

Anaerobe Behandlung von Hühnerkot

Von Armin Gosch, Hildegart Mertens, Ursula Wenske und Walter Jäger, Gießen*)

DK 636.5:631.862:662.767.1

Die Beseitigung oder Nutzung der Abfälle bei der tierischen Produktion können insbesondere bei der heutigen intensiven Haltung großer Tierbestände verfahrenstechnische und wirtschaftliche Probleme verursachen. Die Nutzung von Hühnerkot zur Erzeugung von Biogas ist bisher wenig untersucht und in der Praxis nicht eingeführt. Dieser Beitrag berichtet über Versuche im Labor und an einer Großanlage, bei denen die Ausbeute an Biogas, der Abbau der organischen Substanz und der Gehalt an Pflanzennährstoffen in der Gülle untersucht werden.

1. Einführung

Die anaerobe Behandlung von Flüssigmist aus Massentierhaltungen kann aus folgenden Gründen anzustreben sein:

1. Abbau von Geruchsstoffen
2. Erzeugung von Faulgas
3. Verbesserung der Düngeeigenschaften.

Während die Ausfäulung von Flüssiggülle aus Rinder- und Schweinehaltungen heute problemlos erscheint, werden gegen die anaerobe Behandlung von Hühnerkot im Fachschrifttum teilweise noch Bedenken erhoben. Angeregt durch die Inbetriebnahme einer Großanlage zur Ausfäulung von verdünntem Hühnerkot in Heiligenberg, westlich von Straßburg (System AFAG, Agro-Fermenttechnik AG Basel), wurden im Sommer 1981 Laboruntersuchungen mit dem Substrat aus der genannten Hühnerfarm durchgeführt. Im Rahmen einer Diplomarbeit wurde parallel zu den Laborversuchen die Biogasanlage in Heiligenberg auf Abbauleistung und Gasausbeute untersucht.

2. Aufbereitung und Zusammensetzung des frischen Hühnerkots

In der Hühnerfarm in Heiligenberg sind ca. 30000 Hühner in Batteriehaltung untergebracht. Da der Kot für Dünge Zwecke abgegeben werden soll, wofür eine geringe Emission von Geruchsstoffen anzustreben ist, wurde im Oktober 1980 eine Biogasanlage, Inhalt 150 m^3 , in Betrieb genommen. Der frische Kot von ca. 14000 Hühnern wird täglich in eine Sammelrinne geschoben, von dort mit Hilfe einer Förderschnecke unter Zugabe von Wasser in eine Sammelgrube gefördert und mittels einer Tauchpumpe bei gleichzeitiger weiterer Verdünnung homogenisiert. Der Feststoffgehalt reduziert sich dadurch von im Mittel $c = 29 \%$ auf $c = 8-11 \%$. Anschließend wird das verdünnte Substrat in einen Tagesmengenspeicher gepumpt, wo sich bei einer Aufenthaltszeit von 12–24 h die

*) Prof. Dipl.-Ing. A. Gosch leitet das Institut für Siedlungswasserbau und Wasserwirtschaft der Fachhochschule Gießen-Friedberg; Frau Dipl.-Ing. H. Mertens war zur Zeit der Untersuchungen Diplomandin im Fachbereich Technisches Gesundheitswesen dieser Fachhochschule; Frau U. Wenske arbeitete als Laboringenieur und Herr W. Jäger als Laborant am genannten Institut der Fachhochschule im Rahmen einer Arbeitsbeschaffungsmaßnahme.

mineralischen Stoffe (Sandkörner) zum großen Teil absetzen. Anschließend folgt die Beschickung der Biogasanlage mit einer tägl. Menge von ca. $5,0 \text{ m}^3/\text{d}$. Das entspricht einer mittleren theoretischen Verweilzeit im Faulraum von 30 Tagen. Der Anteil der organischen Masse (Glühverlust) an der Feststoffmasse des frischen Kots beträgt im Mittel 75 %.

