



Hygienisierende Wirkungen der Biogaserzeugung auf die Gärsubstrate

G. REINHOLD, O. JAHN

116. VDLUFA-Kongress

13. - 17. September 2004
Rostock

Hygienisierende Wirkungen der Biogaserzeugung auf die Gärsubstrate

Reinhold, Gerd (Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft, Jena); Jahn, Otto

1 Problem und Zielstellung

Bei der Behandlung von Wirtschaftsdüngern in landwirtschaftlichen Biogasanlagen gibt es noch Kenntnislücken, inwieweit diese Behandlung im praktischen Bereich zu einer Verbesserung des hygienischen Status der Wirtschaftsdünger führt. Neben Laboruntersuchungen mit definierten Aufenthaltszeiten wurden bisher nur wenige Untersuchungen an großtechnischen landwirtschaftlichen Biogasanlagen durchgeführt. Die Anforderungen an Verfahrenstechnik und Betrieb von Praxisbiogasanlagen hinsichtlich der Beeinflussung des hygienischen Status des Substrates sind meist nicht definiert. So wird in den gesetzlichen Regelungen oft aus hygienischen Gründen eine vor- oder nachgeschaltete Erhitzung bei definierten Aufenthaltszeiten gefordert (z.B. EU-Verordnung 1774/2002 1 h bei 70 °C). Belastbare Daten landwirtschaftlicher Biogasanlagen, die es ermöglichen, den Einfluss von Verfahrensparametern auf den Keimabbau zu charakterisieren, sind nicht verfügbar.

Durch die Diskussion auf europäischer Ebene wird zurzeit versucht, mikrobiologische Parameter zu finden und in entsprechende Verordnungen aufzunehmen, um eine mögliche Harmonisierung der nationalen Vorschriften durch vergleichbare Untersuchungen zu erreichen.

Die mikrobiologische Untersuchung erfolgte mit dem Ziel der Gewinnung von Informationen über den hygienischen Status der landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Spezielles Ziel der 2003 durchgeführten Erhebungen an den landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens war es zu prüfen:

- ob die anaerobe Behandlung mit dem Ziel der Biogaserzeugung unter praktischen Bedingungen zu einer messbaren Reduktion der Keimbelastung der Biogasgülle im Vergleich zu den Ausgangssubstraten führt und
- inwieweit durch folgende Verfahrensparameter die Stärke der Keimreduzierung beeinflusst wird:
 - Reaktionstemperatur
 - hydraulische Verweilzeit
 - Reaktorbelastung
 - Ein- oder Mehrreaktoranlagen

Die Untersuchungen erfolgten bewusst an großtechnischen Praxisanlagen, um die hygienische Wirkung der Biogaserzeugung im Landwirtschaftsbetrieb und für das Wirtschaftsdüngermanagement zu charakterisieren.

2 Material und Methoden

Im Jahre 2003 erfolgte in Thüringen eine Erhebung an landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit dem Ziel der Ermittlung verfahrenstechnischer und ökonomischer Parameter der landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens. In diesem Programm wurden auch Substratproben in den Anlagen gezogen.

Zur Charakterisierung des hygienischen Status der Ausgangssubstrate und der Biogasgülle wurde eine Untersuchung auf folgende Organismen als zielführend angesehen:

- Gesamtcoliforme,
- E. coli und
- Fäkalstreptokokken

Diese Organismen stellen damit Indikatoren für die Stärke der Beeinflussung des hygienischen Status des Substrates durch die anaerobe Behandlung dar.

Je Anlage wurde eine Probe des Ausgangssubstrates bzw. der Substrate und der Biogasgülle entnommen. Die Probenmenge betrug jeweils 2,5 l, um auch ausreichend Material für parallel erforderliche nasschemische Untersuchungen zur Verfügung zu haben. Bei z.T. notwendiger Beprobung der Einzelsubstrate erfolgte die Berechnung des mittleren Keimgehaltes als gewichtetes Mittel über die Einsatzmenge. Alle mikrobiologischen Untersuchungen erfolgten mittels Standardmethoden, die im Folgenden näher charakterisiert sind:

a) Nachweis von Coliformen Keimen und Escherichia coli in Gülle und Faulschlamm

Von der Probe wird mit einer gepufferten Peptonlösung eine Ausgangssuspension und nachfolgend eine dezimale Verdünnungsreihe hergestellt. Aus geeigneten Verdünnungsstufen werden 0,1 ml auf Chromocult-Coliformen-Agar (VWR 1.10426), der durch die Kombination von zwei chromogenen Substraten den simultanen Nachweis von Coliformen Keimen und E.coli ermöglicht, ausgespatelt. Die beimpften Platten werden 24h bei $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ bebrütet.

