

FOCUS ON



Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt

Projektergebnisse 2017-2018



Inhalt

Grußwort <i>D. Thrän, D. Pfeiffer</i>	4	LEVS – Low-Emission-Verbrennungssystem <i>M. Aleysa, M. Ecker, N. Akbary, S. Merieez</i>	40
SCR-Filter – Demonstration von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Stickoxiden und Feinstaub an Biomassefeuerungen <i>M. König, M. Müller, A. Pomraenke, R. Zettl, D. Döhlting</i>	6	BioPower2Gas – Demonstration und Vergleich von optimal leistungsregelbaren Biogastechnologien <i>T. Heidrich, J. Hesselbach, O. Ramm, P. Ritter, T. Heller</i>	46
FlexFuture – Integration von Biogasanlagen in Netze mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger <i>K. Bär, A. Saidi, C. Trinkl, W. Zörner</i>	11	CLEANPELLET – Entwicklung eines Verfahrens für die Erzeugung emissionsarm verbrennbarer Gärrestpellets zur Nutzung als Brennstoff für Haus- und Kleinfeuerungsanlagen <i>B. Schwarz, B. Faßauer</i>	52
ManBio – Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gasmanagements von Biogasanlagen <i>M. Stur, C. Krebs, E. Mauky, K. Oehmichen, T. Barchmann, E. Murnleitner</i>	18	BGA-IL – Biogasaufbereitung mit ionischen Flüssigkeiten <i>F. Orloff, F. Graf, M. Ahrens, B. Iliev, T. Schubert, D. Metzger, D. Rauh, R. Gottschalk</i>	58
Ovaler BioReakt – Biogaserzeugung aus biogenen Reststoffen in ovalen Reaktoren mit angepasster Mischtechnik unter Praxisbedingungen <i>K. Jobst, B. Graf</i>	24	BioDYN – Hemmnisanalyse für den dynamisierten Ausbau der Vergärung kommunalen Bioguts in Deutschland <i>M. Kern, W. Sprick, T. Turk, T. Raussen</i>	64
ToxOAb – Optimierung der Feinstaubminderung von Abscheidern für Biomassefeuerungen unter Berücksichtigung der toxikologischen Relevanz mittels mikrobieller Testsysteme <i>D. Büchner, A.-L. Schulze, M. Kaltschmitt, V. Klix, J. H. Kramb, C. Schade</i>	29	Impressum	74
Bio-OPTI – Optimierung der Biogausbeute durch effiziente Erfassung und Verwertung von Küchenabfällen in Deutschland <i>S. Rosenbaum, K. Brockmüller, J. Hudde, M. Orth, D. Wiedow, J. Burgstaler</i>	33		

Editorial



Prof. Dr. Daniela Thrän
Bereichsleiterin Bioenergiesysteme DBFZ
Leiterin des Departments Bioenergie am UFZ
Professur Bioenergiesysteme
an der Universität Leipzig

Liebe Leserinnen und Leser,

die hochwertige energetische Verwertung von Biomasse, insbesondere von Reststoffen für die effiziente Erzeugung von Bioenergie, nimmt eine wichtige Rolle im Ausbau der Erneuerbaren Energien ein. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) fördert aus diesem Grund die Weiterentwicklung der energetischen Biomassenutzung. Vielversprechende Forschungsergebnisse sollen noch schneller in der Praxis umgesetzt werden und damit den Technologie- und Innovationstransfer für eine erfolgreiche Energiewende beschleunigen. Im Fokus stehen vorrangig zukunftsweisende, effiziente und kostengünstige Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung und, seit Neustem auch, im Verkehrsbereich mit Blick auf eine intelligente Systemintegration und Sektorkopplung.



Diana Pfeiffer
Koordination der Programmbegleitung des
BMWi-Förderprogramms
„Energetische Biomassenutzung“

Das Förderprogramm „Energetischen Biomassenutzung“ kann auf eine erfolgreiche Forschungsgeschichte zurückblicken: Initiiert wurde es im Jahr 2008 vom Bundesumweltministerium mit dem Programm „Förderung von Forschung und Entwicklung zur klimaeffizienten Optimierung der energetischen Biomassenutzung“. 2014 wechselte das Programm in den Verantwortungsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Ab September 2018 wird der neue Förderbereich „Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe“ im 7. Energieforschungsprogramm „Innovationen für die Energiewende“ (Abschnitt 4.2.3 Bioenergie) mit rund 10 Mio. Euro jährlich gefördert. Aktuell umfasst er rund 150 Verbundprojekte und vereint über 350 Projektpartner auf einer einzigartigen Forschungsplattform. Zwei neue Einreichungsfristen im März und September 2019 ermöglichen, neue Ideen einzureichen und sich um eine Forschungsförderung zu bewerben.

In dem hier vorliegenden Fokusheft „Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt“ werden die neuesten Ergebnisse der letzten zwei Jahre anschaulich und prägnant dargestellt.

Mit dem Fokusheft stellen wir das Wissen über den Stand der Forschung und insbesondere über die bestehenden Unwägbarkeiten bei der Markteinführung neuer Technologien zusammen.

Konkret werden zum Beispiel Systeme vorgestellt, die Emissionen und Feinstaub an Biomassefeuerungen und Biomassevergasungsanlagen mindern oder vermeiden. Einen erfolgversprechenden Ansatz in der Aufbereitung von Biogas zu Biomethan liefert ein Projekt, das ionische Flüssigkeiten nutzt und damit hohe Energieeinsparungen erzielt. Unter den Beiträgen befindet sich auch ein Biogas-Innovationspreisträger. So ging die Auszeichnung 2017 an das Projekt ManBio (siehe S. 18f), das sich mit der technischen Verbesserung von Systemen zur Gasspeicherung sowie die Einbindung in das Prozessleitsystem einer Biogasanlage beschäftigt hat.

Zwei weitere Projekte liefern detaillierte Analysen zur Biogutnutzung in Deutschland. Es wurden Wege aufgezeigt, wie Haus- und Küchenabfälle einer höherwertigen Verwertung in Biogutvergärungsanlagen zugeführt werden können. Umfangreiche Befragungen von kommunalen Entscheidungsträgern im Abfallmanagement geben Aufschluss über wirtschaftliche und vor allem gesetzgeberische Hemmnisse beim Ausbau der Biogutverwertung.

Von kleinen dezentralen Anlagen bis zur Entsorgungsdienstleistung in der Kommune hat sich Bioenergie als wichtiger Bestandteil in einem 100 % Erneuerbaren Energiesystem etabliert. Diesen Weg gilt es mit neuen Ideen fortzusetzen.

Wir bedanken uns bei den Autorinnen und Autoren sowie den Projektpartnern für Ihre wertvollen Beiträge und beim BMWi für die Förderung einer intelligenten und passgenauen Energieform – der Bioenergie!

Wir wünschen Ihnen eine aufschlussreiche Lektüre!

Daniela Thrän und Diana Pfeiffer

Mario König¹, Mirjam Müller¹, André Pomraenke², Reinhard Zettl³, Dieter Döhling⁴

SCR-Filter



Ziel des Projektes war die Entwicklung eines Verfahrens für die kombinierte Reduktion von Stickoxiden und Feinstaub an Biomassefeuerungen im dezentralen Leistungsbereich. Ferner sollte der Einsatz alternativer nicht-holzartiger Biomassebrennstoffe unter Einhaltung derzeitiger und zukünftiger Grenzwerte ermöglicht werden.

Themenschwerpunkte

- Entwicklung eines Gewebefilters mit katalytisch aktiven Filterschläuchen
- Entwicklung eines Dosiersystems für die Reduktionsmittelzuführung
- Entwicklung einer Gesamtsystem-Regelung für Kessel, Filter und Dosiersystem

FKZ-Nr.	03KB096
Laufzeit	01.09.2014 - 31.12.2016
Zuwendungssumme	343.981 €
Koordination ¹	DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig www.dbfz.de
Partner ²	Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF Sandtorstraße 22, 39106 Magdeburg www.iff.fraunhofer.de
Partner ³	Industrietechnik Barleben GmbH Lindenallee 6, 39179 Barleben www.industrietechnik-barleben.de
Partner ⁴	Dr. Weigel Anlagenbau GmbH Siedlerweg 10, 39124 Magdeburg www.weigel-anlagenbau.de
Kontakt	Mario König Telefon: +49 (0)341 2434 569 E-Mail: mario.koenig@dbfz.de

Demonstration von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Stickoxiden und Feinstaub an Biomassefeuerungen

Zusammenfassung

Es wurde der Prototyp eines Gewebefilters mit katalytisch aktiven Filterschläuchen ausgestattet, welche eine simultane Minderung von Staub und Stickstoffoxiden mittels selektiver katalytischer Reduktion (SCR) ermöglichen. Als Reduktionsmittel wurde AdBlue verwendet, welches auch bei Kraftfahrzeugen zur Stickstoffoxidsminderung eingesetzt wird. Die Ergebnisse der durchgeführten Messungen zeigen, dass mit der SCR-Funktion eine Reduktion der NO_x-Emissionen von mindestens 50 % erreicht werden kann. Mit dem entwickelten Abgasreinigungsverfahren (Abbildung 1) können somit die Grenzwerte für Stickstoffoxide (NO_x) der 1. BImSchV sowie der TA Luft für die untersuchten Brennstoffe eingehalten werden.

Methodik/Maßnahmen:

- Verfahrens- und Patentrecherche (DPMA, DEPATISnet)
- Planung, Auslegung und Aufbau der Systemkomponenten sowie der Systemsteuerung



Mario König
(Projektleiter):

Die Entwicklung des SCR-Verfahrens zielt auf einen verstärkten Einsatz der bisher ungenutzten und in erheblichem Ausmaß vorhandenen Stroh- und Landschaftspflegeheupotenziale in Deutschland ab. Hierfür fehlen bisher geeignete Abgasreinigungsverfahren, welche wirtschaftlich im dezentralen Leistungsbereich eingesetzt werden können.

- Verbrennungsversuche im Technikumsmaßstab an 120 kW Feuerung
- Messung der gasförmigen Emissionen: FTIR (Fourier-Transformations-Infrarotspektrometer)
- Messung der partikelförmigen Emissionen: gravimetrisch gemäß VDI 2066
- Gestehungskostenrechnung nach Methodenhandbuch (Thrän & Pfeiffer 2014)

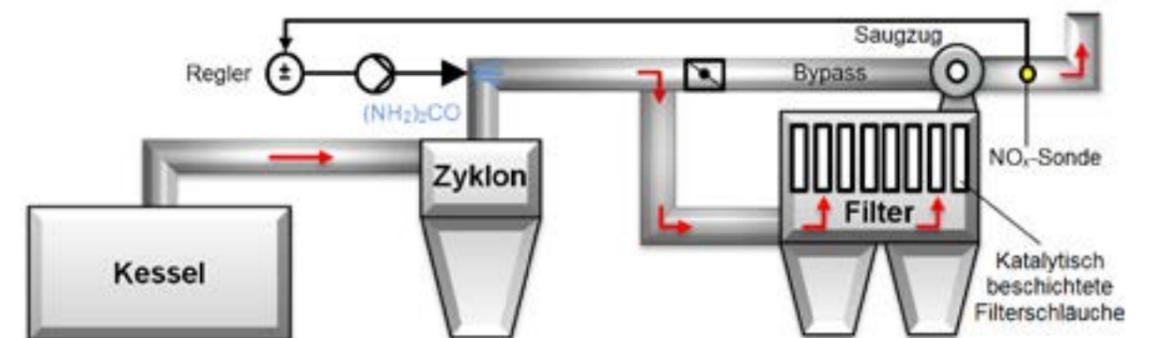


Abbildung 1: Verfahrensschema des SCR-Filters, Quelle: DBFZ

Summary

The prototype of a fabric filter was equipped with catalytically active filter bags, which allow a simultaneous reduction of dust and selective catalytic reduction of nitrogen oxides (SCR). AdBlue was used as reducing agent, which is also applied in vehicles to reduce nitrogen oxide. The results of the measurements show that the SCR function can achieve a reduction in NO_x emissions of at least 50 %. For the investigated fuels the developed exhaust cleaning method enables to comply with existing limit values for nitrogen oxides (NO_x) of the 1st BImSchV (Federal Immission Control Ordinance) and the TA Luft (German Clean Air Act).

Ergebnisse

Ergebnistyp:

- Verfahren: Oberflächenfiltration, selektive katalytische Reduktion (SCR)
- Entwicklung einer Versuchsanlage im Technikummaßstab (120 kW)
- Konzeption und Auslegung von Anlagenteilen / Systemkomponenten: Kessel, Zyklon, Gewebefilter, Dosiereinrichtung für Reduktionsmittel
- Publikationen (siehe S. 10)

Ergebnis A:

Fertigung und Erprobung eines katalytisch aktiven Gewebefilters mit Dosiersystem für ein Reduktionsmittel zur selektiven katalytischen Reduktion von Stickoxiden

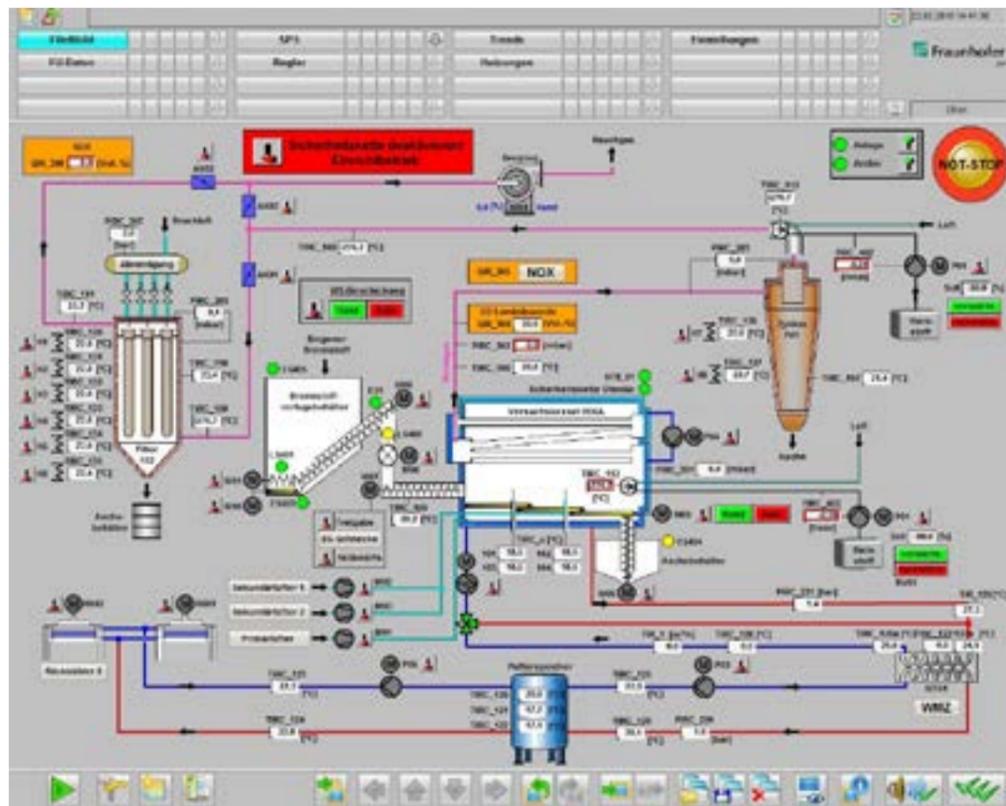


Abbildung 2: Benutzeroberfläche der Anlagensteuerung, Quelle: Fraunhofer IFF

Ergebnis B:

SPS-basierte Prozess-Regelung für Biomassekessel, Staubfilter und Dosiersystem durch Fraunhofer IFF, Prozessüberwachung und -steuerung mittels der Software „Simatic WinCC“ (Abbildung 2)

Ergebnis C:

Auswertung der Verbrennungsversuche, Bestimmung und Darstellung der erreichten Minderungsgrade sowie des Ammoniakschlupfes und der auftretenden Lachgas-Emissionen (Abbildung 3):

- NO_x -Minderungsgrade zwischen 50 und 75 %
- NH_3 -Schlupf $< 30 \text{ mg/Nm}^3$, $\text{N}_2\text{O} < 10 \text{ mg/Nm}^3$ (bez. auf 11 Vol.-% O_2)

Ergebnis D:

Ermittlung des Treibhausgas-Minderungspotenzials:

- 3 Mio. t CO_2 -Äquivalent jährliches Minderungspotenzial
- bei 400 kW Strohfeuerung wird gegenüber fossiler Referenz eine Reduktion der Treibhausgas-Emissionen um 89 % erreicht (mit Berücksichtigung der durch den SCR-Prozess zusätzlich auftretenden Lachgas-Emissionen)

Gestehungskostenrechnung für eine 400 kW Strohfeuerung:

- Treibhausgas-Vermeidungskosten sind negativ
- Geringste Gestehungskosten von 8 Cent/kWh ergeben sich bei einem Heizwerk mit gewerblicher Wärmenutzung, für die Varianten als Zentralheizung mit privater oder gewerblicher Wärmenutzung ergeben sich jeweils 9,7 Cent/kWh Gestehungskosten

Ergebnis E:

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten/ Modellcharakter:

Die Ergebnisse des durchgeführten Projektes sind aus Sicht aller beteiligten Partner positiv und vielversprechend, so dass eine spätere wirtschaftliche Verwertung bzw. Vermarktung des Abgasreinigungsverfahrens realistisch erscheint. Allerdings stehen momentan noch verschiedene technische Probleme einer Vermarktung entgegen. So muss zum einen

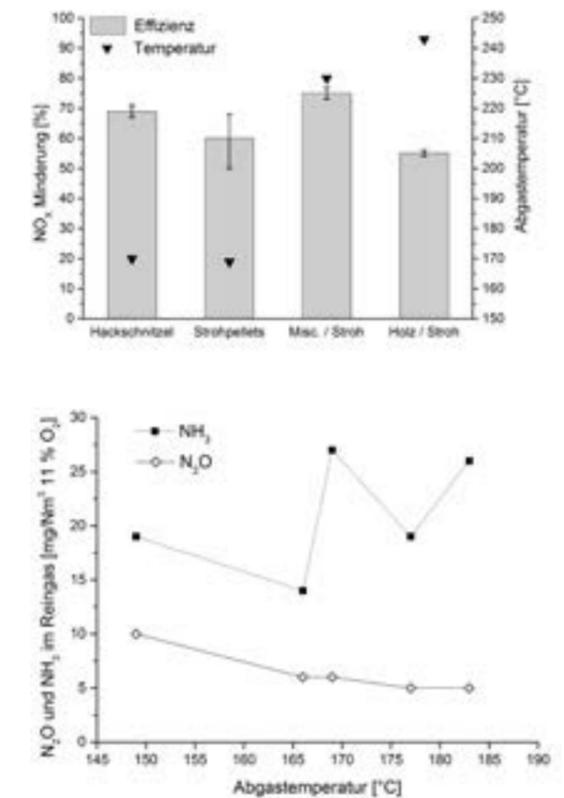


Abbildung 3: NO_x -Minderung sowie NH_3 - und NO_2 -Schlupf, Quelle: DBFZ

der NH_3 -Schlupf deutlich gesenkt werden, ohne die Effizienz der NO_x -Minderung zu beeinträchtigen. Zum anderen müssen der Staubabscheidegrad, die Wartungsfreundlichkeit und der Platzbedarf des Filters optimiert und an den Stand der Technik angepasst werden, um eine Vermarktung des Filters zu ermöglichen.

Herausforderungen

Eine wesentliche Herausforderung ist die Verbesserung von Kontinuität und Präzision der Dosierung des Reduktionsmittels im kleinen Leistungsbereich. Weiterhin muss zum Erreichen eines möglichst geringen Ammoniakschlupfes eine kontinuierliche

Messung der NOx-Konzentration im Reingas erfolgen, damit die zugeführte Reduktionsmittelmenge automatisch in Abhängigkeit des jeweiligen Bedarfes angepasst werden kann.

Ausblick

Die dargestellten Herausforderungen und bestehenden Hemmnisse für eine Markteinführung haben dazu geführt, dass die Projektpartner ein Nachfolgeprojekt im Rahmen des Förderprogrammes „Energetische Biomassenutzung“ gestellt haben. In dem Projekt soll zusätzlich mit weiteren Partnern aus Industrie und Forschung die Möglichkeit einer Precoatierung des

katalytisch aktiven Filters zur Minderung weiterer Schadstoffe wie SO₂, HCl und Dioxine/Furane untersucht werden.

Es wird erwartet, dass die Ergebnisse des Projektes dazu beitragen, ein Abgasreinigungsverfahren zu entwickeln, was wirtschaftlich an kleinen und mittelgroßen Feuerungsanlagen eingesetzt werden kann und die Einhaltung aller Grenzwerte für eine breite Palette an unterschiedlichen Brennstoffen ermöglicht. Zusätzlich wird als ein Teilergebnis eine relativ preiswerte Methode zur kontinuierlichen Messung von NOx-Emissionen zur Verfügung stehen, welches die Möglichkeiten des Monitorings von Stickoxidemissionen aus Feuerungsanlagen erweitert.

Weitere Informationen

- ISI-Publikation:
König, M.; Eisinger, K.; Hartmann, I.; Müller, M. (2018): Combined removal of particulate matter and nitrogen oxides from the exhaust gas of small-scale biomass combustion, *Biomass Conv. Bioref.* 2018. <https://doi.org/10.1007/s13399-018-0303-0>
- Beitrag in Tagungsband:
Matthes, M.*; König, M.; Hartmann, I.: Kombinierte Minderung von Staub und Stickoxiden an Biomassefeuerungen, 8. Abscheider-Fachgespräch: „Partikelabscheider in Biomassefeuerungen“. 8. März 2017, Straubing, S. 116–125.

König, M.*; Matthes, M.; Hartmann, I.: Emission reduction in the energetic utilization of agricultural residues - combined reduction of PM and NOx. In: Tagungsband Waste-to-Resources - 7th International Symposium MBT, MRF & Recycling, 16.-18.05.2017 in Hannover, S. 612–625, Cuvillier Verlag, Göttingen 2017 – ISBN: 978-3-7369-9533-8.
- Beitrag im DBFZ-Jahresbericht 2015:
König, M.: Demonstration von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Stickoxiden und Feinstaub an Biomassefeuerungen, DBFZ Leipzig – ISBN: 978-3-9817707-5-9
- Endbericht des Projektes abrufbar unter:
<https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/scr-filter-446/>

Katharina Bär¹, Abdessamad Saidi¹, Christoph Trinkl¹, Wilfried Zörner¹

FlexFuture



© Institut für neue Energie-Systeme (InES)

Das übergeordnete Ziel des Vorhabens bestand in der Verringerung der Verteilnetzbelastung als Alternative zu Netzausbau und Stromspeichern in Verteilnetzen mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger. Im Fokus stand dabei die Entwicklung einer übertragbaren Steuerung zur automatisierten, verteilnetzorientierten Fahrplangestaltung für Biogasanlagen.

Themenschwerpunkte:

- Bedarfsgerechte Stromerzeugung mit Biogasanlagen zur Verteilnetzlastung
- Strommarkt-, wärmebedarfs- und verteilnetzorientierte Steuerung von Biogasanlagen
- Simulationsbasierte Erstellung von Fahrplänen für Biogasanlagen unter Nutzung mathematischer Optimierungsverfahren
- Monitoring der Demonstrationsanlage Biogasanlage Zellerfeld und Verifizierung der Steuerungsfunktionen im Realbetrieb

FKZ-Nr.	03KB102
Laufzeit	01.12.2014 - 28.02.2017
Zuwendungssumme	217.728 €
Koordination¹	Technische Hochschule Ingolstadt Institut für neue Energie-Systeme Esplanade 10, 85049 Ingolstadt www.thi.de/go/energie
Partner²	BURGHART GmbH & Co. KG Steuerungstechnik Mühldorfer Straße 64, 84419 Schwindegg www.elektro-burghart.de
Partner³	UTS Products GmbH Oestinghausener Straße 12, 59510 Lippetal www.uts-products.com
Partner⁴	Prolignis Energie Consulting GmbH Friedrichshofener Straße 1, 85049 Ingolstadt www.prolignis.de
Partner⁵	LEW Verteilnetz GmbH Schaezlerstraße 3, 86150 Augsburg www.lew-verteilnetz.de
Partner⁶	Lechwerke AG Schaezlerstraße 3, 86150 Augsburg www.lew.de
Partner⁷	Biogas Zellerfeld GmbH & Co. KG Hauptstraße 5, 86492 Egling a. d. Paar
Kontakt	Prof. Dr.-Ing. Wilfried Zörner Telefon: +49 (0) 8419348-2270 E-Mail: wilfried.zoerner@thi.de

Integration von Biogasanlagen in Netze mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger

Summary

With the expansion of renewable but variable power generation from wind and solar energy, the demand for advanced energy system management is increasing. To ensure grid stability, controllable energy suppliers are required. Apart from solid biomass, biogas represents an energy source, which shows high storage capacities among the renewable energies. The expansion of technical and economic potential of controllable demand-oriented power production via biogas plants is a promising approach to enable grid stability in future energy systems. Within the research project, control strategies and schedules for combined heat and power (CHP) units of biogas plants were generated using mixed-integer linear programming and aiming at controllable electricity production via biogas plants. The scheduling for biogas plants was designed to respond to fluctuations in photovoltaic power feed-in and maximise the return of the biogas plant operator. Special focus was set on the interactive operation of biogas-based CHP units with photovoltaic power plants at one grid connection point. The total efficiency of biogas plants was optimised considering the heat supply for internal heat demand (biogas plant) and external heat demand (district heating system). The schedules were implemented into the control unit of an existing biogas plant and verified using a monitoring system.

Zusammenfassung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde eine Steuerung zur Ertragssteigerung bei gleichzeitiger Erhöhung der Netzdienlichkeit einer flexibel betriebenen Biogasanlage entwickelt. Dazu wurden Steuerungskonzepte erarbeitet, die einen Ausgleich der fluktuierenden Einspeisung von Photovoltaik-Anlagen ermöglichen. Um die Gesamteffizienz einer netzdienlichen, flexiblen Betriebsweise von Biogasanlagen zu gewährleisten, wurde die flexible Betriebs-

weise mit einer möglichst vollständigen Wärmenutzung über ein Nahwärmenetz realisiert. Es konnte nachgewiesen werden, dass die flexible Stromproduktion mit Biogasanlagen eine kostenoptimierte Auslastung und Betriebsweise der angrenzenden Verteilnetze ermöglicht und dadurch eine ergänzende Maßnahme zum Ausbau der Stromnetze im Sinne der verstärkten Integration und Nutzung Erneuerbarer Energien-Anlagen darstellen kann.

Methodik/Maßnahmen:

- Entwicklung einer Biogasanlagensteuerung mit automatisierter Fahrplangestaltung
- Implementierung einer gemischt-ganzzahligen Optimierung für den flexiblen Betrieb der Biogas-Blockheizkraftwerke (Biogas-BHKW) unter Wärme- und Stromerzeugungsaspekten
- Analyse des Potenzials einer an die regionale Photovoltaik-Einspeisung angepassten flexiblen Stromerzeugung durch Biogasanlagen im Verteilnetz
- Simulation der Möglichkeiten zum Netzengpassmanagement durch Biogasanlagen
- Entwicklung von Wärmenutzungskonzepten zur Steigerung der Gesamteffizienz einer netzgetriebenen flexiblen Betriebsweise von Biogasanlagen
- Implementierung und messtechnische Analyse der optimierten Betriebsweise an der Demonstrationsbiogasanlage Biogasanlage Zellerfeld mit der entwickelten Steuerung im Realbetrieb



Wilfried Zörner
(Projektleiter):

Die passgenaue Integration von Biogasanlagen in die lokalen Stromnetze und die bestmögliche Ergänzung nicht-regelbarer regenerativer Energieerzeuger ist eine wachsende Herausforderung im Zuge der Energiewende.

Das Potenzial einer entsprechenden Anlagensteuerung für die Entlastung von Verteilnetzen ist beachtlich und konnte im Realbetrieb jetzt aufgezeigt werden.



Abbildung 1: Biogasanlage Zellerfeld (Egling an der Paar), Quelle: InES

Ergebnisse

Ergebnistyp:

- Anlagenkonzept
- Machbarkeitsstudie
- Demonstrationsanlage / Nachrüstung Bestandsanlage
- Modell / Modellierung
- Szenarientwicklung
- Monitoring
- Publikationen (siehe S. 17)

Ergebnis-Fakten

Im Zuge des hohen Zubaus regenerativer Stromerzeuger ist zukünftig zunehmend mit dem Auftreten von Engpässen in den Verteilnetzen zu rechnen. Einen vielversprechenden Ansatz, diesen Herausforderungen zu begegnen, stellen der Lastausgleich und die Kappung von Lastspitzen auf lokaler Ebene dar. Dabei bietet insbesondere die regelbare dezentrale Stromerzeugung durch Biogasanlagen die Möglichkeit, den Transport größerer Strommengen aus Erneuerbare Energien-Anlagen mit geringen Zusatzinvestitionen und Energieverlusten unter Vermeidung von Spitzenstromkappungen zu gewährleisten.

Eine flexible Betriebsweise von Biogasanlagen kann durch die Implementierung zusätzlicher Stromerzeugungskapazitäten, beispielsweise durch Installation weiterer Biogas-BHKW-Leistung und entsprechend dimensionierter Biogasspeicher, erfolgen. Bei gleicher Stromerzeugungsmenge der Biogasanlage kann so die bereitgestellte Leistung der Biogas-BHKW variiert werden.

Durch eine entsprechende Anlagensteuerung können flexible Biogasanlagen an die Strommarktpreise und die Bedürfnisse des Verteilnetzes angepasst werden und dadurch im Sinne des Verteilnetzes betrieben werden. Ein flexibler Betrieb von Biogasanlagen bedeutet hierbei, dass im Fall einer hohen PV-Anlagen-Einspeiseleistung die Biogas-BHKW heruntergefahren werden. In Zeiträumen geringer solarer Einstrahlung kann wiederum eine Erhöhung der Leistung der Biogas-BHKW realisiert werden.

Vor diesem Hintergrund sind im Rahmen der Projektbearbeitung verteilnetzorientierte Fahrpläne und eine Steuerung für Biogasanlagen zur Vermeidung lokaler Netzüberlastung entwickelt worden.

Als wesentliche Eingangsparameter berücksichtigt die Steuerung die Kapazität des verfügbaren Biogasspeichers, die Einspeisung aus Photovoltaik-Anlagen (PV-Anlagen) in das lokale Netz sowie die Preise der europäischen Strombörse EPEX SPOT SE. Je nach Konstellation dieser Einflussgrößen kann das Biogas-BHKW auf Zeiten geringer Einspeisung aus PV-Anlagen und/oder hoher Strompreise mit einer Lasterhöhung reagieren. Der Umkehrschluss gilt für Zeiten hoher PV-Einspeisung und/oder niedriger Börsen-Strompreise.

1. Biogasanlage Zellerfeld

Ein Beispiel für die gelungene Umsetzung einer flexiblen, bedarfsorientiert betriebenen Stromerzeugung stellt seit Frühjahr 2014 die Biogasanlage Zellerfeld in Egling an der Paar dar (Abbildung 1). Zur Validierung der erstellten Fahrpläne und Steuerungsalgorithmen im Realbetrieb wurde ein Monitoring-System für den bedarfsorientierten Anlagenbetrieb an der Biogasanlage Zellerfeld installiert.

