



Hochlastvergärung

Die Vergärung von Gülle bietet aufgrund des hohen Gülleaufkommens in Deutschland und den Niederlanden ein prinzipiell hohes energetisches Potenzial. Zusätzlich zu den bisher energetisch genutzten Güllemengen beträgt das erschließbare Potential mehr als 4 TWhel Strom bzw. mehr als 50 Mio. Tonnen Gülle. Der zum Teil niedrige Trockensubstanzgehalt und die damit verbundene niedrige Energiedichte pro m³ der Gülle erschwert die Monovergärung in konventionellen Biogasanlagen z.B. in 75 kWel Anlagen und größer und erfordert teilweise den Zusatz von Co-Substraten. Dennoch hat die Erzeugung von Biogas aus biogenen Reststoffen und nachwachsenden Rohstoffen in den letzten Jahren an Marktbedeutung gewonnen. Die Biogasbranche steht jedoch aufgrund der aktuellen Novellierung des Erneuerbaren Energien Gesetzes (EEG, Deutschland) sowie der Stimulation of Sustainable Energy Production (SDE+, Niederlande) vor neuen Herausforderungen. Den Biogasprozess trotz Vergütungskürzungen wirtschaftlich betreiben zu können, stellt eine enorme Schwierigkeit dar (aktuelle Vergütungssätze in Tabelle 1 und Tabelle 2).

Elf Projekte

Das Projekt **Grüne Kaskade** beabsichtigt, die Chancen zum weiteren Ausbau der Biowirtschaft im deutsch-niederländischen Grenzgebiet zu nutzen, indem alle Input- und Output-Ströme, die Teil der Biogaswertschöpfungskette sind, besser genutzt werden. Ein Konsortium aus mehr als 20 Partnern erarbeitet dieses Thema über konkrete Kooperationswege.

In 11 Teilprojekten und einem unterstützenden Arbeitspaket arbeiten die Partner an der Verbesserung der Wertschöpfungskette mit spezifischem Fokus auf einer wirtschaftlich wertvolleren Nutzung der Input- und Output-Ströme in der Biogaswertschöpfungskette.

Tabelle 1: Vergütung gemäß EEG 2017 für Neuanlagen in Deutschland

Sonderkategorie „Vergärung von Gülle“	Vergütung (Cent(kWh))	Bedingungen
Bis einschließlich einer Bemessungsleistung von 75 kW	23,14	Der Wert gilt, wenn: 1. Der Strom am Standort erzeugt der Biogaserzeugungsanlage erzeugt wird 2. Die installierte Leistung am Standort der Biogaserzeugungsanlage insgesamt bis zu 150 Kilowatt beträgt 3. Zur Erzeugung des Biogases in dem jeweiligen Kalenderjahr durchschnittlich ein Anteil von Gülle mit Ausnahme von Geflügelmist und Geflügeltrockenkot von mindestens 80 Massenprozent eingesetzt wird.

Hinweis: Alle Vergütungen verringern sich beginnend mit dem 1. April 2017 jeweils zum 1. April und zum 1. Oktober des Jahres um 0,5 Prozent.

Tabelle 2: Vergütung durch Biomasse erzeugte Energie nach SDE+ in den Niederlanden für 2019

		Phase 1	Phase 2	Phase 3	Base price	Provisional correction amount 2019
		Maximum base amount/phase amount (€/kWh)			€/kWh	
Mono-Fermentation von Gülle < 400 kW	Heat	0,090	0,103	0,103	0,052	0,059
	Gas	0,064	0,078	0,087	0,013	0,019
	CHP	0,090	0,110	0,127	0,041	0,053
Mono-Fermentation von Gülle > 400 kW	Heat	0,065	0,065	0,065	0,019	0,026
	Gas	0,064	0,071	0,071	0,013	0,019
	CHP	0,077	0,077	0,077	0,025	0,036

