

Mathias Effenberger und Andreas Gronauer, Freising, sowie Michael Lebuhn und Peter Wilderer, Garching

Das Biogasverfahren „MesTherMes“

Verfahrenstechnik und Mikrobiologie zur Hygienisierung von Wirtschaftsdüngern

In einem gemeinsamen Projekt mit einem Wasserversorgungsunternehmen wurde das Potenzial einer neu konzipierten Biogasanlage zur weitestgehenden Reduktion von Krankheitserregern in Rindergülle untersucht. Drei Fermenter werden im mesophilen, thermophilen und wieder mesophilen Temperaturregime betrieben („MesTherMes“). Sie zeigten während der hier beschriebenen Betriebsphase durchschnittliche Gasertragswerte für eine landwirtschaftliche Biogasanlage mit Rindergülle. Die Keimreduktion im Verlauf des anaeroben Behandlungsprozesses wurde mit Hilfe herkömmlicher Kultivierungsverfahren und eines neuen qPCR-Protokolls untersucht.

Dipl.-Ing. MSc Mathias Effenberger ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Arbeitsbereich Umwelttechnik der Landnutzung (Leitung: Dr. agr. Andreas Gronauer) der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Am Staudengarten 3, 85354 Freising; e-mail: mathias.effenberger@lfl.bayern.de
 Dr. Michael Lebuhn ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Wassergüte- und Abfallwirtschaft (Leitung: Prof. Dr.-Ing. Peter A. Wilderer) der TU München. Die Arbeiten werden von den Bayerischen Staatsministerien für Landwirtschaft und Forsten sowie für Landesentwicklung und Umweltfragen finanziert.

Schlüsselwörter

Biogas, Wirtschaftsdünger, Hygiene, Pathogene

Keywords

Biogas, animal manure, hygiene, pathogens

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 03612 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die Ausbringung von Wirtschaftsdüngern ist wegen hygienischer Bedenken in der engeren Schutzzone von Wasserschutzgebieten im Allgemeinen verboten. Die Reduktion unterschiedlicher in Wirtschaftsdüngern potenziell enthaltener Krankheitserreger durch anaerobe Behandlung in einer Biogasanlage ist seit langem bekannt und wurde vielfältig beschrieben. Während hierbei im sogenannten mesophilen Temperaturbereich (um 35°C) innerhalb einer praktikablen Verweilzeit von 24 h keine ausreichende Abtötung relevanter pathogener Keime erreicht werden kann, werden durch Einwirkung einer Temperatur von 55°C (thermophiler Prozess) innerhalb dieses Zeitraumes die Keimzahlen zahlreicher pathogener Bakterien, Viren und Parasiten in Wirtschaftsdüngern weitgehend reduziert. Gleichzeitig liefert der Biogasprozess den Energieträger Biogas sowie hochwertigen organischen Dünger.

Biogasanlagen in der Landwirtschaft verfügen meist über Rührkesselfermenter, die im mesophilen Temperaturbereich betrieben werden [1]. Es existieren nur wenig belastbare Daten von Praxisanlagen, welche An-

forderungen an Verfahrenstechnik und Betrieb einer Biogasanlage zu stellen sind, um eine maximale Reduktion einer breiten Palette an potenziell in Wirtschaftsdüngern enthaltenen Krankheitserregern zu gewährleisten. In einem gemeinsamen Projekt der oben bezeichneten Forschungsinstitute und des lokalen Wasserversorgungsunternehmens Stadtwerke Rosenheim GmbH & Co. KG werden diese Fragestellungen auf einer Pilot-Biogasanlage bei Bad Aibling, Landkreis Rosenheim, untersucht (Bild 1). Ziel ist die Optimierung der Keimreduktion in Rindergülle durch den anaeroben Behandlungsprozess ohne eine gesonderte vor- oder nachgeschaltete Hygienisierungsstufe sowie die Entwicklung und Überprüfung geeigneter molekularbiologischer Verfahren zum direkten spezifischen Nachweis unterschiedlicher Krankheitserreger in Gülle und Gärrest.

