

# Untersuchungen zum Gärverhalten von tierischen Exkrementen und Pflanzen

Von Frank Schuchardt, Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.862:662.767.1

Landwirtschaftliche Biogasanlagen werden bisher vor allem mit tierischen Exkrementen betrieben. Zur Erhöhung der Biogasproduktion könnte in Zukunft die gemeinsame Vergärung von tierischen Exkrementen mit Pflanzen von Interesse sein. Zur Erforschung des Gärverhaltens von Exkrementen und Pflanzen wurden in 5 l-Fermentern Gärtests durchgeführt. Dabei wurde die Gasfreisetzung von Rinderflüssigmist, Gras, Klee, Mais, Markstammkohl und Stroh in Abhängigkeit von der Zeit erfaßt.

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Um Biogasanlagen richtig zu planen und optimal zu betreiben sind Kenntnisse vom Gärverhalten der verwendeten organischen Rohstoffe unerlässlich. Unter Gärverhalten wird dabei die Gasfreisetzung in Abhängigkeit von der Zeit und die gesamte Gasausbeute bis zum Abschluß der Gasbildung (Endgasausbeute) verstanden. Solange es nicht möglich ist, das Gärverhalten eines Substrates aus der stofflichen Zusammensetzung vorherzusagen, ist eine experimentelle Bestimmung nicht zu umgehen.

Im Schrifttum sind für die Gasfreisetzung aus organischen Rohstoffen des landwirtschaftlichen Bereichs nur wenige Zahlenwerte zu finden, die unter exakt definierten Laborbedingungen ermittelt worden sind [1, 2]. Diese Werte streuen zudem stark und sind teilweise nicht vergleichbar. *Reinhold u. Noack* [2] fanden, daß aus frischen grünen Pflanzen kurzzeitig große Gasmengen erzeugt werden können, während aus alten, verrotteten, harten und verholzten Pflanzen bzw. Pflanzenteilen die Gaserzeugung langsam verläuft und die auf die organische Masse bezogene Gasproduktion kleiner ist. Die Gasproduktion aus tierischen Exkrementen entspricht etwa der von Stroh (bezogen auf die organische Masse 300–400 l/kg). *Badger, Bogue und Stewart* [1] kamen in der Tendenz zu ähnlichen Ergebnissen, wenn auch die von ihnen gefundenen Gasmengen für Rinder- und Schafmist deutlich niedriger sind. Einen starken Einfluß auf die Gasfreisetzung hat der Trockenmassegehalt von Flüssigmist. So wurden je kg Trockenmasse aus Hühnermist bei einem Trockenmassegehalt von 3 % etwa 420 l Biogas erzeugt, während bei einem Trockenmassegehalt von 10 % nur etwa 260 l entstanden. Bei Rindermist waren die Unterschiede in der Gasproduktion geringer. Besonders hohe Gasausbeuten sind aus Hafer, Heu und Mais zu erwarten – bezogen auf die Trockenmasse 460–490 l/kg in etwa 3 Wochen Faulzeit.

Um für bestimmte organische Stoffe, allein und in Kombinationen, unter definierten Verhältnissen einfach und sicher das Gärverhalten zu ermitteln, wurde im Institut für Technologie eine Gärtestanlage mit gegenwärtig 48 Gärbehältern errichtet. Die Gärtestanlage ist für Batch-Betrieb eingerichtet. Batch-Betrieb bedeutet,

daß während des Wachstums der Bakterienkultur verschiedene Phasen nacheinander durchlaufen werden: Anlaufphase, exponentielle (logarithmische) Phase, stationäre Phase und Absterbephase. Wenn auch die Ergebnisse von Batch-Versuchen nicht direkt auf Verhältnisse in Durchlaufbehältern übertragbar sind, so geben sie doch die Möglichkeit, unterschiedliche Substrate zu vergleichen, Besonderheiten des Gärverhaltens aufzuzeigen und die mögliche Endgasausbeute zu ermitteln.

## 2. Versuchsaufbau, Versuchsdurchführung und Auswertung

### 2.1 Aufbau der Gärtestanlage

Das Bild 1 zeigt den Aufbau der Gärtestanlage. Die Gärbehälter mit einem Volumen von 5 l sind konventionelle Konservendosen mit Spannverschluß. Das maximale Füllvolumen beträgt etwa 75 % des Gesamtvolumens, um ein genügend großes Volumen für das Aufblähen des Substrates, wie es bei verstärkter Gasbildung auftreten kann, zur Verfügung zu haben. Die Dosen werden einmal täglich auf den Kopf gedreht, um den Inhalt zu mischen. Die Gärbehälter stehen in einem temperierten Raum bei einer Temperatur von etwa 33 °C. Das entstehende Gas wird über eine Schlauchleitung in einen Gassammelbehälter geführt. Dieser Gassammelbehälter mit einem Fassungsvermögen von ca. 10 l besteht aus aluminiumbedampfter Kunststoffolie (Hostaphon-ALU-PEK 12–12–75 der Firma Kalle, Wiesbaden), die eine sehr geringe Gasdurchlässigkeit besitzt. Auf dem Weg zum Gassammelbehälter wird dem Gas in einem Kühler die Feuchtigkeit entzogen. Über eine Pumpe wird das angesammelte Gas in einem 24stündigen Zyklus entnommen, zum Entzug von Schwefelwasserstoff über Lux-Masse (Eisenhydroxid) geleitet und einem Methananalysegerät (ULTRAMAT 1 der Firma Siemens) und einem Volumenzähler zugeführt. Der Zeitbedarf für das Ablesen der Werte von 48 Proben beträgt für eine Person etwa 1,5 h. Gärbehälter gleicher Größe, die einen Durchlaufbetrieb gestatten, befinden sich gegenwärtig in Erprobung.

