

Simon Zielonka, Andreas Lemmer, Hans Oechsner und Thomas Jungbluth

# Zweiphasige Vergärung nachwachsender Rohstoffe – Vergleich verschiedener Substrate

Bei dem Einsatz hoher Anteile strukturreicher nachwachsender Rohstoffe, wie etwa Grassilage, als Kosubstrate in landwirtschaftlichen Biogasanlagen kam es oft zu technischen Störungen. Im Rahmen dieses Forschungsprojektes wird ein Verfahren entwickelt, das die alleinige Vergärung von nachwachsenden Rohstoffen ermöglichen soll und zudem durch zweiphasige Verfahrensführung die Milieubedingungen für die am Prozess beteiligten Bakterien optimiert. Hierzu wird eine diskontinuierlich betriebene, zweiphasige Versuchsbiogasanlage verwendet. Im Rahmen der vorgestellten Untersuchung soll deren Eignung für verschiedene Einsatzstoffe beurteilt werden.

## Schlüsselwörter

Batch-Fermenter, Biogas, Festbettreaktor, Grassilage, Maissilage, Roggenganzpflanzensilage, Hydrolyse, Methan, Perkolat, zweiphasig

scale biogas plant is used. In the research presented here the applicability of this process for different renewable raw materials was evaluated.

## Keywords

Batch-Digester, biogas, fixed bed reactor, grass silage, maize silage, rye silage, hydrolysis, methane, percolate, two-stage

## Abstract

Zielonka, Simon; Lemmer, Andreas; Oechsner, Hans and Jungbluth, Thomas

Two phase digestion of renewable raw materials – comparison of different substrates

Landtechnik 64 (2009), no. 4, pp. 268 - 271, 2 figures, 1 table, 4 references

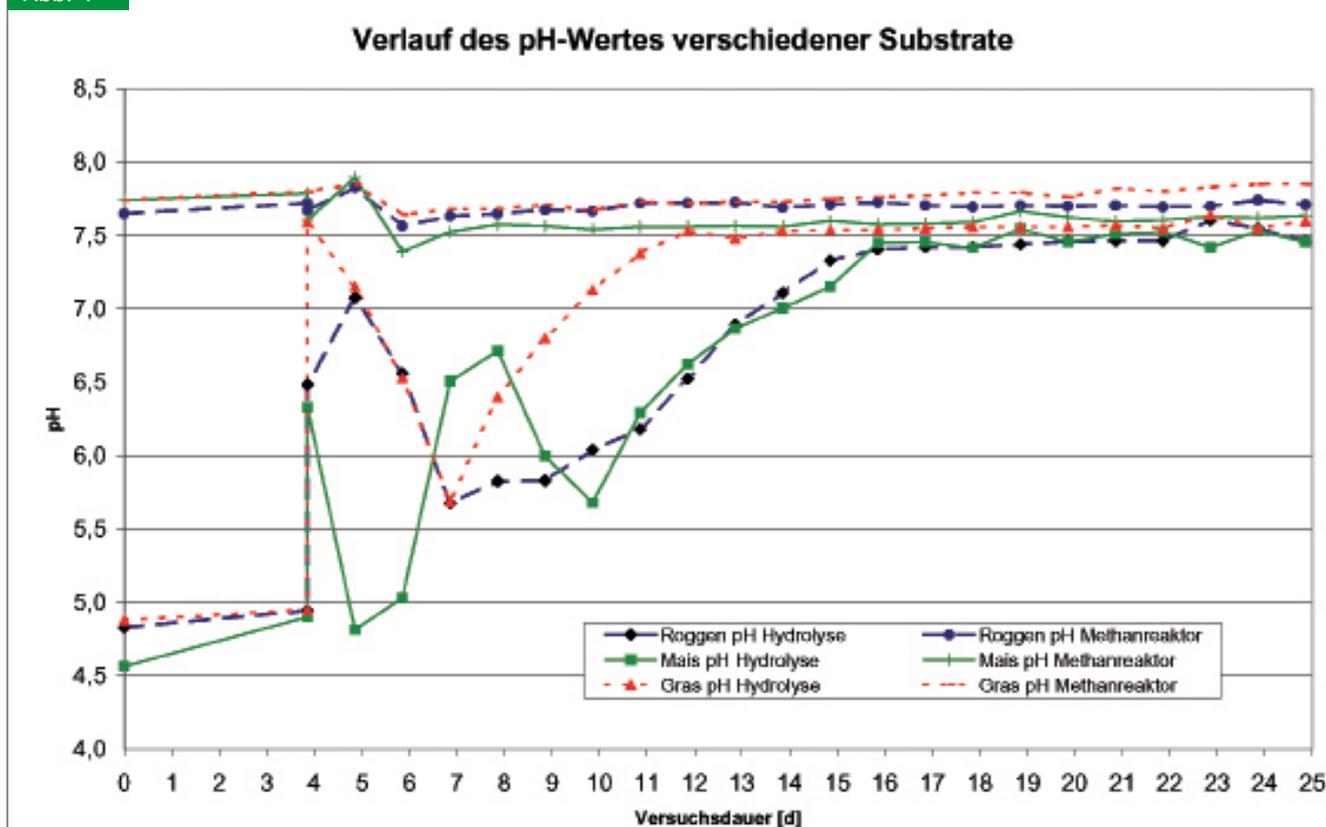
The use of renewable raw materials with a high fibre content, like grass silage, as a co substrate in full scale biogas plants is causing technical problems. Within the framework of this project, a process allowing the digestion of renewable raw materials as single substrates is being developed. Its aim is to optimize the milieu conditions for the different microorganisms implicated in the biogas process by a two phase process. Therefore a discontinuously operated two phase lab