3. Laborversuche

3.1 Versuchsanlage

Die Labor-Versuchsanlage besteht aus Glasbehältern mit je 10 l Inhalt, wobei jede Einheit mit nur 6 l Faulgut gefüllt wird, um bei evtl. Schäumen ein Zusetzen der Faulgasleitungen auszuschließen. Ein durch Thermostaten gesteuertes Wasserbad hält die Temperatur in den Versuchsbehältern auf $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Rührsysteme sorgen für eine permanente Durchmischung, wobei die spezielle Anordnung der Flügel ein Absetzen von Faulschlamm oder die Bildung einer Schwimmschicht verhindert. Beschickungs- und Entnahmeöffnungen sowie Faulgasentnahme- und Auffangsystem sind in Bild 1 dargestellt.

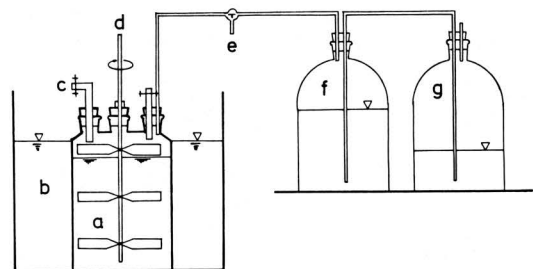


Bild 1. Systemskizze der Labor-Versuchsanlage zur Biogasgewinnung aus Hühnerkot.

- | | | | |
|---|-----------------------------|---|---|
| a | Faulbehälter mit Rührwerk | e | Dreiwegehahn |
| b | Wasserbad mit Thermostat | f | Gassammelraum mit Volumenmeßeinrichtung |
| c | Zugabe- und Entnahmestutzen | g | Verdrängungsbehälter |
| d | Rührwerksantrieb | | |

3.2 Versuchsdurchführung

Die Versuchsbehälter wurden mit je 6 l aktivem Faulschlamm aus der Biogasanlage Heiligenberg gefüllt und in Betrieb genommen. Nach einigen Tagen der Anpassung erfolgte die Zugabe von verdünnter Frischgülle, ebenfalls aus Heiligenberg, nach folgendem Versuchsplan:

- | | | |
|-------------|---|-----------------------------------|
| 1. Versuch: | Tägl. Zugabe $\dot{V} = 200 \text{ ml}$; | Verweilzeit $\tau = 30 \text{ d}$ |
| 2. Versuch: | $\dot{V} = 300 \text{ ml}$; | $\tau = 20 \text{ d}$ |
| 3. Versuch: | $\dot{V} = 300 \text{ ml}$; | $\tau = 20 \text{ d}$ |

Für die Versuche 1 und 2 war die Frischgülle auf einen Feststoffgehalt von $c = 7,05 \%$, für Versuch 3 auf $c = 13,35 \%$ eingestellt. Die Raumbelastung, d.h. die Zugabe an organischer Trockenmasse je Raum- und Zeiteinheit (in g/l bzw. $\text{kg/m}^3 \text{ d}$), ist Tafel 1 zu entnehmen.

Versuch-Nr.	Gehalt an Trockenmasse %	Anteil der org. Masse an der Trockenmasse %	Tägl. Zugabe von Frischgülle ml	Raumbelastung g/l d
1	7,05	75,16	200	1,77
2	7,05	75,67	300	2,66
3	13,35	77,43	300	5,17

Tafel 1. Charakteristische Werte für die Güllezugabe bei den Laborversuchen.

Vor Zugabe der Frischgülle wurde die entsprechende Menge an ausgefaultem Material entnommen und analysiert. Die produzierten Gasmengen wurden täglich gemessen, in Normvolumen umgerechnet und analysiert. Die Analysen des frischen und ausgefaulten Substrats erfolgten nach dem Deutschen Einheitsverfahren [1]. Proben, die nicht unmittelbar nach Entnahme untersucht werden konnten, wurden tiefgefroren aufbewahrt. Die Gasanalysen wurden mit folgenden Geräten durchgeführt:

- Methan (CH₄): URAS, Fa. Hartmann u. Braun
- Kohlendioxid (CO₂): Orsat-Gerät
- Sauerstoff (O₂): Orsat-Gerät
- Schwefelwasserstoff (H₂S): Dräger-Prüfröhrchen.

