

Friedrich Weißbach

Das Gasbildungspotenzial von Schweinegülle bei der Biogasgewinnung

Der effiziente Einsatz von Substraten in der Biogasgewinnung erfordert die Kenntnis ihres Gasbildungspotenzials. Bisher fehlen hinreichend genaue Angaben hierüber für Schweinegülle. In dieser Studie wird aus den Ergebnissen von an Tieren durchgeführten Verdauungsversuchen der Gehalt von „fermentierbarer organischer Trockensubstanz“ (FoTS) in Schweinegülle bestimmt. Außerdem wird der potenzielle Gasertrag je kg FoTS aus Schweinegülle von diesen Daten abgeleitet.

Schlüsselwörter

Biogas, Schweinegülle, Gasbildungspotenzial, fermentierbare organische Trockensubstanz, Methanertrag

Keywords

Biogas, pig slurry, gas forming potential, fermentable organic matter, methane yield

Abstract

Weißbach, Friedrich

The gas forming potential of pig slurry in biogas production

Landtechnik 66 (2011), no. 6, pp. 460-464, 4 tables, 7 references

The efficient use of substrates in biogas production requires the knowledge of their gas forming potential. Sufficiently precise data for pig slurry is still lacking. In this study, the content of "fermentable organic matter" (FOM) in pig slurry is determined using results of digestibility trials with animals. Furthermore, the potential gas yield per kg of FOM from pig slurry is deduced from these data.

effektive Verwertung oft nach geeigneten Substratkombinationen gesucht werden muss. Während es für die Bewertung von pflanzlicher Biomasse unterschiedlicher Fruchtarten gelungen ist, eine praktikable Bewertungsmethode anhand der „fermentierbaren organischen Trockensubstanz“ (FoTS) zu etablieren [1, 2, 3], fehlt bisher eine entsprechende Lösung für die Wirtschaftsdüngerarten. Ziel dieser Studie ist es, eine Methode für die Bewertung von Schweinegülle vorzustellen.

Aufgabenstellung

Die durch die Arbeitsgruppe „Biogaserträge“ des KTBL gesammelten Ergebnisse von Gaserträgen aus Laborgärtests weisen eine sehr große Variabilität auf [4]. Aus 34 in die Auswertung einbezogenen Versuchen mit Schweinegülle wurde ein Mittelwert von 372 Normlitern (NI) Biogas je kg oTS mit einem Variationskoeffizienten von 33 % berechnet. Das entspricht einer Standardabweichung von ± 123 NI/kg oTS. Betrachtet man diese als material- und verfahrenstypisch (d.h. als Streuung der Grundgesamtheit) und nimmt eine Wiederholungsanzahl von 4 je Laborversuch an, so ergibt sich ein sehr weites Konfidenzintervall von 252...492 NI Biogas je kg oTS, innerhalb dessen sich (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha = 0,05$) der wahre Mittelwert bewegen kann.

Als Richtwert für Biogas aus Schweinegülle werden von der genannten KTBL-Arbeitsgruppe 420 NI/kg oTS empfohlen [4]. Bei dem gleichfalls angegebenen Richtwert für den Methangehalt von 60 % resultiert daraus der empfohlene Richtwert für den Methanertrag von 250 NI/kg oTS.

Überträgt man den Methangehalt von 60 % auf das Konfidenzintervall für die Biogaserträge, wie es für die Versuchsdaten errechnet wurde, so kann hiernach die tatsächliche Methanausbeute von Schweinegülle zwischen rund 150 und 300 NI /kg oTS liegen. Bei der erheblichen Unsicherheit der Daten aus den Laborgärtests, auf deren Grundlage diese Richt-

■ Einsatzplanung und bedarfsgerechte Einspeisung von Substraten in Biogasanlagen erfordern eine möglichst genaue Kenntnis des Gasbildungspotenzials. Verlässliche Daten hierüber gewinnen auch deshalb an Bedeutung, weil das Spektrum der Substrate zunehmend vielfältiger wird und weil für ihre

werte festgelegt worden sind, erscheint es sinnvoll zu prüfen, ob die zu erwartenden Biogas- und Methanerträge über den Gehalt an FoTS abgeleitet werden können.

