen in Betrieb und 41 im behördlichen Planungsstadium. Sieben weitere Anlagen waren außer Betrieb gesetzt. Eine nicht exakt bekannte Anzahl dieser Anlagen verwendet, zumindest teilweise, bereits nachwachsende Rohstoffe, vorwiegend Mais- oder Ganzpflanzen Silage, bzw. diverse Grasarten. Nahezu immer werden Co-substrate wie Gülle aber auch Fettabscheiderinhalte, Schlempe u.a. zur Einmischung (Verdünnung) der pflanzlichen Rohstoffe verwendet.

Derzeit liegen nur wenige gesicherte Erfahrungsbereiche von österreichischen Pflanzenvergärungsanlagen vor. Auch das entsprechende know-how im Anlagenbau ist aufgrund der Neuheit des Anwendungsgebietes „Energiepflanzenvergärung“ sowie zahlreich neu entstehender Kleinfirmen unübersichtlich. Es ist jedoch abzusehen, dass aufgrund der zitierten Energiepreisregelung in aller nächster Zeit noch zahlreiche Neuanlagen zur Biogasgewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen errichtet werden. Um in den Genuss der laut Ökostromgesetz erhöhten Einspeisetarife (für 13 Jahre ab Inbetriebnahme) zu kommen, müssen die geplanten Biogasanlagen bis 31.12. 2004 alle zur Errichtung notwendigen Bewilligungen erhalten haben und bis 30.6.2006 in Betrieb gehen. In einer Broschüre der Präsidentenkonferenz der Landwirtschaftskammern Österreichs („Strom und Wärme aus Biogas“), wird zur Erreichung des Ökostromziel - Anteils von 2.200 GWh (entspricht 4% des Strombedarfs) bis 2009 von einer zu erwartenden Neuerrichtung von 175 Biogasanlagen mit jeweils 300 KW_{el} Leistung ausgegangen.

Anlagen und Verfahrenstechnik der Biogasgewinnung

Unter den am Markt angebotenen Biogasanlagen - Systemen lassen sich prinzipiell Nassvergärungs- und Trockenvergärungsanlagen unterscheiden. Nassvergärungsanlagen betreiben den Biogasreaktor bei Substrat -Trockensubstanzgehalten (TS) von deutlich unter 10 %, während Trockenvergärungssysteme möglichst unverdünnte Betriebsweise bzw. TS-Gehalte von bis zu >30 % anstreben. Alle Anlagen umfassen die Verfahrensschritte Substrataufbereitung, Biogasreaktor (Fäulturm), Nachgärraum (Endlager), Gasspeicherung und -verwertung sowie Gärrestbehandlung. Wesentliche Unterscheidungsmerkmale von Anlagensystemen finden sich erst in der Verfahrens- und Betriebstechnik der Anlagen. Es existieren aber keine „Typenanlagen“ für einen jeweils spezifischen Einsatzbereich, sondern alle Anlagen werden individuell angepasst an die jeweiligen Substrat- und sonstigen Rahmenbedingungen geplant und errichtet.

Zum Voraufschluss bzw. zur Speicherung der pflanzlichen Rohstoffe im Hinblick auf deren ganzjährige Nutzungsmöglichkeit werden hauptsächlich Flachsilos, teilweise auch Hochsilos analog zur landwirtschaftlichen Futteraufbereitung (Silage) eingesetzt. Eine Optimierung des zur Fütterung entwickelten Silageprozesses (hoher Nährwert) hinsichtlich verbesserter energetischer Nutzung (hoher Energiegehalt) ist bisher nicht erfolgt. Ebenso sind Versuche zur Züchtung energiereicher „Energiepflanzen“, mit leicht zur Vergärung verfügbaren Inhaltsstoffen (Öle, Proteine, Stärke), erst im Anfangsstadium. Weitergehende Vorbehandlungsstufen (biologisch/chemische Vorhydrolyse, thermischer oder mechanischer Aufschluss) befinden sich allenfalls im Versuchsstadium (Pilotanlagen). Ebenso im Ver-

suchsstadium befinden sich Systeme zur Kombination Vergärung - Vergasung. Hierbei wird in einer Vorbehandlungsstufe der schlecht vergärbare lignininkrustierte Faseranteil (Zellulose) separiert und zweckmäßigerweise einer thermischen Vergasung zugeführt. Nur der gut vergärbare Anteil wird zu Biogas weiterverarbeitet.

