

# Monofermentation von Nahrungsmittelabfällen in Biogasanlagen

## Laboruntersuchungen

*In einem Gemeinschaftsprojekt wird ein Verfahren zur anaeroben Monofermentation von strukturarmen und energiereichen Nahrungsmittelabfällen entwickelt. Dazu wurden im Labor systematische Untersuchungen durchgeführt, um grundlegende Informationen über das Verhalten und die Leistungsfähigkeit des Substrats zu erhalten.*

Dipl.-Ing. sc. agr. Jan Adolph ist wissenschaftlicher Mitarbeiter, MSc. Michael Mukengele war Masterstudent und Dr. Jürgen Beck ist Akademischer Oberrat am Fachgebiet für Verfahrenstechnik in der Tierproduktion und landwirtschaftliches Bauwesen (Leitung: Prof. Dr. Thomas Jungbluth), Institut für Agrartechnik (440), Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [jadolph@uni-hohenheim.de](mailto:jadolph@uni-hohenheim.de)

Die Untersuchungen wurden durch PRO-INNO unter Projekträgerschaft der AiF (Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen, Berlin) gefördert.

Referierter Beitrag der **LANDTECHNIK**, die Langfassung finden Sie unter **LANDTECHNIK-NET.com**.

### Schlüsselwörter

Reststoffbehandlung, Speisereste, anaerobe Fermentation, Methan

### Keywords

Waste treatment, nutritional waste, anaerobic fermentation, methane

### Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 04104 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Aus Einrichtungen der Gemeinschaftsverpflegung wie etwa Gastronomie, Krankenhäusern, Kantinen, Mensen und Kaserne fallen jedes Jahr in Deutschland etwa 2 Mio. t Speisereste an. Dazu kommen weitere bedeutende Abfallmengen aus der Nahrungsmittelindustrie und -vermarktung. Die neue EU-Verordnung 1774/2002 [1], anzuwenden seit dem 30. April 2003, verbietet die bisherige Verwertung dieser Materialien über die Aufbereitung zu Futtermitteln. Daraus ergibt sich ein Entsorgungsproblem mit hohen Kosten für die ordnungsgemäße Verwertung oder Beseitigung des Materials. Ziel der wissenschaftlichen Untersuchungen war die Entwicklung und Erprobung einer geeigneten Verfahrenstechnik zur Verwertung dieser Speisereste ohne Zusatz landwirtschaftlicher Kosubstrate (Monofermentation) zur Erzeugung regenerativer Energie über Kraft - Wärme - Kopplung aus dem in der Biogasanlage produzierten Methan.

### Material und Methode

Um für den Betrieb der Pilotanlage und die damit verbundenen weiterführenden Untersuchungen und verfahrenstechnischen Entwicklungen belastbare Basisdaten für unterschiedliche Prozessstrategien zu haben, wurden im Biogaslabor am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim in zwölf Laborfermenteranlagen nach einer Einlaufphase von 29 Tagen drei Versuchsvarianten mit einer Verweilzeit von jeweils 26 Tagen und dazugehörigen Adaptionsphasen durchgeführt (Bild 1).

Um möglichst praxisrelevante Daten zu erzielen, waren folgende Parameter einzuhalten:

- möglichst gleichmäßige Substratzusammensetzung hinsichtlich Nährstoff- und Energiegehalt über den Versuchszeitraum,
- genaue Temperaturführung im mesophilen (40 °C) und thermophilen (55°C) Bereich,
- Raumbelastung: 3,5 und 5,1 kg oTS/m<sup>3</sup> Reaktorvolumen • Tag (oTS m<sup>-3</sup> RV d<sup>-1</sup>),
- zweistufige Prozessführung mit Test der Belastungsgrenze und einer Raumbelastung von 10,1 kg oTS m<sup>-3</sup> RV d<sup>-1</sup>, bezogen auf die Methanisierungsstufe
- Prozessstabilisierung und Anpassung in Zwischenphasen

Aus diesen Vorgaben wurde der in *Tabelle 1* wiedergegebene Versuchsplan erstellt:

Zur Prozesskontrolle wurden täglich pH - Werte, Temperaturen in den Reaktoren, Gasmenge und Gaszusammensetzung erfasst, weiterhin wurde wöchentlich eine Berechnung der Abbauraten durchgeführt. Über den gesamten Versuchszeitraum erfolgten in regelmäßigen Abständen Fettsäureanalysen. Darüber hinaus wurden Roh- und Faulsubstrate jeweils auf BSB<sub>5</sub> und CSB<sub>5</sub>-Werte analysiert. Im Rahmen dieses Beitrages werden die Ergebnisse der pH - Untersuchung und die reaktorspezifischen Methanausbeuten dargestellt, um die Prozessstabilität- und -effektivität zu beurteilen.