E.coli bildet dunkelblau-violette Kolonien. Coliforme hingegen bilden auf diesem Nährboden rosa-rote Kolonien. Andere gramnegative Bakterien wachsen als farblose bzw. hellblau-türkisfarbene Kolonien.

Zur Bestätigung des E.coli-Nachweises werden die dunkelblau-violetten Kolonien mit Kovacz-Indolreagenz überschichtet. Eine kirschrote Verfärbung des Reagenzes nach wenigen Sekunden zeigen die Indolbildung an.

Da bei dem zu prüfenden Probenmaterial mit einer starken Begleitflora zu rechnen war, wurden dem Nährmedium 5 mg/l Cefsulodin steril zugegeben.

b) Bestimmung Fäkalstreptokokken in Gülle und Faulschlamm

Von der Probe wird mit einer gepufferten Peptonlösung eine Ausgangssuspension und nachfolgend eine dezimale Verdünnungsreihe hergestellt. Aus geeigneten Verdünnungsstufen werden 0,1 ml auf Tetrazolium-Azid-Agar nach Slanetz und Bartley (VWR 1.05262) ausgespatelt. Die beimpften Platten werden 24 h bei $37^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ bebrütet. Alle roten, braunen und rosa Kolonien, die glatt und konvex sind, werden als vermutliche Fäkalstreptokokken angesehen. Zur sicheren Unterscheidung von anderen Kokken wird eine repräsentative Anzahl der auf Tetrazolium-Azid-Agar gewachsenen Kolonien mittels Katalasetest bzw. einem geeigneten Identifizierungssystem bestätigt.

Die Ermittlung des Einflusses verfahrenstechnischer Parameter auf den Keimabbau erfolgte indem die Keimgehalte logarithmiert und der Abbau durch Subtraktion als Keimabbau in log-Stufen für die Einzelanlage berechnet wurde.

Für Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurde die Nachweisgrenze (50 KBE/g) als Wert verwendet.

3 Darstellung und Diskussion der Untersuchungsergebnisse

Landwirtschaftliche Biogasanlagen werden meist als vollständig durchmischte Rührkesselfermentoren ausgelegt, die im mesophilen Temperaturbereich (30 – 40 °C) bei Verweilzeiten zwischen 20 und bis zu 100 Tagen betrieben werden. In der Praxis werden ein bis drei Reaktoren sowie Nachgärbehälter je Anlage genutzt.

Die Belastung der Reaktoren mit organischer Substanz ist relativ gering und bewegt sich zwischen 0,5 und maximal 4 kg/m³ Reaktorvolumen und Tag. Aufgrund der zur Anwendung kommenden Zugspeisefrequenzen zwischen 2 und 24 mal pro Tag ist die technisch abgegrenzte Verweilzeit des Substrates ohne Rückvermischung relativ gering. Größere Anlagen verfügen über mehrere Reaktoren, die sowohl parallel als auch in Reihe betrieben werden. Insgesamt ist bei dieser Betriebsweise der Biogasanlagen nur von einer mäßigen Beeinflussung des Keimbesatzes auszugehen.

Die untersuchten Anlagen sind aus verfahrenstechnischer Sicht durch eine mesophile Betriebsweise (38,8 °C Reaktortemperatur) bei mittlerer Belastung und Verweilzeiten zwischen 50 und 135 Tagen zu charakterisieren (Tabelle 1). Die Anlagen arbeiten im Mittel mit einer Reaktorbelastung von 2,5 kg oTS/m³ d.