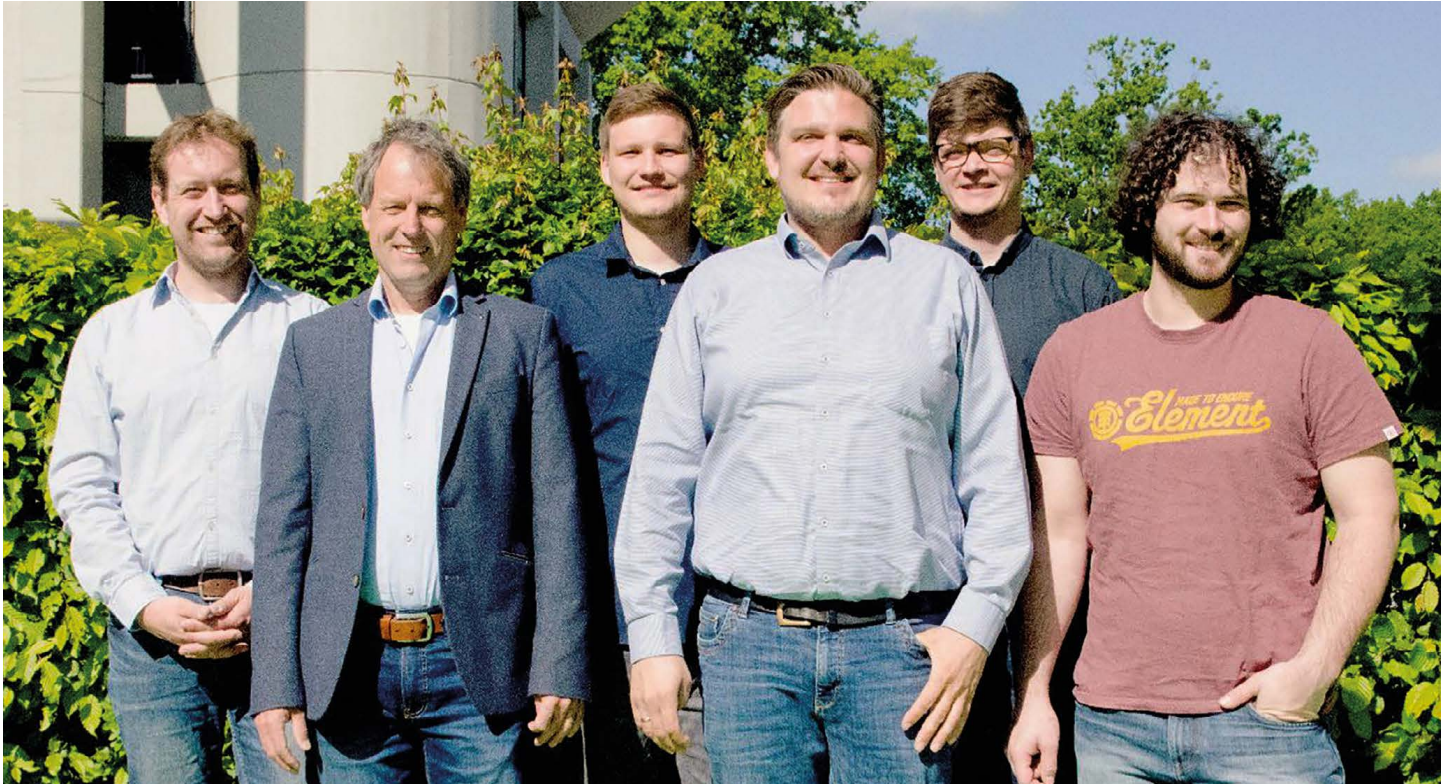


Abbildung 1: Die Projektpartner von links nach rechts: Andreas Thesseling (PlanET Biogastechnik GmbH), Frans Feil (Bioenergiecluster Oost-Nederland), Alexander Naßmacher, Dr. Ing. Elmar Brüggling (FH Münster), Tobias Weide (FH Münster), Jeroen Terwort (PlanET Biogastechnik GmbH)

Die Implementierung anaerober Hochlast-Reaktoren in konventionellen Biogasprozessen beschreibt hierbei eine Lösungsstrategie. Ziel des deutsch-niederländischen Projektteams ist es durch innovative Reaktorkonzepte die Effizienz der bestehenden Biogasanlagen zu steigern und dadurch die Gesamtwirtschaftlichkeit der Biogasgewinnung zu erhöhen. Gleichzeitig können bisher nicht ausgeschöpfte, biogene Reststoff-Potentiale nutzbar gemacht werden, wodurch sich das Anwendungsfeld der Biogastechnik erweitert. Diesen und weiteren Herausforderungen stellte sich das Projektkonsortium des Teilprojektes Hochlastvergärung bestehend aus **PlanET Biogastechnik GmbH** (PlanET), dem **Bio-energiecluster Oost-Nederland** (BEON) und dem Forschungsteam der **FH Münster** unter der Leitung von Herrn Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter und Dr.-Ing. Elmar Brüggling. Die Projektleitung übernahm Tobias Weide, Arbeitsgruppenleiter: Abwasser- und Umwelttechnik.

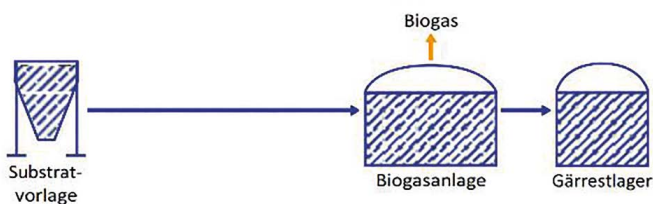
Das Konzept der Hochlastvergärung

Im Rahmen des Teilprojektes wurde für die Vergärung flüssiger, separierter Schweinegülle sowie weiteren flüssigen Reststoffen mit Hilfe der Hochlastvergärung ein neues Verfahrenskonzept angewendet. Durch einen vorgelagerten Separationsschritt werden flüssige und feste Bestandteile der Gülle aufgetrennt. Die feste Phase wird weiterhin in bestehender und konventioneller Biogasanlagentechnik und die flüssige Phase wird in Hochlastreaktoren vergoren, s. Abbildung 2.

Das Konzept bietet dabei folgende Vorteile und Verfahrenserweiterungen:

- Die Mikroorganismendichte wird durch einen im Reaktor konstruierten Biomasserückhalt erhöht und damit die Abbaugeschwindigkeit sowie die Abbaueffizienz gesteigert
- Die Verweilzeit der Substrate wird gegenüber konventioneller Biogasanlagentechnik ($\tau=60-120$ d) drastisch verringert ($\tau < 4$ d)

Konventionelle Biogasanlage



Hochlastvergärung

Erhöhter Wirkungsgrad durch effizientere Vergärung

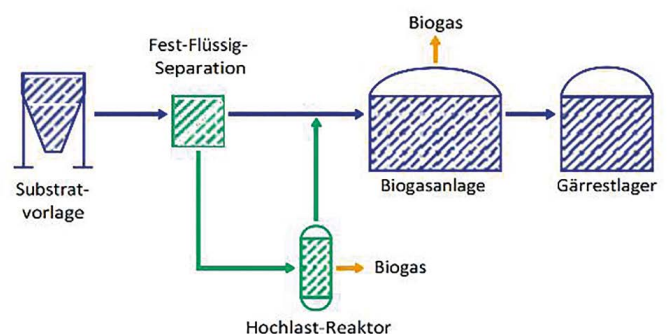


Abbildung 2: Schema der Integration von Hochlastreaktoren in den Biogasprozess

- Das Biogaspotential der Substrate wird trotz geringerer Verweilzeiten komplett ausgeschöpft. Durch Synergieeffekte können sogar höhere Biogaspotentiale erzielt werden
- Die Hochlastvergärung kann als zusätzliches Modul in bestehende Biogasanlagen integriert und damit der Gesamtwirkungsgrad der Anlage erhöht werden

Bei der Konzeptionierung wurden die beiden Bereiche: Industrielle und kommunale Abwasserreinigung sowie die landwirtschaftliche Biogasanlagentechnik vereint. Beide Branchen ähneln sich sehr, da in beiden Bereichen anaerobe Prozesse verwendet werden und Biogas erzeugt wird. Jedoch sind die Herangehensweisen sowie die Zielsetzungen verschieden:

Industrielle Abwassertechnik:

- Verwertung flüssiger Substrate
- Ziel: Kohlenstoffelimination aus Abwässern
- Biogaserzeugung meist von geringerer Bedeutung, eher positiver Nebeneffekt
- Reaktortechnik: Kurze Verweilzeiten, hohe Raumbelastungen, geringes Fermenter-Volumen
- Geringe Aufstellfläche erforderlich
- Hoher Automatisierungsgrad

Landwirtschaftliche Biogastechnik:

- Verwertung vorwiegend fester Biomassen und Substrate
- Ziel: Erzeugung maximaler Biogaserträge
- Reinigungsleistung und Nährstoffrückgewinnung meist von geringerer Bedeutung
- Reaktortechnik: Hohe Verweilzeiten, hohe Raumbelastungen, hohes Fermenter-Volumen

Ziel der Konzeptionierung der FH Münster und PlanET war es, die Vorteile beider Bereiche in einem Verfahren zu vereinen.

Dazu wurden Reaktortechniken aus der industriellen Abwassertechnik [Festbett-, UASB- (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) und EGSB-Reaktoren (Expanded Granular Sludge Bed)] auf ihre Eignung im landwirtschaftlichen Kontext geprüft. Diese Reaktortechniken ermöglichen eine Aufkonzentrierung der zur Vergärung benötigten Mikroorganismen. Dazu werden die Mikroorganismen über Rückhalte Mechanismen im System gehalten. Diese erhöhte Konzentration an Mikroorganismen sorgt dafür, dass die Abbaureaktionen beschleunigt werden und schließlich die zugeführten Substrate schneller und effizienter vergoren werden.

Aktuell werden diese Hochlastreaktoren beispielsweise in der Lebensmittelindustrie bei Brauereien, der Fruchtsaferstellung oder in der Zuckerindustrie wie auch in der Papierindustrie zur Abwasserbehandlung eingesetzt. Des Weiteren konnte auf die praktischen Erfahrungen von BEON aus der industriellen Abwasserreinigung (Kaffeeherstellung) zurückgegriffen werden.

Die Ergebnisse und die Auslegung der Reaktoren kann in folgender Veröffentlichung nachgelesen werden:

Weide, Tobias; Brüggling, Elmar; Wetter, Christof; *Biochemische Konversion flüssiger, biogener Reststoffe mittels anaerober Hochlast-Reaktoren zur Optimierung konventioneller Biogaspro-*

zesse Veröffentlichung in der KTBL-Schrift 512 „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ ISBN 978-3-945088-52-4; Seite 382-384, FNR/KTBL-Kongress, Bayreuth, September 2017

Das Hochlast-Verfahren im kontinuierlichen Betrieb

Um die Eignung des Hochlastkonzepts zu prüfen, wurde im Rahmen des Teilprojektes ein Versuchsprogramm entwickelt. Dazu wurden zusammen mit der Firma PlanET 3 halbtechnische Reaktoren ausgelegt, gebaut und betrieben. Die Festbett- und EGSB-Reaktoren sind in Abbildung 3 und Abbildung 4 dargestellt.



Abbildung 3: Festbettreaktoren zur Vergärung flüssiger, separierter Schweinegülle



Abbildung 4: Expanded Granular Sludge Bed Reaktor (EGSB) zur Vergärung flüssiger, separierter Schweinegülle

Für die Untersuchungsreihen zur Vergärung von separierter Gülle wurde ein Festbettreaktor im Technikums-Maßstab ($V=50\text{ l}$) mit Hiflow-Keramik-Füllkörpern (Abbildung 5) gefüllt und betrieben. Zum Vergleich der Reaktortechnik wurde ein zweiter Festbettreaktor ($V = 50\text{ l}$) mit Sattelfüllkörpern (Abbildung 6) und ein Pelletschlammreaktor (Expanded Granular Sludge Bed, $V = 30\text{ l}$) in Betrieb genommen.



Abbildung 5: Hiflow Füllkörper



Abbildung 6: Sattel-Füllkörper

Mit diesen drei Reaktoren wurden über 2 Jahre kontinuierliche Versuche zur Vergärung flüssiger, biogener Reststoffe durchgeführt. Ziel war es, Auslegungsdaten für ein Scale-Up im Pilotmaßstab zu ermitteln sowie anschließend eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Gesamtsystems durchzuführen.

Separierte Schweinegülle – Ein Substrat mit hohem Potential

In den Niederlanden und Deutschland werden aktuell etwa 30 % der anfallenden Gülle energetisch genutzt. Deshalb

wurde von dem deutsch-niederländischen Projektkonsortium Mastschweinegülle und Ferkelgülle für die Untersuchungen zur Monovergärung in den Hochlastreaktoren ausgewählt. Mit den genannten Reaktoren wurde die Verweilzeit, der Biogasertrag und die biogene Abbaurrate untersucht. Dazu wurde die Schweinegülle an der FH Münster mit einem Feinfilter separiert. Mit diesem Feinfilter konnten Feststoffe bis zu einer Größe von $> 100\text{ }\mu\text{m}$ aus der flüssigen Phase abgetrennt werden. Die Lagerung der separierten Schweinegülle erfolgte in einem kühlbaren Lagercontainer, sowie zwei weiteren 100 l kühlbaren Lagertankbehältern. Zusätzlich wurden diese Behälter unter einer Stickstoffatmosphäre gehalten. Diese gekühlte Lagerung der Substrate war notwendig, um eine Gärung der Schweinegülle während der Lagerung zu unterbinden und damit die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse zu gewährleisten.

Für die Versuchsreihen wurden die Reaktoren kontinuierlich bei $\vartheta = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ betrieben und mit separierter Schweinegülle (Trockenrückstand = 2 Gew.%, organischer Trockenrückstand = 50 Gew.%) beschickt. Für die Bilanzierung wurden die Reaktoren bei verschiedenen Verweilzeiten jeweils bis zum stationären Zustand betrieben. Es wurden die Biogaspotentiale, die biogenen Abbaubauraten, die Raumbelastungen sowie die hydraulischen Verweilzeiten ermittelt.

In Abbildung 7 sind die Ergebnisse der Versuchsreihen mit separierter Schweinegülle dargestellt. Im Durchschnitt wurde bei der Vergärung der flüssigen Schweinegülle ein Methangehalt von 70 Vol.% im Biogas erreicht. Das sind ca. 15 Vol.-% mehr als bei herkömmliche Biogasanlagen erreicht wird. Es wurden verschiedene Verweilzeiten des Substrates in den Reaktoren untersucht und täglich der Biogasertrag sowie der CSB-Abbaugrad (Differenz zwischen dem CSB-Wert des Feeds und des Ablaufs) bestimmt. Die Darstellung der einzelnen Betriebspunkte ergab schließlich eine Verweilzeit abhängige Abbaukurve. Zusätzlich konnte anhand der dargestellten Ergebnisse ein Zusammenhang zwischen dem Biogasertrag bzw. dem Abbaugrad, in Abhängigkeit von der Verweilzeit, festgestellt werden. Dieser Zusammenhang wurde durch die in Abbildung 7 genannten Gleichung beschrieben werden.

Durch die Beschreibung und Darstellung der Reaktionskinetik konnte ermittelt werden, dass separierte Ferkelgülle im Hochlastkonzept besonders effizient mit einer hydraulischen Verweilzeit von 4 d abgebaut werden konnte. Bei dem Einsatz von separierter Mastschweinegülle wiederum, stellte sich dieses Optimum erst nach einer Verweilzeit von 11 d ein. Weitere Untersuchungen mit kürzeren Verweilzeiten zeigten indes, dass sich ein Großteil des Biogaspotentials zwar erreichen lässt, jedoch die biogenen Abbauraten abnehmen. Diese Ergebnisse verdeutlichen wie unterschiedlich sich die Substrate bei der Vergärung verhalten und welchen hohen Einfluss schon geringe Qualitätsunterschiede auf die Effizienz des Verfahrens auswirken.

Für die abschließende, wirtschaftliche Betrachtung des Verfahrens wurden die bereits dargestellten Ergebnisse der Ferkel- und Mastschweinegülle-Versuche ausgewählt. Konkret konnte anhand des Zusammenhangs zwischen Verweilzeit und Abbaugrad bzw. des Biogasertrags, den Batch-Versuchen sowie der Bilanzierung der Separation, eine erste ökonomische Betrachtung des Systems erfolgen.

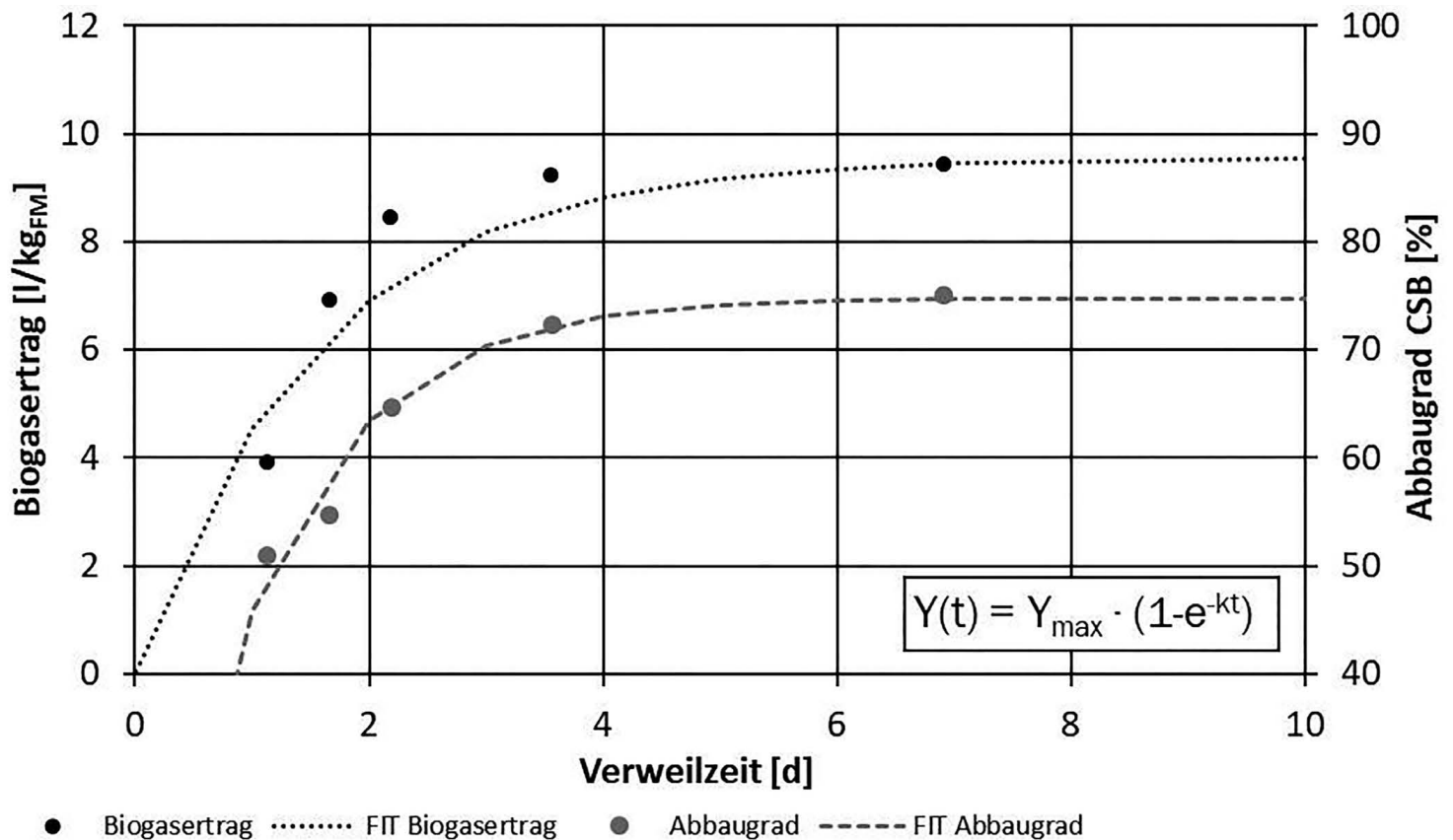


Abbildung 7: Ergebnisse der Festbettreaktoren mit separierter Ferkelgülle als Substrat und verschiedenen Verweilzeiten

Über die Bestimmung der benötigten Menge an Gülle, den benötigten Tierplätzen, der Reaktorgröße und der Auslegung von Pumpen und Messtechnik wurden die erforderlichen Kosten vom Projektpartner PlanET zusammengestellt. Als Ergebnis wurden die Gasgestehungskosten des Hochlastverfahrens ermittelt und diese mit einer 75 kWel Biogasanlage verglichen.

Über einen Finanzierungszeitraum von 12 Jahren konnten für die untersuchte Mastschweinegülle Gasgestehungskosten von 11 Cent/kWh und für die untersuchte Ferkelgülle Gasgestehungskosten von 4,1 Cent/kWh ermittelt werden. Auch hier sind erneut die deutlichen Unterschiede der verwendeten Gülle erkennbar. Dem gegenüber stehen die Gasgestehungskosten der konventionellen Biogasanlage von 4,8 Cent/kWh.

Somit ließe sich der Prozess mit Ferkelgülle nach ersten Abschätzungen wirtschaftlich betreiben. Um das Verfahren auch mit Mastschweinegülle wirtschaftlich zu verbessern, bedarf es noch weiterer Optimierungen und Untersuchungen. Bspw. ließe sich durch die Zugabe von flüssigen Co-Substraten, wie z.B. Press- oder Sickersäften aus Mais- oder Grassilage, die Wirtschaftlichkeit deutlich steigern.

Die Projektergebnisse und die Darstellung der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sind nachzulesen in folgender Veröffentlichung:

Weide, Tobias; Brüggling, Elmar; Wetter, Christof; Naßmacher, Alexander; *Anaerobe Hochlastvergärung separierter, flüssiger Schweinegülle zur Optimierung und Flexibilisierung von Biogasanlagen*, Veröffentlichung in der KTBL-Schrift 517 „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ ISBN 978-3-945088-68-5; Seite 371-373, FNR/KTBL-Kongress, Leipzig, September 2019

Nach Abschluss des Projekts konnte ein Verfahrenskonzept vorgestellt und wissenschaftlich untersucht werden, welches der Biogasbranche in Deutschland und den Niederlanden neue Perspektiven bietet. Das öffentliche Interesse ist bereits groß, eine marktreife Etablierung des Konzepts bereits angefragt. Dennoch bleiben einige Fragen offen.

- Wie wirtschaftlich lässt sich das Konzept mit Biogasanlagen > 75 kW etablieren?
- Welche Reststoffe eignen sich neben separierter, flüssiger Schweinegülle ebenfalls zur Vergärung in einem Hochlastkonzept?
- Wie verhält sich der Prozess im Pilotmaßstab?

Diese und weitere Fragen werden im neuen Projekt: BioSmart „Biogasproduktion in Hochlastfermentern zur intelligenten Energiebereitstellung“ (FKZ: 22031318), gefördert durch die Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., untersucht.



Tobias Weide M.Sc., Autor, FH Münster



KontaktDaten Grüne Kaskade



Projektmanager:
Dr. Meis van der Heide
M.vander.Heide@provinciegroningen.nl



Website: www.gr-kaskade.eu



Twitter: @Groene_Kaskade



Redaktion Rundschreiben:
info@gr-kaskade.eu



Das Projekt **Grüne Kaskade** wird durch das EU-Programm ermöglicht: Interreg Deutschland Nederland und das Wirtschaftsministerium; die Provinzen Friesland, Groningen, Drenthe und Overijssel sowie die Bundesländer Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen.



Ministerie van Economische Zaken
en Klimaat

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



Niedersächsisches Ministerium
für Bundes- und Europaangelegenheiten
und Regionale Entwicklung

provinsje fryslân
provincie fryslân



provincie
groningen

provincie Drenthe

provincie Overijssel