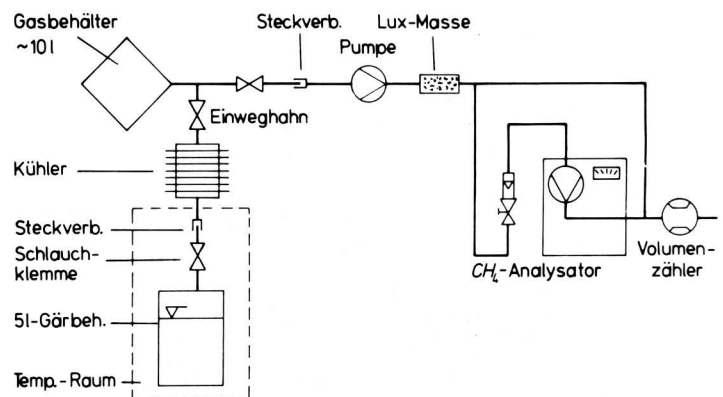


Bild 1. Schema der Gärtestanlage.

\*) Dr. agr. F. Schuchardt ist Wissenschaftlicher Rat z.A. im Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

## 2.2 Versuchsdurchführung

Es wurden Versuche mit den Substraten Rinderflüssigmist, gehäckseltes Weidelgras, Rotklee, Mais, Markstammkohl und Weizenstroh durchgeführt. Die erntefrischen Pflanzen wurden ebenso wie das Stroh auf eine Sollänge von 10 mm gehäckselst. Variiert wurde das Belastungsverhältnis und der Trockensubstanzgehalt des zu vergärenden Materials, der sich aus der Summe der Trockenmassen von Substrat und Inokulum (Impfmateriale) ergibt. Das Belastungsverhältnis B ist das Verhältnis zwischen der organischen Trockenmasse im Substrat (S) und der im Inokulum (I).

Als Inokulum wurde für die Versuche der Ablauf einer mit Rinderflüssigmist betriebenen Biogas-Versuchsanlage des Instituts verwendet. Für die Versuche mit Rinderflüssigmist und mit Pflanzen wurde das Inokulum zur jeweiligen Zeit der Biogasanlage entnommen und mit einem Tauchsieder auf die Prozeßtemperatur von 33 °C gebracht. Zur Bestimmung der Gasentwicklung aus dem Inokulum wurden jeweils 3 Gärbehälter mit diesem Material ohne weitere Zusätze gefüllt. Eine Übersicht über die untersuchten Mischungsverhältnisse zwischen Substrat und Inokulum gibt **Tafel 1**.

## 2.3 Auswertung der Versuche

Die in den Gärtests ermittelten Gas-mengen wurden auf Normalvolumen (0 °C, 1,013 bar) umgerechnet und auf die im Ausgangsmaterial enthaltene organische Substanz des Substrates bezogen. Die im Parallelversuch bestimmte Gasproduktion des Inokulums wurde von der gesamten Gasproduktion der jeweiligen Mischung abgezogen. Die Kurven der folgenden Diagramme stellen also die Methanproduktion des Substrates bzw. des reinen Inokulums dar, jeweils bezogen auf die zugehörige Trockenmasse. Die Kurven geben die insgesamt bis zum jeweiligen Zeitpunkt produzierte Gasmenge an, sind also Summenkurven.

Um bei begrenzter Versuchszeit eine Aussage über die Endgasausbeute zu bekommen, wurde das in **Bild 2** dargestellte halblogarithmische Diagramm verwendet. Über dem reziproken Zeitwert wird die auf die organische Trockenmasse bezogene Methanproduktion – im folgenden kurz bezogene Methanproduktion genannt – im logarithmischen Maßstab aufgetragen. Am Beispiel von Versuchsergebnissen von *Reinhold u. Noack* [2] für die Vergärung verschiedener organischer Stoffe in Zeiträumen bis zu 117 Tagen zeigt sich, daß die bezogene Gasproduktion in bestimmten Phasen die Form einer Geraden annimmt. Diese Gerade ergibt sich für die stationäre Phase des Bakterienwachstums. Für die hier dargestellten Versuche wäre eine Faulzeit von etwa 30 Tagen ausreichend gewesen, um eine Aussage über den weiteren Verlauf der Gasfreisetzung machen zu können, bis hin zur Endgasausbeute, dem Schnittpunkt der Geraden mit der Ordinate. Das beschriebene Auswertverfahren hat gegenwärtig hypothetischen Charakter.

Neben dieser graphischen Auswertung in bezug auf die Endgasausbeute wurden die Gehalte an Trockenmasse, organischer Masse, organischen Säuren sowie der pH-Wert bei Beginn und Ende des Versuches bestimmt, bei der Vergärung von Pflanzen zusätzlich der Futterwert. Vom Institut für Grünland- und Futterpflanzenforschung der FAL wird untersucht, ob aus der Futterwertanalyse eines organischen Stoffes auf die Vergärbarkeit und die Endgasausbeute geschlossen werden kann.