Die produzierten Gasvolumina wurden auf Normbedingungen (0 °C, 1013 mbar) unter Berücksichtigung des Wasserdampfpartialdrucks nach folgender Formel umgerechnet:

$$V_{tr} = V_f \frac{273,15 (p - p_D'')}{(273,15 + \vartheta) \cdot 1013}$$

mit

- V_{tr} Volumen des trockenen Gases bei Normbedingungen
- V_f Volumen des feuchten Gases beim Druck p und der Temperatur ϑ
- p Druck des feuchten Gases
- p_D'' Sättigungsdampfdruck des Wassers bei der Temperatur ϑ
- ϑ Temperatur des feuchten Gases in °C.

3.3 Versuchsergebnisse

In Tafel 2 sind die Meßergebnisse der Versuche 1 bis 3 zusammengestellt. Die zugehörigen täglich erzeugten Gasmengen sind Bild 2 zu entnehmen. Die daraus errechneten spezifischen Gasausbeuten sind in Tafel 3 dargestellt.

	Versuch 1			Versuch 2			Versuch 3		
	Raumbelastung 1,77 kg/m ³ d Verweilzeit 30 d			Raumbelastung 2,66 kg/m ³ d Verweilzeit 20 d			Raumbelastung 5,17 kg/m ³ d Verweilzeit 20 d		
	Frischgülle	Ausgefaulte Gülle	Abbau %	Frischgülle	Ausgefaulte Gülle	Abbau %	Frischgülle	Ausgefaulte Gülle	Abbau %
pH-Wert	7,32 (7,0–7,9)	8,20 (8,05–8,4)		7,19 (7,02–7,30)	8,29 (8,05–8,6)		6,78 (6,3–7,35)	8,04 (7,95–8,2)	
Feststoffgehalt %	7,05	3,75 (3,5–4,53)		7,05	4,26 (3,92–4,52)		13,35	6,61 (5,68–7,50)	
g/l	70,5	37,5	46,8	70,5	42,6	39,6	133,5	66,1	50,5
Organ. Masse Anteil (Glühverl.) %	75,16	64,22 (56,88–72,27)		75,67	65,25 (63,03–66,69)		77,43	74,74 (70,27–79,35)	
Gehalt g/l	53,00	24,10	54,5	53,30	27,80	47,8	103,37	49,40	52,2
Aschegehalt g/l	17,50	13,40		17,20	14,80		30,13	16,70	
flüchtige, organ. Säuren, bestimmt als Essigsäure g/l	17,17	1,43 (1,05–1,84)	91,7	17,17	2,13 (1,91–2,36)	87,6	13,88	4,50 (3,98–5,22)	67,6
Alkalität als CaCO ₃ g/l	7,61	18,01 (17,69–18,57)		7,61	17,7 (17,52–17,87)		2,33	21,93 (21,85–22,00)	
NH ₄ ⁺ -N g/l	3,95	4,50 (4,31–4,59)		3,95	4,68 (4,62–4,74)		1,17	5,90 (5,83–5,99)	
Ges.-N g/l	6,37	6,04 (5,95–6,12)		6,37	6,1 (5,91–6,30)		8,57	8,11 (8,04–8,19)	
CSB (K ₂ Cr ₂ O ₇) g/l	80,36	38,00	52,7						
BSB ₅ g/l	35,30	8,50	75,9						

Tafel 2. Meßergebnisse der Laboranlage; Mittelwerte — Schwankungsbereich in Klammern. (Die Frischgülle zu Versuch 1 und 2 wurde in verdünnter Form aus Heiligenberg bezogen, wo sie nach mehrstündiger Lagerzeit dem Tagesmengenspeicher entnommen wurde. Die Frischgülle zu Versuch 3 wurde frisch und unverdünnt aus Heiligenberg bezogen und erst im Labor auf den gewünschten Feststoffgehalt verdünnt.)

