

Landwirtschaftliche Co-Vergärungs-Biogasanlagen

Biogas aus organischen Reststoffen und Energiegras

Urs Baserga, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarwirtschaft und Landtechnik (FAT), CH-8356 Tänikon

Bisher wurde in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen fast ausschliesslich die hofeigene Gülle vergoren und zur Biogasproduktion genutzt. Zunehmend gewinnen jedoch Biogasverfahren an Bedeutung, welche neben der Gülle zusätzlich biogene Abfallstoffe mitverarbeiten. In diesen Co-Vergärungsanlagen wird das Kosten-Nutzen-Verhältnis gegenüber einer reinen Gülleanlage durch die erhöhten Gaserträge und die Einnahme von Entsorgungsge-

bühren wesentlich verbessert. Als wichtigste Co-Substrate werden Reststoffe aus der Lebensmittelindustrie, Schlachthofabfälle, Grossküchenabfälle und auch landwirtschaftliche Feststoffe mitvergoren. Praktisch sämtliche neu erstellten Biogasanlagen in der Schweiz sind in den letzten Jahren als Co-Vergärungsanlagen geplant und ausgeführt worden. Das produzierte Biogas wird mittels Wärme-Kraft-Koppelung zu Strom (Eigenverbrauch,

Netzeinspeisung) und Wärme (Eigenverbrauch) umgewandelt. Voraussetzung für einen erfolgreichen und wirtschaftlichen Betrieb von Co-Vergärungs-Biogasanlagen ist, dass langfristige Verträge mit den Zulieferfirmen der Co-Substrate abgeschlossen werden und die Stromeinspeisevergütung gesichert ist. Zudem müssen die gesetzlichen Auflagen in bezug auf die landwirtschaftliche Verwertung des vergorenen Materials (Düngerichtlinien, Hygienevorschriften, Schadstoffbelastung) erfüllt werden können.



Abb. 1. Die gemeinsame Vergärung fester und flüssiger Co-Substrate mit Gülle verbessert die Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Biogasanlagen. Bild links: Co-Vergärung von Getreideabgang und Mist. Bild rechts: Co-Vergärung von Gemüseabfällen (Zugabe flüssiger Gemüseabfälle in die Vorgrube).

Inhalt	Seite
Problemstellung	2
Co-Vergärung	2
Gasertrag verschiedener Co-Substrate	2
Nähr- und Schadstoffbelastung	3
Verfahrenstechnik der Co-Vergärung	3
Praxisanlagen	4
Co-Vergärung von industriellen und gewerblichen Abfällen	4
Co-Vergärung von landwirtschaftlichen Reststoffen	7
Schlussfolgerungen	11
Literatur	11

Problemstellung

Unter Co-Vergärung oder Kofermentation versteht man die gemeinsame Vergärung von Gülle oder Festmist zusammen mit biogenen Roh- und Reststoffen. Die Co-Substrate können dabei einzeln oder auch als Gemisch eingesetzt werden. In Deutschland, wo der Einsatz der Co-Vergärung schon weiter als bei uns fortgeschritten ist, wird derzeit nur noch ein Drittel aller Biogasanlagen ohne Zusatzstoffe betrieben. Bei den restlichen zwei Dritteln werden der Gülle organische Reststoffe beigemischt. In der Schweiz zeichnet sich dieselbe Entwicklung ab. Für die Biogaserzeugung besonders geeignet sind Stoffe, die möglichst hohe Gaserträge erzielen und die mit geringem verfahrenstechnischem Aufwand mitvergoren werden können. Voraussetzung für die Kofermentation betriebsfremder Abfallstoffe ist zudem, dass die landwirtschaftliche Verwertung des vergorenen Materials bezüglich Schad- und Nährstoffbelastung geregelt sowie seuchenhygienisch unproblematisch ist. Als Co-Substrate werden organische Abfälle aus Haushalten, aus der Lebensmittelindustrie sowie aus der kommunalen Entsorgung eingesetzt. Zudem werden auch pflanzliche landwirtschaftliche Reststoffe der Gülle beigegeben und zur Biogasproduktion genutzt. Für den Betreiber einer Biogasanlage ist die Co-Vergärung wirtschaftlich interessant, weil das Kosten-Nutzen-Verhältnis der Biogaserzeugung durch die höheren Gaserträge und die möglichen Einnahmen von Entsorgungsgebühren erheblich verbessert werden kann.

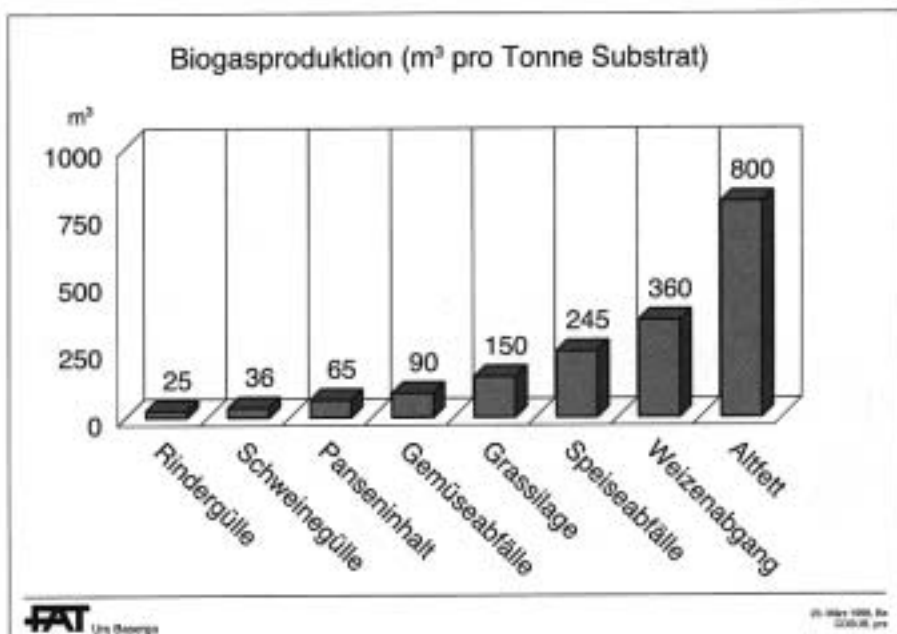


Abb. 2. Biogasertrag verschiedener Abfallstoffe in Kubikmeter pro Tonne Substrat. Der Biogasertrag der meisten Co-Substrate beträgt das 2- bis 4fache von Güllesubstraten. Speise- und Fettabfälle weisen sogar einen mehr als 20fachen Ertrag auf.

Co-Vergärung

Gasertrag verschiedener Co-Substrate

Der Biogasertrag von Gülle liegt zwischen 25 und 36 m³ pro Tonne Frischmaterial. Demgegenüber beträgt die Biogasproduktion der meisten Co-Substrate ein Mehrfaches der Flüssiggülle (Abb. 2). Den höchsten Wert weisen die fettreichen Abfälle auf. Die Vergärung von Altfett liefert einen Gasertrag von rund 800 m³ pro Tonne. Dies ist 20- bis 30mal mehr als bei der Vergärung derselben Güllemenge erreicht wird. Verantwortlich für die beträchtlichen Gaserträge der Co-Substrate ist der gegenüber Flüssiggüllen höhere Trockensubstanzgehalt und hierdurch höhere Energieinhalt pro Tonne Substrat. Die stoffliche Zusammensetzung wirkt sich zwar ebenfalls auf den Gasertrag und auf den Methangehalt (Energieinhalt des Biogases) aus – der TS-Gehalt ist jedoch in der Regel der bestimmende Faktor für die Produktivitätssteigerung einer Co-Vergärungsanlage.

In Tabelle 1 sind die Gasausbeuten und Gaszusammensetzungen (Methange-

halt) verschiedener Stoffklassen und häufig verwendeter Co-Substrate zusammengestellt. Die höchste Gasausbeute mit bis zu 1250 Liter Biogas pro kg zugegebener organischer Substanz wird beim Abbau von Fetten erreicht (Methangehalt: 70%). Vergleichbare Biogas-Ausbeuten zwischen 700 und 800 Litern/kg organische Substanz (OS) liefern Kohlehydrate und Eiweissstoffe. Die Ausbeuten der Co-Substrate liegen zwischen 470 und 600 Litern bei den pflanzlichen Substraten bzw. bei rund 1000 Litern/kg OS beim Altfett (altes Fritierfett). Mit 360 Litern/kg OS liegt die Ausbeute des Panseninhaltes gegebenermassen im Bereich der Göllesubstrate.