### Ergebnisse

Die dargestellten Ergebnisse sind Mittelwerte aus den im Versuchsplan (*Tab. 1*) für die Teilergebnisse angegebenen Wiederholungen (n = 3 und n = 6).

Während Phase I wurden die Beschickungsmengen bis auf die angestrebte Raumbelastung von 5,1 kg oTS m<sup>-3</sup> RV d<sup>-1</sup> langsam gesteigert, um die Mikroben zu ad-

Tab. 1: Versuchsplan

| Phase | Raumbelastung [kg oTS m <sup>-3</sup> RV d <sup>-1</sup> ] | Art der Fermentation | Versuchsdauer [d] | Wiederholungen [n] | Temperaturbereich  |                  | Anzahl der Beschickungen pro Tag |
|-------|--|----------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|----------------------------------|
|       |  |                      |                   |                    | thermophil (55 °C) | mesophil (40 °C) |                                  |
| I     | steigend   | mono                 | 29                | 6                  | •                  | •                | 1                                |
|       | 5,1  | mono                 | 26                | 6                  | •                  | •                | 1                                |
| II    | 3,5  | mono                 | 26                | 3                  | •                  | •                | 1                                |
|       | 5,1  | mono                 | 26                | 3                  | •                  | •                | 1                                |
| III   | 10,1   | mono                 | 26                | 3                  | •                  | •                | 3                                |

Table 1: Experimental design

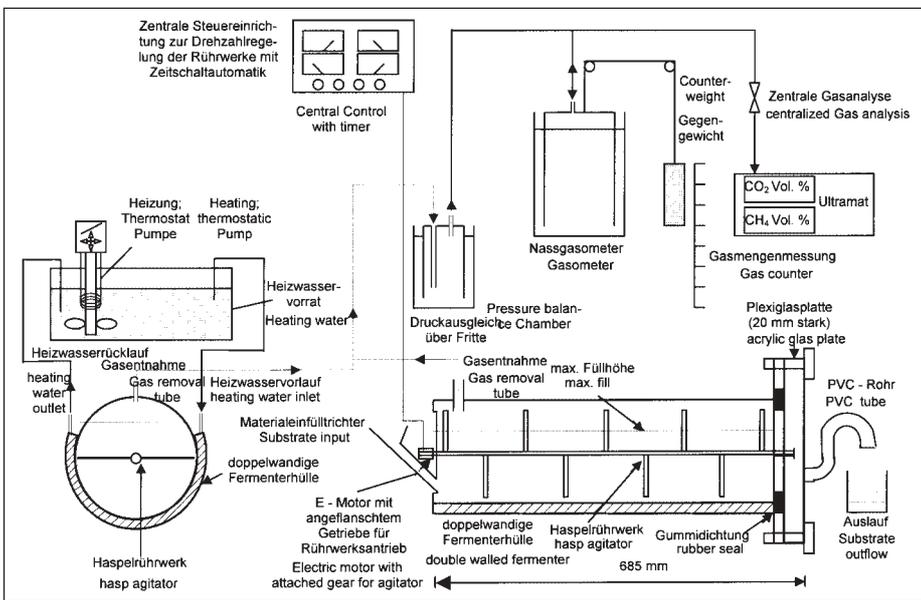


Bild 1: Schema einer liegenden Hohenheimer Laborbiogasanlage (16 l Nettovolumen, semikontinuierlicher Durchlaufbetrieb) mit Haspelrührwerk, Nassgasometer als Gasspeicher und Gasanalyse

Fig. 1: Scheme of a horizontal Hohenheim laboratory biogas unit (16 l net volume, semicontinuous flow) with hasp agitator, gas storage and gas analysis