Gewichtsteile			Trockensubstanz		Anteil d.org. Substanz		Belastungsverhältnis	Reaktion		Gehalt an org. Säuren		CH <sub>4</sub> -Gehalt des Gases	
Substr.	S	Inokul. I	Wasser	1	2	1		2	pH <sub>1</sub>	pH <sub>2</sub>	1		2
–	–	–	–	%	%	%	%	–	–	mg/l	mg/l	%	
<b>Rindermist</b>													
10	0	0		9,7	9,1	82,0	80,8	–	7,0	6,1	2437	7486	27,5
9	1	0		9,5	7,4	81,4	78,1	12,70	7,0	7,5	2363	2500	58,4
8	2	0		9,3	7,4	80,9	74,1	5,61	7,1	7,6	2290	134	60,1
7	3	0		9,1	7,2	80,0	73,4	3,26	7,2	7,7	2216	63	63,7
6	4	0		8,9	7,2	79,2	72,3	2,12	7,2	7,6	2142	43	60,9
5	5	0		8,7	7,1	78,5	73,4	1,41	7,3	7,7	2069	43	60,3
4	6	0		8,5	7,1	77,8	72,1	0,94	7,3	7,7	1995	38	59,4
3	7	0		8,3	7,0	77,1	72,2	0,61	7,4	7,7	1921	6	59,2
2	8	0		8,0	6,5	76,1	70,9	0,35	7,5	7,7	1847	12	58,1
1	9	0		7,8	6,9	75,4	71,2	0,16	7,5	7,7	1774	12	56,9
0	10	0		7,6	6,5	74,4	71,3	–	7,6	7,8	170	5	57,4
<b>Gras</b>													
1	0	50		0,3	0,3	80,9	80,0	–	7,7	5,1	–	–	0
1	10	40		2,3	1,5	82,1	74,0	0,126	7,7	6,8	–	–	47,6
1	20	30		4,3	2,8	82,2	72,0	0,063	7,7	7,1	–	–	–
1	30	20		6,3	4,1	82,2	70,6	0,042	7,7	7,2	–	–	61,9
1	40	10		8,3	5,4	82,2	71,6	0,031	7,6	7,4	–	–	59,3
1	50	0		10,4	7,0	82,2	72,3	0,025	7,6	7,5	–	–	59,6
<b>Klee</b>													
1	0	50		0,3	0,3	85,5	85,2	–	7,7	5,1	–	–	0
1	10	40		2,3	1,5	82,6	73,2	0,140	7,7	6,8	–	–	44,3
1	20	30		4,3	2,7	82,5	71,4	0,070	7,7	7,1	–	–	62,9
1	30	20		6,3	4,0	82,4	71,2	0,046	7,7	7,3	–	–	58,5
1	40	10		8,3	5,4	82,4	71,7	0,035	7,7	7,4	–	–	57,9
1	50	0		10,3	6,9	82,4	72,3	0,028	7,7	7,5	–	–	56,8
<b>Markstammkohl</b>													
1	0	50		0,2	0,2	86,5	86,3	–	7,6	5,2	–	–	0
1	10	40		2,2	1,5	82,7	72,5	0,119	7,7	6,8	–	–	52,0
1	20	30		4,2	2,7	82,5	72,0	0,060	7,7	7,0	–	–	62,2
1	30	20		6,3	4,0	82,4	71,1	0,040	7,6	7,1	–	–	60,1
1	40	10		8,3	5,3	82,4	71,7	0,030	7,6	7,3	–	–	60,0
1	50	0		10,3	6,7	82,4	71,6	0,024	7,6	7,4	–	–	56,2
<b>Mais</b>													
1	0	50		0,2	0,2	85,5	82,1	–	7,6	5,2	–	–	0
1	10	40		2,2	1,4	82,6	72,5	0,113	7,7	6,7	–	–	48,1
1	20	30		4,2	2,6	82,4	71,2	0,057	7,7	7,0	–	–	60,7
1	30	20		6,2	3,9	82,4	70,6	0,038	7,7	7,2	–	–	61,4
1	40	10		8,3	5,3	82,4	70,4	0,028	7,7	7,3	–	–	59,4
1	50	0		10,3	6,5	82,4	70,5	0,023	7,7	7,4	–	–	55,1
<b>Stroh</b>													
1	60	40		5,8	4,6	83,9	73,1	0,177	7,5	7,2	–	–	62,1
<b>Inokulum</b>													
–	–	–		10,0	6,9	82,3	70,8	–	6,7	7,5	–	–	59,1

**Tafel 1.** Stoffliche Zusammensetzung von Rinderflüssigmist, Gras, Klee, Markstammkohl, Mais und Stroh bei der alkalischen Faulung im Gärtest zu Versuchsbeginn (1) und -ende (2) sowie Zusammensetzung des produzierten Gases (Verweilzeit 22 Tage, Substrattemperatur 33 °C).