Anlagenbeschreibung und Methodik

Verfahrenstechnik

Um auch besonders problematische Krankheitserreger wie Dauerstadien bildende Bakterien und Parasiten zu inaktivieren, wurde

Tab. 1: Untersuchte mikrobiologische Parameter

Kultivierungsverfahren	qPCR
Coliforme Keime	Enterobacteriaceae
Fäkalcoliforme Keime	Escherichia coli
Intestinale Enterokokken	Enterococcus faecalis + E. faecium

Table 1: Evaluated microbial parameters

Tab. 2: Mikrobiologische Analysenergebnisse aus Kultivierung und qPCR in Proben von Frischgülle und Fermenterinhalt / Gärrest

Table 2: Cultivation bases and qPCR-analyses of microorganisms in samples from fresh slurry and from the fermenter/digested slurry

Bakterium / Bakteriengr.	Frischgülle	Fermenter 1	Fermenter 2 (48°C)	Fermenter 2 (51°C)	Fermenter 3 [§]	Gärrestlager [§]
Fäkalcoliforme (MPN mL ⁻¹)	0.3 ± 3.5•10 ⁵	1.1•10 ³	2.4•10 ¹	2.3	0.1	3.5 ± 1.2•10 ¹
Escherichia coli (Genome mL ⁻¹)	1.1 ± 0.8•10 ⁵	3.4 ± 0.2•10 ³	2.6 ± 0.1•10 ³	2.4 ± 1.5•10 ²	1.5 ± 0.3•10 ²	4.3 ± 0.5•10 ²
Enterokokken (KBE mL ⁻¹)	1.7•10 ⁶	3.0•10 ⁴	3.0•10 ³	1.0•10 ³	6.5•10 ¹	1.9•10 ²
Fäkale Enterokokken (KBE mL ⁻¹)	3.0•10 ⁵	1.3•10 ³	4.0•10 ²	2.3•10 ²	< 1.0•10 ¹	< 1.0•10 ¹
Enterococcus faecium (Genome mL ⁻¹)	4.1 ± 1.5•10 ⁶	1.0 ± 1.5•10 ⁴	1.4 ± 0.1•10 ³	4.2 ± 1.7•10 ²	8.2 ± 3.5•10 ³	n.b.

KBE, Kolonie bildende Einheiten. MPN, Most probable number. n.b., nicht bestimmt.
 §, Material aus Fermenter 2 bei 48°C; §, Unspezifische Hintergrundflora vorhanden.

eine Kaskade von drei Fermentern konstruiert, die auf unterschiedlichem Temperaturniveau betrieben werden (mesophil, thermophil, dann wieder mesophil - „MesTherMes“). Bei den beiden mesophilen Fermentern (F1 und F3) handelt es sich um herkömmliche Rührkesselfermenter mit Propellerrührwerken. Der thermophile Fermenter (F2) ist als liegender, längsdurchströmter Behälter mit Paddelrührwerk und zusätzlichen Schikanen zur Verringerung der Längsvermischung ausgeführt. Dieser Fermentertyp (ohne Schikanen) wird üblicherweise für die Vergärung von Kosubstraten eingesetzt, die stark zur Bildung von Sink- und Schwimmschichten neigen. Die Anlage wurde auf einen Gülleanfall von rund 100 GV Milchvieh ausgelegt. Sie wird über eine speicherprogrammierbare Steuerung stündlich beschickt.

Kontinuierlich erfasst werden die durchgesetzten Substratmengen, Fermentertemperaturen, Menge und Zusammensetzung des Biogases sowie die elektrische und thermische Energie. Zur Kontrolle des Abbauprozesses werden regelmäßig Proben von Frischgülle und Fermenterinhalt auf die Gehalte an Trockensubstanz, organischer Trockensubstanz, flüchtigen Fettsäuren, Ammonium- und Gesamt-Stickstoff, den chemischen Sauerstoffbedarf, pH und Alkalinität untersucht.