Während die Pump- und Fördertechnik der flüssigen Co-Substrate (z.B. Gülle) mittels Tauchschnide-, Kreisel-, Exzentralschnecken- od. Drehkolbenpumpen Stand der Technik mit zahlreichen Anbietern ist, werden für die Dosierung der pflanzlichen Substrate unterschiedlichste Verfahrensweisen eingesetzt bzw. erprobt. Je nach Reaktorbauart finden sich Einspül- oder Einwurfschächte (direkt in den Reaktor oder in die Vorgrube), Dosierstationen mit Förderschnecken, Förderbändern, Kratzkettenböden, Schubböden oder Einpressung mittels kombinierter Schnecken und Kolbenpumpen (MITTERLEITNER, 2003; HELFFRICH, 2004).

Die Substratdosierung erfolgt in der Regel semikontinuierlich, zumeist mehrmals (z.B. 4, 12, 24 mal) täglich. Vorkehrungen gegen das Entmischen des Mehrphasensystems, insbesondere bei einer Dosierung aus Vorgruben sind erforderlich. Ausreichend dimensionierte Propellerrührwerke bzw. höhenverstellbare Tauchmotorrührwerke sind für den ordnungsgemäßen Betrieb solcher Vorgruben erforderlich. Zur Vermeidung von Methanverlusten (und Explosionsgefahr) dürfen in Vorgruben (vorzugsweise unbeheizt) jeweils nur die unmittelbar zu dosierenden Chargen angemischt werden.

Der eigentliche Biogasreaktor wird auf unterschiedlichste Weise ausgeführt. In unterirdischer Betonbauweise bzw. oberirdischer Beton- oder Stahlbehälterbauweise. Die stehende, zylindrische Bauweise überwiegt, wesentlich seltener werden liegende Behälter (oft primär als weitergehende mechanisch - biologische Voraufbereitungsstufe) realisiert. Die Behältergrößen variieren je nach Anlagenleistung zwischen mehreren hundert Kubikmetern bis zu mehreren tausend Kubikmetern. Seltener werden auch zwei Reaktoren parallel oder in Serie geschaltet. Zur Vermeidung von Abstrahlungs-

verlusten sind die Behälter jeweils entsprechend wärmeisoliert. Üblicherweise verläuft die Biogasbildung im mesophilen Temperaturbereich bei 37 °C.

Teilweise werden Biogasreaktoren jedoch auch im thermophilen Temperaturbereich bei 55 °C betrieben.

Insbesondere bei Einsatz pflanzlicher Rohstoffe kommt der Rührwerkstechnik (Mischung) zur Vermeidung von Schwimmdeckenbildung (Entmischung) im Biogasreaktor besondere Bedeutung zu. Die technischen Lösungen der verschiedenen Anbieter unterscheiden sich dabei erheblich. Optimierte Lösungen bzw. ein Stand der Technik für Pflanzenvergärungsanlagen sind gegenwärtig nicht zu erkennen. Eingesetzt werden höhenverstellbare Tauchmotorrührwerke, fix installierte Propellerrührwerke oder Blattrührwerke. Mechanische Rührwerke werden oft ergänzt durch Gasmischung (Einpressen von Biogas) oder hydraulische Mischung (Umpumpen des Reaktorinhaltes). Weiters existieren Systeme mit Gasdruckwechsellmischung durch Ausnutzung des entstehenden Biogasdruckes. Durch Verdrängung von Teilen des Reaktorinhaltes auf ein höheres hydraulisches Niveau und periodisches Entspannen des Gasüberdruckes bzw. Rückmischen, erfolgt eine selbsttätige Umwälzung (ohne Fremdenergiezufuhr) des Reaktorinhaltes. Die Mischintensität der Druckwechsellmischung erweist sich bei Pflanzenvergärung meist als unzureichend und muss durch Zusatzmischer ergänzt werden.