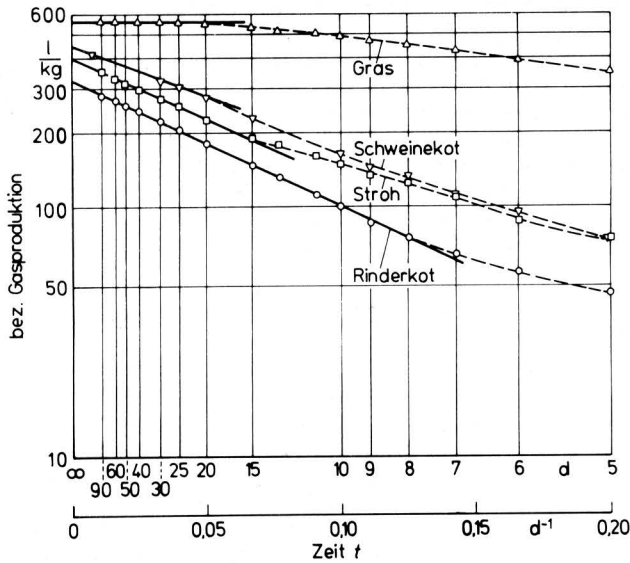


Bild 2. Auf organische Trockenmasse bezogene Gasproduktion verschiedener Stoffe, nach Reinhold u. Noack [2].

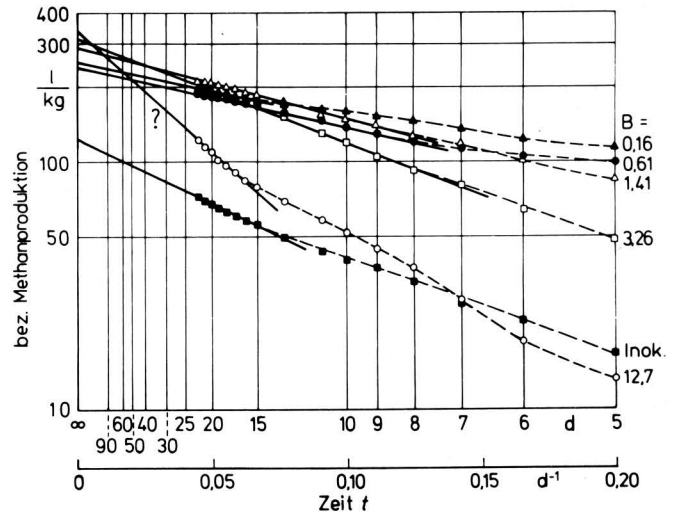


Bild 4. Auf organische Trockenmasse des Substrats bezogene Methanproduktion von Rindermist in Abhängigkeit von der Zeit und dem Belastungsverhältnis B.

### 3. Versuchsergebnisse

#### 3.1 Gärverhalten von Rindermist

Tafel 1 zeigt die stoffliche Zusammensetzung der Proben zu Versuchsbeginn und -ende. In Bild 3 und 4 ist die bezogene Methanproduktion von Rindermist dargestellt. Aus Gründen der Übersichtlichkeit sind nicht alle untersuchten Mischungen dargestellt. Die beiden unteren Kurven zeigen die Methanproduktion des Inokulums (als der Nullprobe) und des reinen Substrates. Die Methanproduktion des reinen Rindermistes beweist die Anwesenheit von Methanbakterien. Die Methanproduktion ist wegen des hohen Säuregehaltes von 7486 mg/l am Versuchsende und des niedrigen pH-Wertes sehr gering geblieben. Der pH-Wert betrug nach 22 Tagen 6,1, während er bei allen anderen Mischungen zu diesem Zeitpunkt zwischen 7,5 und 7,8 lag.

Die Methanproduktion der verschiedenen Mischungen ist zu Beginn umso intensiver, je geringer das Belastungsverhältnis ist, wobei der unterschiedliche Trockensubstanzgehalt bei den gerin-

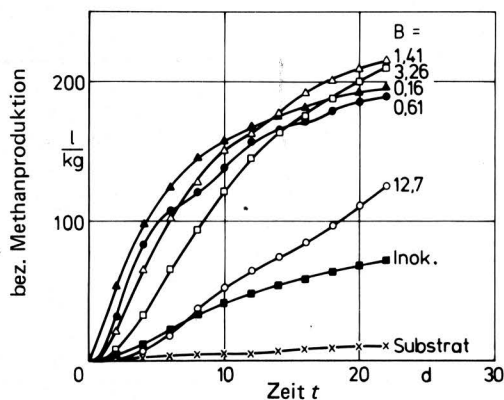


Bild 3. Auf organische Trockenmasse des Substrats bezogene Methanproduktion von Rindermist in Abhängigkeit von der Zeit und dem Belastungsverhältnis B; das Belastungsverhältnis ist der Quotient aus der organischen Trockenmasse des Substrats und der organischen Trockenmasse des Inokulums.

gen Differenzen vermutlich zu vernachlässigen ist. Eine große Zahl von Bakterien mit schlechter Nährstoffversorgung im Inokulum erhält durch die Zugabe von frischem Mist eine Nährstoffzufuhr, die rasch abgebaut wird. Die Anlaufphase ist bei geringer Belastung nur kurz bzw. wenig ausgeprägt.