Mikrobiologie

Während der hier beschriebenen Anfangsphase des Betriebes der Pilot-Biogasanlage wurden die in *Tabelle 1* aufgelisteten mikrobiologischen Parameter mit Hilfe herkömmlicher Kultivierungsverfahren und der Methode der Echtzeit-Polymerase-Kettenreaktion (qPCR) untersucht.

Ergebnisse

Biogasprozess

Im hier dargestellten Zeitraum von Januar bis Juni 2003 bewegten sich die Massenprozentanteile der Trockensubstanz (TS) in Proben aus der Vorgrube zwischen 6,6 und 10,0 und aus den Fermentern 1 bis 3 zwischen 6,1 und 8,2, 5,8 und 7,1 sowie 4,4 und 6,9 (*Bild 1*). Die entsprechenden Gehalte an oTS in Massen-% der TS lagen zwischen 72,5 und 76,9 sowie 69,8 und 73,9, 69,6 und 72,1 sowie 66,3 und 71,2. Als Abschätzung für den Abbaugrad bezogen auf die zugeführte organische Trockensubstanz ergibt sich daraus ein Wert von 40 bis 50 % für die gesamte Fermenterkaskade.

Der in der Sammelleitung zum BHKW gemessene Methangehalt im Biogas stieg während des Berichtszeitraumes auf 54 bis 60 Vol.-%; bei Korrektur um den gemessenen Restsauerstoffgehalt aus der biologischen

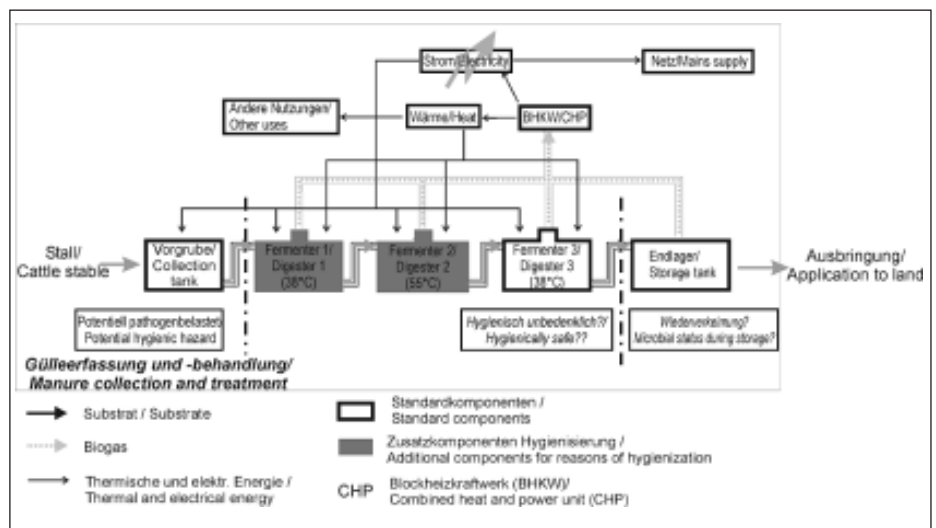


Bild 1: Gesamtübersicht über das untersuchte Behandlungsverfahren für Wirtschaftsdünger