Nahezu alle neueren Anlagen setzen, teilweise sehr groß dimensionierte, Nachgärbehälter ein (geschlossen mit Gassammelsystem, gemischt od. ungemischt, beheizt od. unbeheizt). Die Biogasanlagen erreichen somit hydraulische Aufenthaltszeiten zwischen 30 und häufig 60 (90) Tagen. Dadurch kann die Biogasausbeute auf bis zu 90 % des theoretischen Maximums erhöht werden. Etwa 50 - 60 % der organischen Masse werden dabei mineralisiert (abgebaut). Der Rest verbleibt als Gärrest bzw. Nebenprodukt zurück.

In Laborversuchen (Gärtests) erhaltene Methanausbeuten liegen je nach Pflanze bzw. Erntezeitpunkt und Silierung zwischen 0,2 - 0,5 l CH₄ pro g zugeführter organischer Trockenmasse (REIN-

HOLD und NOAK, 1956; BRAUN et al., 2003, LEHTOMÄKI et al., 2003). Der Methangehalt im Biogas kann dabei, je nach vorliegendem C : N - Verhältnis im Substrat in weiten Bereichen variieren. Großteils kohlenhydrathaltige pflanzliche Substrate erzielen oft nur einen Methangehalt von knapp über 50 %. Mit steigendem Eiweiß- oder Fettgehalt steigt der Methangehalt auf 65 % oder mehr.

Die spezifische Biogasausbeute in Praxisanlagen variiert mit den eingesetzten Rohstoffen, Co-Substraten bzw. den verfahrenstechnischen Betriebsbedingungen. In der Praxis wird mit Biogaserträgen von 6.000 - 8.000 m³/ha (Wiesengras) bis 8.000 - 12.000 m³/ha (Silomais, Futterrüben) kalkuliert (Anonym, 2002).

Das anfallende Biogas wird in Kraft Wärme Kopplungen, entsprechend Anlagengröße unterschiedlicher Leistung (50 - ca. 500 KW) zur Stromerzeugung genutzt. In den meisten Anlagen erfolgt hierzu eine entsprechende Entschwefelung (H₂S) des Biogases, im Regelfall biologisch durch Einpressung stöchiometrischer Luftmengen in den Gasraum. Die im BHKW entstehende Abwärme kann, insbesondere bei Kleinanlagen, häufig nicht oder nur zu einem geringen Teil wirtschaftlich sinnvoll genutzt werden. Zur Erzielung eines wirtschaftlichen Anlagenbetriebes ist es aber erforderlich einen hohen Wärmenutzungsgrad zu erreichen.

Die Gärrestentwässerung bzw. Recycling von Gärwasser erfolgen je nach Anlagentyp unterschiedlich bzw. in unterschiedlichem Ausmaß. Als Überschuss verbleibender Gärrest wird im Regelfall landwirtschaftlich als Dünger verwertet.

Offene Fragestellungen im Betrieb von Pflanzenvergärungsanlagen

Die Wirtschaftlichkeit des Gesamtprozesses der Energiepflanzenvergärung ist von zahlreichen komplexen infrastrukturellen sowie agrar- und energiepolitischen Rahmenbedingungen abhängig. Insbesondere Kleinanlagen erreichen nur bei zusätzlicher Investitionskostenförderung einen wirtschaftlichen Betrieb. Generell sind neben niedrigen Kapitalkosten hohe Biogasausbeuten und hohe Hektarerträge der eingesetzten pflanzli-

chen Rohstoffe, bei gleichzeitig geringen Gesteungskosten, zum wirtschaftlichen Betrieb erforderlich.

Zur Erzielung dieser Rahmenbedingungen werden hohe Ansprüche an die Verfahrenstechnik der Energiepflanzenvergärung zu stellen sein. Aus den bisherigen Erfahrungen mit Praxisanlagen ist aber erkennbar, dass eine Reihe vorrangiger Fragestellungen noch ungelöst oder unzureichend gelöst sind. Zur endgültigen Beurteilung der Leistungsfähigkeit und letztlich zur Erzielung einer Wirtschaftlichkeit von Pflanzenvergärungsanlagen sind daher eine Reihe struktureller und verfahrenstechnischer Fragestellungen, vorzugsweise anhand typischer Demonstrationsanlagen zu klären.

Betreffend Pflanzenwahl sind neben Klima-, Boden- und Ertragsfaktoren insbesondere die Wahl (Züchtung) zur Vergärung optimal geeigneter leicht verwertbarer Inhaltsstoffe (energiereich) vorrangig zu betreiben. Das erforderliche C:N-Verhältnis für die Gärung von 20 : 1 ist dabei zu berücksichtigen.

Hinsichtlich Rohstoffaufbereitung sind der erforderliche Aufbereitungsgrad (Zerkleinerung, Homogenisierung, Mischung) der pflanzlichen Rohstoffe, dessen Einfluss auf die Pumpfähigkeit, Dosierbarkeit, Automatisierbarkeit und Gärverlaufsoptimierung zu ermitteln. Verschiedene diskutierte Aufbereitungs- bzw. Vorbehandlungstechniken (chemische, biologische, thermische oder mechanische Methoden) müssen hinsichtlich Leistung und Praktikabilität evaluiert werden.

Kombinierte Verfahren Vergasung - Vergärung sind zu untersuchen, wobei nach entsprechenden Voraufbereitungsverfahren der biologisch leicht zugängliche Pflanzenanteil der Vergärung und der schwer vergärbare einer thermischen Vergasung zu geführt werden soll.

Reaktorbauart bzw. Mischsysteme müssen betreffend spezifischer Anforderungen pflanzlicher Rohstoffe im Zusammenspiel mit der Vorbehandlung (Voraufbereitung) sowohl für Nass- als auch Trockengärsysteme entwickelt, angepasst und optimiert werden. Beurteilungsparameter hierzu sind erzielter Homogenisierungsgrad, Stoffaustauschleistung, Entgasungsverhalten bzw. Vermeidung

von Sink- und Schwimmschichtbildung. Im Sinne einer Standardisierung ist zu untersuchen welche Bauelemente typisiert bzw. in modularer Bauweise vorgefertigt werden könnten.

Hinsichtlich Reaktorbetriebsweise und Gärungsverlauf - Optimierung müssen insbesondere der notwendige Verdünnungsgrad der Silage (mögliche Maximalkonzentration) bzw. die ohne Hemmeffekte maximal realisierbare, Gärwasser Recyclingrate herausgefunden werden. Weiters muss, in Abhängigkeit vom eingesetzten pflanzlichen Rohstoff, die optimale Verfahrensweise betreffend Gärungstemperatur (thermophil/mesophil), sowie ein-/zweistufiger Reaktor Betriebsweise (Vorbehandlung) geklärt werden. Zu beurteilen sind diese Optimierungsmaßnahmen anhand der auftretenden Metabolitkonzentration, des pH-Verlaufs, der CH₄-Bildungsrate (Biogasproduktivität), der Substratausnutzung (Stoffbilanz) und der erzielbaren Umsatzgeschwindigkeit (Raumbelastung).

Biogas als zentrales Endprodukt ist hinsichtlich Verwendbarkeit für unterschiedliche Zwecke bzw. weiterer Aufbereitung zu Treibstoff u.a. zu charakterisieren. Anforderungen (Entschwefelung, Entfeuchtung) für die verschiedenen Verwendungszwecke sind zu definieren und entsprechende Verfahren zu optimieren.

Für das neben Biogas zweite Endprodukt Gärrest sind, abhängig vom eingesetzten Co-Substrat, der Hygienestatus, allfällige sonstige Umweltbelastungen (Emissionen) sowie Behandlungs- und Verwertungsmöglichkeiten für den anfallenden Gärrest zu entwickeln.

Laufende und geplante Untersuchungsprogramme und Projekte

Im Rahmen des in der Programmlinie „Energiesysteme der Zukunft“ vom BM-VIT finanzierten, dreijährigen Projektes „Gütesiegel Ökogas“ soll am IFA Tulln anhand 40 ausgewählter österreichischer Biogasanlagen eine „Best Biogas Practice“ erarbeitet werden. Gemeinsam mit dem Projektpartner Fa. Profactor Steyr, werden jene prozessdeterminierenden Anlagenparameter ermittelt welche eine objektive, vergleichende, rech-

nerische Analgenbeurteilung ermöglichen. Durch diese Auswertung soll in Hinkunft ein, für den Anwender und Anlagenbauer transparentes, Beurteilungs- und Berechnungssystem für die technische Zuverlässigkeit und Wirtschaftlichkeit einer Biogasanlage zur Verfügung stehen.