Die untere Hälfte in Tabelle 1 zeigt verschiedene Beispiele von Co-Vergärungsmöglichkeiten. Aus den Zahlen wird deutlich, dass die Biogasproduktion einer Flüssiggülleanlage durch die Zugabe relativ geringer Mengen feststoffreicher oder hochkonzentrierter Co-Substrate erheblich gesteigert werden kann. So bringt zum Beispiel die gemeinsame Vergärung von Schweinegülle mit Altfett (Zugabe 50 kg/m³ Gülle) bei praktisch gleichbleibender Durchflussmenge eine Gasproduktionserhöhung von rund 200%. Bei der Mitvergärung von Gemüseabfällen im Verhältnis 1:1 sind Ertrags-

Tabelle 1. Gasausbeuten und Ertragssteigerungen durch Zusatz verschiedener Co-Substrate

Stoffklasse/Gülle	Gasausbeute (Liter/kg OS ¹⁾)	CH ₄ ²⁾ (%)	Steigerung des Biogasertes einer mit Schweinegülle betriebenen Biogasanlage bei Zugabe von Co-Substraten (TS Gülle: 4,5 %)			
Kohlenhydrate	790	50				
Fette	1250	68				
Proteine	700	71				
Rindergülle	350	62				
Schweinegülle	400	62				
Co-Substrate	TS (%)	Gasausbeute (Liter/kg OS)	CH ₄ (%)	Zugabe (Gew.-%)	Ertragssteigerung (%)	TS Gemisch (%)
Gemüseabfälle	12	600	60	100	360	8-9
Panseninhalt	16	360	62	20	60	7-8
Altfett	50	1000	70	5	200	8
Extensogras	35	500	56	10	120	8
Weizenabgang	83	470	60	5	100	8

1) Organische Substanz. 2) Methangehalt des Biogases.

steigerungen von über 300% möglich. Ein Beispiel einer Praxisanlage, in welcher vor allem landwirtschaftliche Reststoffe (Weizenabgang) mitvergoren werden, ist in Abbildung 6 dargestellt. Durch die Co-Vergärung von Weizenabgang und Mist wird in dieser Anlage die Gasproduktion von 110 bis 130 m³ pro Tag (Güllebetrieb) auf 160 bis 180 m³ (Mistzugaben) bzw. auf über 230 m³ pro Tag (Weizenabgang) gesteigert [1].

Nähr- und Schadstoffbelastung

Durch die Zugabe betriebsfremder Stoffe wird der Hofdünger mit zusätzlichen Nähr- und Schadstoffen belastet. Bei der landwirtschaftlichen Nutzung des vergorenen Materials als Dünger sind die entsprechenden gesetzlichen Auflagen einzuhalten. Falls die Zusatzbelastung die Verwertung auf den betriebseigenen Flächen nicht mehr erlaubt, müssen Abnahmeverträge mit benachbarten Landwirtschaftsbetrieben abgeschlossen oder anderweitige Lösungen für die gesetzeskonforme Verwertung des Gärsubstrates gefunden werden. In Tabelle 2 sind einige

charakteristische Substrate mit ihren entsprechenden Nährstoffgehalten aufgelistet. Sie ermöglicht eine erste Grobabschätzung der Nährstoffbelastung durch die Mitvergärung dieser Co-Substrate. Vor dem Einsatz eines betriebsfremden Substrates sollten jedoch entsprechende Nähr- und Schadstoffanalysen durchgeführt bzw. vom Zulieferer verlangt werden.

Tabelle 2. Nährstoffgehalte verschiedener Co-Substrate [7]

Substrat	TS (%)	OS (% TS)	N _{tot} (% TS)	P ₂ O ₅ (% TS)	K ₂ O (% TS)
Rindergülle	6-11	68-85	2,6-6,7	0,5-3,3	5,5-10
Schweinegülle	2-9	60-85	6-18	2-10	3-7,5
Hühnerkot	30-35	70-80	5-6	3-4	3
Gemüseabfälle	5-20	76-90	3-5	0,8	1,1
Speiseabfälle	9-37	74-98	0,6-5	0,3-1,5	0,3-1,2
Panseninhalt	11-19	80-90	1,3-2,2	1,1-1,6	0,5-0,6
Fettabscheider-Fett	2-70	70-95	0,1-3,6	0,1-0,6	0,1-0,5
Flotatfett (Schlachthof)	5-24	83-98	3-8	1-4	0,05-0,2
Grassilage	25-40	67-98	1,2-4	0,4-2	1,7-6,5

Verfahrenstechnik der Co-Vergärung

Der technische Mehraufwand, der im Vergleich zur reinen Güllevergärung betrieben werden muss, hängt in erster Linie von der Art und der Menge des zu vergärenden Substrates ab. **Feststoffe, die sich gut mit der Gülle vermischen** (Mistsubstrate mit geringem Strohanteil, Gemüseabfälle) sowie flüssige Co-Substrate (Schotte, Altfett) können – immer unter Berücksichtigung der biologischen Belastungsgrenzen – in bestehenden Flüssiganlagen ohne grössere Anpassungsarbeiten vergoren werden.

Bei der **Verwendung von stark schwimmdeckenbildenden Substraten** (Panseninhalt, Grassilage) sind jedoch weitergehende verfahrenstechnische Anpassungen im Bereich der **Beschickung** (Einsatz eines Häckslers, einer Mixerpumpe oder eines Mazerators) und der Schwimmdeckenbeherrschung (effizientes Rührsystem, verstopfungsfreier Fermenterauslauf) notwendig. In Co-Vergärungsanlagen nimmt das **Fermenterrührwerk** eine zentrale Stellung ein. Bei problematischen Substraten bildet sich bei einem Rührwerkerausfall von wenigen Stunden eine kompakte Schwimmdecke aus, die zu einer Blockierung des Rührwerkes führen kann [1, 2]. Zur Vorbeugung dieser in der Regel schwerwiegenden Betriebsstörung sollte das Rührsystem mit einer genügenden Kraftreserve aus-