Tabelle 1: Verfahrenstechnische Parameter der untersuchten Biogasanlagen (n = 24)

Parameter	Einheit	Mittel	von bis
Reaktorbelastung	kg/m ³ d	2,48	0,67 - 5,49
mittlere hydraulische Verweilzeit	d	50,4	21,5 - 135,8
Reaktionstemperatur	°C	38,8	35 - 44

In den Anlagen ist infolge der Biogasbildung stattfindenden Abbauprozesse ein deutlicher Abbau der Trockensubstanz (TS) festzustellen. Im Mittel der untersuchten Anlagen beträgt der TS-Abbau 48,1 %.

Bedingt durch die Abbauprozesse verringert sich der Anteil der organischen Trockensubstanz (oTS) an der Trockensubstanz. Der pH-Wert und der Salzgehalt - ausgedrückt als elektrische Leitfähigkeit - des Substrates wird durch den Biogasprozess ebenfalls signifikant erhöht (Tabelle 1).

Tabelle 2: Substratinhaltsstoffe vor und nach der Biogaserzeugung (n = 24)

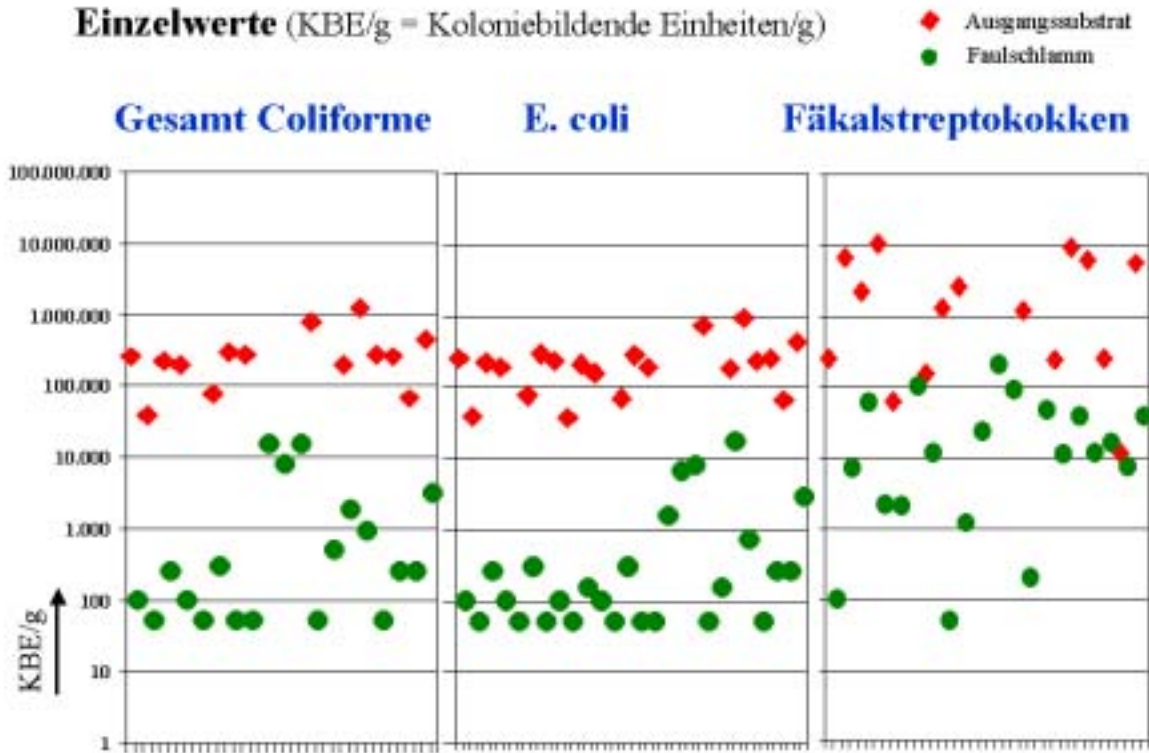
Parameter	Einheit	Ausgangssubstrat		Biogasgülle	
		Mittel	von bis	Mittel	von bis
TS	g/l	11,3	4,38 - 26,6	5,58	1,94 – 10,82
oTS-Anteil	% der TS	80,9	65,9 – 91,6	70,4	44,5 – 78,9
pH	-	6,60	5,20 – 7,97	7,86	7,28 – 8,45
Leitfähigkeit	% KCl	0,92	0,537 – 2,08	1,19	0,61 – 1,81

In der durchgeführten Erhebung in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens erfolgte neben der Ermittlung verfahrenstechnischer Parameter die Entnahme von Substratproben im In- und Output der Anlagen.

