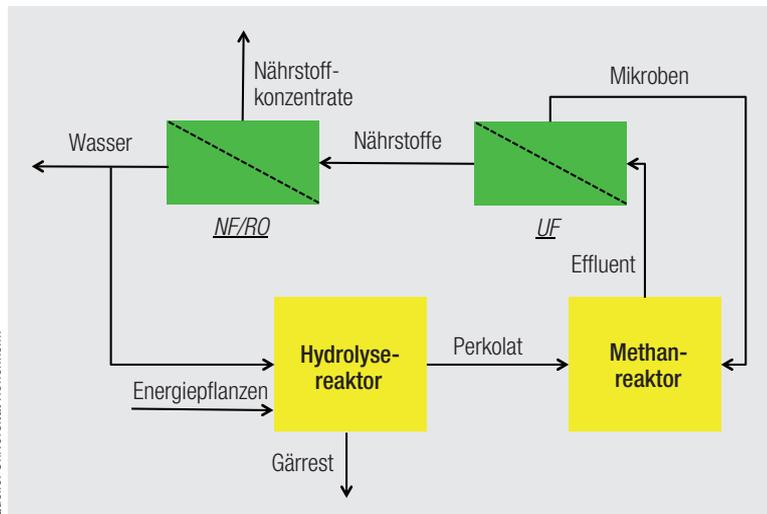


Teilprojekt II: Innovative Gärrestaufbereitung

Abb 1: Zweistufiges Filtrationssystem)



Durch die steigende Anzahl der Biogasanlagen wird neben Energie auch immer mehr Gärrest produziert. Dieser wird hauptsächlich auf nahe gelegenen Feldern als organischer Dünger ausgebracht. Besteht ein regionaler Überschuss

an Gärresten, muss dieser in Gebiete mit Nährstoffbedarf transportiert werden. Der hohe Wassergehalt der Gärreste führt jedoch zu hohen Transportkosten, die eine wirtschaftlich sinnvolle Verwertung erschweren [1].

Alternativ könnte der feste Anteil des Gärrests als Brennstoff thermisch verwertet werden. Die Eignung dazu hängt von dessen Gehalt an Mineralstoffen sowie von dessen Heizwert ab. Bisherige Untersuchungen zu Gärresten aus Biogasanlagen zeigen, dass diese hohe Konzentrationen an Mineralstoffen wie Stickstoff (N), Kalium (K), Phosphor (P) und verschiedene Salze enthalten können. Vor der thermischen Verwertung muss der Gehalt an Mineralstoffen stark reduziert werden, da die Mineralien, insbesondere Phosphor und Kalium, den Ascheschmelzpunkt senken [2]. Dies kann zu erheblichen technischen Problemen in Verbrennungsanlagen führen.

Im Rahmen des Gesamtprojektes wurde das Verfahren der zweistufigen Druckfermentation neu entwickelt. Dieses basiert auf zweistufigen Fermentationsanlagen, bei denen der Aufschluss der zu vergärenden Biomasse in lösliche Verbindungen (Hydrolyse) und deren anschließende anaerobe mikrobielle Konversion zu Biogas (Methanogenese) in getrennten Fermentern stattfinden. Ein kontinuierlicher Betrieb einer zweistufigen Fermentationsanlage mit geschlossenem Prozesswasserkreislauf führt dazu, dass lösliche Mineralstoffe der Biomasse in dem Perkolat verbleiben, das zwischen dem Hydrolysefermenter und dem Methanreaktor ausgetauscht wird. Diese Mineralien könnten bei dem Erreichen entsprechender Konzentrationen zu einer Hemmung des Prozesses führen. Eine Abscheidung der Mineralstoffe aus dem Prozessflüssigkeitskreislauf würde dieses Problem lösen. Durch eine weitergehende Aufkonzentration entsteht ein sehr gut pflanzenbaulich nutzbarer Dünger mit einer sehr hohen Transportwürdigkeit.

Die Aufgabe des Teilprojektes „Innovative Gärrestaufbereitung“ besteht darin, die Mineralstoffe durch ein geeignetes Aufbereitungsverfahren von den Faserbestandteilen derart abzutrennen, dass einerseits ein Nährstoffkonzentrat für die ackerbauliche Nutzung und andererseits mineralstoffreduzierte Fasern für die thermische Verwertung gewonnen werden können. Dazu wurden im Teilprojekt II Untersuchungen zum Mineralstoffgehalt verschiedener Gärreste sowie Filtrationsversuche zur Nährstoffabscheidung aus der Perkolationsflüssigkeit durchgeführt.

Versuchsanlagen und Versuchsdurchführung

Um die Auswirkungen unterschiedlicher Verfahrensführungen der Biogasgewinnung auf den Mineralstoffgehalt der festen Gärreste zu untersuchen, wurden die Gärreste der zweistufigen Labor-Biogasanlage und die der Praxis-Forschungsbiogasanlage

Tabelle 1: Mineralstoffgehalt des Feststoffanteils der untersuchten Gärreste

| | Gärreste Hydrolysereaktor Zweistufige Laborbiogasanlage | | | Gärreste Praxis Biogasanlage ^{a)} (Pressschnecken- separator) |
|------------------|--|------|------|---|
| | 5,5 | 6 | 7 | |
| pH | 5,5 | 6 | 7 | |
| P (Ma.-%) in FM | 0,03 | 0,01 | 0,02 | 0,17 |
| K (Ma.-%) in FM | 0,27 | 0,09 | 0,30 | 0,46 |
| Mg (Ma.-%) in FM | 0,02 | 0 | 0,01 | 0,11 |
| Na (Ma.-%) in FM | 0,01 | 0 | 0,01 | 0,02 |
| Ca (Ma.-%) in FM | 0,08 | 0,01 | 0,04 | 0,46 |
| S (Ma.-%) in FM | 0,02 | 0,01 | 0,02 | 0,06 |

a) Gärreste von der einphasigen Forschungsbiogasanlage im Praxismaßstab an der Versuchsstation Unterer Lindenhof der Universität Hohenheim, Separation der Gärreste mittels Pressschneckenseparator

Quelle: Messungen der Universität Hohenheim

der Universität Hohenheim auf ihren Mineralstoffgehalt hin untersucht. Bei der zweistufigen Versuchsbiogasanlage handelt es sich um einen in Maissilage-Monofermentation kontinuierlich betriebenen, horizontalen Rührkesselreaktor (100 l) als Hydrolyse in Kombination mit einem Festbett-Methanreaktor. In der Testreihe wurde die Hydrolysestufe bei den pH-Werten 5,5 sowie 6,0 und 7,0 betrieben. Der Feststoff im Gärrest wurde manuell mit einem Sieb separiert. Die als Vergleich dienende Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim besteht aus zwei 826-m³-Rührkesselreaktoren, in denen Flüssigmist zusammen mit verschiedenen nachwachsenden Rohstoffen vergoren

wird. Die entstehenden Gärreste werden mittels Pressschneckenseparator separiert.

Die Untersuchungen zur Abtrennung und Aufkonzentration der Gärreste aus der Prozessflüssigkeit wurden mit dem Perkolat aus der zweistufigen Druckfermentationsanlage, die im Labormaßstab an der Universität Hohenheim aufgebaut wurde, durchgeführt. Dazu wurde das Effluent des Druckmethanreaktors für die Filtrationsversuche zuerst durch den 25-µm-Kerzenfilter gepumpt und dann nacheinander mit den fünf Membranen (in der Reihenfolge: 12 µm, 5 µm, 1 µm, 0,45 µm und 0,1 µm) im Dead-End-Modus filtriert (Abb. 1). Um die Steri-

Tabelle 2: Anzahl der koloniebildenden Einheiten und CSB-Konzentration pro Kilogramm Permeat für die einzelnen Filtrationsstufen sowie Retentatgewicht bezogen auf die Ausgangsmasse

| Porengröße µm | Anzahl der koloniebildenden Einheiten | | CSB mg l ⁻¹ | Retentat g kg ⁻¹ Suspension |
|------------------|---------------------------------------|----------|---------------------------|---|
| | Aerob | Anaerob | | |
| Unbehandelt | 1,04E+07 | 7,85E+07 | 1311 | |
| 25 | 9,76E+06 | 8,40E+07 | 1229 | |
| 12 | 4,10E+06 | 6,10E+06 | 1203 | 0,15 |
| 5 | 3,35E+06 | 6,00E+07 | 1163 | 0,12 |
| 1 | 8,85E+05 | 4,15E+07 | 822 | 0,16 |
| 0,45 | 6,40E+06 | 2,90E+07 | 749 | 0,07 |
| 0,1 | 1,49E+05 | 1,15E+05 | 770 | 0,02 |

Quelle: Messungen der Universität Hohenheim

Tabelle 3: Mikro- und Makronährstoffgehalt des Filtrates nach der Filtration bei 25 µm und 0,1 µm

| Mikronährstoffe | (mg kg ⁻¹ FM) | |
|-----------------|--------------------------|---------|
| | 25 µm | 0,1 µm |
| Cu | 0,02 | 0,06 |
| Ni | 0,10 | 0,10 |
| Zn | 0,86 | 0,22 |
| Fe | 2,36 | 2,09 |
| Bor | 0,24 | 0,29 |
| Co | 0,02 | 0,02 |
| Mn | 0,25 | 0,02 |
| Mo | 0 | 0 |
| Se | <0,05 | <0,05 |
| Al | 0,2 | 0,26 |
| W | <0,05 | <0,05 |
| Makronährstoffe | | |
| P | 56,92 | 28,68 |
| K | 1103,13 | 1267,87 |
| Mg | 29,55 | 7,04 |
| Na | 49,85 | 58,70 |
| Ca | 57,12 | 37,58 |
| S | 9,33 | 10,23 |

Quelle: Messungen der Universität Hohenheim

lität der Filtrationseinheit zu gewährleisten, wurden alle Medien berührenden Teile vor jedem Durchlauf in einem Autoklaven behandelt. Als Membran wurden hydrophile Cellulosenitrat-Membranfilter der Firma WHATMAN mit einem Durchmesser von 47 mm verwendet.

Ergebnisse und Diskussion

In **Tabelle 1** ist der Mineralstoffgehalt der untersuchten Gärreste dargestellt. Verglichen mit dem separierten Gärrest der Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim enthielt der Gärrest aus der zweistufigen Fermentationsanlage durchschnittlich 77 ± 21 Prozent weniger Mineralien. Dieser niedrige Mineralstoffgehalt wirkt sich positiv auf die Brennstoffeigenschaften der Gärreste aus. Im Rahmen der Untersuchung konnte die Ursache für die unterschiedlichen Konzentrationen nicht eindeutig geklärt werden. Sowohl von der Verfahrensführung als auch von den Einsatzstoffen

geht ein erheblicher Einfluss auf die Mineralstoffgehalte der Gärreste aus. So weist beispielsweise Flüssigmist tendenziell deutlich höhere Mineralstoffgehalte auf als pflanzliche Substrate. Im Gegensatz zur praxisnahen Forschungsbiogasanlage wurde die zweistufige Laboranlage ausschließlich mit pflanzlichen Substraten beschickt. In nachfolgenden Untersuchungen sind die Einflussfaktoren auf die Gärrestzusammensetzung daher detaillierter zu erheben.

Zur Abtrennung der Mineralstoffe aus der Prozessflüssigkeit mittels Filtration müssen aus dem Methanreaktorfluent zuerst die organischen Partikel sowie die mikrobielle Biomasse entfernt werden. Als Maß der Verunreinigung der Prozessflüssigkeit mit organischen Bestandteilen kann der CSB-Wert (Chemischer Sauerstoffbedarf) verwendet werden. Eine deutliche Reduktion des CSB trat erst nach der Filtration mit 1 µm Porengröße auf. Dabei verringerte sich der CSB des Filtrats um 37 Prozent im Vergleich zur unbehandelten Flüssigkeit. Die restlichen Behandlungen hatten nur geringen Einfluss auf den CSB. In der Gewichtsbestimmung des Retentates wurde deutlich, dass mit der 1 µm-Membran der größte Massenanteil abgetrennt wurde.

In **Tabelle 2** sind die Ergebnisse dieser Vorfiltration auf die Anzahl der koloniebildenden Einheiten dargestellt. Mit abnehmender Porengröße der Membranen verringert sich deren Konzentration in der Prozessflüssigkeit. Eine Membran mit der Porengröße 0,1 µm reduzierte den Gehalt an aeroben Mikroorganismen um 97,7 Prozent und der Anaeroben um 99,6 Prozent.

Die in **Tabelle 3** dargestellten Werte zeigen den Gehalt von Mikro- und Makronährstoffen nach den Filterstufen 25 µm und 0,1 µm. Durch die Membranfiltration verringerten sich die Konzentrationen an Calcium, Eisen, Mangan, Magnesium, Phosphor und Zink im Perkolat. Keine Verände-

rung trat bei Aluminium, Bor, Cobalt, Kalium, Kupfer, Natrium, Nickel, Schwefel und Wolfram auf.

Fazit und Ausblick

Sofern in weiteren Untersuchungen der niedrige Mineralstoffgehalt im Gärrest von zweistufigen Fermentationsverfahren bestätigt wird, ist eine relative Vorzüglichkeit dieses Substrates als Brennstoff anzunehmen. Das Abtrennen der Mineralien vor der Verbrennung ist von zusätzlichem Vorteil, da somit die aufwendige Rückgewinnung von Kalium und Phosphor aus der Asche vermieden werden kann.

Der Feststoffgehalt, der CSB- und der Säuregehalt des Druckmethanreaktor-Effluents konnten bei einer Porengröße von 1 µm und die Gesamtkeimzahl bei einer Porengröße von 0,1 µm effektiv verringert werden. Als zukünftiger Lösungsansatz zur Aufbereitung der Prozessflüssigkeit der zweistufigen Druckfermentation zu einem Nährstoffkonzentrat ist eine dreistufige Filtration (1 µm, 0,1 µm, Nanofiltration) denkbar. ■

Literatur:

- [1] Helmut Döhler, Sebastian Wulf: Aktueller Stand bei der Gärrestaubebereitung, Gülzower Fachgespräche, Band 30: Gärrestaubebereitung für eine pflanzenbauliche Nutzung – Stand und F+E-Bedarf, Gülzow, 2009.
[2] Prabir Basu: Combustion and Gasification in Fluidized Beds, CRC Press, 2006, S. 129.

Die Autoren

**Dr. sc. agr. Simon Zielonka,
Yuling Chen, M. Sc., Lukas Illi, B. Sc.,
Dr. Andreas Lemmer**

Universität Hohenheim, Landesanstalt
für Agrartechnik und Bioenergie

Kontakt:

Dr. Andreas Lemmer
Universität Hohenheim
Landesanstalt für Agrartechnik
und Bioenergie
Garbenstr. 9
70599 Stuttgart
Tel.: 0711 45922684
E-Mail: andreas.lemmer@uni-hohenheim.de
Internet: www.la-bioenergie.de