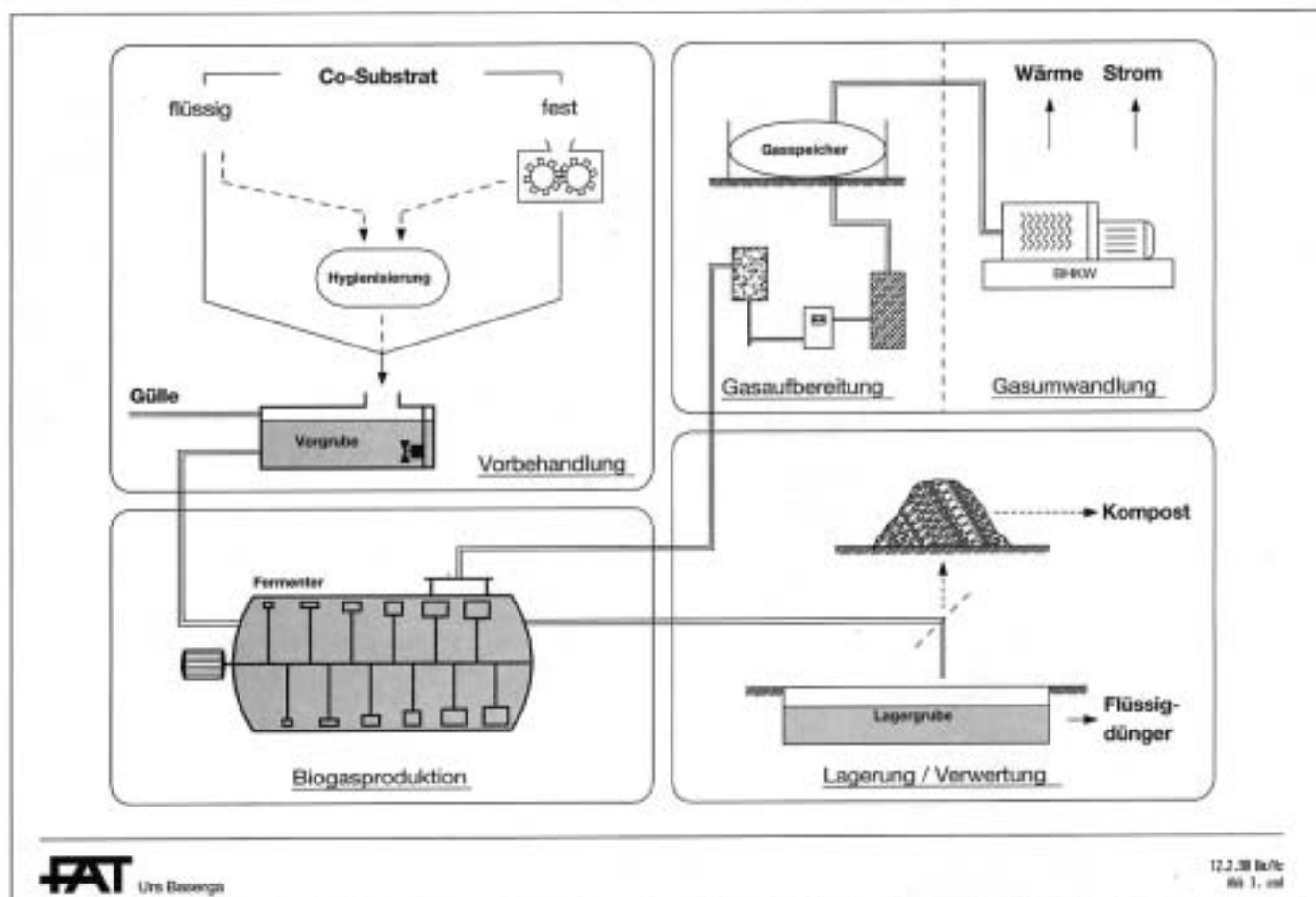


Abb. 3. Komponenten einer Co-Vergärungsanlage. Gegenüber einer Flüssiggülle-Anlage sind technische Anpassungen im Bereich der Vorbehandlung (Zerkleinerung der Feststoffe), der Schwimmdeckenbeherrschung (Rührsystem) und gegebenenfalls der Seuchenhygiene (Hygienisierung des Co-Substrates) notwendig.

gestattet werden. Ebenso muss bei der **Wahl der Fermenterform** auf die Besonderheiten der Co-Vergärung geachtet werden. Bei einem hohen Anteil von schwimmdeckenbildenden Feststoffen ist in der Regel ein liegender Fermenter besser geeignet als ein stehender Behälter (grössere Flüssigkeitsoberfläche mit entsprechend dünnerer Schwimmdecke, Schwimmdeckenzerstörung mittels langsam drehendem durchgehendem Haspelrührwerk).

Falls die Durchflussmenge durch die Zugabe eines Co-Substrates nur geringfügig erhöht wird (Beispiel «Altfett» oder «Weizenabgang», Tab. 1), kann die Vergärung in einer bestehenden Güllebiogasanlage erfolgen. Die Zugabe grösserer Mengen (Beispiel «Gemüseabfälle») erfordert jedoch ein grösseres **Fermentervolumen**. Bei Neuanlagen muss der Co-Vergärungsfermenter entsprechend dimensioniert werden. Bei bestehenden Anlagen

kann ein zusätzlicher Fermenter vor- oder nachgeschaltet werden.

Eine zusätzliche Komponente im Verfahrensablauf der Co-Vergärung ist die **Hygienisierungsstufe**. In Anlagen, welche problematische Abfälle wie zum Beispiel Speisereste oder Schlachthofabfälle verarbeiten, muss eine Inaktivierung der seuchenhygienisch relevanten Organismen erfolgen. Die Hygienisierung kann durch eine separate thermische Behandlung (Pasteurisierung) oder durch eine thermophile Vergärung (Gärtemperatur > 55 °C) erreicht werden.

Praxisanlagen

Co-Vergärung von industriellen und gewerblichen Abfällen

Co-Vergärungsanlage «Günthardt» in Dällikon (ZH)

K. Günthardt bewirtschaftet im Zürcher Furtal einen Bio-Landwirtschaftsbetrieb mit einem Tierbestand von 38 GVE. Der tägliche Gülleanfall beträgt 2,5 m³. In unmittelbarer Nähe des Bauernhofes befindet sich ein Rüstbetrieb, der Salate und Gemüse aus den umliegenden Kulturen zu rüstfertigen Produkten aufarbeitet. Bei der Gemüseverarbeitung entstehen pro Tag 10 bis 12 m³ relativ dünnflüssige Gemüseabfälle mit einem Trockensubstanzgehalt von 7 bis 8%. Als logische

Weiterentwicklung des Grundgedankens des biologischen Landbaus (Schliessen von Stoffkreisläufen innerhalb des betrieblichen Verantwortungsbereiches, effiziente CO₂-neutrale Energienutzung) entschloss sich der Gemüsebauer für den Bau einer Co-Vergärungsanlage, in welcher neben der hofeigenen Kuhgülle die **Gemüseabfälle** mitvergoren und zur zusätzlichen Energieproduktion genutzt werden. Die Anlage ist seit Ende 1993 in Betrieb.

Anlagentechnik

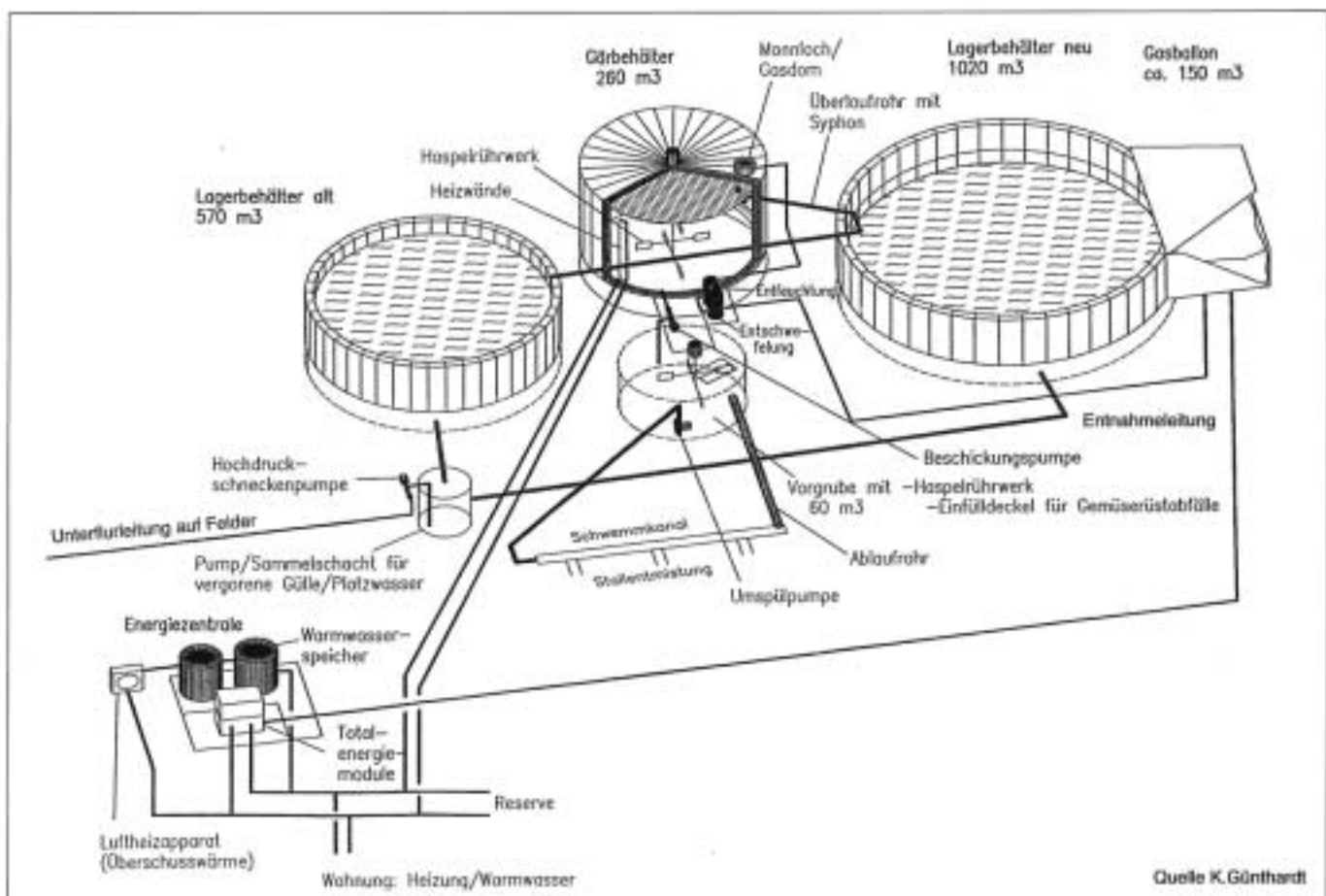
Abbildung 4 zeigt eine Übersicht der Biogasanlage. Die Gemüseabfälle werden als pumpbares Flüssigsubstrat in einem Tankwagen angeliefert und in der **Vorgrube** (60 m³) mit der hofeigenen Gülle mit einer Rühr-/Mixerpumpe vermischt. Ein zusätzliches Haspelrührwerk dient der Schwimmdeckenzerstörung. Eine Drehkolbenpumpe fördert das Gemüse-/Gülle-Gemisch in den stehenden, aus Beton gefertigten **Fermenter** (Volumen: 260 m³), in wel-