Durch einen Vergleich der Keimgehalte der Probe der Ausgangssubstrate mit den Werten der Proben der Biogasgülle ist die Beurteilung der anaeroben Abbauprozesse hinsichtlich der Hygienisierungsleistung möglich. Da die Werte nicht normal verteilt sind, wird in Tabelle 3 der Medianwert angegeben (Abbildung 1).

Tabelle 3: Hygienischer Status der Substrate der Thüringer Biogasanlagen
(Medianwerte in koloniebildenden Einheiten (KBE) pro g)

	n	Gesamtcoliforme	E.coli	Fäkalstreptokokken
Ausgangssubstrat	23	$2,56 \cdot 10^5$	$2,30 \cdot 10^5$	$2,40 \cdot 10^6$
Biogasgülle	22	$2,50 \cdot 10^2$	$1,50 \cdot 10^2$	$1,20 \cdot 10^4$



Keimreduktion (Mann-Whitney W Test)

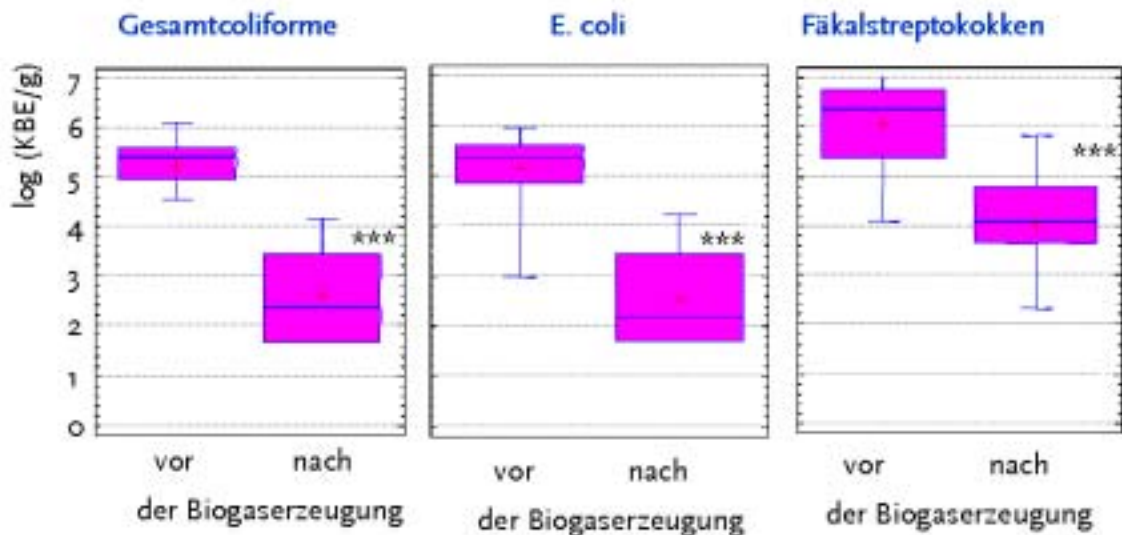


Abbildung 1: Keimgehalte vor und nach der Biogaserzeugung und Ergebnisse des Keimabbaus infolge der Biogaserzeugung

Die Anzahl der Gesamtcoliforme wird bei einem anlagenspezifischen Ausgangsniveau von 100 000 bis 1 000 000 KBE/g im Mittel um 2,6 Zehnerpotenzen reduziert. Da in den Proben nur vergleichsweise geringe Keimzahlen an Coliformen Keimen nachweisbar waren, basiert die Reduzierung der Gesamtcoliformen im Wesentlichen auf einem Rückgang an E.coli.

Für Werte unter der Nachweisgrenze von 50 KBE/g wurde für die Mittelwertbildung die Nachweisgrenze eingesetzt. Dies trat nur bei der Biogasgülle auf. Im Einzelnen wurde bei den Gesamtcoliformen in vier Fällen, bei den E. coli in fünf Fällen und bei den Fäkalstreptokokken in einem Fall die Nachweisgrenze unterschritten.