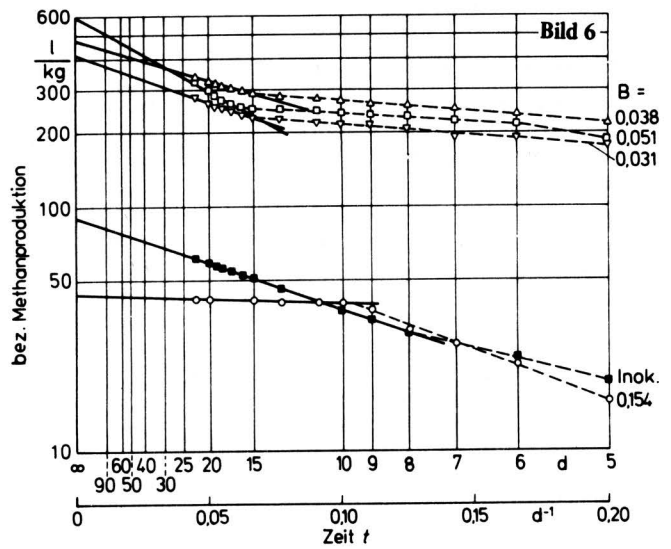
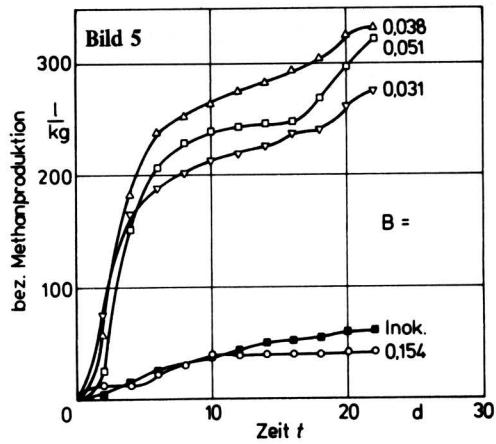
Es sei hier auch auf die Einbuchtungen im Kurvenverlauf hingewiesen, die für die zuvor unter 2.3 beschriebene Art der Versuchsauswertung von großer Bedeutung ist. Die Kurven aller Proben zeigen in unterschiedlich starker Ausprägung und zu verschiedenen Zeitpunkten solche Einbuchtungen im Kurvenverlauf, die stationäre Phasen während der Gasproduktion, bedingt durch Verzögerungen im Bakterienwachstum, widerspiegeln. In dem Gemisch mit dem höchsten Belastungsverhältnis von 12,7 ist das exponentielle Wachstum der Bakterien zum Versuchsende nach 22 Tagen noch nicht abgeschlossen.

Bei der Auftragung der bezogenen Methanproduktion im halb-logarithmischen Maßstab, Bild 4, ergibt sich, daß nach 8 bis 17 Tagen eine Gerade die Methanproduktion beschreibt. Die zu erwartenden Endgasausbeuten für Rindermist liegen bezogen auf die organische Masse je nach Belastungsverhältnis zwischen 200 und 350 l/kg. Dabei nehmen die Endgasausbeuten mit steigender Belastung zu. Der Verlauf der Geraden für die Mischung mit dem Belastungsverhältnis 12,7 ist aus den bereits genannten Gründen unsicher. Der exponentielle Verlauf der Gasproduktion war noch nicht abgeschlossen. Es kann also erst dann die Endgasausbeute durch eine Gerade bestimmt werden, wenn keine exponentiellen Wachstumsphasen mehr auftreten. Daß bei niedrigen Belastungsverhältnissen tatsächlich ein größerer Teil des Stoffumsatzes der Synthese neuer Zellsubstanz zugute kommt als der Dissimilation hat Tabasaran [3] für verschiedene Substrate nachgewiesen.

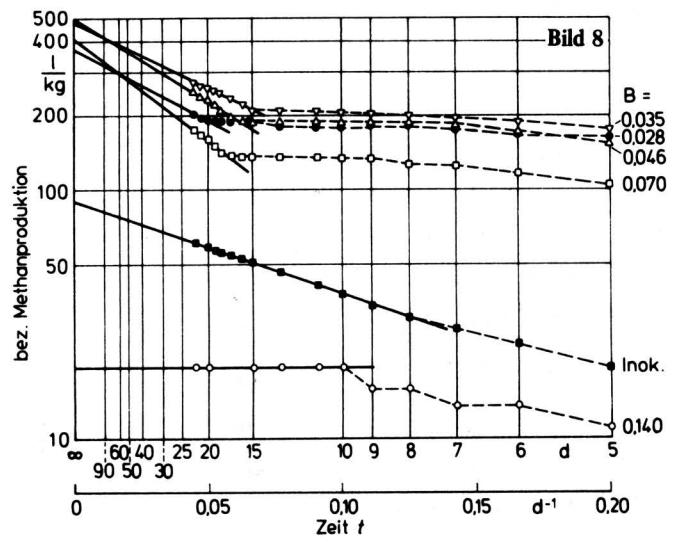
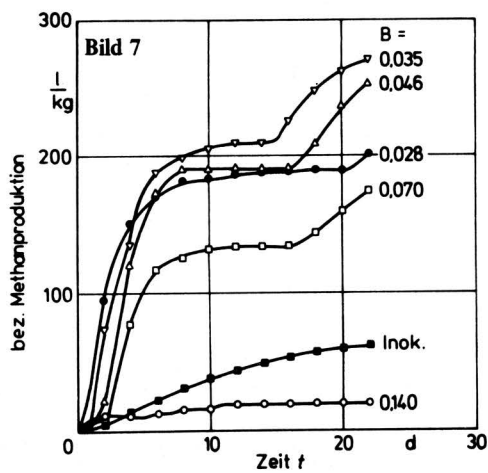
Die Trockensubstanzgehalte und die Anteile an organischer Substanz haben bei allen Proben deutlich abgenommen, Tafel 1. Die organischen Säuren sind, mit Ausnahme der hochbelasteten Probe und des reinen Substrates, umgesetzt worden.