Abb. 4b. Co-Vergärungsanlage «Günthardt». 1 Fermenter, 2 Betriebsgebäude, 3 Vorgrube (Zugabe der Gemüseabfälle), 4 Lagerbehälter.

chem die Vergärung bei einer Gärtemperatur von 34 °C und einer durchschnittlichen Verweilzeit von 20 bis 25 Tagen stattfindet. Zur Durchmischung

und zur Schwimmdeckenzerstörung ist im Fermenter ein langsam laufendes Haspelrührwerk eingebaut, welches intervallmässig betrieben wird.



Quelle K. Günthardt

Abb. 4a. Schema der Biogasanlage «Günthardt» in Dällikon (ZH).

Das vergorene Material gelangt via Fermenter-Überlauf in den nachgeschalteten rund 1000 m³ fassenden GÜllesilo.

Energieertrag und Energienutzung

Das Biogas wird entschwefelt, in einem Gasballon (150 m³) zwischengespeichert und in zwei Blockheizkraftwerken mit einer installierten Leistung von je 13 kW elektrisch und 35 kW thermisch zur Erzeugung von Strom und Wärme verbrannt. Die tägliche **Biogasproduktion** beträgt durchschnittlich 350 m³, was eine jährliche Stromproduktion von 190 000 kWh sowie eine Wärmeproduktion von rund 500 000 kWh ergibt. Der Wärmebedarf des Landwirtschaftsbetriebes beträgt inklusive Fermenterheizung rund 250 000 kWh. Bei einer Wärmeproduktion von 500 000 kWh besteht vor allem im Sommer ein Wärmeüberschuss. Ein geringer Anteil der Abwärme kann zum Fruchtedörren genutzt werden. Der Grossteil der überschüssigen Wärme muss jedoch «vernichtet» werden. Übersteigt die Warmwassertemperatur im Wärmespeicher 80 °C, wird die überschüssige Wärme mit einem Heizlüfter abgeführt. Von den 190 000 kWh produzierten Stromes wird rund ein Drittel für den Eigenbedarf des Betriebes und der Biogasanlage verwendet, der Rest wird ins Netz eingespeisen.

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten der Biogasanlage betragen Fr. 560 000.–. Bei einer Amortisationszeit von 15 Jahren und einem Zins von 6% belaufen sich die jährlichen Betriebskosten einschliesslich Unterhalt, Personalkosten und Versicherung auf rund Fr. 100 000.–. Die Erlöse aus dem Stromverkauf und der Heizölsubstitution betragen zirka Fr. 40 000.–. Durch den Ertrag von rund Fr. 70 000.– aus der Entsorgung der Salat- und Gemüseabfälle lässt sich die Biogasanlage mindestens kostendeckend bzw. je nach Abgeltung der Eigenleistung (Unterhalt) sogar mit einem Gewinn betreiben. Ein wirtschaftlicher Betrieb ist jedoch nur durch die Einkünfte aus der Gemüseabfallentsorgung realisierbar.

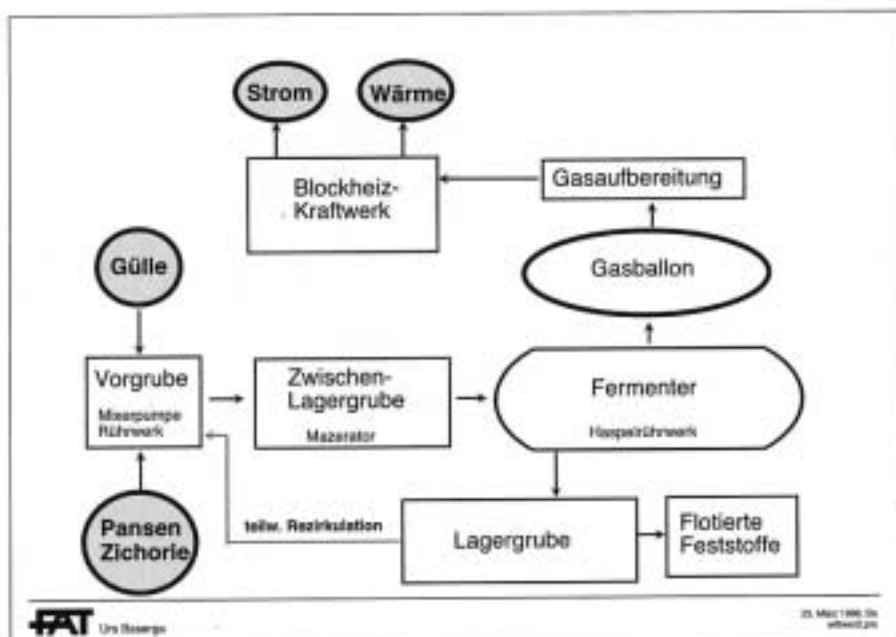


Abb. 5. Fließbild der Co-Vergärungsanlage «Wittwer» in Süderen (BE). Neben der Mixerpumpe sorgt ein Mazerator für eine zusätzliche Zerkleinerung und Homogenisierung der Co-Substrate. Die vergorenen flotierte (aufschwimmende) Feststoffe werden mit einem Greifer aus der Lagergrube entfernt und separat gelagert.

Co-Vergärungsanlage «Wittwer» in Süderen (BE)

Der Hof der Gebrüder Klaus und Urs Wittwer umfasst eine Fläche von 5,5 Hektaren. Der Tierbestand setzt sich zusammen aus 3000 Legehennen und 3000 Aufzuchtküken, 280 Mastschweinen sowie sechs Kühen und vier Rindern. Durch den Bau einer Biogasanlage sollte ein Teil des Energiebedarfes des Landwirtschaftsbetriebes aus erneuerbarer Energie gedeckt werden. Da der alleinige Betrieb mit hofeigenen Substraten kein wirtschaftlicher Betrieb zulies, suchten die Gebrüder Wittwer nach Möglichkeiten, das Kosten/Nutzen-Verhältnis der Anlage zu verbessern. Sie entschieden sich für den Bau einer Biogasanlage, welche die Co-Vergärung betriebsfremder biogener Abfallstoffe ermöglicht [2]. In der im Herbst 1995 in Betrieb genommenen Co-Vergärungsanlage werden als Feststoff-Co-Substrate hauptsächlich **Panseninhalt, Abfälle aus der Kaffee-Ersatz-Herstellung** (Gemisch von Feigen, Malz, Weizen und Zichorieabfällen), **Gewürztreber** sowie ein Teil des hofeigenen Hühnermistes mitvergoren. Sporadisch wurden auch schon Fettabfälle und Schotte als flüssige Fremdstoffe der Biogasanlage zugegeben. Finanziell ist dieses Kon-

zept deshalb interessant, weil durch den Einzug von Entsorgungsgebühren eine zusätzliche Verdienstquelle erschlossen werden konnte.