Am Netzverknüpfungspunkt (NVP) Zellerfeld sind die Biogasanlage mit einer maximalen Einspeiseleistung der Biogas-BHKW von 1.438 kW_{el} und die PV-Freiflächenanlage Wolfsgrube mit einer an den Wechselrichtern auf 5.000 kW_{el} begrenzten Einspeiseleistung angeschlossen. Insgesamt sind somit am NVP regenerative Einspeiseanlagen mit insgesamt maximal 6.438 kW_{el} installiert. Der gemeinsame NVP am Mittelspannungs-Verteilnetz der Biogasanlage Zellerfeld und der PV-Anlage Wolfsgrube ist wech-

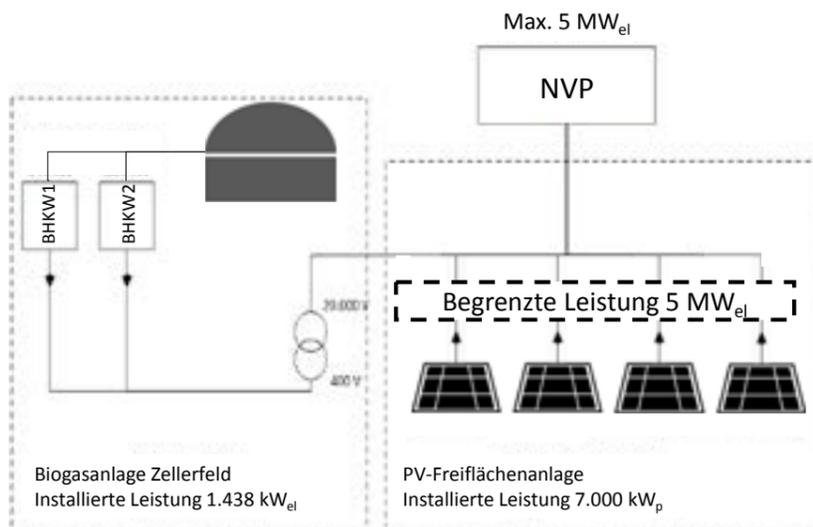


Abbildung 2: Anschluss der einzelnen Erzeuger am NVP der Biogasanlage Zellerfeld, Quelle: InES

selbstständig für eine maximale Einspeiseleistung (Leistungsschaltergrenze) von 5.000 kW_{el} ausgelegt (Abbildung 2).

Bei hoher solarer Einstrahlung übersteigt die Gesamtstromerzeugung (6.348 kW_{el}) die Leistungsschaltergrenze (5.000 kW_{el}) am NVP, wodurch der Überstromschutz aktiviert und sämtliche Stromerzeuger am NVP vom Stromnetz getrennt werden (Abbildung 3).

Im Zuge des Projekts wurden deshalb verschiedene Varianten zur Begrenzung der Gesamtleistung mittels flexibler Stromproduktion der Biogasanlage Zellerfeld bei hoher solarer Einstrahlung analysiert.

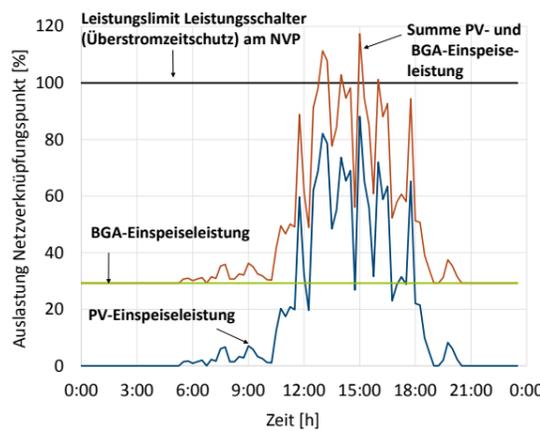


Abbildung 3: Beispielhafte Auslastung am NVP der Biogasanlage Zellerfeld ohne optimierten Fahrplan (25.06.2017), Quelle: InES

2. Strommarkt-, wärmebedarfs- und verteilnetzorientierte Steuerung der Biogasanlage

Um eine möglichst hohe regenerative Stromerzeugung sicherzustellen und gleichzeitig die Begrenzung der Maximalleistung am NVP einzuhalten, wurde mittels gemischt-ganzzahliger Optimierung eine automatisierte, mathematische Optimierung in der Steuerung der Biogasanlage Zellerfeld implementiert. Das übergeordnete Optimierungsziel besteht dabei in der Ertragsmaximierung für den Biogasanlagen-Betreiber. Bei der Fahrplanerstellung werden somit unter Berücksichtigung der tagesaktuell maximal möglichen PV-Einspeiseleistung 32-Stunden-Fahrpläne für Biogasanlagen generiert. Die Optimierung berücksichtigt zudem den tagesaktuellen Strompreis der europäischen Strombörse EPEX SPOT SE, tagesaktuelle Wetter- und Einstrahlungsprognosen sowie den aktuellen Speicherfüllstand der Biogasanlage. Nebenbedingungen bzw. einschränkende Aspekte für die entwickelte Optimierung werden durch die Leistungsfähigkeit der Biogas-BHKW sowie den internen (Biogasanlage) und externen (Nahwärme-netz) Wärmebedarf definiert. Die Rahmenbedingungen eines angrenzenden Verteilnetzes mit einem hohen Anteil fluktuierender Energieerzeuger werden ebenfalls berücksichtigt. Die Berücksichtigung der in Abbildung 4 zusammengefassten Einflussgrößen ermöglicht somit einen netzdienlichen Biogas-BHKW-Betrieb bei gleichzeitiger Umsatzmaximierung.

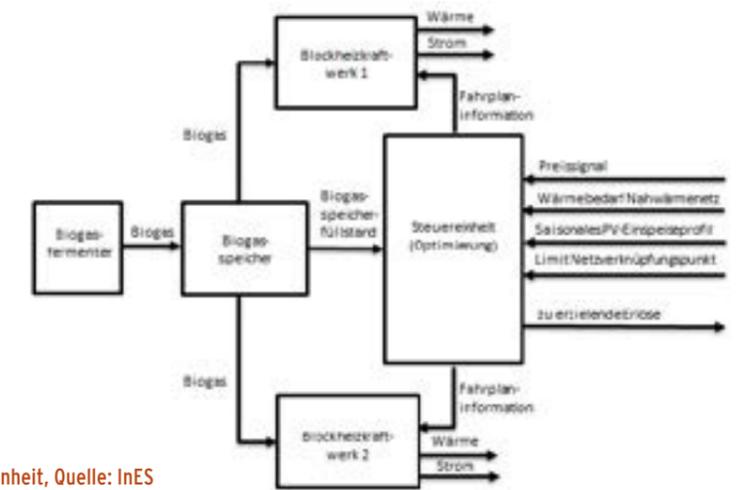


Abbildung 4: Funktionsprinzip der Steuereinheit, Quelle: InES

Mit der entwickelten Biogasanlagensteuerung können strommarkt-, wärmebedarfs- sowie verteilnetzorientierte Fahrpläne erstellt werden. Die simultane Berücksichtigung der optimierten Strom- und Wärmeerzeugung im laufenden Anlagenbetrieb erhöht die Gesamteffizienz der Biogasanlage.

3. Monitoring der Demonstrationsanlage und Verifizierung der Steuerungsfunktionen im Realbetrieb

Im Sinne einer umfassenden Datenerfassung zur Validierung der entwickelten Steuerung wurde ein umfangreiches Anlagen-Monitoring-System an der Biogasanlage Zellerfeld installiert (Abbildung 5).

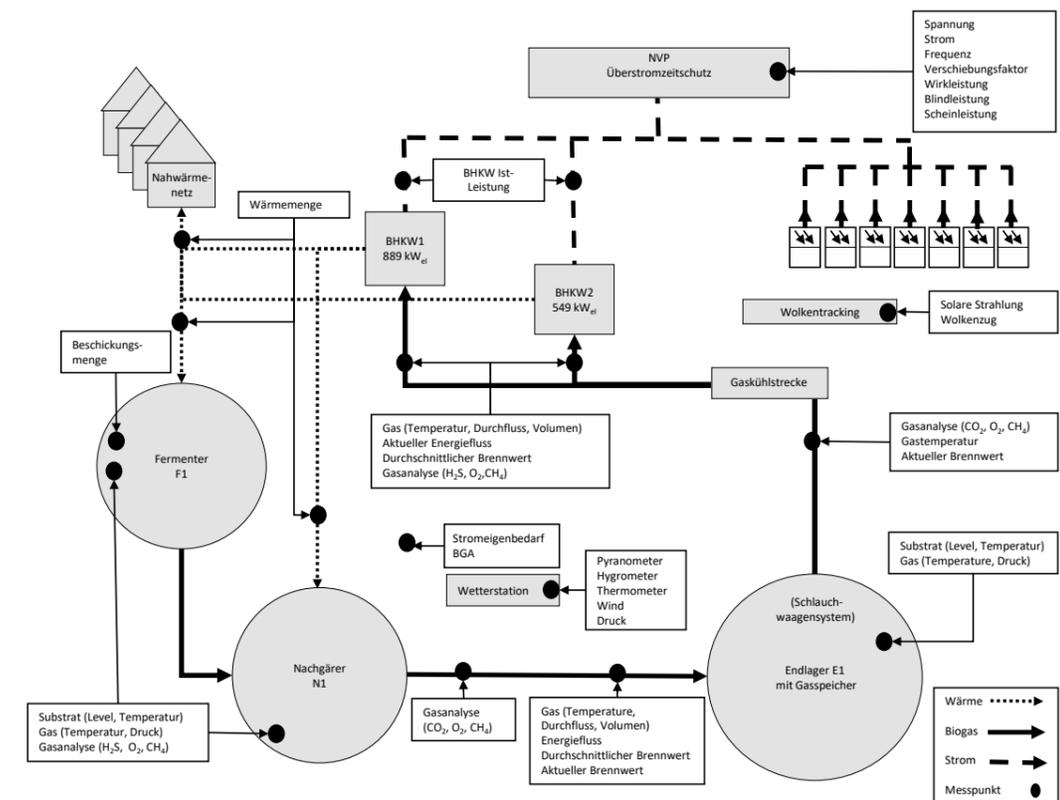


Abbildung 5: Tatsächlicher Anlagenbetrieb am NVP der Biogasanlage Zellerfeld mit optimiertem Fahrplan (25.06.2017), Quelle: InES

Neben der Bilanzierung der Wärmemengen wird zur energetischen Erfassung des Biogasspeichers unter anderem die Zusammensetzung des ein- und austretenden Biogasstroms analysiert. Um eine Normierung des Biogasspeicherinhalts vorzunehmen, werden zusätzlich zur eigentlichen Biogasspeicher-Füllstandmessung die Umgebungsbedingungen messtechnisch erfasst.

Zur Validierung der entwickelten Fahrpläne ermöglicht das Monitoring-System einen Abgleich zwischen der berechneten und tatsächlich eingespeisten Leistung der Biogas-BHKW.

4. Entlastung des Netzverknüpfungspunktes durch flexible Biogasanlagen

Mit dem Anlagen-Monitoring im Realbetrieb konnte nachgewiesen werden, dass durch den flexiblen Betrieb der Biogasanlage Zellerfeld auf Basis der entwickelten Steuerung auf lokaler Ebene Einspeiseprofile geglättet und Netzengpässe vermieden werden können.

Die Biogasanlage reagiert erfolgreich auf den erwarteten Einspeiseverlauf der am gleichen NVP angeschlossenen PV-Anlagen. Durch die flexible, an die mögliche lokale PV-Anlagen-Erzeugung gekoppelte Betriebsweise der Biogasanlage können Einspeisespitzen im Netz gekappt und hin zu Zeiten geringerer Netzauslastung verschoben werden (Abbildung 6). Die optimale, räumliche und zeitliche Auslastung der Netze kann dadurch verbessert und der Investitionsbedarf in den Netzausbau auf Verteilnetzebene potenziell verringert werden.

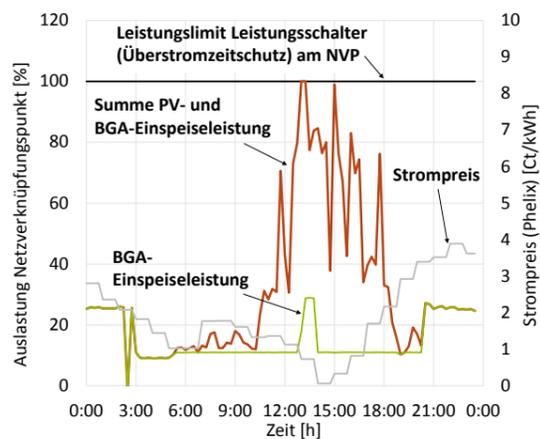


Abbildung 6: Anlagen-Monitoring-System an der Biogasanlage Zellerfeld, Quelle: InES

Die flexible Stromerzeugung unter Berücksichtigung der Bedürfnisse des angrenzenden Verteilnetzes ermöglicht eine optimale Auslastung des Netzverknüpfungspunktes.

Herausforderungen

Eine wesentliche Herausforderung bei der Steuerung von flexiblen Biogasanlagen besteht in den zahlreichen Einflussgrößen auf die optimierte Fahrplanerstellung. Die Lösung des Optimierungsproblems unter den gegebenen Nebenbedingungen erfordert deshalb einen hohen Rechenaufwand.

Zudem ist die Bereitstellung von Eingangsdaten, wie Gasspeicherfüllstand und PV-Leistung, mit hohem technischen Kommunikations- und Vernetzungsaufwand verbunden und mit Unsicherheiten behaftet. Eine zielführende Prognose der Netzeinspeisung fluktuierender, witterungsabhängiger Erzeuger stellt eine zusätzliche Erschwernis dar. Zudem genügt die Dynamik der Leistungsgradienten eines Biogas-BHKW nicht, um auf die hohen zeitlichen Einspeisegradienten der PV-Anlagen adäquat zu reagieren. Gegenwärtig bestehen keine finanziellen Anreize für Anlagenbetreiber zur Flexibilisierung von Biogasanlagen im Hinblick auf deren Netzdienlichkeit. Prämiensysteme für einen netzdienlichen Betrieb können hierbei entsprechende Anreize schaffen. Zudem gilt es, durch erfolgreiche reale Umsetzungen der Flexibilisierung die Akzeptanz und das Vertrauen der Anlagenbetreiber in die automatisiert erstellten Fahrpläne zu stärken. Ein wesentlicher Beitrag dazu wurde im Rahmen des Vorhabens geleistet.

Ausblick

Die entwickelte Steuerung und die umgesetzten Optimierungsmaßnahmen lassen sich auf andere Biogasanlagen übertragen und dienen somit als Grundlage für eine flächendeckende Umsetzung des flexiblen, bedarfsorientierten Betriebs an bestehenden und zukünftigen Biogasanlagen. Die Möglichkeit der temporären Reduktion der Biogasanlagen-Leistung in Zeiten hoher solarer Einstrahlung erlaubt die Installation höherer PV-Leistungen, ohne dass Netzkapazitäten durch zusätzliche Investitionen erweitert werden müssen.

Aufbauend auf der im vorliegenden Projekt entwickelten Steuerung besteht, zukunftsgerichtet, zusätzliches Innovationspotenzial in der Entwicklung einer selbstlernenden Steuerung für Biogasanlagen zur Vermeidung kurzfristiger tageszeitlich auftretender Netzüberlastung im Verteilnetz. Es besteht die Möglichkeit der Entwicklung einer Biogasanlagen-Steuerung, die lokale Bedürfnisse des Verteilnetzes mit hohem Anteil fluktuierender Energieerzeuger in Echtzeit in den Fokus der vorausschauenden Fahrplanerstellung rückt. Dazu ist zum Ausgleich der Netzkapazitäten als nächster Entwicklungsschritt eine detaillierte und sekundengenaue, lokale Vorhersage der PV-Einspeiseleistung über Wolkentracking vorgesehen.

Diese Vorhersagen sollen als Eingangsparameter zur Entwicklung einer selbstlernenden, automatisch reagierenden Biogasanlagen-Steuerung mit Steuerungsintervallen im Sekundenbereich zur Vermeidung kurzfristiger, tageszeitlich auftretender Überlastungen im Verteilnetz herangezogen werden. Dadurch können die bereits erarbeiteten Regelungsstrategien, unter Berücksichtigung der Anreize aus der europäischen Strombörse und der Bereitstellung von Regelernergie und stromnetzrelevanten Dienstleistungen, weiter optimiert werden.

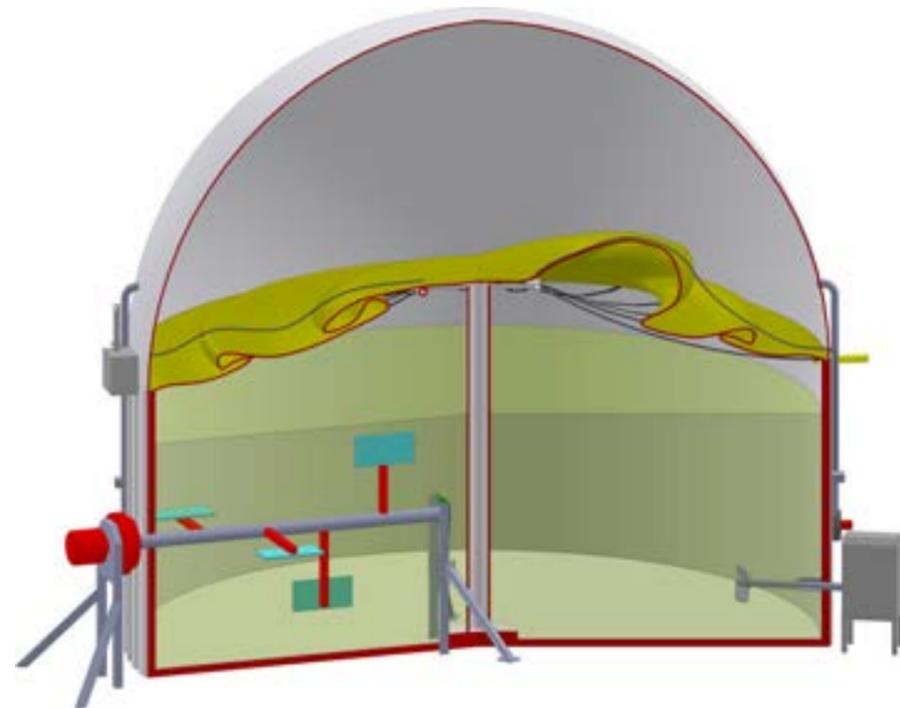
Publikationen

- Bär, K. M.; Häring, G.; Hüneke, M.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2016): Optimised Electricity Production by Biogas Plants. In: iSEneC2016: Integration of Sustainable Energy Conference. Nürnberg.
- Bär, K. M.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2016): Concepts for Optimized Electricity Production via Biogas Plants. In: European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE) (Hg.): 24th European Biomass Conference. Amsterdam.
- Bär, K. M.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2017a): Controllable Electricity Production via Biogas Plants in Electricity Grids with a high Share of Variable Renewable Energies. In: E-world energy & water GmbH (Hg.): SmartER Europe Conference. Essen.
- Bär, K.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2017b): Optimization of the scheduling of biogas plants in electricity grids with a high share of variable power producers. In: Department of Business and Management Science. Norwegian School of Economics. Bergen (Hg.): Bergen Economics of Energy and Environment Research Conference BEEER 2017. Bergen.
- Bär, K. M.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2017c): Electricity Production via Biogas Plants in electricity grids with a high share of installed variable power producers. In: European Biomass Conference and Exhibition (EUBCE) (Hg.): 25th European Biomass Conference. Stockholm.
- Bär, K.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2017d): Optimierung der Betriebsweise von Biogasanlagen in Netzen mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger. In: VDI Wissensforum GmbH (Hg.): VDI-Tagung Optimierung in der Energiewirtschaft. Würzburg.
- Bär, K.; Sonnleitner, M.; Zörner, W. (2017e): FlexFuture – Integration von Biogasanlagen in Netze mit hohem Anteil fluktuierender Stromerzeuger. In: Energetische Biomassenutzung (Hg.): 7. Statuskonferenz des Förderprogramms „Energetische Biomassenutzung“. Leipzig.
- Häring, G.; Sonnleitner, M.; Bär, K. M.; Brown, N.; Zörner, W. (2017): Demonstration of Controllable Electricity Production via Biogas Plants. In: *Chem. Eng. Technol.* 40.

Weitere Informationen

- Endbericht: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/flexfuture-458/>

ManBio



© DBFZ

Im Vorhaben lag ein Schwerpunkt auf der höheren Ausschöpfung der Netto-Gasspeicherkapazität und auf einer präziseren zeitlichen Steuerung der flexiblen Energiebereitstellung. Es wurden umfangreiche Maßnahmen zur Verbesserung der Gasspeichernutzung erarbeitet.

Ein weiteres Ziel war die Entwicklung eines integrierten Systems zur Kopplung der Gasspeicher mit der Gasproduktion und den nachgeschalteten Konversionsaggregaten, u.a. durch die Unterstützung einer modellgestützten Gasspeicherfüllstandprognose. Durch diese Maßnahmen soll eine Minimierung von Biogasverlusten erzielt sowie angepasste Entnahmestrategien entwickelt werden.

Themenschwerpunkte

- Untersuchung zu Gasspeicherverhalten mit Stützluftsystem in verschiedenen Betriebszuständen
- Ermittlung der Nettogasspeicherkapazität
- Untersuchung von zwei Gasspeicherfüllstandmesssystemen bzgl. Änderungs- und Anzeigeverhalten

- Modellierung des Gasspeichers zur Erstellung einer Füllstandprognose
- Vermeidung betriebsbedingter Emissionen

FKZ-Nr.	03KB094
Laufzeit	01.09.2014 - 28.02.2017
Zuwendungssumme	231.555 €
Koordination ¹	DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig www.dbfz.de
Partner ²	Awite Bioenergie GmbH Grünseiboldsdorfer Weg 5, 85416 Langenbach www.awite.de
Kontakt	Mathias Stur Telefon: +49 (0)341 2434 527 E-Mail: mathias.stur@dbfz.de

Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gasmanagements von Biogasanlagen

Zusammenfassung

Es kann festgehalten werden, dass die Optimierung des Gasmanagements in Biogasanlagen die wesentliche Voraussetzung für die Vermeidung von unerwünschten Biogasverlusten aus Über-/Unterdrucksicherungen (ÜUDS) von Gasspeichern ist. Die Analyse der technischen Gegebenheiten, eine individuelle Bestandsaufnahme des Anlagenbetriebes und die Ableitung geeigneter Maßnahmen, bspw. in Form eines angepassten Betriebsregimes (Gasspeicherfüllstand nicht über 80 % betreiben, zum Ausgleich von Gasvolumenschwankungen bspw. hervorgerufen durch Witterungseinflüsse und der damit verbundenen Vermeidung von Biogasverlusten) können bereits ohne Zuhilfenahme von Zusatzkomponenten Verbesserungen des Gasmanagements ermöglichen.

In Abhängigkeit der vorhandenen Anlagenausstattung kann in einer folgenden Stufe durch Erweiterung der technischen Ausstattung der Anlage, z. B. durch Einbindung von Messtechnik oder Gasspeicherkomponenten wie einem frequenzgeregelten Stützluftgebläse, eine optimale Verfügbarkeit der vorhandenen Speicherkapazität bei einem möglichst geringen Maß an Biogas-Emissionen erreicht werden.

In einem weiteren Schritt kann der Füllstand der Gasspeicher auf Basis eines Modelles unter Einbindung der Biogasproduktion, Temperatur und Druck im Gasspeicher, Witterungsbedingungen und Gasverwertung präzise prognostiziert und somit vorausschauend über eine in Menge und Zusammensetzung gezielte Substratzugabe geregelt werden.

Methodik/Maßnahmen

- Die Grundlagen für ein emissionsarmes und betriebssicheres Gasspeichermanagement wurden in einer technischen Analyse der gebräuchlichen Systeme und wesentlicher Einflussfaktoren im Betrieb von Gasspeichersystemen geschaffen.
- Darauf aufbauend wurden Messsysteme modifiziert, die Einflussgrößen in einem Modell abgebildet und die Integration in die Anlagenautomatisierung vorgenommen.



Mathias Stur
(Projektleiter):

Das DBFZ erwartet, mit dem Vorhaben die weit verbreitete und nicht zielführende Einstellung von Praktikern, Anlagenbetreibern resp. -fahrern, dass ein stets voller Gasspeicher ein guter Gasspeicher wäre, mit fachlich schlüssigen Argumenten in Richtungen zu lenken, die für alle vorteilhaft sind. Somit sind durch sehr einfache betriebliche Maßnahmen ohne zusätzliche finanzielle Investitionen bereits Biogasverluste vermeidbar - mit Vorteilen in ökologischer wie ökonomischer Hinsicht.

- Die technische Umsetzung und Erprobung im Dauerbetrieb wurde an einem Fermenter der Forschungsbiogasanlage des DBFZ und einer weiteren Biogasanlage, die durch den Projektpartner (Fa. Awite Bioenergie GmbH) betreut wurde, durchgeführt.

Ergebnisse

- Publikationen: EUWID, Biogas Journal, Tagungsbeiträge beim 10. Biogas Innovationskongress 2017 in Osnabrück, der 11. Biogastagung Dresden und der 47. Biogas Fachtagung Thüringen in Alach/Erfurt
- Auszeichnungen: Biogas-Innovationspreis 2017
- Anlage: Nachrüstung einer Bestandsanlage (Umrüstung auf Praxisanlage durch Projektergebnisse und Empfehlung)
- Daten und Methoden: Modell zur Gasspeicherfüllstandprognose, Methode zur Volumenermittlung von Gasspeichersystemen

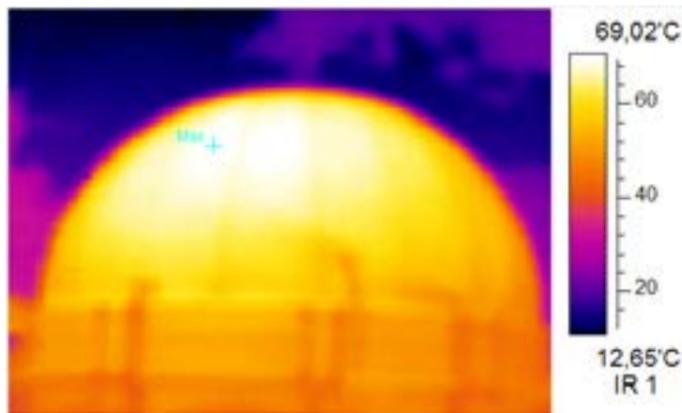


Abbildung 1: Wärmebildaufnahme des Gasspeicherdachs

Ergebnis-Fakten

Auswirkungen der Witterung auf den Gasspeicher

Es wurde bei den Untersuchungen des betrachteten Gasspeichersystems mit der integrierten, pneumatisch vorgespannten, zweischaligen Membrangasspeichersystem-Ausführung Witterungseinflüsse mit

Summary

It can be noted that the improvement of gas management is the essential precondition to prevent biogas losses from the pressure relieve valve of gas storages. Without using additional components, improvements of the gas management can be already provided by the analysis of technical conditions, by recording the individual status quo of plant operation, and by deducing appropriate measurements such as an adjusted operation system (gas storage filling level should not exceed 75 % to balance gas volume fluctuations, which are potentially caused by climatic influences, and to avoid the consequential biogas losses).

Depending on the respective plant features, an optimal availability of the existing storage capacity in combination with biogas emissions as low as possible, can be achieved in a subsequent step by extending the technical plant features (e.g. by including measuring technique or gas storage components such as a frequency-controlled inflation air compressor). In a further step, the filling level of the gas storage can be precisely forecasted and thus predictively controlled on the basis of a model by integrating biogas production, temperature and pressure in the gas storage, as well as climatic conditions and gas utilisation.

signifikanten Auswirkungen auf den Gasspeicherzustand aufgezeigt. Als Beispiel kann es bei einem falschen Betrieb des Gasspeichersystems, insbesondere mit einem zu hohen Füllstand (>80 %), und einer Erhöhung der Temperatur durch den Sonnenaufgang zu einem ungewollten Überdruckereignis im Gasspeicher führen, dass mit dem Auslösen der Über-/Unterdrucksicherung und dem Abblasen von Biogas verbunden ist.

An einem Berechnungsbeispiel wurde gezeigt, dass bei einer Temperaturänderung von ca. 30 K im Gasspeicherinnenraum während des Verlaufes eines Sommertages eine Reduzierung der Nettogasspeicherkapazität um ca. 20 % erreicht wird. Bei Temperaturmessungen auf der Außenseite der außenliegenden, hellgrauen Schutzmembran des Gasspeicherdaches der Forschungsbiogasanlage (FBGA) wurden im Sommer bei direkter Sonneneinstrahlung Oberflächentemperaturen bis ca. 68 °C ermittelt, die folglich auch zu entsprechenden Temperaturanstiegen im Inneren des Gasspeichers führen können (vgl. Abb. 1).

Gasfüllstandsmesssysteme auf dem Prüfstand

Des Weiteren konnten bei den beiden am weitesten verbreiteten Gasspeicherfüllstandmesssystemen Grenzen der Nutzbarkeit bezogen auf das Anzeigeverhalten mit einer verzögerten Detektion im unteren Füllstandbereich ermittelt werden. Bei den Untersuchungen am Gasspeichersystem wurden relevante Prozessparameter während des Betriebes, insbesondere bei der Befüllung und Entleerung des Speichers, aufgezeichnet und in einem Diagramm (siehe Abb. 2) als Gasspeicherkenlinie dargestellt. Dabei sind die Totzonen der Füllstandmesssysteme zu Beginn der Befüllung und am Ende der Entleerung des Gasspeichers zu erkennen.

Darstellung Kennlinie eines integrierten, pneumatisch vorgespannten, zweischaligen Membrangasspeichers; blau - Gasspeicherinnendruck, rot - Biogasvolumenstromsensor Eingang, bordeauxrot - Biogasvolumenstromsensor Ausgang, grün - Seilzugmessverfahren für Gasspeicherfüllstand, gelb - hydrostatisches Druckmessverfahren 1 für Gasspeicherfüllstand, beige - hydrostatisches Druckmessverfahren 2 für Gasspeicherfüllstand

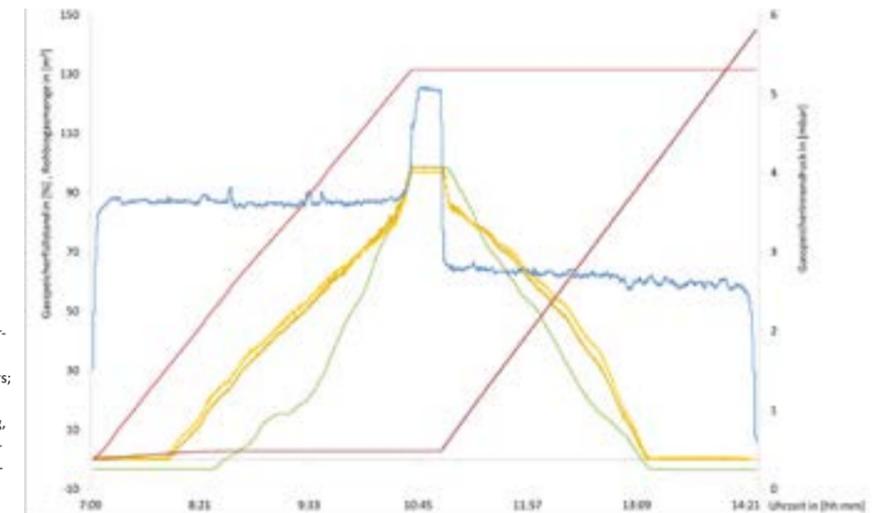


Abbildung 2: Darstellung der Kennlinie eines integrierten, pneumatisch vorgespannten, zweischaligen Membrangasspeichers

Modellgestützte Prognose

Im Rahmen der Untersuchungen zur modellgestützten Gasspeicherfüllstandprognose wurde eine gute Übereinstimmung der berechneten Biogastemperatur anhand der verfügbaren Wetterdaten gegenüber der gemessenen Temperatur erreicht. Damit können die realen Füllstandmessdaten und Kapazitätsangaben mit den voraussichtlichen witterungsbedingt verfügbaren Speichervolumen (basierend auf Wetterprognosen) abgeglichen und entsprechend als Kontrollmöglichkeit des Biogasspeichersystems genutzt werden.

Robuste Messverfahren

Es konnten wertvolle Praxiserfahrungen zu den technischen Maßnahmen an der FBGA sowie an der Praxisbiogasanlage gewonnen werden und in eine Bewertung einfließen. Dabei konnte bspw. eine robustere Wirkungsweise des hydrostatischen Druckmessverfahrens im Vergleich zum Seilzugverfahren bei der Messung des Gasspeicherfüllstandes sowie eine unzureichende Eignung des Gasspeicherinnendruckmessverfahrens bei pneumatisch vorgespannten integrierten zweischaligen Membrangasspeichern dargestellt werden.

Robuste Messverfahren

Biogasanlagen, die aufgrund ihrer Ausstattung dazu geeignet sind mit einem Gasspeicherfüllstandmesssystem ausgestattet zu werden, produzieren geschätzt ca. 67 TWh Biogas im Jahr (Betreiberbefragung DBFZ/ Referenzjahr 2015). Daraus ergeben sich zwischen 4 Mio. und 187 Mio. m³ Methan, die bei Unterstellung einer Emissionsbandbreite von 0,06 bis

3,88 % über die Über-/Unterdrucksicherung (ÜUDS; diese Bandbreite beinhaltet den häufig verwendeten Wert für direkte Methanemissionen aus Biogasanlagen über die ÜUDS, geplante und ungeplante Lecks, etc. in Höhe von 1 % des produzierten Biogases) als Methanemissionen ungenutzt in die Atmosphäre entweichen (REINELT et al. 2016). Unter der Annahme, dass die Verwendung von Gasspeicherfüllstandmesssystemen diese Emissionen verhindert, könnten zwischen 0,07 Mio. und 4,6 Mio. t CO₂-Äq. pro Jahr vermieden werden. Aus energiewirtschaftlicher Sicht ergibt sich aus der energetischen Nutzung des zusätzlich verfügbaren Biogases ein Stromerzeugungspotenzial von 13 bis 855 GWh pro Jahr.