Die Fäkalstreptokokken wurden um 1,88 Zehnerpotenzen reduziert. Allerdings ist die Schwankungsbreite zwischen den einzelnen Biogasanlagen deutlich größer. Betrachtet man die Einzelanlage so, sind anlagenspezifisch z.T. deutlich stärkere Keimreduzierungsraten festzustellen.

Durch Hinzuziehung verfahrenstechnischer Parameter ist es möglich, den Einfluss dieser auf die Keimreduzierung zu untersuchen. Die Ergebnisse zeigen, dass bei der geringen Variabilität der Reaktortemperatur im Bereich von 35 bis 44 °C kein Einfluss nachgewiesen werden konnte (Abbildung 2).

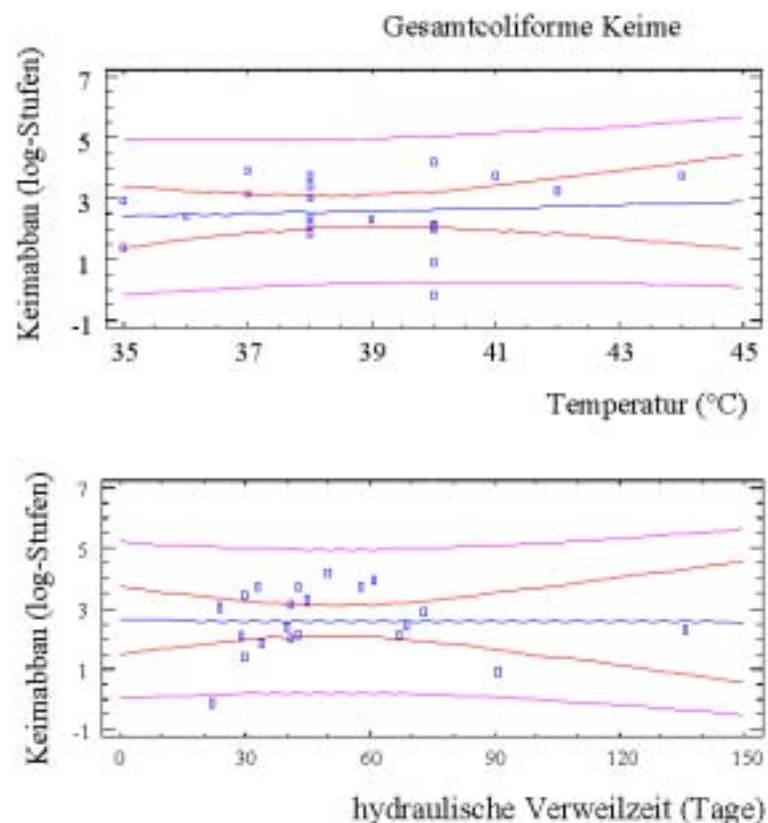


Abbildung 2: Keimabbau in Abhängigkeit von der Reaktortemperatur und der hydraulischen Verweilzeit

Die Bestimmung des Einflusses der Verweilzeit als zweiter wesentlicher Verfahrensparameter zeigte im untersuchten Bereich von 21 bis 136 Tagen ebenfalls keinen gesicherten Einfluss auf den Keimgehalt.

Eine mögliche Ursache hierfür ist die Tatsache, dass es sich bei der Verweilzeit um eine rechnerische mittlere Verweilzeit handelt. Die mittlere hydraulische Verweilzeit

wird als Quotient aus Reaktorvolumen und tägliche Zuspisemenge berechnet. Aufgrund von möglichen Kurzschlussströmungen bei den vollständig durchmischten Reaktoren und infolge häufiger Zuspisemomente ist die hydraulische Verweilzeit entsprechend der vorliegenden Ergebnisse nicht geeignet als Kennwert für die hygienische Leistung einer Biogasanlage. Aussagen zum Keimabbau in Biogasanlagen können nicht auf Grundlage von Angaben zu mittleren hydraulischen Verweilzeiten getätigt werden.

Die Untersuchung des Einflusses der Reaktorbelastung auf den Keimgehalt ergab die gleichen Ergebnisse wie bei der Verweilzeit.