Anlagentechnik

Die Co-Substrate und die hofeigene Gülle werden der Vorgrube im Verhältnis 1:1 beigegeben und dort vermischt und zerkleinert (Abb. 5). Die **Vorgrube** mit einem Volumen von 30 m³ ist mit einem Tauchrührwerk (Schweizer TMRW-90, Leistung 5,5 kW) und einem Mixer (Eigenbau, Leistung 11 kW) bestückt. Die vorzerkleinerte Suspension gelangt via Mazerator (Allweiler ABM 40-S1, Leistung 7,4 kW) in die mit einem Haspelrührwerk (Leistung 0,4 kW) versehene **Zwischenlagergrube** (Volumen: 30 m³) und wird anschliessend in den Fermenter gepumpt. Die Leistungen des Rühr- und Mixeraggregates sind für die verwendeten Suspensionen (Trockensubstanzgehalt: 8 bis 12%) eher knapp bemessen. Durch die portionenweise Zugabe der Feststoffe kann jedoch eine Überlastung vermieden werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, problematische Gemische durch die **Rückführung vergorener Gülle** zu verdünnen. Der **Mazerator** hat sich für die verwendeten Feststoffe als brauchbar, je-

doch recht wartungsintensiv erwiesen. Bei einem Testversuch mit Grasschnitt zeigte sich zudem, dass die Zerkleinerung von faserigem Material ungenügend ist (ungleichmässige Zerkleinerung, Verstopfungsgefahr). Als problematisch stellten sich auch die teilweise im Panseninhalt aufgefundenen Fremdkörper wie zum Beispiel Schnüre, Magnete und Drähte heraus, welche Mazerator und Mixer beschädigen können.

Die **Beschickung** des Fermenters erfolgt mit einer Kolbenpumpe (Lanz, Leistung 1,6 kW). Die Vorzüge dieses Pumpentypes sind gemäss Anlagenbetreiber der geringe Energiebedarf, der minimale Verschleiss und die Trockenlaufmöglichkeit. Mit einem Durchmesser von 80 mm ist die Saugleitung zwar eher knapp dimensioniert. Da die Leitung jedoch sehr kurz ist, gibt es trotz des engen Durchmessers wenig Probleme. Das Pumpensystem hat sich gut bewährt.

Im liegenden **Fermenter** mit einem Volumen von 150 m³ wird das Gülle/Feststoff-Gemisch bei 33 °C und einer Verweilzeit von 25 bis 30 Tagen vergoren. Das **Paddelrührwerk** mit 40 Paddeln (Motorleistung 0,74 kW) hat sich als funktionstüchtiges Rührsystem für die Zerstörung der Schwimmdecke erwiesen (Rührbetrieb: 5 Min. Laufzeit/15 Min. Intervall/eine halbe Umdrehung pro Minute). Der **Fermenterauslauf** erwies sich als eine wichtige Komponente bei der Co-Vergärung von Feststoffen. Anfänglich gab es Probleme beim Austrag des vergorenen Materials. Da der Abzugskasten zu klein dimensioniert war, wurde teilweise nur Flüssigkeit abgezogen, während die Feststoffe an der Überlaufkante rückgestaut wurden. Nach der Installation eines grösseren Kastens (40 x 40 cm) erfolgte der Austrag ohne Schwierigkeiten. Es zeigte sich auch, dass die Schwimmdeckenprobleme stark vermindert werden können, wenn der Fermenter mehrmals täglich, dafür mit kleineren Chargen, beschickt wird. Bei Vollbetrieb mit Pansenmaterial wurde der Fermenter praktisch kontinuierlich beschickt (Beschickungsintervall: 15 Minuten). Abhängig vom verwendeten Co-Substrat ist die **Schwimmdeckenbildung** mehr oder weniger stark ausgeprägt. Die Bildung einer kompakten Schwimmdecke ist bei der Vergärung von Panseninhalt zu beobachten. Bei

einem Pansenanteil von mehr als 50% bildete sich eine äusserst dichte Schwimmdecke aus, die nur noch mit viel Rühraufwand zu beherrschen war. Die Abfälle aus der Kaffee-Ersatz-Herstellung ergaben keine Probleme. Als vorteilhaft erwies sich die gemeinsame Vergärung beider Substrate, da dadurch das Gemisch pumpfähiger und die Schwimmdeckenbildung reduziert wurde.

Die **vergorene Suspension** wird in eine Güllelagergrube geleitet, aus der die flotierten Feststoffe mit einem Greifer (Kran) aus der Grube entfernt und von der Flüssigkeit abgetrennt werden. Ein Teil der Flüssigphase dient als **Rezirkulationsflüssigkeit** (Rückführung zur Verdünnung und Beimischung der Feststoffe). Dieses einfache System der Flüssig/Fest-Phasentrennung hat sich gut bewährt und als zweckmässig erwiesen.

Für die **Verwertung des vergorenen Materials** mussten die entsprechenden Gewässerschutz- bzw. Düngvorschriften eingehalten werden. Da das eigene Land des Betriebes für eine ausgeglichene Nährstoffbilanz nicht ausreicht, wurden mit 23 benachbarten Landwirtschaftsbetrieben Abnahmeverträge abgeschlossen. Das vergorene Substrat wird von den Anlagenbetreibern gratis auf die Höfe der Vertragspartner geliefert.

Energieertrag und Energienutzung

Das Biogas wird in einem Gasballon, der in einem alten Stahltank eingebettet ist, zwischengespeichert und in einem Blockheizkraftwerk DIMAG GM 226B-6 mit einer installierten Leistung von 30 kW elektrisch und 65 kW thermisch zu Strom und Wärme umgewandelt. Die Co-Vergärungsanlage produziert täglich zwischen 200 und 250 m³ Biogas bzw. rund 280 kWh Strom. Dies ergibt einen jährlichen Biogasertrag von rund 80 000 m³ bzw. einen Stromertrag von über 100 000 kWh. Von der produzierten Wärme von rund 200 000 kWh werden drei Viertel für den Betrieb genutzt, der restliche Viertel muss – vor allem in den Sommermonaten – über einen Heizlüfter abgeführt werden.

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten der Anlage beliefen sich auf Fr. 380 000.–. Gemäss

Auskunft des Anlagenbetreibers kann die Anlage durch die zusätzlichen Einkünfte der Entsorgung wirtschaftlich betrieben werden. Wie bei der Biogasanlage «Günthard» ist jedoch durch den alleinigen Ertrag aus der Energieproduktion kein kostendeckender Betrieb möglich.

Co-Vergärung von landwirtschaftlichen Reststoffen

Die Biogasanlage «Neukomm» in Thayngen (SH)

Der Hof von Hanspeter Neukomm liegt zwei Kilometer ausserhalb des Dorfes Thayngen im Kanton Schaffhausen. Er umfasst eine Fläche von 23 ha. Davon werden 17 ha als Ackerland genutzt, 2 ha sind Wiesen und 4 ha Wald. Der Tierbestand setzt sich zusammen aus 60 Mutterschweinen (Umspülentmistung/Tiefstreu) und 280 Mastschweinen (Teilspaltenboden/Tiefstreu) in Stallhaltung. Insgesamt beläuft sich der Bestand auf 74 DGVE. Das verwendete Futter setzt sich aus Getreide und Maiskolbenschrot aus eigener Produktion sowie zugekauftem Soja- und Fischmehl zusammen. Mitte 1996 wurde bei der Schweinemast auf Ökofutter umgestellt. Die 1979 in Betrieb genommene Biogasanlage war als reine Flüssiganlage geplant worden. Bis zum Jahr 1996 wurde die anfallende Gülle in einem stehenden Fermenter mit einem Volumen von 150 m³ bei einer Gärtemperatur von rund 40 °C und einer Verweilzeit von 25 Tagen vergoren. Das gewonnene Biogas (50 000 bis 60 000 m³/Jahr) wurde in einer Wärme-Kraft-Kopplungsanlage verbrannt und zur Warmwassererzeugung und Stromproduktion genutzt. Der jährliche Stromertrag betrug 66 000 kWh, die genutzte Wärme 93 000 kWh. Die Anlage deckte 76% des Strom- und 70% des Heizungs-/Warmwasserbedarfs des Landwirtschaftsbetriebes ab.