Herausforderungen

Eine große Herausforderung stellt der fehlerhafte Betrieb der Gasspeichersysteme aufgrund mangelnder Kenntnis oder Fehleinschätzung der Betriebszustände dar. Durch den unsachgemäßen Betrieb des Gasspeichersystems sind Biogasverluste und Emissionen bereits durch Witterungsänderungen möglich. Außerdem ist die bisher eher geringe Priorisierung der Gasspeicherfüllstandmessung sehr nachteilhaft für einen ordnungsgemäßen Betrieb. Damit verbunden ist eine Bereitschaft zur Änderung resp. Anpassung vorhandener und verbesserungswürdiger Messsysteme gering. Durch die Darstellung ökonomischer Verluste, hervorgerufen durch den falschen Gasspeicherbetrieb und dem daraus resultierenden Verlust von Biogas, sollen Betroffene auf das Thema sensibilisiert und zu erforderlichen Maßnahmen geführt werden.



Abbildung 3: Die ManBio-Projektgruppe hat im Mai 2017 den 10. Biogas-Innovationspreis der deutschen Landwirtschaft gewonnen. Mit dem Vortrag zum Thema „Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gasmanagements von Biogasanlagen - ManBio“ konnte die Jury überzeugt werden. In diesem Rahmen wurde ein Preisgeld von insgesamt 10.000 Euro ausgelobt.

Eine weitere Herausforderung stellt die technisch bedingt undefinierte Ausformung der Gasspeicherinnenmembran dar. Dies führt unweigerlich zu messtechnischen Abweichungen bei den aktuell verbreiteten Messsystemen.

Ausblick

Übertragbarkeit

Die Ergebnisse sind zielführend und richtungsweisend für die Verbesserung des Einsatzes von Biogasanlagen (BGA) in Kombikraftwerken und für die Verminderung des relativen Bedarfes der knappen Ressource Biomasse in einer zukünftigen Energieversorgung, die auf erneuerbaren Energien (EE) basiert. Die Erhöhung der spezifischen Wirkung der Biogaserzeugung zur Verbesserung der Versorgungssicherheit ist technologisch entscheidend für hohe Anteile EE unter Einhaltung der Versorgungssicherheit. Unter sozialen Gesichtspunkten und unter dem Aspekt der institutionellen Organisation der Energiewende ist die Einhaltung des energiepolitischen Dreiecks von entscheidender Bedeutung.

Im Bereich der Kosten liegen die fluktuierenden Erneuerbaren inzwischen unter den Kosten bei Neubau fossiler oder nuklearer Kraftwerke. So lag der durchschnittliche Zuschlagswert für Wind onshore bei der ersten Ausschreibung (2017) bei durchschnittlich 5,71 ct/kWh¹, bei der zweiten Ausschreibung (August 2017) lag der durchschnittliche Zuschlagswert bei 4,28 ct/kWh. In der technologieoffenen Ausschreibung vom 1.4.2018 lagen die erfolgreichen Gebote zwischen 3,96 ct/kWh und 5,76 ct/kWh, der mengengewichtete Durchschnittswert betrug 4,67 ct/kWh².

¹ https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Pressemitteilungen/DE/2017/19052017_Onshore.html (17.04.2018)

Damit liegen die Kosten fluktuierender EE inzwischen unter den Kosten neuer fossiler oder nuklearer Kraftwerke. So liegt der Garantiepreis für den geplanten Neubau eines Nuklearkraftwerkes in Hinkley Point bei 92,50 Pfund/MWh zuzüglich Inflationsausgleichs.³

Bei einer Garantielaufzeit von 35 Jahren ist dies ein Vielfaches der EE-Kosten für Wind oder Solarparks. Auch im Bereich der Umweltverträglichkeit sind diese EE sehr vorteilhaft. Wird deren Schwachpunkt, die Versorgungssicherheit durch optimales Gasspeichermanagement verbessert, so ist ein erneuerbares Kombisystem mit geringen Anteilen an Biogas

möglich, entsprechend gering sind die Kostensteigerungseffekte, und mögliche Negativeffekte durch einseitigen Energiepflanzenanbau. Biogas kann somit als flexibler Puffer im energiepolitischen Dreieck für Versorgungssicherheit sorgen. Für Biogasstrom sind also nicht mehr die Kosten/Energiemengen relevant, sondern eher die Kosten des spezifischen Beitrags für die Versorgungssicherheit.

Konkret führt ein Kombisystem idealerweise nicht zu Kostensteigerungen gegenüber der fossilen Alternative und der begrenzte Bedarf an Biomasse kann aus Reststoffen und nachhaltig angebauten Rohstoffen gedeckt werden. Dies ist Basis für die soziale Akzeptanz eines EE-Systems und damit auch für entsprechende institutionelle Rahmensetzungen.

² https://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/UnternehmenInstitutionen/Ausschreibungen/Technologieuebergreifend/Gebotstermin_01_04_2018/gebotsstermin_01_04_2018_node.html (17.04.2018)

³ <https://www.handelsblatt.com/unternehmen/energie/hinkley-point-c-auf-die-steuerzahler-kommen-hohe-kosten-zu/20012054-2.html> (17.04.2018)

Wirkungsgradsteigerung

Durch technische Maßnahmen im Biogasmanagement, insbesondere bei der Erreichung einer verlässlichen Anzeige des Gasspeicherfüllstandes und der

Ausnutzung der vollständigen Netto-Gasspeicherkapazität, sind folgende Auswirkungen, verbunden mit einer Wirkungsgradsteigerung, zu erwarten:

- bessere Planbarkeit / Planungssicherheit im Betrieb der nachgeschalteten Konversionsaggregate wie BHKW und damit verbunden eine Reduzierung von Teillastbetriebsstunden resp. Erhöhung von Vollastbetriebsstunden mit höherem BHKW-Wirkungsgrad (ohne Drehzahlmodulation)
- Vermeidung von Biogasverlusten durch geeigneten Gasspeicherbetrieb in Hinblick auf Gasspeicherrinnendruck, Füllstand und Auslöseereignissen der Über-/Unterdrucksicherung

Breitenanwendung

Die Kosten-Nutzen-Relation ist sehr gut. Es besteht ein sehr hohes Potenzial für Breitenanwendungen (Nachrüstung), aus Sicht der ca. 8.700 BGA in Deutschland, soweit diese in Zusammenhang mit

der Technik die Option von Geschäftsmodellen zum Weiterbetrieb sehen (DANIEL-GROMKE et al. 2018). Im Neubau und Repowering besteht außerdem ein hohes Potenzial. Aus ökologischer Sicht sowohl von Anlagenbetreibern, als auch Anlagenherstellern und normgebenden Akteuren (Gesetzgeber, Verwaltung) spricht Einiges dafür, das optimierte Gasspeichermanagement zur Vermeidung von Methanemissionen aus ÜUDS zum Stand der Technik zu erklären.

Verwertungsmöglichkeit

Eine Verwertungsmöglichkeit stellt das entwickelte Fuzzy-Logik-Expertensystem von Awite dar. Im Rahmen der Untersuchungen an der Praxisbiogasanlage wurde ein Fuzzy-Logik-Expertensystem auf das Gas- und BHKW-Management erweitert. Dieses könnte auf alle restlichen Bereiche der Anlage ausgeweitet werden und somit eine Gesamtanlagenregelung erreicht werden. Unter Berücksichtigung und Einbindung der modellgestützten Gasspeicherfüllstandprognose wäre eine technisch weitere Stufe für den automatisierten, bedarfsgerechten Anlagenbetrieb geschaffen und ein umfangreiches Produkt für den Markt ableitbar.

Literatur

- Daniel-Gromke, J.; Rensberg, N.; Denysenko, V.; Stinner, W.; Schmalfuß, T.; Scheftelowitz, M. (2018): Current Developments in Production and Utilization of Biogas and Biomethane in Germany. In: Chemie Ingenieur Technik 90 (1-2), S. 17–35. DOI: 10.1002/cite.201700077.
- Reinelt, T.; Liebetau, J.; Nelles, M. (2016): Analysis of operational methane emissions from pressure relief valves from biogas storages of biogas plants. In: Bioresource technology 217, S. 257–264. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.02.073.

Publikationen

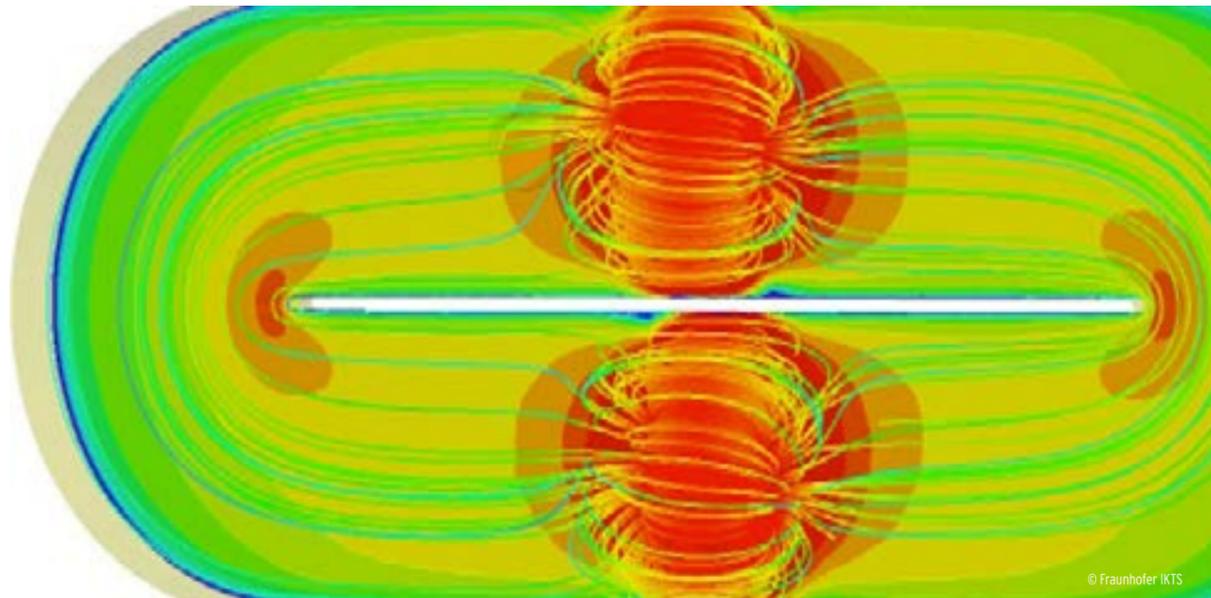
- Stur, M. (2017): Gasspeichermanagement von Biogasanlagen zur Reduzierung von Biogasverlusten. Vortrag gehalten: 47. Biogas-Fachtagung Thüringen, Erfurt, 09.11.2017.
- Stur, M.; Krebs, C.; Murnleitner, E.; Mauky, E.; Oehmichen, K.; Barchmann, T. (2017): ManBio: Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gasmanagements von Biogasanlagen. Vortrag gehalten: 10. Biogas-Innovationskongress, Osnabrück, 09.-10.05.2017.
- Stur, M.; Mauky, E.; Reinelt, T.; Krebs, C. (2017): Optimierung des Speichermanagements von Biogasanlagen zur Vermeidung von Biogasverlusten. Vortrag gehalten: 11. Biogastagung, Dresden, 21.-22.09.2017.
- Stur, M.; Mauky, E.; Reinelt, T.; Fischer, E. (2017): Vorstellung Forschungsvorhaben ManBio: Entwicklung von technischen Maßnahmen zur Verbesserung des Gasmanagements von Biogasanlagen. In: Biogas 2017: 10. Innovationskongress. Hildesheim: ProFair Consult+Project GmbH. S. 133–140.

Weitere Informationen

- Schlussbericht: <https://doi.org/10.2314/GBV:1045310867>
- Projektwebseite: <https://www.energetische-biomassennutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/manbio-519/>

Karin Jobst¹, Bastian Graf²

Ovaler BioReakt



Ausgehend von vorliegenden Untersuchungen im Labor- und Technikmaßstab bietet die Einführung ovaler, mit Trennwänden unterteilter Reaktoren eine verfahrenstechnisch vorteilhafte Reaktorgeometrie. Im Vergleich zu traditionellen Biogasanlagen konnte in ovalen Reaktoren eine bessere Reaktorvermischung nachgewiesen werden, sodass eine signifikante Steigerung der Biogasausbeute erwartbar ist. Ziel des Verbundvorhabens war es, diese vorliegenden Ergebnisse in den technischen Maßstab zu skalieren und unter realen Praxisbedingungen für den Einsatz biogener Reststoffe zu überprüfen. Neben der Entwicklung strömungstechnisch optimierter Baukörper mit integrierter Mischtechnik war die Gesamtprozesskette der Biogaserzeugung von hoch lignozellulosehaltigen Stoffen weiter zu verbessern. Es galt nachzuweisen, dass lignozellulosehaltige Reststoffe, wie Stroh und Landschaftspflegematerial, effektiv zur Biogaserzeugung eingesetzt werden können.

Kontakt
Dr. Karin Jobst
Telefon: +49 (0)351 2553-7827
E-Mail: karin.jobst@ikts.fraunhofer.de

FKZ-Nr.	03KB086
Laufzeit	01.08.2013 - 30.04.2017
Zuwendungssumme	1.097.660 €
Koordination¹	Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS) Winterbergstraße 28, 01277 Dresden www.ikts.fraunhofer.de
Partner	Werner Stowasser Bau GmbH Zum Neidhardt 9, 04741 Roßwein www.stowasser-bau.de
Partner	Gesellschaft für Materialforschung und Prüfungsanstalt für das Bauwesen Leipzig mbH (MFPA Leipzig GmbH) Hans-Weigel-Straße 2 b, 04319 Leipzig www.mfpa-leipzig.de
Partner	LEHMANN-UMT GmbH Jocketa-Kurze Straße 2, 08543 Pöhl www.lehmann-umt.de
Partner²	ATG GmbH Jocketaer Straße 91, 08525 Plauen www.at-graf.de
Partner (Unterauftragnehmer)	IWE-Ingenieurgesellschaft für Wasser und Entsorgung mbH
Partner (Unterauftragnehmer)	Biogastechnology V.B.T.S. GmbH Co.KG

Biogaserzeugung aus biogenen Reststoffen in ovalen Reaktoren mit angepasster Mischtechnik unter Praxisbedingungen



Themenschwerpunkte

- Effizienzsteigerung
- Verfahrensoptimierung
- Reaktorgeometrie
- Substrataufbereitung
- Biogene Reststoffe
- Maßstabsübertragung

Zusammenfassung

Im Fokus des Gesamtvorhabens „Ovaler BioReakt“ stand die Demonstration eines wirtschaftlichen und ökologischen Gesamtsystems zur effizienten Erzeugung von Biogas aus lignozellulosehaltigen Reststoffen mit den innovativen Prozessschritten:

- Substratvorbehandlung,
- optimierter, energieeffizienter Reaktordurchmischung auf der Grundlage einer neuartigen ovalen Reaktorgeometrie,
- intelligentes Steuer- und Regelsystem mit integrierter online- Messtechnik zur Kontrolle der Fermentation
- und effizienter und wirtschaftlicher Gärrestentwässerung.

Mit dem neu zu entwickelnden System sollen die bisher vorhandenen Nachteile bei Einsatz von hoch lignozellulosehaltigen Stoffen wie Ausbildung von Schwimmschichten, Realisierung sehr geringer Raumbelastungen und ungenügender Biogasausbeute beseitigt werden. Geplant war zunächst die Errichtung einer Modell- und Demonstrationsanlage 500 kW_{el}. Während der Projektbearbeitung musste diese Zielstellung dahingehend korrigiert werden,



Dr. Karin Jobst
(Projektleiterin):

Voraussetzungen für einen weiteren Ausbau der Biogastechnik sind umfassende Optimierungsmaßnahmen des verfahrenstechnischen Anlagenbetriebes, um Effizienz und Wirtschaftlichkeit

zu verbessern. Wir sehen Ansatzpunkte zur Leistungssteigerung in der Entwicklung verschleißarmer, effizienter Techniken zur Substratvorbehandlung, in der Verbesserung der Reaktordurchmischung und in einer ökonomisch/ökologischen Gärrestverwertung.

Summary

The overall project focused on the demonstration of an economic and ecological system for the efficient production of biogas from lignocellulosic residues using the innovative process steps:

- substrate pre-treatment,
- optimized, energy-efficient reactor mixing based on a novel oval reactor geometry,
- intelligent control and regulation system with integrated online measuring technology to control the fermentation
- and efficient and economical digestate drainage of fermentation residues.

With the newly developed system, the existing disadvantages in the use of highly lignocellulosic materials such as formation of floating layers, realization of very low space loads and, above all, insufficient biogas yield should be eliminated. Initially, it was planned the construction of a model and demonstration plant 500 kW_{el}. During the project, it was necessary to correct this objective. Instead of this plant, a mobile pilot biogas plant should be built to demonstrate the mentioned procedural advantages.

dass anstelle dieser Anlage eine mobile Pilot-Biogasanlage errichtet und zur Demonstration der verfahrenstechnischen Vorteile genutzt werden sollte.

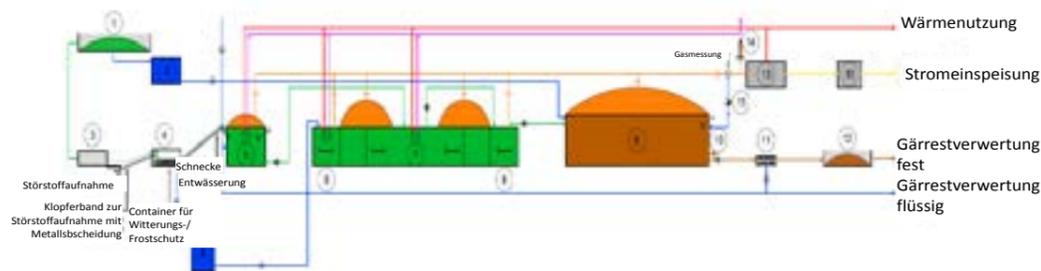


Abbildung 1: Stoffstrom-Fließbild der Modell- und Demonstrationsanlage, Quelle: IWE 2014

Methodik/Maßnahmen

- Erarbeitung von Kennziffern zur verfahrenstechnischen Maßstabsübertragung von Mischprozessen
- Auswahl von Spezialmesstechnik zur Überwachung der Dynamik des Fermentationsprozesses
- Erarbeitung einer Stoffstromkonzeption und technisch-technologische Verfahrensfestlegung der Modell- und Demonstrationsanlage 500 kW_{el} und der Pilot-Biogasanlage
- Verfahrenstechnische/technologische Komponentenauswahl der Pilot-Biogasanlage
- Bautechnische Vorbereitung und Bearbeitung genehmigungsrechtlicher Erfordernisse zur Errichtung der Pilot-Biogasanlage

Ergebnisse

- Publikation: Jahrestreffen der Fachgruppen Extraktion und Mischvorgänge Heidelberg, 16. – 17. März 2015
- Anlage: Demonstrationsanlage Pilot-Anlage

Ergebnis-Fakten

Vorbereitung der Errichtung der Modell- und Demonstrationsanlage

Auf der Basis erarbeiteter Kennziffern zur verfahrenstechnischen Maßstabsübertragung und einer optimierten Reaktorgeometrie mit einem Verhältnis der Hauptabmessungen von L:B:H = 5,6:1:1 wurden die als Fermenter dienenden Reaktoren einschließ-

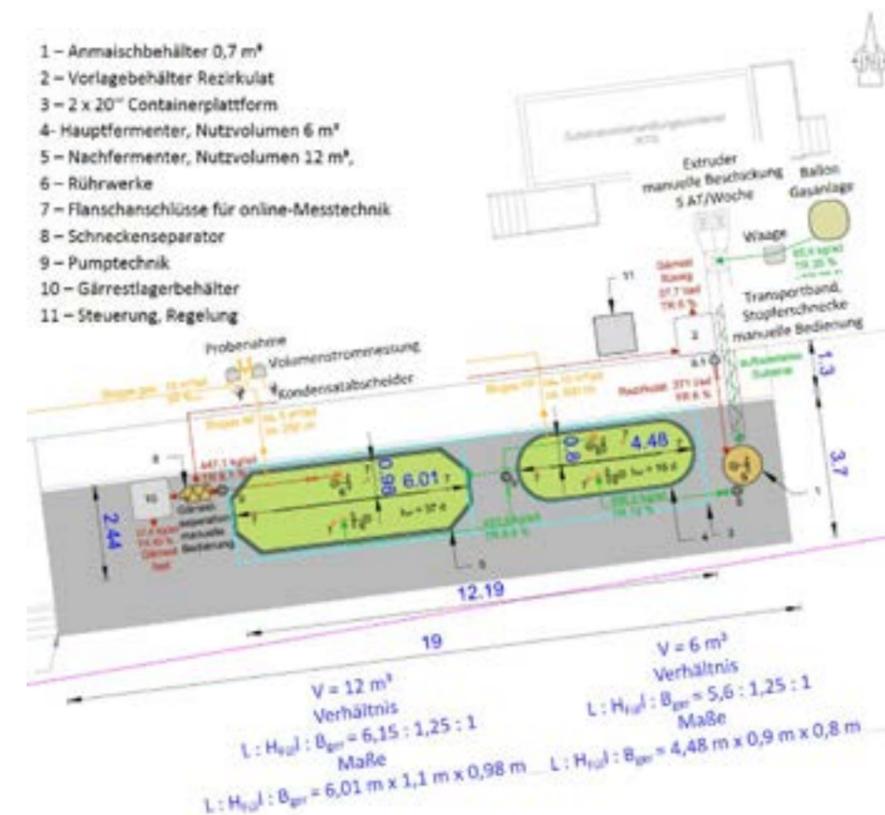


Abbildung 2: Prozessstufen der Pilot-Biogasanlage, Quelle: IWE 2016

lich der dazugehörigen Rührtechnik für die geplante Modell- und Demonstrationsanlage 500 kW_{el} ausgelegt.

Die Planung der Modell- und Demonstrationsanlage erfolgte unter Beachtung der aus dem Einsatz von Stahlfaserbeton resultierenden Anforderungen an die Baustatik. Neben der verfahrenstechnischen Aus-

legung wurden erforderliche Konzepte zum Substratmanagement und der Anlagensteuerung erstellt.

Infolge vorhandener Unsicherheiten nach Einführung des EEG 2014 konnte die geplante Errichtung der Modell- und Demonstrationsanlage nicht realisiert werden.

Errichtung der Pilot-Biogasanlage

Ausgehend von der möglichen Vermarktung sollte die Pilot-Biogasanlage als mobile Anlage unter Beachtung der Abmessungen handelsüblicher Container errichtet werden. Daraus folgend resultieren das Volumen des Hauptfermenters zu 6 m³ und das Volumen des Nachfermenters zu 12 m³.

Im Verbund erfolgte die technisch/technologische Planung der Gesamtanlage. Die erforderliche Anlagen-genehmigung wurde vorbereitet.

Infolge der im Oktober 2016 eingetretenen Insolvenz des Eigentümers des Nachbargrundstücks zur geplanten Pilot-Biogasanlage mussten die Arbeiten zur Errichtung der Anlage unterbrochen werden.

- Die Entwicklung und Erprobung umfassender technologischer Maßnahmen zur Schaffung wirtschaftlicher Lösungen der Biogaserzeugung erfordert jedoch die Fortsetzung der auf diesem Sektor begonnenen Forschungstätigkeiten, wobei besonders praxisrelevante Lösungen für die Gesamtprozesskette der Biogaserzeugung und -verwertung in den Vordergrund zu stellen sind.
- Aus diesem Grund wurde mit dem Projektträger entschieden, die entwickelten Innovationen in einer neu zu errichtenden Pilot-Biogasanlage zu demonstrieren.

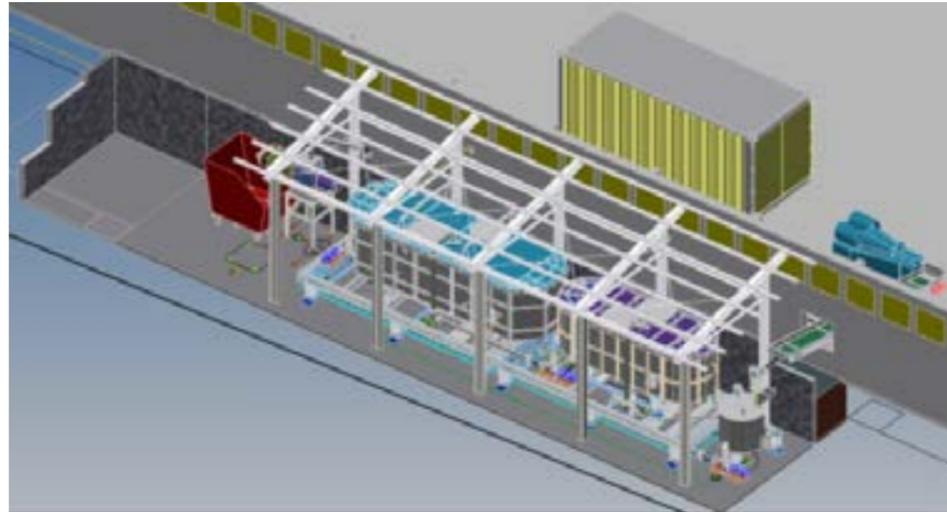


Abbildung 3: Gesamtsystem der geplanten Pilot-Biogasanlage, Quelle: ATG 2016

- Der Verbund sieht in der Errichtung kleiner Biogasanlagen bis 150 kW_{el} eine vorhandene Nische auf dem derzeitigen Biogasmarkt.
- Durchgeführte Wirtschaftlichkeitsrechnungen auf Basis des EEG 2017 zeigen, dass unter Nutzung der innovativen Reaktor-geometrie sich ein wirtschaftlicher Anlagenbetrieb bereits für Anlagen ab 35 kW_{el} darstellen lässt.

Nach Eintreten der Standortprobleme zur Errichtung der Pilot-Biogasanlage wurden im Verbund Alternativen gesucht, die eine Projekterfüllung mit vertretbaren zeitlichen und finanziellen Aufwendungen zulassen. Umfangreiche Überprüfungen möglicher Ausweichstandorte als auch eine Einbindung der ovalen Reaktoren in den Bestand der Pilot-Biogasanlage des IKTS wiesen einen erheblichen Mehraufwand an Kosten zur Errichtung der Anlage aus. Diese fehlenden Projektmittel konnten im Verbund nicht aufgebracht werden, sodass ein vorzeitiger Projektabbruch erfolgte.

Herausforderungen

Mit den im EEG 2014 getroffenen Veränderungen zur Förderung von Strom aus Biomasse konnte die Errichtung der großtechnischen Biogasanlage nicht mehr wirtschaftlich dargestellt werden. Gleichzeitig war die geplante Vermarktung ovaler Biogas-Reaktoren aus Stahlfaserbeton nicht mehr gegeben, sodass die damaligen Verbundpartner Werner Stowasser Bau GmbH und die MFPA Leipzig GmbH im April 2014 aus dem Verbund ausschieden.

Ausblick

Aufgrund der sich darstellenden wirtschaftlichen Erfolgsaussichten favorisieren die Projektpartner auch weiterhin eine Einbindung und Erprobung der ovalen Reaktortechnik. Im Rahmen geeigneter Projekte soll daher dieser Ansatz wieder aufgegriffen werden.

Durch eine aktive Öffentlichkeitsarbeit sollen die bis dato gesammelten Vorzüge ovaler Biogasreaktoren weiter verbreitet werden.

Literatur

- ATG GmbH (2016): Dokumente zur Planung der Pilot-Biogasanlage. Juni 2016.
- IWE-Ingenieurgesellschaft für Wasser und Entsorgung mbH (IWE 2014): 4. Statusbericht zum Verbundprojekt »Ovaler BioReakt«. Radebeul, Juli 2014.
- IWE-Ingenieurgesellschaft für Wasser und Entsorgung mbH (IWE 2016): 11. Statusbericht zum Verbundprojekt »Ovaler BioReakt«. Radebeul, September 2016.

Weitere Informationen

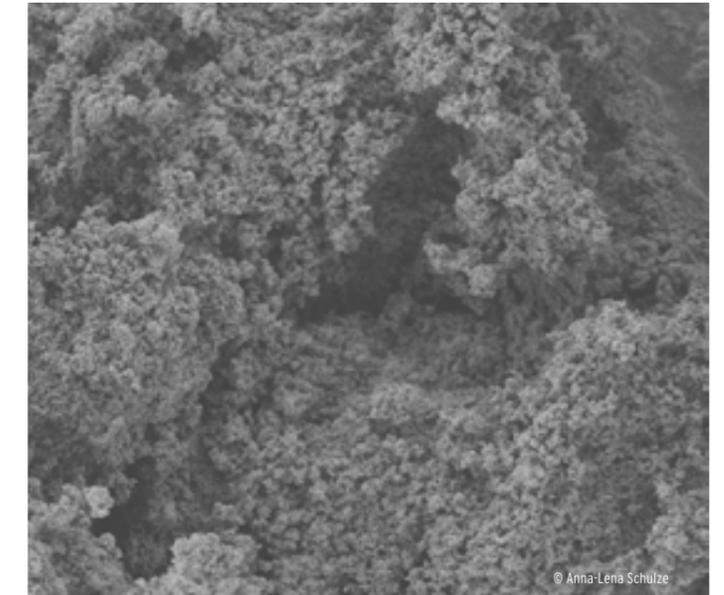
- Endbericht: <https://doi.org/10.2314/GBV:1013266323>
- Projektwebseite: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/ovaler-bioreakt-440/>

Daniel Büchner¹, Anna-Lena Schulze², Martin Kaltschmitt², Volker Klix³, Jan H. Kramb⁴, Christoph Schade⁴

Tox0Ab



© K. Schröder Nachf.



© Anna-Lena Schulze

Um die sinnvolle und notwendige Erweiterung der Betrachtung von Feinstäuben über massebezogene Grenzwerte hinaus zu toxikologischen Bewertungen auf breiter Basis durchführen zu können, müssen die Probenahme-strategien und Tests kostengünstig realisier- und belastbar validiert sein. Ziel des Vorhabens ist daher die Entwicklung validierter, gut handhabbarer und damit für einen regulatorischen Einsatz geeigneter Tests für die toxikologische Bewertung von Feinstäuben aus Feuerungen für biogene Festbrennstoffe.

Themenschwerpunkte:

- Toxizität von Feinstäuben
- Feinstaubabscheider
- Biotestverfahren

Zusammenfassung

Die Entwicklung bei Biomassefeuerungen geht einerseits in Richtung nahezu perfekter Ausbrandbedingungen mit sehr niedrigen Kohlenwasserstoffemissionen und andererseits der Nutzung von aschereichereren Resthölzern und anderen biogenen Rückständen und Nebenprodukten. Die von modernen Feuerungen emittierten Feinstäube enthalten

FKZ-Nr.	03KB090
Laufzeit	01.09.2013 - 31.01.2017
Zuwendungssumme	399.680 €
Koordination ¹	DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig www.dbfz.de
Partner ²	Technische Universität Hamburg (TUHH) Institut für Umwelttechnik und Energiewirtschaft (IUE) Eißendorfer Straße 40, 21073 Hamburg www.tuhh.de/iue
Partner ³	Noack Laboratorien GmbH Käthe-Paulus-Straße 1, 31157 Sarstedt www.noack-lab.de
Partner ⁴	K. Schröder Nachf. Inh. Karl-Heinz Schröder Hemsack 11-13, 59174 Kamen www.schraeder.com
Kontakt	Daniel Büchner Telefon: +49 (0)341 2434 543 E-Mail: daniel.buechner@dbfz.de

Optimierung der Feinstaubminderung von Abscheidern für Biomassefeuerungen unter Berücksichtigung der toxikologischen Relevanz mittels mikrobieller Testsysteme

Summary

The project ToxOAb aims to develop scientifically validated and cost effective test procedures for the toxicological evaluation of particulate matters from automatically driven wood combustions.