Im Jahr 2015 werden rund 26% der Grünlandflächen von Baden-Württemberg nicht mehr nachhaltig zur Futterproduktion genutzt werden [1]. Es besteht daher ein großes Interesse an einer technischen Möglichkeit, diese ohne Einsatz von Flüssigmist energetisch zu verwerten. Die hohen Fasergehalte der Grünlandaufwüchse limitieren aber bisher die energetische Nutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Aus diesem Grund forscht die Universität Hohenheim im Rahmen des Verbundforschungsprojektes „Biogas-Crops-Network“ zusammen mit bundesweit zehn Instituten [2] an den Grundlagen zur Biogasgewinnung aus Biogas-Crops und untersucht hier insbesondere die Monofermentation von Grassilage in einer zweiphasigen Verfahrensführung unter Verwendung einer Batch-Perkolationshydrolyse.

## Bisheriger Wissensstand

Die unvollständige anaerobe Mineralisierung von Biomasse und deren Konversion zu Biogas erfolgt in vier Stufen durch eine Vielzahl von Mikroorganismen. Diese erreichen ihr Stoffwechselloptimum bei sehr unterschiedlichen Milieubedingungen. So liegt der optimale pH-Bereich der primären Gärer, die die anaerobe Konversion von Biomasse einleiten, zwischen 4,5 und 6,3. Die methanogenen Mikroorganismen erreichen dagegen ihr Stoffwechselloptimum zwischen pH 6,5 bis 8 [3]. Damit verläuft die Säurebildung in einem einstufigen Biogasfermenter

Abb. 1



Der Verlauf des pH-Wertes der Substrate Grassilage, Maissilage und Roggenganzpflanzensilage bei einer zweiphasigen Prozessführung mit Batch-Hydrolyse

Fig. 1: The development of the pH-values of the substrates grass silage, maize silage and rye silage in a two phase process with a batch hydrolysis

suboptimal. Auch die Temperaturansprüche unterscheiden sich: So wurden bei einer Gärung bei 55°C deutlich bessere Abbaugrade und Methanerträge in kürzerer Zeit erreicht, als bei niedrigeren Temperaturen [4].