Co-Vergärung von Mist und Getreideabgang

Mit dem Bau eines zusätzlichen, dem alten Fermenter vorgeschalteten Gärbehälters im Jahre 1996 (liegender Tank mit einem Volumen von 100 m³

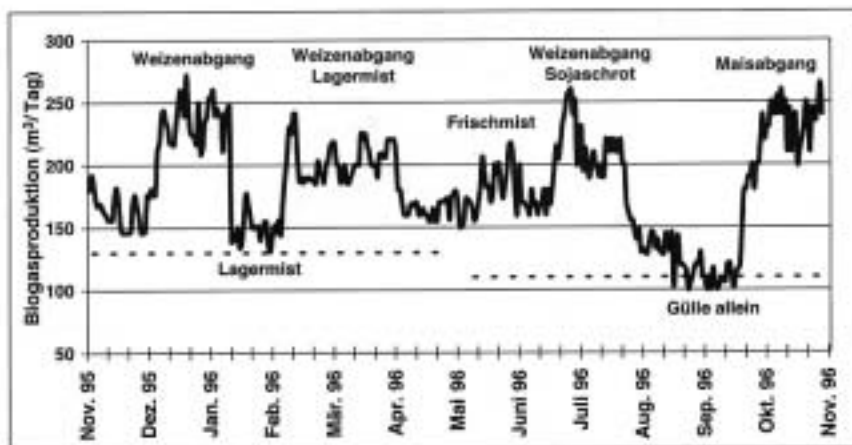
mit durchgehendem Haspelrührwerk) schuf man die Voraussetzungen für die Co-Vergärung von Feststoffen. In einem einjährigen Forschungsprojekt wurden auf der erweiterten Biogasanlage Versuche mit **Mist und Getreideabgang als Co-Substrate** durchgeführt (Abfälle aus der Getreidereinigung: Spreu, Spelzen, Körner). Die Untersuchungen dienten in erster Linie der Abklärung verfahrenstechnischer Fragen, die sich bei der Co-Vergärung von Feststoffen ergeben [1].

Abbildung 6 zeigt eine Zusammenstellung der verwendeten Co-Substrate mit den entsprechenden Gasproduktionsdaten. Die gestrichelte Linie stellt die Referenzgasproduktion der Schweinegülle dar (Vergärung ohne Co-Substrat). Aus der Graphik wird deutlich, dass der **Gasertrag** einer Güllebiogasanlage durch die Co-Vergärung von Feststoffen erheblich gesteigert werden kann. Der Mehrertrag hängt dabei stark vom verwendeten Substrat ab. Während der drei bis vier Monate alte, gelagerte Jagemist nur eine unwesentliche Erhöhung der Gasproduktion bringt (Verluste während der Lagerung), wird der Gasertrag durch die Zugabe von pflanzlicher Biomasse (Weizen- und Maisabgang) praktisch verdoppelt. Die Co-Vergärung von frischem Tiefstreumist ergab eine Ertragssteigerung von rund 40%. Bezüglich der **Verfahrenstechnik** (Mischverhalten in der Vorgrube, Sediment- und Schwimmdeckenbildung in den Fermentern, Beschickung und Entnahme des vergorenen Substrates) gab es bei den verarbeiteten Zugabemengen keine nennenswerten Probleme.

Versuchsbetrieb mit Extensograssilage

Im Rahmen des Forschungsprojektes «Strom und Wärme aus Energiegras und Feldholz» [9] wurden im Labor verschiedene Verfahrenskonzepte für die semikontinuierliche Vergärung von Energiegras entwickelt [4]. Die Co-Vergärung von Energiegras in Form von fein gehäckselter Silage mit Gülle als Flüssigsubstrat hat sich dabei als ein gut funktionierendes Gärverfahren erwiesen. Durch die hohe Pufferkapazität der Güllesubstrate wurde auch bei hohen Belastungen ein stabiler Gärprozess mit Energiegras-Ausbeuten

Gasproduktionssteigerung durch Feststoffzugaben



Substrate	TS	OS	Menge/Tag	Zeit
Saugülle	4,5 %	85 %	5-7 m³	durchgehend
Weizenabgang	83 %	94 %	220 kg	Dez. 95
Lagermist	26 %	74 %	50 kg	Jan. 96
Weizenabgang/Lagermist			180/115 kg	Feb./März 96
Frischmist	25 %	85 %	340 kg	April/Mai 96
Weizenabgang/Sojaschrot	85 %	90 %	40/70 kg	Juni/Juli 96
Saugülle ohne Co-Substrat	4,5 %	85 %	5-7 m³	Aug./Sept. 96
Maisabgang	60 %	90 %	250 kg	Sept./Okt. 96

FAT Urs Baserga

2. April 1998, Bn Gasprod.doc

Abb. 6. Einfluss der Feststoffzugaben auf die Gasproduktion der Biogasanlage «Neukomm». Durch die Zugabe von Mist und Weizenabgang erhöht sich die tägliche Gasproduktion der Anlage von rund 120 m³ (Güllebetrieb) auf 170 m³ (Mistzugabe) bzw. auf rund 250 m³ (Zugabe von Weizenabgang).

zwischen 500 und 580 Litern Biogas pro kg zugeführte organische Substanz erreicht. Aufgrund der positiven Erfahrungen, die auf der Anlage mit Mist und Weizenabgang gemacht wurden, führte man im Sommer 1997 einen viermonatigen Praxisversuch mit Energiegras (Silage einer extensiv genutzten Wiese) als Co-Substrat durch [3].

Anlagentechnik

Für den Praxisversuch auf der Co-Vergärungsanlage (Abb. 7) verwendete man **Rundballensilage von extensiv bewirtschafteten Wiesen** (TS: 26 bis 32%, OS: 90 bis 94%). Nach dem Öffnen des Silageballens werden die

Halme mit einem Häcksler auf eine Schnittlänge von 1 bis 3 cm verkürzt und anschließend in die Vorgrube (Volumen: 20 m³) geschüttet. Die Durchmischung mit der Schweinegülle erfolgt mit einem Tauchpropeller-Rührwerk (Leistung 7,5 kW). Eine Drehkolbenpumpe mit einer Leistung von 10 kW fördert das Gemisch in den Fermenter. Durch die Vor- und Rücklaufmöglichkeit der Pumpe kann die Bildung von Verstopfungen in den Leitungen und in der Pumpe weitgehend verhindert und das Einfrieren durch Leersaugen der Leitungen in den Wintermonaten vermieden werden. Um Verstopfungen vorzubeugen, werden die Leitungen nach der Beschickung mit Schweinegülle rückge-

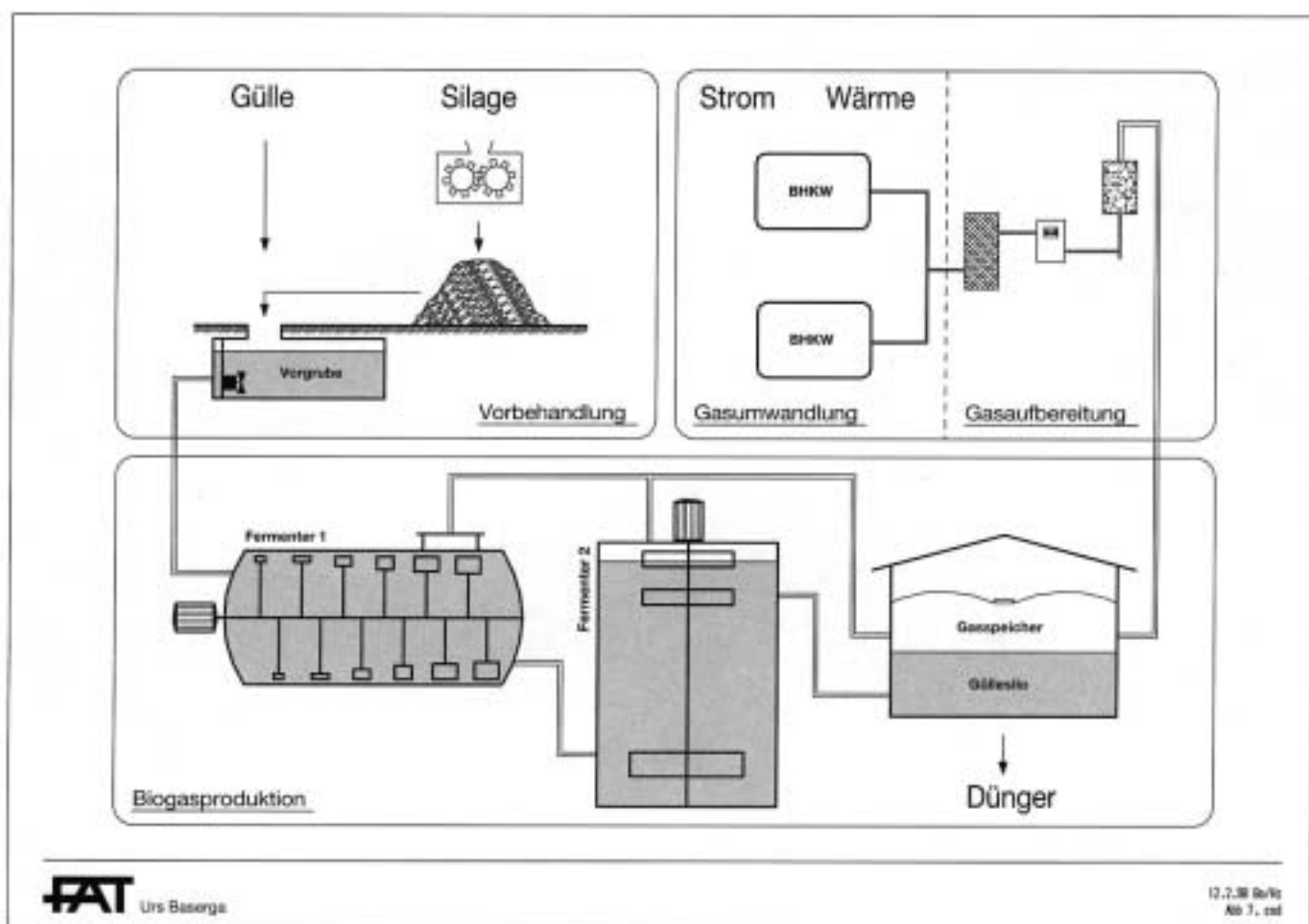


Abb. 7. Schema der Biogasanlage «Neukomm» in Thayngen (SH).

spült. Die Leitungsdurchmesser betragen 110 mm (Druckleitungen) bzw. 150 mm (Saugleitungen).

Im neu gebauten **liegenden Stahl-Fermenter** (Volumen: 100 m³) wird die Gülle/Silage-Suspension mit einem **Paddelrührwerk** (Leistung 1 kW, Kettenantrieb) durchmischt. Das Rührwerk hat sich schon bei der Co-Vergärung von Weizenabgang und Mist als funktionstüchtiges Rührsystem für die Beherrschung der Schwimmdecke erwiesen. Die Rührintensität blieb dieselbe wie beim Betrieb mit Weizenabgang (Rührbetrieb: 6 Min. Laufzeit/sechs Umdrehungen pro Minute/16 Min. Intervall). Auf der Fermenterunterseite sind, verteilt auf die gesamte Länge, drei Stützen mit einem Durchmesser von 150 mm angebracht. Durch das Einpumpen von Wasser oder Gülle kann der Fermenterinhalt bei Schwimmdecken- und Sedimentproblemen umgespült werden (Zerstörung der Schwimmdecke, Sedimentabzug).

Bei der Gärtemperatur von 35 °C und einer Verweilzeit von rund 15 Tagen wird das Silagematerial im neuen Gärbehälter soweit zersetzt, dass es anschliessend im alten Gülle-Fermenter ohne verfahrenstechnische Probleme weiter abgebaut werden kann. Die vorvergorene Suspension gelangt via Überlauf in den **stehenden Betonfermenter** (Nutzvolumen: 150 m³), welcher mit einem vertikalen Rührwerk mit drei Paddeln durchmischt wird (Rührbetrieb: 8 Min. Laufzeit/60 Min. Intervall). Die Gärtemperatur in Fermenter 2 beträgt 32 °C.

Gasproduktion

Durch die Silagezugabe erhöhte sich die Gasproduktion der Anlage von 160 m³ (Gülle und Mist) auf über 250 m³ Biogas pro Tag (Abb. 8). Dies entspricht einer Zunahme von gegen 60%. Nach dem Unterbruch des Silagebetriebes (zwischenzeitliche Zugabe von Weizenabgang mit Erhöhung der Gaspro-

duktion auf rund 320 m³/d) wurde die Anlage Ende August nochmals mit Extensograssilage beschickt. Der Gasertrag sank nach einer Abklingzeit von wenigen Tagen wieder auf den ursprünglichen Wert von rund 250 m³ pro Tag ab. Der starke Anstieg auf über 350 m³/d nach Abschluss des Silageversuchs ist auf die neuerliche Zugabe von Weizenabgang und Rapsschrot zurückzuführen. Die auf die Silage bezogene Gasausbeute beläuft sich auf 500 bis 550 Liter/kg zugeführte organische Substanz. Diese Werte korrespondieren gut mit den Ausbeuten, die im Labor erreicht wurden [4]. Wichtigste Voraussetzung für einen möglichst problemlosen Betrieb der Biogasanlage ist die **Vorzerkleinerung der Silage**. Generell gilt, dass die Gefahr von Verstopfungen und Schwimmdeckenbildungen mit zunehmendem Zerkleinerungsgrad der Silage abnimmt. Mit dem Häcksler wurden die Grashalme auf eine Länge von 1 bis 3 cm verkürzt. Gemäss dem Anlagen-

Versuchsbetrieb mit Extensogras-Silage

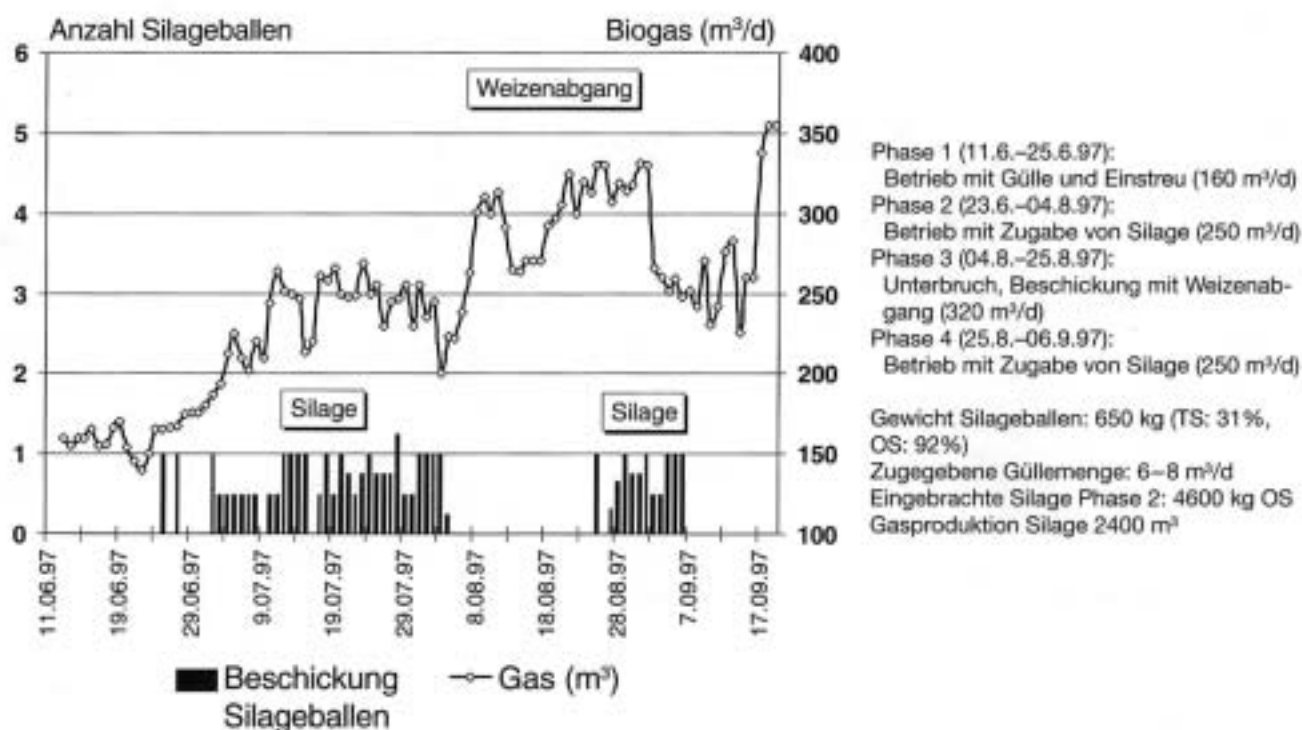


Abb. 8. Gasproduktion und zugegebene Silageballen während des Versuchsbetriebes.

betreiber darf diese Schnittlänge – zumindest für das Funktionieren seiner Anlage – nicht überschritten werden. Während des Versuchsbetriebes wurden täglich zwischen 500 und 600 kg gehäckselte Silage zu 6 bis 8 m³ Schweinegülle belgemischt. Dieses Mischverhältnis erwies sich als obere Grenze für einen verstopfungsfreien Betrieb der Anlage. Der **TS-Gehalt der Suspension** lag zwischen 8 und 10%. Probleme durch **Bildung von Schwimmdecken und Sedimentschichten** in den beiden Fermentern gab es keine. Das durchgehende Haspelrührwerk im liegenden Fermenter verhinderte den Aufbau einer festen Schwimmdecke. In Batchversuchen mit Silage konnte gezeigt werden, dass nach einer Faulzeit von 15 bis 20 Tagen wohl noch eine Schwimmdecke gebildet wird. Im Gegensatz zu Stroh, das auch nach der Vergärung eine kompakte, stark verfilzte Schimmdecke bil-

det [8], sind die Silagehalme jedoch schon so weit abgebaut, dass die Schicht leicht zu zerstören ist. Dass die Reissfestigkeit der Silagehalme durch die Vergärung deutlich verringert wird, zeigten auch Versuche mit ungehäckselter Silage auf einer Feststoff-Pilotanlage [4]. Die vergorenen Silagebündel konnten mit geringem Kraftaufwand von Hand entzweigerissen werden, während sich die frische Silage nicht zerreißen liess.