aptieren und den Prozess nicht sofort zu überlasten. Die reaktorspezifischen Methanerträge stiegen in beiden Temperaturbereichen bis auf einen Wert von etwa  $2,12 \text{ l CH}_4/\text{l RV} \cdot \text{d}$  ( $\text{CH}_4 \text{ l}^{-1} \text{ RV d}^{-1}$ ) (Bild 2). Die unterschiedlichen Impfsubstrate erforderten unterschiedliche Beschickungsmengen in der Einlaufphase. Daraus ergaben sich die zu Beginn höheren reaktorspezifischen Methanerträge im mesophilen Temperaturbereich. Schon während der Phase II war ein leichtes Absinken der pH - Werte in beiden Temperaturbereichen zu erkennen. Im zweiten Abschnitt von Phase II, dem Test der Prozessstabilität, lagen die reaktorspezifischen Methanerträge in beiden Temperaturbereichen zu Beginn bei etwa  $2,05 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1} \text{ RV d}^{-1}$ . Im letzten Drittel sind allerdings die Methanerträge im mesophilen Temperaturbereich deutlich zurückgegangen, so dass zum Ende der Phase II nur noch etwa  $1,15 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1} \text{ RV d}^{-1}$  gebildet wurden, im thermophilen Temperaturbereich blieben die Methanerträge bei rund  $2,10 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1} \text{ RV d}^{-1}$  konstant. Auch die pH - Werte sanken zum Ende von

Phase III. Im überwiegenden Teil des Versuchsabschnitts schwankten die pH - Werte in den mesophilen Reaktoren um pH 7,6. Erst im letzten Viertel dieser Phase fielen sie deutlich ab, so daß teilweise sogar Werte unterhalb pH 7,0 gemessen wurden. Daraus kann man ableiten, daß am Ende von Phase III im mesophilen Betrieb keine stabilen Betriebsbedingungen mehr herrschten und die Pufferfähigkeit des Substrates bereits erschöpft war.

Die Versuchsphase IV diente zur Analyse, ob der Prozess auch bei höchsten Beschickungsraten stabil abläuft, sofern er zweistufig geführt wird. Sowohl bei thermophiler als auch bei mesophiler Faulung sanken die pH - Werte während der 26 - tägigen Versuchsdauer in der ersten Prozessstufe erwartungsgemäß auf bis zu pH 5 ab (siehe Langfassung LANDTECHNIK-NET). In der zweiten Stufe hingegen konnten die pH - Werte bis zum Ende über 7,0 gehalten werden, was in der Literatur als Untergrenze für einen stabilen Prozess gilt (Bild 2) [2]. Nach etwa 14 Tagen Versuchsdauer kam in der ers-

ten Stufe (Hydrolysereaktoren) die Methanisierung unabhängig von der Gärtemperatur zum Erliegen. Die reaktorspezifischen Methanerträge lagen auch im zweistufigen Experiment im thermophilen Betrieb mit durchschnittlich  $1,78 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1} \text{ RV d}^{-1}$  höher als bei mesophilem Betrieb mit gemittelten  $1,47 \text{ l CH}_4 \text{ l}^{-1} \text{ RV d}^{-1}$ . Die reaktorspezifischen Methanausbeuten stiegen bis zum Versuchsende im thermophilen Betrieb an, wohingegen die Werte im mesophilen Betrieb eine konstante Tendenz zeigten (Bild 2). Generell ist aus den Daten zu folgern, dass der Prozess trotz Aufteilung in eine Hydrolyse und in eine Methanisierung bei einer Raumbelastung von  $10,1 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ RV d}^{-1}$  in der Methanisierungsstufe nicht mehr in seiner höchsten Effizienz läuft, da die Summen der substratspezifischen Methanausbeuten in den einstufigen Experimenten höher lagen als im zweistufigen Verfahren. Trotzdem konnte der Prozess aufrecht erhalten werden, insbesondere der thermophile Temperaturbereich schien diese hohen Substratmengen besser verarbeiten zu können (Bild 2).

### Ausblick

Die Laboruntersuchungen zur Monofermentation von Speiseresten konnten im Juli 2002 mit vielversprechenden Ergebnissen abgeschlossen werden. Es zeigte sich, dass eine alleinige Vergärung von hoch energiereichen Substraten wie Speiseresten in Biogasanlagen prinzipiell möglich ist. Selbst sehr hohe Raumbelastungen bis zu  $10,1 \text{ kg oTS m}^{-3} \text{ RV d}^{-1}$  in der Methanisierungsstufe konnten mit einem zweistufigen Verfahren stabil gehalten werden, wobei sich der thermophile Betrieb der Anlagen als leistungsfähiger und unempfindlicher herausgestellt hat. Die Ergebnisse konnten nun für die Planung und den Betrieb einer Pilotanlage mit den Kooperationspartnern des Projektes verwendet werden.

Bild 2: Monofermentation von Nahrungsmittelabfällen - Einfluss der Fermentationstemperatur auf reaktorspezifische Methanerträge und pH - Verlauf

Fig. 2: Monofermentation of nutritional wastes - effect of fermentation temperature on reactor specific methane yields and pH course