### Zielsetzung

Ziel des Forschungsvorhabens an der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie ist es, den Prozess der Biogasgewinnung durch verfahrenstechnische Maßnahmen in eine Gärungsphase (Säurebildung) und eine Methanogenese-phase zu unterteilen. Durch diese zweiphasige Verfahrensführung soll den Lebensbedingungen der Mikroorganismen besser entsprochen und der Prozess dadurch beschleunigt werden. Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen sollen die Einflüsse verschiedener Substrate auf den Prozessverlauf in den Anlagen sowie auf die realisierbaren Gaserträge ermittelt werden. Dazu werden als Einsatzsubstrate in der zweiphasigen Laboranlage verschiedene Silagen verwendet.

### Material und Methode

Die Versuche werden im Hohenheimer Feststoff-Biogaslabor durchgeführt. Die Versuchsanlage besteht aus fünf Fermenterpaaren mit einem Volumen von rund 50l je Fermenter. Jedes Paar besteht aus einem absätzig beschickten Perkolationsfer-

menter zur Säurebildung (vereinfacht: „Hydrolysefermenter“) und einem quasi-kontinuierlich beschickten Aufstrom-Festbettreaktor als Methanreaktor. In den „Hydrolysefermentern“ wird die feste Phase der Biomasse durch Hydrolyse und Acidogenese in Säuren und Alkohole überführt, die dann mit dem Perkolat aus dem Substratstapel ausgewaschen werden („Bioleaching“). Dieses mit einer hohen Fracht an organischem Material beladene Perkolat wird einmal täglich in die Methanreaktoren (Festbettreaktor) überführt. Dort werden die organischen Fraktionen des Perkolats zu Biogas umgesetzt.

Im Rahmen der Versuche wurden die drei häufig in Biogasanlagen eingesetzten Substrate Grassilage (1. Schnitt, intensive Grünlandnutzung), Maissilage und Roggenganzpflanzensilage miteinander verglichen. Sämtliche „Hydrolysefermenter“ wurden zum Versuchsstart mit 1kg oTS Silage befüllt. Anschließend wurde diesen Fermentern 10kg Leitungswasser zugegeben. Die Methan-Festbettreaktoren (pH-Wert etwa 7,5) sind mit Aufwuchskörpern für die Mikroorganismen und 45l Perkolat gefüllt. Nach der Befüllung folgt eine viertägige Startphase, in der die „Hydrolysefermenter“ intern perkoliert werden und kein Perkolat zwischen den Fermentern ausgetauscht wird. Nach dieser Startphase werden täglich 3,25kg an Perkolat zwischen den Fermentern ausgetauscht. Der hier vorgestellte Versuchsansatz wurde nach einem Abschluss der Gasbildung nach

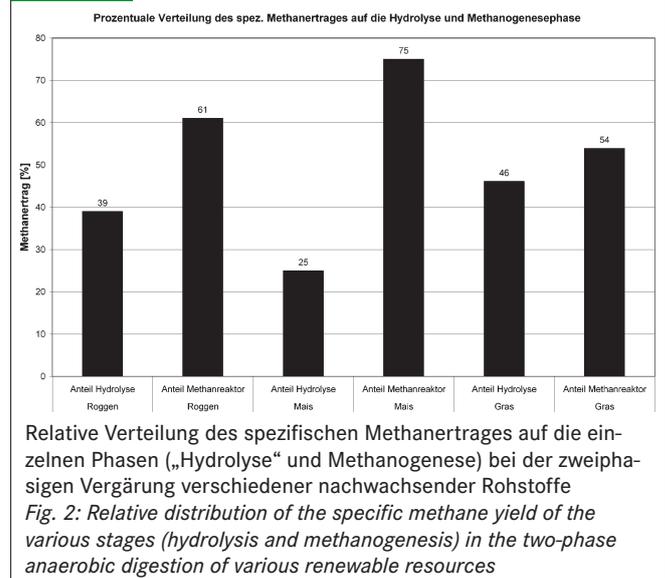
25 Tagen beendet.