Material und Methoden

Gülle besteht bekanntlich aus einem Gemisch von Kot und Harn, das mehr oder weniger stark mit Wasser verdünnt und ggf. mit Futterresten vermischt sein kann. Von den Exkrementen trägt nur der Kot zum Gasbildungspotenzial der Gülle bei. Die Trockensubstanz des Harns besteht im Wesentlichen aus löslichen Mineralstoffen und Harnstoff. Der Harnstoff unterliegt nach der Vermischung von Kot und Harn der bakteriellen Hydrolyse durch die im Kot reichlich vorhandene Bakterien. Er hat für die spätere Biogasbildung keine Bedeutung. Das Vorkommen anderer organischer Verbindungen im Harn ist gering und hier zu vernachlässigen. Futterreste als Bestandteil von Schweinegülle spielen bei den heutigen Technologien in der Schweinehaltung und -fütterung praktisch keine Rolle. Deshalb kann das Gasbildungspotenzial von Schweinegülle allein aus dem Gehalt an Nährstoffen, die aus dem Kot stammen, abgeleitet werden.

Es gibt umfangreiche Datensammlungen aus Verdauungsversuchen, die schon vor längerer Zeit für Zwecke der Futterbewertung durchgeführt worden sind. Diese Daten lassen sich zur Beantwortung von Fragen nutzen, die sich im Rahmen der Bewertung von Schweinegülle ergeben.

Das betrifft zunächst Verdauungsversuche an Mastschweinen mit verschiedenen Einzel- und Mischfuttermitteln [5]. Aus diesen kann berechnet werden, welchen Anteil die verschiedenen Nährstoffgruppen an der oTS im Schweinekot haben. Diese Anteile müssen bekannt sein, um das stöchiometrisch zu erwartende Gasbildungspotenzial der FoTS berechnen zu können.

Des Weiteren muss die Verdaulichkeit der im Schweinekot enthaltenen Nährstoffe, wenn diese das Verdauungssystem von Wiederkäuern passieren, bekannt sein. Aus der Verdaulichkeit bei Wiederkäuern lässt sich auf die Fermentierbarkeit der organischen Substanz im Fermenter schließen, wie das für pflanzliche Biomasse gezeigt wurde [1, 6].

Es liegen zwei Verdauungsversuche an je 6 Hammeln vor, in denen Futterrationen geprüft worden sind, die Schweinekot enthielten [7]. Der Kot stammte von 8 Mastschweinen mit einem Gewicht von 100 bis 120 kg. Die Tiere standen in Einzelbuchten ohne Einstreu und erhielten täglich 3,4 kg eines handelsüblichen Mischfutters für die Endmaststufe. Der Kot wurde zweimal täglich manuell gesammelt und bis zur Verfütterung in Tiefkühltruhen aufbewahrt.

Die Verdaulichkeitsprüfung der Schafe erfolgte in Differenzversuchen. Als Grundration erhielten die Schafe täglich 450 g TS aus gemahlenem Haferstroh und 450 g TS aus Gerstenschrot. Anschließend wurden in den eigentlichen Versuchsperioden 50 % der TS dieser Grundration durch TS aus dem Schweinekot ersetzt. Alle Rationskomponenten wurden maschinell homogen vermischt. Nach 14-tägiger Übergangsfütterung ist die Futterration mit dem Schweinekot von den Schafen problemlos und stets vollständig verzehrt worden. Die Bilanzperioden dauerten 20 Tage. Während der letzten 10 Tage wurde die Nährstoffausscheidung der Schafe gemessen.