The development focused on stages: (i) the collection, preparation and handling of the samples and (ii) the toxicological studies. Different methods were evaluated to identify the best strategy for both stages ending up using PTFE filter and methanol for the extraction of the particles and umu test and bacteria contact assay for the bioassays.

Additionally, investigations have been carried out on the homogenization of the used wood pellets by mixing and sieving to minimize the influence of the physical and chemical properties of the wood on the obtained results.

Beside this, the influence of the particle size distribution and the composition of the flue gas by the boiler load have been investigated.

entsprechend überwiegend anorganische Komponenten und unterscheiden sich damit in ihrer chemischen Zusammensetzung drastisch von dem klassischen Luftschadstoff Ruß. Eine differenzierte, unterschiedliche chemische Zusammensetzungen und physikalische Erscheinungsformen des Feinstaubes berücksichtigende Betrachtung wird deshalb immer wichtiger. Abscheider und noch stärker katalytische Abgasnachbehandlungssysteme entfernen nicht jede Abgas Komponente in gleichem Maße.

Methodik/Maßnahmen

- Untersuchung verschiedener Biotestverfahren auf ihre Eignung für die Bewertung der Toxizität von Feinstäuben aus Holzpelletfeuerungen
- Entwicklung einer validierten und reproduzierbaren Methodik zur Probenahme, -aufbereitung und zum Proben transport sowie für die anschließenden toxikologischen Analysen
- Untersuchung des Einflusses von elektrostatischen Abscheidern auf die Toxizität der verbleibenden Gesamtstaubemissionen

Ergebnisse

Entwicklung und Optimierung von:

- Verfahren
- Evaluation

Probenhandling

Probenahme

Für die Sammlung einer hohen Feinstaubmenge wurde eine auf 75 °C beheizte Messsonde mit einem PTFE-Filter (Durchmesser 47 mm, Porengröße 1,2 µm) verwendet. Die isokinetische Absaugung der Partikel erfolgte mit Hilfe einer Düse und einem Schwanenhals, der sich im 90° Winkel im Abgaskanal befindet. Die Absaugung eines ausreichend hohen Volumens wurde über eine zweistufige Drehschieberpumpe gewährleistet. Zur Vermeidung von Beschädigungen an der Pumpe wurden zwischen dem beheizten Filterhalter und der unbeheizten Vakuumpumpe zwei Trockentürme eingesetzt. Für eine möglichst hohe Beladung wurden die Filter über einen Zeitraum von bis zu acht Stunden beladen. Anschließend wurden die Filter am DBFZ gekühlt gelagert und ungekühlt an die jeweiligen Projektpartner versandt.

Probentransport und -aufbereitung

Die Feinstaubpartikel wurden, bei Umgebungsbedingungen, mittels Methanol im Ultraschallbad vom Filter gelöst. Dazu wurden die Filter im ersten Schritt mit 20 mL Methanol in einem Erlenmeyerkolben für 30 Minuten im Ultraschallbad behandelt. Anschließend wurde die entstandene Emulsion in einen Rundkolben abgegossen und der erste Schritt mit



Daniel Büchner
(Projektleiter):

Für die Entwicklung von emissionsarmen Biomassefeuerungen ist das Wissen um die Einflussparameter auf die Gesundheitsrisiken der emittierten Feinstäube von elementarer Bedeutung.

dem bereits behandelten Filter für weitere 30 Minuten wiederholt. Die entstehende Emulsion wurde zur vorher abgegossenen hinzugefügt. Die Emulsion wurde im Rotationsverdampfer bei 35 °C und 150 mbar fast vollständig getrocknet. Im Anschluss wurde die vorgetrocknete Emulsion in ein Glasröhrchen umgefüllt und in einem Stickstoff-Luftstrom vollständig getrocknet.

Biotests

Vor den Biotests wurden die trocknen Partikel bis zu einer Konzentration von 5 mg/mL mit Wasser verdünnt und auf der Well-Platte verteilt. Die Verdünnung auf die jeweils untersuchte Verdünnungsstufe erfolgte jeweils direkt auf der Well-Platte.

Toxikologische Analysen

Die Ergebnisse des Bakterienkontakttests und des Umu-Testes wurden durch die Vermessung von vier unterschiedlichen Proben erhalten. Es wurden an der gleichen Anlage vier Proben auf PTFE-Filter gezogen, Probe 1 Volllast ohne Elektroabscheider, Probe 2 Volllast mit Elektroabscheider, Probe 3 Teillast (50 %) ohne Elektroabscheider und Probe 4 Teillast (50 %) mit Elektroabscheider. Über das Verfahren der Methanol-Extraktion wurde der Feinstaub vom Filter extrahiert und als wässrige Suspension in die beiden Tests eingebracht.

In Abbildung 1 sind die Ergebnisse der Teillastproben vor und nach dem Abscheider zu erkennen. Demnach weisen beide Proben eine Konzentrationsabhängigkeit auf. Bei der höchsten Konzentration

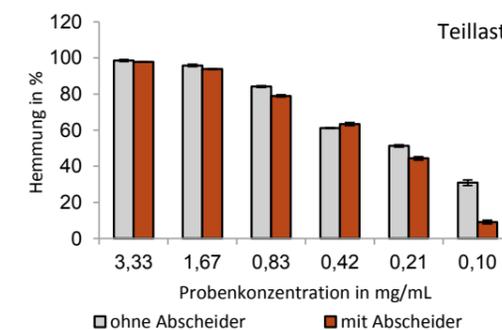


Abbildung 1: Ergebnisse des Bakterienkontakttests für die Teillastproben vor und nach dem Abscheider.

(c = 3,33 mg/mL) liegt bei beiden Proben eine Hemmung von fast hundert Prozent vor. Hundert Prozent Hemmung bedeutet, dass alle im Test verwendeten Mikroorganismen keinen Stoffwechsel mehr besitzen. Ein ähnliches Ergebnis wird für die Konzentration c = 1,67 mg/mL erhalten. Auch bei allen anderen Konzentrationen zeigen sich fast gleiche Hemmwirkungen bei den Teillastproben mit und ohne Abscheider. Erst bei der geringsten Konzentration (c = 0,1 mg/mL) ist ein statistisch relevanter Unterschied zwischen den Zytotoxizitäten beider Proben, vor und nach dem Abscheider erkennbar. Die Probe ohne Abscheider hat eine hemmende Wirkung von ca. 35 % und die mit Abscheider von ca. 10 %.

In Abbildung 2 ist die Hemmwirkung der Volllastproben vor und nach dem Abscheider aufgetragen. Es ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei den Teillastproben. Bei hohen Konzentrationen (c = 3,33 - 0,83 mg/mL) sind die Ergebnisse beider Proben fast gleich und liegen bei fast hundert Prozent Hemmung. Erst bei geringen Konzentration (der größte Unterschied auch hier bei der geringsten Konzentration, c = 0,1 mg/mL) zeigt sich ein Unterschied zwischen den Ergebnissen der Proben mit und ohne Abscheider. Die Ergebnisse liegen bei der Probe ohne Abscheider bei ca. 38 % und bei der Probe mit Abscheider bei ca. 20 %.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass bei der Nutzung eines Abscheiders Partikel mit zytotoxischem Potenzial vermehrt abgeschieden werden. Die hier dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf die zytotoxische Wirkung an Feinstaub und spiegeln nicht den Einfluss des Abscheiders durch seine Reduzierung der Partikel wieder.

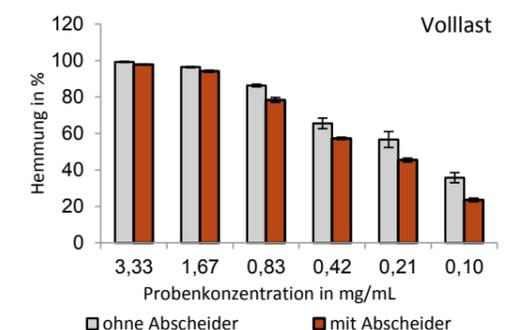


Abbildung 2: Ergebnisse des Bakterienkontakttests für die Volllastproben vor und nach dem Abscheider.

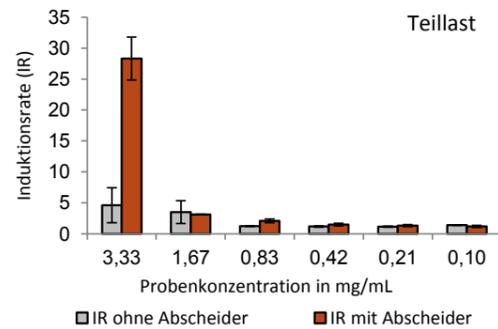


Abbildung 3: Ergebnisse des Umu-Tests für die Teillastproben vor und nach dem Abscheider.

Vergleicht man die Proben ohne Abscheider in den beiden unterschiedlichen Betriebszuständen zeigt sich bei geringer Konzentration, dass die Proben fast die gleiche Hemmung und damit die gleiche Zytotoxizität besitzen. Bei den Proben mit Abscheider ist im Volllastbetrieb eine Hemmwirkung von 22 % erhalten worden; demgegenüber sind es bei Teillast nur knapp 10 %. Bei den Proben aus dem Teillastbetrieb ist die zytotoxische Wirkung geringer.

In Abbildung 3 sind die Induktionsraten der verschiedenen Konzentrationen im Teillastbetrieb, der Proben ohne und mit Abscheider dargestellt. Es ist zu sehen, dass beide Proben sinkende Induktionsraten bei steigender Verdünnung aufweisen. Als Endergebnis, also die Konzentration bei der keine genotoxische Wirkung mehr nachweisbar ist, wird die höchste Konzentration ermittelt, bei der die Induktionsrate kleiner 1,5 ist. Bei der Probe ohne Abscheider ist das bei der Konzentration von $c = 0,42$ mg/mL der Fall. Die Probe mit Abscheider weist eine geringere genotoxische Wirkung auf, hier ist bereits bei einer Konzentration von 0,83 mg/mL keine Toxizität mehr nachweisbar.

Die Ergebnisse der Induktionsraten der Volllastproben sind in Abbildung 4, für die Probe mit und ohne Abscheider, dargestellt. Die Probe ohne Abscheider weist ab einer Konzentration von $c = 1,67$ mg/mL keine mit diesem Test detektierbare Genotoxizität mehr auf. Die Probe mit Abscheider zeigt erst bei einer Konzentration von 0,83 mg/mL keine genotoxische Wirkung mehr und ist damit giftiger als die Probe ohne Abscheider.

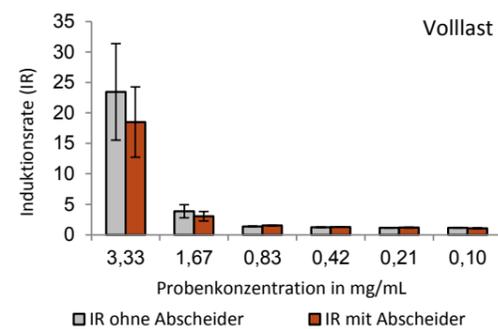


Abbildung 4: Ergebnisse des Umu-Tests für die Volllastproben vor und nach dem Abscheider.

Die ersten Ergebnisse deuten darauf hin, dass im Abscheider die Partikel vermehrt abgeschieden werden, die kein genotoxisches Potenzial aufweisen.

Herausforderungen

Die untersuchten Biotests wurden ursprünglich nicht für die Bewertung von Feinstäuben entwickelt und waren auch nicht problemlos im Rahmen des Projektes nutzbar. Der yes-Test scheint derzeit nicht für die untersuchten Feinstäube geeignet zu sein. Der bisherige Standardstamm nach Prof. Sumpter ist sehr reaktiv und zeigt bereits bei sehr niedrigen Konzentrationen eine endokrine Wirkung an. Bei den untersuchten Stäuben kam es daher wiederholt zu Falschbestimmungen. Es wird deshalb der alternative Einsatz eines Stammes nach MacDonald diskutiert. Dieser Stamm besitzt eine deutlich niedrigere Reaktivität; er zeigt daher gerade bei niedrigen Konzentrationen keine Reaktion. Aus diesen Gründen wurde der yes-Test für die toxikologischen Untersuchungen nicht weiter berücksichtigt.

Ausblick

Im Projekt konnte eine Methodik zur toxikologischen Bewertung von Feinstäuben aus Biomassefeuerungen entwickelt und demonstriert werden. Die erzielten Ergebnisse decken sich dabei sehr gut mit den Ergebnissen, die vergleichbare Studien mit anderen Analysemethoden erzielt haben. Die Nutzung von standardisierten Testverfahren aus der Umweltbiologie ermöglicht darüber hinaus die Untersuchung von Feinstäuben mit einem überschaubaren anlagentechnischen und finanziellen Aufwand.

Weitere Informationen

- Endbericht: <https://doi.org/10.2314/GBV:102061613X>
- Projektwebseite: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/toxoab-511/>

Felix Richter¹, Thomas Raussen¹, Michael Kern¹, Jörg Siepenkothen¹, Markus Blume¹, Jana Wagner¹

Bio-OPTI



© Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH

Das Projekt Bio-Opti beschäftigte sich mit der Ermittlung des verfügbaren technischen Potenzials an Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK) in Deutschland. Darüber hinaus wurden Wege gesucht, die Erfassung von NuK in privaten Haushalten und durch die öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) zu verbessern. Im Projekt wurden die Auswirkungen von potenziell steigender Mengen an NuK für bestehende Biogutvergärungsanlagen analysiert und Optimierungsansätze aufgezeigt. Schließlich wurde noch die Ressourcen- und Klimarelevanz einer gesteigerten Getrennterfassung von NuK ermittelt und dargestellt.

FKZ-Nr.	03KB105
Laufzeit	01.10.2014 - 31.10.2016
Zuwendungssumme	150.230 €
Koordination ¹	Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH Werner-Eisenberg-Weg 1 37213 Witzenhausen www.witzenhausen-institut.de
Kontakt	Thomas Raussen (Projektleiter) Telefon: +49 (0)5542 9380-15 E-Mail: t.raussen@witzenhausen-institut.de

Themenschwerpunkte:

- Potenzialanalyse
- Nahrungs- und Küchenabfälle
- Biotonne
- Biogas
- Kompostierung
- Ökobilanz

Zusammenfassung

Das Gesamtpotenzial von Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK) in Deutschland liegt bei rund 80 kg pro Einwohner und Jahr (kg/E*a). Lediglich 20 % davon werden bereits über die Biotonne getrennt erfasst. Der Rest dieses energiereichen Materials steht somit den bestehenden Biogut-Vergärungsanlagen nicht zur Verfügung. Eine Telefonumfrage bei 1.000 Haushalten

Optimierung der Biogasausbeute durch effiziente Erfassung und Verwertung von Küchenabfällen in Deutschland

Summary

The overall potential of food and kitchen waste in Germany amounts to about 80 kg per inhabitant and year. Only 20 % are collected with bio bins. The rest of this high-energy material is not available for the existing fermentation plants. A telephone survey involving 1,000 households revealed that three quarters of the bio bin users do not see relevant obstacles for the collection of food and kitchen waste. However, a number of public waste management authorities ban cooked food left-overs or the use of biodegradable bags which enable a comfortable collection of food and kitchen waste from the collection via bio bins. All this results in significantly reduced quantities of collected biowaste.

When modelling the biowaste fermentation, the increased quantities of food and kitchen waste in the biowaste have significant effects on the quantity and quality of the products (biogas, liquid fermentation residues, composted fermentation residues). On the one hand this results in challenges for the plant operation, above all in the area of biowaste conditioning and production of a high compost quality. On the other hand it leads to greenhouse gas savings up to 30 % as well as phosphate ore savings and substitution of peat by using composted fermentation residues amounting to 5 % in each case.

ergab jedoch, dass drei Viertel der Biotonnennutzer keine Hemmnisse bei der Sammlung von NuK in der Küche sehen. Bei der Erfassung über die Biotonne schließen allerdings einige öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger (öRE) gekochte Speisereste und/oder BAW-Beutel, die eine komfortable Sammlung von NuK ermöglichen, aus, was jeweils zu deutlich reduzierten Bioguterfassungsmengen führt.

Die Modellierung einer Biogutvergärung zeigte, dass gesteigerte Mengen an NuK im Biogut deutliche Auswirkungen auf Menge und Qualität der Produkte (Biogas, flüssiger Gärrest, kompostierter Gärrest) haben. Dies führt einerseits zu Herausforderungen für den Anlagenbetrieb, vor allem im Bereich der Biogutaufbereitung und Kompostkonfektionierung, andererseits können die Einsparung von Treibhausgasen durch die Biogasproduktion um bis zu 30 % und

die Einsparung von Phosphaterz sowie der Ersatz von Torf durch die Nutzung von kompostiertem Gärrest um jeweils 5 % gesteigert werden.

Methodik/Maßnahmen

- Analyse der Potenziale von Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK) in Deutschland anhand ihrer derzeitigen Entsorgungswege durch Auswertung von Abfallbilanzen, Daten eigener Abfallanalysen und Literaturquellen (Kranert et al., 2012; Krause et al., 2015; Scheffold, 2007) sowie Nutzung eines eigenen Stoffstrommodells
- Dokumentation und Bewertung bestehender Möglichkeiten für die Getrenntsammlung von NuK in der Küche
- Telefonische Befragung von 1.000 Haushalten zu Hemmnissen/Problemen bei der Sammlung von NuK
- Analyse der Satzungen und Informationsmaterialien öffentlich-rechtlicher Entsorgungsträger (öRE) zur Identifikation hemmender und fördernder Faktoren für die Erfassungsmengen von Biogut
- Modellierung der Behandlung von Biogut in einer Vergärungsanlage in einem Basis-Szenario und drei Szenarien mit gesteigerten NuK-Mengen



Thomas Raussen
(Projektleiter):

Der klare Auftrag des Gesetzgebers ist, organische Abfälle privater Haushalte getrennt zu erfassen und stofflich-energetisch zu nutzen. Wir stellen aber fest, dass die meisten Nahrungs-

und Küchenabfälle von den Bürgern über den Restmüll entsorgt werden. Dadurch wird das Potenzial der Biotonne zur Erzeugung von Kompost und insbesondere von Biogas viel zu wenig ausgenutzt. Das Vorhaben Bio-OPTI ermöglichte uns, über zwei Jahre systematisch Ursachen und Lösungsansätze für diesen unbefriedigenden Zustand zu untersuchen. Die Ergebnisse haben der praktischen Abfallwirtschaft, der Politik und unserer täglichen Planungsarbeit wesentliche Anstöße gegeben.

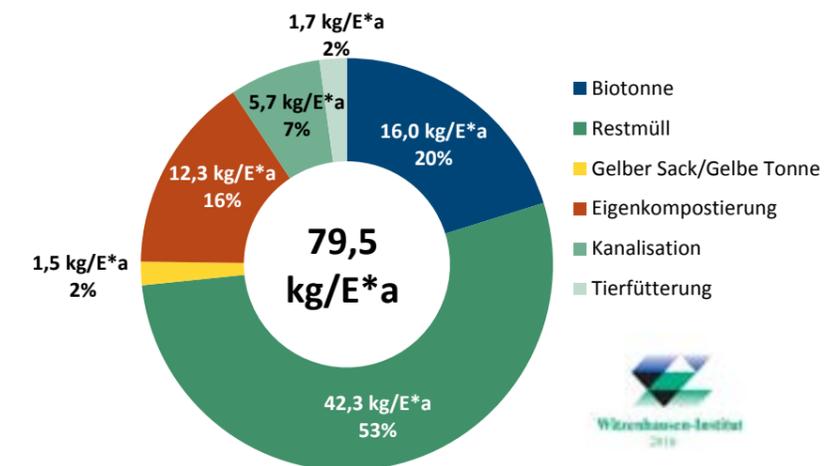


Abbildung 1: Gegenwärtig verfügbare technische Potenziale an Nahrungs- und Küchenabfällen entsprechend ihrer derzeitigen Entsorgungswege

- Befragung von Herstellern und Betreibern von Biogut-Vergärungsanlagen zu Herausforderungen bei steigenden NuK-Mengen im Biogut
- Analyse der Auswirkungen von gesteigerten NuK-Mengen im Biogut auf die Einsparung von Treibhausgasen sowie die Einsparung von Phosphaterz und den Ersatz von Torf

Ergebnisse

Publikationen:

- Artikel in Fachzeitschriften und Tagungsbänden
- Artikel in Fachzeitungen
- Vorträge

Daten & Methoden:

- Modell/Modellierung
- Szenarien
- Auswertung Abfallbilanzen, Satzungen etc.

Potenziale an Nahrungs- und Küchenabfällen in Deutschland

Im Sinne der Getrennterfassung und stoffstromspezifischen Verwertung stellen die derzeit erfassten NuK in der Biotonne ein bereits genutztes Potenzial dar, das in Deutschland im Mittel 16,0 kg/E*a beträgt. Dies ist ein Anteil von 20 % am Gesamtpotenzial von 79,5 kg/E*a (Abbildung 1). Das Potenzial an NuK im Restmüll in Deutschland beträgt im Mittel 42,3 kg/E*a, sodass über die Restmülltonne mehr als die Hälfte des Gesamtpotenzials von NuK in Deutschland beseitigt wird. Vergleichsweise geringe Potenziale ergeben sich beim Gelben Sack/Gelbe Tonne und bei der Tierfütterung mit jeweils rund 2 % des Gesamtpotenzials.

Eine Entsorgung über die Kanalisation (Toilette oder Spüle) findet überwiegend bei flüssigen

Nahrungsabfällen statt. Dieser Stoffstrom mit 7 % des Gesamtpotenzials ist nur dann nutzbar, wenn entsprechend dichte Verpackungen verwendet werden. Diese müssen dann allerdings biologisch abbaubar sein, wie beispielsweise Beutel aus biologisch abbaubaren Werkstoffen (BAW).

NuK, die über eine Eigenkompostierung verwertet werden, stellen dann ein bereits genutztes Potenzial dar, wenn Kompostierung und Kompostverwendung fachgerecht durchgeführt werden. Da dies häufig nicht der Fall ist und viele NuK auch nicht für eine Eigenkompostierung geeignet sind, wird dieses Potenzial von 12,3 kg/E*a bzw. 16 % des Gesamtpotenzials als noch ungenutzt bewertet.

Getrenntsammlung von NuK in der Küche

Aus der Dokumentation und Bewertung der vorhandenen Erfassungssysteme für küchenstämmige organische Abfälle wurden die in Tabelle 1 aufgelisteten Anforderungen und Beispiellösungen abgeleitet.

Bei der telefonischen Befragung der Haushalte gaben insgesamt 78 % der Befragten an, eine Biotonne zu nutzen. Die Antwort auf die Frage, was bei der Sammlung von NuK in der Küche störe, wurde getrennt nach Biotonnennutzern und Nicht-Biotonnennutzern ausgewertet (Abbildung 2).

Der überwiegende Teil der Biotonnennutzer (74 %) gab an, dass für sie bei der Sammlung keine Störfaktoren vorliegen, während bei den Nicht-Biotonnennutzern immer ein Störfaktor vorlag. Die größten Störfaktoren waren bei den Biotonnennutzern der Geruch sowie das Auftreten von Ungeziefer und bei den Nicht-Biotonnennutzern der zusätzliche Arbeitsaufwand für die Getrenntsammlung.

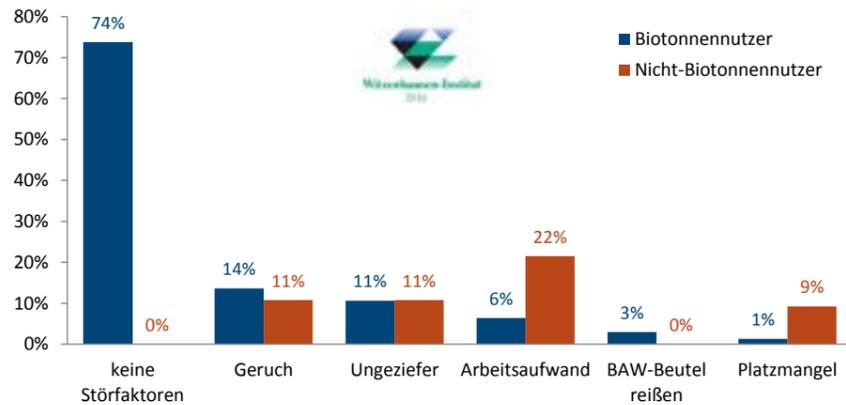


Abbildung 2: Störfaktoren bei der Sammlung von Nahrungs- und Küchenabfällen in der Küche (Mehrfachnennungen möglich)

Tabelle 1: Anforderungen und Beispiellösungen für die Erfassung von NuK in der Küche

Anforderung	Beispiellösung
Geruchsminimierung	- Sammelgefäß mit Filterdeckel
Ungezieferminimierung	- Sammelgefäß mit dicht schließendem Deckel - Belüftetes Sammelgefäß mit dichtem Beutel
Feuchtigkeitsreduzierung	- Belüftetes Sammelgefäß - Einlage aus Papier (saugfähig) - Flüssigkeitsdichter Beutel als Einlage
Optimales Volumen	- Kombiabfalleimer mit unterschiedlich großen Kompartimenten (z. B. klein für Bioabfall, groß für Verpackungen) - Beutel, der in unterschiedlichen Größen angeboten wird
Reißfester, dichter, kompostierbarer Beutel	- BAW-Beutel - Papierbeutel (fest, ggf. mit BAW-Beschichtung)
Reinigung des Sammelgefäßes	- Gut zu reinigendes Oberflächenmaterial - Kombiabfalleimer mit einzeln herausnehmbaren Kompartimenten

Analyse der Erfassungssysteme der örE

Einfluss auf die Mengen an getrennt erfassten NuK in der Biotonne haben die Ausgestaltung des Gebäudensystems, das Abfuhrintervall, die Behältergrößen und die Zulässigkeit bestimmter Stoffe. Da diese Faktoren bei den einzelnen örE häufig sehr spezifisch ausgestaltet sind und zudem noch im Zusammenhang mit der Ausgestaltung der Restmüll- erfassung und separaten Grüngutsammlung stehen, ist eine generelle Aussage darüber, welches System die Erfassung von NuK begünstigt, nicht möglich. Anhand der Abfallbilanzen und einer detaillierten

Auswertung der Satzungen und Infomaterialien der örE lassen sich jedoch hemmende oder fördernde Faktoren ableiten.

Bei 15 % aller örE, die eine getrennte Bioguterfassung anbieten, sind gekochte Speisereste von der Entsorgung über die Biotonne ausgeschlossen, während sie bei 75 % zugelassen sind und bei den restlichen 10 % unterschiedliche Angaben dazu existieren. Die örE, bei denen Speisereste ausdrücklich erlaubt sind, erzielen mit 79 kg/E*a im Mittel deutlich höhere Erfassungsmengen als die örE, bei denen Speisereste verboten sind (55 kg/E*a).

Ein weiterer Faktor, der bereits bei der Sammlung von NuK in der Küche als Beispiellösung auftauchte, ist die Nutzung von BAW-Beuteln, die jedoch nur bei 13 % der örE explizit zugelassen sind, während sie bei 32 % der örE nicht zugelassen sind und bei 55 % der örE unterschiedliche oder keine Angaben zu BAW-Beuteln existieren. Die örE, die BAW-Beutel zulassen, erzielen im Mittel mit 84 kg/E*a ca. 10 % höhere Mengen als die örE, bei denen BAW-Beutel verboten sind (75 kg/E*a).

Auswirkungen auf Biogutvergärungsanlagen – Modellierung

Um die Auswirkungen einer gesteigerten Getrennt- erfassung von NuK auf die Biogutvergärung abzuschätzen, wurden vier Szenarien zur Entwicklung der Getrennterfassung betrachtet und für eine Pflropfenstromvergärung modelliert (Tabelle 2). Abgesehen vom Szenario „Biogut Status quo“, welches die derzeitigen Verhältnisse widerspiegelt, wird in allen anderen Szenarien davon ausgegangen, dass künftig ein Teil der NuK im Rahmen der Abfallvermeidung gar nicht erst entstehen wird und ein Teil der NuK, die derzeit über den Restmüll entsorgt werden, über die Biotonne entsorgt wird. Daraus ergeben sich Steigerungen bei der spezifischen Biogutmenge der Einwohner mit Biotonnenanschluss (EB) sowie beim spezifischen Gasertrag.

Tabelle 2: Beschreibung der vier Szenarien der Getrennterfassung von Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK) für die Modellierung

Szenario	Beschreibung	Biogutmenge	Gasertrag
Biogut Status Quo	Biogut aus der Biotonne in gegenwärtiger Zusammensetzung und Menge	120 kg/EB*a	110 Nm³/Mg FM
Biogut V + 12,5 % NuK	Biogut aus der Biotonne nach Vermeidung von 10 % Nahrungs- und 2 % Küchenabfällen + 12,5 % des Potenzials an NuK aus dem Restmüll	124 kg/EB*a	111 Nm³/Mg FM
Biogut V + 25 % NuK	Biogut aus der Biotonne nach Vermeidung von 10 % Nahrungs- und 2 % Küchenabfällen + 25 % des Potenzials an NuK aus dem Restmüll	130 kg/EB*a	115 Nm³/Mg FM
Biogut V + 50 % NuK	Biogut aus der Biotonne nach Vermeidung von 10 % Nahrungs- und 2 % Küchenabfällen + 50 % des Potenzials an NuK aus dem Restmüll	142 kg/EB*a	122 Nm³/Mg FM

Im Ergebnis der Modellierung steigen neben dem Input an Biogut auch der erforderliche Input von Grüngut als Strukturmaterial für die Kompostierung des festen Gärrests sowie alle Outputgrößen, jedoch unterschiedlich stark. Abbildung 3 zeigt die Steigerungsraten der drei Szenarien mit Abfallvermeidung und Abfallmigration aus dem Restmüll im Vergleich zum Szenario „Biogut Status quo“. Da die Mengensteigerung (rote Linie in Abbildung 3) auf den energiereichen, leicht umsetzbaren NuK beruht, steigen die Strom- und Wärmeproduktion aus Biogas überdurchschnittlich an, während die Erzeugung von Kompost und flüssigem Gärrest aus Biogut unterdurchschnittlich stark steigen. Die Gesamtsteigerung dieser zwei Outputmengen ist demnach zu großen Teilen nicht auf das Biogut, sondern auf das zugegebene Strukturmaterial zurückzuführen.

Neben den quantitativen Veränderungen der Input- und Outputströme ergeben sich möglicherweise weitere Veränderungen im Vergleich zum Status quo, deren Auswirkungen sich allerdings nur qualitativ beschreiben lassen:

- Anstieg des Anteils an BAW- oder geeigneten Papierbeuteln im Biogut
- Anstieg des Anteils an PE-Tüten und anderen Fremdstoffen im Biogut
- Anstieg der Mineralstoffgehalte im Biogut mit möglichen negativen Effekten auf die Vergärungstechnik bzw. die Gärbiologie
- Homogenere Biogut-Zusammensetzung im Jahresgang

Aus den qualitativen und quantitativen Veränderungen ergeben sich mögliche Anpassungs-/ Optimierungserfordernisse für die einzelnen Prozessschritte:

- **Aufbereitung:**
 - Einsatz eines Sackaufreißers
 - Verfahren zur Abpressung des Bioguts mit Biogaserzeugung aus dem Presswasser und Kompostierung des Pressguts
 - Manuelle Sortierung

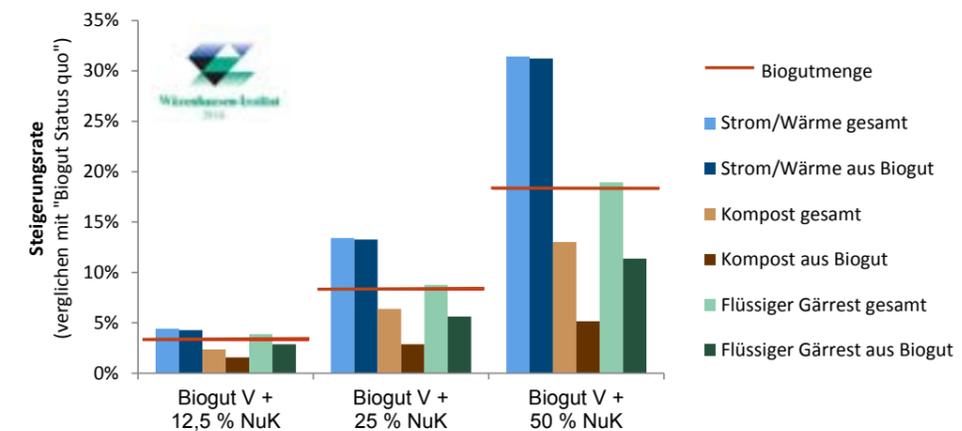


Abbildung 3: Steigerungsraten der Biogutmenge sowie verschiedener Outputgrößen einer modellierten Pflropfenstromvergärungsanlage mit Gärrestkompostierung

■ Lagerung (Zwischenbunker):

- Infolge der höheren Gehalte an leicht abbaubarer Organik im Biogut durch gesteigerte NuK-Anteile wird angenommen, dass sich die Zwischenlagerung des angelieferten Bioguts kurzfristiger gestalten muss, um ungewollte Emissionen bzw. Gasverluste zu vermeiden.