Der zeitliche **Mehraufwand für die Silagebeschickung** beträgt rund 30 bis 40 Minuten pro Tag (Öffnen der Silageballen, Zerkleinerung mit einem Häcksler, Beschickung der Vorgrube, vermehrte Kontrollen). Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass es sich beim Betrieb um einen Pilotversuch handelte. Bei einer Praxisanlage mit optimierter Beschickungslogistik wird der zusätzliche zeitliche Arbeitsaufwand weniger hoch ausfallen (Fahrsilo an-

statt Rundballen, Zerkleinerung nicht portionenweise, sondern in Wochenchargen, was vor allem im Winterhalbjahr gut möglich ist, da keine Gaseinbussen durch Lagerverluste zu erwarten sind). Der zusätzliche **energetische Aufwand** für die Silagezerkleinerung und den grösseren Pump- und Mischaufwand beträgt rund 5% des aus der Silagevergärung erzeugten Bruttoenergieertrages.

Wirtschaftlichkeit

Durch die Zugabe der landwirtschaftlichen Reststoffe wird der Biogasertrag der Anlage beträchtlich erhöht. Die finanziellen Mehrerträge aus der Energieproduktion (Stromproduktion und Verkauf, Substitution fossiler Wärmeenergie) reichen aber nicht ganz aus, um die Co-Vergärungsanlage rentabel zu betreiben. Die Anlage ist jedoch – vor allem beim **Betrieb mit Weizen-**

abgang – nahe an der Wirtschaftlichkeitsgrenze, so dass durch die zusätzlichen Einkünfte von relativ geringen Mengen gebührenpflichtiger Co-Substrate ein kostendeckender Betrieb möglich ist [1].

Die Co-Vergärung von **Grassilage** aus extensiv bewirtschafteten Wiesen mit Gülle ist technisch machbar. Im Vergleich zum Weizenabgang (höhere Gaserträge, keine Vorbehandlung nötig) ist das Kosten-Nutzen-Verhältnis jedoch schlechter. Die Vergärung von Grassilage in einer bestehenden (co-vergärungstauglichen) Güllebiogasanlage kann dann Sinn machen, wenn das Grasmaterial eine schlechte Qualität (Extensivheu, Landschaftspflegeheu) aufweist und nur noch bedingt oder zu einem schlechten Preis als Futter verkauft werden kann [4].

zeigen die Beispiele der bisher in der Schweiz in Betrieb genommenen Co-Vergärungsanlagen.

Literatur

[1] Baserga U., Neukomm H.P., Dezember 1996. Co-Vergärung von Festmist und verschiedenen landwirtschaftlichen Abfallprodukten in einer Flüssigbiogasanlage. Bundesamt für Energie-wirtschaft, P&D Projekt Nr. 12376, 14 Seiten.

[2] Baserga U., Wittwer K. und U., Dezember 1996. Co-Vergärung von Hühnermist und festen Abfallstoffen in einer landwirtschaftlichen Biogasanlage. Bundesamt für Energiewirtschaft, P&D-Projekt Nr. (94) 001, 12 Seiten.

[3] Baserga U., Egger K., Juni 1997. Vergärung von Energiegras zur Biogasgewinnung. Bundesamt Energie-wirtschaft. Forschungsprogramm Biomasse, 41 Seiten.

[4] Baserga U., Januar 1998. Vergärung von Extensivgras-Silage in einer Feststoff-Pilotanlage und einer landwirtschaftlichen Co-Vergärungsanlage. Bundesamt für Energiewirtschaft, Projekt Nr. 21083, 26 Seiten.

[5] Wellinger A. et al., 1991. Biogas Handbuch. 2. überarbeitete Auflage. Witz Verlag Aarau, ISBN 3-85983-035-X, 178 Seiten.

[6] Baserga U., 1996. Biogasanlagen – Technik o.k., aber ... Schweizer Landtechnik 7/96, S. 21–24.

[7] Herzog E., 1997. Kofermentation: Positionspapier, KTBL Positionspapier, Darmstadt, 20 Seiten.

[8] Baserga U. et al., 1985. Schwimmdeckenbildung in Biogasfermentern. Gas-Wasser-Abwasser, 65. Jahrgang, Nr. 2, S. 66–75.

[9] Hersener J.-L. et al., 1997. Projekt Energiegras/Feldholz. Schlussbericht. Bundesamt für Energiewirtschaft, 164 Seiten.

Weitergehende Literatur zum Thema:

Aktionsprogramm E 2000, 1997. Biogasverbundanlage Frauenfeld – Nebenerwerb durch Abfallverwertung. Faltblatt Energieinnovation «Gute Lösungen», 4 Seiten.

Arbeitsgemeinschaft Bioenergie arbi, 1996. Co-Vergärung von festen und flüssigen Substraten. Studie im Auftrag des NEFF und des Kantons Bern, 93 Seiten.

Baserga U., 1994. Biogas aus Festmist. Entwicklung einer kontinuierlich betriebenen Biogasanlage zur Vergärung von strohreichem Mist. FAT-Berichte Nr. 451, 9 Seiten.

Biomasse-Sektion der Dänischen Energiebehörde (Hrsg.), 1992. Statusbericht: Biogas-Grossanlagen, 31 Seiten. Egger K., 1997. Kleine, schlüsselfertige Biogasanlage. P&D-Projekt, BEW-Nr. 2101, Schlussbericht, 35 Seiten.

Fachverband BIOGAS e.V., 74592 Kirchberg/Jagst-Weckelweiler: Berichte der Biogastagungen 1996/1997/1998 (Referate zum Thema Co-Vergärung/Hygienisierung).

Kuhn E., 1995. Kofermentation, KTBL Arbeitspapier 219, Darmstadt, 74 Seiten.

Schulz H., 1996. Biogas-Praxis, Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele/ökobuch-Verlag, ISBN 3-922964-59-1, 187 Seiten.

Strauch D., 1996. Internationale Erfahrungen mit der Verwertung biogener Abfälle zur Biogasproduktion. Studie iFA Tulln (Oe), Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie.

KTBL, 1998. Kofermentation, KTBL Arbeitspapier 249, Darmstadt, 65 Seiten.

Schlussfolgerungen

Das theoretische Biogaspotential der landwirtschaftlichen Abfallstoffe entspricht etwa dem Energieverbrauch der schweizerischen Landwirtschaft [5]. Genutzt wird jedoch nur ein verschwindend kleiner Teil dieser erneuerbaren Energie. In der Schweiz sind heute rund 100 Biogasanlagen in Betrieb, die mit einer jährlichen Biogasproduktion von rund 15 000 MWh nicht einmal ein halbes Prozent des theoretisch möglichen Biogaspotentials nutzen [6]. Der Hauptgrund ist nicht die fehlende Technik, sondern die bei den heutigen Energiepreisen oftmals unzureichende Wirtschaftlichkeit reiner Gülleanlagen. Durch die Co-Vergärung von landwirtschaftlichen und gewerblich-industriellen Reststoffen besteht die Möglichkeit, das Kosten-Nutzen-Verhältnis landwirtschaftlicher Biogasanlagen zu verbessern. Die Zugabe betriebseigener oder betriebsfremder Zusatzstoffe zur hofeigenen Gülle kann den Gasertrag einer Biogasanlage um ein Mehrfaches erhöhen, was sich positiv auf den finanziellen Ertrag auswirkt (Substitution von Wärmeenergie, Ertrag aus der Stromproduktion). Die für die Rentabilitätsrechnung entscheidende Einnahmequelle ist jedoch in der Regel der zusätzliche Erlös, der sich aus der Co-Vergärung gebührenpflichtiger Substrate ergibt. Dies