#### 3.2 Gärverhalten von Stroh und grünen Pflanzen

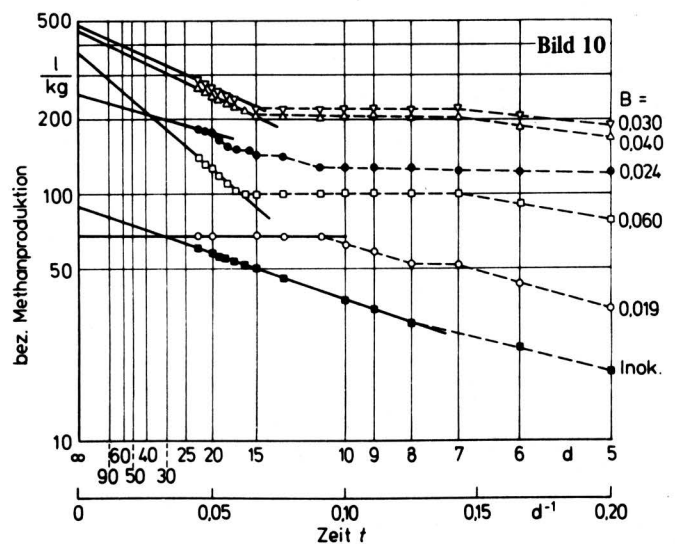
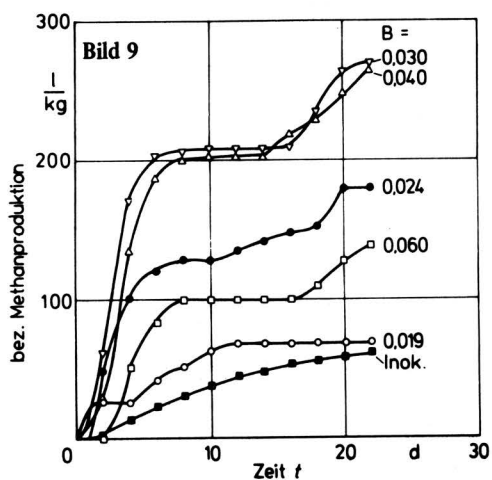
Auch für die Untersuchungen mit Stroh und frischem Pflanzenmaterial zeigt Tafel 1 die stoffliche Zusammensetzung der Proben zu Versuchsbeginn und -ende. In Bild 5 bis 12 ist die Methanproduktion dargestellt.



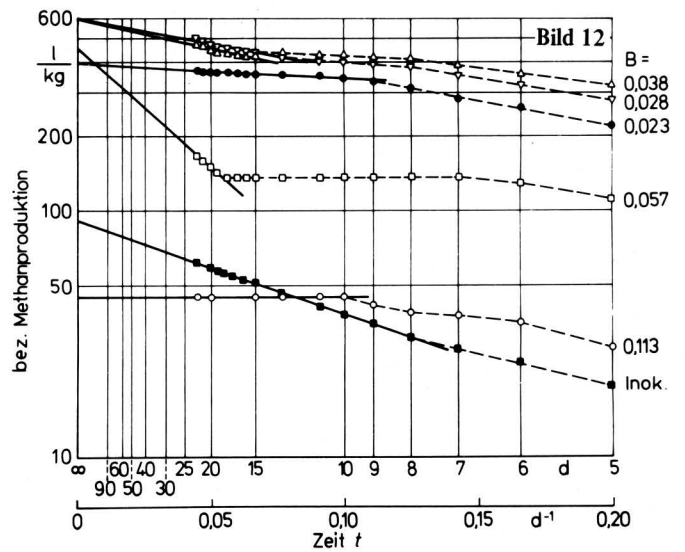
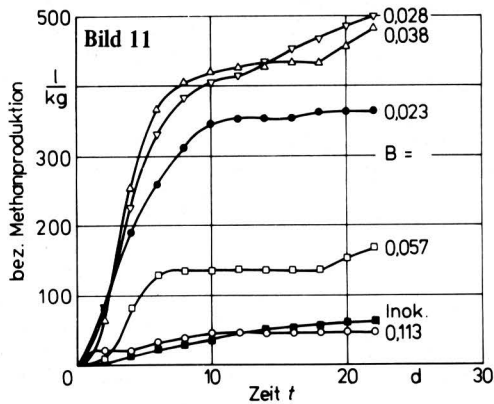
**Bild 5 und 6.** Auf organische Trockenmasse des Substrats bezogene Methanproduktion von frischem Gras in Abhängigkeit von der Zeit und dem Belastungsverhältnis B.



**Bild 7 und 8.** Auf organische Trockenmasse des Substrats bezogene Methanproduktion von Klee in Abhängigkeit von der Zeit und dem Belastungsverhältnis B.



**Bild 9 und 10.** Auf organische Trockenmasse des Substrats bezogene Methanproduktion von Markstammkohl in Abhängigkeit von der Zeit und dem Belastungsverhältnis B.