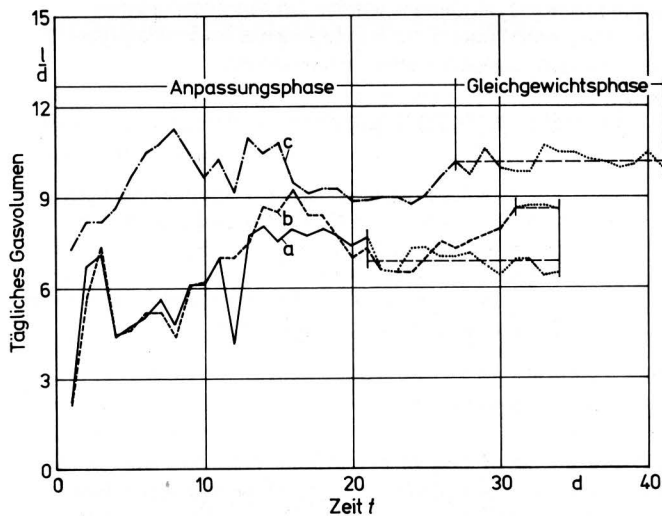


Bild 2. Täglich erzeugtes Gasvolumen (Normzustand) bei verschiedener Raumbelastung; nach einer Anpassungsphase mit stark wechselnder Gasproduktion stellt sich in der Gleichgewichtsphase ein relativ konstanter Wert der Gasproduktion ein.

- a Raumbelastung 1,77 kg/m³ d; ϕ tägl. Gasvolumen 6,86 l/d
- b Raumbelastung 2,66 kg/m³ d; ϕ tägl. Gasvolumen 8,65 l/d
- c Raumbelastung 5,17 kg/m³ d; ϕ tägl. Gasvolumen 10,21 l/d

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
Raumbelastung	1,77	2,66	5,17
Verweilzeit	30	20	20
Tägl. Gasvolumen	6,86 (6,4–7,7)	8,65 (8,6–8,7)	10,21 (9,7–10,7)
– bezogen auf Faulraumvolumen	1,15	1,44	1,70
– bezogen auf tägl. Güllezugabe	34,4	28,8	34,0
– bezogen auf tägl. zugeführte org. Masse	650	541	329
– bezogen auf tägl. abgebaute org. Masse	1192	1132	631
– bezogen auf Masse der tägl. zugef. org. Säuren	1998	1679	2452
– bezogen auf Masse der tägl. abgebauten org. Säuren	2179	1917	3627
Vol.-Anteile CH ₄ : CO ₂	61,1:31,4	66,3:28,5	50,9:43,6
Vol.-Anteil H ₂ S	0,10	0,2	0,25

Tafel 3. Täglich erzeugte Gasvolumen (Normzustand) für die Laborversuche.

3.4 Diskussion der Laborergebnisse

1. Trotz Ammoniumkonzentrationen bis 6000 mg/l (Versuch 3) fand in den Versuchsbehältern eine beachtliche Ausfäulung statt. Das widerspricht der landläufigen Meinung, daß bereits bei einem NH₄⁺-Gehalt von mehr als 1500 mg/l toxische Auswirkungen auf den Faulprozeß zu erwarten sind. Nach entsprechender Anpassungszeit hat sich ein stabiles Milieu eingestellt, das den hohen Stickstoffbelastungen widersteht.

2. Die ebenfalls hohen Konzentrationen an flüchtigen, organischen Säuren (als Gehalt an Essigsäure dargestellt) werden durch ein entsprechendes Puffersystem auf Ammoniak-Bikarbonat-Basis (als Gehalt an CaCO₃ dargestellt) und abhängig vom CO₂-Gehalt des Faulgases aufgefangen. Es stellt sich dann ein entsprechend hoher pH-Wert ein, der die Pufferkapazität des Milieus dokumentiert. Ein Vergleich entsprechender Werte für die Frischgülle und die ausgefäulte Gülle (letztere kennzeichnen das Milieu im Faulbehälter) z.B. bei Versuch 1 in Tafel 2 macht das deutlich: pH-Wert 7,32 bzw. 8,20; Gehalt an organischen Säuren 17,17 bzw. 1,43 g/l; Alkalität 7,61 bzw. 18,01 g/l.

Aus den Werten für Versuch 1 ergibt sich für das Verhältnis Alkalität: Gehalt an org. Säuren bei Frischgülle 7,61 : 17,17 = 0,44 : 1, während das Verhältnis im Faulbehälter den Wert 18,01 : 1,43 = 12,6 : 1 annimmt.

Wie sich aus den Angaben für die Versuche 2 und 3 in Tafel 2 ermitteln läßt, nimmt das Verhältnis Alkalität : Gehalt an org. Säuren mit ansteigender Raumbelastung ab:

- Vers. 1 Raumbelastung 1,77 kg/m³ d Verh.-Wert: 12,6 : 1
- Vers. 2 2,66 kg/m³ d 8,3 : 1
- Vers. 3 5,17 kg/m³ d 4,9 : 1.

Bei großer Raumbelastung ist das Milieu nicht mehr so stabil und sicherlich anfälliger gegenüber Belastungsstößen.

3. Weiterhin muß festgestellt werden, daß bereits im Tagesmengenspeicher der Biogasanlage in Heiligenberg erste Abbauvorgänge stattfinden, d.h. Hydrolyse- und Versäuerungsphase (erste, wichtige Schritte des anaeroben Abbaus!) finden dort bereits in beachtlichem Umfang statt. Beispielsweise ist der Gehalt an organ. Säuren (immer berechnet als Essigsäure) in der Frischgülle unmittelbar nach Anfall 13,88 g/l und wächst im Verlauf einer 12–24stündigen Lagerung im Tagesmengenspeicher auf 17,17 g/l an. Hierüber müssen noch ausführlichere Versuche durchgeführt werden.

4. Die Leistungsfähigkeit von Biogasanlagen bezüglich der Gasausbeute kann sinnvoll nur in Abhängigkeit von der Raumbelastung dargestellt werden. Tafel 3 zeigt darüber hinaus deutlich, daß das täglich erzeugte Gasvolumen mit der Raumbelastung zunimmt, daß aber das erzeugte Gasvolumen bezogen auf die Masse der tägl. zugeführten organischen Substanz dabei abnimmt.

5. Für Vergleiche unterschiedlicher Anlagen und Güllearten ist es unumgänglich, bei der Darstellung der Gasmengen auf Normbedingungen umzurechnen. Die Differenzen im Volumen des feuchten Gases unter Versuchsbedingungen und des trockenen Gases bei Normbedingungen lagen bei unseren Versuchen in der Größenordnung von 12–14 %.

4. Versuche an der Biogasanlage in Heiligenberg

4.1 Anlagenbeschreibung

Aufbau und technische Details dieses Anlagentyps, Bild 3, sind früher genau beschrieben worden [2]. Das Nutzvolumen beträgt 150 m³. Die produzierte Gasmenge wird in einem Trockengasspeicher (V = 90 m³) gespeichert und anschließend zur Beheizung des Faulbehälters und der Ställe genutzt. Eine weitergehende Gasverwertung (Stromerzeugung) befindet sich im Planungsstadium. Abbauleistung und Gasausbeute wurden in der Zeit vom 13. bis 23. Mai 1981 überprüft. Die tägliche Beschickungsmenge betrug 5,0 m³/d mit einem angestrebten Feststoffgehalt von 10–12 %. Da bis zum 3. Mai 1981 mit größerer täglicher Zugabe (7 bis 8 m³/d) und niedrigerem Feststoffgehalt (6–7 %) beschickt worden war, weist die verdrängte ausgefäulte Gülle im Verhältnis zu niedrige Trockensubstanzgehalte auf. Das ergab rechnerisch zu hohe Abbauraten bezogen auf den Gehalt an Feststoffen und organischen Feststoffen. Dennoch sind die absoluten und die auf zugeführte organische Masse bezogenen Gasausbeuten interessant und können mit den Laborergebnissen verglichen werden, Tafel 4 und 5.