■ Vergärung:

- Bei sehr hohem Anteil von NuK zunehmende Eignung von Nassvergärungen
- Ggf. deutlich höherer Bedarf an Strukturmaterial bei Boxenvergärungen

■ Kompostierung:

- Steigender Bedarf an Strukturmaterial zur Zumischung (z. B. Grüngut)
- Teilstromvergärung von Biogut
- Aufwendigere Fremdstoffabtrennung in feuchterem Material

Auswirkungen auf Biogutvergärungsanlagen – Befragung von Herstellern und Betreibern

Die telefonisch interviewten Anlagenhersteller haben alle bereits Erfahrung mit strukturarmen, energiereichen NuK im europäischen Ausland (z. B. Schweden, Italien) gesammelt, die teilweise ohne jegliche Beimischung von Gartenabfällen in den Vergärungsanlagen behandelt werden. Die Einschätzung ist allerdings einhellig, dass sich die Erfassung in Deutschland nicht bis zu einem ähnlichen Zustand hin entwickeln wird. Somit sind technische Modifikationen vor allem im Bereich der Gärrest- und Kompostbehandlung sowie der Fremdstoffabtrennung vorzunehmen, die aber als machbar bewertet werden.

In der schriftlichen Umfrage der Anlagenbetreiber äußerten sich 92 % positiv zu einer Steigerung von NuK im Biogut. Etwa 54 % der Anlagen können zusätzliche Mengen an NuK in Höhe von 18–24 % in ihrer Anlage durch ein optimiertes Stoffstrommanagement behandeln. Ein weiteres Drittel kann durch eine Anlagenerweiterung entsprechende Kapazitäten schaffen. Durch den höheren Anteil an

strukturarmen NuK und potenziell höheren Fremdstoffgehalten erwarten ca. 60 % der Anlagenbetreiber, dass die derzeitige Qualität der Produkte (v. a. Kompost) nur mit Zusatzaufwand zu erreichen sein wird. Die am häufigsten genannten notwendigen Maßnahmen sind dabei Erweiterung der Aufbereitung des Bioguts sowie der Kompostkonfektionierung. Bei Boxen- und Pflropfenstromvergärungsanlagen werden insgesamt mehr Anpassungen als notwendig erachtet als bei Nassvergärungsanlagen.

Klima- und Ressourcenrelevanz

Durch eine steigende Biogasproduktion können fossile Energieträger substituiert und damit Treibhausgase vermieden werden, was im Rahmen von Ökobilanzen in den Wirkungskategorien KEA

fossil (fossiler Anteil des kumulierten Energieaufwands) bzw. Treibhauseffekt berücksichtigt wird.

Durch die steigende Produktion von kompostiertem Gärrest kann einerseits bei dessen landwirtschaftlicher Verwertung die Beanspruchung der knappen Ressource Phosphor reduziert und andererseits bei dessen Einsatz in Erdenwerken, im Gartenbau sowie im Garten- und Landschaftsbau Torf ersetzt werden, was in Ökobilanzen in den Wirkungskategorien Phosphaterz bzw. Torfersatz berücksichtigt wird.

Als Grundlage dient das Szenario der Vergärung in einer Anlage nach definiertem Stand der Technik inklusive Erzeugung von kompostiertem Gärrest sowie dessen Bewertung in den beschriebenen Wirkungskategorien in der Studie „Optimierung der Verwertung organischer Abfälle“ (Knappe et al., 2012). Daneben werden die in Tabelle 2 beschriebenen Szenarien betrachtet.

Um die verschiedenen Wirkungskategorien miteinander vergleichen zu können, erfolgt eine normierte Darstellung in Einwohnerdurchschnittswerten (EDW), womit die Anzahl an Einwohnern in Deutschland ausgedrückt wird, deren durchschnittlicher jährlicher Verbrauch bzw. deren durchschnittliche jährliche Fracht in einer Wirkungskategorie durch die stofflich-energetische Verwertung von Biogut eingespart bzw. ersetzt werden kann (Abbildung 4 und Abbildung 5).

Herausforderungen

Durch das hohe Interesse an dem bearbeiteten Thema seitens der Praxis (Hersteller, Anlagenbetreiber), der Branchenverbände und der Politik sowie der intensiven Zusammenarbeit mit jeweiligen Vertretern dieser Gruppen in Form von Akteurstreffen und Konferenzen konnte das Projekt effizient durchgeführt werden. Lediglich die zum Teil emotional geführten Diskussionen in der Branche um das Für und Wider von BAW-Beuteln erschwerten mitunter die sachgerechte Auseinandersetzung mit dem Thema.

Ausblick

Das Vorhaben Bio-OPTI hat zum Ziel, die gesamte Prozesskette der Erfassung und Verwertung von NuK zu optimieren und somit können die Ergebnisse gut auf das gesamte Bundesgebiet übertragen werden. Dies beinhaltet die konkrete Umsetzung in die Praxis durch die öRE mit positiven ökonomischen und ökologischen Effekten sowie die Nutzung im Rahmen des politischen Diskurses und der Öffentlichkeitsarbeit.

Ein Folgeprojekt, das sich mit der optimierten Verwertung der im Rahmen der Biogutaufbereitung anfallenden Siebreste befasst, wird vom 01.07.2018 bis zum 30.06.2020 unter dem Namen „Sieb-OPTI – Optimierte Verwertung von Siebresten aus Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen“ und dem Förderkennzeichen 03KB140 von der Witzhausen-Institut GmbH bearbeitet.

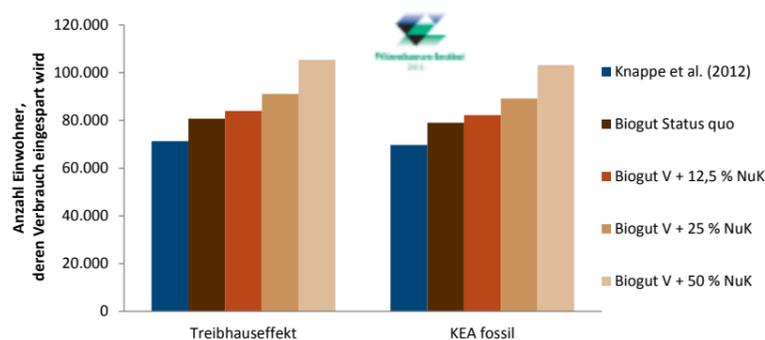


Abbildung 4: Einsparungen in den Wirkungskategorien Treibhauseffekt und KEA fossil in Einwohnerdurchschnittswerten

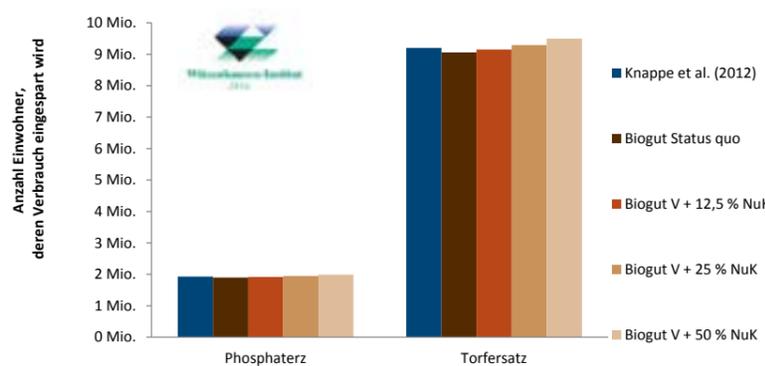


Abbildung 5: Einsparungen bzw. Ersatz in den Wirkungskategorien Phosphaterz und Torfersatz in Einwohnerdurchschnittswerten

Literatur

- Knappe, F.; Vogt, R.; Lazar, S.; Höke, S. (2012): Optimierung der Verwertung organischer Abfälle. TEXTE 31/2012, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.
- Kranert, M.; Hafner, G.; Barabosz, J.; Schuller, H.; Leverenz, D.; Kölbig, A.; Schneider, F.; Lebersorger, S.; Scherhauer, S. (2012): Ermittlung der weggeworfenen Lebensmittelmengen und Vorschläge zur Verminderung der Wegwerfrate bei Lebensmitteln in Deutschland. Studie der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung (BLE).
- Krause, P.; Oetjen-Dehne, R.; Dehne, I.; Dehnen, D.; Erchinger, H. (2015): Verpflichtende Umsetzung der Getrenntsammlung von Bioabfällen. TEXTE 84/2014, Umweltforschungsplan des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit. Umweltbundesamt (Hrsg.), Dessau-Roßlau.
- Scheffold, K. (2007): Biotonne durch Bringsystem ersetzt. Müll und Abfall, 07/07, S. 312–320.

Weitere Informationen

- Projektwebseite mit Link zum Endbericht: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/bio-opti-462/>

Mohammad Aleysa¹, Martin Ecker¹, Niro Akbary², Souha Meriee²

LEVS – Low-Emission-Verbrennungssystem



© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Das LEVS-Projekt beschäftigte sich mit der Entwicklung und der Erprobung eines innovativen Verbrennungssystems (sogenanntes Low-Emissionen-Verbrennungssystem) für Vergaserkessel zur thermischen Verwertung von Biomasse und biogenen Reststoffen. Dieses System zeichnet sich durch die folgenden technischen innovativen Merkmale aus:

- eine effektive zweistufige Abgasreinigung (Zyklonbrennkammer mit der Einbautentechnik als integrierte thermische Nachbehandlungsstufe)
- eine neuartige Verbrennungsluftzufuhr
- eine intelligenten Regelung.

Diese innovativen Systemstufen gewährleisten sowohl eine stabile saubere Verbrennung als auch einen hocheffizienten Betrieb. Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wurden die konstruktiven Auslegungsparameter und die Betriebsbedingungen des LEVS ausführlich erforscht. Anhand der erhaltenen Versuchsergebnisse und in Kooperation mit der Firma HDG Bavaria GmbH wurde ein Prototyp konstruiert, hergestellt und über circa acht Monate in der Praxis dauererprobt. Bei der Erprobung wurden umfangreiche Untersuchungen zu

FKZ-Nr.	03KB093
Laufzeit	01.10.2014 - 30.09.2016
Zuwendungssumme	480.000 €
Koordination¹	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP Nobelstraße 12 70569 Stuttgart www.ibp.fraunhofer.de
Partner²	HDG Bavaria GmbH Siemensstraße 22 D-84323 Massing www.hdg-bavaria.com
Kontakt	Dr.-Ing. Mohammad Aleysa Telefon: +49 (0)30 2323 4545 E-Mail: mohammad.aleysa@ibp.fraunhofer.de

staub- und gasförmigen Schadstoffemissionen (Gesamt- und Feinstäube, CO, CnHm und NOx), der Stabilität und der Effizienz der Verbrennung beim Einsatz verschiedener biogener Brennstoffe bei praxisnahen Betriebsbedingungen durchgeführt.

LEVS – Low-Emission-Verbrennungssystem für die Verbrennung von festen Brennstoffen in Vergaserkesseln

Themenschwerpunkte

- Vergasung und Verbrennung von Biomasse und Reststoffen
- Zweistufige integrierte Abgasreinigung
- Neuartige Zyklonbrennkammer und Verbrennungsluftzufuhr
- Einbautentechnik zur effektiven thermischen Behandlung von schwer oxidierbaren Abgasen

Zusammenfassung

Im Rahmen dieses LEVS-Projekts wurde ein innovatives Verbrennungssystem (sogenanntes LEVS: Low-Emission-Verbrennungssystem) zum Einsatz in Vergaserkesseln entwickelt und erfolgreich erprobt. Das LEVS unterscheidet sich von den Verbrennungstechnologien der herkömmlichen Vergaserkessel durch das Drei-Gebläse-Verbrennungsluftzufuhr- und Abgasfördersystem mit der intelligenten Regelung, durch die Zyklonbrennkammer und durch die Einbautentechnik. Die ausgesuchte Kombination aus dem Drei-Gebläse-Verbrennungsluftzufuhr- und Abgasfördersystem, der Zyklonbrennkammer und der Einbautentechnik hat zu einer sachgemäßen Verbrennung mit sehr niedrigen staub- und gasförmigen Emissionen geführt. Dabei wurden unabhängig vom eingesetzten Brennstoff Konzentrationen an Kohlenstoffmonoxid von kleiner als 20 mg/Vm³, an Gesamtkohlenwasserstoffen von kleiner als 2 mg/Vm³ und an Staub von kleiner als 5 mg/Vm³ über mehr als 95 % der gesamten Abbrandzeit gemessen. Mit dem LEVS wurden nicht nur sehr niedrige staub- und gasförmige Emissionen erreicht, sondern auch eine hohe Verbrennungseffizienz gewährleistet. Die Erhöhung der Verbrennungseffizienz ergibt sich bei dem LEVS aus der regelungstechnisch kontrollierten Abgastemperatur, der ständig sauberen Wärmeaustauschfläche dank der Vorabscheidung von Flugaschen und Stäuben in der Zyklonbrennkammer sowie aus der Minimierung der energiereichen Bestandteile durch die vollständige Verbrennung. Ein Kesselwirkungsgrad von über 91 % lässt sich im Nennlastbetrieb erzielen. Ausgehend vom Praxisbetrieb lässt sich eine minimale Erhöhung des Wirkungsgrads von 15 % mit entsprechenden Brennstoff- und CO₂-Ersparnissen gewährleisten.

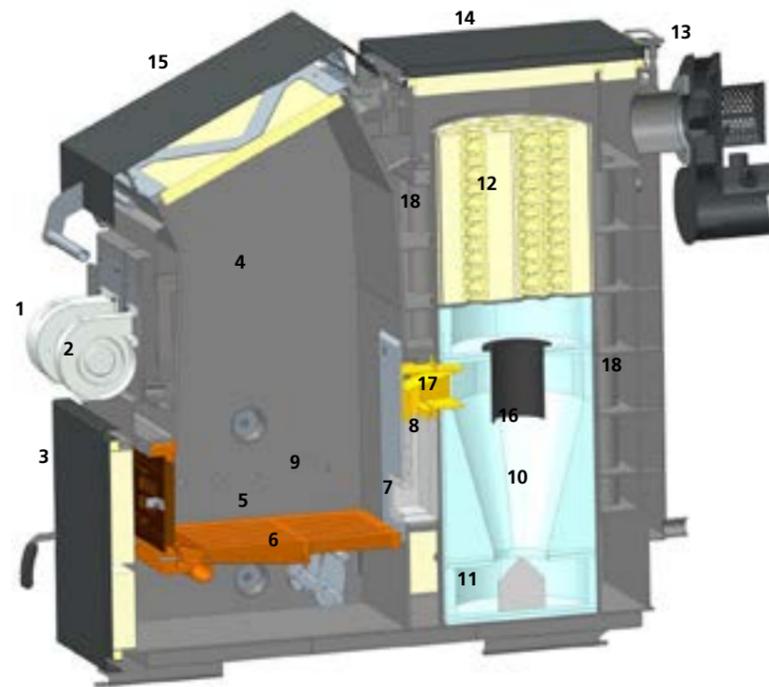
Summary

This project represents an innovative combustion system with an integrated exhaust gas treatment measurement for the thermal utilization of biomass-fueled boilers. The so called Low Emission Combustion System (LEVS) has been developed and successfully tested in the department of Combustion and Environmental Technology of Fraunhofer IBP in Stuttgart. This system is distinguished by the intelligently controlled three-fan-combustion air supply and exhaust gas system, the cyclone combustion chamber and the Einbauten-technology. These three innovations ensure both high combustion efficiency and stable, low-emission combustion in all operating phases of different solid fuels. The proposed new technology has been tested by preliminary experimental operation for various application scenarios of biomass. Meanwhile, the current environmental and health-related aspects are also investigated. Both gas and dust emissions such as carbon monoxide (CO), total hydrocarbons (C_nH_m), and nitrogen oxides (NO_x) and different other parameters have been measured continuously for the assessment of the combustion process in LEVS. The relevant emission reduction through the system results from the improvement of the combustion in critical operating phases, in which over 90 % of the total emissions produced in the conventional gasification boilers, is drastically shortened. Evenmore, a minimum increase of the boiler efficiency of 15 %, in practice, with corresponding fuel and CO₂ savings can be guaranteed.

Methodik/Maßnahmen

Für die Entwicklung des LEVS wurde eine spezielle technische Einrichtung aufgebaut bzw. verwendet. Diese Einrichtung besteht aus folgenden technischen Komponenten:

- Prüfstand gemäß DIN EN 304 sowie DIN EN 303-5,
- Verbrennungsversuchsanlagen bzw. ein Vergaserkessel auf Basis des LEVS-Konzeptes (Abbildung 1),



- | | | |
|---------------------------|--|--------------------------------|
| 1 Sekundärluftgebläse | 7 Brenngasöffnung | 13 Saugzuggebläse |
| 2 Primärluftgebläse | 8 Brenngaskanal | 14 Revisionsklappe |
| 3 Tür des Vergasungsraums | 9 Primärluftöffnungen | 15 Beschickungstür |
| 4 Brennstoff-Füllraum | 10 Zyklonbrennkammer | 16 Tauchrohr |
| 5 Vergasungsraum | 11 Staubsammelbehälter | 17 Zyklon-Eintrittskanal |
| 6 Verstellbares Rost | 12 Einbautentechnik/
Nachbehandlungsstufe | 18 Wassertasche/Wärmeaustausch |

Abbildung 1: Querschnitt des Heizkessels mit den drei innovativen Bestandteilen (Drei-Gebläse-Verbrennungsluftzufuhr- und Abgasfördersystem, Zyklonbrennkammer und Einbautentechnik) des LEVS.

- Kalt- und heißextraktive Abgasmesstechniken,
- Staubmesssysteme gemäß VDI 2066,
- Ein regelbares Wärmeabfuhrsystem für die Simulation unterschiedlicher Wärmeabgaben in Analogie zum Kesselbetrieb in der Praxis,
- Druck-, Temperatur- und Massenstrommesser,
- Datenerfassungs- und Bewertungssystem mit einer integrierten Regelung auf Basis einer programmierbaren Steuerung SPS.
- Integrierte Technologien zur Schadstoffminderung
- Maßnahme zur simultanen Minderung der staub- und gasförmigen Emissionen

Zur Entwicklung und Erprobung des LEVS wurden sowohl harte und weiche Hölzer sowie Holzhack-schnitzel mit unterschiedlichen Qualitäten als auch biogene Brennstoffe wie z. B. Traubentrester, Gärreste und Pferdemit eingesetzt. Diese Brennstoffe zeigen in der Regel unterschiedliches Vergasungs- bzw. Verbrennungsverhalten auf und decken somit eine große Bandbreite der Brennstoffvariation in der Praxis.

Ergebnisse

- Entwicklung einer neuartigen Verbrennungstechnik
- Entwicklung eines neuartigen Verbrennungsluft-zufuhrsystems mit einer intelligenten Regelung



Dr.-Ing. Mohammad Aleysa (Projektleiter):

Eine nachhaltige Abgasreduzierung bei der thermischen Verwertung von Biomasse und biogenen Brennstoffen in Kleinverbrennungsanlagen soll erst aus technischen und wirtschaft-

lichen Gründen über präventive (Vermeidung) und primäre (Verminderung) Maßnahmen erfolgen. Ein hohes Potenzial zur simultanen Minderung von Feinstäuben und Abgasschadstoffen weisen die integrierten Abgasbehandlungstechnologien auf, welche in Form einer Zyklonbrennkammer und thermischen Oxidationsstufe (Einbautentechnik) vor dem Wärmeaustausch eingesetzt werden und eine signifikante simultane Minderung der staub- und gasförmigen Emissionen gewährleisten.

Ergebnis-Fakten:

Reduzierung der staub- und gasförmigen Emissionen

Die ausgesuchte Kombination aus dem Drei-Gebläse-Verbrennungsluftzufuhr- und Abgasfördersystem, der Zyklonbrennkammer und der Einbautentechnik hat zu einer sachgemäßen Verbrennung mit sehr niedrigen staub- und gasförmigen Emissionen geführt. Dabei wurden unabhängig vom eingesetzten Brennstoff Konzentrationen an Kohlenstoffmonoxid von kleiner als 20 mg/Vm³ (Abbildung 2), an Gesamtkohlenwasserstoffen (gemessen als Propan C₃H₈) von kleiner als 2 mg/Vm³ (Abbildung 3), und an Staub von kleiner als 5 mg/Vm³ (Abbildung 4), über mehr als 95 % der gesamten Abbrandzeit (Anfahrbetriebsphase, Regelbetriebsphase, Nachbeschickungsphase und Ausbrandphase) gemessen. Ein Einfluss auf die Stickstoffoxide durch das LEVS konnte nicht festgestellt werden. Die niedrigeren Stickstoffoxide im Vergleich zu anderen Verbrennungskonzepten der Biomasseheizkessel sind auf die gestufte Verbrennung zurückzuführen. Die maßgebliche Emissionsminderung durch das LEVS ergibt sich aus der Verbesserung der Verbrennung in kritischen Betriebsphasen wie z. B.: Anfahrbetriebsphase, Nachbeschickungsphase und Teillastbetriebsphase. Die Anfahrbetriebsphase, bei der in herkömmlichen Vergaserkesseln über 90 % der gesamten Emissionen entstehen, wurde beim Betrieb des LEVS drastisch verkürzt sowie die Emissionsspitzen massiv (um circa das 4-fache) reduziert. Bei erfolgreicher Anzündung dauert die Anfahrbetriebsphase im Kaltstart des LEVS weniger als sechs Minuten bei höchsten Konzentrationen an Kohlenstoffmonoxid von weniger als 12.000 mg/Vm³, wobei diese Betriebsphase bei herkömmlichen Vergaserkesseln bis zu 90 Minuten bei Konzentrationen an Kohlenstoffmonoxid von bis 50.000 mg/Vm³ andauern kann. Die minimale Reduzierung der staub- und gasförmigen Emissionen im Praxisbetrieb durch das LEVS im Vergleich zu herkömmlichen Vergaserkesseln beträgt 87 %.

Die Einbautentechnik hat eine besonders hohe Oxidationsleistung von schweroxidierbaren gas- und staubförmigen Bestandteilen, die in der Regel sowohl hohe Temperaturen (über 700 °C) mit einer längeren Verweilzeit (von

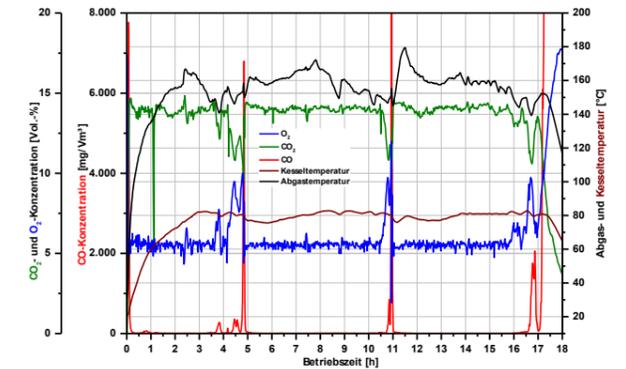


Abbildung 2: Sauerstoffgehalt, Konzentrationen von Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid sowie Abgas- und Kesseltemperatur bei der Verbrennung von Buchenscheitholz im LEVS.

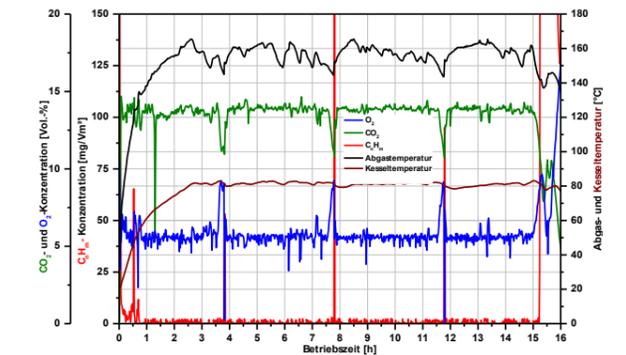


Abbildung 3: Sauerstoffgehalt, Konzentrationen von Gesamtkohlenwasserstoffen und Kohlenstoffdioxid sowie Abgas- und Kesseltemperatur bei der Verbrennung von Buchenscheitholz im LEVS.

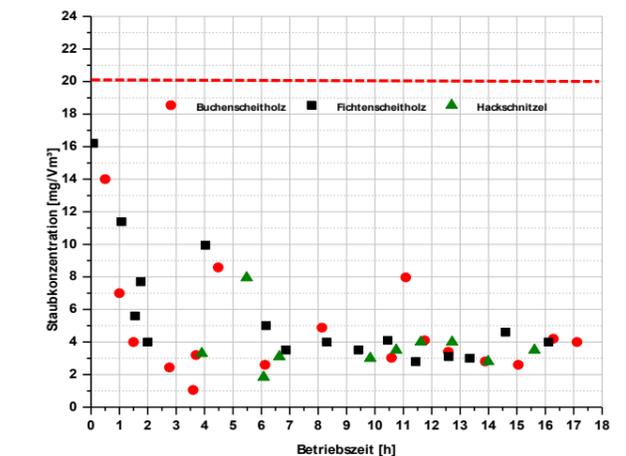


Abbildung 4: Staubkonzentrationen bei der Verbrennung von unterschiedlichen Brennstoffen im LEVS.

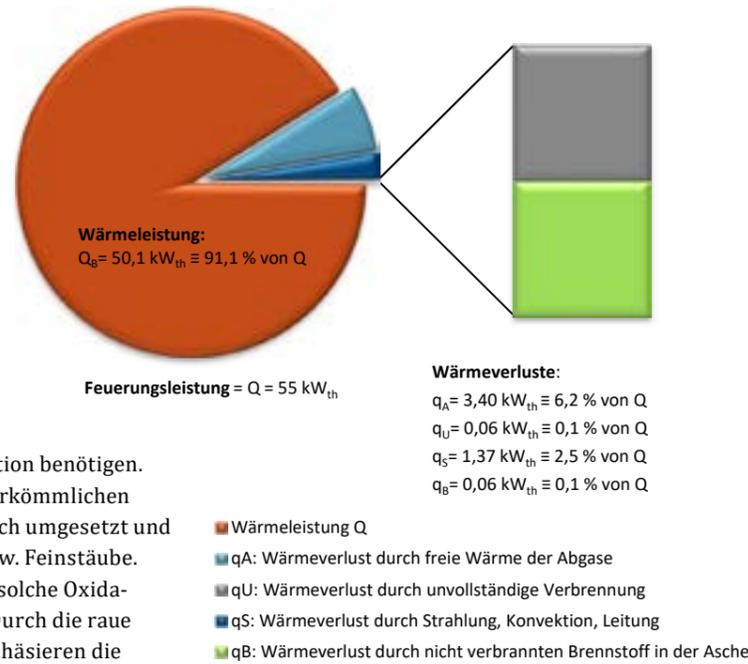


Abbildung 6: Feuerungsleistung und Wärmeleistung bzw. Relativwerte der Wärmeverluste bezogen auf die Feuerungsleistung bei einem Betrieb des LEVS mit Buchenscheitholz.

mehreren Sekunden) für ihre Oxidation benötigen. Diese Bestandteile werden in der herkömmlichen Verbrennungstechnik nicht thermisch umgesetzt und verbleiben im Abgas als Aerosole bzw. Feinstäube. Ohne die Einbautentechnik werden solche Oxidationsbedingungen nicht realisiert. Durch die raue Oberfläche der Einbautentechnik adhäsieren die schweroxidierbaren organischen Bestandteile an der heißen Oberfläche der Einbautentechnik und werden anschließend afoxydiert.

Die besondere Leistung der Einbautentechnik liegt in der Abscheidewirkung von Feinstäuben im Nanometerbereich. Im Rahmen dieses Projekts wurden Feinstaubpartikel an der gleichen Stelle in der Abgasanlage mit und ohne Einbautentechnik beim Betrieb des LEVS-Prototypen durch ein Partikelzählverfahren ermittelt. Solche Stäube sind für die Menschen besonders gesundheitsrelevant und lassen sich gravimetrisch nicht erfassen. In Abbildung 5 ist die Verteilung der Partikelanzahlkonzentrationen mit und ohne Einbautentechnik beim Betrieb des LEVS im Größenbereich von 5 nm bis 350 nm dargestellt. Aus dieser Abbildung lässt sich ablesen, dass durch diese innovative und kostengünstige Technik eine bedeutende Minderung der Feinstäube erreicht werden kann. Dabei wurde eine Minderung von Feinkonzentrationen zwischen 45 % und 50 % erreicht.

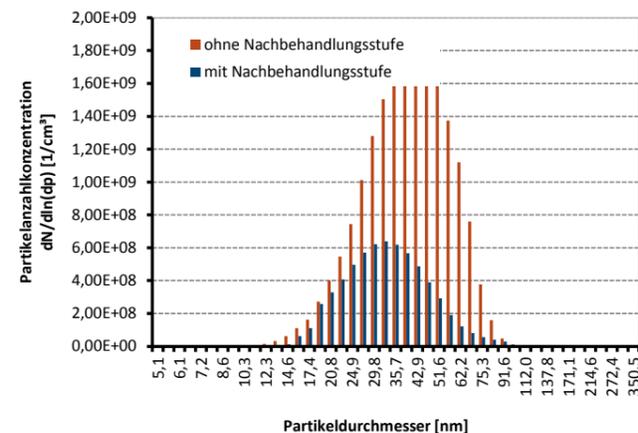


Abbildung 5: Verteilung der Partikelanzahlkonzentrationen mit und ohne Nachbehandlungsstufe im LEVS.

Verbrennungseffizienz

Mit dem LEVS wurden nicht nur sehr niedrige staub- und gasförmige Emissionen in über 95 % der verbrannten Betriebschargen mit einer sehr hohen Wiederhol- und Reproduzierbarkeit erreicht, sondern auch eine hohe Verbrennungseffizienz, unabhängig vom Betriebszustand und von den eingesetzten Brennstoffe gewährleistet (Abbildung 6).

Die Erhöhung der Verbrennungseffizienz ergibt sich bei dem LEVS aus der regelungstechnisch kontrollierten Abgastemperatur, der ständig sauberen Wärmeaustauschfläche dank der Vorabscheidung von Flugaschen und Stäuben in der Zyklonbrennkammer

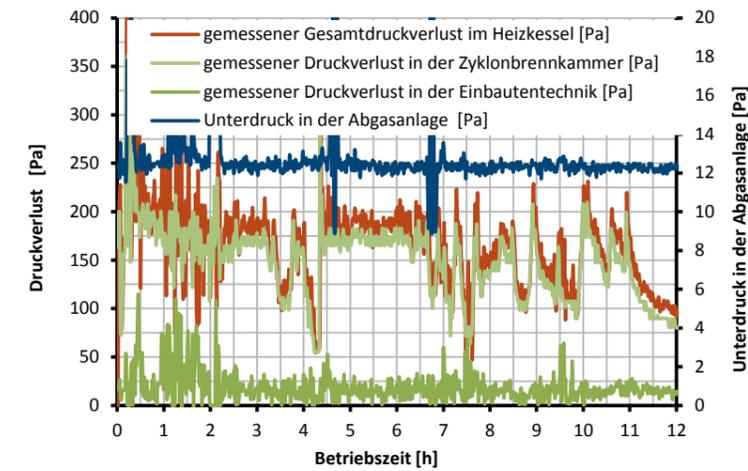


Abbildung 7: Druckverluste im LEVS während des Betriebs.

mer sowie aus der Minimierung der energiehaltigen Bestandteile durch die vollständige Verbrennung. Ein Kesselwirkungsgrad von über 91 % lässt sich im Nennlastbetrieb erreichen. Ausgehend vom Praxisbetrieb lässt sich eine minimale Erhöhung des Wirkungsgrads von 15 % mit entsprechenden Brennstoff- und CO₂-Ersparnissen gewährleisten.

Druckverlust und Strömungsverhältnisse

Der Gesamtdruckverlust im LEVS lag unter 300 Pascal. Dabei entsteht der Hauptdruckverlust durch den Strömungswiderstand in der Zyklonbrennkammer. Weniger als 15 % des gesamten Druckverlusts wird durch die Einbautentechnik verursacht (Abbildung 7).