**Bild 11 und 12.** Auf organische Trockenmasse des Substrats bezogene Methanproduktion von Mais in Abhängigkeit von der Zeit und dem Belastungsverhältnis B.

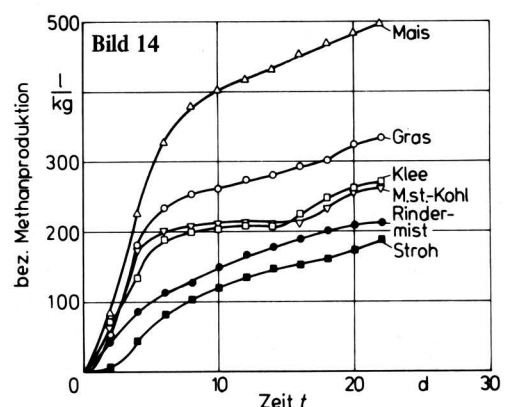
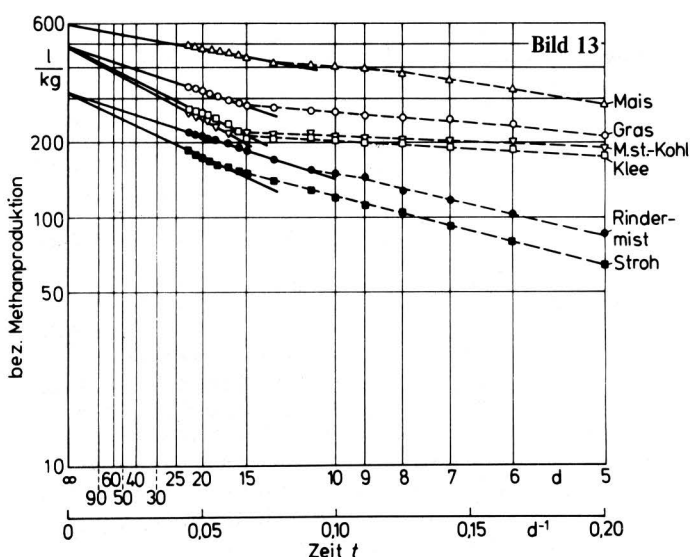
Es ist zu erkennen, daß eine Erhöhung des Belastungsverhältnisses über eine bestimmte Grenze hinaus zu einer Verzögerung der Methanproduktion führt und zu einer insgesamt verminderten Endgasausbeute. Die Verzögerung dürfte bei den grünen Pflanzen auf einer Übersäuerung beruhen, durch die die Methanbildner zumindest gehemmt, wenn nicht gar geschädigt werden. Der pH-Wert liegt zum Versuchsende mit 6,7 bzw. 6,8 nahe dem Optimalbereich von 7,0 bis 7,5. Eine Erhöhung des Belastungsverhältnisses führt jedoch nicht generell zu einer Verzögerung der Methanproduktion; es scheint sogar, wie beim Rindermist, so zu sein, daß bei niedrigen Belastungsverhältnissen die Methanproduktion zurückgeht. Für Gras, Mais, Markstammkohl und Klee liegt bei Verweilzeiten von 22 Tagen das Belastungsverhältnis, bei dem die höchste bezogene Methanproduktion erreicht wird, zwischen etwa 0,030 und 0,040.

Betrachtet man die bezogene Methanproduktion organischer Stoffe im Vergleich, Bild 13, so liegen die Endgasausbeuten an CH<sub>4</sub> bezogen auf die Masseneinheit organischer Masse für Stroh und Rindermist etwas über 300 l/kg, für grüne Pflanzen wie Klee,

Markstammkohl und Gras bei etwa 450 l/kg und für Mais bei fast 600 l/kg. Die Abnahme der Gehalte an Trockensubstanz und organischer Substanz sind auch bei diesen Versuchen deutlich. Zum Versuchsende war die ursprüngliche Struktur der Pflanzen kaum mehr erkennbar, die Proben hatten einen angenehmen Geruch.

#### 4. Bewertung der Versuchsergebnisse

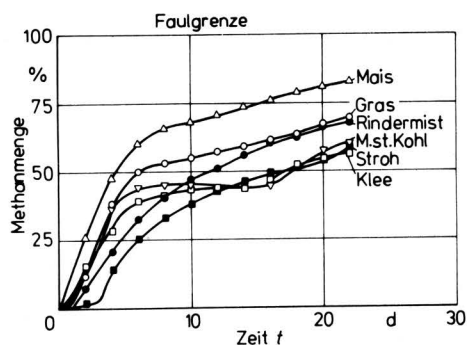
Trägt man die bezogene Methanproduktion der untersuchten Stoffe über der Zeit auf, Bild 14, wobei jeweils nur die Versuche mit den Belastungsverhältnissen ausgewählt wurden, die zu den höchsten Methanerträgen führten, so ist deutlich die höhere bezogene Methanproduktion der grünen Pflanzen im Vergleich zu Rindermist bzw. Stroh zu erkennen. Innerhalb der grünen Pflanzen hebt sich wiederum Mais hervor mit einer bezogenen Methanproduktion nach 22 Tagen Faulzeit, die mit fast 500 l/kg nahezu doppelt so groß ist wie die z.B. von Klee. Nach Faulzeiten von 5 (Markstammkohl, Klee) bis 10 Tagen (Mais) geht die bezogene Methanproduktion der grünen Pflanzen stark zurück, während sie bei Stroh und Rindermist bis zu einem Zeitraum von 22 Tagen fast kontinuierlich ansteigt.



**Bild 13 und 14.** Auf organische Trockensubstanz der Substrate bezogene Methanproduktion verschiedener Stoffe in Abhängigkeit von der Zeit.

Werden die bis zum jeweiligen Zeitpunkt entwickelten Methanmengen als Bruchteil (%) der erzielbaren Methanmenge (Endgasausbeute) aufgetragen, **Bild 15**, so zeigt sich, daß innerhalb von 3 Wochen 60 bis 80 % der erzielbaren Methanmenge freigesetzt worden sind.

Berücksichtigt man die in den Batch-Versuchen für die Methanbakterien geringeren Umsatzleistungen im Vergleich zu Durchlaufversuchen, könnten für grüne Pflanzen Verweilzeiten von 5 bis 8 Tagen in mesophil betriebenen Fermentern ausreichend sein. Für Rindermist bestätigt sich dagegen auch durch die Batch-Versuche, daß Verweilzeiten von etwa 3 Wochen, wie sie in der Praxis anzutreffen sind, ausreichend sind.



**Bild 15.** Methanmenge als Bruchteil der insgesamt erzielbaren Methanmenge (Endgasausbeute) in Abhängigkeit von der Zeit für verschiedene Stoffe.

## 5. Zusammenfassung

Für die Auslegung und den Betrieb von Biogasanlagen ist das Gärverhalten (zeitliche Gasproduktion, Endgasausbeute) der zu vergasenden organischen Stoffe von Bedeutung. Durch Gärtests kann das Gärverhalten erfaßt werden, wenn auch die Unterschiede zwischen Batch- und Durchlaufkulturen berücksichtigt werden müssen. Es wird eine Gärtestanlage mit 5 l-Fermentern beschrieben und über Versuche berichtet, in denen Rindermist, Stroh, Gras, Klee, Mais und Markstammkohl mit Rindermist-Inokulum bei unterschiedlichen Belastungsverhältnissen vergast wurden. Die Endgasausbeute an Methan bezogen auf die Masseneinheit organischer Trockensubstanz liegt für Rindermist und Stroh bei etwa 300 l/kg, für Klee, Gras und Markstammkohl bei etwa 450 l/kg und für Mais bei 600 l/kg. Nach Verweilzeiten von 22 Tagen sind 60 bis 80 % der erzielbaren Methanmenge freigesetzt. Versuchszeiträume von 30 bis 40 Tagen reichen aus, um Aussagen über die Endgasausbeute treffen zu können. Die Versuche werden fortgesetzt.

### Schrifttum

Bücher sind durch ● gekennzeichnet

- [ 1 ] *Badger, D.M., M.J. Bogue u. D.J. Stewart:* Biogas production from crops and organic wastes. *New Zealand Journal of Science*, Bd. 22 (1979) S. 11/20.
- [ 2 ] ● *Reinhold, F. u. W. Noack:* Laboratoriumsversuche über die Gasgewinnung aus landwirtschaftlichen Stoffen. In: *Liebmann, H.:* Gewinnung und Verwertung von Methan aus Klärschlamm und Mist. München: R. Oldenbourg, 1956.
- [ 3 ] *Tabasaran, O.:* Beim anaeroben Abbau organischer Stoffe erzielbare Gasmengen in Abhängigkeit vom Belastungsverhältnis. *Gesundheits-Ingenieur* Bd. 91 (1970) Nr. 11, S. 327/29.

## Bestimmung von Kennzahlen zur Wärmeübertragung bei Flüssigmist

Von Hans W. Orth, Braunschweig-Völkenrode\*)

Mitteilung aus dem Institut für Technologie der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode

DK 631.862:662.767.1:536.24

Biogasanlagen werden im allgemeinen unter mesophilen oder thermophilen Bedingungen betrieben. Dies erfordert sowohl die Erwärmung des Frischsubstrates als auch die Deckung der Transmissionsverluste des Reaktors. Als Grundlage für die Auslegung der hierzu erforderlichen Wärmeaustauscher werden erste Ergebnisse bei der Bestimmung der Wärmeübergangskoeffizienten für Flüssigmist in Rohrwärmeaustauschern mitgeteilt.

\*) *Dr.-Ing. H.W. Orth* ist Wissenschaftlicher Oberrat im Institut für Technologie (Leiter: Prof. Dr.-Ing. W. Baader) der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode.

### 1. Einleitung

Methanbildende Mikroorganismen-Populationen haben bekanntlich besonders günstige Lebensbedingungen bei Temperaturen im mesophilen oder im thermophilen Bereich. Biogasanlagen werden daher entweder bei ca. 35 °C oder bei ca. 55 °C betrieben. Da die Mikroorganismenaktivität nur leicht, im allgemeinen vernachlässigbar exotherm ist, muß dem Prozeß Wärme zur Substraterwärmung und zur Deckung der Wärmeverluste an die Umgebung zugeführt werden.

Zur Erzielung einer guten Energiebilanz des Gesamtverfahrens ist der Prozeßwärmeanteil möglichst gering zu halten, daher kommt der Auslegung und Anordnung der Wärmeeintragssysteme eine entsprechende Bedeutung zu.