Fig. 1: Overview of the treatment process for animal manure

Entschwefelung ergeben sich daraus Methangehalte von 63 bis 67 Vol.-%. Höhere Methangehalte sind bei der ausschließlichen Vergärung von Rindergülle prinzipiell nicht zu erwarten. Im Zeitraum vom 1. 5. bis 15. 6. lag der mittlere Gasertrag der Pilot-Biogasanlage bei etwa 21 Netto-m³ pro t Frischsubstrat bezogen auf das gesamte Fermentervolumen bei einer noch sehr großen Schwankungsbreite von 6 bis 33 Netto-m³ pro t Frischsubstrat. Der mittlere Methanertrag betrug in diesem Zeitraum rund 0,18 Netto-m³ pro kg zugeführte oTS bei einer gemittelten Raumbelastung von 1,6 kg oTS pro m³ Gesamtfermentervolumen und Tag. Als praxisübliche Vergleichswerte für den Gas- oder Methanertrag von Rindergülle können etwa 25 Netto-m³ pro t Frischsubstrat oder 0,2 Netto-m³ pro kg oTS (Raumbelastung: 1,7 kg oTS/m³·d) herangezogen werden. Als Besonderheit des Anlagenkonzeptes ergibt sich, dass die Raumbelastung der Fermenterkaskade bezogen auf das gesamte Gärraumvolumen vergleichsweise niedrig liegt, während die einzelnen Fermenter eine relativ hohe Raumbelastung aufweisen. Eine steigende Raumbelastung führt im Allgemeinen zu einer Abnahme des Gasertrages [2]. Daten zur Gasproduktion der einzelnen Fermenter standen für diesen Bericht noch nicht zur Verfügung. Ob durch die unterschiedlichen Temperaturniveaus eine Verbesserung der Abbauleistung für Rindergülle erzielt werden kann, wie dies beispielsweise für Biomüll beschrieben wurde [3], kann auf der vorhandenen Datengrundlage noch nicht sicher beurteilt werden. Die Hintereinanderschaltung dreier Fermenter bietet den Vorteil, dass eventuelle Prozessinstabilitäten in einem einzelnen Gärbehälter weitgehend aufgefangen werden können.

Mikrobiologie

Die in *Tabelle 2* zusammengestellten Daten zum Keimgehalt wurden in einem Zeitraum ermittelt, in welchem die Temperaturen im

thermophilen Fermenter mit 48 bis 51°C deutlich unter der Solltemperatur von 55°C lagen, wie diese in der Bioabfallverordnung für die Behandlung von hygienisierungspflichtigen Substraten gefordert wird (Wirtschaftsdünger aus gesunden Tierbeständen gehört nicht dazu). Aufgrund des geringen Extraktionsvolumens von nur 40 µl lag die theoretische Nachweisgrenze bei der qPCR bei 250 Organismen pro ml Substrat.

Für die untersuchten Keime / Bakteriengruppen wurde unter den gegebenen suboptimalen Betriebsbedingungen eine Reduktion der Keimzahl entlang des Behandlungsprozesses um eine Größenordnung von 3 bis 5 gefunden, wobei die Keimreduktion bei einer Temperatur von 51°C im Fermenter 2 geringfügig stärker war als bei 48°C (Tab. 2). Mit zunehmender Aufenthaltszeit wichen die Ergebnisse der qPCR von denen der Kultivierungsverfahren nach oben ab. Dies liegt vermutlich an der Erfassung auch von Ruhestadien oder bereits toter Mikroorganismen durch das erste Verfahren. Dieser Effekt war für Enterokokken besonders deutlich. Die erforderliche Zeit für eine komplette Analyse betrug 6 bis 8 h für das qPCR- sowie 24 bis 72 h für die Kultivierungsverfahren.

Ausblick

Der Nachweis spezifischer Mikroorganismen mit dem qPCR-Verfahren bietet eine hervorragende Alternative zur Quantifizierung von (Indikator-) Organismen mit herkömmlichen Kultivierungsverfahren. Im Zuge des Projektablaufes wird das entwickelte qPCR-Protokoll zur Untersuchung der Inaktivierung von Krankheitserregern einschließlich besonders widerstandsfähiger Organismen in der Pilot-Biogasanlage eingesetzt werden. Eine Gesamtbewertung des Anlagenkonzeptes soll zeigen, ob dieses Behandlungsverfahren einen umweltverträglichen und wirtschaftlichen Beitrag zum Trinkwasserschutz liefern kann.