Mit dem Standardsaugzuggebläse der Firma HDG Bavaria GmbH wurde der Druckverlust im LEVS reibungslos überwunden sowie günstige Strömungsverhältnisse im Heizkessel für eine stabile Vergasung und somit optimale Verbrennung eingestellt. Für einen sicheren und praxistauglichen Betrieb sind konstante Strömungsverhältnisse über eine längere Betriebszeit (mindestens 2.500 Betriebsstunden) von großer Bedeutung, welche beim Betrieb des LEVS sichergestellt wird. Eine unkontrollierte Druckverlustserhöhung in der Einbautentechnik wegen der Verstopfung mit Rückständen ist vor allem beim Einsatz von problematischen Brennstoffen wie z. B. feuchtes (Wassergehalt > 20 ma.-%) Fichtenholz nicht aufgetreten bzw. ist über lange Betriebszeit auszuschließen. Der Strömungswiderstand durch

die Zyklonbrennkammer sowie durch die Einbautentechnik hat zur Stabilisierung der Strömungsverhältnisse im gesamten LEVS beigetragen, wodurch der Einfluss von ungünstigen Unterdruckschwankungen in der Abgasanlage, wie es häufig im Praxisbetrieb vorkommt, total eliminiert werden kann. Dabei hat der Unterdruck in der Abgasanlage keinen Einfluss auf die Mengen und Verteilung der zugeführten Verbrennungsluft und folglich auf die Verbrennungsqualität aufgewiesen.

Ausblick

Die Vorteile des LEVS-Verbrennungskonzepts lassen sich auf die automatisch beschickten Heizkessel zur Verfeuerung von Hackschnitzel und sonstigen biogenen Brennstoffen übertragen. Mit der LEVS-Technik sollen die Grenzwerte der 1. BImSchV ohne jegliche Sekundärmaßnahmen eingehalten werden. Die ökonomischen Vorteile dabei können deutlich bei Heizkesseln mit einer thermischen Leistung kleiner als 100 kW festgestellt werden bzw. bei denen sich eine gut und sicher funktionierende Filtertechnik nur bedingt wirtschaftlich realisieren lässt. Die Entwicklung des LEVS-Konzepts für automatisch beschickte Heizkessel erfolgt nun in der Kooperation mit der Firma HDG Bavaria im Rahmen eines Nachfolgeprojekts (CleanFire, FKZ: 01LY1708A), welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung BMBF über den Projektträger DLR gefördert wurde. Eine besondere Rolle in der Zukunft soll die Einbautentechnik für die selektive nicht katalytische Reduktion von Stickstoffoxiden spielen.

Weitere Informationen

- Endbericht: <https://doi.org/10.2314/GBV:100339583X>
- Projektwebseite: <https://www.energetische-biomassennutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/levs-517/>

Tobias Heidrich¹, Jens Hesselbach¹, Oliver Ramm³, Peter Ritter⁴, Thomas Heller⁵

BioPower2Gas



Die Flexibilisierung von Biomethan- und Biogasanlagen, nimmt eine wesentliche und systemstützende Rolle in einem Energieversorgungssystem ein, das zunehmend auf erneuerbaren Energien (EE) basiert. Es wurde untersucht, welche Chancen in der Flexibilisierung der Anlagen steckt und wie gleichzeitig auch die Belange des Verteilnetzes in innovativen Geschäfts- und Vertragsmodellen berücksichtigt werden kann. Verschiedene Anlagenkonfigurationen und Betriebsweisen können in Zukunft konkrete Netzdienstleistungen erbringen und eine Integration von fluktuierenden EE ermöglichen, ohne das Stromnetz ausbauen zu müssen.

Themenschwerpunkte

- Bedarfsgerechte Stromeinspeisung durch optimiertes Energiemanagement
- Biogasanlagen als Spitzenlastkraftwerke
- Bioenergieanlagen zur Netzentlastung
- Betriebsoptimierung der Anlagen
- Beitrag der flexibilisierten Anlagen im Energiesystem
- Steuerungssoftware für den Anlagenbetrieb
- Simulationsmodelle, -software und Optimierungswerkzeuge

FKZ-Nr.	03KB089
Laufzeit	01.09.2013 - 31.08.2016
Zuwendungssumme	747.713 €
Koordination¹	IdE Institut dezentrale Energietechnologien gGmbH Ständeplatz 15, 34117 Kassel www.ide-kassel.de
Partner²	EnergieNetz Mitte GmbH (ehemals E.ON Mitte AG) EAM EnergiePlus GmbH Monteverdistraße 2, 34131 Kassel www.energienetz-mitte.de
Partner³	EAM EnergiePlus GmbH (ehemals E.ON Mitte Wärme GmbH) Monteverdistraße 2, 34131 Kassel www.eam.de
Partner⁴	Ramboll CUBE GmbH (ehemalig CUBE Engineering GmbH) Breitscheidstraße 6, 34119 Kassel www.ramboll.de, www.ramboll.com
Partner⁵	MicroEnergy GmbH (Viessmann Group) Beyernwerk 8, 92421 Schwandorf www.microenergy.com
Kontakt	Prof. Dr.-Ing. Jens Hesselbach Telefon: +49 (0)561-804 346 E-Mail: hesselbach@upp-kassel.de

BioPower2Gas - Demonstration und Vergleich von optimal leistungsregelbaren Biogastechnologien

- Strategie für den Klimaschutz
- Analyse der regionalen Wertschöpfungseffekte
- Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens und der Märkte

Zusammenfassung

Im Fokus des Vorhabens BioPower2Gas steht die Flexibilisierung von drei unterschiedlichen Biomethan- und Biogasanlagen, die eine wesentliche und systemstützende Rolle in einem zunehmend von erneuerbaren Energien dominierten Energieversorgungssystem einnehmen. Die Möglichkeit, Biogas-, Biomethan- und BioPower2Gas-Anlagen flexibel zu betreiben, eröffnet Chancen, Versorgungslücken zu schließen oder in Zeiten hoher EE-Einspeisung Strom- und Wärmeproduktion zu drosseln bzw. zeitlich zu verlagern. Überschüssiger Strom aus Wind- und Sonnenenergie wird genutzt, um mit dem BioPower2Gas-Verfahren aus Wasser mittels Elektrolyse Wasserstoff herzustellen (Elektrolyseur). Dieser Wasserstoff wird dann, angereichert mit CO₂ aus einer Biogas- oder Vergärungsanlage, über ein mikrobiologisches Verfahren methanisiert (Abbildung 1). Es entsteht Biomethan, welches im Erdgasnetz gespeichert oder bei Bedarf mittels KWK verstromt werden kann.



Thomas Heller
(Projektleiter):

Mit dem BioPower2Gas-Projekt haben wir Pionierarbeit für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen nach dem EEG geleistet!

Durch diese flexiblen Einsatzmöglichkeiten von Bioenergieanlagen dienen sie einerseits als Energieproduzent andererseits als Speicher und können somit einen teuren Netzausbau verhindern.

In diesem Projekt wurden mehrere Flexibilisierungsoptionen untersucht:

- Biomethan-Erzeugung mit BioPower2Gas-Verfahren
- Flexible Stromerzeugung mit Biomethan-BHKW mit Wärmespeicher
- Flexible Biogasanlage mit Wärme- und Gasspeicher

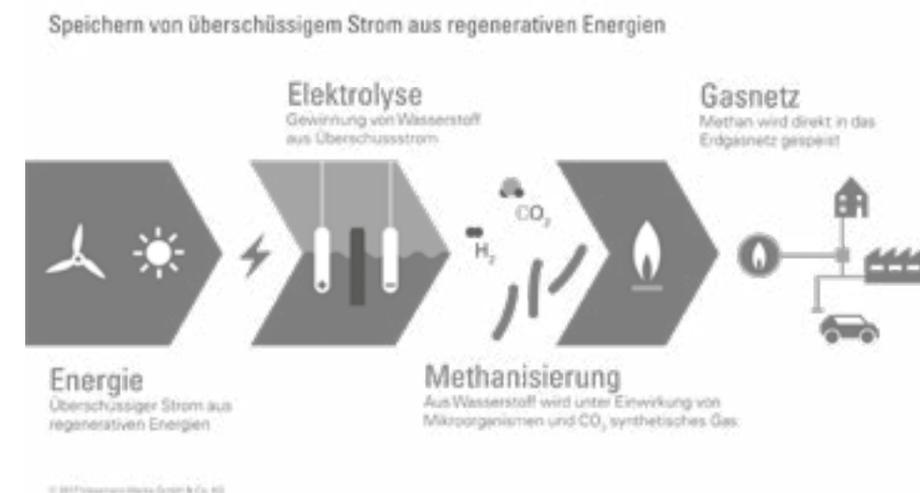


Abbildung 1: Überschussstrom aus erneuerbaren Energien wird in einem Verfahren zu Gas umgewandelt, das speicherbar und in verschiedenen Sektoren anwendbar ist.



Abbildung 2: Ausgewählte Modellanlagen, an denen der flexible Betrieb praktisch untersucht und demonstriert wurde, Quelle: Viessmann/MicrobEnergy

Summary

The BioPower2Gas project focuses on the transition to a flexible mode of operation of three different biomethane and biogas plants. Their role is essential in an energy supply system increasingly dominated by renewable energy sources. New possibilities regarding the prevention of energy shortfalls are offered by the flexible mode of operation of biogas, biomethane and BioPower2Gas plants: In periods with an elevated feed-in of renewable energy the production of electricity and heat can be reduced or shifted in time.

Excess wind and solar power are used to produce hydrogen from water via electrolysis using the BioPower2Gas process. The hydrogen produced is then aerated with carbon dioxide from a biogas or fermentation plant and eventually methanised via a microbiological process.

The biomethane generated can be either stored in the gas grid or – if required – be converted into electricity with CHP.

Due to its flexible applications, bio-energy plants can avoid the necessity for grid extension.

Within this project, the following flexibility options were examined:

- Production of biomethane via BioPower2Gas
- Flexible energy production with CHP and heat storage
- Flexible biogas plant with heat and gas storage.

Methodik/Maßnahmen

Um die Anlagen optimiert zu betreiben, wurden wirtschaftlich optimierte Anlagenkonfiguration und Betriebsweise untersucht und in einem weiteren Schritt Betriebsfahrpläne entwickelt, die Märkte, Anlagenrestriktionen sowie neue Geschäftsmodelle mit Netzbetreibern und Stromvertrieb berücksichtigen. Als Bewertungskriterien der Flexibilisierungsansätze dienen Treibhausgasemissionen, Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit sowie die Verträglichkeit im Verteilnetz.

- Einsatz von Messtechnik, Durchführung von Messreihen
- Simulation flexibler Anlagen
- Berechnung von Einsatzpotenzialen flexibler Bioenergieanlagen und ihrer Auswirkung auf das Stromverteilnetz
- Anlagenindividuelle Einsatzoptimierung und Entwicklung eines Fahrplanmanagements unter Berücksichtigung von Netzrestriktionen
- Planung, Bau, Betrieb der flexibilisierten Anlagen
- Beteiligung an der Entwicklung des Fahrplanmanagements
- Wirtschaftlichkeitsanalysen und Entwicklung von Geschäftsmodellen
- Monitoring des flexiblen Anlagenbetriebs im Feldtest
- Empfehlungen zur Weiterentwicklung des Rechtsrahmens

Der hessische Ministerpräsident Volker Bouffier (links) weiht zusammen mit dem Chairman der Viessmann Group, Prof. Dr. Martin Viessmann offiziell die PtG-Anlage am Standort Allendorf (Eder) am 29.02.2016 ein.



Ergebnisse

- Errichtung einer Power-to-Gas-Demonstrationsanlage
- Betriebsoptimierung
- Implementierung von Flexibilisierungsfahrplänen

Ergebnis-Fakten:

Bei einer fluktuierenden Stromeinspeisung aus Wind und Sonne werden steuerbare und flexible Stromerzeugungsanlagen benötigt, um die Differenz zwischen Stromverbrauch und wetterbedingten Schwankungen der Stromeinspeisung auszugleichen.

BioPower2Gas-Anlage (Standort Allendorf(Eder))

Im Herbst 2014 wurde die Demonstrationsanlage des Projektes am Standort der Kläranlage Schwandorf vormontiert und für Testzwecke in Betrieb genommen. Im März 2015 wurde sie am VISSMANN Firmensitz in Allendorf in die bestehende Infrastruktur eingepasst und liefert seitdem eine hervorragende Produktgasqualität von mehr als 98 % Methan-Gehalt mit sehr geringem Wasserstoff-Anteil von weniger als 2 %. Die Anlage nimmt am Regelenergiemarkt teil und wird automatisiert betrieben.

BioPower2Gas-Anlagen können als zusätzlicher Verbraucher fungieren oder bei drohender Netzüberlastung Methan produzieren. Das produzierte Methan wird im Gasnetz gespeichert und kann in Zeiten geringer EE-Einspeisung in Kraftwärmekopplungs-Anlagen (KWK) wiederum genutzt werden.

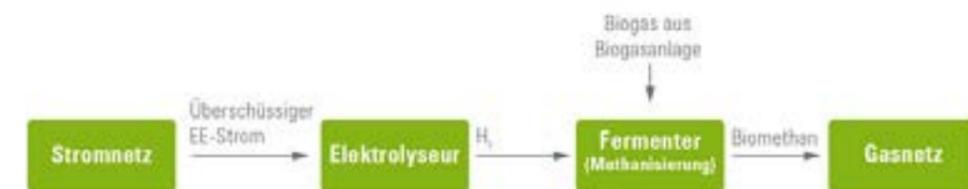


Abbildung 2: BioPower2Gas-Anlage mit einer Flexibilisierung durch Erweiterung einer Biogasanlage um einen Elektrolyseur und Fermenter



Abbildung 3: Biomethan-BHKW mit einer Flexibilisierung durch Auslegung mit größerem BHKW und Ergänzung um einen Wärmespeicher

In Allendorf wird eine Biogasanlage um einen Elektrolyseur und einen separaten Behälter zur Methan-erzeugung erweitert. Die Demonstrationsanlage nimmt Spitzenstrom aus EE-Anlagen zur Netzstabilisierung auf, erzeugt Wasserstoff (H_2), der mit CO_2 in synthetisches Methan umgewandelt wird und reinigt zusätzlich das Biogas zu einspeisefähiger Gasqualität auf. Das gesamte erzeugte Biomethan wird direkt vor Ort in das Erdgasnetz eingespeist und anderorts rückverstromt. Ein Teil des Gases wird zudem als CNG-Kraftstoff vermarktet.

Biomethan-Blockheizkraftwerk (BHKW) (Standort Philippsthal)

Dieses Beispiel zeigt eine Flexibilisierung mittels Erhöhung der BHKW-Leistung und Errichtung eines zusätzlichen Wärmespeichers. Hierbei war besonders, dass ein stillgelegter Heizöltank in einen Wärmespeicher umgebaut wurde, um die Integration eines Wärmespeichers in der Liegenschaft und damit den flexiblen Betrieb zu ermöglichen. Ziel war einen maximalen Anteil der KWK an der Wärmeversorgung zu gewährleisten. Diese Vorgabe wurde bei der Flexibilisierung berücksichtigt und in der täglichen Fahrplanoptimierung umgesetzt. Es wurde ein Fahrplan anhand von vorgegebenen Zeitfenstern für die BHKW-Laufzeiten entwickelt (Ampelmodell), mit dem eine gute Fahrplatreue mittels flexibler Fahrweise erreicht werden konnte. Der Aufwand für den Anla-

genbetreiber ist durch diese Methodik sehr gering und führt kaum zu Mehrbelastung gegenüber dem klassischen BHKW-Betrieb in Grundlast.

Flexible Biogasanlage (Standort Jühnde)

Ziel der Optimierung im Bioenergieort Jühnde war die Flexibilisierung der bestehenden Biogasanlage mit 715 kW durch die zusätzliche Installation von weiteren BHKW nach dem EEG 2014, so dass die Anlage energiewendekonform flexibel auf Bedarfs- oder Marktpulse reagieren kann. Die zusätzliche Investition wird im Wesentlichen über die Flexibilitätsprämie abgedeckt. Dazu wurden zunächst detaillierte techno-ökonomische Simulationen für verschiedene Anlagenkonfigurationen durchgeführt, um die wirtschaftlichsten Varianten zu ermitteln. Auf Basis dieser Analyse wurde dann von dem Anlagenbetreiber die Anlage mit zwei BHKWs mit je 550 kW_{el}, einen zusätzlichem Wärmespeicher und einem vergrößerten Gasspeicher erweitert. In der zweiten Phase wurde mit einer im Projekt entwickelten Einsatzoptimierung Erfahrungen gesammelt, welche Auswirkungen der marktorientierte flexible Einsatz, sprich Teilnahme an der Day-Ahead-Auktion an der Börse EPEX hat.

Es hat sich gezeigt, dass eine weitere Anlagenflexibilisierung wünschenswert ist, um neben dem täglichen bedarfsorientierten Betrieb auch saisonale Flexibi-



lität entsprechend dem höheren Wärmebedarf im Winter umsetzen zu können. Hier bietet sich eine Hydrolysevorstufe bei der Gasproduktion in Verbindung mit einem aktiven Fütterungsmanagement an.

Ausblick

Derzeit sind die rahmenpolitischen Bedingungen in Deutschland ungünstig, um die Power-to-Gas-Technologie großflächig in den Markt zu integrieren.

Ein wesentliches Hemmnis stellt die Belastung des Anlagenbetriebs mit Stromletzverbraucherabgaben dar (z. B. EEG-Umlage). Ein weiterer Punkt, warum sich Power-to-Gas-Anlagen nicht als Geschäftsmodell rentieren, ergibt sich durch die Härtefallregelung im EEG. Dabei wird zur Risikominimierung den Betreibern fluktuierender Erneuerbarer-Energien-Anlagen ein Erlös garantiert, auch wenn der Strom aufgrund von Engpässen nicht in das Netz eingespeist werden kann.

Der Rechtsrahmen im EEG sollte deutlich die Wärmenutzung aus KWK fördern und die Systemdienlichkeit der Biogas- und Biomethananlagen und ihrer Infrastrukturen deutlicher in den Fokus setzen. Dazu wäre der Deckel auf die Flexibilitätsprämie aufzuheben oder mindestens das Volumen zu erhöhen, sowie Systemdienstleistungen wie Blindleistungslieferung, Schwarzstartfähigkeit und Netzstützung zu honorieren.

Da Sektorenkopplung und die Flexibilität von steuerbaren Anlagen für den weiteren Ausbau der fluktuierenden Erneuerbaren Energien eine sehr wichtige Rolle spielt, sind die Anreize für den Bau von flexiblen erdgasbetriebenen BHKW auszuweiten. Diese können dann später auf das erneuerbare Gas aus den Power-to-Gas-Anlagen umgestellt werden.

Bedingt durch die in Deutschland bestehenden Hemmnisse fokussiert sich die MicroEnergy verstärkt auf Länder, in denen geeignetere Rahmenbedingungen vorliegen. Die MicroEnergy erarbeitet für verschiedenste Standorte Konzepte, in denen Power-to-Gas eine Anwendung findet. Für die komplette Abschätzung der Machbarkeit wird die Eignung des Standortes für das biologische Methanisierungsverfahren (BiON@-Verfahren) optional in einer Technikumsanlage getestet und die entsprechende Verfahrenstechnik bis zum Basic Engineering ausgelegt. Die Muttergesellschaft Viessmann plant auf dieser Basis in Kooperation mit der Swisspower AG eine Power-to-Gas-Anlage, die am Standort der Kläranlage Dietikon in der Schweiz errichtet wird.

Die Ramboll CUBE fokussiert sich zukünftig u. a. mehr auf die techno-ökonomische Simulation von KWK-Energiesystemen mit Sektorenkopplung bei Nah- und Fernwärmeprojekten.

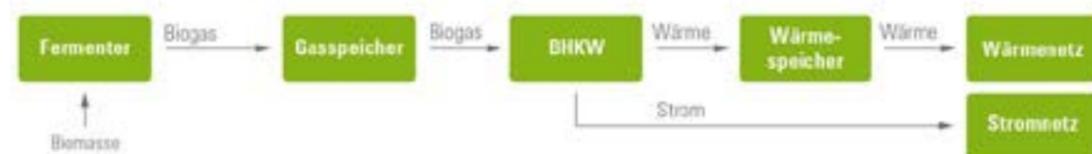


Abbildung 4: Flexible Biogasanlage mit Ergänzung um ein weiteres größeres BHKW sowie um einen Gas- und Wärmespeicher

Weitere Informationen

- Endbericht: <https://doi.org/10.2314/GBV:890937737>
- Projektwebseite: <https://www.energetische-biomassennutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/biopower2gas-509/>

Björn Schwarz¹, Burkhardt Faßauer¹

CLEANPELLET



© Fraunhofer IKTS

Deutschland ist das holzreichste Land Europas. Dennoch entwickelt sich Holz aufgrund der Konkurrenz von stofflicher und stark zunehmender energetischer Nutzung sehr schnell zu einem knappen Gut mit entsprechend steigenden Preisen. Aus wirtschaftlicher Sicht und auch aus Gründen der Nachhaltigkeit sollte der Einsatz alternativer biogener Brennstoffe in Betracht gezogen werden.

Im Rahmen des Projektes CLEANPELLET sollte auf der Basis von gezielt modifizierten Gärresten eine Alternative zu reinen Holzpellets entwickelt und untersucht werden. Gärreste weisen vor allem bezüglich des Gehaltes an Asche, des Gehaltes an korrosionsrelevanten Elementen (z. B. Cl, S, N) sowie des Gehaltes an Elementen mit Einfluss auf die Schlackebildung (z. B. K, Na, Si) deutlich erhöhte Werte gegenüber Holz auf. Eine sichtbare Reduktion dieser Störelemente mit möglichst geringem Aufwand bezüglich Technik und Ressourcen war Gegenstand der Untersuchungen.

Weiterhin sollten das Recycling des verwendeten Waschwassers für eine mehrmalige Nutzung konzipiert und die Verbrennung der aufbereiteten Gärreste messtechnisch bewertet werden.

FKZ-Nr.	03KB099
Laufzeit	01.09.2013 - 31.08.2017
Zuwendungssumme	933.777 €
Koordination¹	Fraunhofer IKTS Winterbergstraße 28, 01277 Dresden www.ikts.fraunhofer.de
Partner²	Lehmann-UMT GmbH Kurze Straße 3, 08543 Pöhl www.lehmann-umt.de
Partner³	DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig www.dbfz.de
Kontakt	Björn, Schwarz Telefon: +49 (0)351 2553 7745 E-Mail: bjoern.schwarz@ikts.fraunhofer.de

Entwicklung eines Verfahrens für die Erzeugung emissionsarm verbrennbarer Gärrestpellets zur Nutzung als Brennstoff für Haus- und Kleinfeuerungsanlagen

Themenschwerpunkte

- Gärrestbehandlung
- Thermische Gärrestverwertung
- Regenerative Wärmeerzeugung
- Prozesswasserbehandlung

Zusammenfassung

Innerhalb des Projektes Cleanpellet wurde die Aufbereitung von herkömmlichen Gärresten zu einem potenziellen Brennstoff für Haus- und Kleinfeuerungsanlagen untersucht, eine Verfahrenskette konzipiert und im kleintechnischen Maßstab getestet.



Björn Schwarz
(Projektleiter):

Unter Berücksichtigung einer ausgeglichenen Humusbilanz durch ausreichende Rückführung von Ernterückständen und Gärresten auf die Ackerflächen

ist eine maximale stoffliche und energetische Ausnutzung von überschüssigen Biomassen anzustreben. Insbesondere im Faseranteil von Gärresten liegt noch ein erhebliches Potenzial, welches thermisch genutzt werden sollte. So kann „Cleanpellet“ einen Beitrag zur Erreichung der CO₂-Einsparziele im Sektor der Wärmeerzeugung leisten.

Summary

Within the Cleanpellet project, the processing of conventional biogas digestate into a potential fuel for domestic and small combustion plants was investigated as well as a process chain was designed and tested on a small-scale. The process chain consists essentially of aggregates for digestate separation (screw presses), which are available on the market and complemented by targeted use of wash water. Fermentation residues have improved fuel properties due to the processing developed in the project, which in the best case can lead to class A according to DIN EN ISO 17225-6. The appropriate pelleting must be adapted to the substrate. Above all, the high ash load is a challenge for combustion in a 50 kW boiler, which will also decisively determine how continuous operation will proceed. In order to be able to use the ashes as fertilizer, above all the burn-out must be optimized. Currently, the fuel will be difficult to use in a 1. BImSchV plant, since there are no approved boilers for the fuel.

Die Verfahrenskette besteht im Wesentlichen aus am Markt verfügbaren Aggregaten zur Gärrestseparation (Schneckenpressen), welche durch gezielten Einsatz von Waschwasser ergänzt werden. Gärreste weisen nach der im Projekt entwickelten Aufbereitung verbesserte Brennstoffeigenschaften auf, die im besten Fall zu Klasse A nach DIN EN ISO 17225-6 führen können. Die entsprechende Pelletierung muss dem Substrat angepasst werden. Bei der Verbrennung in einem 50 kW-Kessel ist vor allem die hohe Aschefracht eine Herausforderung, die auch maßgeblich bestimmt, wie der Dauerbetrieb verlaufen wird. Um die Asche als Düngemittel einsetzen zu können, muss vor allem der Ausbrand optimiert werden. Aktuell wird der Brennstoff nur schwer in einer 1. BImSchV-Anlage eingesetzt werden können, da es noch keine zugelassenen Kessel für einen Brennstoff aus Gärresten gibt.

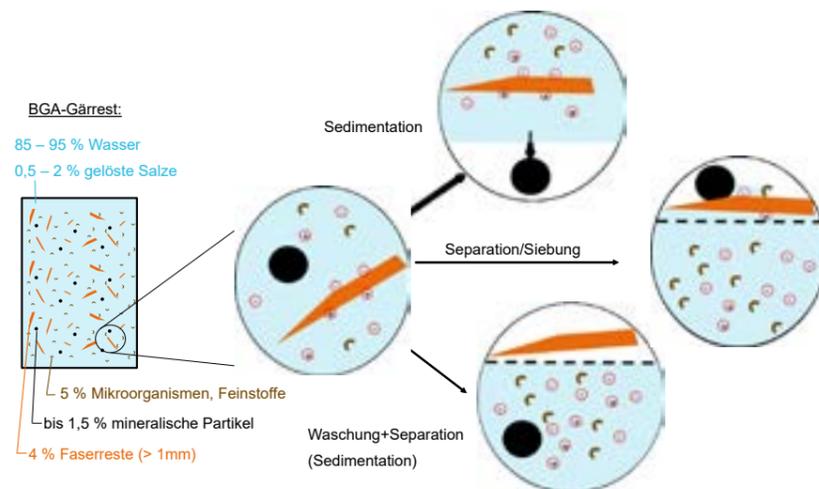


Abbildung 1: Hauptbestandteile im Gärrest und deren Abtrennung, Quelle: Fraunhofer IKTS

Methodik/Maßnahmen

- Systematische Behandlung von verschiedenen Gärresten im Labor und im kleintechnischen Maßstab
 - Zielstellung: maximaler Reinheitsgrad der Faserreste
 - Entfernung von:
 - Wasser und gelösten Salzen
 - Feinstoffe (z. B. Mikroorganismen)
 - Mineralische Partikel (z. B. Sand)
- Aufbereitungsverfahren:
 - Sedimentation
 - Siebung
 - Vibrationssieb
 - Schneckenpresse
 - Waschung + Siebung
 - Konditionierung durch Extrusion
- Analytische Bewertung:
 - TR, Aschegehalt
 - Gehalt an Alkali (K, Na, Si) → Ascheerweichung
 - Gehalt an Stickstoff, Schwefel und Chlor → Korrosion
 - Gehalt an Schwermetallen
- Trocknung
- Zerkleinerung (Netzsch Hammermühle)
- Pelletierung (Salmatec Ringmatritze)
- Simultane Thermoanalyse - STA
- Verbrennungsversuche

- 50 kW Kleinf Feuerungsanlage (Ökotherm®)
- Messungen:
 - Abgasbestandteile
 - Betriebsparameter

Ergebnisse

Entwicklung und Optimierung:

- Verfahrenskonzept
- Anlagenkonzept

Anlage:

- Technikumsanlage
 - Kombination von Wasch-/Mischaggregaten und Entwässerungsaggregaten

Ergebnis-Fakten:

Fest-/Flüssig-Trennung

Aus dem heterogenen Stoffgemisch „Gärrest“, welches aus Wasser, gelösten Salzen und Feststoffen (Feinstoffe (mineralisch, organisch) und Faserreste) besteht, sollten vor allem die während der Vergärung nicht umgesetzten Faserbestandteile möglichst sauber vom Rest getrennt werden. Dafür eignen sich vor allem Trennverfahren mit einer Siebstufe, welche Fasern zurückhält.

Von den getesteten Verfahren zeigten insbesondere Schneckenpressen mit möglichst hohem Abdruck die größten Fortschritte bei der Reduktion der Störstoffe im potenziellen Brennstoff. So konnten für gelöste Stoffe (z. B. K, Cl, Na) Reduktionsraten von

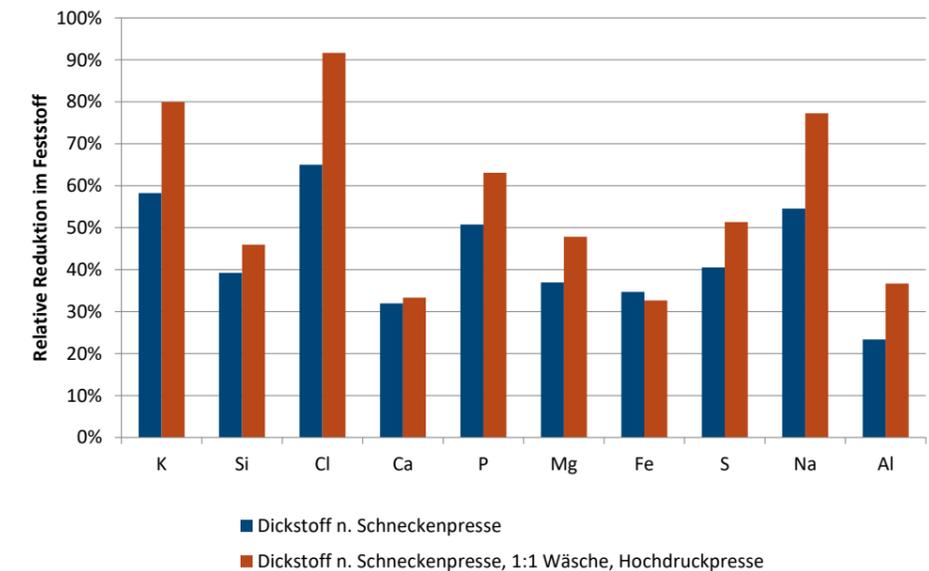


Abbildung 2: Reduktionsraten für verschiedene Elemente im Gärrest, Quelle: Fraunhofer IKTS

bis zu 80 % erreicht werden. Störstoffe, welche partikulär auftraten (z. B. Asche) oder an Feinpartikeln (< 1 mm) gebunden waren (z. B. Ca, Mg, P, S) konnten zwischen 30 und 50 % reduziert werden.

Waschung

Eine Erhöhung der Reduktionsraten für gelöste Stoffe konnte durch Zugabe und Abpressung von Waschwasser um weitere 10- bis 20 %-Punkte erreicht werden. Dadurch konnte diese Fraktion gemeinsam mit der vorhergehenden Entwässerungsstufe fast komplett aus dem potenziellen Brennstoff entfernt werden. Feinstoffe und daran gebundenen Störelemente wurden mit Hilfe eines Waschschruttes um weitere 5- bis 10 %-Punkte, also insgesamt um bis zu 60 % reduziert.

Die verwendeten Frischwassermengen lagen bei 100 bis 200 Liter Frischwasser auf 1.000 Liter original Gärrest. Bezogen auf den Dickstoff nach der ersten Entwässerungsstufe ist dies eine Wassermenge von 100 bis 200 %. Die Nutzung von Kaskadenprozessen steigert das Waschergebnis. Demnach bringt eine dreifache Wäsche von Dickstoff mit jeweils 100 % Wasser den gleichen Reinigungseffekt wie die einmalige Wäsche mit 1.000 % Wasserzugabe.