Bei den Versuchen werden sowohl das Substrat als auch der Gärrest auf das Gasbildungspotenzial, die Stoffgruppen, den organischen und mineralischen Stickstoffgehalt sowie den Trockensubstanz-Gehalt (TS-Gehalt) analysiert. Die Prozessflüssigkeit wird auf den pH-Wert, die elektrische Leitfähigkeit, die flüchtigen Fettsäuren, den CSB, den TS-Gehalt und die Temperatur hin untersucht. Bei dem Gas wird das Volumen und die Komponenten CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub> für jede Phase einzeln erfasst. Dies ermöglicht die Ermittlung der Verteilung der Methanbildung auf die einzelnen Phasen.

### Vergleich der Eignung verschiedener Substrate für die zweiphasige Vergärung mit Batch Hydrolyse

Die verwendeten Substrate Maissilage, Roggenganzpflanzensilage und Grassilage zeigten ein individuelles Verhalten im Gärverlauf. In der **Abbildung 1** sind die pH-Werte des Perkolates über die Versuchszeit jeweils für den Ablauf aus den „Hydrolysefermentern“ und den Methanreaktoren dargestellt. Die Substrate starteten alle mit pH-Werten zwischen 4,5 und 5. Bis das Perkolat das erste Mal zwischen den Phasen ausgetauscht wurde, blieben die pH-Werte recht stabil. Nach dem ersten Austausch der Prozessflüssigkeit zwischen den Phasen am Versuchstag vier ist ein plötzlicher pH-Anstieg durch die Vermischung der Flüssigkeiten mit unterschiedlichen pH-Werten zu verzeichnen. Während bei der Maissilage die Werte schnell wieder unter fünf absinken, wird bei der Gras- und Roggenganzpflanzensilage nur noch ein pH-Wert von 5,6 erreicht. Bei der Grassilage ist dann ein deutlich schnellerer Anstieg des pH-Wertes in den Hydrolysefermentern zu verzeichnen, als bei den anderen Substraten, sodass sich der pH-Wert von 7,5 vier Versuchstage früher einstellt (**Abbildung 1**). Bei dem pH-Wert der Maissilage ist zwischen dem sechsten und zehnten Versuchstag noch ein zwischenzeitlicher Anstieg zu verzeichnen. Dies hängt mit der Essigsäurebildung zusammen. Diese erreicht ihr Maximum bei der Variante Maissilage erst zum Versuchstag zehn, während bei den anderen Varianten diese beim Versuchstag sieben zu beobachten sind. Die Essigsäureäquivalente der verschiedenen Substrate erreichen zwar in allen

Abb. 2



untersuchten Varianten in den Hydrolysefermentern Maximalwerte bei 9g/kg, die Werte bei der Grassilage fallen jedoch wesentlich schneller ab als bei den Substraten Maissilage und Roggenganzpflanzensilage.

Der langsamere Anstieg des pH-Wertes in den „Hydrolysefermentern“ bei den Substraten Maissilage und Roggenganzpflanzensilage verhindert die Methanbildung in diesen Fermentern, wodurch ein prozentual höherer Anteil des Methans in den Methanreaktoren gebildet wird (**Abbildung 2**).

Die Maissilage erbringt die höchsten Biogas- bzw. Methanerträge mit 779 bzw. 362lN/kg oTS gefolgt von der Roggenganzpflanzensilage mit 665 bzw. 347lN/kg oTS und der Grassilage mit 645 bzw. 334lN/kg oTS (**Tabelle 1**). Während der mittlere Methangehalt des Biogases der „Hydrolysefermenter“ in Abhängigkeit der eingesetzten Substrate stark schwankt, liegt der mittlere Methangehalt des Biogases der Methanfermenter in allen Varianten mit 76 bzw. 72% relativ stabil. Der hohe Methanertrag in den Methanreaktoren der Variante Maissilage scheint die Qualität des Gases nicht besonders stark zu beeinflussen.

Tab. 1

Die spezifischen Gas- und Methanerträge verschiedener Substrate und deren Verteilung auf die Hydrolyse- und Methanogenese bei der zweiphasigen Vergärung

Table 1: The specific biogas and methane yields of different substrates and their distribution to the hydrolysis and methanogenesis phase of a two phase digestion process.

		Grassilage	Maissilage <sup>1</sup>	Roggenganzpflanzensilage <sup>1</sup>
Spezifischer Gasertrag der Gesamtanlage <sup>2</sup>	[l <sub>N</sub> /kg oTS]	645	779	665
Spezifischer Methanertrag der Gesamtanlage <sup>2</sup>	[l <sub>N</sub> /kg oTS]	334	363	347
Mittel des Methangehaltes des Hydrolysefermenters	Vol%	39	27	33
Mittel des Methangehaltes des Methanreaktors	Vol%	76	72	76
Anteil des Hydrolysefermenters am Gesamtmethanertrag	%	46	25	39
Anteil des Methanreaktors am Gesamtmethanertrag	%	54	75	61

<sup>1</sup>Werte sind das Mittel der Wiederholungen; <sup>2</sup>Die Biogas- und Methanerträge sind nicht gärsäurekorrigiert

Die Versuche zeigen ein stabiles Gärverhalten trotz plötzlichen Substratwechsels. Durch die längere Säurenachbildung bei den Substraten Maissilage und Roggenganzpflanzensilage gegenüber der Grassilage bewegt sich der pH-Wert länger in einem für die Hydrolyse günstigen Bereich. Dadurch kann die Methanbildung in den Hydrolysefermentern verhindert werden, sodass eine bessere Trennung der Phasen erreicht wird. Es ist also eine unterschiedlich gute Eignung von verschiedenen Substraten für eine zweiphasige Vergärung mit Batch-Perkolationshydrolyse zu beobachten.

#### Literatur

Bücher sind mit ● gekennzeichnet

- [1] Rösch, C.: Abschätzung der verfügbaren Grünlandflächen in Baden-Württemberg und ihr Beitrag zur Energieversorgung. Vorstellung des Abschlussberichts und der Ergebnisse des Forschungsprojekts des MLR „Energie aus dem Grünland – eine nachhaltige Entwicklung?“, Stuttgart-Hohenheim, 2007
- [2] <http://www.biogas-network.de/> Zugriff am 31. 8. 2009
- [3] ● Wellinger, A.; Baserga, U.; Edlmann, W.; Egger, K. und Seiler, B.: Biogas-Handbuch – Grundlagen-Planung-Betrieb landwirtschaftlicher Anlagen. Verlag Wirz, Aarau, 2. Auflage, 1991
- [4] Zielonka, S.; Lemmer, A.; Oechsner, H. und Jungbluth, T.: Zweiphasige Vergärung nachwachsender Rohstoffe – Einsatz des Bioleaching-Verfahrens zur Verwertung von Grassilage. Landtechnik 62 (2007), H.5, S.338-339

#### Autoren

**M.Sc. agr. Simon Zielonka** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (ehemals: Landesanstalt für Landwirtschaftliches Maschinen- und Bauwesen) an der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: zielonka@uni-hohenheim.de

**Dr. Andreas Lemmer** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie an der Universität Hohenheim, E-Mail: lemmeran@uni-hohenheim.de

**Dr. Hans Oechsner** ist Leiter der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie an der Universität Hohenheim, E-Mail: oechsner@uni-hohenheim.de

**Prof. Dr. agr. Thomas Jungbluth** leitet als Lehrstuhlinhaber das Fachgebiet Verfahrenstechnik der Tierhaltungssysteme am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart, E-Mail: jungblut@uni-hohenheim.de