In einem weiteren vom BMWA, 3 Bundesländern und der Industrie finanzierten Großprojekt sollen 2004 - 2006, im Rahmen des seit 3 Jahren bestehenden „Renewable Energy Network“ („Biomassevergasung“) alle Praxisaspekte der Vergärung von Pflanzenbiomasse zur Biogasgewinnung untersucht werden. Die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden an den 3 Biogas Kompetenzknoten in Reidling, NÖ (gem. mit Fa. Rohkraft und Fa. AAT), Strem, Burgenland (gem. mit Nahwärmegenossenschaft Strem und Fa. Thöni) und Hartberg, Steiermark (gem. mit Wärmegen. Hartberg und Fa. Bioenergetica) durchgeführt werden. Für die Koordinierung des wissenschaftlichen Begleitprogrammes in den Biogas Kompetenzknoten Reidling und Strem ist das Interuniversitäre Forschungsinstitut für Agrarbiotechnologie Tulln (IFA) zuständig, die Programmbetreuung im Kompetenzknoten Hartberg übernimmt die Forschungsgesellschaft Joanneum Graz. Die in den Teilprojekten Pflanzenzüchtung- und Pflanzenbau, Lagerung und Aufbereitung, Reaktorbau- und -betriebsweise, Energiegewinnung und -verwertung bzw. Prozessökonomie und Umsetzbarkeit erzielten Ergebnisse werden zur Praxisüberleitung direkt in die Auswertung „Best Biogas Practice“ des „Gütesiegels Ökogas“ einfließen.

Wissenschaftliche Grundlagen zur Pflanzenwahl (Züchtung), Vorbehandlung und Lagerung werden weiters im Rahmen des EU-Projektes „CROGEN“ (2004-2006) erarbeitet. Schwerpunktmäßig werden gemeinsam mit 12 EU-Partnern Einflussfaktoren auf die Energieoptimierung von Silage und deren Effekt auf Vergärungsverhalten und Biogasausbeute untersucht.

Im EU-Projekt „FLEXFUEL“ (2004 - 2006) werden Wege der optimierten Biogasnutzung, u.a. im Verbund mit anderen Energieträgern, untersucht.

Der Stand der Technik von Biogasanlagen, insbesondere im Hinblick auf die Auswirkungen der Hygienverordnung (EG) 1774/2002 auf Biogasanlagen, wird gegenwärtig in einer vom BMLFUW beauftragten, am IFA Tulln bearbeiteten, Studie erfasst. In einer weiteren Studie werden, im Auftrag der Wiener Umweltanwaltschaft, Fragen der Gärrestverwertung, insbesondere im Falle der Mitverwertung von Co-Substraten, untersucht.

Literatur

- ANONYM, 2002: Basisdaten Biogas Deutschland. Biomasse Info Zentrum am IER Universität Stuttgart. D-70565 Stuttgart, Hesselbrühlstrasse 49a.
- BRAUN, R., E. BRACHTL und M. GRASMUG, 2003: Codigestion of Proteinaceous Industrial Waste. *Applied Biochemistry and Biotechnology* **109** 139-153.
- BUSIC, F., 2004: Persönliche Mitteilung, BMLFUW, 1010 Wien Stubenbastei 5.
- HELFFRICH, D., 2004: Lagerung, Einbringung und Rühren nachwachsender Rohstoffe zur Vergärung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Biogas - zuverlässige Energie von Wiese und Acker. 13. Jahrestagung des Fachverbandes Biogas e.V. vom 27.-30. Jänner 2004, Messezentrum Leipzig, Deutschland.
- JASCHNEGG, H., 2003: Landwirtschaftliche Biogasanlagen in Österreich: Stand der zahlenmäßigen Entwicklung Ende 2002. Österreichischer Biomasseverband, 1010 Wien Franz Josefs Kai 13.
- LEHTOMÄKI, A., T. VIINIKAINEN, R. ALEN, und J. RINTALA, 2003: Methane Production from Energy Crops and Crop Residues: Effect of Harvest Time and Chemical Composition. *International Nordic Conference*, Finnland.
- MITTERLEITNER, H., 2003: Feststoffe in die Biogasanlage - aber wie? *Biogas Journal* **1** 16-19.
- REINHOLD, F. und W. NOAK, 1956: Laboratoriumsversuche über die Gasgewinnung aus landwirtschaftlichen Stoffen. In: *Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist*. Verlag von R. Oldenbourg, München.