Zusammensetzung der oTS

Tabelle 1 zeigt eine Auswertung von Verdauungsversuchen an Schweinen. Es sind hier diejenigen Nährstoffmengen dargestellt, die von den Tieren nach Verzehr des jeweiligen Futtermittels ausgeschieden wurden. Die Auswertung umfasst alle

Tab. 1

Gehalt an organischen Stoffgruppen im Schweinekot nach Verzehr verschiedener Futtermittel

Table 1: Content of organic compounds in faeces from pigs fed different feeds

Verzehrtes Futtermittel <i>Intaken feed</i>	Anzahl Versuche <i>Number of trials</i>	Kohlenhydrate/Carbohydrates		Lipide/Lipids		Proteine/Proteins	
		Mittel/Mean	SD	Mittel/Mean	SD	Mittel/Mean	SD
Ausscheidung mit dem Kot [g/kg TS-Aufnahme]/Faecal excretion [g/kg DM intake]							
Nacktgetreide/ <i>Grain</i>	15	45	23	10	3	14	3
Spelzgetreide/ <i>Husked grain</i>	16	141	68	9	3	19	2
Getreidekleie/ <i>Bran</i>	6	203	73	18	4	34	7
Körnerleguminosen/ <i>Legumes</i>	7	40	25	8	5	34	8
Extraktionsschrote/ <i>Oil meals</i>	3	85	51	5	6	38	5
Mischfuttermittel/Compound feeds	13	142	34	13	2	33	8
Anteil an der oTS des Kotes [%]/Proportion of the faecal organic matter [%]							
Nacktgetreide/ <i>Grain</i>	15	65		14		20	
Spelzgetreide/ <i>Husked grain</i>	16	83		5		11	
Getreidekleie/ <i>Bran</i>	6	80		7		13	
Körnerleguminosen/ <i>Legumes</i>	7	49		10		41	
Extraktionsschrote/ <i>Oil meals</i>	3	66		4		30	
Mischfuttermittel/Compound feeds	13	76		7		18	

Einzelfutterarten, die üblicherweise in der Schweinefütterung zum Einsatz kommen, sowie eine Serie von Versuchen mit Mischfutter typischer Zusammensetzung.

Im oberen Teil der **Tabelle 1** ist die Nährstoffausscheidung auf ein kg an verzehrter Futter-TS bezogen. Es ist ersichtlich, dass der mit Abstand überwiegende Teil der ausgeschiedenen organischen Substanz auf Kohlenhydrate (Rohfaser plus N-freie Extraktstoffe) entfällt. Dabei ist die Kohlenhydratausscheidung stark abhängig vom Gehalt des Futtermittels an Zellwandsubstanzen, für deren Hydrolyse das Schwein nicht über körpereigene Enzyme verfügt und die deshalb erst im Dickdarm mikrobiell verdaut werden können.

Es werden jedoch nicht alle Zellwandsubstanzen mikrobiell verdaut, und auch bei den Substanzen, die verdaut werden, ist die Verdauung unvollständig. Außerdem findet im Ergebnis der mikrobiellen Dickdarmverdauung die Bildung von bakterieller Biomasse statt, die danach mit dem Kot ausgeschieden wird. Deshalb besteht die oTS des Schweinekotes stets aus einem Gemisch von unverdauten Stoffen aus dem Futtermittel und aus bakterieller Biomasse. Die bakterielle Biomasse besteht ihrerseits zu etwa 50 % aus Kohlenhydraten. Diese trägt mit ihren sonstigen Bestandteilen wesentlich auch zur Ausscheidung an Lipiden (Rohfett) und Proteinen (Rohprotein) bei und ist insgesamt in wesentlich größerem Maße fermentierbar als die unverdauten Stoffe aus dem Futter.

Je größer der Anteil des Futters an Zellwandsubstanzen ist, umso größer ist die Ausscheidung an unverdauten Stoffen aus dem Futter und auch die Ausscheidung an bakterieller Biomasse. Dies erklärt, dass der Anteil der drei Nährstoffe an der oTS des Kotes, wie im unteren Teil der **Tabelle 1** dargestellt, stets relativ ähnlich ausfällt. Für die oTS aus frischem Schweinekot kann deshalb mit einer näherungsweise konstanten Fermentierbarkeit und auch mit einem weitgehend gleichen Gasbildungspotenzial je kg FoTS gerechnet werden.