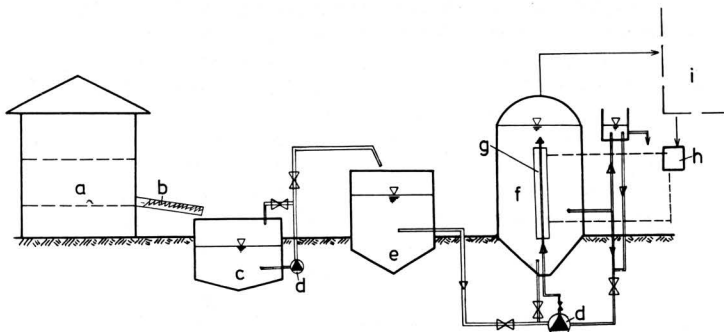


Bild 3. Systemskizze der Großanlage zur Biogasferzeugung in Heiligenberg.

- a Hühnerstall
- b Schneckenförderer
- c Sammelgrube mit Verdünnungs- und Mischeinrichtung
- d Pumpe
- e Tagesmengenspeicher mit Sandentnahme
- f Biogasanlage System Agro-Fermenttechnik, Basel
- g Wärmetauscher
- h Heizung
- i Trockengasspeicher (90 m³) mit Gaszähler, Gassicherung, Rückschlagsicherung

Raumbelastung	kg/m ³ d	2,57
Verweilzeit	d	30
Tägl. Gasvolumen	m ³ /d	169,3 (130–204)
– bezogen auf Faulraumvolumen	m ³ /m ³ d	1,13
– bezogen auf tägl. Güllezugabe	m ³ /m ³	33,90
– bezogen auf tägl. zugeführte org. Masse	l/kg	455
– bezogen auf tägl. abgebaute org. Masse	l/kg	610
– bezogen auf Masse der tägl. zugef. org. Säuren	l/kg	(4683)
– bezogen auf Masse der tägl. abgebauten org. Säuren	l/kg	(5796)
Vol.-Anteile CH ₄ :CO ₂	%	≈ 55:39,1
Vol.-Anteil H ₂ S	%	0,25

Tafel 5. Täglich erzeugte Gasvolumen (Normzustand) der Großanlage.

	Frischgülle	Ausgefaulte Gülle	Abbau %
pH-Wert	6,97 (6,77–7,17)	7,87 (7,79–7,95)	
Feststoffgehalt %	10,09 (8,5–11,8)	3,22 (2,46–4,01)	
Feststoffgehalt g/l	100,9	32,2	68,1
Organ. Masse Anteil (Glühverl.) %	73,75 (71,89–76,66)	58,43 (54,74–63,54)	
Gehalt g/l	74,37	18,90	74,6
Aschegehalt g/l	26,53	13,30	
flüchtige, organ. Säuren, bestimmt als Essigsäure g/l	7,23 (6,22–8,26)	1,39 (1,08–2,17)	80,8
Alkalität als CaCO ₃ g/l	6,06 (4,51–8,23)	14,66 (13,7–15,21)	
NH ₄ ⁺ -N g/l	2,52 (1,74–3,57)	3,98 (3,81–4,20)	
Ges.-N. g/l	5,83 (4,38–6,92)	5,07 (4,74–5,34)	
CSB (K ₂ Cr ₂ O ₇) g/l	66,3 (54,5–75,9)	24,53 (21,5–29,5)	63,0
BSB ₅ g/l	25,63 (20,9–30,4)	6,65 (6,10–7,53)	74,1

Tafel 4. Meßergebnisse der Biogasanlage Heiligenberg; Raumbelastung ϕ 2,57 kg/m³ d (2,16–2,97 kg/m³ d), Verweilzeit 30 d.

4.2 Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Wie bereits oben ausgeführt, liegen die Werte für den Gehalt an Trockensubstanz und an organischen Feststoffen im ausgefauten Material im Verhältnis zu den Werten der zugegebenen Frischgülle zu niedrig, was auf die kurzfristige Umstellung von geringen auf hohe Feststoffgehalte (von $c = 6-7\%$ auf $c = 10-12\%$) im Frischgut zurückzuführen ist. Die Abbauleistung bezüglich organischer Feststoffe liegt mit 74,6 % weit über den Leistungswerten der Versuchsanlagen (max. Wert in Versuch 1 ist 54,4 %; Tafel 2). Die Gasproduktion, zwischen 130 m³/d und 204 m³/d schwankend, wurde durch folgende Betriebsstörungen beeinflusst:

1. Bei der Beschickung vermischte sich ein Teil der zulaufenden Gülle wieder mit der verdrängten, ausgefauten Gülle; damit änderte sich auch die rechnerisch ermittelte Raumbelastung.
2. Aufgrund eines technischen Defekts sprang die Zündung im Heizkessel häufig nicht an. Tagsüber konnte diese Panne durch Handbetätigung beseitigt werden. Nachts setzte nach der ersten Störung die Heizung ganz aus, was zu einem Absinken der Faulraumtemperatur um einige Grad führte.

Die Störeinflüsse sind heute beseitigt, haben aber die Meßdaten während der Untersuchungsperiode beeinflusst. Ein Problem stellt der in der Frischgülle enthaltene Sand dar. Obwohl sich ein Teil bereits im Tagesmengenspeicher absetzte, war es erforderlich, am Bodenauslaß des Faulbehälters alle zwei bis drei Tage sandhaltigen Faulschlamm zu entnehmen. Die Faulgasanalyse war an der Anlage nicht so exakt wie im Labor durchzuführen. Im Rahmen der Überprüfung wurden nur die Volumenanteile von Kohlendioxid (CO₂) und Schwefelwasserstoff (H₂S) bestimmt, wie auch von anderen Autoren, die Biogasmeßdaten veröffentlichten, verfahren wird.

5. Vergleich Großanlage – Laboranlage

Die im Labor erzielten Gasmengen sind sicherlich im Rahmen des Versuchsaufbaus Optimalwerte. Bei ständiger Umwälzung war die Erneuerung der Kontaktflächen zwischen Bakterien und Substrat bedeutend günstiger als in der Großanlage, in der alle zwei Stunden vier Minuten lang umgewälzt wurde.

In **Tafel 6** werden die wichtigsten Meßdaten der Biogasanlage Heiligenberg und der Versuchsanlage für annähernd gleiche Raumbelastung gegenübergestellt.

Wie bereits oben ausgeführt, ergaben sich – bedingt durch die damals noch nicht optimale Betriebsführung der Anlage in Heiligenberg – deutliche Unterschiede in Gasausbeute und Abbauleistung gegenüber der Laboranlage. Inwieweit die heutigen Werte in Heiligenberg verbessert sind, wird in Kürze überprüft werden.

Die ermittelten Nährstoffgehalte an N–P–K in der Frischgülle (bezogen auf Güllemasse) konnten in etwa auch im ausgefaulten Material wiedergefunden werden. Warum die Kaliumgehalte in den beiden Untersuchungsreihen so stark voneinander abweichen, muß durch weitere Messungen überprüft werden.

Die auf die Trockensubstanz bezogenen Nährstoffgehalte müssen in der ausgefaulten Gülle ansteigen, da durch den Faulprozeß eine Reduzierung der Feststoffmasse um 40–50 % erreicht wird. Abschließend kann festgestellt werden, daß verdünnter Hühnerkot ausfaulbar ist unter der Bedingung, daß sich im Faulraum während der Anpassungsphase ein ausreichendes Puffersystem einstellt, das toxische Auswirkungen der hohen Ammonium- und Säurenkonzentrationen verhindert.

Schrifttum

- [1] Deutsche Einheitsverfahren (DEV) zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. 60. Aufl. Weinheim: Verlag Chemie 1971.
- [2] *Gosch, A., G. Agostini u. W. Weber:* Anaerobe Behandlung von Rindergülle. Landtechnik Bd. 36 (1981) Nr. 2, S. 50/53.
- [3] *Hassan, H.M., D.A. Belyea u. A.E. Hassan:* Characterization of methane production from poultry manure. In: Managing Livestock Wastes. Proc. 3rd. Intern. Symp. on Livestock Wastes, 1975, ASAE publication Proc.-275.
- [4] *Hawkes, D., R. Horton u. D.A. Stafford:* The application of anaerobic digestion to producing methane gas and fertilizer from farm wastes. Process Biochemistry 11-2-32-6, London, 1976.
- [5] *Jewell, W.J. (Hrsg.):* Energy, agriculture and waste management. Proc. of the Cornell Agricultural Waste Management Conference, 1975 Verlag Ann Arbor Science Publishers Inc.

		Biogasanlage Heiligenberg	Laboranlage
Raumbelastung	kg/m ³ d	ø 2,57	2,66
theor. Verweilzeit	d	30	20
Feststoffgehalt d. Frischgülle	%	ø 10,1	7,1
Anteil der organ. Masse	%	ø 73,75	75,67
Gehalt an organ. Masse	g/l	ø 74,4	53,3
Tägl. Gasvolumen			
– bezogen auf Faulraumvolumen	m ³ /m ³ d	1,13	1,44
– bezogen auf tägl. zugeführte org. Masse	l/kg	455	541
Abbauleistungen			
Trockenmasse	%	(68,1)	39,6
Org. Masse	%	(74,6)	47,8
flüchtige org. Säuren	%	80,8	87,6
Nährstoffgehalt, bez. auf Güllemasse			
Frischgülle: N–P–K	g/kg	5,83–0,51–2,57	6,37–0,43–5,02
ausgefaulte Gülle: N–P–K	g/kg	5,07–0,46–2,37	6,10–0,78–4,71
Nährstoffgehalt, bez. auf Trockenmasse			
Frischgülle: N–P–K	%	5,8–0,5–2,5	9,0–0,6–7,1
ausgefaulte Gülle: N–P–K	%	15,7–1,4–7,4	14,3–1,8–11,1

Tafel 6. Vergleich der Meßergebnisse von Großanlage und Laboranlage.

- [6] *Mertens, H.:* Untersuchungen der Abbauvorgänge und der Gasproduktion in einer Biogasanlage mit Hühnerkot in Heiligenberg. Diplomarbeit am Fachbereich Technisches Gesundheitswesen, Fachhochschule Gießen-Friedberg, Oktober 1981.
- [7] *Wikén, T.O.:* Über den Mechanismus des anaeroben bakteriellen Abbaus von Kohlehydrat, Eiweiß und Fett in Faulräumen. Schweizer Zeitschrift für Hydrologie, Bd. 19 (1957) S. 428/56.

Maßnahmen zur Geräuschkürzung von Außenzahnrumpfen

Von Berthold Link, Braunschweig*)

DK 631.372-82:621.664:628.517.2

Die dominierende Geräuschquelle einer Hydraulikanlage ist in der Regel die Verdrängerpumpe. Ihre Geräuschentwicklung ist bauartabhängig auf verschiedene Ursachen zurückzuführen. Bei Außenzahnrumpfen, die in Acker-

schleppern und Landmaschinen eingesetzt werden, dominieren die hydraulischen Geräuschursachen. Am Beispiel unterschiedlicher Zahnrumpfenbauformen wird der Einfluß der maßgeblichen Konstruktionsparameter auf das Pumpengeräusch erläutert. Auf den Einfluß der wichtigsten Betriebsparameter wird ebenfalls eingegangen. Außerdem wird auf die Möglichkeit der Geräuschkürzung durch Sekundärmaßnahmen hingewiesen.

1. Einleitung

Die Zahnrumppe nimmt in der Arbeitshydraulik von Landmaschinen und Ackerschleppern eine dominierende Stellung ein. Sie

*) *Dipl.-Ing. B. Link* ist wissenschaftlicher Assistent am Institut für Landmaschinen (Direktor: Prof. Dr.-Ing. H.J. Matthies) der Technischen Universität Braunschweig.