Dagegen hat die Anlagengestaltung einen signifikanten Einfluss auf die Keimreduktionsraten. Sobald zwei Reaktoren in Reihen betrieben werden bzw. einem Reaktor ein Nachgärbehälter nachgeschaltet ist, ergibt sich gegenüber Anlagen mit nur einem Reaktor eine signifikant höhere Reduzierung (Abbildung 3). Dieses Ergebnis stützt die Hypothese, dass die Vermeidung von Kurzschlussströmungen von höherer Bedeutung für die Keimreduktion ist als die mittlere hydraulische Verweilzeit bzw. die Reaktortemperaturveränderung im Bereich von 35 bis 44 °C.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Untersuchungen zur hygienischen Beurteilung der Biogaserzeugung eine deutliche Verbesserung des hygienischen Status der Gärsubstrate durch den Prozess der Biogaserzeugung zeigen.

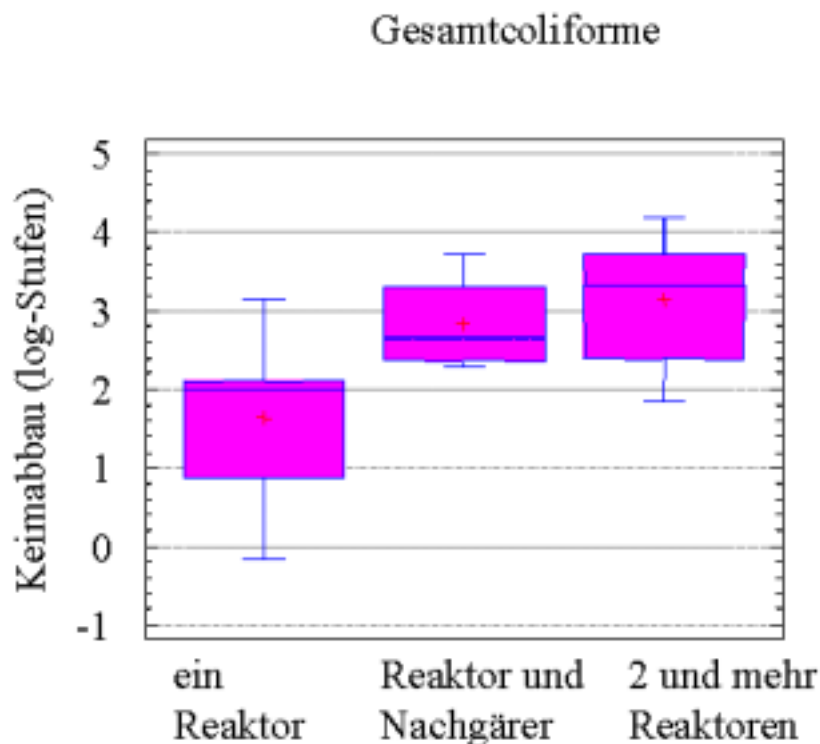


Abbildung 3: Keimreduzierung in Abhängigkeit von der Anlagengestaltung (unterschiedliche Buchstaben zeigen signifikante Unterschiede)

Die in 2003 durchgeführte Erhebung in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen Thüringens hatte neben anderem das Ziel, die Wirkung der Biogaserzeugung auf den hygienischen Status in praktischen Anlagen zu ermitteln.

Die Ergebnisse und Untersuchungen zeigen, dass unabhängig von der Verfahrenstechnik in den landwirtschaftlichen Biogasanlagen eine Reduktion an Gesamtcoliformen um ca. 3 Zehnerpotenzen festzustellen ist. Fäkalstreptokokken werden im Mittel um ca. 2 Zehnerpotenzen reduziert. Während Reaktortemperatur und Verweilzeit im untersuchten Bereich keinen Einfluss auf die Keimreduktion ausüben, hat die Konstruktion der Anlagen (Ein- oder Mehrreaktoranlage) bzw. die Betriebsweise (Rein- oder Parallelschaltung der Reaktoren) einen signifikanten Einfluss auf die Stärke der Keimreduktion.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch die landwirtschaftliche Biogaserzeugung eine deutliche Verbesserung des hygienischen Status der Substrate stattfindet.