Folglich ist es möglich, typische Werte für die Fermentierbarkeit der oTS aus frischer Schweinegülle und für das Gasbildungspotenzial je kg dieser FoTS zu verallgemeinern. Im Folgenden werden diese Größen aus den vorliegenden Versuchsdaten abgeleitet.

Fermentierbarkeit der oTS

Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse der Verdaulichkeitsprüfung von Schweinekot an Schafen. Die Mittelwerte der Verdaulichkeit von beiden Versuchen stimmen weitgehend überein. Auch die Standardabweichungen liegen in einem üblichen Rahmen. Im Durchschnitt beider Versuche ergibt sich eine Verdaulichkeit der organischen Substanz von 43 %. Unterstellt man, dass die Ergebnisse der zwei Versuche eine gleichwertige Stichprobe darstellen, so ergibt sich eine Gesamt-Spannweite beider sich überschneidenden Konfidenzintervalle (bei $\alpha = 0,05$) von 39...47 %. Der Mittelwert für die Verdaulichkeit der organischen Substanz kann damit als gut abgesichert gelten.

Die in diesen Versuchen gemessene Verdaulichkeit gilt als „scheinbare Verdaulichkeit“. Die „wahren Verdaulichkeit“

Tab. 2

Verdaulichkeit von Schweinekot, gemessen am Schaf
(n = 6 Schafe je Experiment)

Table 2: Digestibility of faeces from pigs measured in sheep
(n = 6 sheep/experiment)

Nährstoffgruppe Nutrient fractions	Verdaulichkeit/Digestibility [%]				Gesamtmittel Total mean
	Experiment A		Experiment B		
	Mittel Mean	SD	Mittel Mean	SD	
Rohprotein Crude protein	64,7	2,0	66,7	1,4	65,7
Rohfett Ether extract	40,0	9,1	39,9	10,9	40,0
Rohfaser Crude fiber	38,6	6,1	37,0	8,1	37,8
N-freie Extraktstoffe N-free extract	40,6	1,9	28,7	4,7	34,7
Organische Substanz Organic matter	45,4	2,1	41,0	2,1	43,2

erhält man, wenn die metabolische Ausscheidung endogenen Ursprungs berücksichtigt wird. Für Verdauungsversuche mit weitgehend standardisierter Zusammensetzung der Prüfrationen lassen sich diese metabolischen Ausscheidungen näherungsweise quantifizieren. Die hier ausgewerteten Versuche erfüllen diese Voraussetzung.

Bei pflanzlichen Biomassen erwies sich der Gehalt an „wahr verdaulicher“ organischer Substanz als praktisch identisch mit dem Gehalt an FoTS [1] und damit als geeigneter Maßstab für das Gasbildungspotenzial. In **Tabelle 3** ist dargestellt, welcher Gehalt an FoTS in den Experimenten ermittelt wurde und welchen Anteil die drei Nährstoffgruppen an der FoTS des geprüften Schweinekotes einnahmen.

Aus den im Durchschnitt beider Experimente bestimmten Nährstoffgehalten und Verdauungsquotienten errechnet sich

Tab. 3

Gehalte an fermentierbaren Nährstoffen im Schweinekot

Table 3: Content of fermentable nutrients in the faeces from pigs

	Kohlenhydrate Carbohydrates	Lipide Lipids	Protein Proteins	Organische Substanz Organic matter
Gesamtgehalt [g/kg TS] Content total [g/kg DM]	592	76	202	868
Verdaulichkeit, [%] Digestibility [%]	36	40	66	43
Verdaulicher Anteil [g/kg TS] Digestible proportion [g/kg DM]	212	30	132	375
Fermentierbarer Anteil [g/kg TS] Fermentable proportion [g/kg DM]	247	35	152	435
Anteil an der FoTS [%] Proportion of the FOM [%]	57	8	35	100

der Gehalt an scheinbar verdaulichen Nährstoffen und schließlich, durch Hinzufügen der Nährstoffe endogenen Ursprungs (35 g Kohlenhydrate, 5 g Fett und 20 g Protein je kg TS), die Gehalte an fermentierbaren Nährstoffen.