Um den Frischwassereinsatz weiter zu reduzieren, bietet sich auch die Mehrfachnutzung von Waschwasser an. So konnte gezeigt werden,

dass selbst bei fünfmaliger Kreislaufnutzung von Waschwasser noch im letzten Waschschrut bessere Reinigungsergebnisse erzielt werden als ohne Waschung, obwohl sich das Waschwasser bei jedem Waschschrut mit Störstoffen anreichert. Über diese Mehrfachnutzung von Waschwasser reduziert sich die Frischwassermenge bezogen auf den originalen Gärrest auf 100 Liter für 5.000 Liter Gärrest.

Filtration von Waschwasser

Um den Reinigungseffekt bei der Kreislaufführung von Waschwasser zu erhöhen, wurde im Projekt auch die Membranfiltration von Waschwasser untersucht. Bezüglich der Betriebsparameter der Membranfiltration konnte eine gute Filtrierbarkeit nachgewiesen werden. Sämtliche partikuläre Verunreinigungen werden zurückgehalten, wodurch das wiederverwendete Waschwasser bessere Reinigungseffekte (insbesondere für partikuläre Störstoffe) erreichte als das unbehandelte Kreislaufwasser.

Allerdings ist der apparative und energetische Aufwand für die Membranfiltration gegenüber dem erreichbaren Vorteil zu hoch, um eine großtechnische Umsetzung zu empfehlen. Außerdem werden gelöste Störstoffe (insbesondere Cl und K) nicht von der Membran (0,9 nm bis 70 nm Porenweite) zurückgehalten.



© Fraunhofer IKTS

Verfahrenskonzept Aufbereitung

Das für eine großtechnische Umsetzung empfohlene Verfahrenskonzept besteht aus einer herkömmlichen Separationsstufe, welche zunächst etwa 90 % des Gärrestes als Flüssigphase abpresst, welche betriebsintern als Dünger ausgebracht oder aufbereitet werden sollte. Die separierten Feststoffe werden nachfolgend einer Waschung unter Zugabe von ein- oder zweimal 100 %-Waschwasser unterzogen. Dabei wird das Dickstoff-Wasser-Gemisch nur kurz mechanisch gemischt und anschließend entweder erneut mit der bestehenden Schneckenpresse oder vorzugsweise mit einer weiteren Hochdruckschneckenpresse entwässert.

Brennstoffzusammensetzung

Die Einstufung der Gärreste in die beiden Brennstoffqualitätsstufen A und B nach DIN EN ISO 17225-6 (DIN 2014) zeigt mit dem hier angewendeten Waschverfahren bereits eine Übereinstimmung mit Qualitätsstufe B (mit der Ausnahme einzelner Parameter). Durch eine Optimierung des Waschprozesses insbesondere hinsichtlich reduziertem Asche-, Stickstoff und Schwefelgehalt kann durchaus eine A-Qualität erreicht werden. Darüber hinaus bedarf es einer gezielten Einstellung der Pelletierung, um die physikalisch-mechanischen Eigenschaften der Pellets den Qualitätsstufen anzupassen.

Pelletierung

Es wurde gezeigt, dass aus aufbereiteten Gärresten hochqualitative Brennstoffpellets insbesondere in Bezug auf physikalisch-mechanischen Eigenschaften mit bewährter Pelletiertechnik hergestellt werden können. Mit einer Abriebfestigkeit von 97,5 % ist fast ENplus-Qualität (die für Holz eine Abriebfestigkeit von 98 % vorschreibt) erreicht. Es wurde allerdings auch deutlich, dass für unterschiedliche Gärrestchargen mitunter ganz andere Pelletiereinstellungen gefunden werden müssen. Dies muss bei einer kommerziellen Produktion berücksichtigt werden, da in dem Zusammenhang auch Parameter wie benötigter Energieaufwand und Durchsatz zwischen den verschiedenen Substraten schwanken können.

Simultane Thermoanalyse – STA

Mit der STA kann gezeigt werden, wie sich die theoretischen Verbrenn- bzw. Vergasungseigenschaften eines Brennstoffs darstellen (ohne dabei die Einflüsse der jeweiligen Verbrennungs- oder Vergasungstechnologie berücksichtigen zu müssen). Hier zeigt sich, dass der Waschprozess bei den Gärresten einen erkennbaren Einfluss auf den Verlauf der Reaktion hin zu einer Intensivierung hat, da in allen Fällen eine erhöhte Umsatzrate (R_{max}) gemessen wurde. Der Reaktionsbeginn (Onset) hat sich durch das Waschen in einen höheren Temperaturbereich verschoben. Diese Informationen können bei der zukünftigen Auslegung und Simulation von z. B. Kesseldesign ausschlaggebend sein.



© Fraunhofer IKTS

Verbrennung

Die Verbrennungsergebnisse mit gewaschenen Gärresten zeigen, dass ein kontinuierlicher Abbrand trotz der starken Verschlackungen in der Feuerraumasche realisiert werden kann. Inwieweit sich diese bei einem längeren Dauerbetrieb auf Abbrand und Emissionen auswirken, konnte nicht abschließend geklärt werden. Die vorliegenden Ergebnisse zeigten einen guten Ausbrand ($\text{CO-Emissionen} < 100 \text{ mg/m}^3$) mit vergleichsweise hohen Emissionen an NO_x ($\sim 600 \text{ mg/m}^3$), SO_2 ($> 150 \text{ mg/m}^3$) und HCl ($\sim 100 \text{ mg/m}^3$). Die ermittelten Gesamtstaubemissionen liegen im Bereich von Holzhackschnitzelfeuerungen.

Herausforderungen

Ein Hauptproblem bei der qualitativen Aufwertung von Gärresten für die Verbrennung ist die vergleichsweise große Menge an Frischwasser, welche eingesetzt werden muss. Zum einen ist dieser Verbrauch der Ressource Wasser generell zu vermindern. Zum anderen entstehen dadurch neue Mengen an Prozesswasser, welche weiter behandelt und transportiert werden müssen. Der Ansatz der Kreislaufführung und Zwischenreinigung ist hierfür eine wichtige Maßnahme.

Trotz intensiver Waschung des Gärrestes verbleibt ein vergleichsweise hoher Anteil an anorganischen

Anteilen im potenziellen Brennstoff. Dies stellt hohe Anforderungen an die konstruktive Ausführung des Ascheaustrages beim Verbrennungskessel.

Ausblick

Das CO_2 -Minderungspotenzial von Holzpellets liegt nach Berechnungen des Umweltbundesamtes bei ca. $296,8 \text{ g}_{\text{CO}_2}/\text{kWh}$ gegenüber dem Einsatz fossiler Brennstoffe. Dem Energiegehalt im Gärrestpellet ($4,73 \text{ kWh/kg}$) stehen etwa $0,57 \text{ kWh}$ für die Produktion von einem Kilogramm Pellets gegenüber. Demzufolge sinkt der Klimaschutzeffekt von Gärrestpellets nur geringfügig gegenüber Holzpellets.

Im Rahmen des durchgeführten Verbundprojektes ist durch umfassende Forschungs- und Entwicklungsleistungen ein wirtschaftliches und ökologisches Konzept zur Nutzbarmachung von Gärresten aus der Biogaserzeugung als Brennstoff für Kleinfeuerungsanlagen entwickelt worden.

Das Verfahren kann prinzipiell auf alle Biogasanlagen, die biogene Reststoffe (z. B. Stroh und Abfälle aus der Landschaftspflege) vergären, übertragen werden. Eine Anpassung des Verfahrens auf andere Gärrestzusammensetzungen ist in einem Folgeprojekt angedacht.

Weitere Informationen

- Endbericht: <https://doi.org/10.2314/GBV:1018680039>
- Projektsteckbrief: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/cleanpellet-452/>

Felix Ortloff¹, Frank Graf¹, Maria Ahrens², Bojan Iliev², Thomas Schubert², Daniel Metzger³, Detlef Rauh³, Rainer Gottschalk³

BGA-IL



Das im Projekt BGA-IL verfolgte Verfahrenskonzept sah vor, für die CO₂-Abtrennung aus Biogas eine Gaswäsche mit ionischen Flüssigkeiten als Waschmedien einzusetzen. Ionische Flüssigkeiten (IL) weisen im Vergleich zu konventionellen Waschflüssigkeiten den Vorteil eines vernachlässigbaren Dampfdrucks auf. Der Einsatz von ionischen Flüssigkeiten kann einen zusätzlichen Freiheitsgrad für die Betriebsführung eines möglichen Aufbereitungsverfahrens bieten.

Im Vorhaben wurde neben experimentellen Untersuchungen im Labor ein Messprogramm zur Demonstration des Verfahrens an einer bestehenden Biogasaufbereitungsanlage initiiert.

Themenschwerpunkte

- Biogasaufbereitung mit ionischen Waschflüssigkeiten
- Chemische/physikalische Charakterisierung
- Verfahrensentwicklung
- Proof of concept im Labor
- Feldtest an einer Biogaseinspeiseanlage

FKZ-Nr.	03KB104
Laufzeit	01.01.2014 - 30.03.2018
Zuwendungssumme	252.500 €
Koordination¹	DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte-Institut Engler-Bunte-Ring 1 76131 Karlsruhe www.dvgw-ebi.de
Partner²	Ionic Liquids Technologies GmbH (IoLiTec) Salzstraße 184 74076 Heilbronn www.iolitec.de
Partner³	Powerfarm Bioenergie GmbH (PF) Im Brennt 1 78609 Tuningen www.powerfarm-tuningen.de
Kontakt	Felix Ortloff - Projektleiter Telefon: +49 (0)721 608412-74 E-Mail: ortloff@dvgw-ebi.de

Biogasaufbereitung mit ionischen Flüssigkeiten

Zusammenfassung

Im Forschungsvorhaben BGA-IL wurde ein neuartiges und innovatives Biogasaufbereitungsverfahren entwickelt, welches im Vergleich zum Stand der Technik eine um bis zu 50 % höhere energetische Effizienz aufweist. Es bietet das Potenzial, die Kosten der Biogasaufbereitung mittelfristig zu reduzieren. Dieses Ziel wurde durch die Entwicklung und Erprobung von anwendungsoptimierten ionischen Waschflüssigkeiten, einer Vereinfachung der Verfahrenstechnik und durch eine Optimierung der Betriebsparameter des Aufbereitungsverfahrens erreicht.

Das Vorhaben umfasste neben experimentellen Untersuchungen im Labor u. a. ein Messprogramm zur Demonstration des entwickelten Verfahrens an einer bestehenden Biogasaufbereitungsanlage unter realistischen Einsatzbedingungen, d. h. unter Nutzung von realem Feedgas aus der Biogasanlage.

Maßnahmen

Das Vorhaben startete mit der Entwicklung und Charakterisierung geeigneter Waschflüssigkeitssysteme nach einer Vielzahl von Charakterisierungsmethoden. Daran schlossen sich mehrere experimentelle Erprobungsschritte mit einer bestehenden

Ionische Flüssigkeiten (engl. „ionic liquids“, Abk.: IL) sind Salze, deren Schmelztemperatur bei Normbedingungen unterhalb von 100 °C liegt. Viele sind bereits bei Raumtemperatur oder darunter flüssig. Ionische Flüssigkeiten bestehen in der Regel aus organischen Kationen (+) und organischen oder anorganischen Anionen (-). Beide beeinflussen die physikalischen Eigenschaften der resultierenden Substanz.



Felix Ortloff
(Projektleiter):

Trotz des langjährigen Einsatzes der etablierten Verfahren gibt es auch im Bereich der Biogasaufbereitung noch beträchtliche Optimierungspotenziale.

Richtig eingesetzt, können ionische Flüssigkeiten auch in Gasreinigungsanwendungen konkurrenzfähige Waschmedien sein.

Anlagentechnik im Labor und im Feldeinsatz an. Parallel zu den experimentellen Arbeiten wurde das Verfahren modelliert und technisch bzw. ökonomisch im Vergleich zum Stand der Technik bewertet.

Ergebnisse

Konzept/Machbarkeitsstudie:

- Entwicklung eines neuen Anlagenkonzepts
- Theoretische und experimentelle Machbarkeitsstudie

Anlage:

- Betrieb einer Technikumsanlage
- Entwicklung eines Verfahrenskonzeptes

Daten & Methoden:

- Modellierung
- Messreihe/-programm
- Ökonomische Bewertung

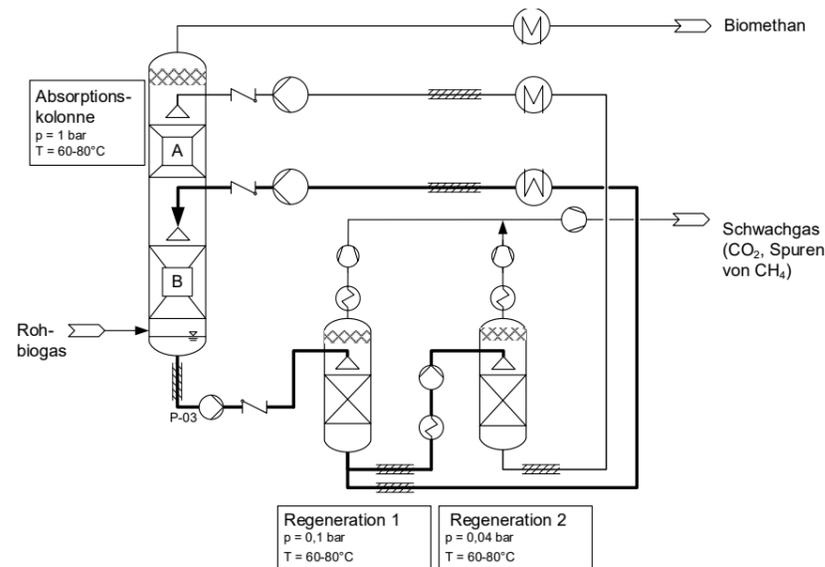


Abbildung 1: Fließschema und Betriebsbedingungen der IL-basierten Chemisorption, Quelle: DVGW

Ergebnis I: Verfahrensentwicklung (DVGW)

Das im Projekt verfolgte Konzept sah vor, für die CO₂-Abtrennung aus Biogas eine chemische Gaswäsche mit ionischen Flüssigkeiten als Waschmedien einzusetzen. Ionische Flüssigkeiten (IL) weisen im Vergleich zu konventionellen Waschflüssigkeiten einen vernachlässigbaren Dampfdruck auf. Der Einsatz von ionischen Flüssigkeiten bietet entsprechend einen zusätzlichen Freiheitsgrad in Bezug auf die Betriebsführung des Aufbereitungsverfahrens. In Kombination mit einer Regeneration der Waschflüssigkeit unter reduziertem Druck lässt sich ein

quasi-isothermer Betrieb von Absorptions- und Desorptionskolonne(n) realisieren. Der besondere Vorteil dieses Ansatzes liegt darin, dass die energieintensive Bereitstellung der Regenerationswärme der Waschflüssigkeit von Extern entfällt. Die in der Absorption freiwerdende Wärme wird in der Flüssigkeit zwischengespeichert und kann in der Regeneration wiederverwendet werden. Um diesen Vorteil nutzen zu können, wurde im Projekt das in Abbildung 1 dargestellte Anlagenkonzept entwickelt.

Ergebnis II: Entwicklung IL-System (IoLiTec+DVGW)

Im Projekt wurde ein IL-System identifiziert, welches den Anforderungen an einen Einsatz im verfolgten Verfahrenskonzept genügt. Neben vielfältigen Ergebnissen im Bereich der stofflichen Charakterisierung des IL-Systems wurden auch verschiedene IL-Synthesewege evaluiert und vorbereitende Versuche für eine IL-Synthese in größerem Maßstab durchgeführt. Parallel wurden Versuche zur Materialverträglichkeit des IL-Systems in Bezug auf häufig eingesetzte Dich-

Im Vergleich zu konventionellen Gasaufbereitungskonzepten lassen sich mit dem entwickelten Ansatz Energieeinsparungen in Höhe von > 50 % realisieren. Die Ergebnisse zeigen, dass auch im Bereich der Biogasaufbereitung mit ihren seit Jahren im Einsatz befindlichen Technologien noch Optimierungspotenziale stecken.

Summary

The research project focused on the development of a novel and innovative biogas upgrading process, characterized by an increase of energy efficiency of approximately 50 % and a medium-term potential for reducing upgrading costs in comparison to the state-of-the-art concepts. The project goals have been achieved by applying ionic washing liquids in combination with an optimization of the plant setup and the operating parameters of the upgrading process. Besides the conceptual studies, the research project included experimental tests in a laboratory environment and an additional field test on an existing biogas upgrading plant under use of real feed gas from the biogas fermenters.



Abbildung 2: Entwicklung von IL-basierten Waschflüssigkeiten, Quelle: IoLiTec

tungsmaterialien durchgeführt, bei denen sich PTFE im Zusammenhang mit IL als geeignetstes Dichtungsmaterial herausstellte.

Ergebnis III: Validierung im Labor und Feld (DVGW+Powerfarm)

In Anlehnung an typische CO₂-Anteile im Rohbiogas (20 – 50 Vol.-%) wurden im Vorhaben experimentelle Untersuchungen mit einer vom DVGW-Institut zur Verfügung gestellten Mini-Plant-Apparatur durchgeführt. Der Versuchsaufbau erlaubt bei kontinuierlichem Betrieb Versuche zur Abscheidung von CO₂ unter Variation von betrieblich relevanten Parametern, wie z. B. Temperaturen oder Drücke. Die Ergebnisse aus dem Laborbetrieb verdeutlichen die prinzipielle Machbarkeit des Konzepts. Für verschiedene CO₂-Gehalte im Eintritt konnte die Spezifikation zur Einspeisung des Gases nach DVGW G260/262 eingestellt werden, indem der CO₂-Gehalt im Produktgas auf Werte unterhalb von 5 Vol. % abgesenkt werden konnte.

Neben den Versuchen im Labor wurde mit der Versuchsanlage eine Realgaskampagne an einer Biogaseinspeiseanlage von Powerfarm Bioenergie GmbH in Tübingen durchgeführt. In dieser Kampagne wurde reales Rohbiogas aus den Fermentern verwendet. Im Rahmen der Kampagne konnten die positiven Ergebnisse der Laborkampagne bestätigt werden. Im Verlauf der Feldmessungen traten außerdem keine nachweisbaren Degradationseffekte am IL-System auf.

Ergebnis IV: Ökonomische Analyse (DVGW)

An die Erreichung der experimentellen Ziele schloss sich eine techno-ökonomische Bewertung des Verfahrenskonzepts an. Dazu wurde auf Basis der im Projekt ebenfalls durchgeführten technischen Modellierung ein Scale-up des Verfahrens auf die erforderliche Anlagengröße für den Einsatz im Bereich der Biogasaufbereitung durchgeführt. Im anschließenden ökonomischen Vergleich der unterschiedlichen Verfahren zeigte sich, dass die Gesamtaufbereitungskosten im Falle der IL-Wäsche von den Kapitalkosten dominiert werden. Dies ist überwiegend den höheren Investitionen für die Anlagentechnik (größere Kolonnen) und für die Befüllung mit der erforderlichen IL-Menge geschuldet. In Bezug auf die Optimierung der Kosten muss entsprechend sowohl auf der Seite der Anlagentechnik, als auch IL-seitig eingespart werden. Auf der Grundlage der moderaten Betriebstemperaturen als bei der konventionellen chemischen Absorption (60 – 80 °C statt wie bisher bis zu 160 °C) ist dies, z. B. durch den Einsatz von Kunststoffen statt von Edelstählen durchaus denkbar und sollte im Weiteren detaillierter analysiert werden.

Auch auf Seiten der ionischen Flüssigkeiten sind weitere Kosteneinsparpotenziale, vor allem durch Herstellung in größerem Maßstab, erschließbar. Bei einer Synthese im Maßstab für die Befüllung einer Anlage sind die im Projekt eingesetzten ionischen Waschflüssigkeiten für ca. 90 EUR/kg darstellbar. Bei Herstellung in größerem Maßstab (d. h. für die



Abbildung 3: Realgaskampagne mit dem entwickelten Aufbereitungsverfahren an der Biogaseinspeiseanlage der Powerfarm Bioenergie GmbH in Tübingen, Quelle: DVGW

Befüllung mehrerer Anlagen) sind aufgrund von Skalierungseffekten geringere Kosten realistisch.

Bei den betrachteten IL-Varianten wurde entsprechend eine Sensitivität in Bezug auf die IL-Preise im Bereich von 10 – 100 EUR/kg ausgewertet. Hierbei zeigt sich, dass IL-Preise von < 50 EUR/kg notwendig

sind, um im Vergleich mit konventionellen Aufbereitungsverfahren konkurrenzfähig zu sein. Einzelne in Betracht kommende ionische Flüssigkeiten sind bereits heute für Kosten von < 30 EUR/kg darstellbar, wobei auch bei einer Weiterentwicklung der im BGA-IL-Projekt verwendeten IL-Systemen von Kostenreduktionen auszugehen ist.

Aktuelle und künftige Einsatzgebiete der CO₂-Abtrennung

Einsatzgebiete der CO₂-Abtrennung finden sich vorwiegend im Bereich des Erdöl- und Erdgasprocessings und in der chemischen Industrie, z. B. im Zuge der H₂-Erzeugung. In der Vergangenheit wurde die CO₂-Abscheidung für die Anwendung in CCS-Konzepten (carbon capture & storage), d. h. in Konzepten zur Abtrennung und Speicherung von Kohlenstoff aus Kraftwerken diskutiert. Dies gilt sowohl für IGCC-Einheiten (Integrated Gasification Combined Cycle, d. h. CO₂-Abscheidung aus einem H₂-reichen Strom) als auch im Zusammenhang mit dem Post-Combustion Ansatz, bei dem die Kohlenstoffabscheidung nach der Verbrennung aus den Rauchgasen stattfindet. Tatsächlich ist der Energiesektor (weltweite Emissionen 2016: ca. 32 Gt CO₂) für den größten Anteil (ca. 90 %) der jährlichen CO₂-Emissionen verantwortlich.

Eine weitere Anwendung von CO₂-Abscheidungstechnologien findet sich im Bereich der energetischen Nutzung von Biomasse. Biomasse kann durch Vergasung in Kombination mit Synthesegasreinigung oder durch biochemische Konversion und anschließender Gasaufbereitung zu chemischen Energieträgern umgewandelt werden. Der weltweite Bioenergieverbrauch (in allen Energiesektoren) macht heute 9 % des weltweiten Primärenergiebedarfs aus. Es wird erwartet, dass der Anteil der Bioenergie bis 2060 in relevanten Energieszenarien, z. B. im IEA 2 ° C-Szenario, um ca. das Drei- bis Vierfache ansteigen wird. Das globale Potenzial von Bioenergie aus Abfällen, Rückständen und aus nachhaltig angebauten Energiepflanzen ermöglicht einen Ersatz von etwa 5 – 7,5 % der heutigen globalen Treibhausgasemissionen.

Eine weitere zukünftige Anwendung für CO₂-Abscheidungstechnologien wird derzeit im Rahmen der sogenannten Carbon-Capture-and-Use-Route (CCU) gesehen. Die Idee dieses Konzepts ist es, CO₂ als Rohstoff für eine weitere chemische oder industrielle Verwendung zu betrachten und es durch Recycling aufzuwerten. Langfristig muss CCU zu einer in sich geschlossenen Kohlenstoffökonomie (CCE – Circular Carbon Economy) führen, die dann THG-emissionsneutral sein sollte. Dies kann z. B. durch Verwendung von nachhaltigen CO₂-Quellen realisiert werden. CCU ist insbesondere in Industriebereichen von Interesse, die prozessbedingt auch 2050 noch CO₂ ausstoßen werden.

Die Anwendung des CCU-Ansatzes auf aus Biomasse stammendes CO₂ kann sogar zu negativen CO₂-Emissionen führen. Dies ist der Fall, wenn CO₂, welches ursprünglich während des Wachstums der Biomasse gebunden wurde, nicht erneut an die Atmosphäre abgegeben, sondern durch stoffliche Fixierung dauerhaft dem Kreislauf entzogen wird.

Herausforderungen

Neben den IL-Kosten besteht die größte Herausforderung beim Einsatz ionischer Flüssigkeiten in absorptiven Gasaufbereitungsprozessen in der erhöhten Viskosität der Verbindungen, die sich negativ auf die Stoffaustauschleistung auswirkt. Dies führt i.d.R. zu großen Kolonnen und großem Flüssigkeitsinventar, was sich wirtschaftlich häufig nicht mehr darstellen lässt. Mit dem in diesem Projekt vorgeschlagenen Ansatz gelang es diese Limitierungen durch Optimierung des Flüssigkeitssystems, mehr jedoch durch die Betriebsweise des Aufbereitungskonzepts, teilweise zu überwinden. Durch eine weitere Optimierung des Stoffaustauschs und beispielsweise durch die Verwendung von alternativen Fertigungsmaterialien bei Bau der Anlagen könnten zukünftig weitere Verbesserungen erzielt werden.

Ausblick

In Bezug auf die Anschlussfähigkeit ist es im Rahmen der Projektlaufzeit gelungen, weitere Detailfragen zur Wirtschaftlichkeit und zum Technologietransfer in Folgevorhaben zu adressieren: Zum einen wird derzeit eine detailliertere Auslegung einer möglichen Umsetzung des Verfahrens für die CO₂-Abscheidung aus Biogas, als auch für die Abscheidung aus Rauchgas, in Zusammenarbeit mit einem Anlagenbauer projektiert. Auf Basis der gewonnenen Daten können wirtschaftliche Optimierungspotenziale identifiziert und quantifiziert werden. Darüber hinaus wird in einem auf europäischer Ebene finanzierten Vorhaben eine Demonstrationsanlage geplant und gebaut, mit welcher CO₂ für nachfolgende Synthesen aus dem Abgas eines Zementwerkes abgeschieden wird. In einem weiteren Projekt wird u. a. die Möglichkeit der CO₂-Abscheidung aus Luft mit einer abgewandelten Variante des in diesem Vorhaben entwickelten Verfahrens evaluiert.

Weitere Informationen

- Endbericht: <https://doi.org/10.1002/cite.201650386>
- Projektsteckbrief: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/bga-il-460/>
- ISI-Publikation (SCI Science Citation Index etc.): Ortloff, F.; Roschitz, M.; Ahrens, M.; Graf, F.; Schubert, T.; Kolb, T. (2018): Characterization of functionalized ionic liquids for a new quasi-isothermal chemical biogas upgrading process. Separation and Purification Technology, 195, 413-430 (Paper).
- Konferenzbeiträge:
 - Roschitz, M.; Ortloff, F. (2017): Energieeffiziente Biogasaufbereitung mit Ionischen Flüssigkeiten. 7. Statuskonferenz Energetische Biomassenutzung, Leipzig, 20.-21.11.2017 (Vortrag)
 - Roschitz, M.; Ortloff, F. (2017): An alternative process for CO₂ separation from biogas by isothermal ionic liquid (IL) based chemical absorption. European Biomass Conference and Exhibition, Stockholm, 12.-15.06.2017 (Poster)
 - Ortloff, F.; Roschitz, M.; Graf, F.; Kolb, T. (2017): An alternative process for CO₂ separation by IL based chemical absorption. International Gas Union Research Conference 2017, Rio de Janeiro, 24.-26.05.2017 (Vortrag)
 - Roschitz, M.; Ortloff, F. (2017): An alternative process for CO₂ separation by IL based chemical absorption. Progress in Biogas IV, Stuttgart-Hohenheim, 8.-10.03.2017 (Poster)
- IoLiTec: EST 2015 (20.-22.05.2015, Karlsruhe) und beim ACS Spring Meeting 2017 (02.-06.04.2017, San Francisco, USA)

Michael Kern, Werner Sprick, Thomas Turk, Thomas Raussen

BIO-DYN



Im Vorhaben Bio-DYN wurde eine systematische Analyse des Ist-Stands und des Diskussions- und Entscheidungsprozesses hinsichtlich der Überlegungen für oder gegen die kommunale Biogutvergärung bei umgesetzten sowie bei eingestellten bzw. aktuell zurückgestellten Vergärungsprojekten erarbeitet. Des Weiteren wurden technische und wirtschaftliche Grundlagen sowie eine detaillierte Analyse der Hemmnisse für die Umsetzung von Vergärungsprojekten ermittelt.

Eine Umfrage unter Praktikern der Biogut-Vergärung ergab differenzierte Einschätzungen zu zukünftigen Rahmenbedingungen und notwendigen Voraussetzungen für einen wieder dynamisierten Ausbau der Vergärung. Daraus wurden Empfehlungen an die politischen Entscheidungsträger auf Landes- und Bundesebene zusammengestellt. Mit einer akzeptanzfördernden Kommunikationsstrategie zur Förderung des Ausbauprozesses wurden Informationen für die Fachöffentlichkeit aufbereitet und Multiplikatoreffekte genutzt.

Themenschwerpunkte

- Biogutvergärung
- Hemmnisanalyse
- Pfropfenstrom- und Boxenvergärungsanlagen
- Biogas
- Ressourcen- und Klimaschutz

FKZ-Nr.	03KB108
Laufzeit	01.06.2016 - 31.05.2018
Zuwendungssumme	150.605 €
Koordination	Witzenhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH Werner-Eisenberg-Weg 1 37213 Witzenhausen www.witzenhausen-institut.de
Kontakt	Dr. Michael Kern (Projektleiter) Telefon: +49 (0)5542 9380-11 E-Mail: m.kern@witzenhausen-institut.de

Hemmnisanalyse für den dynamisierten Ausbau der Vergärung kommunalen Bioguts in Deutschland

Zusammenfassung

In 41 Interviews mit kommunalen Entscheidungsträgern wurde deren Diskussions- und Entscheidungsprozess mit dem Fokus auf die Hemmnisse bezüglich der Biogutvergärung untersucht. Im Wesentlichen wurden gesetzgeberische Hindernisse hinsichtlich der Förderung, der Düngegesetzgebung sowie der Diskussionen zur TA Luft angeführt. Insbesondere wird eine mangelnde Wirtschaftlichkeit der Vergärung befürchtet, welche in einer Analyse der realen Behandlungskosten nicht bestätigt werden konnte.

Insgesamt ist die Zufriedenheit bei den Betreibern von Biogutvergärungsanlagen hoch, ganz überwiegend würden sie sich aus heutiger Sicht wieder für die Errichtung und das Betreiben einer solchen Anlage entscheiden. Vor dem Hintergrund der verschärften Anforderungen hinsichtlich der Energie- und Gärrestvermarktung und der baulich-technischen Anlagenausrüstung sehen die Studienteilnehmer die Betreiber vor großen Herausforderungen und sind sehr skeptisch. Die konkreten Empfehlungen der Studienteilnehmer richten sich vor allem an die politischen Entscheidungsträger, insbesondere auf Bundesebene.

Maßnahmen

- Akteursgebundene Datenerhebungen im Rahmen von mehrstündigen Interviews mit den fachlich-politisch Verantwortlichen bei 41 öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern
- Sicherstellung der Repräsentativität der Untersuchungen zum Erhalt einer aussagekräftigen Grundgesamtheit (es wurden 11 % der deutschen öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträger bzw. 37 % der seit 2008 in Betrieb genommenen Vergärungsanlagen befragt)
- Quantitative Datenerhebung mittels systematisierter Fragebögen und statistische Auswertung sowie Abfrage qualitativer Einschätzungen der Studienteilnehmer im Zuge der Interviews



Dr. Michael Kern
(Projektleiter):

Sollte sich der Trend des ins Stocken geratenen Ausbaus der Biogutvergärung trotz der breiten gesellschaftlichen Akzeptanz für die energetisch-stoffliche Kaskadennutzung nicht umkehren lassen, werden frühere Prog-

nosen zur Entwicklung der Biogutvergärung deutlich verfehlt werden. Im Projekt Bio-DYN konnten die praxisbezogenen Hemmnisse identifiziert und die zentralen Empfehlungen für die Entscheidungsträger auf verschiedenen Ebenen repräsentativ herausgearbeitet werden. Letztlich bedarf es des politischen Willens zu deren Umsetzung. Daran wird sich die Politik in den nächsten Jahren messen lassen müssen.

- Statistische Auswertung wesentlicher Betriebsdaten für 20 Anlagen und die Erfüllung der Erwartungen an den Betrieb
- Zusammenstellung der Empfehlungen der Studienteilnehmer zur Dynamisierung des Ausbauprozesses

Ergebnisse

Publikation:

- Informationsbroschüre
- Artikel in Fachzeitschriften und Tagungsbänden
- Vorträge

Daten & Methoden:

- Interviews mit kommunalen Entscheidungsträgern und Betreibern von Vergärungsanlagen (qualitativ)
- Standardisierte Fragebögen (quantitativ)
- Datenbank und Auswertung
- Ergänzende Auswertungen (Abfallbilanzen, Statistisches Bundesamt (destatis), Datenbank Biogutbehandlungsanlagen etc.)