Wenn der fermentierbare Anteil der oTS zum Gesamtgehalt an oTS in Beziehung gesetzt wird, erhält man den Fermentationsquotienten (FQ). Er beträgt:

$$FQ = \frac{435 \text{ g/kg FoTS}}{868 \text{ g/kg oTS}} = 0,50 \quad (Gl.1)$$

Hiernach ist damit zu rechnen, dass bei frischem Schweinekot 50 % der oTS für die Biogasbildung nutzbar sind. Da beim Trocknen von Gülleproben der aus dem Harnstoff freigesetzte Ammoniak verdampft und ansonsten aus dem Harn im Trocknungsrückstand praktisch nur mineralische Bestandteile zurückbleiben, kann dieser Fermentationsquotient auch für die oTS aus frischer Schweinegülle angenommen werden.

Gasbildungspotenzial der FoTS

Der Anteil der drei Fraktionen fermentierbarer Nährstoffe, die zusammen die FoTS bilden (Tabelle 3), betrug in dem hier geprüften Mastschweinekot 57 % Kohlenhydrate, 8 % Lipide und 35 % Proteine.

Dieses Verhältnis der drei Fraktionen ist bei der stöchiometrischen Ableitung des Gasbildungspotenzials je kg FoTS in **Tabelle 4** zu Grunde gelegt worden.

Die fermentierbaren Kohlenhydrate in der Schweinegülle bestehen überwiegend aus Polymeren von Hexosen (z.B. Cellulose) und zum geringeren Teil aus solchen von Pentosen (Xylane, Arabane u. a.). Das spezifische Methan- und Biogasbildungspotenzial dieser Fraktionen wurde in einer früheren Studie stöchiometrisch abgeleitet [2, 3]. Pektine werden im Dickdarm vollständig verdaut und sind in der Gülle ebenso wenig zu erwarten wie niedermolekulare Kohlenhydrate.

Fette und Proteine liegen in der Gülle schon nach kurzzeitiger Lagerung kaum noch als komplexe Verbindungen vor, sondern als Hydrolyseprodukte. Als Gasbildungspotenzial ist im Falle der fermentierbaren Lipide das der Hydrolyseprodukte verwendet worden, das in der genannten Studie [2, 3] für die Fettsäuregemische aus pflanzlichen Glykolipiden stöchiometrisch errechnet worden war. Im Falle der fermentierbaren Proteine wurden die für das Gemisch von freien Aminosäuren aus vegetativer pflanzlicher Biomasse, eingesetzt.

Als gewogene Mittelwerte ergeben sich für das Gasbildungspotenzial je kg der gesamten FoTS rund 420 NI Methan in rund 800 NI Biogas. Diese Werte stimmen mit denen überein, die für die FoTS aus Halm- und Körnerfrüchten abgeleitet und in Fermenterbilanzen bestätigt wurden [6]. Aufgrund dieser Übereinstimmung können bei der Zusammenstellung von Substratgemischen (bei der „Rationsberechnung für den Fermenter“) die Input-Anteile der einzelnen Komponenten an FoTS addiert werden und für die Summe an FoTS die gleiche Gasbildung je kg veranschlagt werden.

Schlussfolgerungen

Werden die hier für frische Schweinegülle ermittelten Größen, der Fermentationskoeffizient von 0,50 und die Methanbildungsrate von 420 NI/kg FoTS sowie die Biogasbildungsrate 800 NI/kg FoTS zusammengeführt, so ergeben sich je kg oTS 210 Normliter Methan und 400 Normliter Biogas.

Während der aktuelle KTBL-Richtwert für die Biogasausbeute mit 420 Normlitern nur um 5 % von diesem Wert abweicht, liegt die Methanausbeute von 250 Normliter um rund 20 % zu hoch und erscheint korrekturbedürftig. Hauptursache dafür ist der mit 60 % sehr hoch veranschlagte Methangehalt im Biogas. Nach der chemischen Zusammensetzung der hier untersuchten Schweinegülle und den stöchiometrischen Berechnungen ist die Annahme eines Methangehaltes von mehr als 53 % nicht gerechtfertigt.

Tab. 4

Gasbildungspotenzial der fermentierbaren organische Substanzen in Schweinegülle

Table 4: Gas forming potential of the fermentable organic matter from pig slurry

	Anteil der Fraktion an der FoTS Proportion of FOM, %	Methan		Biogas		Methangehalt Methane content %
		Liter/kg der Fraktion Litres/kg of the fraction	Liter/kg der FoTS Litres/kg of FOM	Liter/kg der Fraktion Litres/kg of the fraction	Liter/kg der FoTS Litres/kg of FOM	
Kohlenhydrate/Carbohydrates						
Hexosen-Polymere (Cellulose u. a.) Hexosans	40	394	158	788	315	50,0
Pentosen-Polymere (Xylane u. a.) Pentosans	17	403	69	806	137	50,0
Lipide/Lipids	8	945	76	1350	108	70,0
Proteine/Proteins	35	341	119	662	232	51,5
FoTS insgesamt Fermentable organic matter (FOM)	100		421		792	53,2

Die hier ermittelte Methanausbeute gilt für frische oder nur begrenzt Zeit gelagerte Schweinegülle. Es ist nicht auszuschließen, dass bei längerer Lagerung, insbesondere unter sommerlichen Temperaturen, der Fermentationsquotient und dadurch auch die Methanausbeute noch unter das genannte Niveau absinken können.

Literatur

- [1] Weißbach, F. (2008): Zur Bewertung des Gasbildungspotenzials von nachwachsenden Rohstoffen. Landtechnik 63(6), S. 356–358
- [2] Weissbach, F. (2009): Das Gasbildungspotenzial von Halm- und Körnerfrüchten bei der Biogasgewinnung. Landtechnik 64(5), S. 317–321
- [3] Weißbach, F. (2009): Die Bewertung von nachwachsenden Rohstoffen für die Biogasgewinnung. Teil I: Das Gasbildungspotenzial der fermentierbaren Nährstoffe. Pflanzenbauwissenschaften 13 (2), S. 72–85
- [4] KTBL (2010): Gasausbeuten in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Darmstadt, KTBL-Heft 28, 2. überarbeitete Auflage
- [5] Weißbach, F.; Kuhla, S.; Prym, R.; Heinz, D.; Wünsche, J. (1985): Verdaulichkeit von Getreide und Mühlennachprodukten bei Schafen und Schweinen. Forschungsbericht. Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung Rostock
- [6] Weißbach, F. (2009): Ausnutzungsgrad von Nawaros bei der Biogasgewinnung. Landtechnik 64(1), S. 18–21
- [7] Weißbach, F.; Prym, R.; Schmidt, L. (1975): Bestimmung des Futterwertes und der Einsatzbedingungen von Güllefeststoffen in der Bullenmast und Jungrinderfütterung. Forschungsbericht. Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung Rostock

Autor

Prof. Dr. agr. habil. Friedrich Weißbach ist als freischaffender Firmenberater tätig, E-Mail: prof.f.weissbach@web.de

Danksagung

Der Autor bedankt sich bei seinen früheren Mitarbeitern, vor allem bei den Herren **Dr. R. Prym** und **Dr. S. Kuhla**, für die sorgfältige Durchführung und Auswertung der zahlreichen Verdaulichkeitsmessungen bei Schweinen und Schafen am damaligen Oskar-Kellner-Institut für Tierernährung Rostock.