Summary

In 41 interviews with municipal decision-makers, their discussion and decision-making processes were examined with a focus on the obstacles to biogas fermentation. Essentially, legislative obstacles with regard to funding, fertiliser legislation and discussions on TA Luft were cited. In the first place a lack of economic viability of fermentation as feared, which could not be confirmed in an analysis of the real treatment costs. Overall, the satisfaction of the operators of biogas fermentation plants is high; the vast majority of them would opt for this again from today's perspective. Considering stricter requirements with regard to energy and fermentation residue marketing and structural plant equipment, the study participants see the operators facing major challenges and are very sceptical. The concrete recommendations of the study participants are addressed above all to political decision makers in particular on federal level.

Ergebnis-Fakten:

Vorbemerkung

Die Studienteilnehmer setzten sich wie folgt zusammen:

- neun Betreiber von Pflanzstromvergärungsanlagen
- elf Betreiber von Boxenvergärungsanlagen
- 21 Studienteilnehmer ohne Vergärungsanlage, davon
- sieben mit der Einstufung als „tendenziell pro Vergärung eingestellt“
- fünf mit der Einstufung als „Entscheidung offen“
- neun mit der Einstufung als „Entscheidung gegen Vergärung gefallen“

Einfluss rechtlicher Rahmenbedingungen

Übergeordnete Bedeutung besitzt das EEG unabhängig von der jeweils gültigen Fassung (Abbildung 1), was hinsichtlich des Einflusses auf die Wirtschaftlichkeit der Anlagen nachvollziehbar ist. Neben dem EEG hatte nur das Streben nach einer hochwertigen Biogutverwertung durch die Kaskadennutzung (Energie und Dünger) zeitlich unabhängige Bedeutung. Ein gegenteiliges Bild ergibt sich aus den

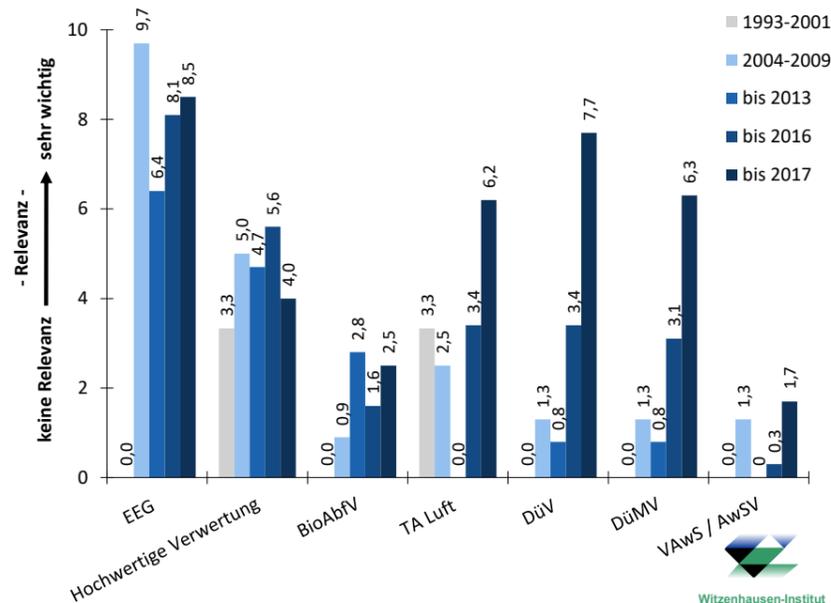


Abbildung 1: Übersicht über die Beeinflussung der Entscheidung durch rechtliche Voraussetzungen bzw. absehbare Änderungen der Gesetzesgrundlagen in Abhängigkeit vom Diskussions- und Entscheidungszeitraum bei den Studienteilnehmern

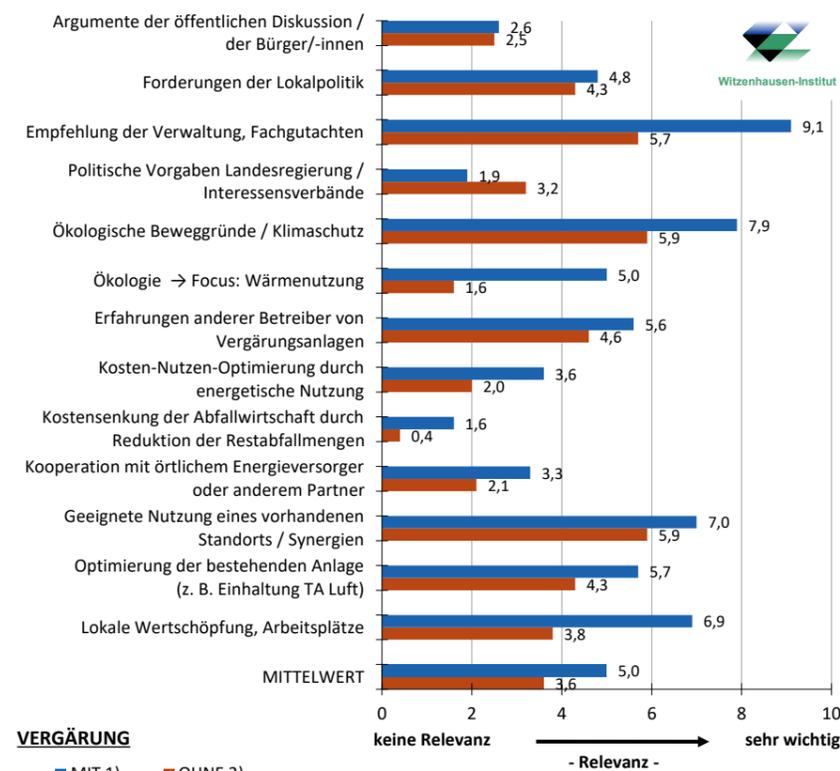
Diskussionen um die möglicherweise verschärften Anforderungen an die technische Anlagenausrüstung (TA Luft) sowie insbesondere die neue Düngegesetzgebung. Diese haben in den letzten Jahren verstärkt an Bedeutung für die Entscheidung gewonnen und waren für den Ausbau der Biogutverwertung zuletzt wenig hilfreich und sogar hinderlich für eine Entscheidung pro Vergärung.

Argumente pro Vergärung

Bei den Pro-Argumenten traten insbesondere Empfehlungen der Verwaltung und der erstellten Fachgutachten, ökologische Vorteile der Kaskadennutzung und die geeignete Nutzung eines vorhandenen Standorts hervor. Hier wurden hohe Relevanzwerte zwischen 5,7 und 7,9 erreicht (Abbildung 2). Mittlere Relevanzwerte zeigten sich für kommunalpolitische Forderungen nach einer hochwertigen Biogutnutzung, positive Erfahrungen anderer Anlagenbetreiber, die anstehende Modernisierung/

Ertüchtigung einer bestehenden Biogutbehandlungsanlage sowie Aspekte der Arbeitsplatzsicherung bzw. lokalen Wertschöpfung. Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen sind begrenzt.

Ergänzend zu der Erhebung der Argumente für und gegen den Bau und Betrieb einer eigenen Biogutverwertungsanlage im Rahmen vorgegebener Antwortmöglichkeiten gemäß Fragebogen wurde den Studienteilnehmern Gelegenheit gegeben, die letztlich aus ihrer Sicht ausschlaggebenden Argumente zu benennen. An erster Stelle wurden hier ökologische Gründe, wie die Nutzung der aus dem Biogut erzeugbaren regenerativen Energie als Beitrag zum Klimaschutz, benannt. Damit einhergeht die Priorisierung einer hochwertigen Verwertung durch die Kaskadennutzung, bei der Energie und Humus/Dünger erzeugt wird. Alle weiteren Argumente traten dahinter zurück und gründeten deutlich stärker auf den spezifischen Rahmenbedingungen und Aufgaben vor Ort.



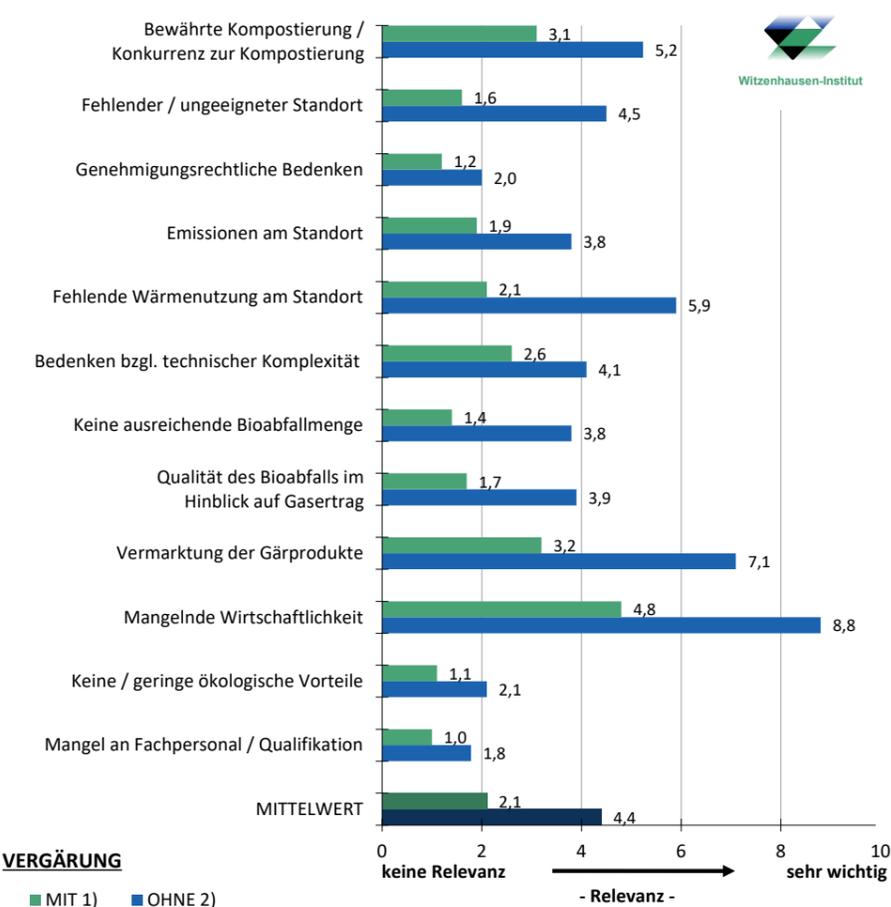
1) Gruppe "Betreiber von Vergärungsanlagen" bzw. "tendenziell für die Vergärung eingestellte Befragte"
 2) Gruppe "Entscheidung gegen Vergärung gefallen" bzw. "Entscheidung noch offen"

Abbildung 2: Übersicht über die Relevanz der Argumente für die Vergärung kommunalen Bioguts – weitergehende Differenzierung der Gruppen

Argumente contra Vergärung

Bei den Contra-Argumenten dominiert eine befürchtete mangelnde Wirtschaftlichkeit der Biogutvergärung, gefolgt von der Skepsis gegenüber den Möglichkeiten zur Vermarktung der Gärprodukte (Abbildung 3). Als weitere Contra-Argumente von mittlerer Relevanz werden vorgebracht, dass es sich bei der bisher praktizierten Kompostierung um ein bewährtes Verfahren handelt, an welchem festgehalten werden sollte, dass am anvisierten Standort keine Möglichkeit zur Wärmenutzung gegeben ist sowie Bedenken bezüglich der höheren technischen Herausforderungen der Vergärung. Im Gegensatz zu den Pro-Argumenten sind die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen signifikant.

Das alles dominierende Contra-Argument einer befürchteten mangelnden Wirtschaftlichkeit der Biogutvergärung wurde anhand der erhobenen realen Behandlungskosten der Studienteilnehmer auf Plausibilität geprüft. Bei einer relativ großen Streuung der Werte innerhalb der Verfahrensgruppen (verschiedene Behandlungsverfahren) kann diese Befürchtung nicht bestätigt werden. Für vollständig gekapselte, technisch aufwändigere Kompostierungsanlagen und Boxenvergärungsanlagen (einfachere wie aufwändigere Systeme) zeigt sich ein vergleichbares Kostenspektrum zwischen 55 €/Mg bis 60 €/Mg netto (Abbildung 4). Fast ausschließlich einfache, nicht vollständig gekapselte Kompostierungsanlagen weisen niedrigere Behandlungskosten auf.



¹⁾ Gruppe "Betreiber von Vergärungsanlagen" bzw. "tendenziell für die Vergärung eingestellte Befragte"
²⁾ Gruppe "Entscheidung gegen Vergärung gefallen" bzw. "Entscheidung noch offen"

Abbildung 3: Übersicht über die Relevanz der Argumente gegen die Vergärung kommunalen Bioguts - weitergehende Differenzierung der Gruppen

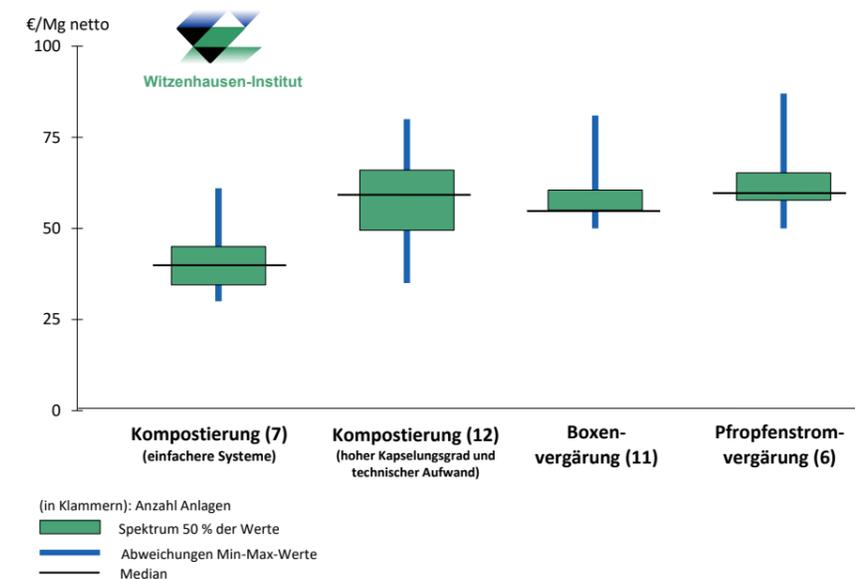


Abbildung 4: Übersicht über die spezifischen Kosten der Biogutbehandlung in Abhängigkeit vom Verfahren

Diese Altanlagen arbeiten geduldet nach einem veralteten Stand der Technik und entsprechen nicht den Vorgaben der TA Luft 2002.

ort, nicht optimale Energienutzungsmöglichkeiten bzw. eine zu geringe eigene Biogutmenge benannt. Wie intensiv sich die Kommunen bei der Standortsuche bzw. der Suche nach Alternativen, vorzugsweise bieten sich interkommunale Kooperationen an, bemüht haben, kann nicht eingeschätzt werden.

Fazit Argumentation Pro-Contra-Vergärung

Die Argumente für die Realisierung einer Biogutvergärung sind bei beiden Gruppen weitgehend unstrittig und hinsichtlich ihrer Beeinflussung auf die letztliche Entscheidung nur bedingt ausschlaggebend. Ausschlaggebender sind die Argumente, die gegen eine Realisierung vorbracht werden und im Rahmen der kommunalpolitischen und fachinternen Diskussion eine bedeutende Gewichtung bekommen haben – teilweise unabhängig von einer faktischen Relevanz. Wichtig für die Umsetzung ist daher nicht die Betonung der Vorteile, sondern eine intensive Auseinandersetzung mit Contra-Argumenten, womit in der Beseitigung der Hemmnisse der zentrale Ansatzpunkt für eine erneute Forcierung des Ausbaus der Vergärung besteht.

Als tatsächlich ausschlaggebende Argumente wurden neben den Thematiken Wirtschaftlichkeit und Vermarktung auch ortsspezifische Rahmenbedingungen, wie ein nur eingeschränkt geeigneter Stand-

Fazit Hemmnisabbau

Hinsichtlich des Ausräumens von Hemmnissen sehen die Studienteilnehmer insbesondere den Gesetzgeber in der Pflicht. Alle Kommunen ohne Vergärungsanlagen, welche ortsspezifische Hemmnisse anführen, müssen allerdings auch ihre eigenen Anstrengungen nach der Suche von Alternativlösungen hinterfragen. Im Fokus stehen hierbei interkommunale Kooperationen ebenso wie eine realistische Bewertung der Wärmenutzung, welche hinsichtlich ihrer monetären Bedeutung für das Gesamtkonzept in einigen Fällen stark überschätzt wird. Eine nicht optimale Wärmenutzungsmöglichkeit als KO-Kriterium für die Vergärung zu werten, erscheint angesichts der grundsätzlichen – insgesamt anerkannten – Vorteile der energetischen Nutzung als nicht gerechtfertigt.

Erfüllung der Erwartungen an den Anlagenbetrieb und Entscheidung pro/contra Vergärung aus heutiger Sicht

Ein zentraler Bestandteil der Interviews bei den Anlagenbetreibern war die Erhebung von ausgewählten Betriebsdaten und die Einschätzungen der Betreiber, inwiefern die vorab bestehenden Erwartungen erfüllt wurden.

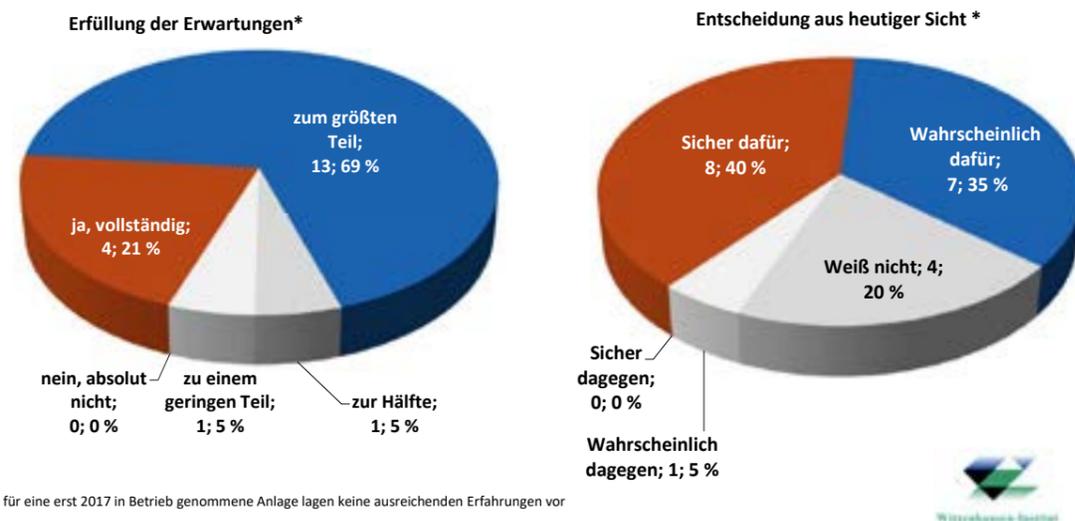
Die weitgehende Zufriedenheit mit dem Anlagenbetrieb geht einher mit einer rückblickend positiven Bewertung der Entscheidung, eine eigene Vergärungsanlage zu errichten und zu betreiben.

So würden sich 15 von den 20 interviewten Anlagenbetreibern zum heutigen Zeitpunkt sicher oder wahrscheinlich wieder für die Errichtung einer eigenen Vergärungsanlage entscheiden (Abbildung 5). Dies ist ein klares Indiz dafür, dass auch die teilweise vorhandenen Schwierigkeiten bei den Anlagen – vor allem im Jahr der Inbetriebnahme – bzw. mit dem

Agieren am Markt (z. B. Vermarktungssituation) als bewältigbar angesehen werden und die vorherrschende Gesamteinschätzung pro Vergärung nicht ins Gegenteil verdrehen.

Die Vorteile überwiegen bei dieser Gruppe auch aus heutiger Sicht. Bestätigt sehen die Betreiber vor allem ihre Erwartungen bezüglich anlagentechnischer Parameter. So zeigen sich hohe Zufriedenheitsgrade mit der Betriebssicherheit und Anlagenverfügbarkeit, der Durchsatzleistung und dem erzielten Gasertrag. Ein signifikanter Unterschied zwischen den Verfahren zeigt sich lediglich beim Gasertrag, bei dem die Betreiber von Pflanzstromvergärungsanlagen sich deutlich positiver äußern als die Betreiber von Boxenvergärungsanlagen.

Auch die Erwartungen hinsichtlich einer häufig erhofften Minderung der Geruchsbelastungen am Anlagenstandort haben sich bei vielen Betreibern bestätigt.



* für eine erst 2017 in Betrieb genommene Anlage lagen keine ausreichenden Erfahrungen vor

Abbildung 5: Übersicht über die Erfüllung der Erwartungen hinsichtlich des Gesamtanlagenbetriebs und die Entscheidung zum heutigen Zeitpunkt bei den Anlagenbetreibern (Anzahl Nennungen)

Ableitung von Konsequenzen und Handlungsempfehlungen zur Förderung der energetischen Nutzung des Bioguts

Am Ende der Interviews wurden die Studienteilnehmer hinsichtlich Ihrer Empfehlungen für die Bundes- und Landespolitik befragt (Abbildung 6). Insbesondere wurden die Verbesserung der Förderansätze und eine alternative Bewertung von Komposten in der aktuellen Düngegesetzgebung gefordert. Bei der Forderung nach einer Verbesserung der Förderansätze wurde von der überwiegenden Anzahl der Studienteilnehmer explizit das EEG angesprochen, insbesondere den für Kommunen schwierigen Umgang mit den neuen Vorgaben (Ausschreibungspflicht, Umsetzungszeiten, etc.). Die Bindung der Förderungen an einen effektiven Betrieb (Förderung entsprechend der Energieerzeugung) wurde gegenüber einem z. B. Investitionszuschuss bevorzugt.

Da eine sinnvolle Wärmenutzung standortbedingt teilweise nicht möglich ist, sollte als Alternative die Gasaufbereitung/-einspeisung wirtschaftlich gestärkt werden. Der Entfall des Gasaufbereitungsbonus wird aus verschiedenen Perspektiven als kontraproduktiv bewertet.

Neben den Empfehlungen für die politisch Verantwortlichen wurden Empfehlungen von und für Kommunen bzw. öffentlich-rechtliche Entsorgungsträger sowie Verfahrensanbieter und planende Ingenieure herausgearbeitet. Auf die Ergebnisse kann im Einzelnen an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Hier wird auf die ausführlichen Darstellungen im Abschlussbericht verwiesen.

Die wesentlichen Handlungsempfehlungen für die politisch Verantwortlichen auf Bundes- und Landesebene sind in Tabelle 1 zusammenfassend dargestellt.

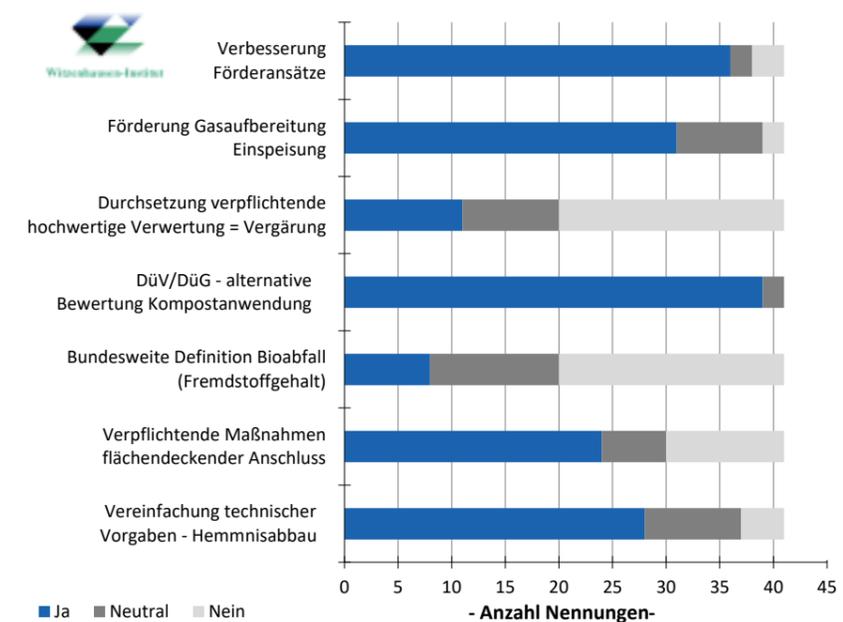


Abbildung 6: Übersicht über die zentralen Maßnahmen zur Förderung des Ausbaus der Biogutvergärung aus Sicht der Studienteilnehmer – Handlungsratschläge an die politisch Verantwortlichen (41 Befragte)

Tabelle 1: Zusammenstellung der durch die Studienteilnehmer angeführten Handlungsempfehlungen für die politisch Verantwortlichen auf Bundes- und Landesebene

Handlungsempfehlung der Studienteilnehmer	Konkrete Maßnahmen
1.) Verbesserte Förderung von Biogutvergärungsanlagen	Ausschreibungspflicht für kommunale Biogutvergärungsanlagen aufheben und Festvergütung festlegen (vorzüglich) und/oder Investitionszuschüsse gewähren (2. Priorität)
2.) Förderung der Gasaufbereitung und -einspeisung wiederbeleben	Wiedereinführung des Bonus für die Gasaufbereitung und -einspeisung bzw. Maßnahmen zur Kompensation treffen
3.) Düngerecht sachgerecht anpassen	Anerkennung der Eigenschaft von Kompost als Humusdünger durch Festlegung einer nicht vollumfänglichen Anrechnung von Stickstoff im Kompost in der Novelle der DüV
4.) Unterstützung in der Vermarktung von Gärresten und Kompost	Durchführung und Unterstützung von Öffentlichkeits- und Imagekampagnen sowie regionalen Initiativen zur Akzeptanzförderung, Fachveranstaltungen und Kooperationen, Erstellung von Leitfäden
5.) Biogutvergärungsanlagen in der geplanten Novelle der TA Luft	Verzicht auf Festlegung von TOC-Grenzwerten in der Novelle der TA Luft und Implementierung eines Messprogramms für TOC und ggf. Methan an Biogutvergärungsanlagen
7.) Harmonisierung von Planungsvoraussetzungen	Abstimmung Bund, Länder und Genehmigungsbehörden bzgl. eines einheitlichen Vollzugs sowie ressortübergreifende Abstimmungen im Hinblick auf eine kongruente Gesetzgebung in Verbindung mit zielorientierten Fördermaßnahmen
8.) Umsetzung der Getrennsammlungspflicht nach KrWG und Definition von Hochwertigkeit	Getrennsammlungspflicht konsequent flächendeckend durchsetzen und Hochwertigkeit der Verwertung von Biogut konkretisieren
9.) Erfahrungs- und Fachaustausch	Durchführung und Unterstützung von Fachveranstaltungen, Erstellung von Leitfäden

Voranstehend konnte nur ein Ausschnitt aus den umfangreichen Ergebnissen der Befragungen, den Schlussfolgerungen und den resultierenden Empfehlungen wiedergegeben werden. Weitere Ergebnisse, bzw. die Analyse der hier aufgeführten Ergebnisse mit höherem Detaillierungsgrad und Aussagekraft, sind dem Schlussbericht zum Vorhaben zu entnehmen. Darüber hinaus werden sie 2019 in weiteren Fachveröffentlichungen einer breiten Fachöffentlichkeit vorgestellt.

Herausforderungen

Zur Sicherstellung der Repräsentativität der Untersuchung setzten sich die Autoren mit einer Zielgröße von 41 Interviews, was immerhin 10 % der öffentlichen Entsorgungsträger entspricht, ein sehr ambitioniertes, aber notwendiges Ziel. Dieses war zu Beginn des Vorhabens als nicht sicher erreichbar eingeschätzt worden. Damit bestand die größte Herausforderung darin, die potenziellen Interviewpartner für ihre Teilnahme im Rahmen von zwei- bis dreistündigen Interviews zu gewinnen. Das Vorhaben stieß erfreulicherweise auf sehr großes Interesse bei den angefragten Entscheidungsträgern, sodass die Autoren auf 44 Anfragen lediglich drei Absagen erhielten.

Ausblick

Im Projekt Bio-DYN konnten die konkreten, praxisbezogenen Hemmnisse bei den Studienteilnehmern identifiziert und deren Empfehlungen zur erneuten Dynamisierung des Ausbaus repräsentativ herausgearbeitet werden. Damit liegen die zentralen Ansatzpunkte für die Entscheidungsträger auf verschiedenen Ebenen offen.

Im Anschluss an das hier beschriebene Vorhaben könnte ein regelmäßiges Monitoring der Erkenntnisse sowie Entscheidungs- und Umsetzungsprozesse erfolgen, sodass diese im Rahmen einer Politikberatung verstärkte Anwendung finden könnten. Im Fokus sollte dabei stehen, die Handlungsempfehlungen zu konkretisieren. Durch ein enges Zusammenwirken aller Akteure sollten detaillierte Vorschläge und Ansätze erarbeitet sowie Größenordnungen beziffert werden. Sinnvoll wäre die Verknüpfung mit den generierbaren Erfolgen als Beitrag zum Ressourcen- und Klimaschutz. Diese sollten ermittelt und konkret beziffert werden, um eine ökologisch-volkswirtschaftliche Kosten-Nutzen-Analyse zu ermöglichen.

Publikationen

- Turk T., Sprick W., Kern M., Raussen T. (2018): Stand der Bioabfallvergärung in Deutschland – Hemmnisanalyse für den weiteren Ausbau. In: M. Kern, T. Raussen (Hrsg.): Neue Perspektiven für die Bioabfallwirtschaft. Witzenhausen-Institut - Neues aus Forschung und Praxis. S. 121 – 138. (URL: <http://www.witzenhausen-institut.de/index.php/de/aktuelles/416-forschungsvorhaben-bio-dyn-hemmnisanalyse-fuer-den-dynamisierten-ausbau-der-vergaerung-kommunalen-bioguts-in-deutschland-abgeschlossen>)
- Kern M., Sprick W., Turk T., Raussen T.: Hemmnisanalyse für den dynamisierten Ausbau der Vergärung kommunalen Bioguts (BIODYN) (März 2019, Müll und Abfall)
- Turk T.: Diskussionen und Entscheidungen auf kommunaler Ebene: Wo liegen die Hemmnisse für die Umsetzung der Biogutvergärung? (April 2019, 31. Kasseler Abfall- und Ressourcenforum)
- Sprick W.: Betriebsdaten, Erfahrungen, Zufriedenheit und Optimierungsbedarf: Ergebnisse der Befragung von 20 Anlagenbetreibern (April 2019, 31. Kasseler Abfall- und Ressourcenforum)

Weitere Informationen

- Projektsteckbrief: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/bio-dyn-468/>
- Broschüre: Biogutradar – Modulares Kontrollsystem zur Erkennung und Reduzierung von Fremdstoffen in Biotonnen: http://www.witzenhausen-institut.de/images/downloads_aktuelles/infos_biogutradar_abfallforum_2017.pdf

Impressum

Herausgeber

Daniela Thrän, Diana Pfeiffer

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Str. 116 , 04347 Leipzig
www.energetische-biomassenutzung.de

Geschäftsführung:

Prof. Dr. mont. Michael Nelles (wiss. Geschäftsführer)
Daniel Mayer (admin. Geschäftsführer)

Fokusheft Energetische Biomassenutzung

Focus on: Bioenergie im Strom- und Wärmemarkt – Projektergebnisse 2017-2018, Leipzig 2019.

Redaktion/V.i.S.d.P.:

Angela Gröber

Layout:

Steffen Kronberg
Angela Gröber

Bilder:

Titelseite: D. Pfeiffer/DBFZ, T. Ulrbicht/DBFZ, F. Henschel/DBFZ

Sofern nicht am Bild vermerkt DBFZ.

Das DBFZ ist nicht verantwortlich für den Inhalt der eingereichten Beiträge.

Die Verantwortung für die Texte sowie der Bilder/Grafiken liegt bei den Autoren.

Druck:

Druckerei Billig OHG, Mittweida

Förderung:

Gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

© 2019 DBFZ gGmbH

Copyright: Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieses Werkes darf ohne die schriftliche Genehmigung des Herausgebers vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere auch die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf anderen digitalen Datenträgern.

ISSN: 2192-1156

ISBN: 978-3-946629-30-6

Gefördert vom:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Projektträger:



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Programmbegleitung:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages