

Reader

Energetische Biomassenutzung



10. STATUSKONFERENZ
BIOENERGIE
EINE PARTNERIN FÜR ALLE FÄLLE

Reader

Energetische Biomassenutzung

29. & 30. NOV 2021
ONLINE



www.forschungsnetzwerke-energie.de



www.energetische-biomassenutzung.de

Gefördert durch



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Projekträger



Begleitforschung



BIOENERGIE — EINE PARTNERIN FÜR ALLE FÄLLE

10. STATUSKONFERENZ
BMWi-Forschungsnetzwerk Bioenergie

Editorial

Einführende Worte zur Statuskonferenz 2021

Thorsten Herdan

Sehr geehrte Teilnehmerinnen und Teilnehmer,

erneuerbare Energien stellen einen wichtigen Wirtschaftsfaktor für Deutschland dar. Im Jahr 2020 stieg der Anteil der erneuerbaren Energien am deutschen Bruttostromverbrauch auf 45,4 Prozent. Damit wurde aus diesen Energieträgern in Summe erstmals mehr Strom als aus allen fossilen Energieträgern (Kohle, Gas und Öl) zusammen erzeugt. Das ist ein wesentlicher Meilenstein, um das im Erneuerbare-Energien-Gesetz 2021 festgehaltene Ziel von 65 Prozent erneuerbarer Energien am Strommix und die Klimaneutralität bis 2045 zu erreichen.

Ein wichtiges Element für das Erreichen dieser Ziele kann »grüner« Wasserstoff sein, der durch Elektrolyse aus erneuerbar erzeugtem Strom hergestellt wird. Deutschland hat bereits sehr frühzeitig damit begonnen, Wasserstoffanwendungen in den Fokus zu nehmen und ist weltweit eine der führenden Nationen, wenn es darum geht, Technologien und Infrastruktur wie Gasleitungen für den Transport von Wasserstoff bereitzustellen. Grüner Wasserstoff hat das Potenzial, wichtige Wirtschaftsbereiche wie die Stahlindustrie zu dekarbonisieren, und kann darüber hinaus direkt oder weiterverarbeitet zu alternativem Kraftstoff für den Flug-, Schiff-, Straßen- und Eisenbahnverkehr genutzt werden.

Um diesen Entwicklungen weiteren Aufwind zu geben, wurde im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms der Bundesregierung dieses Jahr das Forschungsnetzwerk Wasserstoff gegründet. Auch das schon länger bestehende Forschungsnetzwerk Bioenergie hat das Thema Wasserstoff auf seiner Agenda und stellt es auf der 10. Statuskonferenz, die unter dem Motto »Bioenergie: Eine Partnerin für alle Fälle« steht, erstmalig vor. Ein wichtiger Aspekt der Gas- wie auch der Kraftstofferzeugung aus Biomasse ist dabei, dass die chemischen Umwandlungsprozesse häufig mit weniger Verlusten verbunden sind als beim Einsatz der strombetriebenen Elektrolyse.

Die diesjährige Statuskonferenz will die vielseitige und flexible Rolle der Bioenergie im Zusammenspiel mit anderen erneuerbaren Energien betrachten. Es soll unter anderem der Frage nachgegangen werden, wie biogene Rest- und Abfallstoffe besser erschlossen und wie Sektorkopplung und Digitalisierung weiter vorangetrieben werden können.

Die Synergien innerhalb des Forschungsnetzwerkes Bioenergie und die Zusammenarbeit von Wissenschaft und Industrie sind wichtige Ansätze für die Entwicklung zukunftsweisender Strategien. Dabei spielen insbesondere die kleinen und mittelständischen Unternehmen im deutschen Bioenergiesektor eine entscheidende Rolle. Lassen Sie uns die Statuskonferenz nutzen und gemeinsam darüber diskutieren, wie Konzepte und Technologien effizienter gestaltet, intelligenter gesteuert und vor allem im Sinne eines umfassenden Klimaschutzes mit anderen erneuerbaren Energien integriert werden können.

Ihr Thorsten Herdan



Dipl.-Ing. Thorsten Herdan ist seit Juni 2014 Leiter der Abteilung II »Energiepolitik – Wärme und Effizienz« im Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

Er war Geschäftsführer der Fachverbände Power Systems (PS) sowie Motoren und Systeme (MuS) im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e. V. (VDMA), Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Verbrennungskraftmaschinen e. V. (FVV) und

war als Geschäftsführer des Forum Energie zuständig für die Energiepolitik des VDMA. Ferner war Herr Herdan Mitglied des Vorstands vom europäischen Verband der Verbrennungsmotorenhersteller (EUROMOT), Vorstand und Mitglied des Aufsichtsrates des europäischen Windenergie-Verbandes (EWEA) sowie Vizepäsident der Stiftung Offshore-Windenergie. Des Weiteren ist Herr Herdan seit dem 9. März 2017 Vorsitzender des Kuratoriums des kerntechnischen Entsorgungsfonds.

Lena Panning

Liebe Leserinnen und Leser,

Biomasse wird vom Menschen genutzt, seit dieser das Feuer entdeckte. Holz zu verbrennen, um unser Essen zu kochen, ist das einfachste Beispiel, wie der Mensch Biomasse als Energieträger einsetzt. Vielen Menschen auf der ganzen Welt dient auch heute noch Holz als primäre Wärmequelle im Winter. Aber wir alle wissen, dass Biomasse viel mehr kann. Bioenergie ist der Alleskönner unter den erneuerbaren Energieträgern. Ganz egal ob im Bereich der Strom- und Wärmebereitstellung, als Kraftstoff oder gemeinsam mit anderen erneuerbaren Energien - die Bioenergie ist eine Partnerin für alle Fälle.

Auch wenn die energetische Nutzung von Biomasse zunehmend kritisch diskutiert wird, können gerade biogene Rest- und Abfallstoffe bei der Transformation in ein neues Energiesystem eine relevante Funktion übernehmen. Und diese Transformation ist dringend nötig, wollen wir den Klimawandel begrenzen und unsere Ziele für eine klimaneutrale Energieversorgung erreichen.

Seit 2008 fördert das Bundeswirtschaftsministerium daher Forschungsprojekte, die sich mit Fragen befassen, wie biogene Rest- und Abfallstoffe sinnvoll energetisch genutzt werden können. Seither konnten so mit 97 Mio. Euro rund 200 Projekte umgesetzt werden. Daraus hat sich im Laufe der Zeit ein leistungsfähiges Forschungsnetzwerk mit mehr als 660 Mitgliedern entwickelt. Der Fokus der Förderung wechselte über die Jahre von Studien und theoretischen Arbeiten hin zu Pilot- und Demonstrationsvorhaben mit Industriebeteiligung. Im Zentrum der derzeitigen Förderung stehen Themen wie gekoppelte Strom- und Wärmeerzeugung, biogene Kraftstoffe, Flexibilisierung, Systemintegration und Sektorkopplung. In diesem Zusammenhang freuen wir uns auf weitere spannende Projektideen von Ihnen, die wieder zum 01. März und 01. September eingereicht werden können.

Im Mittelpunkt der 10. Statuskonferenz und damit dieses Readers stehen neben der vielseitigen und flexiblen Rolle der Bioenergie auch die diversen Optionen von Bioenergie als Schlüsseltechnologien im Zusammenspiel mit anderen Sektoren erneuerbarer Energien. Hier stellen sich Ihnen die 14 neuen Projekte vor, Sie erhalten in den Fachgesprächen aber auch einen Einblick in die Ergebnisse der laufenden Forschung.

Neue Erkenntnisse und ein kreatives Miteinander wünscht

Lena Panning



Lena Panning koordiniert beim Projektträger Jülich den Förderbereich »3.7 Energetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe« im Rahmen des 7. Energieforschungsprogramms.

Zudem betreut sie das Forschungsnetzwerk Bioenergie und bereits seit 2009 Forschungs- und Entwicklungsvorhaben in diesem Bereich. Bei der Skizzenberatung ist sie hier erste Ansprechpartnerin.

Daniela Thrän

Liebe Teilnehmerinnen, liebe Teilnehmer,

»Bioenergie – Eine Partnerin für alle Fälle« – unter diesem Motto steht die diesjährige 10. Statuskonferenz. Eine Partnerin, die einen wesentlichen Beitrag zur Energiewende leistet und starker Pfeiler für den Klimaschutz ist. Eine Partnerin, die sich aufgrund der vielfältigen Nutzungsmöglichkeiten als starke Säule innerhalb der erneuerbaren Energien etabliert hat und die einen wichtigen Beitrag zur Transformation hin zu einer Bioökonomie-Gesellschaft leisten kann.

Bioenergie hat eine lange Tradition und nach wie vor den größten Stellenwert bei der Energiebereitstellung im Wärme- und Verkehrssektor. Gleichzeitig stellt sich der Energiesektor neuen Herausforderungen: die schnelle Reduktion der Klimagase erfordert die gezielte Bereitstellung von Bioenergie in intelligenten Energiesystemen und eine Wende hin zu Nebenprodukten und Abfällen als Einsatzstoff. Das erfordert nicht nur neue Technologien, die die begrenzte Biomasse mit hoher Effizienz zu Strom, Wärme und Kraftstoff genau dort umwandelt, wo andere erneuerbare Alternativen wie Sonne, Wind und Erdwärme nicht zur Verfügung stehen, sondern auch automatisierte Mess- und Regeltechnik sowie eine ganzheitliche Energieplanung, damit der optimierte Beitrag der Bioenergie tatsächlich erreicht werden kann. Und es gilt, über den Tellerrand des Energiesystems hinaus zu denken: Bioenergie ist Teil der Bioökonomie, die einen Wandel weg von einer erdölbasierten Wirtschaft hin zu einer biobasierten Wirtschaft, in der alle Produkte, Verfahren und Dienstleistungen nachhaltig hergestellt werden, zum Ziel hat, die Kohlenstoffkreisläufe schließt und Wertschöpfungsnetzwerke aufbaut.

Das Forschungsnetzwerk Bioenergie setzt genau hier an. Zahlreiche Projekte wie Pilot- und Demonstrationsvorhaben im Forschungsnetzwerk befassen sich mit der energetischen Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe. Die Partner aus Wissenschaft und Industrie forschen in unterschiedlichen Themenfeldern von der Sektorkopplung über Technologien zur Strom- und Wärmeerzeugung, der Digitalisierung und intelligenten Steuerung von Systemen bis hin zu Bewertungssystemen und Handlungshilfen, die die Nachhaltigkeit entlang des gesamten Lebensweges sicherstellen.

Ich freue mich, dass wir auch in diesem Jahr auf der Statuskonferenz zusammenkommen und die Potentiale von Biomasse aus verschiedenen Blickwinkeln betrachten. Nutzen Sie die Konferenz dazu, sich mit weiteren Partnern zu vernetzen und sich mit Ihrer Fachexpertise untereinander auszutauschen. Ihr Wissen und Ihre Meinungen sind wertvolle Impulse nicht nur für das Forschungsnetzwerk und das Förderprogramm, sondern auch für die Energiewende.

In diesem Sinne, tauschen Sie sich aus und vernetzen Sie sich.

Daniela Thrän

Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän
Stellv. wissenschaftliche Geschäftsführerin
des DBFZ / Leiterin des Forschungsbereiches
Bioenergiesysteme am DBFZ / Leiterin Department
Bioenergie am Helmholtz-Zentrum für
Umweltforschung GmbH

Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän studierte Technischer
Umweltschutz an der Universität Berlin
und promovierte anschließend an der Bau-
haus Universität Weimar. Als Wissenschaftlerin
erforscht sie, wie Biomasse möglichst nach-
haltig erzeugt und verwertet werden kann. Seit
2008 ist sie Leiterin des Bereichs »Bioenergie-
systeme« am Deutschen Biomasseforschungs-

zentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) in
Leipzig. Das Department »Bioenergie« am
Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ)
in Leipzig leitet sie seit 2011 und hat seitdem
den Lehrstuhl »Bioenergiesysteme« an der
Universität Leipzig inne. Ihre Expertise über
eine nachhaltige Nutzung und Produktion von
Biomasse bringt sie in zahlreiche Gremien ein
und ist Co-Vorsitzende des Deutschen
Bioökonomierates.

Daniela Thrän leitet Forschungsprojekte im
Bereich Bioenergie, Bioökonomie und Raum-
wirkungen der erneuerbaren Energien und hat
u. a. den »Smart Bioenergy«-Ansatz entwickelt.



INHALT

4	EDITORIAL – Einführende Worte zur Statuskonferenz 2021
4	Thorsten Herdan
5	Lena Panning
6	Daniela Thrän
16	PROGRAMM
16	Programm 29.11.2021
18	Programm 30.11.2021
20	Kurzprofile
24	Forum A
	Remzi Can Samsun, Joachim Pasel, Stefan Weiske, Ralf Peters
26	Wasser-Gas-Shiftreaktor zur Anreicherung von CO₂ im Eduktgas der mikrobiellen Methanisierung
	Hossein Beidaghy Dizaji, André Herrmann, Thomas Zeng, Annett Pollex
28	Projektvorstellung KeVergAv-Projekt
	Lukas Gosmann, Esther Stahl, Karsten Töpel, Florian Schanz
30	Etablierung eines nachhaltigen Stoff- und Energiekreislaufs für den biogenen Reststoff Laub auf kommunaler Ebene
	Christian Schaum, Johannes Blattenberger, Christian Hubert, Bettina Steiniger, Omar Shehata, Jörg Kretzschmar, Thomas Steinforth, Stefan Einsiedel, Konstantinos Athanasiadis, Maria Egeler, Markus Heinrich, Arthur Dornburg
32	Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger
	David Laner, Viktoria Scheff, Alexander Rink, Tim Steindamm, Michael Wachendorf
34	Energieeffiziente Nutzung sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe in Biomassefeuerungen durch stufenweise Aufbereitung und Brennstoffkonfektionierung
	Matthias Schnell, Kirsten Stark, Michael Kastner
36	Dezentrale Klärschlammverbrennung in einer Wirbelfeuerung
	Steffi Formann, Thomas Schliermann, Philipp Scheider, Frank Hoferecht, Ingo Hartmann
38	Verbrennung regional verfügbarer Reststoffe zur energetischen Nutzung von Biomasse und zur gekoppelten Erzeugung von biogenem Silika für Feinstaubfilter-Prozesse

Strom & Wärme



Systemisch bewerten



Besser integrieren



Transport & Kraftstoffe



Rest- & Abfallstoffe



Digitalisieren



40	Forum B
	Daniel Büchner, Christian Schraube, Kerstin Wurdinger, Jean-Sébastien Cardot, Christoph Kändler, Steffi Theurich
42	Systematische Clusterung von brennstoff- und anlagenbezogenen Problemen am Beispiel von Holzhackschnitzelkesseln
	Ingolf Seick, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wiese
44	Flexible Biogasproduktion mit Variation der Fermentertemperatur
	Christian Wondra, Peter Treiber, Jürgen Karl, André Herrmann
46	Substitution fossiler Brennstoffe durch biogene Synthesegase zur Erzeugung industrieller Prozesswärme
	Juliana Rolf, Sören Kamphus, Tobias Weide, Elmar Brüggling
48	Entwicklung und Anwendung der dunklen Fermentation zur Wasserstoffherzeugung
	Jonas Miederer, Sebastian Kolb, Jürgen Karl
50	Datengetriebene Modellierung eines Klärwerks mittels Machine Learning-Algorithmen zur Erstellung eines Digitalen Zwillings
	Daniel Klüh, Frank Wegner, Matthias Gaderer
52	Wasserstoffbasierte Power-to-X-Technologien in Zellstoffwerken
	Mario König
53	Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen

54 Forum C

- Robert Manig, Jenö Schipek, Corina Protze
56 Synthese von Biomethanol auf Basis biogenen Wasserstoffs für den Einsatz im Mobilitätssektor
- Jan Grunwald, Andreas Apfelbacher, Robert Daschner
58 Thermochemische Umwandlung von Papierreststoff zu erneuerbaren Kraftstoff
- Volker Heil, Martin Peters, Tim Schulzke, Ellen Friedrich, Ulrike Schümann, Fanny Langschwager, Karsten Schleef, Nils Rettenmaier
60 Nachhaltige Bioreststoff-Komponenten für Hochseerkraftstoffe
- Zoltan Elek
62 Biomethan: grün, wo Wasserstoff zu teuer und Strom nicht möglich ist
- Andy Gradel, Tobias Plesing
63 Wasserstoff aus Biomasse – Chancen und Herausforderungen

64 Fachgespräch I

- Mario König, Ingo Hartmann
66 Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen
- Tanja Schneider, Dominik Müller, Jürgen Karl
68 »BioWasteStirling« – Langzeitbetriebserfahrung einer kleinskaligen Biomasse-KWK-Wirbelschichtfeuerung
- Felix Richter, Michael Kern, Thomas Raussen, Thomas Turk, Werner Sprick, Axel Hüttner
70 Biogut getrennt sammeln, optimal aufbereiten und hochwertig verwerten
- Thomas Schliermann, André Herrmann, Ingo Hartmann, Wolfgang Wiest, Jörg Ho, Frederik Köster, Georg Zimmermann
72 Thermo-chemische Konversion aschereicher Agrarreststoffe in einem Vergaser-BHKW
- Roman Adam, Lisa Röver, Florian Berger, Philipp Schneider, Thomas Zeng, Hans Werner, Volker Lenz
73 Einsatz von Parklaub als »sonstiger nachwachsender Rohstoff« gemäß § 3 (1) Nr. 13 der 1. BImSchV
- Fabian Stenzel, Lars Droese, Hans-Peter Drexler
74 Nachhaltige Grillkohleherstellung und Kraft-Wärme-Kopplung aus Biertrebern

76 Fachgespräch II

- Federica Torrigino, Fabian Grimm, Jürgen Karl
78 EIS in-situ Untersuchungen an einem SOFC-Stack bei Betrieb mit biogenem Brenngas
- Jens Kneifel, Moritz Langhoff, Simon Horn, Romina Krieg, Ralf Theiß, Peter Dültgen, Nina Spanke
80 THEAsmart - Thermische Energierückgewinnung aus Abwärme durch Smart Materials

- Daniel Büchner, Steffi Theurich, Christian Schraube
82 Systemdienlicher Betrieb von kleinen Biomasse-BHKW
- Mohammad Aleya, Souha Meriee, Martin Ecker
84 Gestufte Verbrennung in automatisch beschickten Biomassefeuerungsanlagen zur thermischen Verwertung von biogenen und Restbrennstoffen
- Joachim Pertagnol, Michael Porzig
86 Mit Pferdemist eine Biogasanlage betreiben

88 Fachgespräch III

- David Moosmann, Nadja Rensberg, Stefan Majer, Stefan Rauh
90 THG-Bilanzierung von Energie aus Biogas im Rahmen der RED II: Ergebnisse von Praxisrechnungen und Herausforderungen bei der Nachhaltigkeitszertifizierung von Biogas- und Biomethananlagen
- Ramona Schröer
92 Ökonomische Bewertung der Integration von Power-to-Gas-Konzepten in Biogas- und Biomethananlagen: Gasgestehungskosten und Kostensenkungspotenziale
- Tino Barchmann, Ingo Raufuß, Nadja Rensberg, Jaqueline Daniel-Gromke
94 Entwicklung und Demonstration eines innovativen ökologischen Hybridkraftwerks für die Kopplung von Bioenergie mit Geothermie zur Versorgung unterschiedlicher Abnehmerstrukturen
- Martin Meiller, Julian Walberer, Robert Daschner, Holger Burkhardt, Werner Klenk, Dominik Alt, Sebastian Ernst
96 Technische und wirtschaftliche Machbarkeit der betrachteten Szenarien, Verbrennungsversuche mit Holzgas und Nutzung von Vergaserrückstände im Ziegel
- Marco Selig, Kai Radtke
98 Die beste und einzige wissenschaftliche Praxis: Open Data

100 Fachgespräch IV

- Marion Schomaker, Tobias Weide, Elmar Brüggling
102 Reststoffverwertung zur Erzeugung von Biogas
- Klaus Beckers
104 Mono-Vergärung von Gülle
- Anne Deutschmann, Gregor Ganzer
106 Intelligentes Pumpensystem zur Durchmischung von Biogasreaktoren
- Jingjing Huang, Claudia Maurer, Peter Maurer, Martin Kranert, Laura Mager, Ralf Müller, Ludger Eltrop, Samah Gouya
108 Bedarfsorientierte Co-Vergärung von separiertem Bioabfallpresswasser zur Optimierung des Energiemanagements auf Kläranlagen

- Andreas Ewald, Sebastian Fendt, Hartmut Spliethoff
110 Thermochemische Vorbehandlung von Klärschlamm für den Einsatz in der Flugstromvergasung
- Martin Meiller, Julian Walberer, Robert Daschner, Christoph Weih
111 DANKEE – Upscale vom Labor- in Demonstrationsmaßstab
- 112 Fachgespräch V
- Annett Pollex
114 Heterogenität in ausgewählten holz- und nichtholzartigen Brennstoffsortimenten und deren Auswirkungen auf Verbrennungs- und Vergasungsprozesse
- 116 Fachgespräch VI
- Caroline Autenrieth, Robin Ghosh
118 Wasserstoff aus biogenen Rest- und Abfallstoffen mittels »Dunkel-Photosynthese«
- Jan Kelch, Ines Wilkens, Marianne Karpenstein-Machan,
120 Verstetigung der Wärmeversorgung in Bioenergieörfern durch energetische Systemkoppelungen
- Charley Michelle Flach, Fosca Conti, Katharina Bär, Markus Goldbrunner
122 Energiespeicherkonzepte für kleine und mittlere Biogasanlagen mittels Direktmethanisierung
- Eike Janesch, Rodrigo R. Retamal Marín, Pierre Haider, Michael Mertig, Peter Neubauer, Anja Lemoine, Jens Zosel, Stefan Junne
124 Zweistufige Verfahrensführung zur Flexibilisierung der Biogasproduktion
- Benedikt Rilling, Carsten Herbes
126 Konsument*innen-Präferenzen und Zahlungsbereitschaften für regenerative Gase im Wärmesektor: Ergebnisse eines Discrete Choice-Experiments
- Joshua Güsewell
128 Zukünftige Anwendungsfälle und Potentiale der Optimierung des Substrateinsatzes in Biogasanlagen
- 130 Poster Ausstellung
- Tina Hermann, Manfred Pacher, Christoph Sturm, Dominik Glöckner, Marco Bauer, Christian Schweigler
132 Brennwertnutzung an Biomassekesseln mittels angekoppelter Sorptionswärmepumpe – Entwicklung des Rauchgaswärmeübertragers
- Bettina Stolze, René Bindig, Andrea Dernberger
133 Katalytische Emissionsminderung in Biomasseverbrennungssystemen auf Basis von α -Al₂O₃ Hohlkugeln
- Mohammad Aleysa, Niro Akbary
134 Intelligentes Verbrennungs- und Energiemanagementsystem für eine effiziente und schadstoffarme Bereitstellung und Nutzung von Wärme aus Biomasseheizkesseln
- Christoph Dünn, Romina Krieg, Ralf Theiß, Peter Dültgen, Simon Horn, Alexander Czechowicz, Eugen Eichmann, Thomas Rusinski
136 Solarnachführung mit Formgedächtnislegierung
- Maximilian Heinrich, Tobias Plessing, André Herrmann, Andy Gradel
138 Brennstoffeigenschaften - das Kernelement einer Holzgassimulation
- Jürgen Reichelt, Gudrun Pfrang-Stotz, Britta Bergfeldt, Edwin Karrer, Markus Ricker
140 Effizienzsteigerung bei der Energiegewinnung in Biomassekraftwerken durch die technische Anwendung eines Biobrennstoffkataloges
- Özge Çepeliogullar Mutlu, Matthias Jordan, Thomas Zeng, Volker Lenz
142 Zukünftiges Potenzial und Herausforderungen bei der Substitution von Erdgas durch biobasiertes Synthesegas in energieintensiven Sektoren: Eine technisch-ökonomische Analyse
- Simon Markthaler, Fabian Grimm, Jürgen Karl
144 Experimentelle Untersuchung zur Katalysatordeaktivierung und zur Leistungsfähigkeit eines zweistufigen Methanisierungssystems für die Direktmethanisierung von Biogas
- Lukas Tanzer, Korbinian Gernt, Tina Horstkotte
145 Innovatives Regelkonzept für Holzvergaseranlagen zur systemdienlichen Einbindung in ein volatiles Energienetz
- Laura García Laverde, Torsten Schmidt-Baum, Nora Szarka, Volker Lenz
146 Heizungsaustausch - Erleichterung des Entscheidungs-, Planungs- und Installationsprozesses für Hauseigentümer:innen
- Viktoria Scheff, Ilze Dzene, Michael Wachendorf, David Laner
148 Ressourcenpotenziale biogener Rest- und Abfallstoffe für die thermische Verwertung in Deutschland: Mengen, Energiegehalt, Klassifikation, Kaskadennutzung und Klimaschutzpotenzial
- Patrick Beuel, Christiane Rieker, Stéphan Barbe, Oliver Hensel, Jamile Bursche
150 Synergetische Effekte durch Mischung von Weizenstroh mit Apfelsaftnebenprodukten und Grüngutkompost in Biokonversionsprozessen
- Moritz Gebser, Lars Gronen, Uwe Siemann, Hans-Peter König, Wolfgang Krumm
152 Energieautarke Rückgewinnung von Phosphaten durch ganzheitliche Klärschlammverwertung mit integrierter Wasserstoffgewinnung
- Norbert Grösch, Stefanie Wageneder, Christiane Herrmann, Jasmin Gleich, Cosima Aeschbach, Katharina Bär, Ulrich Kilburg, Robert Wagner, Wilfried Zörner
154 LaRA – Lösungsansätze zur technischen Anpassung bestehender Biogasanlagen für die Nutzung faseriger Reststoffe

- Annett Pollex, Claudia Kirsten, Thomas Zeng, Roman Adam
- 156 Agglomerierung von Vergaserkoks für die weitere stoffliche und energetische Nutzung**
- Christian Schaum, Johannes Blattenberger, Christian Hubert, Bettina Steiniger, Omar Shehata, Jörg Kretzschmar, Thomas Steinforth, Stefan Einsiedel, Konstantinos Athanasiadis, Maria Egeler, Markus Heinrich, Arthur Dornburg
- 158 Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger**
- Marcel Spahr, Oliver Larsen
- 160 Demonstration eines innovativen Verfahrens zur effizienten Biogas- und Düngerherstellung aus Getreidestroh**
- Manfred Kircher, Gabi Schock, Thomas Bayer
- 162 Chemiestandort sichern – mit biogenen Rest- und Abfallstoffen**
- Florian Loosen, Alexander Schank
- 164 BioNet – Dezentrale Vergärung von schwierigen biogenen Substraten zur klimafreundlichen Bereitstellung von Strom und Wärme am Beispiel des Allwetterzoos Münster**
- 166 Einreichungen eines wissenschaftlichen Fachartikels (Scientific Paper)**
- 167 Forschungsnetzwerk Bioenergie**
- 168 Impressum**
- 169 Organisationsteam**



ONLINE ZUGÄNGE

POSTERAUSSTELLUNG <https://www.energetische-biomassennutzung.de/veranstaltungen/statuskonferenzen/10-statuskonferenz/programm/posterausstellung>

KONFERENZREADER <https://www.energetische-biomassennutzung.de/publikationen/tagungsreader>

Hinweis zur Benutzung: Der Konferenzreader hat Lesezeichen, so dass Sie mit einem Klick in den jeweiligen Inhaltsverzeichnissen zu den einzelnen Beiträgen springen können. Um zum Inhaltsverzeichnis zurückzuspringen, können Sie rechts oben auf die Seitenzahl klicken.

ANMELDUNG ZUR STATUSKONFERENZ Anmelden können Sie sich auf: <https://www.energetische-biomassennutzung.de/veranstaltungen/statuskonferenzen/10-statuskonferenz/anmeldung>

Poster Ausstellung



Tag 1 Programm 29.11.2021

- ab 09:30 Uhr** Öffnung des online-Streams
- 10:00 – 11:30 Uhr** Moderation Tino Barchmann, DBFZ
- BEGRÜSSUNG** Thorsten Herdan, Abteilungsleiter II Energiepolitik - Wärme und Effizienz, BMWi
- KEYNOTE** **Forschung für Bioenergie - ein Rückblick und die Aussichten**
Prof. Dr.-Ing. Daniela Thrän, stellv. wissenschaftliche Geschäftsführerin des DBFZ, Leiterin des Forschungsbereiches Bioenergiesysteme DBFZ
- KEYNOTE** **Biokraftstoffe - Wohin geht die Reise**
Dr.-Ing. Franziska Müller-Langer, Leiterin des Geschäftsbereichs Bioraffinerien am DBFZ
- Diskussion
- 11:30 – 12:30 Uhr** Mittagspause & Postersession

Neue Projekte auf den Punkt gebracht

PARALLELES Forum A

12:30 – 14:00 Uhr **Biogene Rest- und Abfallstoffe besser erschließen**

Chair: Katja Oehmichen, DBFZ

- BiRG** Wasser-Gas-Shiftreaktor zur Anreicherung von CO₂ im Eduktgas der mikrobiellen Methanisierung
- KeVergAv** Brennstoffspezifische Kennzahlen zum Vergasungs- und Ascheverhalten unterschiedlich aufbereiteter Holz- und Strohbiomasse
- LaubCycle** Etablierung eines nachhaltigen Stoff- und Energiekreislaufs für den biogenen Reststoff Laub auf kommunaler Ebene
- FLXsynErgy** Einfluss der flexibilisierten Faulgaserzeugung auf die Klärschlammbehandlung
- BiorestBrennstoffe** Energieeffiziente Nutzung sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe in Biomassefeuerungen durch stufenweise Aufbereitung und Brennstoffkonfektionierung
- VerKlär²** Dezentrale Klärschlammverbrennung in einer Wirbelfeuerung
- PaCoSil** Verbrennung regional verfügbarer Reststoffe zur energetischen Nutzung von Biomasse und zur gekoppelten Erzeugung von biogenem Silika für Feinstaubfilter-Prozesse

PARALLELES Forum B

Strom & Wärme

12:30 – 14:00 Uhr **Systemisch bewerten & besser integrieren**

Chair: Dr. Konrad Siegfried, DBFZ

- IdDiaPro** Systematische Clusterung von brennstoff- und anlagenbezogenen Problemen am Beispiel von Holzhackschnitzelkesseln
- flexigast** Flexible Biogasproduktion mit Variation der Fermentertemperatur
- KonditorGas** Substitution fossiler Brennstoffe durch biogene Synthesegase zur Erzeugung industrieller Prozesswärme
- HyTech** Entwicklung und Anwendung der dunklen Fermentation zur Wasserstoffherzeugung
- KLÄFFIZIENT** Flexible und bedarfsgerechte Veredelung von Klärgas zur Energiespeicherung und Erhöhung der Anlageneffizienz
- WinZell** Wasserstoffbasierte Power-to-X-Technologien in Zellstoffwerken
- BioFeuSe** Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen

FORUM AM NACHMITTAG

Forum C

14:30 – 16:00 Uhr **Transport & Kraftstoffe**

Chair: Dr. Kati Görsch, DBFZ

- BioMeth** Synthese von Biomethanol auf Basis biogenen Wasserstoffs für den Einsatz im Mobilitätssektor
- Reststoff2Kraftstoff** Thermochemische Umwandlung von Papierreststoff zu erneuerbarem Kraftstoff
- Impulsvorträge**
- PyroMar** Nachhaltige Hochseerkraftstoffe aus Bioreststoff-Komponenten
- Biomethan: grün, wo Wasserstoff zu teuer und Strom nicht möglich ist
- Wasserstoff aus Biomasse – Chancen und Herausforderungsgasen an Biomassefeuerungen



Tag 2 Programm 30.11.2021

Moderation: Tanja Busse

10:00 – 11:00 Uhr

Podiumsdiskussion

Tanja Busse diskutiert mit Dominik Mueller und Thomas Plankenbuehler

11:00 – 11:30 Uhr
KEYNOTE

Biogas ist der Alleskönner! Welche praktikablen Optionen bestehen heute für die Zukunftsfähigkeit von Biogasanlagen?

Prof. Dr.-Ing. Frank Scholwin; Leiter des Institut für Biogas, Kreislaufwirtschaft und Energie

11:30 – 12:30 Uhr

Mittagspause & Postersession

12:30 - 14:00 Uhr

PARALLELES FACHGESPRÄCH I

Chair: Dr. Thomas Zeng, DBFZ

- 10' **SCRCOAT:** Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen
- 10' **BioWasteStirling:** Langzeitbetriebserfahrung einer kleinskaligen Biomasse-KWK-Wirbelschichtfeuerung
- 10' **BioGut:** Biogut getrennt sammeln, optimal aufbereiten und hochwertig verwerten
- 15' **GASASH:** Thermo-chemische Konversion aschereicher Agrarreststoffe in einem Vergaser-BHKW
- MoBiFuels:** Einsatz von Parklaub als »sonstiger nachwachsender Rohstoff«
- 5' **KWKplusBierkohle:** Nachhaltige Grillkohleherstellung und Kraft-Wärme-Kopplung aus Biertrebern

14:00 – 14:30 Uhr

Mittagspause & Postersession

14:30 - 16:00 Uhr

PARALLELES FACHGESPRÄCH IV

Chair: Dr. Steffi Formann, DBFZ

- 5' **BioReST:** Reststoffverwertung zur Erzeugung von Biogas
- 5' **agritower:** Mono-Vergärung von Gülle
- 10' **FlexPump:** Intelligentes Pumpensystem zur Durchmischung von Biogasreaktoren
- 10' **SepaFlex:** Bedarfsorientierte Co-Vergärung von separiertem Bioabfallpresswasser zur Optimierung des Energiemanagements auf Kläranlagen
- 10' **PyroGas:** Thermochemische Vorbehandlung von Klärschlamm für den Einsatz in der Flugstromvergasung
- 5' **DankEE:** Upscale vom Labor- in Demonstrationsmaßstab

16:15 – 17:15 Uhr

RESÜMEE DER DISKUSSIONEN

Chair: Uta Schmieder, DBFZ

gegen 17:15 Uhr

ABSCHLIESSENDE WORTE

PARALLELES FACHGESPRÄCH II

Chair: Martin Dotzauer, DBFZ

- 15' **FlexSOFC:** EIS in-situ Untersuchungen an einem SOFC-Stack bei Betrieb mit biogenem Brenngas
- 5' **THEAsmart:** Thermische Energierückgewinnung aus Abwärme durch Smart Materials
- 15' **SNUKR:** Systemdienlicher Betrieb von kleinen Biomasse-BHKW
- 10' **GVAGR:** Gestufte Verbrennung mit Abgasrückführung und zur Schadstoffminderung und Effizienzerhöhung in automatisch beschickten Biomassefeuerungsanlagen zur thermischen Verwertung von biogenen und Restbrennstoffen
- 5' **FeBio:** Mit Pferdemit eine Biogasanlage betreiben

PARALLELES FACHGESPRÄCH IV

Chair: Dr. Annett Pollex, DBFZ

- Dr. Volker Zelinski, HAWK: **Entwicklung der vereinfachten Probenahmnorm DIN EN ISO 21945**
- Dr. Martin Englisch, BEA: **Herstellung von homogenen Proben für Ringversuche sowie Homogenisierung von Holzhackschnitzelchargen (>2t) für Torrefizierungsversuche**
- Dr. Annett Pollex, DBFZ: **Heterogenität von Strohchargen und Ansätze zu deren Homogenisierung im Technikumsmaßstab (<2t)**
- Dr. Daniel Kuptz, TFZ: **Heterogenität in Holzhackschnitzelchargen und Einfluss der Aufbereitung auf die Heterogenität**

Anschließend Erfahrungsaustausch und Erarbeitung von Handlungsempfehlungen

PARALLELES FACHGESPRÄCH III

Chair: Dipl.-Ing. (FH) Klaus Völler, dena

- 15' **ZertGas:** THG-Bilanzierung von Energie aus Biogas im Rahmen der RED II: Ergebnisse von Praxisrechnungen und Herausforderungen bei der Nachhaltigkeitszertifizierung von Biogas- und Biomethananlagen
- 10' **(BGA-PtG):** Ökonomische Bewertung der Integration von Power-to-Gas-Konzepten in Biogas- und Biomethananlagen: Gasgestehungskosten und Kostensenkungspotenziale
- 15' **Bio2Geo:** Entwicklung und Demonstration eines innovativen ökologischen Hybridkraftwerks für die Kopplung von Bioenergie mit Geothermie zur Versorgung unterschiedlicher Abnehmerstrukturen
- 5' **BioBrick:** Technische und wirtschaftliche Machbarkeit der betrachteten Szenarien, Verbrennungsversuche mit Holzgas und Nutzung von Vergaserrückstände im Ziegel
- 10' **Open Data:** Die beste und einzige wissenschaftliche Praxis: Open Data

PARALLELES FACHGESPRÄCH VI

Chair: Dr. Jörg Kretschmar, DBFZ

- 10' **RhoTech:** Wasserstoff aus biogenen Rest- und Abfallstoffen mittels »Dunkelphotosynthese«
- 10' **BioEnergiedörfer:** Verstetigung der Wärmeversorgung in Bioenergiedörfern durch energetische Systemkoppelungen
- 10' **Energiespeicherkonzepte** für kleine und mittlere Biogasanlagen mittels Direktmethanisierung
- 5' **ProPhaSep:** Zweistufige Verfahrensführung zur Flexibilisierung der Biogasproduktion
- 5' **(BGA-PtG):** Konsument*innen-Präferenzen und Zahlungsbereitschaften für regenerative Gase im Wärmesektor: Ergebnisse eines Discrete Choice-Experiments
- 5' **Zukünftige Anwendungsfälle** und Potentiale der Optimierung des Substrateinsatzes in Biogasanlagen

29. & 30.11.2021

Kurzprofile

Tag 1

Tino Barchmann M. Sc. studierte von 2008 bis 2011 an der Universität Leipzig im Bachelorstudium Wirtschaftswissenschaften sowie von 2011 bis 2014 im Masterstudium Betriebswirtschaftslehre. Seit 2013 befasst sich Tino Barchmann als wissenschaftlicher Mitarbeiter am DBFZ im Bereich »Biochemische Konversion« Arbeitsgruppe »Systemoptimierung« u. a. in diversen Projekten mit: Post-EEG-Geschäftsfeldern von Bioenergieanlagen, Wirtschaftliche Bewertung von Biogas- und Biomethananlagen sowie Bioabfallvergärungs- und Güllekleinanlagen, Flexibilisierungskonzepte für Biogasanlagen innerhalb des Ausschreibungsdesigns des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG), Bioenergie als regionale Ausgleichsoption im deutschen Stromnetz, Repowering von Biogasanlagen. Tino Barchmann ist seit 2015 der fachliche Leiter und Organisator der Leipziger Biogas-Fachgespräche.

Keynote

Prof. Dr.-Ing. **Daniela Thrän** studierte Technischer Umweltschutz an der Universität Berlin und promovierte anschließend an der Bauhaus Universität Weimar. Als Wissenschaftlerin erforscht sie, wie Biomasse möglichst nachhaltig erzeugt und verwertet werden kann. Seit 2008 ist sie Leiterin des Bereichs »Bioenergiesysteme« am Deutschen Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH (DBFZ) in Leipzig. Das Department »Bioenergie« am Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung (UFZ) in Leipzig leitet sie seit 2011 und hat seitdem den Lehrstuhl »Bioenergiesysteme« an der Universität Leipzig inne. Ihre Expertise über eine nachhaltige Nutzung und Produktion von Biomasse bringt sie in zahlreiche Gremien ein und ist Co-Vorsitzende des Deutschen Bioökonomierates. Daniela Thrän leitet Forschungsprojekte im Bereich Bioenergie, Bioökonomie und Raumwirkungen der erneuerbaren Energien und hat u. a. den »Smart Bioenergy«-Ansatz entwickelt.

Keynote

Dr.-Ing. **Franziska Müller-Langer** ist seit 2008 Leiterin des Geschäftsbereichs Bioraffinerien am DBFZ. Gemeinsam mit ihrem Team von derzeit ca. 40 Mitarbeiter*innen arbeitet sie zum Forschungsschwerpunkt biobasierte Produkte und Kraftstoffe. In diesem Kontext ist sie in eine Vielzahl nationaler und internationaler Vorhaben und Gremien eingebunden, darunter IEA Bioenergy TCP Task 39 »Commercialising Conventional and Advanced Transport Biofuels from Biomass and Other Renewable Feedstocks«, European Technology and Innovation Platform (ETIP) Bioenergy WG4 »Policy and Sustainability«, European Energy Research Alliance (EERA), DECHEMA ProcessNet – Sustainable Production, Energy and Resources (SuPER): Fachgruppe Energieverfahrenstechnik sowie Arbeitskreis Alternative Brenn- und Kraftstoffe, Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (NPM) AG2, FG 3 »Alternative Kraftstoffe für Verbrennungsmotoren«, Richtlinienausschuss zu VDI 4635 Power-to-X AG »CO₂-Bereitstellung«.

Forum A

Katja Oehmichen ist seit 2008 Wissenschaftlerin am DBFZ. Sie ist diplomierte Bauingenieurin und beschäftigt sich in der Arbeitsgruppe »Angewandte Nachhaltigkeitsbewertung« mit der Nachhaltigkeitsbewertung von Systemen zur stofflichen und energetischen Biomassenutzung. Ihr Forschungsschwerpunkt liegt dabei auch auf der Entwicklung und Standardisierung von Methoden der Nachhaltigkeitsbewertung.

Forum B

Dr. **Konrad Siegfried** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Arbeitsgruppe Ressourcenmobilisierung am Fachbereich Bioenergiesysteme des DBFZ. Er arbeitet gegenwärtig an der Entwicklung von Strategien zur Mobilisierung von Stakeholdern im Bioenergiebereich im Rahmen von EU geförderten internationalen Projekten. Vor seiner Tätigkeit am DBFZ hat Dr. Konrad Siegfried in verschiedenen kleinen und mittelständischen Unternehmen gearbeitet, deren Geschäftsfelder vor allem in den Bereichen Technologie- und Innovationsförderung (Bioenergie, Klimaschutz, Leichtbau- und Automatisierung), Wasseraufbereitung und Wasseranalytik lagen. Er promovierte auf dem Gebiet der ökologischen Agrarwissenschaft (Universität Kassel) und hat einen Abschluss als Diplom Geograph (Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg). Zudem hat er umfangreiche Erfahrungen bei der Durchführung von Internationalen Forschungsprojekten in Ländern wie z.B. Bangladesch, Indien, Nepal und Oman.

Forum C

Dr.-Ing. **Kati Görsch** arbeitet seit 2015 am DBFZ im Bereich Bioraffinerien. Dort ist sie Leiterin der Arbeitsgruppe »Kraftstoffe und Motoren« und war vor Übernahme dieser Funktion unter anderem für das Analytiklabor des DBFZ mitverantwortlich. Sie studierte Umweltchemie an der Universität Leipzig und promovierte an der Technischen Universität Dresden auf dem Gebiet der Bioverfahrenstechnik.

Tag 2

Tanja Busse, geboren 1970, studierte Journalistik und Philosophie in Dortmund, Bochum und Pisa, hatte ein Volontariat beim Westdeutschen Rundfunk und war Stipendiatin der Studienstiftung des Deutschen Volkes. Recherchereisen führten sie nach Äthiopien, Tansania, Indonesien und USA. 2000 promovierte sie zum Dr. phil., 2002 bis 2003 war sie Redakteurin beim WDR, seitdem ist sie freiberuflich als Moderatorin, Autorin und Journalistin, u.a. für die Süddeutsche, Die Zeit, den Freitag unterwegs. Tanja Busse moderiert Diskussionen und Konferenzen zu den Themen Landwirtschaft, Nachhaltigkeit, Ernährung, Ökologie, Ressourceneffizienz, zahlreiche Veröffentlichungen und Preise. Sie ist Kuratorin der Schweisfurth Stiftung und der Zukunftsstiftung Landwirtschaft, Fellow am DFG-Forschungskolleg »Zukünfte der Nachhaltigkeit« an der Universität Hamburg. 2015 erschien ihr Buch »Die Wegwerfkuh« im Blessing Verlag München, 2019 »Das Sterben der anderen. »Wie wir die biologische Vielfalt noch retten können« und »Fleischkonsum. 33 Fragen und Antworten« schienen 2021 im Piper Verlag.

Podium

Dr.-Ing. **Dominik Müller** Maschinenbauer, Promotion im Bereich kleinskaliger Wirbelschichtfeuerungen für die Kraft-Wärme-Kopplung mit Stirlingmotoren. Schwerpunkte im Anlagenbau, der Automatisierungstechnik sowie der Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen.

Podium

Dr.-Ing. **Thomas Plankenbühler** Verfahrenstechniker, Promotion im Themenfeld der Simulation und Vorhersage der Verschlackungsneigung von Biomassefeuerungen. Arbeitsschwerpunkte in der CFD-Simulation, Bildverarbeitung, künstlichen Intelligenz und datengetriebenen Modellen.

Keynote

Prof. Dr.-Ing. **Frank Scholwin** ist Inhaber des 2012 von ihm gegründeten Institutes für Biogas, Kreislaufwirtschaft & Energie. Er ist beratend für Biogasanlagenbetreiber, Energieversorger, Behörden in den Bereichen Biogas, Biomethan und Integration erneuerbarer Energien in das Energiesystem aktiv. Darüber hinaus ist er Honorarprofessor Biogas/Bioenergie an der Universität Rostock. Er ist Umweltingenieur und arbeitete an den Universitäten Rostock und Weimar. Am Deutschen Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH hat er viele Jahre die Forschung zur Biogastechnologie koordiniert und war 2011/2012 wissenschaftlicher Geschäftsführer.

Fachgespräch I

Thomas Zeng studierte Maschinenbau an der HS Merseburg und Verfahrenstechnik an der TU Dresden. Von 2005 bis 2008 war er bei der HS Energieanlagen GmbH in Freising als Projektingenieur mit der Planung, dem Bau und der Inbetriebnahme eines 500kW allothermen Wasserdampfvergasers mit Wirbelschichttechnologie beschäftigt. Seit 2008 arbeitet er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am DBFZ auf dem Gebiet der Charakterisierung, Herstellung und Optimierung fester Biobrennstoffe zur Reduzierung aschebedingter Probleme bei der Verbrennung und Vergasung sowie der Ascheverwertung, z.B. für die Betonherstellung oder die Bereitstellung von biogenem Silika. Als Leiter der Arbeitsgruppe »Innovative Festbrennstoffe« sowie als Mitglied des ISO/TC 238 »Feste Biobrennstoffe« veröffentlichte er mehr als 30 begutachtete Artikel (z.B. in Fuel, Energy & Fuels, ACS Sustainable Chemistry & Engineering) und Beiträge in Tagungsbänden wie der EUBCE.

Fachgespräch II

Martin Dotzauer ist seit 2013 wissenschaftlicher Mitarbeiter im Bereich Bioenergiesysteme am DBFZ und Sprecher der Arbeitsgruppe Strom im Forschungsnetzwerk Bioenergie. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der flexiblen Strombereitstellung aus Bioenergieanlagen, der Sektorenkopplung und Systemintegration im Stromsektor, der technoökonomischen Analyse und Geschäftsfeldbewertung sowie der Evaluation von Politikinstrumenten wie dem Erneuerbare-Energien-Gesetz. Vor dieser Tätigkeit war er Bioenergieberater für Landwirte an der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Martin Dotzauer studierte Prozess- und Qualitätsmanagement für biogene Rohstoffe an der Humboldt Universität zu Berlin.

FORUM A Neue Projekte stellen sich vor:

BiRG

Wasser-Gas-Shiftreaktor zur Anreicherung von CO₂ im Eduktgas der mikrobiellen Methanisierung

Remzi Can Samsun, Joachim Pasel, Stefan Weiske, Ralf Peters

KeVergAv

Projektvorstellung KeVergAv-Projekt

Hossein Beidaghy Dizaji, André Herrmann, Thomas Zeng, Annett Pollex

LaubCycle

Etablierung eines nachhaltigen Stoff- und Energiekreislaufs für den biogenen Reststoff Laub auf kommunaler Ebene

Lukas Gosmann, Esther Stahl, Karsten Töpel, Florian Schanz

FLXsynErgy

Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger

Christian Schaum, Johannes Blattenberger, Christian Hubert, Bettina Steiniger, Omar Shehata, Jörg Kretzschmar, Thomas Steinforth, Stefan Einsiedel, Konstantinos Athanasiadis, Maria Egeler, Markus Heinrich, Arthur Dornburg

Energieeffiziente Nutzung sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe in Biomassefeuerungen durch stufenweise Aufbereitung und Brennstoffkonfektionierung

David Laner, Viktoria Scheff, Alexander Rink, Tim Steindamm, Michael Wachendorf

BioRestBrennstoff

Dezentrale Klärschlammverbrennung in einer Wirbelfeuerung

Matthias Schnell, Kirsten Stark, Michael Kastner

Verklär²

Verbrennung regional verfügbarer Reststoffe zur energetischen Nutzung von Biomasse und zur gekoppelten Erzeugung von biogenem Silika für Feinstaubfilter-Prozesse

Steffi Formann, Thomas Schliermann, Philipp Scheider, Frank Hoferecht, Ingo Hartmann

PaCoSil



BiRG

Remzi Can Samsun, Joachim Pasel, Stefan Weiske, Ralf Peters

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Wasser-Gas-Shiftreaktor zur Anreicherung von CO₂ im Eduktgas der mikrobiellen Methanisierung

Keywords:

Biogene Reststoffe, Pyrolysegas, WGS, Reaktorentwicklung

Die energetische Nutzung von biogenen Reststoffen zur Gewinnung von erneuerbarer Energie bietet eine alternative Verwertungsoption zu deren Entsorgung. Sie liefert einen wichtigen Beitrag zur Erreichung einer Treibhausgasneutralität. Das Ziel des Verbundprojekts BiRG ist es, eine Demonstrationsanlage bestehend aus einer Pyrolyse, einer Gasreinigung, einem Wasser-Gas-Shiftreaktor (WGS) und einer mikrobiellen Methanogenese zu erproben. Diese Anlage wandelt das durch die Pyrolyse anfallende (Bio-)Gas zu einem Produktgas um, das in das Erdgasnetz eingespeist werden kann. Dabei wird als Nebenprodukt der Pyrolyse Biokohle produziert, so dass alle Reststoffe energetisch verwertet werden können.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Das Institut für Elektrochemische Verfahrenstechnik (IEK-14) des Forschungszentrums Jülich arbeitet zusammen mit den Projektpartnern New Power Pack GmbH (Koordination), Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Open Grid Europe GmbH sowie den Unterauftragnehmern MicroEnergy GmbH und R+A Industrieanlagenbau GmbH an der Realisierung der hochwertigen energetischen Verwertung von unterschiedlichen biogenen Reststoff-Kombinationen. Die Forschungsschwerpunkte beinhalten die Entwicklung von einzelnen Prozessschritten sowie von einem optimierten Gesamtsystem, damit der untersuchte Technologiepfad mit Hilfe der Demonstrationsanlage validiert werden kann.

Dabei liegt der Fokus der Forschungsaufgaben des Forschungszentrums Jülich auf der Entwicklung, Erprobung und Bereitstellung eines mehrstufigen Wasser-Gas-Shiftreaktors zur Reduktion der CO-Konzentration im Pyrolysegas auf maximal 1 (Vol.-%), damit die nachgeschaltete mikrobielle Methanogenese ohne Leistungseinbuße bzw. Degradation betrieben werden kann. An dieser Stelle erfolgt ein Technologietransfer aus dem Gebiet der Brenngaserzeugung für Brennstoffzellensysteme. Das Forschungszentrum Jülich hat in der Vergangenheit verschiedene Generationen von Wasser-Gas-Shiftreaktoren für Brennstoffzellensysteme entwickelt [1-3].

Die Wasser-Gas-Shiftreaktoren bestehen aus einer Hoch- und einer Niedertemperatur-Shiftstufe. Durch die Aufteilung in zwei Temperaturstufen wird zunächst der größte Anteil an CO in einer Hochtemperaturstufe unter hoher Reaktionsgeschwindigkeit zusammen mit Wasserdampf in CO₂ und H₂ umgewandelt. Die schnelle Reaktionskinetik ermöglicht eine kompakte Auslegung dieser Stufe. Jedoch wird der CO-Umsatz durch das thermodynamische Gleichgewicht limitiert. In der nachgeschalteten Niedertemperaturstufe verschiebt sich das Gleichgewicht in Richtung der gewünschten Produkte H₂ und CO₂, so dass geringere CO-Konzentrationen am Ausgang dieser Stufe möglich sind. Die langsamere Reaktionsgeschwindigkeit in dieser Stufe erfordert eine längere Verweilzeit und dadurch einen größeren Reaktionsraum.

Das typische Produktgas einer autothermen Dieselreformierung, die im Zentrum dieser Entwicklungen stand, enthält ca. 10 (Vol.-%) CO im Vergleich zu bis zu 30 (Vol.-%) im Pyrolysegas. Aus diesem Grund ist die Entwicklung eines neuen Reaktorkonzeptes notwendig, um die höhere CO-Konzentration im Eduktgas des Shiftreaktors auf den gleichen Zielwert von 1 (Vol.-%) im Produktgas zu reduzieren.

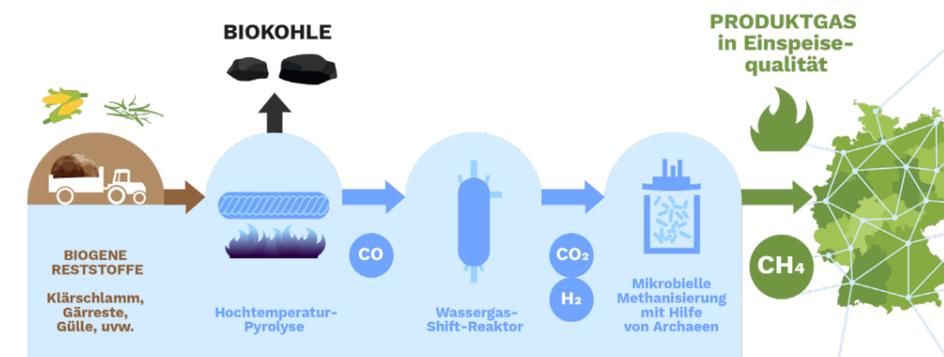
KONKRETE AKTIVITÄTEN

Die Entwicklung eines geeigneten Reaktorkonzeptes für die Wasser-Gas-Shiftreaktion nach den Pyrolyse- und Gasreinigungsstufen erfolgt mit Hilfe von Experimenten und Simulationen. Im Rahmen von Vorversuchen wird der Effekt der steigenden CO-Konzentrationen auf die Leistung eines bestehenden Shiftreaktors gekoppelt mit einem autothermen Dieselreformer untersucht. Hierbei wird das Produktgas der Dieselreformierung mit zusätzlichen Mengen an CO und Wasserdampf so konditioniert, dass seine Zusammensetzung der des Pyrolysegas möglichst nahekommt. Mit Hilfe der Erkenntnisse aus den Vorversuchen wird ein Prozessmodell aufgebaut, um mögliche Verschaltungsvarianten bezüglich der Reaktionsführung zu simulieren. Durch Verfahrenssimulationen mit dem entwickelten Modell werden neue Reaktorkonzepte entworfen. Diese Konzepte beinhalten neben der Anzahl der Reaktionsstufen und der Auswahl der Raumgeschwindigkeiten auch die Temperaturstufen und Kühlkonzepte. Die entwickelten Konzepte werden für zwei Fälle simuliert. Im ersten Fall werden Parameter für weitere Experimente zur Validierung des neu entwickelten Konzeptes ausgehend von einem angepassten Reformat aus der Dieselreformierung mit erhöhter CO-Konzentration bestimmt. Im zweiten Fall wird das gleiche Konzept für den späteren Reaktorbetrieb mit Pyrolysegas im Gesamtsystem optimiert.

Die Erkenntnisse aus den ersten Vorversuchen und Simulationen zeigen eine starke Temperaturerhöhung im zweistufigen Shiftreaktor aufgrund der im Vergleich zur Dieselreformierung höheren Eduktkonzentration an CO in der exothermen Wasser-Gas-Shiftreaktion. Diese Temperaturerhöhung führt zu einer Überschreitung der zulässigen Temperaturen von 450 – 470 °C im Shiftkatalysator.

Im Rahmen des BiRG-Projektes wurden zwei mehrstufige Reaktorkonzepte entwickelt, um die Temperaturerhöhung unter den genannten Grenzen zu halten und gleichzeitig am Austritt des Gesamtreaktors eine CO-Konzentration von maximal 1 (Vol.-%) zu erreichen. Bei der Statuskonferenz werden Ergebnisse von zwei Konzepten präsentiert und einander gegenübergestellt, damit das optimale Konzept für die Integration in die Demonstrationsanlage ausgewählt werden kann.

<https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/BiRG-655>
Graphical abstract (Quelle: Joshua Röbisch, DBFZ):



- [1] PASEL, J.; SAMSUN, R.C.; TSCHAUDER, A.; PETERS, R.; STOLTEN, D. (2018): Water-gas shift reactor for fuel cell systems: Stable operation for 5000 hours. International Journal of Hydrogen Energy, 43(41), pp. 19222-19230.
- [2] KREKEL, D., SAMSUN, R.C.; PASEL, J.; PRAWITZ, M.; PETERS, R.; STOLTEN, D. (2016): Operating strategies for fuel processing systems with a focus on water-gas shift reactor stability. Applied Energy, 164, pp. 540-552.
- [3] SAMSUN, R.C., PRAWITZ, M.; TSCHAUDER, A.; MEIßNER, J.; PASEL, J.; PETERS, R. (2020): Reforming of diesel and jet fuel for fuel cells on a systems level: Steady-state and transient operation. Applied Energy, 279, 115882.

ERGEBNISSE**WEITERE INFORMATIONEN****LITERATUR**

03EI5415 BiRG

Umwandlung biogener Reststoffe in Produktgas durch Pyrolyse, Shift und mikrobielle Methanisierung

Dr. Remzi Can Samsun*, Dr. Joachim Pasel, Stefan Weiske und Prof. Dr. Ralf Peters

r.c.samsun@fz-juelich.de

Forschungszentrum Jülich GmbH,
IEK-14: Elektrochemische Verfahrenstechnik
Wilhelm-Johnen-Straße, 52425 Jülich

KeVergAv

Hossein Beidaghy Dizaji, André Herrmann, Thomas Zeng, Annett Pollex

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Projektvorstellung**KeVergAv-Projekt**

Keywords:

**Kennzahlen,
Biomasse,
Ascheverhalten,
Vergasung,
Schlackenbildung**

Im Rahmen des Projektes KeVergAv werden Kennzahlen für die Biomassevergasung im kleinen bis mittleren Leistungsbereich (30 – 500 kW_{el}) entwickelt bzw. abgeleitet. Diese Kennzahlen sollen es ermöglichen, das Vergasungs- und Aschebildungsverhalten von unterschiedlich aufbereiteten Holz- und halmgutartigen Biomassen vergleichbar zu beschreiben. Das Gesamtziel des Vorhabens ist die Weiterentwicklung des Verständnisses für die ablaufenden Reaktionen in einem Vergasungsreaktor bei der Umsetzung von unterschiedlich aufbereiteten Holz- und Strohreststoffen.

**FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE**

Die Untersuchungen im Projekt dienen dazu, die Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe in Vergasungsanlagen voran zu treiben. Dazu soll der Einfluss des Aufbereitungszustandes auf bzw. die Möglichkeit der Brennstoffaufbereitung für das Vergasungs- und Ascheverhalten untersucht werden. Holz- und Strohreststoffe stehen dabei im Fokus.

**KONKRETE
AKTIVITÄTEN**

Eine homogenisierte Holzcharge sowie eine homogenisierte Strohcharge werden am DBFZ hergestellt und anschließend aufbereitet (Holz: roh, torrefiziert; Stroh: roh, gewaschen, torrefiziert, additiviert). Im Festbett-Laborvergaser des DBFZ werden diese Brennstoffe dann eingesetzt und hinsichtlich ihrer Vergasungseigenschaften untersucht. Der dafür notwendige Versuchsplan wird mit Hilfe des Programms „Design of Experiments“ aufgestellt und erlaubt eine statistisch belastbare Auswertung der generierten Forschungsdaten, die somit vergleichbar werden. Bei den Vergasungsversuchen werden u. a. die Produktgaszusammensetzung (Permanentgase und Teere) sowie die entstandenen Aschen untersucht. Anhand der erzielten Messergebnisse werden im Anschluss zu den Messungen die einzelnen brennstoffspezifischen Kennzahlen entwickelt bzw. abgeleitet und für die untersuchten Brennstoffe festgehalten. Kennzahlen zum Ascheverhalten werden auf der Basis von Gleichgewichtsberechnungen im Programm FACTSAGE und anschließende Validierung der Berechnungen anhand praktischer Messungen in einem inertisierbaren Muffelofen am DBFZ abgeleitet.

Mit diesem Beitrag soll das Projekt und erste Ergebnisse vorgestellt werden.

**03EI5416 KeVergAv**

Brennstoffspezifische Kennzahlen zum Vergasungs- und Ascheverhalten unterschiedlich aufbereiteter Holz- und Strohreststoffe

Hossein Beidaghy Dizaji*, André Herrmann,
Thomas Zeng, Annett Pollex
hossein.beidaghy@dbfz.de

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützig GmbH
Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig



Poster Ausstellung



LaubCycle

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Lukas Gosmann, Esther Stahl, Karsten Töpel, Florian Schanz

Etablierung eines nachhaltigen Stoff- und Energiekreislaufs für den biogenen Reststoff Laub auf kommunaler Ebene

Keywords:

Biomasse, Laub, Verbrennung, Circular Economy, Verbrennungsasche

Laub fällt in großen Mengen saisonal im Herbst an und wird üblicherweise kompostiert. Gleichzeitig weist Laub schlechte Kompostierungseigenschaften auf und ist daher in Kompostierungsanlagen eher unerwünscht. Dieser Umstand trifft vor allem Kommunen und Städte, die im Zuge der Verkehrswegesicherung zeitnah Laub aus dem Gemeinde- und Stadtgebiet entfernen müssen. Im Gegenzug weist Laub nach entsprechender Vorbehandlung gute Verbrennungseigenschaften auf und eignet sich daher prinzipiell als Brennstoff, insbesondere auch in dezentralen Feuerungsanlagen im Bereich 400 kWth bis ca. 10 MWth, die zur lokalen und weitgehend CO₂-neutralen Wärmeversorgung eingesetzt werden. Problematisch bei der Verbrennung von Laub ist die inhomogene Zusammensetzung mit einem teilweise erheblichen Ascheanteil (Erdanhaftungen, Steine, Sand) von bis zu 50 %, je nach Witterung und Erfassungsmethode unterschiedliche Feuchtegehalte sowie das stark saisonale Aufkommen im Herbst.

Ziel des Forschungsprojekts »LaubCycle« ist die Etablierung einer geschlossenen Kreislaufführung innerhalb einer Kommune mit dem Stoffstrom Laub unter bedarfsgerechter Gewinnung von klimaneutraler Energie (Wärme, ggf. Strom) und Rückführung der im Laub enthaltenen Nährstoffe. Weiteres Ziel ist die Entwicklung und Optimierung eines Aufbereitungsprozesses unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten bei einem gewerblichen Grüngutverwerter. Dies befähigt perspektivisch Kommunen und Entsorgungs- bzw. Aufbereitungsbetriebe zur Erweiterung des Brennstoffspektrums und Produktportfolios durch die kosteneffiziente Gewinnung eines »neuen« Brennstoffs für Energiebereitstellungsanlagen und Nutzung der in den Aschen enthaltenen Nährstoffen in Komposten, die anschließend wieder auf kommunalen, landwirtschaftlichen und privaten Flächen aufgebracht werden.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Der Forschungsschwerpunkt des Projektes LaubCycle liegt auf der wissenschaftlichen Untersuchung des potentiellen Brennstoffs Laub. Dafür wird der gesamte Zyklus des Laubs, von der Sammlung über die Aufbereitung bis hin zur Verbrennung wissenschaftlich untersucht.

KONKRETE AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

Durch eine systematische Bestandsaufnahme der Lauberfassungsmethoden in Deutschland und eine Beprobungskampagne werden geeignete Methoden zur Sammlung von Laub für die kreislauffähige Laubverwertung identifiziert. Im Anschluss werden verschiedene Sieb-, Lagerungs- und Trocknungstechniken zur Erzeugung eines Brennstoffs untersucht und hinsichtlich ihrer Eignung bewertet. Die aufbereiteten Laubfraktionen werden nachfolgend in Verbrennungsversuchen verbrannt und nach technischen, regulatorischen und betriebsabhängigen Gesichtspunkten eingeordnet.

Abschließend erfolgen eine stoffliche und energetische Analyse des kreislauffähigen Verfahrens unter Berücksichtigung der potentiellen stofflichen Nutzung der Verbrennungsasche und eine Einordnung in die rechtlichen Rahmenbedingungen.



Abbildung 1:

Projekticon (Quelle: DBFZ, Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH)

Aufgrund des Projektstarts am 01.04.2021 und dem frühesten Beginn der Beprobungskampagne im Herbst 2021 liegen noch keine aussagekräftigen Projektergebnisse vor. Innerhalb des Projektes werden folgende Ergebnisse angestrebt:

- Bewertung von gängigen Laubsammelmethoden
- Untersuchung geeigneter Sieb-, Lagerungs- und Trocknungstechniken
- Bewertung des Brennstoffs Laub auf Basis von Verbrennungsversuchen im Praxisbetrieb
- Ökonomische Bewertung unter technischen, regulatorischen und betreiberabhängigen Gesichtspunkten
- Bilanzierung einer Kreislaufführung von Verbrennungsasche
- Rechtliche Einordnung des Brennstoffs Laub

ERGEBNISSE**03EI5418 LaubCycle**

Etablierung eines nachhaltigen Stoff- und Energiekreislaufs für den biogenen Reststoff Laub auf kommunaler Ebene

Lukas Gosmann¹, Dr.-Ing. Esther Stahl¹, Karsten Töpel², Florian Schanz²

lukas.gosmann@umsicht.fraunhofer.de

¹ Fraunhofer Institut UMSICHT
Osterfelder Str. 3, 46047 Oberhausen

² Stadt Schortens,
Oldenburger Str. 29, 26419 Schortens

³ Franz-Josef Kipp GmbH & Co. KG
Lise-Meitner-Straße 3, 46569 Hünxe



FLXsynErgy

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
**Faulungen und
 Biogasanlagen,
 branchenübergreifender
 Wissenstransfer**

**FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE**

Christian Schaum, Johannes Blattenberger, Christian Hubert, Bettina Steiniger, Omar Shehata, Jörg Kretzschmar, Thomas Steinforth, Stefan Einsiedel, Konstantinos Athanasiadis, Maria Egeler, Markus Heinrich, Arthur Dornburg

Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger

Um die im Klimaschutzplan 2050 definierten Klimaschutzziele erreichen zu können, hält das Umweltbundesamt (UBA) eine vollständige Energieversorgung bis 2050 durch erneuerbare Energien für notwendig. Dafür müssen alle Energieeffizienzpotenziale erschlossen, erneuerbare Energien ausgebaut und Synergien durch Sektorkopplung genutzt werden. Im Positionspapier (UBA) „Klimaschutz und Abwasserbehandlung“ wird in diesem Zusammenhang die besondere Stellung von Kläranlagen beschrieben. Kläranlagen bieten ein hohes Potential den Energieverbrauch zu reduzieren, die Effizienz zu steigern und durch die Faulgasproduktion fossile Energieträger einzusparen. Das UBA geht davon aus, dass bei Kläranlagen noch deutliche ungenutzte Potenziale im Elektrizitätssektor von ca. 2 TWh/a bestehen. Gesamtenergetisch ist das Potenzial um ein Vielfaches höher.

Wichtiger Fokus des 7. Energieforschungsprogramms „Innovationen für die Energiewende“ ist der Technologie- und Innovationstransfer sowie die systemischen und systemübergreifenden Fragestellungen der Energiewende. In diesem Zusammenhang wurde das Forschungsprojekt FLXsynErgy initiiert (Projektlaufzeit: 01.07.2020 - 30.06.2023).

Ziel von FLXsynErgy ist die Bereitstellung und Entwicklung von Bemessungsgrößen und Steuerungsmechanismen zur Flexibilisierung der Faulgaserzeugung auf Kläranlagen. Die inhaltliche Strukturierung des Projekts ist in Abbildung 1 dargestellt.

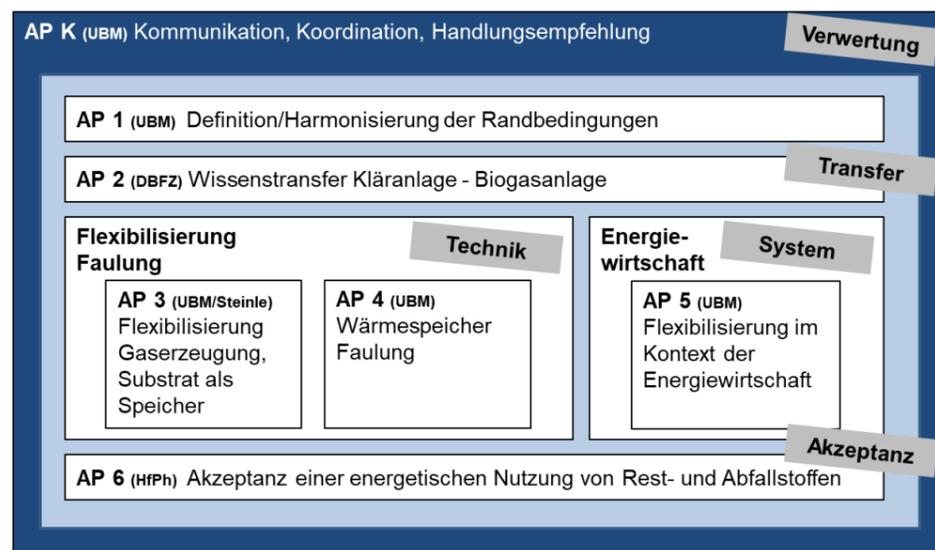


Abbildung 1:
 Struktur der in FLXsynErgy
 geplanten Arbeitspakete

Im Fokus des Projekts steht die vollenergetische Nutzung (Strom und Wärme) von Klärschlämmen sowie biogenen Rest- und Abfallstoffen. Des Weiteren wird die Nutzung der Faulung als Wärmespeicher näher betrachtet. Somit kann die Kläranlage als Energiespeicher und flexibler Energieverbraucher sowie -erzeuger einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Wenngleich, verfahrenstechnisch betrachtet, landwirtschaftliche/abfallwirtschaftliche Biogasanlagen und Faulungen auf Kläranlagen sehr ähnlich sind, fehlt bislang fast vollständig ein Wissenstransfer zwischen den Fachgebieten. Dieser interdisziplinäre Austausch wird ebenfalls im Projekt initiiert.

Zum Erreichen der Zielsetzungen verknüpft FLXsynErgy Betreiber und Planer von repräsentativen Kläranlagen unterschiedlicher Ausbaugröße mit der Wissenschaft unter Berücksichtigung der regulativen Rahmenbedingungen aus dem Bereich Energie und Klärschlammensorgung. Dabei verfolgt FLXsynErgy den Ansatz spätere rechtliche sowie umwelt- und sozialetische Konfliktpotentiale bereits während der technischen Entwicklungsphase zu identifizieren, um durch diesen ganzheitlichen Ansatz die Akzeptanz zu erhöhen und die Implementierung zu erleichtern.

Um eine gemeinsame Ausgangsbasis für den interdisziplinären Austausch zwischen landwirtschaftlichen/abfallwirtschaftlichen Biogasanlagen und Faulungen auf Kläranlagen zu schaffen wurde ein Vergleichsdatenblatt erstellt, in dem verfahrenstechnische, und branchenspezifische Daten, sowie rechtliche/ sicherheitstechnische Anforderungen gegenübergestellt werden. An fünf großtechnischen Anlagen wurden Energiechecks durchgeführt, auf deren Grundlage Flexibilisierungsszenarien entwickelt werden sollen. Ferner wurden an 10 Versuchsreaktoren Versuche zur Bewertung unterschiedlicher Beschickungsstrategien sowie dem Einfluss der Faulraumtemperatur im Hinblick auf Gasproduktion, Abbaugrade, Prozessstabilität und Entwässerungseigenschaften des Faulschlammes durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass Stoßbelastungen von bis zu 6 kg oTR/m³ zu keiner Beeinträchtigung der Prozessstabilität führten. Allerdings ist mit steigender Stoßbelastung mit einer Abnahme der spez. Gasproduktion sowie mit einer Verschlechterung der Entwässerungseigenschaften des Klärschlammes zu rechnen. Erste Versuche bei Temperaturen zwischen 33 und 53 °C und Auswertungen von großtechnischen Betriebsdaten der assoziierten Partner zeigten vergleichbare Größenordnungen der Faulgasquantität und -qualität. Die Wärmebilanzen für verschiedene Szenarien der Faulraumtemperatur werden anhand der Daten der assoziierten Partner verifiziert. Zur Diskussion sozialetischer Fragestellungen der Flexibilisierung von Faulungsanlagen sowie dem Wissenstransfer zwischen Biogas- und Faulgasanlagen sind Workshops geplant.

Das Projekt wird zudem in einem Poster dargestellt.

03E15420A-F FLXsynErgy

Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger

Prof. Dr.-Ing. habil. Christian Schaum¹, Johannes Blattenberger¹, Christian Hubert¹, Bettina Steiniger¹, Omar Shehata¹, Jörg Kretzschmar², Thomas Steinforth³, Stefan Einsiedel³, Konstantinos Athanasiadis⁴, Maria Egeler⁴, Markus Heinrich⁵, Arthur Dornburg⁶

christian.schaum@unibw.de

¹ Universität der Bundeswehr München-Professur für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik Werner-Heisenberg 39, 85577 Neubiberg

² Deutsches Biomassenforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

³ Hochschule für Philosophie München Kaulbachstraße 31a, 80539 München

⁴ Dr.-Ing. Steinle Ingenieurgesellschaft für Abwassertechnik mbH Ziegelstraße 2, 83629 Weyarn

⁵ Wolter Hoppenberg Rechtsanwälte Partnerschaft mbB

Bernburger Str. 32, 10963 Berlin

⁶ bluemove consulting GmbH Marsstraße 12, 80335 München

**AKTUELLE AKTIVITÄTEN
UND ERSTE ERGEBNISSE**

BioRestBrennstoff

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
**Brennstoffflexibilisierung,
 Konditionierung,
 Sekundärreststoffe,
 Verschlackung**

David Laner, Viktoria Scheff, Alexander Rink, Tim Steindamm, Michael Wachendorf

Energieeffiziente Nutzung sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe in Biomassefeuerungen durch stufenweise Aufbereitung und Brennstoffkonfektionierung

Für die am Ende einer Nutzungs- oder Aufbereitungskette anfallenden Stoffströme sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe, stellt die thermische Verwertung zur Energieerzeugung einen sinnvollen Weg zur Steigerung der Ressourceneffizienz dar. Schwankende Brennstoffverfügbarkeiten und -qualitäten gestalten den Einsatz in Verbrennungsanlagen jedoch schwierig, da beispielsweise aufgrund niedriger Ascheschmelztemperaturen ein erhöhtes Risiko der vermehrten Bildung von Verschlackungen im Kessel besteht (Bernhardt 2010, Vassilev 2014). Durch eine flexible Mitverbrennung in Biomasseheiz(kraft)werken (BMHKWs) können verschiedene Stoffströme im Gemisch verwertet werden, die durch Synergieeffekte ein verringertes Verschlackungsrisiko aufweisen. Durch den Einsatz werden darüber hinaus höherwertige Holzbrennstoffe eingespart und die Inputflexibilität der Anlagen gesteigert.

Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projekts »BioRestBrennstoff« aus dem Förderbereich 3.7 »Erschließung biogener Rest- und Abfallstoffe« wird die Einsatzfähigkeit sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe in BMHKWs untersucht. Insgesamt zielt das Vorhaben darauf ab, Aufbereitungsstrategien für den Siebüberlauf aus der Bioabfallbehandlung und spezifische Reststoffströme aus der Grünlandbewirtschaftung zu entwickeln, so dass eine Mitverbrennung in BMHKWs technisch ermöglicht und dadurch das Brennstoffeinsatzspektrum der Anlagen erweitert wird. Auf Basis experimenteller Untersuchungen der biogenen Restbrennstoffe und ihrer Aschen werden Korrelationsmodelle erstellt, die Anlagenbetreibern eine Bewertung des Verschlackungsrisikos in Verbindung mit dem Brennstoffeinsatz ermöglichen sollen.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Die im Zusammenhang mit der thermischen Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe typische Problematik von Verschlackungen und Korrosionsprozessen ist ein inhaltlicher Schwerpunkt des Projekts. Mit besonderem Fokus auf das Ascheschmelzverhalten werden Synergieeffekte untersucht, um sekundäre biogene Rest- und Abfallstoffe im Gemisch unterschiedlicher Brennstoffe zielgerichtet einsetzen zu können. Zur Modellierung des Ascheschmelzverhaltens der biogenen Restbrennstoffe werden Laboranalysen, Verbrennungsversuche, Verschlackungsanalysen und Bilanzierungen der Hauptelemente über eine reale BMHKW-Referenzanlage durchgeführt und in Bezug auf Korrelationen ausgewertet. Neben dem Ascheschmelzverhalten stellt die Entwicklung geeigneter Aufbereitungsverfahren für die Restbiomassen einen weiteren Forschungsschwerpunkt dar, da sonst die technisch und ökologisch notwendigen Brennstoffqualitäten nicht erreicht werden können.

KONKRETE MAßNAHMEN

Im Rahmen von unterschiedlichen Versuchsreihen einer Aufbereitungsstrategie für den Siebüberlauf aus der Kompostierung, werden unter Berücksichtigung jahreszeitlicher Schwankungen verschiedene Verfahrensabläufe und Aufbereitungsaggregate erprobt (vgl. Warning 2018). Daneben werden Restbiomassen von Straßenbegleitgrünflächen und Gewässerrandstreifen mit Hilfe des Integrierten Festbrennstoff- und Biogasproduktion aus Biomasse (IFBB)-Verfahrens durch technische Anpassungen zu einem BioRestbrennstoff aufgearbeitet (vgl. Joseph 2018). Umfangreiche Roh- und Brennstoffanalysen sowie Verbrennungsversuche im Technikumsmaßstab liefern die notwendigen Daten zur Anpassung der jeweiligen Aufbereitung und Qualitätsbewertung der generierten BioRestbrennstoffe. Im Fokus stehen dabei die angestrebten Brennstoffeigenschaften, die vergleichbare Qualitätsmerkmale zu gängigen Holz-Brennstoffen erreichen sollen. Die für biogene Rest- und Abfallstoffe typische Problematik von niedrigen Ascheerweichungstemperaturen wird durch Verschlackungsanalysen an einer BMHKW-Referenzanlage und die Modellierung des Ascheschmelzverhaltens anhand von Korrelations- und Regressionsanalysen eingehend untersucht. Durch die ökologische Bewertung mittels Ökobilanzierung sowie durch die ökonomisch-rechtliche Bewertung der Mitverbrennung der untersuchten Stoffströme in BMHKWs, wird die Einsatzfähigkeit über brennstofftechnische Aspekte hinaus geprüft.

Das Projekt hat im März 2021 begonnen und im Rahmen des Beitrags werden erste Ergebnisse und Erkenntnisse aus den bereits durchgeführten Aufbereitungskampagnen der Siebreste aus der Bioabfallbehandlung präsentiert (vgl. Abbildung 1). Auf Basis von Klassier- und Sortieranalysen wird die stoffliche Zusammensetzung korngößenspezifisch dargestellt. Daraus lassen sich Fremdstoffgehalte und holzige Bestandteile ablesen, die als Anhaltspunkte für weitergehende, spezifischere Aufbereitungsschritte dienen. Durch die Charakterisierung lässt sich der Aufbereitungserfolg verschiedener Aggregate und Verfahrensanordnungen bewerten. Begleitende Analysen der Verbrennungseigenschaften wie zum Beispiel Wassergehalt, Aschegehalt oder Heizwert sowie Verbrennungsversuche im Technikumsmaßstab dienen der Qualitätsbewertung der generierten BioRestbrennstoffe.



Abbildung 1:
Zweifaches Absieben des Siebüberlaufs aus der Kompostierung bei 10 mm (li) und bei 50 mm (re) bei der ersten Aufbereitungskampagne am Entsorgungszentrum Lohfelden der Abfallentsorgung Kreis Kassel

LITERATUR

- [1] BERNHARDT, D.; GEBAUER, K.; POHL, M.; BECKMANN, M. (2010): Impact of Fuel Modification Methods on the Slagging Behaviour of Pulp Pellets. In: Proceedings of the Conference on Impacts of Fuel Quality on Power Production and Environment. 23.09.-27.09.2010, Puchberg (AUT).
- [2] JOSEPH, B.; HENSGEN, F.; BÜHLE, L.; WACHENDORF, M. (2018): Solid Fuel Production from Semi-Natural Grassland Biomass – Results from a Commercial-Scale IFBB Plant. In: Energies 11, 3011. <https://doi.org/10.3390/en1113011>.
- [3] VASSILEV, S.V.; BAXTER, D.; VASSILEVA, C.G. (2014): An overview of the behaviour of biomass during combustion. Part II. Ash fusion and ash formation mechanisms of biomass types. In: Fuel 117, pp. 152-183.
- [4] WARNING, L. (2018): Qualität von Siebüberläufen aus Kompostierungsanlagen und Verwertungsoptionen. 12. Biomasseforum Witzenhausen-Institut GmbH. 06.11.-07.11.2018, Bad Hersfeld.

03EI5427 BioRestBrennstoff

Energieeffiziente Nutzung sekundärer biogener Rest- und Abfallstoffe in Biomassefeuerungen durch stufenweise Aufbereitung und Brennstoffkonfektionierung

Prof. Dr. David Laner^{1*}, Viktoria Scheff², Alexander Rink²,
 Tim Steindamm³, Prof. Dr. Michael Wachendorf⁴
 david.laner@uni-kassel.de

¹ Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieur- und Umweltingenieurwesen
 Ressourcenmanagement und Abfalltechnik
 Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel

² Abfallentsorgung Kreis Kassel
 Standort Entsorgungszentrum Lohfelden
 Sandwiesen 5, 34253 Lohfelden
³ SEEGER Engineering AG
 Industriestraße 25-27, 37235 Hessisch Lichtenau
⁴ Universität Kassel, Fachgebiet
 Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe
 Steinstraße 19, 37213 Witzenhausen



Verklär²

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
Energieautarkie,
Phosphor-Recycling,
Monoverbrennung,
Klärschlamm, dezentral

**FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE**

Matthias Schnell, Kirsten Stark, Michael Kastner

**Dezentrale Klärschlammverbrennung in
einer Wirbelfeuerung**

Kommunale Klärschlämme werden in Deutschland aktuell in der Landwirtschaft, im Landschaftsbau und durch thermische Behandlung verwertet. Durch den steigenden öffentlichen und politischen Fokus auf Boden-, Pflanzen- und Umweltschutz wird die direkte Verbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft jedoch zunehmend kritisch bewertet. Dies ist durch das Risiko eines möglichen Eintrags der enthaltenen Schadstoffe in die Umwelt (Nahrungsmittel, Grundwasser) begründet. Der Anteil der im Klärschlamm enthaltenen Schwermetalle ist in den letzten Jahren zwar konstant geblieben oder sogar rückläufig, allerdings steigt die Anzahl anderer gefährlicher, organischer Substanzen (z. B. PAK, PCCD/F, PCB, Reinigungsmittel- und Arzneimittelrückstände, Körperpflegeprodukte, endokrine Disruptoren, synthetische Steroide und Krankheitserreger) immer weiter an [1]. Die Novellierungen der Klärschlamm- und Düngemittelverordnung schränken die landwirtschaftliche Verwertung von Klärschlamm daher zunehmend ein. In der Folge gewinnt die thermische Klärschlammbehandlung signifikant an Bedeutung, da organische Schadstoffe in diesen Verfahren vollständig oxidiert werden und somit eine umweltgerechte Entsorgung ermöglicht wird.

Neben der landwirtschaftlichen Verwertung wird durch die zukünftige Pflicht zur Phosphorrückgewinnung auch die Mitverbrennung von Klärschlamm eingeschränkt. Die Mitverbrennung in Müllverbrennungsanlagen und Zementwerken ist für die meisten Klärschlämme (abhängig von der P-Konzentration) ab dem Jahr 2029 nur noch nach vorheriger P-Rückgewinnung möglich. Allerdings ist die P-Rückgewinnung aus Klärschlamm oder Abwasser gegenüber der Extraktion aus Klärschlammasche, aufgrund der deutlich größeren Stoffströme mit signifikant niedrigeren P-Konzentrationen, im Nachteil. Die Mitverbrennung von Klärschlamm in Kohlekraftwerken wird als Entsorgungspfad durch den Ausstieg Deutschlands aus der Kohleverstromung zukünftig auf wenige Anlagen, die nicht vom Strommarkt abhängig sind (z. B. Veredlungskraftwerke), beschränkt. In Deutschland entsteht somit ein zusätzlicher Bedarf an Klärschlamm-Monoverbrennungskapazitäten von ca. 600.000 tTM/a [2]. Dezentrale Verfahren zur Klärschlamm-Monoverbrennung können dabei einen wichtigen ökologischen Beitrag leisten, z. B. durch Vermeidung langer Transportdistanzen.

Klärschlamm ist einer der relevantesten biogenen Abfallstoffe, dessen thermische Behandlung, bei gleichzeitiger energetischer Nutzung, essenziell für die umweltgerechte Entsorgung ist. Kommunaler Klärschlamm verfügt nach der Trocknung über einen Energiegehalt von etwa 9-12 MJ/kg, welcher mittels thermischer Verwertung genutzt werden kann. Eine dezentrale thermische Verwertung des Klärschlammes, welcher in ländlichen Regionen noch zu einem relevanten Anteil landwirtschaftlich oder landschaftsbaulich entsorgt wird, kann zu einer Verbesserung der Energiebilanz von Kläranlagen und zur Erhöhung der Energieeffizienz führen. Die gewonnene Wärme aus der dezentralen Klärschlammverwertung kann direkt zur Klärschlamm-trocknung und idealerweise auch zur Versorgung der Kläranlagenperipherie genutzt werden. Ohne dezentrale Verfahren müssten die anfallenden Klärschlämme auch in ländlichen Regionen einer externen thermischen Verwertung zugeführt werden. Der Transport des entwässerten, aber dennoch zu rund 75 % aus Wasser bestehenden Klärschlammes verursacht zusätzlichen, in der Regel fossil bereitgestellten Energieaufwand, den es aus ökologischen Gesichtspunkten zu vermeiden gilt.

Zielgruppe der Wirbelfeuerung als neue Technologie sind Kläranlagen der Größenklasse 4a (10.000-50.000 EW, ca. 1.700 Anlagen in Deutschland), die durch den Einsatz dezentraler Verbrennungstechnologien und unter Substitution fossiler Brennstoffe einen entscheidenden Beitrag zur Energieautarkie leisten können. Häufig wird an diesen Anlagen durch eine anaerobe Schlammstabilisierung der Energieinhalt des Schlammes bereits anteilig in Faulgas überführt und in BHKW zur Wärme- und Strombereitstellung genutzt. Zusätzlicher Wärmebedarf, bspw. für Betriebsgebäude und Schlamm-trocknungsanlagen wird jedoch oftmals aus fossilen Energieträgern wie Erdgas oder Heizöl bereitgestellt. Durch die dezentrale Klärschlammverwertung direkt auf der Kläranlage können diese fossilen Brennstoffe eingespart und durch Wärme aus der Schlammverbrennung flexibel ersetzt werden. Bestehende Klärgas-BHKW können dann stromgeführt zur Versorgung der Kläranlagen und zur Stromeinspeisung ins Netz dienen. Durch diesen Ansatz können dezentrale Abwasser- und Klärschlammverwertungsanlagen ihren energetisch defizitären und ursprünglich ausschließlich auf die Entsorgung fokussierten Charakter, über eine energieautarke Betriebsweise, bis hin zur Wahrnehmung von Versorgungsaufgaben weiterentwickeln.

Die technische Zielsetzung des Projekts umfasst die Konzeption, Umsetzung, Inbetriebnahme, technische Prüfung, Optimierung und langfristige Demonstration einer Wirbelfeuerung als dezentrales modulares Verbrennungsaggregat für Klärschlamm am Beispiel der Kläranlage der Stadt Haßfurt mit einem Klärschlamm-aufkommen von ca. 400 tTM/a.

Im Projekt Verklär² soll der Dauerbetrieb der Wirbelfeuerung mit Klärschlamm als Regelbrennstoff demonstriert werden. Die patentierte Technologie ist bereits in ausführlichen Verbrennungsversuchen für die grundsätzliche Eignung mit Klärschlamm als Brennstoff erprobt. Grundlegende Betriebsparameter wurden ermittelt. Die konkrete Aufgabe der Klärschlamm-entsorgung der Stadt Haßfurt erfordert eine gezielte Anpassung der Prozesstechnik an die Schlammzusammensetzung innerhalb der zu erwartenden Schwankungsbreiten. Dazu sollen Technikums- und Langzeitversuche mit dem Material durchgeführt werden, um dauerhaft einen vollständigen Ausbrand unter gesetzeskonformen Abgaswerten zu gewährleisten. Prozessseitige Vorteile bietet die emissionstechnische Optimierung der Verbrennungstechnologie durch Etablierung unterschiedlicher Verbrennungszonen zur primärseitigen Absenkung von Stickoxidemissionen. Durch die Additivierung des Klärschlammes kann zudem eine Schadstoffminderung der Aschen direkt im Feuerraum erreicht werden. Auf dieser Basis ist die Erzeugung eines geeigneten Edukts für ein künftiges P-Recycling möglich. Hierbei sind voraussichtlich Anpassungsarbeiten an den Feuerungskomponenten (Brennstoffdosierung, Ascheaustag und Nachbrennkammer) durchzuführen. Hinsichtlich der Langzeitbelastung ist auch die genaue Beobachtung und Steuerung der Prozessstabilität sowie der technischen und werkstofflichen (Abrasion, Korrosion) Integrität der Anlagenteile Gegenstand der Untersuchungen. Weiterhin ist eine wechselseitige Justierung der Aggregate zur Trocknung des Einsatzbrennstoffs mit der Brennstoffaufgabe und Wärmeauskopplung der Wirbelfeuerung erforderlich. Neben dem feuerungstechnischen Prozess ist auch eine geeignete Rauchgasreinigung auszuliegen, um die Emissionsgrenzwerte der 17. BImSchV sicher einzuhalten.

Die Ergebnisse des Projekts dienen der Etablierung dieses dezentralen Verwertungsverfahrens für Klärschlamm, mit vollständiger Einkopplung der Prozesswärme in die Infrastruktur der Kläranlage, zur Trocknung der Schlämme und Beheizung der Betriebsgebäude. Ziel ist eine autarke Energieversorgung der Kläranlage durch die intelligente und flexible Kombination der Klärschlammverbrennung mit der Klärgasverstromung.

[1] Roskosch, A. und Heidecke, P.: Klärschlamm-entsorgung in der Bundesrepublik Deutschland. vollständig überarbeitete Auflage. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt, 2018

[2] Lehmann, F.; Six, J.; Heidecke, P.: Thermische Klärschlammbehandlung. Bestehende Kapazitäten, künftiger Bedarf, Entwicklung der Verbrennungskapazitäten. In: Korrespondenz Abwasser, Abfall, 2020, Nr. 67, S. 37–42

**KONKRETE
AKTIVITÄTEN****LITERATUR****03EI5428 Verklär²**

Verwertungskonzept für energieautarke und ressourcenschonende Kläranlagen: Integrierte Klärschlamm- und Klärgasverwertung

Matthias Schnell^{1*}, Kirsten Stark¹, Michael Kastner²
^{*}schnell@teer.rwth-aachen.de

¹ Lehr- und Forschungsgebiet Technologie der Energierohstoffe (TEER), RWTH Aachen University
 Wüllnerstr. 2, 52062 Aachen
² Insitut für Energietechnik IfE GmbH an der OTH
 Amberg-Weiden
 Kaiser-Wilhelm-Ring 23, 92224 Amberg



PaCoSil

Forum A

12:30 – 14:00 Uhr

Steffi Formann, Thomas Schliermann, Philipp Scheider, Frank Hoferecht, Ingo Hartmann

Verbrennung regional verfügbarer Reststoffe zur energetischen Nutzung von Biomasse und zur gekoppelten Erzeugung von biogenem Silika für Feinstaubfilter-Prozesse

Keywords:
Bioreststoffe, Biosilika, Wertstoffgewinnung, Feinstaubreduzierung, regenerative Wärme

Im Vorhaben PaCoSil soll erforscht werden, wie mit in Deutschland regional verfügbaren siliziumreichen biogenen Reststoffen regenerative Wärme und zusätzlich gekoppelt siliziumangereicherte poröse sowie röntgenamorphe anorganische Festkörper hergestellt werden können, um diese für die stoffliche Nutzung in umwelttechnischen Prozessen nutzbar zu machen. Bei der an die wärmegeführte Produktion gekoppelten stofflichen Nutzung entstehen siliziumreiche biogene Reststoffe als Nebenerzeugnis. Dabei ist die Wirtschaftlichkeit des Vorhabens insbesondere dadurch gegeben, dass eine wärmegeführte Produktion mit der stofflichen Nutzung der Ascheanteile verbunden werden kann. Der Fokus des Vorhabens liegt daher auf der energetischen Nutzung des Materials und bedingt eine technische Entwicklung zur Umsetzung der Prozessschritte. Als siliziumreiche regional verfügbare biogene Reststoffe werden Hafer- und Dinkelspelzen verwendet. In vorhergehenden Untersuchungen wurde ein Herstellverfahren zur Erzeugung von porösem Siliziumdioxid (SiO_2) aus siliziumreichen biogenen Reststoffen entwickelt. Im Fokus stand dabei die Nutzung von Reisspelzen. Durch einen thermischen Prozess und einen vorgeschalteten chemisch-physikalischen Prozess wird aus der Biomasse Siliziumdioxid gewonnen.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Das vorgestellte Projekt ist dem am DBFZ etablierten Forschungsschwerpunkt »Katalytische Emissionsminderung« zuzuordnen.

KONKRETE AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

Dieses biogenes SiO_2 soll in Feinstaubfiltersystemen an zwei Anwendungen untersucht werden:

1. Abgasreinigung an Biomassefeuerungen für Rest- und Abfallstoffe,
2. Umgebungsluftreinigung bei Hallen- und Prozessluft in Produktionsprozessen.

Die bereits bekannten Erkenntnisse zur Herstellung von Biosilika aus Reisspelzen [1] werden als Basis genutzt. Darauf aufbauend sollen die Forschungsarbeiten auf lokal bzw. in Deutschland regional verfügbare Reststoffe fokussiert werden. Die Antragsteller beabsichtigen somit an die energetische Nutzung gekoppelte stoffliche Nutzung von in Deutschland verfügbaren Reststoffen wie Dinkel- und Haferspelzen im Projekt zu untersuchen und möchten angefangen bei grundlegenden labortechnischen Untersuchungen bis hin zu praxisnahen Demonstrationsuntersuchungen die Machbarkeit nachweisen. Es soll dabei untersucht werden, wie gut sich das SiO_2 -angereicherte pulverförmige Material aus der Verbrennung - Biosilika genannt - aus unterschiedlichen Rohstoffquellen als Feinstaubfiltermaterial einsetzen lässt. Die notwendigen verfahrenstechnischen Komponenten sollen im Technikumsmaßstab entwickelt und optimiert sowie an zwei Feldanlagen (Feuerungsabgas und Umgebungsluft) im Praxisbetrieb evaluiert werden.

ERGEBNISSE

Das Vorhaben wurde am 01.07.2021 gestartet und erste Ergebnisse werden derzeit erarbeitet.

LITERATUR

[1] BEIDAGHY DIZAJI, HOSSEIN et al (2018): High quality biogenic silica from combined energetic and material utilization of agricultural residues. 7th International Symposium on Energy from Biomass and Waste. Venedig (Italien), 15.10.2018.



FKZ 03EI5436: PaCoSil

Verbrennung regional verfügbarer Reststoffe zur energetischen Nutzung von Biomasse und zur gekoppelten Erzeugung von biogenem Silika für Feinstaubfilter-Prozesse

Dr. Steffi Formann^{*}, Thomas Schliermann¹,
 Philipp Scheider², Frank Hoferecht³,
 Prof. Dr. Ingo Hartmann¹
 Steffi.Formann@dbfz.de

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
 gemeinnützige GmbH,
 Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

² A.P. Bioenergietechnik GmbH
 Trägldorf 6, 92242 Hirschau

³ ETE EmTechEngineering GmbH
 Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig



Poster Ausstellung



FORUM B Strom und Wärme besser integrieren

Neue Projekte stellen sich vor:

IdDiaPro

Systematische Clusterung von brennstoff- und anlagenbezogenen Problemen am Beispiel von Holzhackschnitzelkesseln

Daniel Büchner, Christan Schraube, Kerstin Wurdinger, Jean-Sébastien Cardot, Christoph Kändler, Steffi Theurich

flexigast

Flexible Biogasproduktion mit Variation der Fermentertemperatur

Ingolf Seick, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wiese

KonditorGas

Substitution fossiler Brennstoffe durch biogene Synthesegase zur Erzeugung industrieller Prozesswärme

Christian Wondra, Peter Treiber, Jürgen Karl, André Herrmann

HyTech

Entwicklung und Anwendung der dunklen Fermentation zur Wasserstoffherzeugung

Juliana Rolf, Sören Kamphus, Tobias Weide, Elmar Brüggling

KLÄFFIZIENT

Datengetriebene Modellierung eines Klärwerks mittels Machine Learning-Algorithmen zur Erstellung eines Digitalen Zwillings

Jonas Miederer, Sebastian Kolb, Jürgen Karl

WinZell

Wasserstoffbasierte Power-to-X-Technologien in Zellstoffwerken

Daniel Klüh, Frank Wegner, Matthias Gaderer

BioFeuSe

Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen

Mario König



IdDiaPro

Forum B

12:30 – 14:00 Uhr

Daniel Büchner, Christan Schraube, Kerstin Wurdinger, Jean-Sébastien Cardot, Christoph Kändler, Steffi Theurich

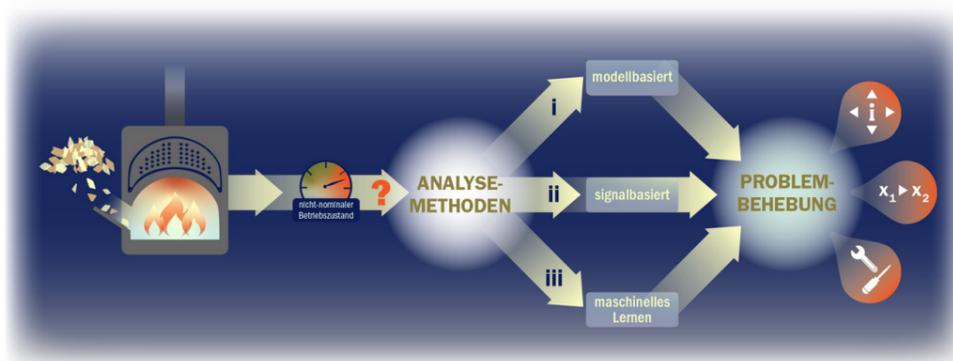
Systematische Clusterung von brennstoff- und anlagenbezogenen Problemen am Beispiel von Holzhackschnitzelkesseln

Keywords:
biomassebasierte Versorgungssysteme, nicht-nominale Betriebszustände, Systemstrukturierung, FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse), automatische Fehleranalyse

Die zunehmende energetische Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen sowie von Biomassen minderer und schwankender Qualität führen aufgrund des größeren Anteils von anlagenschädlichen Bestandteilen zu einem höheren Verschleiß der Komponenten. Dadurch ergeben sich häufigere Ausfallzeiten und es entsteht eine Verschlechterung der Verbrennungsqualität – einhergehend mit Wirkungsgradverlusten und erhöhten Emissionen. Der Betriebszustand und der technische Zustand der einzelnen Komponenten sowie des Gesamtsystems sind dabei in der Praxis für den Betreiber einer kleinen Anlage (im Leistungsbereich unterhalb von 500 kWth) kaum erkennbar, weil sich ein explizites Modell des Gesamtprozesses üblicherweise nicht kostengünstig erstellen lässt. Die Identifikation des nicht-nominalen Betriebsverhaltens von biomassebasierten Versorgungssystemen kann durch das Zusammenspiel aus bereits vorhandener, moderner Sensorik und leistungsfähigen Algorithmen jedoch mit geringem Aufwand ermöglicht werden.

Ziel des Forschungsvorhabens IdDiaPro ist es vor diesem Hintergrund, die vorhandene Datenvielfalt zu nutzen und damit die Sicherstellung des Anlagenbetriebes zu gewährleisten. Im Rahmen einer anzufertigenden Kurzstudie soll eine Bewertung des Betriebsverhaltens mittels (i) modellbasierter Analysemethoden, (ii) signalbasierter Analysemethoden, (iii) Methoden des maschinellen Lernens und einer Kombination aus den genannten Methoden erfolgen. Damit sollen Lösungsansätze und Konzepte erarbeitet werden, die mit existierender Anlagen-, Informations- und Kommunikationstechnik implementiert werden können, um nicht-nominales Betriebsverhalten zu detektieren und zukünftiges Betriebsverhalten vorauszusehen.

Abbildung 1:
Automatische Fehlererkennung bei biomassebasierten Versorgungssystemen am Beispiel von Holzhackschnitzelkesseln.



FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Das vorgestellte Forschungsvorhaben gliedert sich in den Forschungsschwerpunkt »Intelligente Biomasseheiz-technologien« des DBFZ ein. Seitens EIFER wird der Forschungsschwerpunkt »dezentrale nachhaltige Energiesysteme« im Kontext »Energiesysteme in Städten und Regionen« verfolgt. Unterstützt wird das Projekt von der Synostik GmbH als assoziierten Partner.

KONKRETE MAßNAHMEN

Das Projekt IdDiaPro beginnt mit der systematischen Fehleranalyse inkl. der Problembeschreibung und der Analyse der Fehlerursache gefolgt von der Auswahl der mathematischen Verfahren. Ergänzend dazu sollen beispielhaft Daten vorhandener Demonstrationsanlagen und Anlagen im Großmaßstab aufbereitet und analysiert werden. In der zweiten Hälfte des Projektes erfolgt die Bewertung der ausgewählten Methoden zur automatischen Fehlererkennung und das Ableiten von Handlungsempfehlungen, welche notwendig sind, um die automatische Fehlererkennung in biomassebasierten Versorgungssystemen dauerhaft zu integrieren. Parallel dazu wird der Kontakt zu weiteren relevanten Akteuren gesucht und vertieft, mit dem Ziel ein Konsortium für eine technische Erprobung der empfohlenen Diagnosemethodik zu bilden und entsprechende Forschungsanträge zu erarbeiten.

Zur Statuskonferenz vorgestellt werden die Ergebnisse der systematischen Fehleranalyse für brennstoffbezogene und anlagenbezogene Probleme. Dabei wird auf die wesentlichsten Teilschritte in Anlehnung an die FMEA-Methodik eingegangen: Systemabgrenzung und -strukturierung, Auswahl der betrachteten Teilkomponenten und tabellarische Auflistung der Fehler inkl. graphischer Darstellung der Ergebnisse. Außerdem soll ein erster Ausblick zu der Auswahl der geeigneten mathematischen Verfahren erfolgen.

- Projektwebseite im Rahmen des Service- und Begleitprogramms „Energetische Biomassenutzung“: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/IdDia-Pro-672>
- Pressemitteilung zum Projektstart: <https://www.dbfz.de/pressemediathek/presse/pressemitteilungen/dbfz-startet-projekt-zur-automatischen-fehlererkennung-bei-biomassebasierten-versorgungssystemen>

ERGEBNISSE

WEITERE INFORMATIONEN

IdDiaPro

Identifikation von Methoden zur Diagnose, Prognose und Behebung von nicht-nominalen Betriebszuständen in biomassebasierten Versorgungssystemen

Dr.-Ing. Daniel Büchner¹, Christan Schraube^{2*}, Kerstin Wurdinger¹, Jean-Sébastien Cardot², Christoph Kändler², Dr.-Ing. Steffi Theurich

schraube@eifer.org

¹ DBFZ – Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

² EIFER Europäisches Institut f. Energieforschung EDF-KIT EWIV

Emmy-Noether-Str. 11, 76131 Karlsruhe



flexigast

Ingolf Seick, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wiese

Forum B

12:30 – 14:00 Uhr

Flexible Biogasproduktion mit Variation der Fermentertemperatur

Keywords:
Biogasanlagen,
Flexibilisierung,
Gärtemperaturen,
Gasspeicher,
Wärmespeicher

Um die fluktuierende Stromerzeugung aus Wind und Photovoltaik auszugleichen, werden Biogasanlagen zunehmend für eine bedarfsorientierte Stromproduktion ausgerüstet. Diese sogenannte »Flexibilisierung« der Biogasanlagen ist neben der Installation zusätzlicher elektrischer Leistung durch neue Blockheizkraftwerke mit weiteren erforderlichen Maßnahmen verbunden, die in der Summe zu einer nicht unerheblichen Investition führen. Hier sind insbesondere die abhängig vom Flexibilisierungsgrad deutliche Erhöhung des Gasspeichervolumens und die je nach Wärmenutzungskonzept erforderliche Errichtung von Wärmespeichern zu nennen.

Hierfür soll ein neues Verfahren (flexigast) zur bedarfsorientierten Biogasproduktion und optimierten Wärmespeicherung auf Basis gezielter Variationen der Gärtemperaturen in den Fermentern entwickelt werden. Wenn das BHKW gemäß Stromfahrplan ausgeschaltet wird, wird die Gärtemperatur gezielt abgesenkt. Geht das BHKW wieder in Betrieb wird die Temperatur erhöht. Diese Temperaturvariationen sind mit einer flexiblen Fütterung zu kombinieren. Die Fütterungsvariationen sollen hierbei nur unterstützend und abgestimmt mit den gezielten Temperaturänderungen erfolgen. Ein Rückgang des mittleren Methanertrages und der Prozessstabilität kann durch kontrollierte Prozessführung vermieden werden. Durch Einsatz einer Wärmepumpe werden das Potenzial und die Regelbarkeit der erforderlichen Temperaturabsenkungen verbessert und gleichzeitig die Temperatur und die nutzbare Wärmemenge für externe Verbraucher deutlich gehoben. Wesentliche Ziele sind:

- die signifikante Reduzierung des zur Flexibilisierung erforderlichen Gasspeichervolumens,
- die Vermeidung von zusätzlich zu errichtenden Wärmespeichern,
- die betriebliche Optimierung des Wärmemanagements,
- eine Verbesserung der Effektivität und Effizienz von Fütterungsvariationen durch gezielte Temperaturanpassung.

Der Beitrag stellt das Konzept des flexigast-Verfahrens und der geplanten FuE-Arbeiten vor und zeigt exemplarisch erste Ergebnisse von Laborgärversuchen.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Insbesondere die Untersuchungen zur gezielten Variation der Gärtemperaturen aus prozessbiologischer Sicht, durch Gärversuche im Labor bzw. Technikum unterstützt durch Modellierung/Simulation sowie auch zum Wärmemanagement auf konzeptioneller und verfahrenstechnischer Ebene sind hier als Forschungsschwerpunkte relevant.

AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

In Basisuntersuchungen erfolgt die Definition geeigneter Beispielsysteme mit relevanten Biogasanlagentypen (inkl. Flexibilitäts- und Wärmenutzungskonzept) für die Entwicklung des Verfahrens. Dies umfasst auch den modellgestützten Entwurf eines Prozessmonitoring-Konzeptes sowie den auf Labor-Gärversuchen basierenden Nachweis, dass sich mit gezielten Temperaturänderungen im mesophilen Fermenter die Biogasproduktion steuern lässt, ohne dass die Prozessstabilität und Substrateffizienz nachhaltig beeinträchtigt werden.

Im weiteren Projektverlauf wird die Entwicklung des flexigast-Verfahrens sowie der Regelung anhand der definierten Beispielsysteme erfolgen. Die o. g. Modellierungsarbeiten und Laborversuche werden auch für die Kombination des Verfahrens mit flexibler Fütterung durchgeführt.

Zudem ist eine halbertechnische Erprobung an einer Technikums-Biogasanlage mit zwei 1m³ Gärbehältern geplant. Nach erfolgreicher Erprobung im Technikumsmaßstab soll ein großtechnischer Versuch auf einer Gülle-Biogasanlage mit Steuerung der Biogasproduktion durch kontrollierte Variation der Fermentertemperatur erfolgen.

ERGEBNISSE

Der Vortrag wird die Konzeption und das Anwendungspotenzial des flexigast-Verfahrens vorstellen und den Zwischenstand von Labor-Gärversuchen und Simulationen zur Variation der Fermentertemperatur präsentieren.

Nachfolgend werden exemplarisch erste Ergebnisse aus einem seit April 2021 laufenden Gärversuch an einer Laborbiogasanlage mit zwei 20 Liter-Fermentern im Parallelbetrieb gezeigt. Die Fütterung erfolgt mit je 50 % Rindergülle und 50 % Maissilage einmal pro Wochentag mit zunächst gleichen Mengenrationen je Behälter und Wochentag (i. M. 3 g organische Trockenmasse je L Fermentervolumen und Tag).

Abbildung 1 veranschaulicht für 3 Beispieltage die aufgezeichneten Temperaturverläufe in »Fermenter 1« (Referenz mit ca. 42 °C) und »Fermenter 2« (mit gezielt herbeigeführten Temperatur-Sprüngen von 42 auf 38 °C am 1. Tag und zurück auf 42 °C am 2. Tag). In Abbildung 2 werden die in den beiden Behältern gebildeten Gasmengen miteinander verglichen.

Am Beispiel wird deutlich, dass allein durch die Temperaturabsenkung um 4 K eine deutliche Reduktion der Biogasbildung (hier i. M. 21% gegenüber Referenz) herbeigeführt werden kann. Mit Wiederanhebung der Temperatur am Folgetag kommt es zu einem Nachholeffekt, der bis zum Ende des dritten Tages deutlich erkennbar ist. Im Wochenmittel (hier nicht dargestellt) ist die Gasbildung beider Fermenter nahezu gleich. Eine Beeinträchtigung der Prozessbiologie hat sich dabei nicht gezeigt.

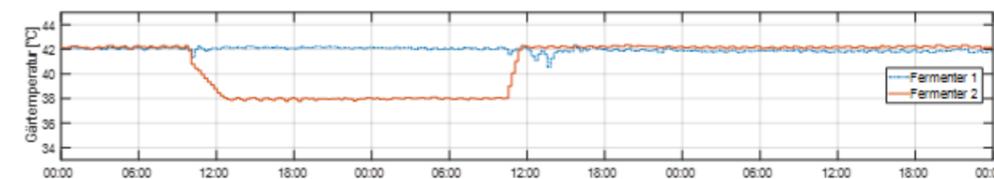


Abbildung 1 (links):
Gärtemperaturen in den beiden Laborfermentern an drei Beispieltagen (1h-Mittelwerte der kontinuierlichen Messungen)

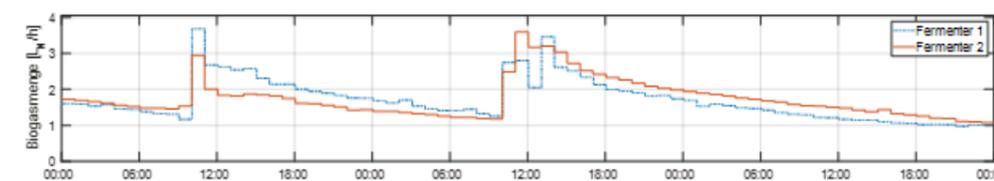


Abbildung 2 (rechts):
Biogasbildung der beiden Laborfermenter an drei Beispieltagen (1h-Mittelwerte der kontinuierlichen Messungen)

Das hiermit lediglich angedeutete Potenzial der gezielten Steuerung der Biogasproduktion und damit der Gasspeicherentlastung lässt sich durch weitergehende Temperaturabsenkungen und mit den Temperaturänderungen abgestimmte Fütterungsvariationen noch deutlich steigern, was im weiteren Verlauf des Gärversuches untersucht werden soll.

Wie sich ähnliche Effekte auch im großtechnischen Maßstab erzielen lassen und wie eine wirtschaftliche Realisierung insbesondere des Wärmemanagements (erforderliche Heiz-/Kühlleistung, etc.) im Detail zu gestalten ist, wird im weiteren Projektverlauf untersucht.

03KB424 flexigast

Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur flexiblen Biogasproduktion und optimierten Wärmespeicherung auf Basis gezielter Variationen der Gärtemperaturen

Ingolf Seick*, Prof. Dr.-Ing. Jürgen Wiese

ingolf.seick@h2.de

+49 391-8864 365

² Hochschule Magdeburg-Stendal

Breitscheidstraße 2, 39114 Magdeburg



HyTech

Juliana Rolf, Sören Kamphus, Tobias Weide, Elmar Brüggling

Forum B

12:30 – 14:00 Uhr

Entwicklung und Anwendung der dunklen Fermentation zur Wasserstoffherzeugung

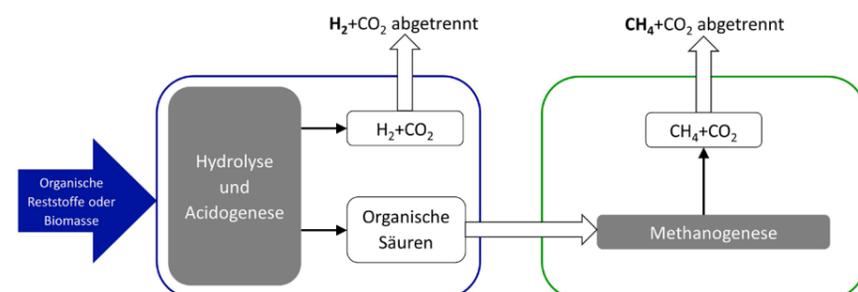
Keywords:
Zweistufiger Prozess,
Abwasserbehandlung,
Wasserstoffherzeugung,
dunkle Fermentation,
Reststoffnutzung

Die Bundesregierung geht in der nationalen Wasserstoffstrategie von einer Verdopplung des Wasserstoffbedarfs von aktuell 55 TWh/a auf bis zu 110 TWh/a im Jahr 2030 aus [1]. Um die Nachfrage an nachhaltig produziertem Wasserstoff klimaneutral decken zu können, sollte die Kapazität des in Deutschland produzierten Wasserstoffs gesteigert werden, um unabhängig von Energieimporten zu werden. Das durch das BMWi geförderte Forschungsprojekt »HyTech Biologische Wasserstoffherzeugung für eine nachhaltige Energiewirtschaft« erforscht die biologische Wasserstoffproduktion mit Hilfe der dunklen Fermentation.

Das Verfahren verwendet ungenutzte Rest- und Abfallstoffe und beschreibt daher einen sehr nachhaltigen Herstellungspfad von Biowasserstoff. Im Prozess werden organische Substrate unter Abwesenheit von Licht zu Wasserstoff (H_2), Kohlenstoffdioxid (CO_2) und flüchtigen organischen Säuren (FOS) abgebaut.

Der Prozess ist als 2-stufiges Verfahrenskonzept entwickelt. In der Abbildung 1 ist das Schema des Verfahrens dargestellt.

Abbildung 1:
Schematische Darstellung
des 2-stufigen Systems
(© FH Münster)



Die räumliche Trennung des Biogasprozesses in zwei Stufen, ermöglicht die biologische Produktion von Wasserstoff mittels dunkler Fermentation in der ersten Stufe (Wasserstoffreaktor) und die anschließende Produktion von Methan in der nachgeschalteten zweiten Stufe (Methanreaktor).

Das untersuchte Verfahren zeichnet sich durch die besonderen moderaten Prozessbedingungen von 60 °C und unter Umgebungsdruck aus. Bereits etablierten Wasserstoffproduktionsverfahren, wie die Hochtemperatur-Elektrolyse oder die Dampfreformierung, die bei bis zu 1.700 °C und 300 bar betrieben werden, sind deutlich energieintensiver. [2]

Das Projektkonsortium bestehend aus der FH Münster und den Unternehmen EMCEL GmbH und BlueMethano GmbH verfolgt im Forschungsprojekt HyTech folgende Ziele:

- Prozessstabilität und Verfahrenseffizienz durch innovative Reaktordesigns verbessern
- Nutzbares Reststoffspektrum für die dunkle Fermentation erweitern
- Nutzungsmöglichkeiten des erzeugten Biowasserstoffes darstellen
- Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bewerten
- Entwicklung neuer Gasmesstechnik für Biowasserstoff

Im Projekt werden zwei unterschiedliche Reaktorkonzepte für die erste Stufe des Verfahrens erprobt, dazu zählt ein Festbettreaktor und ein Rührkesselreaktor. Beide Reaktoren werden mit einem Mikroorganismen Rückhalt betrieben. Durch diesen kommt es zu einer Aufkonzentrierung der Mikroorganismen in den Reaktoren, sodass diese deutlich effizienter und mit hohen Substratdurchsätzen betrieben werden können. Ziel ist es so die H_2 -Ausbeute und Substratabbauraten zu erhöhen. Das Fließbild der zweistufigen Anlage wird in Abbildung 2 dargestellt.

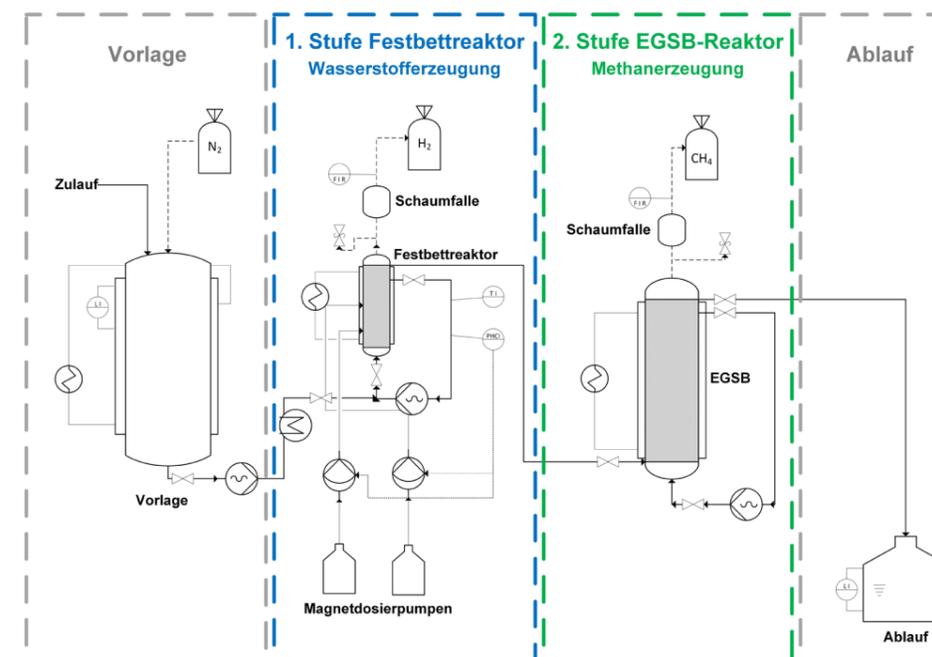


Abbildung 2:
Fließbild der 2-stufigen
Anlage (© FH Münster)

Das Ingenieurbüro EMCEL bearbeitet die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Verfahrens, bewertet die Nutzungsmöglichkeiten des produzierten Wasserstoffs und greift dabei auf langjährige Erfahrung auf dem Gebiet zurück. Das Unternehmen BlueMethano entwickelt im Rahmen des Projektes ein neues Messgerät für die Versuchsanlagen zur Messung von kleineren Biowasserstoffvolumenströmen. Die vorgestellte Anlage wurde an der FH Münster aufgebaut. In den bevorstehenden Versuchsreihen werden verschiedene Abwasserströme aus der Nahrungsmittelindustrie auf ihr Wasserstoffpotential untersucht.

Das Projekt HyTech läuft insgesamt über drei Jahre und ist im August 2020 gestartet. Aktuell werden die beiden Versuchsanlagen im Technikum der FH Münster aufgebaut und in Betrieb genommen. Ende des Jahres werden die ersten Versuchsreihen durchgeführt und die von BlueMethano entwickelten Messgerät an den Versuchsanlagen erprobt.

[1] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie; www.bmwi.de

[2] WEIDE, T.; BRÜGGING, E.; WETTER, C.; IERADI, A.; WICHERN, M. (2019): Use of organic waste for biohydrogen production and volatile fatty acids via dark fermentation and further processing to methane. International Journal of Hydrogen Energy 44, S. 24110-24125

LITERATUR

03E15419A HyTech
Biologische Wasserstoffherzeugung für eine
nachhaltige Energiewirtschaft
Juliana Rolf*, Sören Kamphus, Tobias Weide,
Dr.-Ing. Elmar Brüggling

juliana.rolf@fh-muenster.de
Tel.: 0163 6644226

FH Münster
Stegerwaldstraße 39, 48565 Steinfurt



KLÄFFIZIENT

Forum B

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
**Optimierung,
 Energiesystem,
 Autarkie, Regelung**

Jonas Miederer, Sebastian Kolb, Jürgen Karl

Datengetriebene Modellierung eines Klärwerks mittels Machine Learning-Algorithmen zur Erstellung eines Digitalen Zwillings

Flexible und bedarfsgerechte Veredelung von Klärgas zur Energiespeicherung und Erhöhung der Anlageneffizienz

Klärwerke tragen mit über 1,5% der globalen Treibhausgasemissionen einen erheblichen Anteil zur Klimaerwärmung bei [1]. Ein großer Teil der Emissionen wird dabei durch die anaerobe Fermentation verursacht [2]. Diese vergärt Klärschlamm und produziert Faulgas, welches klärwerksintern energetisch verwertet wird. Hiermit wird versucht, einen Teil der benötigten Elektrizität für den Klärprozess selbst bereitzustellen. Angesichts des zunehmenden Anteils erneuerbarer Energien und der damit verbundenen steigenden Volatilität der Strompreise muss diese Betriebsweise jedoch neu bewertet werden. In zukünftigen Marktszenarien könnte der Verkauf von Energie während Zeiten hoher Nachfrage und die Speicherung von Energie in Zeiten großen Angebots eine wirtschaftlich interessante Alternative zur konventionellen Stromerzeugung in BHKWs sein.

Um wirtschaftliche Optimierungspotentiale aufzudecken, wird im Rahmen des Forschungsprojekts »KLÄFFIZIENT« die katalytische Direktmethanisierung von Klärgasen simulativ und experimentell untersucht. Dieses Verfahren bietet aufgrund der synergetischen Nutzung von elektrolytisch gewonnenem Sauerstoff auf dem Klärwerk ein besonders hohes Potential für eine Sektorkopplung.

Durch Simulationen wird ein Modell einer Kläranlage der Größenklasse 5 (1,2 Mio. Einwohnerwerte) zunächst ohne Methanisierungsreaktor erstellt (siehe Abbildung 1). Mithilfe dieses Digitalen Zwillings sollen mögliche energetische Optimierungspotentiale auf dem Klärwerk identifiziert werden. Aus diesem Grund werden zeitlich aufgelöste Datensätze (15 Minuten) über ein Betriebsjahr erfasst und verarbeitet. Durch verschiedene Heuristiken und analytische Methoden im Bereich des Machine Learning wie auch durch klassische Approximationen werden die Datensätze analysiert, um eine möglichst akkurate Nachbildung des Klärwerks zu ermöglichen. Das Klärwerk wird hierfür in Unterbereiche geteilt, die separat modelliert und dann in ein Gesamtmodell eingefügt werden.

Für die mechanische und biologische Reinigungsstufe wie auch den Filter und die Faulung werden Black-Box-Ansätze verwendet. Das Verhalten relevanter Outputparameter der jeweiligen Stufen (Stromverbrauch, Gasproduktion, ...) wird in strikter Abhängigkeit zu Inputparametern (bspw. Wassermenge, Trübung) nachgebildet. Sowohl Input- als auch Outputparameter wurden zuvor mittels geeigneter Algorithmen bzgl. ihrer Relevanz gefiltert. Durch lineare sowie polynomiale Regression werden die erhaltenen Modelle an ihre Zielgrößen angepasst. So kann bspw. zeitverzögertes Antwortverhalten von Abwasser- und Schlammströmen in der mechanischen Stufe mithilfe von Kreuzkorrelationen nachgewiesen und quantifiziert werden. Ein besonderer Fokus des Modells liegt auf der Nachbildung des Energiesystems des Klärwerks, welches sowohl aus Energieverbrauchern wie Gebäuden, Abwasserreinigung und Schlammbehandlung als auch aus Energieproduzenten wie BHKWs und Kesseln besteht. In der Realität wird dieses System erfahrungsbasiert gesteuert. So werden Gas- und Wärme flüsse bedarfsgerecht verteilt, um u.a. die Wärmeversorgung der anaeroben Fermentation zu jedem Zeitpunkt sicherzustellen (in Abbildung 1 blau und rot hinterlegt). Hierbei werden, je nach Wärmebedarf und Gasverfügbarkeit, BHKWs, Gaskessel oder auch die Fackel angefahren. In der Modellierung des Klärwerks wird das Energiesystem von Gas- und Wärmeverbrauchern deshalb über eine logische Steuerung kontrolliert, welche der Steuerung des Anlagenpersonals nachempfunden ist. Diese regelt die Strom- und Wärme produzenten autonom in Abhängigkeit des Füllstands des Gasbehälters und der Änderungsrate desselben. Die jeweiligen Wirkungsgrade von BHKWs bzw. Kesseln werden hierfür aus den Daten ermittelt und in Modellen nachgebildet, wie auch die Effizienz der Wärmeüberträger in der Schlammbehandlung. Für die Wärmeüberträger wird ein Wärmebilanzmodell implementiert, welches anhand zulässiger Grenztemperaturen für Vor- und Rücklauf des Wärmenetzes geregelt wird.

In der Validierung werden die Outputs der einzelnen Modellierungen mit dem Verhalten der realen Komponenten des Klärwerks mittels einer gängigen Fehlermetrik für Zeitreihen – dem Mean Absolute Percentage Error (MAPE) – verglichen. Die genauesten Beschreibungen werden abschließend in das Gesamtanlagenmodell eingearbeitet.

Die Ergebnisse zeigen eine gute Performance des digitalen Zwillings. Die Steuerung regelt das Energiesystem zuverlässig und ausfallsicher. Um noch bessere Übereinstimmung mit der Realität zu erlangen, soll die Regelung in Absprache mit dem Klärwerk weiter angepasst werden. In nächsten Forschungsarbeiten sollen mithilfe von künstlichen Neuronalen Netzen zeitreihenbasierte nichtlineare Zusammenhänge dargestellt werden, um die Vorhersagegenauigkeit des Digitalen Zwillings noch weiter zu verbessern. Weiterhin soll die Regelungsstrategie auf eine maximale energetische Ausnutzung des Klärgases optimiert werden, so dass Stromzukäufe und damit verbundene Treibhausgasemissionen minimiert werden. In einem letzten Schritt soll ein zuvor erstellter Methanisierungsreaktor im Modell implementiert werden, um optimale Betriebsparameter zu finden und die Wirtschaftlichkeit des Konzepts in verschiedenen Zukunftsszenarien zu demonstrieren.

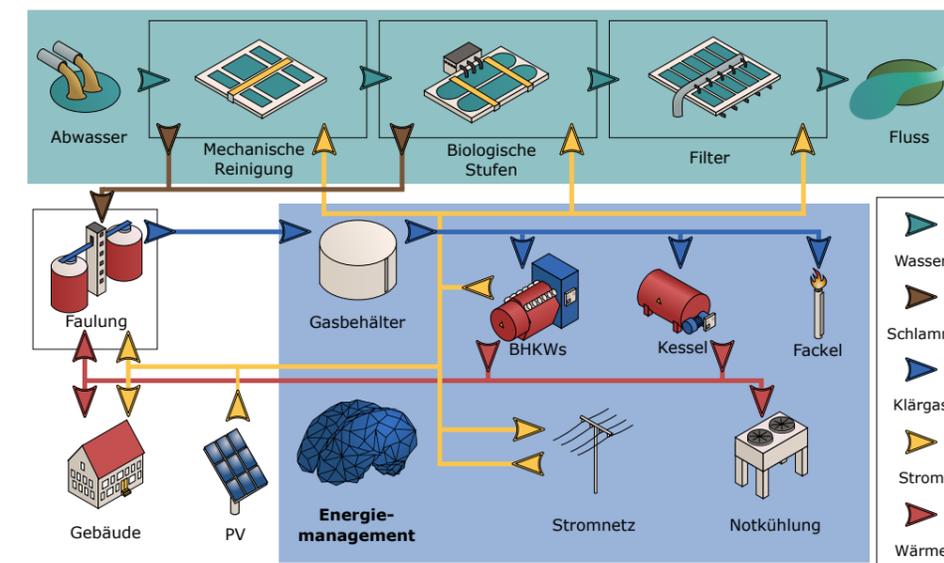


Abbildung 1:
Aufbau des Digitalen Zwillings eines Klärwerks mit den jeweils einzeln nachgebildeten Komponenten und deren energetischer Kopplung. Der Wasserweg ist türkis hinterlegt, die vom Energiemanagement kontrollierten Komponenten blau.

[1] Lu, Lu, et al. »Wastewater treatment for carbon capture and utilization.« Nature Sustainability 1:12 (2018): 750-758.

[2] Campos, José Luis, et al. »Greenhouse gases emissions from wastewater treatment plants: minimization, treatment, and prevention.« Journal of Chemistry 2016 (2016).

LITERATUR

03EI5421 Kläffizient

Flexible und bedarfsgerechte Veredelung von Klärgas zur Energiespeicherung und Erhöhung der Anlageneffizienz

Jonas Miederer*, Sebastian Kolb, Jürgen Karl
 jonas.miederer@fau.de

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (FAU), Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik, Fürther Str. 244f, 90427 Nürnberg



WinZell

Forum B

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
**Wasserstoff, Zellstoffwerk,
 Sektorkopplung, Power-to-X**

Daniel Klüh, Frank Wegner, Matthias Gaderer

Wasserstoffbasierte Power-to-X-Technologien in Zellstoffwerken

Eine Dekarbonisierung des Stroms gelingt mit erneuerbaren Energien. Über Kopplung mit anderen Sektoren und Industrien können auch diese dekarbonisiert werden. So können über die Herstellung von Wasserstoff aus grünem Strom weitere Sektoren wie Transport oder chemische Industrie dekarbonisiert werden.

Zellstoffwerke besitzen ein bis jetzt ungenutztes Potential als Standort für Power-to-X-Technologien. Neben grünem Strom aus der Verbrennung von Biomasse sind in einem Zellstoffwerk auch große Mengen an biogenem Kohlenstoffdioxid vorhanden. Darüber hinaus besteht in einem Zellstoffwerk auch die nötige Infrastruktur für den Betrieb einer Power-to-X-Anlage (z.B. Abwasserreinigung, Nutzung des Sauerstoffs aus der Elektrolyse, ...). Daher werden in dem Forschungsprojekt die Möglichkeiten der Integration von wasserstoffbasierten Power-to-X-Anlagen in Zellstoffwerken untersucht.

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Im Projekt wird anhand einer Pfadstudie analysiert, wie Wasserstoff aus der Elektrolyse genutzt werden kann. Dabei geht es nicht nur um die werksinterne Nutzung, sondern auch um Produkte, welche verkauft werden können. Wichtig hierbei ist auch, dass der Wasserstoff möglichst kostenoptimal im Werk erzeugt wird. Dazu soll mit einem Optimierungsprogramm der Betrieb der Elektrolyse im Umfeld des Strommarktes ökonomisch optimiert werden. Anhand einer Systemsimulation wird die stoffliche und energetisch Integration ausgewählter Power-to-X-Pfade in das Zellstoffwerk analysiert und ökonomisch bewertet. Weiterhin wird experimentell die kombinierte Aufreinigung von Methanol aus der Zellstoffkochung und aus einer Power-to-Methanol-Anlage untersucht. Abschließend werden die simulierten Produktionspfade mit einer Ökobilanz anhand des ökologischen Fußabdrucks bewertet.



FKZ-Nr. 03EI5432A WinZell

Wasserstoffnutzung in Zellstoffwerken zur erweiterten Sektorkopplung auf Basis von biogenem CO₂

Daniel Klüh^{1*}, Frank Wegner²,
 Prof. Dr.-Ing. Matthias Gaderer¹
 daniel.klueh@tum.de

¹ Technische Universität München
 Professur für Regenerative Energiesysteme
 Schulgasse 16, 94315 Straubing

² Mercer Stendal GmbH
 Goldbecker Straße 1, 39596 Arneburg, Deutschland

Mario König

BioFeuSe

Forum B

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
**SCR, NH₃,
 NO_x-Minderung,
 Sensorik**

Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen

Bei der Nutzung biogener Reststoffe in Verbrennungsanlagen sowie bei der Verbrennung von Biogas treten erhöhte Stickstoffoxidemissionen auf, welche gemindert werden müssen. In dem Forschungsvorhaben wird die Entwicklung neuartiger Sensoren und Sensorprinzipien zur Messung von NO_x und NH₃ angestrebt, welche für die optimale Steuerung von SCR-Systemen und das Monitoring von Biomasseanlagen eingesetzt werden können.

Schwerpunktmäßig beschäftigt sich das Projekt mit der Optimierung von SCR-Verfahren an Feuerungsanlagen für biogene Reststoffe und an mit Biogas betriebenen BHKW. Daher ist es dem am DBFZ etablierten Forschungsschwerpunkt »Katalytische Emissionsminderung« zuzuordnen

- Entwicklung NH₃-Sensor für Einsatz von SCR-Systemen an Biomasseanlagen
- Praxisnahe Evaluierung an mit biogenen Rest- und Abfallstoffen betriebenen Biomassefeuerungen
- Entwicklung Sensorik zur Messung der NH₃-Beladung von SCR-Katalysatoren
- Erforschung des Verfahrens zur Beladungsmessung an SCR-System eines Biogas-BHKW's

Noch keine Ergebnisse vorhanden, da das Projekt gerade erst gestartet ist.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

KONKRETE MAßNAHMEN

ERGEBNISSE

03EI5434 BioFeuSe

Neue Sensorik für die Prozessoptimierung
 von SCR-Verfahren und Partikelabscheidung
 an Biomasseverbrennungsanlagen

Mario König
 mario.koenig@dbfz.de
 49 341 2434-569

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
 gemeinnützige GmbH
 Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig



FORUM C Nachhaltig für den Transport der Zukunft

Neue Projekte stellen sich vor:

BioMeth

Synthese von Biomethanol auf Basis biogenen Wasserstoffs für den Einsatz im Mobilitätssektor

Robert Manig, Jenö Schipek, Corina Protze

Reststoff2Kraftstoff

Thermochemische Umwandlung von Papierreststoff zu erneuerbaren Kraftstoff

Jan Grunwald, Andreas Apfelbacher, Robert Daschner

Impulsvorträge:

PyroMar

Nachhaltige Bioreststoff-Komponenten für Hochseerkraftstoffe

Volker Heil, Martin Peters, Tim Schulzke, Ellen Friedrich, Ulrike Schümann, Fanny Langschwager, Karsten Schleaf, Nils Rettenmaier

Biomethan: grün, wo Wasserstoff zu teuer und Strom nicht möglich ist

Zoltan Elek

Wasserstoff aus Biomasse – Chancen und Herausforderungen

Andy Gradel, Tobias Plessing

Anschließende Diskussion



BioMeth

Robert Manig, Jenö Schipek, Corina Protze

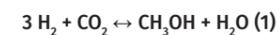
Forum C

14:30 – 16:00 Uhr

Keywords:
Wasserstoff, Biogas,
Kohlenstoffdioxid,
Methanol, Kraftstoff

Synthese von Biomethanol auf Basis biogenen Wasserstoffs für den Einsatz im Mobilitätssektor

Ziel und Innovation des Forschungsvorhabens »BioMeth« ist die Entwicklung eines Verfahrens zur Synthese von Biomethanol auf der Basis biogenen Wasserstoffs und Kohlenstoffdioxids, um im Mobilitätssektor als Kraftstoff bzw. Kraftstoffzusatz zu dienen oder in technischen Prozessen wie der Biodieselherstellung konventionelles Methanol zu substituieren. Mittels des zweistufigen Biogasprozesses können kontinuierlich zwei biogene Gase – ein wasserstoffhaltiges und ein methanhaltiges Biogas – erzeugt werden (siehe F&E-Projekt »BioHy«, FKZ: 03KB123A)¹. Das wasserstoffhaltige BiWogas, ein Gemisch aus Wasserstoff und Kohlenstoffdioxid, dient gemäß Gleichung 1 als Edukt für die Methanolsynthese in einem speziellen Methanolreaktor:



Zusätzlich kann Kohlenstoffdioxid aus dem methanhaltigen Biogas und/ oder dem Abgas eines konventionellen BHKWs für die Methanolsynthese genutzt werden. Erwartungsgemäß ist bei diesem verfahrenstechnischen Ansatz ein Überangebot an Kohlenstoffdioxid vorhanden. Durch die Einbindung von regenerativem Elektrolysewasserstoff wird der stöchiometrische Bedarf an Wasserstoff ausgeglichen. Dabei bietet die zweistufige Biogaserzeugung den Vorteil, dass die Methanolsynthese kontinuierlich mit dem wasserstoffhaltigen Gasstrom betrieben werden kann. Das System ist somit dauerhaft im Teillastbetrieb betreibbar und kann flexibel zusätzliches Kohlenstoffdioxid und Elektrolysewasserstoff aufnehmen. Dadurch kann ein Beitrag zur Stabilisierung der Stromnetze (Last-Leistungs-Ausgleich) und zur Kopplung der Sektoren Strom und Mobilität geleistet werden (siehe Abbildung 1).

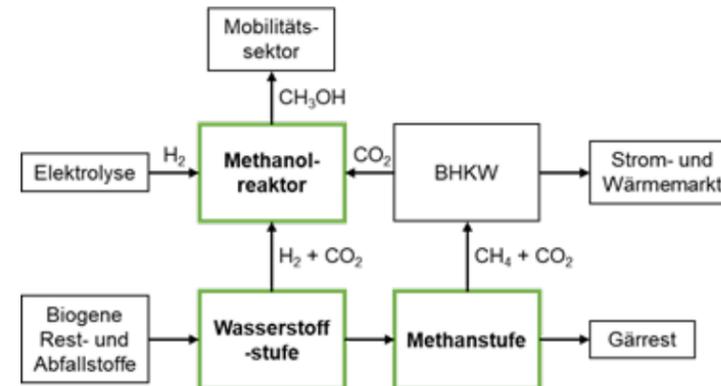


Abbildung 1: Schematisches Funktionsprinzip »BioMeth«

Durch die Verwendung von industriellen Rest- und Abfallstoffen (Seifenwässer und Rohglycerin aus der Biodieselproduktion) als Substrat für die Biogaserzeugung wird zudem die Nachhaltigkeit gewährleistet und die Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion vermieden. Zur Erreichung dieser Ziele steht entsprechendes Knowhow im prozessbiologischen^{2,3} und gasverfahrenstechnischen^{4,5} Bereich am DBI zur Verfügung. Biowerk als Akteur im Biokraftstoffbereich verfügt über die Expertise zur Konzeption und technisch-wirtschaftlichen Bewertung des Gesamtverfahrens und ist zudem ein potentieller Verwender von Biomethanol. Im Resultat steht eine Technologie zur Verfügung, welche neben den positiven ökologischen Aspekten, eine effiziente Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen im Mobilitätssektor, insbesondere im Schwerlastverkehr, ermöglicht.

»BioMeth« verfolgt im Wesentlichen 5 Ziele (Zuständigkeiten):

- Anpassung des zweistufigen Biogasprozesses im Labor unter Berücksichtigung der verwendeten Substrate und der Anforderung der Methanolsynthese (DBI, siehe Abbildung 2)
- Entwicklung eines Methanolreaktors mit dem Fokus Prozessrobustheit (Einsatz biogener Gase, unterstöchiometrische Eduktgase) und Flexibilität (schwankende Eduktgaszusammensetzung, Teillastfähigkeit) (DBI)
- Technischer Nachweis der Funktionsfähigkeit des Verfahrens zur Erzeugung von Rohmethanol aus biogenen Rohstoffen im Labor (DBI, siehe Abbildung 3)
- Erstellung eines technischen Konzeptes zur Umsetzung des Verfahrens inklusive Prüfung der Integrationsfähigkeit von Rohmethanol in den Biodieselprozess am Standort Sohland (Biowerk)
- Technisch-wirtschaftliche Bewertung des Gesamtverfahrens (Biowerk)

Neben den theoretischen Grundlagen wird das grundsätzliche Prozessregime für die biogene Wasserstoffherzeugung vorgestellt. Die Entwicklung eines Methanolreaktors mit dem Fokus Prozessrobustheit und Flexibilität wird anhand von Vorversuchen zur Katalysatorwahl und dem zugrundeliegenden Reaktordesign gezeigt. Der aktuelle Stand der Arbeiten wird u.a. mittels Diagrammen und Tabellen anschaulich präsentiert.



Abbildung 2 (links): Zweistufige Laborbiogasanlage im 10 Liter-Maßstab am DBI

Abbildung 3 (rechts): Zweistufige Pilotbiogasanlage im 2 m³-Maßstab am DBI

[1] Manig, R.; Tenbrink, J.: Energetische und ökonomische Optimierung von Biogasanlagen durch die getrennte Erzeugung von Biowasserstoff und Biomethan (BioHy), BmWi-Projekt: 03KB123AB, Schlussbericht, 2021.

[2] Manig, R.; Münch, D.; Tenbrink, J.; Ackermann, J.; Krause, H.: Konversion von Biomasse zu Wasserstoff und Methan mittels eines zweistufigen Biogasprozesses, Biogasjournal 03_19, 2019.

[3] Manig, R.; Hiller, S.; Ackermann, J.; Krause, H.: PRODUCTION OF HYDROGEN AND METHANE BY A FERMENTATION PROCESS – Identification of fermentative pathways, Regatec, Toulouse, 2018.

[4] Schipek, J.; Nitzsche, J.: Green hydrogen for CO₂ conversion to valuable chemicals (Development of a combined process for CO₂ scrubbing and hydrogenation to methanol), Advanced alkaline electrolysis and applications – 2nd workshop of Elyntegration, Dresden, 2018.

[5] Schipek, J.; Kühn, M.; Tauchnitz, H.; Mertens, F.: Methanolherstellung aus Biogas mittels Dreiphasenreaktor (COOMET), gwf Gas + Energie, 2021.

03E15423A BioMeth

Synthese von Biomethanol auf Basis biogenen Wasserstoffs für den Einsatz im Mobilitätssektor

Robert Manig^{1*}, Jenö Schipek¹, Corina Protze²
robert.manig@dbi-gruppe.de

¹DBI – Gastechnologisches Institut gGmbH Freiberg
Halsbrücker Straße 34, 09599 Freiberg

²Biowerk Sohland GmbH
Am Gewerbering 6, 02689 Sohland an der Spree



FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE MAßNAHMEN

ERGEBNISSE

LITERATUR

Reststoff2Kraftstoff

Forum C

14:30 – 16:00 Uhr

Jan Grunwald, Andreas Apfelbacher, Robert Daschner

Thermochemische Umwandlung von Papierreststoff zu erneuerbaren Kraftstoff

Einen nachhaltigen Kraftstoff aus Papierreststoffen erzeugt das Projekt »Reststoff2Kraftstoff«. Das Konsortium von acht Partner aus Industrie und Wissenschaft wird 50 Tonnen Einsatzmaterial aus der Papier- und Zellstoffindustrie zu CO₂-neutralem Rohöl und weiter zu normgerechtem Benzin und Diesel verarbeiten. Dieses wird dann u.a. im Serien-LKW getestet.

Jährlich fallen in Deutschland circa vier Millionen Tonnen Faserreststoffe aus der Papier- und Zellstoffindustrie an. Die Entsorgung verursacht in der Branche Kosten von insgesamt 160 Millionen Euro pro Jahr. Mit der thermischen Verwertung dieser Abfälle werden außerdem 500 Kilogramm fossiles CO₂ pro Tonne freigesetzt, insgesamt ca. 1,5 Mio. Tonnen im Jahr.

Ziel des Forschungsprojekts Reststoff2Kraftstoff ist es, diesen Reststoff mit Hilfe eines neuartigen thermochemischen Konversionsverfahrens (TCR-Verfahren) zunächst in ein Roh-Öl-Äquivalent umzuwandeln und anschließend in einer Raffinerie zu nachhaltigen Norm-Kraftstoffen aufzubereiten. Synthetische Kraftstoffe aus Reststoffen und Abfallprodukten könnten eine wichtige Rolle im Mobilitätsmix der Zukunft spielen, vor allem für schwer zu elektrifizierende Bereiche wie den Güter- und Flugverkehr. Insgesamt ließen sich allein durch Kraftstoffe basierend auf den Rückständen der Zellstoff- und Papierindustrie jährlich bis zu einer Millionen Tonnen CO₂-Emissionen einsparen. Zusätzliche 1,5 Millionen Tonnen würden wegfallen, weil die Reststoffe nicht mehr verbrannt werden müssten.

Im Projekt Reststoff2Kraftstoff werden 50 Tonnen Faserreststoffe vom Papierhersteller LEIPA zunächst vorbehandelt, also getrocknet und pelletiert. Das Einsatzmaterial wird anschließend im Technikum von Fraunhofer UMSICHT Sulzbach-Rosenberg mit der patentierten thermo-katalytischen Reforming (TCR)-Technologie zu einem Rohöl umgewandelt. Dabei werden die Faserreststoffe zunächst in einem Schneckenreaktor pyrolysiert (intermediäre Pyrolyse). In der zweiten Stufe, dem katalytischen Reforming, werden die entstehende Kohle und die Dämpfe gezielt in Verbindung gebracht, was die Gasausbeute und Qualität verbessert. Durch Kondensation werden Prozesswasser und Öl von der Gasphase getrennt, das Gas wird gereinigt und energetisch genutzt. Im Projekt entstehen so insgesamt 2000 Liter Rohöl aus Faserreststoffen. Das Rohöl geht anschließend an den bayerischen Raffineriebetreiber Gunvor, Ingolstadt. Anhand von Laboruntersuchungen und Simulationen wird ermittelt, wie das regenerative TCR-Öl als »Drop-In-Fuel« ein fossiles Rohöl in einer konventionellen Raffinerie 1:1 substituieren kann. Die Produktqualität des Öls, insbesondere seine thermische Stabilität, ist hierfür ausschlaggebend. Vorversuche mit TCR-Rohöl versprechen ein hohes Potenzial auf dem Weg zur Defossilisierung bestehender Raffinerien. Nach der Qualifizierung des Öls, wird eine Raffination im Technikumsmaßstab bei Fraunhofer UMSICHT durchgeführt, in der das Rohöl zu erneuerbaren Kraftstoffen nach DIN EN 228 (Benzin) und EN 590 (Diesel) raffiniert wird. Hierfür stellt Clariant den Projektpartnern Bio-Ethanol aus der sunliquid® Demonstrationsanlage in Straubing zur Verfügung. Die fertigen Kraftstoffe werden anschließend an Versuchsmotoren auf Rollenprüfständen an der OTH Amberg-Weiden erprobt. Mit den Messergebnissen können die Parameter der Rohölherstellung und Raffination weiter optimiert werden. Außerdem wird der erneuerbare Dieselmotorkraftstoff im Straßeneinsatz und unter Realbedingungen getestet. Hierfür kommt ein Serienmodell einer Sattelzugmaschine zum



Abbildung 1 (links): Technikums-Anlage für die thermochemische Konversion biogener Reststoffe in regeneratives Rohöl bei Fraunhofer UMSICHT in Sulzbach-Rosenberg
© Fraunhofer UMSICHT

Einsatz. Mithilfe eines PEMS (Portable Emission Measurement System) werden die Emissionen analysiert. Neben der technischen Machbarkeit und Bewertung der Gesamteffizienz der Verwertungskette werden im Projekt auch die gesetzlichen Rahmenbedingungen für einen Kraftstoff aus Papierrückständen beleuchtet. Die Projektpartner von der Friedrich-Alexander-Universität Nürnberg analysieren hierfür insbesondere die geltenden Entlastungsmöglichkeiten nach dem Energiesteuergesetz sowie die steuerliche Förderung von Biokraftstoffen und anderen erneuerbaren Energieträgern. Die technischen, ökonomischen und juristischen Ergebnisse aus dem Projekt dienen als Ausgangspunkt für die Konzeption einer großtechnischen Anlage zur Verwertung von Faserreststoffen und Herstellung von regenerativem Rohöl.

Synthetisch hergestellte Kraftstoffe aus Rest- und Abfallstoffen weisen ein signifikant geringeres Äquivalent an CO₂-Emissionen auf als fossile Treibstoffe. Ihre Produktion steht nicht in Konkurrenz mit der Nutzung landwirtschaftlicher Nutzfläche und damit der Erzeugung von Lebensmitteln. Die erschließbaren Potenziale von Biomasse aus Rest- und Abfallstoffen sind zwar grundsätzlich begrenzt, allein in Deutschland gibt es allerdings ein technisches Potenzial von über 20 Millionen Tonnen ungenutzter biogener Rest- und Abfallstoffe, die sich prinzipiell für die Herstellung von synthetischen Kraftstoffen nutzen ließen. Mit der Möglichkeit, den beim TCR-Verfahren anfallenden Kohlenstoff zu sequestrieren, werden bilanziell sogar negative CO₂-Emissionen möglich, d.h. das in den biogenen Einsatzstoffen gebundene CO₂ wird nicht vollständig wieder freigesetzt, sondern gespeichert.

Partner im Projekt

Das Forschungsprojekt Reststoff2Kraftstoff ist ein Gesamtprojekt zwischen acht Partnern:

- Gunvor Raffinerie Ingolstadt GmbH
- Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
- Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, Lehrstuhl für Volkswirtschaftslehre, insbesondere Wirtschaftstheorie sowie Lehrstuhl für Steuerrecht und Öffentliches Recht
- LEIPA Georg Leinfelder GmbH
- Ostbayerische Technische Hochschule Amberg-Weiden
- MAN Truck & Bus SE
- Clariant Produkte (Deutschland) GmbH
- Institut für Wärme und Mobilität e. V. (assoziiertes Partner)

[1] Neumann, J.; Binder, S.; Apfelbacher, A.; Gasson, J.R.; Ramirez-Garia, P.; Hornung, A. (2015): Production and characterization of a new quality pyrolysis oil, char and syngas from digestate – introducing the thermo-catalytic reforming process, J. ANAL. APPL. PYROLYSIS 113.

[2] Neumann, J.; Meyer, J.; OUADI, M.; Apfelbacher, A.; Binder, S.; Hornung, A. (2016): The conversion of an anaerobic digestion waste into biofuels via a novel Thermo-Catalytic Reforming process, Volume 47, pp. 141-148. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.07.001>

[3] Neumann, J.; Jäger, N.; Apfelbacher, A.; Daschner, R.; Binder, S.; Hornung, A. (2016): Upgraded biofuel from residue biomass by Thermo-Catalytic Reforming and hydrodeoxygenation. 89. pp. 91-97.

[4] Conti, R.; Jäger, N.; Neumann, J.; Apfelbacher, A.; Daschner, R.; Hornung, A. (2016): Thermocatalytic Reforming of Biomass Waste Streams. Energy Technology 5. <https://doi.org/10.1002/ente.201600168>

[5] Jägert, N.; Conti, R.; Neumann, J.; Apfelbacher, A.; Daschner, R.; Bindert, S.; Hornung, A. (2016): Thermo-Catalytic Reforming of Woody Biomass. Energy Fuels, 30, 10, 7923-7929. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b00911>

[6] Hornung, A.; Apfelbacher, A.; Neumann, J.; Jäger, N.; Schmitt, N.; Daschner, R. (2016): Combined heat and power generation from solid biomass derived bioliquids and syngas by TCR® - Upgrade of TCR-liquides by hydrodeoxygenation. 24th European Biomass Conference and Exhibition, EUBCE. https://publica.fraunhofer.de/eprints/urn_nbn_de_0011-n-4232768.pdf

LITERATUR**03E15429B Reststoff2Kraftstoff**

Energieeffiziente Reststoffverwertung zur Erzeugung neuartiger erneuerbarer Kraftstoffe

jan.grunwald@umsicht.fraunhofer.de

Jan Grunwald*, Dr. Andreas Apfelbacher,
Dr. Robert Daschner

Fraunhofer UMSICHT, Fraunhofer-Institut für Umwelt-,
Sicherheits- und Energietechnik
An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg



PyroMar

Forum C

14:30 – 16:00 Uhr

Keywords:

Biokraftstoffe,
Schiffskraftstoffe,
Ablative Schnellpyrolyse,
Veresterung,
Alkoholkondensation

Volker Heil, Martin Peters, Tim Schulzke, Ellen Friedrich, Ulrike Schümann, Fanny Langschwager, Karsten Schleeß, Nils Rettenmaier

Nachhaltige Bioreststoff-Komponenten für Hochseekraftstoffe

Marine Kraftstoffe durch Pyrolyse biogener Reststoffe und Veresterung mit biobasierten höheren Alkoholen

Der internationale Schiffsverkehr ist der einzige Verkehrssektor, der bisher nicht der Verpflichtung der Europäischen Union zur Reduzierung von Treibhausgasen unterliegt. Trotzdem besteht hier akuter Handlungsbedarf, CO₂-Emissionen und schädliche Abgase zu reduzieren. Dies stellt die Schifffahrt vor deutliche Herausforderungen, da hier aufgrund der hohen Kraftstofftoleranz der großen Motoren traditionell preisgünstige Raffineriefractionen eingesetzt werden. Eine Substitution durch synthetische Kraftstoffe oder E-Fuels ist aufgrund der großen Kraftstoffmengen und der hohen Produktionskosten zurzeit nicht umsetzbar. Drop-in-Kraftstoffe aus Reststoffen sind jedoch eine interessante Option, die kurzfristig realisierbar ist. Gleichzeitig sind diese Kraftstoffe schwefelarm und eignen sich für den Einsatz in Emission Control Areas (ECAs).

Die Defossilierung von Hochsee-Schiffskraftstoffen kann somit einen Beitrag zur Erreichung nationaler wie internationaler Klimaziele leisten.

Die biobasierten, sehr schwefelarmen Blendkomponenten aus biobasierten Reststoffen müssen sich neben der Mischbarkeit mit dem Basiskraftstoff durch eine hinreichende Lagerstabilität auszeichnen. Zudem muss die Mischung mit dem fossilen Basiskraftstoff die gültigen Kraftstoffnormen einhalten. Hier sind insbesondere eine niedrige Säurezahl und ein Flammpunkt über 60°C zu nennen.

Im Vorhaben PyroMar sollen vollständig aus biogenen Reststoffen bestehende Kraftstoffkomponenten als Zusätze zu Marine-Rückstandskraftstoffen erzeugt werden. Als Einsatzstoffe dienen neben dem Reststoff Stroh zunächst die Reststoffe Laub, Landschaftspflegeheu, Waldrestholz und Strauchschnitt.

Diese werden mittels ablativer Schnellpyrolyse (Ablative Fast Pyrolysis, AFP) zu Pyrolyseöl (»Bio-Öl«) umgesetzt, welches zur Absenkung der Säurezahl und zur Verbesserung der Mischbarkeit mit den fossilen Basiskraftstoffen mit längerkettigen Alkoholen verestert wird. Letztere werden katalytisch aus Ethanol erzeugt, welches wiederum aus Agrarreststoffen (insbesondere Stroh) gewonnen wird. Die so gewonnenen Beimischkomponenten werden mit kommerziell gehandelten, erdölstämmigen Schiffskraftstoffen vermischt. Abbildung 1 verdeutlicht das Konzept. So hergestellte hybride Drop-in-Fuels werden schließlich in einem mittelschnell laufenden Einzylinder-Forschungsmotor getestet, um erste experimentelle Hinweise auf ihre Praxistauglichkeit zu erhalten.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

KONKRETE MAßNAHMEN

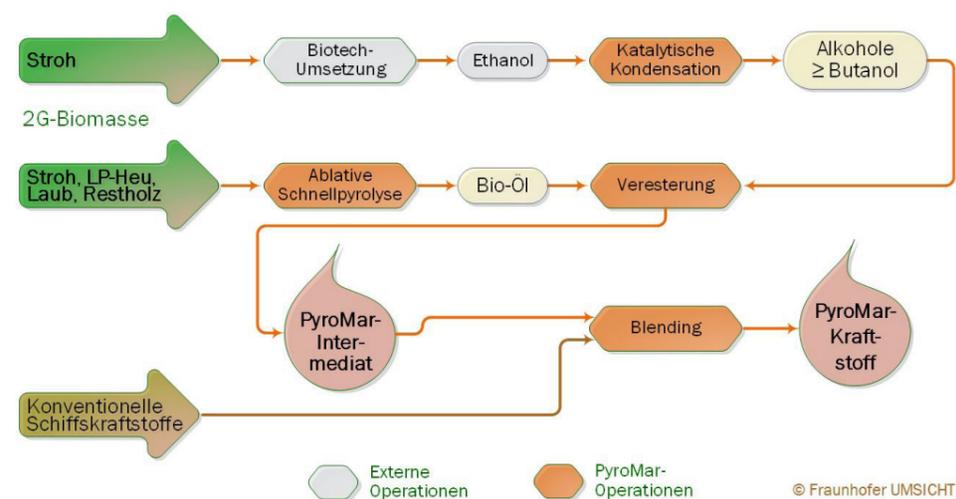


Abbildung 1:
Das PyroMar-Konzept

Begleitend werden ökologische und ökonomische Nachhaltigkeitsbewertungen vorgenommen, Biomaspotenziale und Absatzmärkte analysiert, rechtliche Rahmenbedingungen untersucht und Ansätze für den Weg in eine privatwirtschaftliche Realisierung erarbeitet.

- Die katalytische Kondensation von Ethanol zu Butanol und noch längerkettigeren Alkylalkoholen über einem dotierten Aktivkohlekatalysator [1] lässt sich mit dem strohstämmigen Ethanol ebenso komplikationslos durchführen wie mit konventionell hergestelltem Ethanol. Es ergibt sich ein Alkoholgemisch, bei dem sich durch Anpassung der Herstellungsparameter Butanol als Hauptkomponente einstellen lässt.
- Für die ablativ Schnellpyrolyse von Weizen-Gerste-Mischstroh mit anschließender fraktionierter Kondensation ist bei Wahl einer AFP-Anlage vom Rotating-Disc-Typ eine Pyrolysetemperatur von 550°C bekannt [2]. Diese wurde nun auch in Bezug auf das PyroMar-Intermediat nach Veresterung als optimal bestätigt.
- Deichheu lässt sich analog zu Stroh problemlos in der Rotating-Disc-AFP zu Bio-Öl verarbeiten. Herbstlaub lässt sich durch Silierung (Milchsäuregärung, hier mit Stroh als Zuschlagstoff) in ein umsetzbares Inputmaterial überführen.
- Die katalytische Veresterung über einem sauren Katalysator, die vorab für den Einsatz von Reinbutanol bekannt war [3], konnte erfolgreich mit dem Alkoholgemisch aus der katalytischen Kondensation von Ethanol durchgeführt und vom 250 ml-Labormaßstab in den 20 l-Technikumsmaßstab (Batchbetrieb) hochskaliert werden.
- Von den avisierten Einsatzstoffen besitzt Stroh bei weitem das höchste bisher ungenutzte Potenzial; allerdings ist hier aufgrund laufender Projektentwicklungen Dritter mittelfristig mit einem deutlichen Nutzungsanstieg zu rechnen. Die Erschließung weiterer reststoffbasierter Einsatzstoffe mit hohem Nutzungspotenzial erscheint geboten.

Die Autoren bedanken sich beim BMWi für die Projektförderung, beim Projektträger Jülich (PtJ) und den Mitgliedern des projektbegleitenden Ausschusses für die Begleitung, sowie bei der Firma Clariant, Standort Straubing für Sunliquid®-Ethanol.

[1] KRAFT, A.; MENNE, A. (2011): Katalytische Konversion von Alkoholen und Aldehyden, EP2582650B1

[2] CONRAD, S.; BLAJIN, C.; SCHULZKE, T.; DEERBERG, G. (2019): Comparison of fast pyrolysis bio-oils from straw and miscanthus. Environ Prog Sustainable Energy, e13287, doi: 10.1002/ep.13287

[3] SCHULZKE, T.; CONRAD, S.; KALUZA, S.; VAN LOO, T. (2017): Upgrading of fast pyrolysis condensates via esterification with higher alcohols. Biomass Bioenergy 103, pp. 11-20, doi: 10.1016/j.biombioe.2017.05.010

BISHERIGE ERGEBNISSE

LITERATUR

03E15412 PyroMar

Marine Kraftstoffe durch Pyrolyse biogener Reststoffe und Veresterung mit biobasierten höheren Alkoholen
Biomethanol auf Basis biogenen

Dr.-Ing. Volker Heil^{1*}, Martin Peters¹, Tim Schulzke¹,
Ellen Friedrich¹, Dr. Ulrike Schümann², Dr. Fanny Langschwager²,
Karsten Schleeß², Nils Rettenmaier³
volker.heil@umsicht.fraunhofer.de

¹Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Osterfelder Str. 3, D-46047 Oberhausen

²Universität Rostock, Lehrstuhl für Kolbenmaschinen und Verbrennungsmotoren (LKV)

Albert-Einstein-Str. 2, 18059 Rostock

³ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg gGmbH, Wilckensstr. 3, 69120 Heidelberg



Zoltan Elek

Andy Gradel, Tobias Plessing

Forum C
14:30 – 16:00 Uhr

Biomethan: grün, wo Wasserstoff zu teuer und Strom nicht möglich ist

Keywords:
**Biomethan, grünes Methan,
Sektorkopplung**

Alle Zeichen stehen auf Grün? Die EU hat sich zu strengeren Klimazielen bekannt und das Verfassungsgericht die Bundesregierung zu mehr Klimaschutz verpflichtet. Nun müssen nicht erst mit der RED III Taten folgen: Die Emissionen müssen gesenkt werden – eigentlich schon gestern. Deshalb braucht es einen intelligenten Energiemix aus grünem Wasserstoff, erneuerbarem Strom und grünem Methan: den Dreiklang der Energiewende. Denn im Zusammenspiel ergänzen sich die Stärken dieser Energieträger. Hier trifft etwa regionale Wertschöpfung des etablierten grünen Methans auf die globalen Potentiale von erneuerbarem Strom und Wasserstoff. Gleichzeitig braucht es Technologien, die mehr sind als nur klimaneutral: Sie müssen sozial und ökonomisch vertretbar sein und in Zukunft sogar klimapositiv – Biomethan kann all das leisten: Es kann den Verkehr dort dekarbonisieren, wo Wasserstoff zu teuer ist und wo Strom nicht ausreicht. In Verbindung mit Carbon Capture & Storage kann es in der Treibhausgasbilanz nicht nur Emissionen vermeiden, sondern sogar Negativemissionen bewirken und ganz nebenbei Arbeitsplätze in ländlichen Regionen nachhaltig sichern.

Der Vortrag wird zu Beginn einen kurzen Rückblick über die Entwicklungen der erneuerbaren Energien mit Fokus auf Biomethan geben und eine Zwischenbilanz ziehen. Im Anschluss wird im Dreiklang der Energiewende dargelegt, wie sich Strom, Wasserstoff und grünes Methan u.a. in Transport, Einsatzbereichen, Speicherbarkeit und Kosten ergänzen und welche Potenziale in Biomethan schlummern. Dabei wird gezeigt, unter welchen Bedingungen die deutsche und europäische Biomethanproduktion signifikant gesteigert werden und welchen Mehrwert es für Gesellschaft, Mobilitätswende, Klima- und Umweltschutz bringen kann.

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Um den Klimawandel aufzuhalten, brauchen wir erneuerbare Energien technologie- und herkunftsnutral und Technologien, mit denen wir CO₂-Emissionen aktiv umkehren, jetzt und sofort. Deshalb muss die zentrale Frage der Energiewende ab sofort sein: Wie können wir Negativemissionen erzeugen? Was bedeutet die hierfür anzustrebende klimapolitische Ausrichtung für den deutschen Energiesektor? Welche politischen Weichen müssen gestellt werden, um das Potenzial voll auszuschöpfen? Die Errungenschaften von Biomethan gerade in der Kreislaufwirtschaft sind heutzutage bereits sichtbar. Es kann organische Abfälle sinnvoll weiterverwerten, garantiert eine nachhaltige Energiegewinnung und ist Jobmotor im ländlichen Raum. Eine Win-Win-Win-Situation.

LITERATUR

- [1] DENA (2017): Rolle und Beitrag von Biomethan im Klimaschutz heute und in 2050
 [2] ECOFYS for DVGW (2018): Die Rolle von Gas im zukünftigen Energiesystem
 [3] TRINOMICS for DG ENER (2019): Impact of the use of the biomethane and hydrogen potential on trans-European infrastructure
 [4] NAVIGANT for GAS FOR CLIMATE (2019): The optimal role for gas in a net-zero emissions energy system
 [5] FRAUNHOFER-INSTITUT, et. al. (2019): Klimabilanz, Kosten und Potenziale verschiedener Kraftstoffarten und Antriebssysteme für Pkw und Lkw



Zoltan Elek
info@landwaerme.de

Landwärme GmbH
Ungererstraße 40, 80802 München
+49 89-24 88 200 10

Wasserstoff aus Biomasse – Chancen und Herausforderungen

Forum C
14:30 – 16:00 Uhr

Keywords:
**Wasserstoff, Biomasse,
Holzgas, Vergasung,
Dampfreformierung**

Im Rahmen der nationalen Wasserstoffstrategie werden derzeit und in den nächsten Jahrzehnten viele Erzeugungs- und Nutzungspfade für Wasserstoff gefördert, um einen Hochlauf des Marktes für diesen klimafreundlichen Energieträger zu forcieren [1]. Für die Nutzung von schwankenden erneuerbaren Quellen wie Solar- und Windenergie ist hierbei die Elektrolyse der derzeit effizienteste Pfad zur Wasserstoffherzeugung, die Bioenergie (Biogas- und Biomassevergasungsanlagen) kann durch chemische Pfade deutlich höhere Wirkungsgrade erreichen als in der motorischen Stromerzeugung [2].

Die Biomassevergasung als Technologie ist für den Brennstoff Holz in der KWK-Anwendung zur Gewinnung von Strom und Wärme Stand der Technik. Derzeit existieren auf dem Markt unterschiedliche Reaktoren für Holzpellets und -hackschnitzel als Brennstoff, die je nach Technologie mehr oder weniger wartungsintensiv motorentaugliches Gas produzieren. Die Holzvergasung rückt jedoch aufgrund der zunehmend in den Hintergrund der Energiewende, da die EEG-Vergütungssätze sinken und die Gestehungskosten relativ hoch liegen. Reine Strom- und Wärmekonzepte sind daher meist nicht ausreichend, das Restholzpotenzial jedoch nach wie vor groß.

Die Biogasbranche ist derzeit ebenfalls mit der geänderten Gesetzeslage durch EEG-Novellierungen konfrontiert, die für viele Anlagen einen Rückbau bedeuten könnte.

Die Produktion von reinem Wasserstoff für bspw. Mobilitätsanwendungen bedeutet eine deutlich gesteigerte Wirtschaftlichkeit für diese Technologien, birgt aber unterschiedliche Herausforderungen. Die beiden Kernprobleme sind beim Holzgas üblicherweise der zunächst niedrige Wasserstoffgehalt sowie starke Verunreinigungen in Holzgasen und die Abscheidung von reinem Wasserstoff aus dem Mischgas mit einer skalierbaren Technologie für Kleinanlagen. Für die Nutzung von Biogas liegt die Herausforderung zum einen in der wirtschaftlichen Vorreinigung des Gases und in der wirtschaftlichen Skalierung der verfügbaren Technologien auf die meist kleinen Dimensionen einer Biogasanlage.

Die vorgestellten Ergebnisse entstammen am Versuch erhobenen Daten aus unterschiedlichen Projekten und theoretischen Betrachtungen aus dem Forschungsbereich „Energetische Biomassenutzung“ der Arbeitsgruppe „Innovative Wärmesystemtechnik“ am Institut für Wasser- und Energiemanagement.

Es werden unterschiedliche Prozesse zur Erzeugung von grünem Wasserstoff aus Biomasse untersucht und deren technische, ökonomische und ökologische Potenziale analysiert.

- Darstellung der Wasserstoffherzeugungspfade der Dampfreformierung von Biogas und der Aufbereitung von Holzgas, deren technischer Wirkungsgrade, THG-Minderungspotenziale und wirtschaftlicher Betrachtungen
- Herausarbeitung der technischen Herausforderungen, die bereits bewältigt sind, und derer, die noch zu bewältigen sind.

[1] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE (2020): Die Nationale Wasserstoffstrategie.

[2] NITZSCHE, J. (2020): Wasserstoffherstellung aus Biogas mittels Dampfreformierung - Technische Grundlagen und Besonderheiten, Praxistagung: Aus Biogas wird Wasserstoff - Von der Biogasanlage zur Wasserstofftankstelle, Dortmund, 01.10.2020

Dr.-Ing. Andy Gradel*, Prof. Dr.-Ing. Tobias Plessing
andy.gradel@hof-university.de

Hochschule Hof, Institut für Wasser- und
Energiemanagement
Alfons-Goppel-Platz 1, 95028 Hof

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

ERGEBNISSE

LITERATUR



FACHGESPRÄCH I

Biogene Rest- und Abfallstoffe besser erschließen – Teil I

SCRCOAT

Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen

Mario König, Ingo Hartmann

BioWasteStirling

Langzeitbetriebserfahrung einer kleinskaligen Biomasse-KWK-Wirbelschichtfeuerung

Tanja Schneider, Dominik Müller, Jürgen Karl

Bio-Opti | Bio-Dyn

Sieb-OPTI

Biogut getrennt sammeln, optimal aufbereiten und hochwertig verwerten

Felix Richter, Michael Kern, Thomas Raussen, Thomas Turk, Werner Sprick, Axel Hüttner

GASASH

Thermo-chemische Konversion aschereicher Agrarreststoffe in einem Vergaser-BHKW

Thomas Schliermann, André Herrmann, Ingo Hartmann, Wolfgang Wiest, Jörg Ho, Frederik Köster, Georg Zimmermann

MoBiFuels

Einsatz von Parklaub als »sonstiger nachwachsender Rohstoff« gemäß § 3 (1) Nr. 13 der 1. BImSchV

Roman Adam, Lisa Röver, Florian Berger, Philipp Schneider, Thomas Zeng, Hans Werner, Volker Lenz

KWKplusBierkohle

Nachhaltige Grillkohleherstellung und Kraft-Wärme-Kopplung aus Biertrebern

Fabian Stenzel, Lars Droese, Hans-Peter Drexler

Anschließende Diskussion



SCRCOAT

Mario König, Ingo Hartmann

Fachgespräch I

12:30 – 14:00 Uhr

Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen**Keywords:**
Precoat, Gewebefilter, SCR, Praxisanlage, Biogene Reststoffe

Im Zuge der notwendigen Umstellung von einer fossil basierten Produktionsweise auf die Bioökonomie werden verstärkt verschiedene Holzsortimente und landwirtschaftliche Nutzpflanzen stofflich genutzt. Daher ist ein weiterer Ausbau der energetischen Biomassenutzung in Zukunft nur auf der Basis von biogenen Rest- und Abfallstoffen möglich. Bei der Verbrennung von biogenen Reststoffen können in Abhängigkeit von der jeweiligen Brennstoffzusammensetzung Feinstaub (PM), Stickoxide (NO_x), Chlorwasserstoff (HCl) und Schwefeldioxid (SO₂) in erhöhten Konzentrationen auftreten. Entsprechende Emissionsgrenzwerte sind in Deutschland aufgrund europäischer Vorgaben im Rahmen der 44. BImSchV verschärft worden, so dass deren Einhaltung häufig nur mit sekundären Emissionsminderungsmaßnahmen möglich ist. Verfahren zur Minderung dieser Schadstoffe sind heute nur für den Kraftwerksbereich verfügbar und können bei kleinen und mittleren Biomasseanlagen bis 5 MW thermischer Leistung nicht wirtschaftlich eingesetzt werden. Daher wurde ein Abgasreinigungsverfahren entwickelt und erprobt, das in dezentralen Biomasseanlagen wirtschaftlich eingesetzt werden kann,

ZIELSETZUNG

Ziel des Vorhabens war die Entwicklung und Erprobung eines Verfahrens zur Reduktion aller relevanten Schadstoffgruppen, welches wirtschaftlich an dezentralen Biomasseanlagen eingesetzt werden kann. Hierbei wird angestrebt, derzeit gültige und zukünftig verschärfte Grenzwerte sicher zu unterschreiten. Entsprechend wurden für das Projekt folgende Zielwerte (alle Emissionsangaben auf 6 Vol.-% O₂ bezogen) für das Reingas formuliert:

- Staub ≤ 10 mg/m³ i.N.
- NO_x ≤ 75 mg/m³ i.N.
- SO₂, HCl, NH₃ ≤ 10 mg/m³ i.N.

Die Erreichung dieser Zielwerte sollte an einer Pilotanlage und unter realen Bedingungen an einer Feldanlage demonstriert werden.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

- Staubfiltration an einem Gewebefilter mit Unterstützung durch Precoatierung
- Stickoxideminderung durch selektive katalytische Reduktion mittels katalytisch aktiver Filterschläuche
- Entwicklung und Demonstration eines kostengünstigen Dosiersystems für das Reduktionsmittel Harnstofflösung
- Entwicklung und Demonstration eines kostengünstigen Dosiersystems für das Precoatmaterial
- Entwicklung und Demonstration eines preiswerten Messsystems für NO_x

KONKRETE AKTIVITÄTEN

- Aufbau und Betrieb einer Laboranlage für die Untersuchung der Vorgänge bei der Precoatierung
- Verbrennungsversuche an einer Technikumsanlage (100 kW) zur Untersuchung der Precoat- und Reduktionsmitteldosierer sowie der notwendigen Temperaturen am Filter
- Aufbau und Betrieb einer Praxisanlage (300 kW) zur Demonstration der Wirksamkeit des Abgasreinigungsverfahrens unter Praxisbedingungen
- Durchführung ökonomischer und ökologischer Betrachtung

ERGEBNISSE

Kernstück der Abgasnachbehandlung ist ein Gewebefilter mit katalytisch aktiven Filterschläuchen, der eine kombinierte Reduzierung von PM und NO_x ermöglicht. Zur Einspritzung des Reduktionsmittels wurde eine Zweistromdüse direkt am Wärmetauscher montiert. Die Temperatur an dieser Stelle beträgt mehr als 300°C, was ausreicht, um das Reduktionsmittel Harnstofflösung durch Thermolyse vollständig in NH₃ und HNCO zu zersetzen. Die exakte Dosierung von sehr geringen Mengen der Harnstofflösung wurde mit einem Mass Flow Controller realisiert. Durch die Einbringung von Kalkhydrat vor dem Gewebefilter werden mittels Trockensorption saure Abgasbestandteile wie SO₂ und HCl reduziert. Dies hilft zum einen bestehende Grenzwerte

einzuhalten und bietet zum anderen eine integrierte Schutzmöglichkeit für den SCR-Katalysator vor einer schnellen chemischen Desaktivierung. Darüber hinaus wird mit der Precoatierung des Gewebefilters eine Erhöhung des Staubabscheidegrades erreicht, da auch sehr kleine Staubpartikel am aufgebauten Filterkuchen abgeschieden werden. Das Precoatmaterial (Kalkhydrat) wurde direkt nach dem Zyklon mit einem Spiraldosierer in das Abgas eingebracht. Nachfolgend sind beispielhaft in Abbildung 1 die Ergebnisse der Feldmessungen an der Praxisanlage für die Brennstoffe Strohpellets und Laubpellets dargestellt.

Mit dem precoatierten Gewebefilter wurden PM-Reduktionsraten von bis zu 99% erreicht. Für beide Brennstoffe wurde NO_x um 45% reduziert. Die NO_x-Minderung wurde durch die am Filter/SCR-Katalysator erreichte Temperatur begrenzt. Um hohe Effizienzverluste zu vermeiden, wurden nur Abgastemperaturen bis 200°C untersucht.

Aufgrund anfänglicher Probleme mit dem Dosiersystem für das Precoat-Material konnte in der Feldanlage nur eine geringe SO₂-Reduktion von 16% mit Strohpellets erreicht werden. In der Pilotanlage wurde durch Precoatierung des Gewebefilters eine SO₂-Reduktion von ca. 75% erreicht. Bei der Feldanlage mit den Laubpellets wurde eine maximale SO₂-Minderung von 55% erreicht.

HCl konnte durch die Eindüsung des Reduktionsmittels und durch Einsatz von Precoatmaterial reduziert werden. Die Minderung von HCl durch Harnstofflösung kann durch die Bildung von Ammoniumchlorid (NH₄Cl) erklärt werden. Durch die Kombination von Harnstofflösung und Precoatmaterial wird eine HCl-Minderung von bis zu 90% erreicht.

Zusätzlich zu den Verbrennungsversuchen wurde eine ökonomische und ökologische Bewertung durchgeführt. Es wurde festgestellt, dass sich die Wärmegestehungskosten an einem 400 kW Strohkessel durch die Investitions- und Betriebskosten, die durch den Abgasreinigungsprozess entstehen, um ca. 1 Cent/kWh erhöhen. Zusätzliche Treibhausgasemissionen entstehen in geringem Umfang durch den Abgasreinigungsprozess, da die Herstellung von Reduktionsmitteln und Precoatmaterial sowie der Betrieb der Anlagenteile zusätzliche Energie erfordern. Der Anteil an den gesamten Treibhausgasemissionen ist jedoch relativ gering. Zum Beispiel spart ein 400-kW-Strohkessel im Vergleich zur fossilen Referenz (Mix aus Erdgas und Öl) ohne Abgasreinigung 88% der THG-Emissionen ein, mit Abgasreinigung beträgt die Einsparung immer noch 86%.

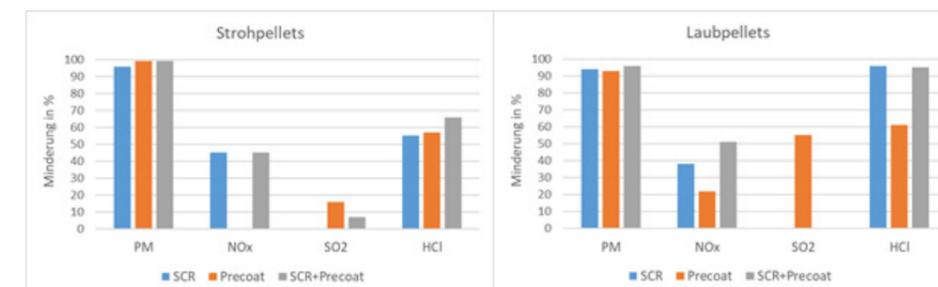


Abbildung 1:
Durch einzelne und kombinierte Maßnahmen erreichte Emissionsminderung (300 kW Feldanlage)

03KB128 SCRCOAT

Optimierung und Validierung von Verfahren zur kombinierten Reduktion von Feinstaub und sauren Schadgasen an Biomassefeuerungen

Mario König, Prof. Dr. rer. nat. Ingo Hartmann
mario.koenig@dbfz.de
ingo.hartmann@dbfz.de

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig



BioWasteStirling

Fachgespräch I

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:

**Wirbelschichtfeuerung,
Kraft-Wärme-Kopplung,
Stirlingmotor, Biomasse,
biogene Reststoffe**

Tanja Schneider, Dominik Müller, Jürgen Karl

»BioWasteStirling« – Langzeitbetriebserfahrung einer kleinskaligen Biomasse-KWK-Wirbelschichtfeuerung

Die Nutzung von biogenen Festbrennstoffen führt in herkömmlichen kleinskaligen Biomassefeuerungen, vor allem Rostfeuerungen, häufig zu ascheinduzierten Problemen. Durch die lokale Überschreitung niedriger Ascheschmelztemperaturen bilden sich Verschlackungen und Anbackungen an Kesselwänden und eingebrachten Wärmeübertragerflächen [1]. Diese reduzieren die auskoppelbare Wärme und erschweren die effektive Nutzung von biogenen Festbrennstoffen für die kleinskalige Kraft-Wärme-Kopplung. Die Begrenzung der Verbrennungstemperaturen durch einen höheren Luftüberschuss wirkt sich wiederum negativ auf den Feuerungswirkungsgrad aus.

Wirbelschichtfeuerungen bieten hingegen eine homogene Temperaturverteilung bei gleichzeitig gutem Wärmeübergang im Wirbelbett. Durch die Einbringung von Tauchheizflächen direkt in die Wirbelschicht entsteht in diesem Bereich eine gekühlte Verbrennung. Dadurch kann die Überschreitung von Ascheschmelztemperaturen effektiv verhindert werden, während gleichzeitig eine Senkung des Luftüberschusses möglich ist. Die hohe Brennstoffflexibilität und vergleichsweise hohe theoretische Wirkungsgrade ermöglichen daher die Erschließung von bisher ungenutzten biogenen Festbrennstoffen für die kleinskalige Strom- und Wärmeerzeugung [2].

KONZEPT

Basierend auf diesem Konzept wurde am Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik (EVT) eine effiziente, brennstoffflexible und skalierbare Mikro-KWK-Lösung im Pilotanlagenmaßstab entwickelt. Diese besteht aus einer 45 kW_{th} Wirbelschichtfeuerung und einem 5 kW_{el} Stirlingmotor von Frauscher Thermal Motors (s. Abbildung 1). Die Erhitzerkopfflächen des Stirlingmotors liegen direkt im Wirbelbett, wobei die hohe Wärmekapazität des Bettmaterials einen effizienten Wärmeübergang sowie eine homogene Temperaturverteilung sicherstellt. Mitgerissene Bettmaterialpartikel werden durch den liegenden Horizontalzyklon abgetrennt und in den Reaktor zurückgeführt. Die im Rauchgas enthaltene Feinfraktion, wie beispielsweise Asche, wird ebenfalls im Zyklon abgetrennt und gesondert aus dem System ausgetragen. Neben der Partikelabtrennung dient der Zyklon auch als Nachbrennkammer, über die wiederum die Verbrennungsluft vorgewärmt wird [3].

**FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE
ERGEBNISSE**

Gegenstand des Projekts »BioWasteStirling« war vor allem die Auslegung, Aufbau und Langzeiterprobung der vorgestellten Mikro-KWK-Lösung in einer Feldtestumgebung. Zunächst erfolgte allerdings eine umfassende Charakterisierung des Einflusses verschiedener Verbrennungs- und Stirlingmotorparameter auf die resultierenden Emissionen, die auskoppelbare Leistung sowie den elektrischen Wirkungsgrad in Laborumgebung des EVT [4].

Diese Laborergebnisse bestätigen, dass die geltenden Grenzwerte für CO- und Feinstaubemissionen der 1. BImSchV mit Holzpellets problemlos eingehalten werden können. Auch die Nennleistung des Stirlingmotors von 5 kW_{el} kann mit der Beheizung durch die Wirbelschichtfeuerung erreicht werden. Ein erster 72h-Dauerlauf im Labor zeigt außerdem, dass der elektrische Wirkungsgrad abhängig vom Lastbereich zwischen 13–16% variiert. Die Optimierung der Leistungsauskopplung im Teillastbereich, lässt auf eine leichte Überdimensionierung der Wirbelschichtfeuerung bzw. Leistungslimitierung durch den Motor schließen. Dies führt letztlich zu einer Verschiebung der Stromkennzahl je nach Lastbereich, da die nicht genutzte Wärme im nachgeschalteten Rauchgaswärmeübertrager ausgekoppelt wird. Schließlich konnten so Brennstoffausnutzungsgrade >85% realisiert werden und die Laborversuche damit erfolgreich abgeschlossen werden.

Zur Überführung in den Dauerlauf wurde für die Pilotanlage am Standort des Pelletswerks der WUNBioenergie GmbH eine autarke Containerumgebung aufgebaut (s. Abbildung 2). Die vorherigen vielversprechenden Ergebnisse mit Holzpellets konnten auch in der Feldtestumgebung bestätigt werden. Dennoch zeigte sich nach zwei Wochen Dauerlauf eine betriebszeitabhängige Erhöhung der CO-Emissionen, sowie die Ausbildung von Aschecoatings auf den Bettmaterialpartikeln. Gleichzeitig konnte beobachtet werden, dass teilweise überschüssiges Bettmaterial zusätzlich zur Brennstoffasche über den Zyklonaustrag abgeschieden wurde. Eine Regeneration des Bettmaterials ist für die Pilotanlage daher ohne ein zusätzliches aufwendiges Bettmaterialmanagement möglich.

Um den Einsatz von weiteren biogenen Festbrennstoffen in der kleinskaligen Wirbelschichtfeuerung zu untersuchen, kamen neben Holzpellets, Altholz- sowie NaWaRo-Pellets zum Einsatz. Wie zu erwarten, zeigten sich mit diesen holzartigen Festbrennstoffen ebenfalls keine ascheinduzierten Betriebsprobleme und eine Überführung in den Dauerlauf war uneingeschränkt möglich. Als Vertreter der biogenen Reststoffe wurden Klärschlamm-, Stroh- und Miscanthuspellets eingesetzt. Während des Betriebs mit den aschreichen Klärschlammpellets erwiesen sich vor allem zunehmende lockere Ascheablagerungen im Rauchgaszug als problematisch. Eine signifikante Anreicherung in der Wirbelschicht selbst konnte weitestgehend vermieden werden. Der Betrieb mit Stroh- bzw. Miscanthuspellets wies hingegen schnell anwachsende Anbackungen im Freeboard- und Zykloneinlassbereich auf, welche allerdings mit einem geeigneten Temperaturmanagement verringert werden konnte. Hinsichtlich der CO-Emissionen konnten je nach Brennstoff zumindest geeignete Betriebsfenster definiert werden. Die realisierten elektrischen Wirkungsgrade lagen für alle Brennstoffe >10%, wobei Anbackungen und Verschlackungen im Wirbelschichtbereich und an den Tauchheizflächen effektiv verhindert werden konnten.



Abbildung 1 (links):
Entwickelte Mikro-KWK-Pilotanlage (Darstellung ohne Instrumentierung und Dämmung)

Abbildung 2 (rechts):
Blick in den Betriebsraum des Feldtestcontainers mit Brennstoffvorlagebehälter und -schnecke (rechts), Rauchgaswärmeüberträger (Mitte, verdeckt Wirbelschichtreaktor) und Kühlkreislauf (links)

[1] Plankenbühler, T., Müller, D. & Karl, J. Abschlussbericht: 'FuelBand' -Erweiterung des Brennstoffbandes moderner Biomassefeuerungen (FKZ: 03KB069). (2016).

[2] Schneider, T., Müller, D. & Karl, J. A review of thermochemical biomass conversion combined with Stirling engines for the small-scale cogeneration of heat and power. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 134, (2020).

[3] Schneider, T., Müller, D. & Karl, J. Biomass conversion with a fluidized bed-fired Stirling engine in a micro-scale chp plant. in 26th European Biomass Conference and Exhibition Proceedings 630–634 (2018).

[4] Schneider, T., Ruf, F., Müller, D. & Karl, J. Performance of a fluidized bed-fired Stirling engine as micro-scale combined heat and power system on wood pellets. *Appl. Therm. Eng.* 189, (2021).

03KB122A BioWasteStirling

Verstromung von biogenen Reststoffen mit einem wirbelschichtgefeuerten Stirlingmotor

Tanja Schneider*, Dr.-Ing. Dominik Müller,
Prof. Dr. Jürgen Karl
tanja.t.schneider@fau.de

Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik,
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen Nürnberg
Fürther Straße 244f, 90429 Nürnberg

**LITERATUR**

Bio-Opti | Bio-Dyn

Sieb-OPTI

Fachgespräch I
12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
Biogut, Potenziale, Vergärung, Hemmnisanalyse, Siebreste

FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTEKONKRETE
MAßNAHMEN

ERGEBNISSE

Felix Richter, Michael Kern, Thomas Raussen, Thomas Turk, Werner Sprick, Axel Hüttner

Biogut getrennt sammeln, optimal aufbereiten und hochwertig verwerten

Die getrennte Bioabfallerfassung in Deutschland ist grundsätzlich eine Erfolgsgeschichte, steht aber weiterhin vor vielen Herausforderungen. Obwohl das deutsche Abfallrecht eine Getrennsammlung von überlassungspflichtigen Bioabfällen seit 01.01.2015 vorschreibt, werden vor allem küchenstämmige Bioabfälle privater Haushalte (Nahrungs- und Küchenabfälle, NuK) zu einem mehrheitlichen Anteil weiterhin über den Restmüll anstatt über die Biotonne als Biogut entsorgt (Kern und Siepenkoth, 2020). Als Folge davon stehen diese energie- und nährstoffreichen Substrate für eine hochwertige energetisch-stofflich Verwertung in integrierten Vergärungs- und Kompostierungsanlagen (vgl. Knappe et al., 2019) nicht zur Verfügung. Der Ausbau dieser hochwertigen Verwertung der in den Jahren 2006-2013 einen dynamischen Verlauf genommen hatte, geriet in den Folgejahren auf kommunaler Ebene ins Stocken, wobei in jüngerer Vergangenheit wieder ein dynamisches Wachstum zu beobachten ist. Darüber hinaus erfordern steigende Qualitätsanforderungen an Biogut-Komposte optimierte Lösungen für die Aufbereitung des Bioguts zur Fremdstoffentfrachtung sowie für die weitere Aufbereitung und Verwertung der dabei anfallenden Siebreste. In drei Forschungsvorhaben widmete sich die Witzhausen-Institut GmbH diesen Herausforderungen und erarbeitete entsprechende Lösungsansätze.

Die hier präsentierten Ergebnisse stammen überwiegend aus den drei Forschungsvorhaben »Bio-OPTI« (FKZ: 03KB105), »Bio-Dyn« (FKZ: 03KB108) und »Sieb-OPTI« (FKZ: 03KB140) sowie darüber hinaus aus weiteren Projekten der Witzhausen-Institut GmbH.

- Ermittlung der Potenziale und Entsorgungswege von Nahrungs- und Küchenabfällen (NUK)
- Optimierungsansätze zur Getrennterfassung von Biogut
- Identifikation und Analyse von Hemmnissen und Erfolgsfaktoren bei der Umsetzung von Projekten zur Vergärung von Biogut
- Optimierungsansätze bei der Behandlung und Fremdstoffentfrachtung von Biogut
- Innovative Aufbereitung und hochwertige Verwertung von Siebresten aus der Biogutbehandlung

- Abschätzung des technischen Potenzials an NuK in Deutschland: 80 kg/Einwohner (E) * Jahr (a), davon nur 20 % bzw. 16 kg/E*a getrennt über die Biotonne erfasst und 53 % über die Restmülltonne entsorgt (Abb. 1)
- Optimierungsansätze zur Steigerung der Erfassung von NuK in der Biotonne: Regelabfuhr im Holsystem (im Sommer wöchentlich), Anschluss- und Benutzungszwang (Eigenkompostierung nicht als Befreiungstatbestand), ohne zusätzliche Gebühr, alle NuK (auch Speisereste) erlauben, umfassende Öffentlichkeitsarbeit, regelmäßige Tonnenkontrollen auf Fremdstoffe und ggf. Sanktionen
- Mangelnde Wirtschaftlichkeit der Biogutvergärung wichtigstes Argument gegen die Realisierung einer Vergärungsanlage bei einer Befragung von öffentlich-rechtlichen Entsorgungsträgern, gefolgt von der Skepsis gegenüber den Möglichkeiten zur Vermarktung der Gärprodukte (Abb. 2)
- Optimierte Biogutbehandlung:
 - Aufbereitung vor der Vergärung bzw. Kompostierung, indem möglichst viele Fremdstoffe abgetrennt werden oder alternativ durch schonende Zerkleinerung in großen Korngrößen verbleiben, sodass sie spätestens bei der Kompostkonfektionierung abgetrennt werden können
 - Ausreichende, nicht zu knapp bemessene, Rotte- und Lagerkapazitäten und gegebenenfalls verfügbare Mengen an Struktur- und Organikmaterialien, um günstige Rahmenbedingungen für die Rotte und vor allem den Feuchteaustrag aus dem Kompost zu bieten, damit dieser leichter zu konfektionieren ist
 - Schonende Kompostumsetzung, um Fremdstoffe vor der Kompostkonfektionierung nicht zu zerkleinern
- Optimierte Siebrestbehandlung durch Mehrfachsiebung (nach zusätzlicher Rotte und biologischer Trocknung des Siebrests), Abscheidung von Leichtstoffen (z. B. mit Windsichter) und Schwerstoffen (z. B. mit Steinfaller) sowie hochwertiger Verwertung des gereinigten Siebrests auf energetische (Biomasseheiz(kraft)werk) oder stoffliche (Rückführung als Strukturmaterial) Weise

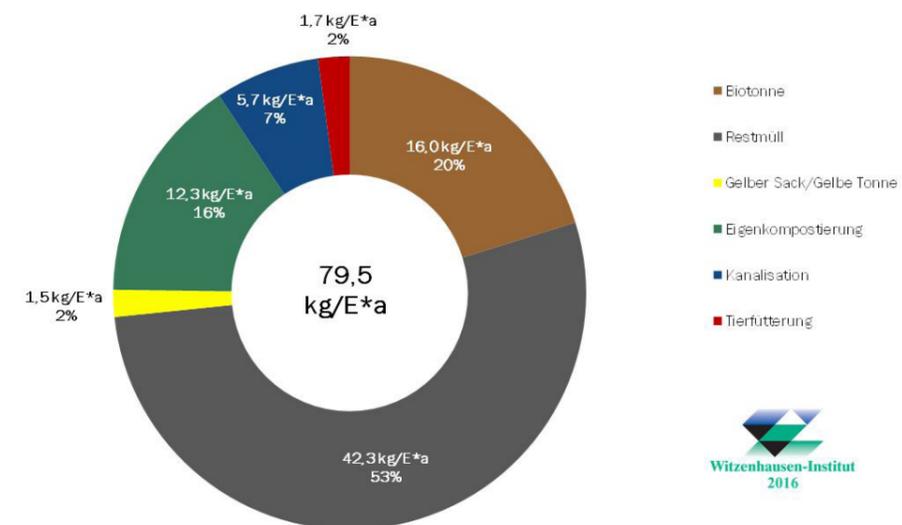


Abbildung 1:
Technische Potenziale an Nahrungs- und Küchenabfällen (NuK) in Deutschland nach gegenwärtigen Entsorgungswegen

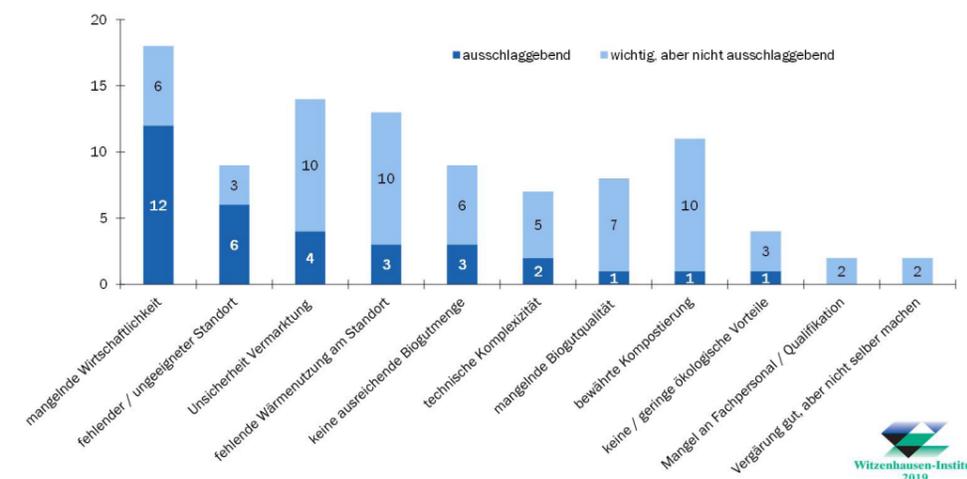


Abbildung 2:
Zusammenstellung der ausschlaggebenden Argumente GEGEN die Realisierung einer Biogutvergärungsanlage (Anzahl Nennungen von 21 befragten Studienteilnehmern ohne Vergärungsanlage)

[1] KERN, M.; SIEPENKOTHEN, H.-J. (2020): Stand und Potenziale der Biogutverwertung in Deutschland. In: Müll und Abfall 03-2020, pp. 125-130.

[2] KNAPPE, F.; REINHARDT, J.; KERN, M.; TURK, T.; RAUSSEN, T.; KRUSE, S.; HÜTTNER, A. (2019): Ermittlung von Kriterien für eine hochwertige Verwertung von Bioabfällen und Ermittlung von Anforderungen an den Anlagenbestand. TEXTE 49/2019. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau.

03KB105 Bio-OPTI

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

03KB108 Bio-Dyn

Hemmnisanalyse für den dynamisierten Ausbau der Vergärung kommunalen Bioguts in Deutschland

03KB140 Sieb-OPTI

Optimierte Verwertung von Siebresten aus Biogutvergärungs- und -kompostierungsanlagen

Dr. Felix Richter*, Dr. Michael Kern, Thomas Raussen, Thomas Turk, Werner Sprick, Axel Hüttner
f.richter@witzhausen-institut.de

Witzhausen-Institut für Abfall, Umwelt und Energie GmbH
Werner-Eisenberg-Weg 1, 37213 Witzhausen



LITERATUR

GASASH

Fachgespräch I

12:30 – 14:00 Uhr

Thomas Schliermann, André Herrmann, Ingo Hartmann, Wolfgang Wiest, Jörg Ho, Frederik Köster, Georg Zimmermann

Thermo-chemische Konversion aschereicher Agrarreststoffe in einem Vergaser-BHKW

Keywords:
Agrarreststoffe,
BHKW, Vergasung,
Aschenutzung,
Emissionsminderung

Landwirtschaftliche Reststoffe wie Gärreste oder Reisspelzen fallen in großen Mengen an und stellen unzureichend genutzte Ressourcen mit hohem Potential dar. Aufgrund der Komplexität der Verwertungspfade, die neben der eigentlichen Technologie auch weiter gefasste Fragen zur Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit umfassen, besteht fortwährender Bedarf an innovativen Strategien zur Verbesserung der gesamten Verwertungskette. Ein im Rahmen des GASASH-Projektes verfolgter Nutzungspfad besteht in der kombinierten energetischen und stofflichen Verwertung dieser aschereichen Reststoffe unter Einsatz von Vergaser-BHKW-Anlagen. Aufgrund der in den Agrarreststoffen enthaltenen vielfältigen Beistoffe ergeben sich im Vergleich zum Vergaserbetrieb mit Holz bei der thermischen Konversion derartiger Biomassen zusätzliche Anforderungen wie z. B. hohe Ascheanteile, Aschekristallisation, erniedrigte Ascheerweichungstemperaturen und erhöhte Emissionen, die bei der Auslegung und Entwicklung der Technologie berücksichtigt werden müssen. Viele der genannten Herausforderungen bei der thermischen Umsetzung aschereicher Reststoffe hängen maßgeblich von den Konversionstemperaturen ab. Ein wesentliches Ziel des Projektes ist daher, eine Vergaser-BHKW-Anlage zu entwickeln, bei der der Vergaserbetrieb bei flexiblen Temperaturen möglich ist, so dass auch aschereiche alternative Reststoffe in der Praxis einsetzbar und verwertbar sind und somit die Ressource Agrarreststoffe weiter erschlossen werden kann. Durch solch eine flexible Anlage soll die Brennstoffvariabilität wesentlich erhöht werden. Es erfolgt eine Gesamtprozessentwicklung aus Vergaser und BHKW und der Betrieb wird hinsichtlich der Produktgasqualität und den BHKW-Emissionen optimiert sowie Verwertungsmöglichkeiten für die anfallenden Aschen untersucht. Eine Inwertsetzung der anfallenden Aschen ist besonders für siliciumreiche Reststoffe wie Reisspelzen angestrebt.

Im Beitrag sollen vor allem Ergebnisse hinsichtlich der finalen Iteration der entwickelten Anlage vorgestellt werden für Referenzbrennstoff Holz und alternativer Biomasse Gärreste. Inhaltliche Schwerpunkte sind basierend auf einer abschließenden Messkampagne die Bilanzierung nach Methodenhandbuch, erzielte Produktgasqualitäten und die Verifizierung des stabilen und temperatur-flexiblen Betriebs.

03KB139 GASASH

Thermo-chemische Konversion von Reststoffen in einem Vergaser-BHKW mit gekoppelter Aschegewinnung

Thomas Schliermann^{1*}, André Herrmann¹,
 Ingo Hartmann¹, Wolfgang Wiest², Jörg Ho²,
 Frederik Köster³, Georg Zimmermann³
 thomas.schliermann@dbfz.de

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH

Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig

² Fachhochschule Südwestfalen

Standort Meschede, Ingenieur- und
 Wirtschaftswissenschaften

Jahnstraße 23, 59872 Meschede

³ LiPRO Energy GmbH & Co. KG,
 Schottweg 31, 27798 Hude (Oldenburg)

Roman Adam, Lisa Röver, Florian Berger, Philipp Schneider, Thomas Zeng, Hans Werner, Volker Lenz

Einsatz von Parklaub als »sonstiger nachwachsender Rohstoff« gemäß § 3 (1) Nr. 13 der 1. BImSchV

Zum Erreichen der Klimaschutzziele bis 2030/2050 muss der Energiesektor sowohl hinsichtlich der Bereitstellung von Strom, als auch in Bezug auf die Wärmeversorgung einem Wandel von fossilen hin zu regenerativen Energieträgern durchlaufen. Während im Stromsektor bereits 2018 durch erneuerbare Energie ein Anteil von 37,8% [1] bereitgestellt wurde, fällt der Anteil an erneuerbarer Wärme mit 13,9 % [1] verhältnismäßig niedrig aus. Beim Ausbau der erneuerbaren Wärmeenergie fehlen unter anderem alternative Brennstoffe, die es ermöglichen große Mengen an fossilen Energieträgern zu ersetzen. Zeitgleich führt die Weiterentwicklung der Bioökonomie zu einem steigenden Bedarf an vor allem qualitativ hochwertiger und homogener Biomasse, weshalb sich die Nachfrage Schritt für Schritt auf verschiedenste biogene Rohstoffe ausweitet. Die verstärkte Nutzung von Holz als Konstruktionswerkstoff nicht nur in Stammholzqualität sondern zunehmend auch in Brettschichtholz und anderen neuen Werkstoffen (z.B. WPC) fällt ebenfalls darunter, wodurch dessen Verfügbarkeit als Festbrennstoff in Zukunft eher ab- als zunehmen wird. Um die entstehende Lücke zu schließen, kann bei der Herstellung von Brennstoffen verstärkt auf Rest- oder Abfallstoffe, wie beispielsweise Parklaub zurückgegriffen werden.

Entscheidend bei der Nutzung von Rest- oder Abfallstoffen als Brennstoff sind abfall- und immissionsrechtlich fragliche Fragestellungen. Parklaub, welches mit dem Verfahren der Florafuel AG in Grasbrunn aufbereitet wurde, hat laut Landratsamt München [2] alle Voraussetzungen des § 5 KrWG erfüllt. Damit hat es die Abfalleigenschaft verloren und könnte unter anderem in Kleinfeuerungsanlagen unter 100 kW_{FWL} gemäß der 1. BImSchV [3] unter Einhaltung der damit verbundenen strengen Vorgaben eingesetzt werden. Die Regelungen für den Betrieb von Kesselanlagen mit neuartigem Brennstoff finden sich im § 3 (5) der 1. BImSchV sowie in der ergänzenden Vollzugsempfehlung [4] vom 23.06.2017.

Aus den Erfahrungen bei der Herstellung von Prüfbrennstoffen aus Stroh und Getreidekorn für die Regelbrennstoffgruppe nach § 3 (1) Nr.8 der 1. BImSchV [5] ist bekannt, dass die Einhaltung brennstoffbezogener Anforderungen und emissionsseitiger Grenzwerte bei der Verbrennung mit zahlreichen Herausforderungen verbunden ist. Im Beitrag wird die Brennstoffherstellung und die damit verbundenen Hemmnisse insbesondere bei der Einhaltung der Grenzwerte der ISO 17225 6 [6] aufgezeigt und erörtert. Weiterführend werden die Erfahrungen aus dem Genehmigungsprozess sowie die Ergebnisse der voraussichtlich im September 2021 durchgeführten Typprüfung mit dem pelletiertem Parklaub dargelegt und diskutiert. Abschließend werden die Anforderungen für das einjährige Messprogramm, welches im Oktober 2021 startet, gegeben werden.

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2017; 2018.

[2] Bescheid vom 19.12.2019: Fachbereich 4.4.1 – Immissionsschutz, staatliches Abfallrecht und Altlasten, Frankenthaler Str. 5 – 9, 81539 München

[3] Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen - 1. Bundesimmissionsschutzverordnung; 1. BImSchV; 2010.

[4] Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz. Auslegungsfragen/Vollzugsempfehlungen/Hinweise zur Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen (1.BImSchV) (23.06.2017); 2017.

[5] Adam R, Zeng T, Ulbricht T, Kirsten C, Schneider P, Dobler U et al. Erfolgreiche Demonstration des Prüfbrennstoffkonzeptes zum Einsatz nicht-holzartiger Festbrennstoffe im Geltungsbereich der 1. BImSchV. Müll und Abfall 2020(7). <https://doi.org/10.37307/j.1863-9763.2020.07.06>

[6] DIN. Solid biofuels –Fuel specifications and classes –Part 6: Graded non-woody pellets;27.190; 75.160.10(17225-6). Berlin: Beuth; 2014

03KB136A MoBiFuels

Analyse und Beseitigung von Markthemmnissen von technisch modifizierten Bioenergieträgern

Roman Adam¹, Lisa Röver¹, Florian Berger²,
 Philipp Schneider³, Thomas Zeng¹, Hans Werner²,
 Volker Lenz¹
 roman.adam@dbfz.de, lisa.roever@dbfz.de

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH, Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig +49-341 2434-550

² Florafuel AG, Stahlgruberring 7a, 81829 München +4989-45 10 88 15, florian.berger@florafuel.de

³ A.P. Bioenergietechnik GmbH, Träglhof 6, 92242 Hirschau, Tel.: +49 9608-92 301 28, p.schneider@oeko-therm.net

MoBiFuels

Fachgespräch I

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:
Kohlenstoffkreislauf,
organische Chemie,
stoffliche Verwertung,
Bioabfälle, Bioreststoffe

LITERATUR

KWKplusBierkohle

Fachgespräch I

12:30 – 14:00 Uhr

Fabian Stenzel, Lars Droese, Hans-Peter Drexler

Nachhaltige Grillkohleherstellung und Kraft-Wärme-Kopplung aus Biertrebern

Keywords:
**Biertreber, KWK,
 Grillkohle, TCR®,
 THG-Einsparung**

Der Bierausstoß im Jahr 2019 betrug in Deutschland etwa 92,2 Mio. Hektoliter und weltweit in der gleichen Zeit etwa 1,9 Mrd. Hektoliter. Je Hektoliter Bier fallen etwa 22 kg Biertreber mit einem Trockenmassegehalt von 24-28 % an. Damit ergeben sich für Deutschland etwa 2 Mio. t und weltweit 42 Mio. t an nassen, leicht verderblichen Biertrebern.

Der derzeitige Hauptverwertungsweg ist die Landwirtschaft. Dort wird Biertreber als Futtermittel eingesetzt. Jedoch unterliegt diese Abnahme saisonalen Schwankungen und vor allem Großbrauereien haben Schwierigkeiten die kompletten Mengen entsprechend ihrem Aufkommen in der Landwirtschaft unterzubringen. Daher gab und gibt es Überlegungen diese Treber energetisch zu nutzen, zum Beispiel um die Brauereien selbst unabhängiger und klimaneutraler zu machen.

Ziel des Demonstrationsprojekts war daher die Steigerung der Energieeffizienz und somit die Verringerung des CO₂-Ausstoßes von Brauereien durch die Erzeugung von erneuerbarem Strom und Wärme aus Biertrebern. Zudem sollte die Unabhängigkeit bezüglich des Absatzes von Biertreber als Viehfutter erhöht sowie die Gewinnung von Karbonisat und dessen Weiterverarbeitung zu qualitativ hochwertigen Grillkohlebriketts zur Optimierung der Gesamtwirtschaftlichkeit demonstriert werden, um so eine langfristig gesicherte und nachhaltige Lösung der Biertreberentsorgung für Brauereien aufzuzeigen.

Bei dem hier beschriebenen Ansatz wird entwässertes Biertreber aus einer Brauerei an einer landwirtschaftlichen Biogasanlage getrocknet und im Thermo-Katalytischen Reforming (TCR®) einer Entwicklung von Fraunhofer UMSICHT zu Gas, Öl und Karbonisat umgesetzt. Öl und Gas werden zur Strom- und Wärmeerzeugung (KWK) auf einem BHKW eingesetzt. Das Karbonisat wird zu Grillkohle verarbeitet. Im Rahmen des Projekts wurden zu Beginn Kleinversuche an einer TCR-Anlage mit 2 kg/h durchgeführt, um die optimalen Betriebsparameter zu identifizieren. Die Zielgröße war dabei eine möglichst hohe Karbonisatausbeute zu erhalten. Allerdings musste die Qualität des Karbonisats den Anforderungen der Norm DIN EN 1860-2 (Geräte, feste Brennstoffe und Anzündhilfen zum Grillen – Teil 2: Grill-Holzkohle und Grill-Holzkohlebriketts – Anforderungen und Prüfverfahren) genügen. Darüber hinaus mussten auch Öl und Gas zur Strom- und Wärmeerzeugung geeignet sein. Im Anschluss folgten die Großversuche auf einer TCR-Anlage mit 30 kg/h Durchsatz. Dafür wurden vom Verbundpartner Brauerei Schneider Weisse 27 t entwässerte Biertreber bereitgestellt, die an der Biogasanlage auf 90 % TS getrocknet wurden.

Insgesamt wurde knapp eine Tonne Karbonisat hergestellt. Dieses wurde an den Projektpartner Holzkohlewerk Lüneburg gegeben, um eine geeignete Rezeptur für die Herstellung der Briketts zu ermitteln. Die erzeugten Grillkohlebriketts haben die Anforderungen der DIN EN 1860-2 sowie der DINplus erfüllt. Da diese Normen keine Grenzwerte in Bezug auf mögliche Schadstoffe enthalten, wurde das Karbonisat hinsichtlich der Anforderungen des European Biochar Certificate untersucht. Das Ergebnis der Analysen zeigte, dass die Anforderungen für Premium-Qualität erfüllt wurden.

Ebenso wurden Öl und Gas auf ihre Eigenschaften hin analysiert. Vor allem der Heizwert ist hier ein entscheidendes Kriterium für die weitere energetische Nutzung. Die Heizwerte für Gas mit etwa 19 MJ/kg sowie für Öl mit 30-33 MJ/kg bestätigten die grundsätzliche Eignung. Allerdings weist das TCR-Öl einen relativ hohen Stickstoffgehalt mit etwa 9 Ma-% auf, der bei der energetischen Nutzung zu hohen NO_x-Emissionen führen kann. Die Versuche im BHKW bestätigten diese Vermutung. Hier wurden verschiedene Mischungen aus TCR-Öl mit Rapsölmethylester (RME) im Vergleich zu reinem RME getestet. Der Grenzwert nach 44. BImSchV (Verordnung über mittelgroße Feuerungs-, Gasturbinen- und Verbrennungsmotoranlagen) wurde dabei signifikant überschritten. Dem muss mit einer zusätzlichen Entstickungseinheit entgegen gewirkt werden.

Für die Untersuchungen zur Integration der energetischen Treber-Verwertung mittels TCR wurde eine Szenario-Analyse durchgeführt. Dabei unterschieden sich die Szenarien u.a. hinsichtlich des Standorts der TCR. Hier wurde sowohl die energetische Integration in die Brauerei als auch in das Holzkohlewerk näher betrachtet. Bei beiden Standorten kann nicht der gesamte Energiebedarf durch die Verwertung des

Trebers der Brauerei Schneider Weisse gedeckt werden. Allerdings ist es möglich in der Brauerei die gesamte Wärmespitzenlast abzudecken und somit komplett auf fossile Brennstoffe zu verzichten. Darüber hinaus ließen sich etwa 17% des Strombedarfs und knapp 60-80% des Niedertemperaturwärmebedarfs decken. Am Standort des Holzkohlewerks zeigte sich in einem Szenario, dass 40 % der gesamten Trocknungswärme gedeckt werden könnten, wodurch entsprechend fossiles Heizöl substituiert würde. Im zweiten Szenario konnte gezeigt werden, dass nahezu der gesamte Strombedarf und knapp ein Viertel der Trocknungswärme substituierbar wären.

Hinsichtlich der Treibhausgaseinsparung zeigte der Brauereistandort das geringere Potenzial. Dies liegt allerdings daran, dass der Großteil der Wärme bereits über die Verbrennung von Holzhackschnitzeln bereitgestellt wird. Überträgt man diesen Ansatz auf eine Brauerei, deren Energiebereitstellung derzeit komplett auf fossilen Energieträgern beruht, erhöht sich das Potenzial entsprechend. Höheres Potenzial zeigten dagegen die Szenarien am Holzkohlewerk, wobei die reine Bereitstellung von Trocknungswärme mit leichtem Vorsprung das höchste Einsparpotenzial aufwies.

Aus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ergab sich, dass alle Szenarien wirtschaftlich darstellbar sind, sofern es keine gesicherte Abnahme für die Biertreber in der Landwirtschaft gibt. Aktuell erhält die Brauerei Schneider Weisse im Mittel 25,50 €/t Nasstreber von den Landwirten. Rechnet man dies gegen die Erlöse der Szenarien, zeigt sich unter den hier angenommenen Randbedingungen nur noch die KWK-Nutzung am Standort des Holzkohlewerks als wirtschaftlich machbar.

Die thermochemische Konversion von Biertrebern im TCR-Verfahren hat gezeigt, dass die entstandenen Zwischenprodukte Öl und Gas für die Strom- und Wärmeerzeugung geeignet sind. Es lassen sich somit fossile Energieträger einsparen, was zu einer signifikanten Reduktion der THG-Emissionen führt. Das erzeugte Karbonisat erfüllt die Normen für die Herstellung von Grillkohle und kann somit die natürliche Ressource Holz substituieren. Zudem bringt das Konzept Entsorgungssicherheit für die Brauereien. Allerdings reicht der Energiegehalt von Öl und Gas aus den Biertrebern nicht aus, um den gesamten Energiebedarf der Brauerei zu decken. Findet die energetische Verwertung am Standort des Holzkohlewerks statt, könnten Treber von mehreren Brauereien eingesetzt werden, sodass eine vollständige Eigenbedarfsdeckung erreicht werden könnte. Die Wirtschaftlichkeit muss jedoch für jedes Projekt genau geprüft werden. Vor allem die Abnahmepreise für die Biertreber in der Landwirtschaft als auch für das Karbonisat zur Grillkohleherstellung nehmen einen großen Einfluss.

03KB146 KWKplusBierkohle

Ökonomische Energieeffizienzsteigerung im Brauprozess durch Kraft-Wärme-Kopplung und klimaneutrale Grillkohleherstellung aus Biertrebern

Fabian Stenzel¹, Lars Droese², Hans-Peter Drexler³
 Fabian.stenzel@umsicht.fraunhofer.de

¹ Fraunhofer Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT, Institutsteil Sulzbach-Rosenberg
 An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg, Deutschland

² Holzkohlewerk Lüneburg, Zweigniederlassung der IB Holzkohle Vertriebsgesellschaft mbH, Otto-Brenner-Straße 7, 21337 Lüneburg

³ Brauerei Schneider Weisse G. Schneider & Sohn GmbH, Emil-Ott-Straße 1-5, 93309 Kelheim



FACHGESPRÄCH II

Effizient Strom und Wärme erzeugen

FlexSOFC

EIS in-situ Untersuchungen an einem SOFC-Stack bei Betrieb mit biogenem Brenngas

Federica Torrigino, Fabian Grimm, Jürgen Karl

THEAsmart - Thermische Energierückgewinnung aus Abwärme durch Smart Materials

Jens Kneifel, Moritz Langhoff, Simon Horn, Romina Krieg, Ralf Theiß, Peter Dültgen, Nina Spanke

SNuKR

Systemdienlicher Betrieb von kleinen Biomasse-BHKW

Daniel Büchner, Steffi Theurich, Christian Schraube

GVAGR-SYSTEM

Gestufte Verbrennung in automatisch beschickten Biomassefeuerungsanlagen zur thermischen Verwertung von biogenen und Restbrennstoffen

Mohammad Aleysa, Souha Meriee, Martin Ecker

FeBio

Mit Pferdemist eine Biogasanlage betreiben

Joachim Pertagnol, Michael Porzig

Anschließende Diskussion



FlexSOFC

Federica Torrigino, Fabian Grimm, Jürgen Karl

Fachgespräch II

12:30 – 14:00 Uhr

EIS in-situ Untersuchungen an einem SOFC-Stack bei Betrieb mit biogenem Brenngas

Keywords:
SOFC,
elektrochemische
Impedanzspektroskopie(EIS),
Holzvergasung

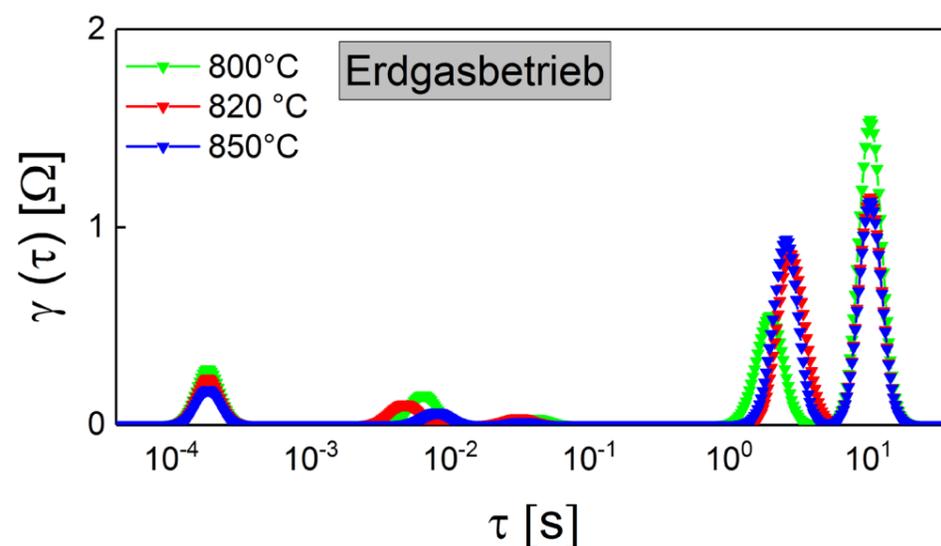
Im Bereich der Stromerzeugung stellt die Brennstoffzellen eine umweltfreundliche Erzeugungstechnologie daPotential an. Insbesondere zeichnen sich die Festoxidbrennstoffzellen (engl.: solid oxide fuel cell; SOFC) (Betriebstemperatur: 650–1000 °C) durch eine flexible Brennstoffzufuhr (H_2 , CH_4 , ...) und durch sehr hohe Wirkungsgrade ab (η_{el} =60% [1,2]; η_{th} =37,5% [3]). Wegen der geringen Leistungsdichte einer Einzelzelle (1 W/cm²) werden in technischen Anwendungen häufig mehrere Zellen in Reihe geschaltet bzw. zu einem Brennstoffzell-Stack gestapelt [4]. Dieser Beitrag entsteht im Rahmen des BMWi-Forschungsprojektes »FlexSOFC« am Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. In enger Zusammenarbeit mit der Firma NOVUM Engineering GmbH wurde ein kommerzieller SOFC Stack (Galileo 1000 N, Hexis AG) durch die elektrochemische Impedanzspektroskopie (NOVUM power converter, NOVUM Engineering GmbH) in-situ untersucht, analysiert und charakterisiert.

Ungünstige Betriebsbedingungen oder schwankende Gasqualität führen zu verschiedenen Degradationseffekten wie beispielsweise der Nickeloxidation und Nickelagglomeration an der Anode. Die beschriebenen Degradationseffekte führen zu stark reduzierten SOFC-Lebensdauern [5,6]. Die elektrochemische Impedanz-Messungen (Frequenzbereich 0.13 Hz-10 kHz, Erregungsströme 100–180 mA) ermöglicht zerstörungsfrei die Durchführung einer Online-Diagnostik zur Detektion der kritischen Betriebsbedingungen sowie der Degradationsprozesse. Jeder physikalische Prozess in einem elektrochemischen System, bzw. in der SOFC, ist durch eine Zeitkonstante τ gekennzeichnet, die als Relaxationszeit bezeichnet wird und Informationen über die Geschwindigkeit, mit der ein Prozess abläuft, enthält. Eine Analyse der aufgenommenen Impedanz Spektren hinsichtlich der Verteilung der Relaxationszeiten (DRT) ermöglicht eine genaue Interpretation der Ergebnisse und die Identifizierung der verschiedenen SOFC-Prozesse. In Abbildung 1 ist ein DRT-Plot bei Betrieb mit Erdgas bei verschiedenen Temperaturen (800 °C, 820 °C, 850 °C) des Stacks dargestellt. Die Ergebnisse fokussieren sich auf die Variation von dem Brenngas-Volumenstroms, der Betriebstemperatur und der Stromdichte im Betrieb mit Erdgas. Neben Erdgas wurden verschiedene zusätzlich Brenngase wie Wasserstoff, synthetische Gasgemische (H_2 , CO , CO_2 , N_2) und reales Holzgas (produziert aus einem Laborvergaser) untersucht und analysiert. Mit Hilfe der EIS-Ergebnisse und deren Analyse können so die Stack-Betriebsbedingungen optimal eingestellt werden, um mögliche Degradationserscheinungen zu vermeiden.

Webseite: <https://www.evt.tf.fau.eu/research/schwerpunkte/2nd-generation-fuels/bmwi-projekt-flexsofc/>

**WEITERE
INFORMATIONEN**

Abbildung 1:
DRT-plot beim Betrieb mit
Erdgas bei verschiedenen
Temperaturen



- [1] F. B NORBERT H. MENZLER: Festoxid-Brennstoffzellen - SOFC, 2020, <https://www.fz-juelich.de>
[2] PAYNE R., LOVE J., KAH M., ECS Trans. 25 (2009) 231–239.
[3] FACCI A.L., CIGIOTTI V., JANNELLI E., UBERTINI S., Applied Energy 192 (2017) 563–574.
[4] O'HAYRE, RYAN P.; CHA, SUK-WON; COLELLA, WHITNEY G.; PRINZ, F. B. (2016): Fuel cell fundamentals
[5] HERRMANN T., DILLIG M., HAUTH M., KARL J. (2016): Conversion of tars on solid oxide fuel cell anodes and its impact on voltages and current
[6] HAUTH M. (2011): Detection of biomass tar using an SOFC

LITERATUR**03KB112A-FlexSOFC**

Verwertung biogener Schwachgase schwankender
Qualität in SOFCs

M.Sc. Federica Torrigino*,
Fabian Grimm, Prof. Dr. Jürgen Karl
federica.torriginofau.de

Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg,
Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik,
Fürther Straße 244f
90429, Nürnberg



Fachgespräch II
12:30 – 14:00 Uhr

Jens Kneifel, Moritz Langhoff, Simon Horn, Romina Krieg, Ralf Theiß, Peter Dültgen, Nina Spanke

THEAsmart - Thermische Energierückgewinnung aus Abwärme durch Smart Materials

Keywords:
Smart Materials, Nitinol, Energierückgewinnung, Formgedächtnislegierung, Abwärme

Abwärme aus Industrie, Gewerbe, Haushalten sowie die solare Energieerzeugung stellen ein großes Energiepotenzial sowohl in Deutschland als auch weltweit dar. Große Mengen fossiler Energieträger könnten eingespart werden, wenn diese Abwärme effizienter genutzt werden könnte. Allein in Nordrhein-Westfalen gibt es laut einer Studie des LANUV ein technisch verwertbares Potenzial in Höhe von 44 bis 48 TWh/a [1]: Bei vollständiger Nutzung des technisch verfügbaren Potenzials ließen sich, je nach Technologie, jährlich 7 bis 13 Millionen Tonnen CO₂ vermeiden. Um dieses Potenzial auch nur ansatzweise erreichen zu können, werden voraussichtlich verschiedenste Technologien zum Einsatz kommen müssen. Besonders Abwärme in niedrigen Temperaturbereichen zwischen 20-100°C stellt dabei eine besonders hohe Herausforderung dar – gleichwohl steckt in diesem Temperaturbereich ein hoher Energieverlust. Genau dieser Temperaturbereich kann mit Formgedächtnis (FG)-Systemen nutzbar gemacht werden, was bisher mit bestehenden anderen technischen Lösungen nur eingeschränkt möglich ist.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Im Vorhaben »Thermische Energierückgewinnung aus Abwärme durch Smart Materials – THEAsmart« (EFRE-0800587) wurden zwei Forschungsschwerpunkte betrachtet: »FGL-Energy-Harvester« und »FGL-Fluid-Pumpe«. Ziel des Schwerpunktes »FGL-Energy-Harvester« war die Weiterentwicklung einer Wärmekraftmaschine, die mittels FG-Aktoren Abwärme zur Erzeugung von elektrischer Energie nutzbar macht. Im entwickelten System wird ein FG-Aktorpaar abwechselnd mit warmen und kalten Medien umspült, sodass die verwendeten FG-Federn aktiviert werden und somit thermische Energie in kinetische Energie gewandelt wird, welche wiederum in universell nutzbare elektrische Energie gewandelt werden kann. Im Schwerpunkt »FGL-Fluid-Pumpe« wurde eine Pumpe entwickelt, welche mittels thermisch aktiviertem Formgedächtnisdraht angetrieben wird. Die Pumpbewegung wird durch warmes und kaltes Fluid initiiert. Entsprechend ist keine extern zugeführte elektrische Energie nötig. Damit gelang die Entwicklung eines einzigartigen Pumpenkonzepts.

AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

Im Rahmen des Vorhabens wurden die grundlegenden Rahmenbedingungen, Wirkungszusammenhänge aber auch Grenzen der technischen Nutzbarkeit aufgezeigt. Gleichwohl wurden Potenziale identifiziert, die eine Nutzung von (Rest-) Wärmequellen mit Hilfe von FG-Systemen in verschiedenen Anwendungen technisch möglich, wirtschaftlich tragfähig und ökologisch sinnvoll erscheinen lassen.

Im weiteren Verlauf sollen in einem Folgeprojekt zwei Kernansätze weiter erforscht und in Demonstrationsvorhaben prototypisch vorgestellt werden. Dabei sollen in sehr unterschiedlichen Anwendungsbereichen und Einsatzfeldern Wärmeenergie genutzt werden, um thermische Energie in kinetische (FGL Fluid-Pumpe) bzw. elektrische Energie (Energy Harvester) zu wandeln.

ERGEBNISSE

- Darstellung des Wirkungszusammenhangs von Einflussgrößen beim Aktivierungsvorgang von FGL
- Aufzeigen von Grenzen der technischen Nutzbarkeit und Identifizierung potenzieller Anwendungsgebiete
- Herleitung eines Berechnungsansatzes zur Vorhersage des Aktivierungsverhaltens von FG-Drähten in fluiden Medien
- Potenzielle Reduktion des Primärenergieverbrauchs sowie klima- und umweltschädlicher Emissionen durch den Einsatz von Smart Materials
- Die Grundlagenforschung resultierte in zwei parallelen Produktentwicklungsreihen, worin Prototypen zu den zwei Schwerpunktthemen weiterentwickelt werden, dabei wird vorrangig die Effizienzsteigerung mittels FG-Abwärmewandlung in unterschiedlichen Anwendungen geprüft

Konsortium: FGW e.V., Hochschule Bochum, Bleco GmbH, Dörschler GmbH, Neue Effizienz, Fachhochschule Münster

- <https://www.fgw.de>
- <https://www.neue-effizienz.de>
- <https://www.hochschule-bochum.de/cvh/automatisierungstechnik/>
- <https://www.bleco.de>
- <http://www.doerschler.de>
- <https://www.fh-muenster.de>

[1] LANUV (2019): Potenzialstudie Industrielle Abwärme Ergebnisse und Kernaussagen, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV)

[2] KNEIFEL, J. (2020): Thermodynamische Betrachtung einer mit Formgedächtnisfedern angetriebenen Pumpe (Abschlussarbeit), pp. 77-93.

[3] Kemper, D. (2020): Optimierung einer Feder im Energy Harvester (Abschlussarbeit), pp. 36-44.

[4] SPANKE, N. (2020): THEAsmart - Thermische Energierückgewinnung aus Abwärme durch Smart Materials - Neue Effizienz gemeinnützige GmbH. Neue Effizienz, Wuppertal. URL: <https://neue-effizienz.de/forschung/theasmart/> (Stand 12.08.2021).

[5] Langbein, S.; Czechowicz, A. (2013): Numerische Auslegung von Formgedächtnisaktoren. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden. – ISBN 978-3-8348-2343-4, pp. 95-106, pp. 127-129, pp. 130-131

WEITERE INFORMATIONEN

LITERATUR

Jens Kneifel¹, Moritz Langhoff¹, Simon Horn¹,
Dr. Romina Krieg¹, Dr. Ralf Theiß¹, Dr. Peter Dültgen¹,
Nina Spanke²

kneifel@fgw.de

Forschungsgemeinschaft Werkzeuge
und Werkstoffe e.V.
Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid

Neue Effizienz gemeinnützige GmbH
Bärenstraße 11-13, 42117 Wuppertal



GVAGR-SYSTEM

Fachgespräch II

12:30 – 14:00 Uhr

Mohammad Aleysa, Souha Meriee, Martin Ecker

Gestufte Verbrennung in automatisch beschickten Biomassefeuerungsanlagen zur thermischen Verwertung von biogenen und Restbrennstoffen

Die Bundesrepublik Deutschland hat klare Ziele für die Minderung von fünf Schadstoffen bzw. von Schwefeldioxid (SO_2), Stickstoffdioxid (NO_x), flüchtigen organischen Verbindungen außer Methan (NMVOC), Ammoniak (NH_3) und Feinstaub ($\text{PM}_{2,5}$) angesetzt, welche außer bei Ammoniak bei der Verbrennung von Biomasse bzw. von vielen biogenen Brennstoffen emittiert werden können. Während Ammoniak sowie Schwefeldioxid bei der Verbrennung von holzartiger Biomasse nur in geringen Mengen entstehen, können hingegen Stickstoffoxide, flüchtige organische Verbindungen, Fein- PM_{10} und Feinstaub $\text{PM}_{2,5}$ in Abhängigkeit von der verwendeten Verbrennungstechnik sowie der Verbrennungsqualität gebildet werden. Bei der Verbrennung von Festbrennstoffen werden die flüchtigen organischen Verbindungen im Gegensatz zum Feinstaub nur bei einer unvollständigen Verbrennung gebildet. Hier gilt, je unvollständiger die Verbrennung ist, umso höher sind die Konzentrationen an Ruß sowie an organischen Kohlenwasserstoffen. Während Feinstaub durch den Einsatz von Staubabscheidern gemindert werden kann, lassen sich die organischen Kohlenwasserstoffe nur durch die Verbesserung der Verbrennungstechnik wirtschaftlich reduzieren.

In diesem wissenschaftlichen Beitrag handelt es sich um ein innovatives Verbrennungssystem (sogenanntes »GVAGR-System: Zweistufige Verbrennung mit Abgasrückführung und einer integrierten Abgasreinigung) für den Einsatz in automatisch und handbeschickten Biomasseheizkesseln zur Verfeuerung von Biomassen und sonstigen biogenen Brennstoffen. Bei diesem System wurde ein großes Augenmerk sowohl auf die Minderung von Stickstoffoxiden durch eine innovative Prozessführung als auch auf die integrierte Abgasbehandlung, wobei hauptsächlich Feinstaub, Kohlenstoffmonoxid und diverse Kohlenwasserstoffe gemindert werden können. Die innovative Gestaltung bzw. Führung des Verbrennungsprozesses, wie in der Abbildung 1 dargestellt ist, beruht auf einer gezielten Einstellung der Temperaturen sowie des Sauerstoffgehalts in der Reduktions- (zyklonartige Brennkammer) sowie Oxidationszone (Einbautentechnik) für eine ausreichend lange Verweilzeit, wodurch die NO_x -bildenden chemischen Reaktionen gezielt zu steuern sind.

Auf Basis des in der Abbildung (1) dargestellten Verbrennungskonzepts wurde ein Heizkessel in Kooperation mit der Firma HDG Bavaria hergestellt und bei der Verbrennung von unterschiedlichen Brennstoffen, unter anderem Waldhackgut, Grünschnitt, Stroh und Miscanthus, getestet. Der Heizkessel wurde so aufgebaut und programmiert, dass dieser sowohl klassisch wie bei herkömmlichen automatisch beschickten Heizkesseln als auch zweistufig (Vergasung + mehrstufige Verbrennung des erzeugten Brenngases) in Analogie zu den konventionellen Vergaserkesseln betrieben werden kann. Dank dieser Prozessführung wurden die Frachten der Stickstoffoxide bis zu 56% reduziert. Einen wesentlichen Beitrag bei dem GVAGR-System leistet die Einbautentechnik, welche über eine essentielle Rolle für eine zweistufige und effektive Verbrennung des Brenngases verfügt. Zusätzlich zu dieser zentralen Rolle trägt die Einbautentechnik zu einer bedeutsamen Reduzierung von Feinstaub unter anderem $\text{PM}_{2,5}$ (von mind. 40%) sowie von Gesamtkohlenwasserstoffen OGC bei, welche wie das Kohlenstoffmonoxid über die gesamte Betriebszeit sehr gering erschienen bzw. überwiegend unter der Nachweisgrenze lagen.

Dank der Einstufung des Verbrennungsprozesses kann dieser mit einer geringeren Verbrennungsluftmenge bzw. einem niedrigen Sauerstoffüberschuss von bis 4 Vol.-% (statt von $\text{O}_2 > 8$ Vol.-% wie bei den herkömmlichen Heizkesseln) betrieben werden, wodurch eine bessere Modulation der thermischen Leistung (bis $\frac{1}{4}$) sowie eine höhere Verbrennungseffizienz im Vergleich zu herkömmlichen automatisch beschickten Heizkesseln gewährleistet wird. Eine solche Verbrennungseffizienz und demzufolge ein geringer Brennstoffverbrauch mit einer entsprechenden CO_2 -Einsparung kann durch die CO_e -Regelung und dank der innovativen Prozessführung des GVAGR-Systems problemlos realisiert werden, wobei die idealen Reaktionsbedingungen insbesondere in der NO_x -Reduktionszone eingestellt werden können. Ein essentieller Vorteil der mehrstufigen Verbrennung liegt darin, dass bei der Vergasung Temperaturen von weniger als 750°C im Glutbettbereich eingestellt und infolgedessen dort Verschlackungen und Anbackungen von Brennstoffen, vornehmlich beim Einsatz von Verbrennungsgut mit niedrigem Ascheerweichungspunkt, vermieden werden können. Ferner leistet die GVAGR-Verbrennungstechnik einen wesentlichen ökologischen Beitrag durch die Ermöglichung der thermischen Verwertung von vielen niederwertigen und nichtholzartigen Brennstoffen, welches dementsprechend zur Entlastung der Holzwälder führt.

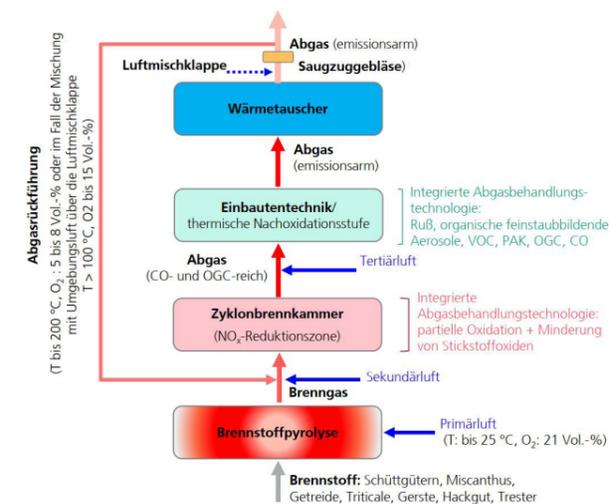


Abbildung 1:
Schematische Darstellung des
GVAGR-Verbrennungskonzepts

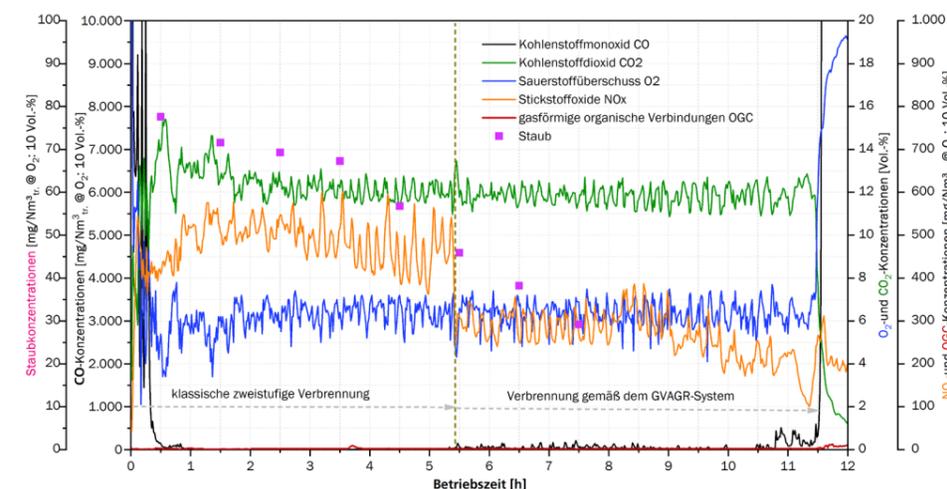


Abbildung 1:
Schematische Darstellung des
GVAGR-Verbrennungskonzepts

Im Rahmen des Vortrags werden folgende inhaltliche Punkte vorgestellt:

- Ausführliche Beschreibung des GVAGR-Verbrennungskonzepts mit den technischen Besonderheiten
- Technischer Aufbau des entwickelten Heizkessels auf Basis des GVAGR-Verbrennungskonzepts
- Erreichte Forschungsergebnisse unter anderem:
 - Verbrennungs- und Emissionsverhalten
 - Minderung der Stickstoffoxide und des Distickstoffmonoxides
 - Minderung des Kohlenstoffmonoxids sowie der Gesamtkohlenwasserstoffe OGC
 - Minderung des Fein- und Feinstaubes
 - Erhöhung der Verbrennungseffizienz
 - Aerodynamisches Verhalten und Druckverlust

Zusätzlich zu den oben dargelegten Punkten wird das GVAGR-Verbrennungskonzept aus einer ökonomischen, ökologischen sowie technischen Sicht im Vergleich zu den herkömmlichen Verbrennungstechnologien bewertet

03KB148 GVAGR-System

Gestufte Verbrennung mit Abgasrückführung und integrierter Abgasreinigung zur Schadstoffminderung und Effizienzerhöhung in automatisch beschickten Biomassefeuerungsanlagen zur thermischen Verwertung von biogenen und Restbrennstoffen

Dr.-Ing. Mohammad Aleysa, M. Sc. Souha Meriee,
Dipl.-Ing. Martin Ecker
mohammad.aleysa@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart



FeBio

Joachim Pertagnol, Michael Porzig

Fachgespräch II

12:30 – 14:00 Uhr

Mit Pferdemist eine Biogasanlage betreiben

Im Jahr 2020 hatten biomassebasierte Brennstoffe nach der Windenergie den höchsten Anteil an der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen in Deutschland [1]. Die Bundesregierung hat die Bioenergie als einen der Träger zur Erreichung der nationalen Klimaziele anerkannt und die energetische Nutzung von biogenen Rest- und Abfallstoffen in das Energieforschungsprogramm aufgenommen [2]. Reststoffe, wie z.B. Pferdemist, Ausputzgetreide oder Landschaftspflegegrün, stellen bislang nur einen geringen Anteil an der gesamten Biogasproduktion dar. Grund hierfür sind hohe Transportkosten durch die dezentrale Verteilung der lokal gering anfallenden Mengen. Dennoch wird für Deutschland [3] und international [4] ein Potenzial zur Steigerung der Biogaserzeugung mit diesen Materialien gesehen. Vor diesem Hintergrund möchte das Projekt FeBio mit Hilfe einer innovativen Technologie - der Trockenfermentation für kleine Anlagengrößen - eine wirtschaftliche Lösungsmöglichkeit erarbeiten, um »problematische Substrate« in kleinen Anlagen energetisch nutzbar zu machen.

Keywords:

Kleinbiogasanlage,
Trockenfermenter,
Pferdemist

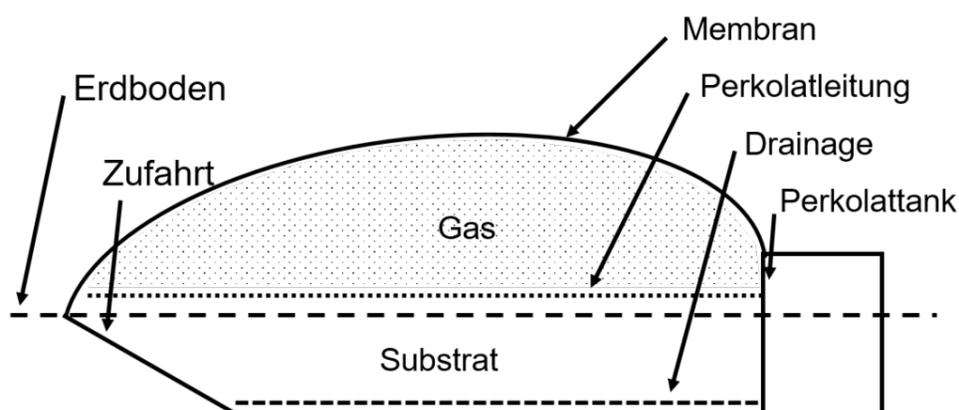
FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Ziel der Arbeiten ist die Errichtung einer wirtschaftlichen ($<15 \text{ €/MWh}_{\text{el}}$ Gestehungskosten und $<6.000 \text{ €/kW}_{\text{el}}$ Invest), inputvariablen und effizienten Pilot- und Demonstrationsanlage zur Verwertung von Reststoffen (hier v.a. Pferdemist und Landschaftspflegegras) in einfacher Bauweise, die von Betreibern (z.B. Landwirte) nachgebaut werden kann. Dabei soll der aktuelle technische Stand von TRL 6 auf TRL 9 gesteigert werden. Letztendlich ist das Ziel, hohe Stückzahlen zu erreichen. Teile der Anlage werden als Container ausgeführt, der alle technischen Elemente, wie z.B. BHKW und Steuerung enthält.

ERGEBNISSE

Wichtigstes Ergebnis wird sein, ob die Kosten der FeBio-Anlage wirtschaftlich tragfähig sind bzw. günstiger als bestehende Garagenfermenteranlagen. Durch die technische Bauform, bei der auch ein gewisser Eigenanteil an Arbeiten vom Landwirt eingebracht werden kann sowie einem zeitlich flexiblen Arbeitsablauf ist davon auszugehen, dass diese Bereiche im Vergleich zu bestehenden Anlagen kostengünstiger sind. Weitere Vorteile werden in der Bauform gesehen (siehe Abbildung 1), die ein plötzliches Auslaufen von Perkolat verhindert, sowie in positiven Effekten für die Arbeitssicherheit, da zu hohe Gaskonzentrationen an der FeBio Anlage im normalen Betriebsablauf nicht auftreten können.

Abbildung 1:
Querschnitt der
Trockenfermentationsanlage



KONKRETE AKTIVITÄTEN

Auf Grund der rechtlichen Anforderungen an eine Biogasanlage stehen in der ersten Phase des Projekts die Planung und der Bau der Biogasanlage im Vordergrund. Diese werden wissenschaftlich gekleidet und durch Beratungen und Workshops wird frühzeitig versucht den späteren technischen wie auch betrieblichen Ablauf zu optimieren. Nach der Inbetriebnahme der Anlage werden u.a. durch Messungen der Strom- und Wärmeproduktion, der Gasproduktion- und -zusammensetzung sowie Analysen der Arbeitsabläufe

und Substrate die unterschiedlichen Stellschrauben für die Optimierung der Wirtschaftlichkeit der Anlage untersucht. Damit der Anlage sowohl klimapolitische wie auch umweltpolitische Ziele verfolgt, gilt es zu Projektende Handlungsempfehlungen sowohl an die Politik als auch an Landwirte und Behörden zu formulieren und u.a. über Presse, Fachpublikationen und -konferenzen zu verbreiten.

[1] AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIEN (2021), GRAFIK-DOSSIER: DER STROMMIX IN DEUTSCHLAND 2015-2020, INTERNET: [HTTPS://WWW.UNENDLICH-VIEL-ENERGIE.DE/MEDIATHEK/GRAFIKEN/GRAFIK-DOSSIER-STROMMIX-2015-2020](https://www.unendlich-viel-energie.de/mediathek/grafiken/grafik-dossier-strommix-2015-2020), AGENTUR FÜR ERNEUERBARE ENERGIE, ACCESSED ON 07.05.2021 AT 05:05 P.M.

[1] BMWI (2018): Innovationen für die Energiewende - 7. Energieforschungsprogramm der Bundesregierung, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie.

[3] BAUR F.; WERN B.; MATSCHOSS P. (2020): BIOENERGIE 2030 – ZIELE UND NOTWENDIGE MAßNAHMEN, TAGUNGSBAND ZUM 14. ROSTOCKER BIOENERGIEFORUM / 19. DIALOG ABFALLWIRTSCHAFT MV, P. 27 37, DOI: 10.18453/ROSDOK_ID00002650.

[4] JUNGINGER, H.M.; MAI-MOULIN, T.; DAIIOGLOU, V.; FRITSCHE, U.; GUISSON, R.; HENNIG, C.; THRÄN, D.; HEINIMÖ, J.; HESS, J.R.; LAMERS, P. (2019): THE FUTURE OF BIOMASS AND BIOENERGY DEPLOYMENT AND TRADE: A SYNTHESIS OF 15 YEARS IEABIOENERGY TASK 40 ON SUSTAINABLE BIOENERGY TRADE. BIOFUELS BIOPROD. BIOREFINING, 13, 247–266.

LITERATUR

03EI5413 FeBio

Entwicklung und Bau einer neuartigen, kostengünstigen, inputflexiblen und effizienten FeststoffBiogasanlage bis $75 \text{ °kW}_{\text{el}}$

Dr. Joachim Pertagnol, Michael Porzig
pertagnol@izes.de

IZES gGmbH,
Altenkesseler Str. 17 A1, 66115 Saarbrücken



FACHGESPRÄCH III

Neue Geschäftsmodelle und Sektorkopplung

ZertGas

THG-Bilanzierung von Energie aus Biogas im Rahmen der RED II: Ergebnisse von Praxisrechnungen und Herausforderungen bei der Nachhaltigkeitszertifizierung von Biogas- und Biomethananlagen

David Moosmann, Nadja Rensberg, Stefan Majer, Stefan Rauh

(BGA-PtG)²

Ökonomische Bewertung der Integration von Power-to-Gas-Konzepten in Biogas- und Biomethananlagen: Gasgestehungskosten und Kostensenkungspotenziale

Ramona Schröder

Entwicklung und Demonstration eines innovativen ökologischen Hybridkraftwerks für die Kopplung von Bioenergie mit Geothermie zur Versorgung unterschiedlicher Abnehmerstrukturen

Tino Barchmann, Ingo Raufuß, Nadja Rensberg, Jaqueline Daniel-Gromke

BioBrick

Technische und wirtschaftliche Machbarkeit der betrachteten Szenarien, Verbrennungsversuche mit Holzgas und Nutzung von Vergaserrückstände im Ziegel

Martin Meiller, Julian Walberer, Robert Daschner, Holger Burkhardt, Werner Klenk, Dominik Alt, Sebastian Ernst

Die beste und einzige wissenschaftliche Praxis: Open Data

Marco Selig, Kai Radtke

Anschließende Diskussion



ZertGas

Fachgespräch III

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:

Biogas, Biomethan, RED II, Nachhaltigkeitszertifizierung, THG-Bilanzierung

David Moosmann, Nadja Rensberg, Stefan Majer, Stefan Rauh

THG-Bilanzierung von Energie aus Biogas im Rahmen der RED II: Ergebnisse von Praxisrechnungen und Herausforderungen bei der Nachhaltigkeitszertifizierung von Biogas- und Biomethananlagen

Die Erneuerbare-Energien-Richtlinie (RED) setzt den politischen Rahmen für die Erzeugung und Förderung von Energie aus erneuerbaren Quellen in der EU. Die Richtlinie definiert u.a. verbindliche Nachhaltigkeitskriterien für Biokraftstoffe und flüssige Biobrennstoffe. Die Erfüllung dieser Kriterien ist die Voraussetzung für eine finanzielle Förderung sowie die Anrechenbarkeit an energie- und klimapolitische Ziele [1]. Die Konformität mit den Vorgaben aus der RED wird durch Zertifikate von anerkannten Zertifizierungssystemen erbracht [2].

Die Novelle der Richtlinie (RED II) wurde 2018 verabschiedet und ist bis Juni 2021 in nationales Recht umzusetzen. Durch die RED II erweitert sich der Geltungsbereich auf die Strom- und Wärmeerzeugung aus festen und gasförmigen Biomasse-Brennstoffen [3]. Daher ist die RED II für den Biogas- und Biomethanmarkt von besonderer Bedeutung.

Neben Kriterien, die die Biomasseerzeugung auf schützenswerten Flächen untersagen, gibt die RED II Kriterien an die Treibhausgas (THG)-Minderung vor. Für definierte Versorgungsketten ist die Anwendung von Standardwerten möglich. Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit dieser Standardwerte wird von einer wachsenden Bedeutung der individuellen Berechnung der THG-Einsparung im Biogas- und Biomethanmarkt ausgegangen. Für Wirtschaftsbeteiligte können individuelle Berechnungen aufgrund der Vielzahl eingesetzter Substrate und die vergleichsweise komplexen Versorgungsketten besonders herausfordernd sein. Das Vorhaben ZertGas entwickelt übertragbare Lösungen für Biogas- und Biomethananlagen in Deutschland und unterstützt die Realisierung eines praktikablen Zertifizierungsprozesses.

Im Rahmen einer Status-Quo-Analyse wurde zunächst eine Analyse des betroffenen Anlagenbestands durchgeführt und die bestehenden und nach der RED II umzusetzenden Nachhaltigkeitskriterien gegenübergestellt. Aufbauend darauf wurde ein auf den Biogas- und Biomethanmarkt zugeschnittener Methodenentwurf zur Berechnung der THG-Minderung entwickelt. Anhand einer Auswahl interessierter Anlagenbetreiber, wurden 10 Anlagen, die ein praxisrelevantes Spektrum in Bezug auf Rohstoffeinsatz und Biogasnutzung aufweisen, ausgewählt. Basierend auf dem Methodenentwurf werden THG-Bilanzen mit realen Daten der ausgewählten Anlagen erstellt. Die Ergebnisse werden durch eine Zertifizierungsstelle bewertet. Dieser Prozess soll einerseits einen starken Praxisbezug sicherstellen und ermöglicht andererseits sowohl eine Validierung des Methodenentwurfs, wie auch eine iterative Weiterentwicklung. Vorläufige Projektergebnisse wurden in Stakeholderworkshops vorgestellt und diskutiert. Dabei wurden Anlagenbetreiber, politische Entscheidungsträger und Beteiligte der Nachhaltigkeitszertifizierung als Zielgruppen berücksichtigt. Die finalen Ergebnisse sollen in Form eines Leitfadens zur THG-Bilanzierung veröffentlicht werden, sowie auch auf die Zielgruppen ausgerichtete Handlungsempfehlungen geben.

Inbetriebnahme	Treibhausgasminderung	
	Verkehr	Strom, Wärme und Kälte
≤ 05.10.2015	≥ 50 %	
06.10.2015 – 31.12.2020	≥ 60 %	
≥ 01.01.2021	≥ 65 %	
01.01.2021 – 31.12.2025		≥ 70 %
≥ 01.01.2026		≥ 80 %

Tabelle 1:
Kriterien für
Treibhausgasminderungen
nach RED II Artikel 29

Im Biogas- und Biomethanbereich fallen Anlagen mit einer Feuerungswärmeleistung (FWL) von 2 MW oder höher in den Geltungsbereich der Nachhaltigkeitskriterien der RED II. Auf nationaler Ebene können niedrigere Grenzwerte festgelegt werden. Die erforderliche THG-Minderung ist abhängig vom Sektor in welchem die Energie verbraucht wird und dem Jahr der Inbetriebnahme einer Anlage (Tabelle 1).

Bei der Analyse des betroffenen Anlagenbestands wurde aufgrund der zum Zeitpunkt der Arbeiten noch nicht erfolgten Implementierung in deutsches Recht sowie Unsicherheiten bzgl. der Randbedingungen, mit Szenarien gearbeitet. Insbesondere ist durch die Vorgaben der Richtlinie noch nicht absehbar, ob sich die FWL auf die installierte Leistung oder die Bemessungsleistung bezieht. Ebenso ist unklar, ob bspw. Satelliten-BHKWs in den Begriff „Anlage“ eingeschlossen sind. Dementsprechend zeigen die Ergebnisse der Analyse eine Spannweite der Anlagenanzahl. Innerhalb des deutschen Anlagenbestands von 9013 Biogas- und Biogasaufbereitungsanlagen, befinden sich im Falle einer Eins-zu-eins-Umsetzung, wovon gegenwärtig auszugehen ist, 1305 (Bezugsgröße Bemessungsleistung) bis 2305 (Bezugsgröße installierte Leistung) Anlagen im Geltungsbereich der RED II. Dabei ist anzumerken, dass der gesamte Lebenszyklus bei der Energieerzeugung berücksichtigt wird und daher alle Schnittstellen in der Versorgungskette zertifiziert werden. Neben den Anlagen selbst, betrifft dies auch vor- und nachgelagerte Schnittstellen, z.B. Biomasseerzeuger, Entsorgungsbetriebe, Lieferanten und Zwischenhändler.

Im Rahmen der Entwicklung des Methodenentwurfs konnten bereits erste Herausforderungen für die THG-Bilanzierung in der Praxis identifiziert werden. Diese beziehen sich v.a. auf die Datengrundlage. Z.B. sind benötigte Emissionsfaktoren teilweise nur eingeschränkt bzw. nicht verfügbar. Ein differenzierteres Bild wird von den Ergebnissen der Praxisanwendung erwartet. Die Ergebnisse der Praxisrechnungen werden vorgestellt und diskutiert, wobei insbesondere die Konformität mit den Vorgaben aus der RED II hinsichtlich der THG-Einsparung beleuchtet wird. Aufbauend darauf werden einerseits die wesentlichen Treiber für THG-Emissionen in den untersuchten Versorgungsketten aufgezeigt. Andererseits werden Möglichkeiten im Umgang mit den Treibern sowie Optimierungspotentiale dargestellt. Die sich aus dem Nachweis der THG-Minderung im Bereich Biogas und Biomethan ergebenden Herausforderungen für Wirtschaftsbeteiligte werden fachlich bewertet. Besonderes Augenmerk wird dabei auf die zur Verfügung stehenden Standardwerte, die Datengrundlage und methodische Besonderheiten gelegt.

[1] Richtlinie 2009/28/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. April 2009 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen und zur Änderung und anschließenden Aufhebung der Richtlinien 2001/77/EG und 2003/30/EG

[2] Voluntary schemes, https://ec.europa.eu/energy/topics/renewable-energy/biofuels/voluntary-schemes_en (accessed 2021-06-29)

[3] Richtlinie (EU) 2018/2001 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 11. Dezember 2018 zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen

LITERATUR

03KB164A ZertGas

Implementierung der RED II und Entwicklung von praktikablen Zertifizierungslösungen und Handlungsoptionen für Betreiber von Biogas- und Biomethananlagen

David Moosmann¹, Nadja Rensberg¹, Stefan Majer¹,
Dr. Stefan Rauh²
david.moosmann@dbfz.de

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

² Fachverband Biogas e.V.
Angerbrunnenstraße 12, 85356 Freising



(BGA-PtG)²

Fachgespräch III

12:30 – 14:00 Uhr

Ramona Schröer

Ökonomische Bewertung der Integration von Power-to-Gas-Konzepten in Biogas- und Biomethananlagen: Gasgestehungskosten und Kostensenkungspotenziale

Keywords:
Power-to-Gas,
Biomethan,
Systemintegration,
Gestehungskosten

Im Rahmen der Studie erfolgt die ganzheitliche Betrachtung potenzieller Anlagenkonzepte zur Kombination von Biogas- und Power-to-Gas-Anlagen inklusive einer technischen und ökonomischen Bewertung. Es werden insbesondere die technische Umsetzbarkeit sowie der Betrieb der entsprechenden Anlagenkombination und die daraus resultierenden Investitions-, Betriebs- und Gasgestehungskosten untersucht. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Analyse und Entwicklung potenzieller Geschäftsmodelle für regenerative Gase (SNG und Biomethan). Dazu werden die aus den verschiedenen Konzepten resultierenden Kosten der Gasbereitstellung unter Berücksichtigung der Verwertungswege, die Marktbedarfe und -volumina für verschiedene Vermarktungswege sowie die Kundenpräferenzen, erzielbare Erlöse und mögliche Vermarktungsstrategien berücksichtigt. Ergänzt wird dies durch die Bewertung der regulatorischen Rahmenbedingungen und von Hemmnissen.

Die Analyse der SNG-Gasgestehungskosten stellt einen wesentlichen Eingangsparameter zur Beurteilung der Wirtschaftlichkeit bei der Umsetzung der Konzepte dar. Diese Analyse stellt den Schwerpunkt dieses Beitrags dar. Die bereits im Rahmen des Projektes ermittelten SNG-Gasgestehungskosten dienen als Orientierung und als Basis, um frühzeitig Kostensenkungspotenziale zu diskutieren. Eine detailliertere Kostenbetrachtung erfolgt im weiteren Projektverlauf.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Neben der technischen Bewertung der Kombination von Biogas-Bestandsanlagen und PtG-Anlagen und der Auswahl der technologisch geeignetsten Konzepte, stellt die wirtschaftliche Bewertung einen Forschungsschwerpunkt dar. Dazu sollen u.a. folgende Fragen beantwortet werden:

- Welche Gestehungskosten lassen sich unter Einbezug aller technischer Komponenten und notwendigen Eduktkosten (H₂ und CO₂) im Post-EEG-Fall für die erneuerbaren Gase (SNG und Biomethan) unter Berücksichtigung der Verwertungswege erreichen?
- Welchen Einfluss haben der Strompreis bzw. der Wasserstoffpreis, die technische Optimierung oder die Generierung weiterer Erlöse auf die Gestehungskosten?
- Zu welchen Preisen können die erneuerbaren Gase vermarktet werden, um ein Geschäftsmodell für BGA zu erreichen und in welchem Zeithorizont wäre dies umsetzbar?

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Aktuell erfolgen die technische Bewertung und der Aufbau einer Simulation, mit der die verschiedenen Konzeptverschaltungen simuliert und technische Aspekte sowie die Gasgestehungskosten ermittelt werden können.

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung erfolgt die Berechnung nach Annuitätenmethode mit der Orientierung an den VDI-Richtlinien »VDI 2067« und »VDI 6025« (und dem Methodenhandbuch). In dem Berechnungsmodell werden die Investitions- und Betriebskosten und Betriebsparameter für die verschiedenen Konzepte und Prozessketten sowie die wesentlichen Einflussfaktoren berücksichtigt.

Mit dem Simulationsmodell werden die technologisch geeignetsten Konzepte berechnet und die ökonomisch effizientesten Konzepte ermittelt. Die SNG-Gestehungskosten werden in Abhängigkeit der Anlagengröße bzw. -kapazität und dem jeweiligen BGA-PtG-Konzept berechnet.

Parallel zu diesen Arbeiten wurden vorab Berechnungen der SNG-Gestehungskosten für eine Beispielanlagen-Kombination durchgeführt und diverse Einflussgrößen wie Strombezugskosten, Volllaststunden, Investitionskosten und Erlöse untersucht und die Gestehungskosten bewertet.

Neben der Bewertung dieser Einflussgrößen erfolgt die Ermittlung und Diskussion von verschiedenen Kostensenkungspotenzialen

- Die Methodik für die Berechnung der SNG-Gestehungskosten wird für eine Beispielanlagen-Kombination sowie die für die Berechnung genutzten Annahmen zu Strombezugskosten, Investitionskosten, Strombezugskosten und Volllaststunden vorgestellt. Die Beispielanlagen-Kombination besteht aus einer Biogasanlage mit Gasaufbereitung und einer Größe von 700 Nm³ Biomethan Output und einer PtG-Anlage mit einer Anschlussleistung der Elektrolyse von 12 MW.
- Es werden Einflussgrößen auf die SNG-Gestehungskosten sowie Kostensenkungspotenziale angesprochen, um deren Auswirkungen zu diskutieren.

ERGEBNISSE

03EI5401 (BGA-PtG)²
 Ganzheitliche Bewertung der Integration von Power-to-Gas-Konzepten in Biogas- und Biomethananlagen einschließlich der Entwicklung von Geschäftsmodellen für regenerative Gase

(Foto: Fraunhofer IEE | Volker Beushausen)

Dr.-Ing. Ramona Schröer,
 ramona.schroerer@iee.fraunhofer.de
 0561 7294-1744

Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft
 und Energiesystemtechnik IEE
 Königstor 59, 34119 Kassel



Fachgespräch III

12:30 – 14:00 Uhr

Keywords:

Sektorenkopplung, Biogas,
saisonale Flexibilität,
Geothermie, Wärmespeicher

Tino Barchmann, Ingo Raufuß, Nadja Rensberg, Jaqueline Daniel-Gromke

Entwicklung und Demonstration eines innovativen ökologischen Hybridkraftwerks für die Kopplung von Bioenergie mit Geothermie zur Versorgung unterschiedlicher Abnehmerstrukturen

Die Umsetzung der Energiewende beruht im Wesentlichen auf der Nutzung von Photovoltaik und Windkraft. Diese Energieerzeugungssysteme stellen allerdings nicht bedarfsgerecht Strom zur Verfügung. Wasserkraft, Tiefengeothermie und vor allem Biogas sind in der Lage, diesen Nachteil auszugleichen. Parallel zur bedarfsgerechten Strombereitstellung aus Biogas wird nicht bedarfsgerecht Wärme als Koppelprodukt durch die Kraft-Wärme-Kopplung bereitgestellt, die vielfach nur zu einem gewissen Anteil oder gänzlich ungenutzt bleibt. Ziel des Forschungsvorhabens Bio2Geo ist die Entwicklung eines integrativen Hybridkraftwerks als Versorgungsoption für Direktabnehmer, Nah- und Fernwärmenetze. Hierbei wird die ungenutzte Wärme bestehender Biogasanlagen bereitgestellt, verwertet und in ein Erdwärmesondenfeld saisonal eingespeichert. Die zwei singular erprobten und großtechnisch am Markt etablierten regenerativen Energieerzeugungssysteme – Biogas und Geothermie – können so miteinander kombiniert werden, dass die Energie- und Wärmewende in Deutschland maßgeblich unterstützt wird.

Die Einspeicherung von Überschusswärme und die Ausspeicherung von Wärme aus dem oberflächennahen Untergrund darf am Standort zu keiner Temperaturveränderung von plus oder minus 6K gegenüber der ungestörten Temperatur in der Erde führen. Insofern muss die mit 90°C anfallende Überschusswärme nicht unbedingt direkt in das Sondenfeld geleitet werden, sondern kann zunächst anderweitig genutzt werden. So z.B. um anfallende Restsubstrate stofflich zu verwerten und thermisch zu konditionieren. Der Vorteil besteht darin, dass insbesondere bei größeren Anlagen erhebliche Mengen an Reststoffen anfallen, die vielfach nicht auf eigenen Flächen ausgebracht werden können, sondern über größere Entfernungen transportiert werden müssen. Diese Transportwege würden so erheblich reduziert. Zudem wird geprüft, ob die thermische Konditionierung Makronährstoffen wie Stickstoff (N), Phosphor (P), Kalium (K), Schwefel (S) sichert und xenobiotische Mikroschadstoffe wie Pestizide und Veterinärpharmaka austreiben kann. Die nach dieser thermischen Konditionierung verbleibende Wärme wird in das Erdwärmesondenfeld eingespeist und kann von dort aus mittels einer Wärmepumpe bedarfsgerecht und skalierbar auf dem benötigten Vorlauf-temperaturniveau ausgespeichert bzw. zur Nutzung bereitgestellt werden.

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Im Rahmen des vom BMWi/PTJ geförderten P&D-Projektes Bio2Geo wird an der Biogasanlage der Mörsdorfer Agrar GmbH ein oberflächennaher geothermaler Speicher erschlossen. Dieser ist mit einer Gärrest-Konditionierungsanlage und dem BHKW in Serie geschaltet.

Innerhalb der technisch-ökonomischen Analyse ergeben sich weitere Fragestellungen bzgl. der Übertragbarkeit der Ergebnisse auf den Anlagenbestand. Da die Rentabilität derartiger Projekte in der Geothermie grundsätzlich standortbezogen betrachtet werden muss, wird der Ausblick alternativ auf die saisonale Speicherung in übertägigen Tanks und tiefengeothermalen Speichern gerichtet. Ausgehend von der geologischen Situation wurde eine deutschlandweite Auswahl an geologischen Eignungsregionen abgeleitet. Diese wurden in Hinblick auf die kleinstmögliche Verschneidungsebene für die Biogasanlagenstandorte auf Ebene der Postleitzahl erstellt. Für diese geologischen Eignungsgebiete wurde der Biogasanlagenbestand analysiert. Unter Berücksichtigung einer notwendigen Anlagengröße von $\geq 600\text{kW}_{el}$ installierter Leistung wurden 414 potentielle Biogasanlagenstandorte für Deutschland ermittelt.

ERGEBNISSE

- Ökonomische Analyse der Kombination von Biogasanlagen & Geothermie / Wärmespeicherung
- Darstellung der Kostenbewertungen oberflächennaher Geothermiespeicher & alternativer Wärmespeicheroptionen
- Thermische Konditionierung von Gärresten zur Vermeidung von Reststofftransporten und Ermittlung der stofflichen Wertungspotentiale
- Ermittlung geologischer Eignungsregionen für potentielle Biogasanlagenstandorte

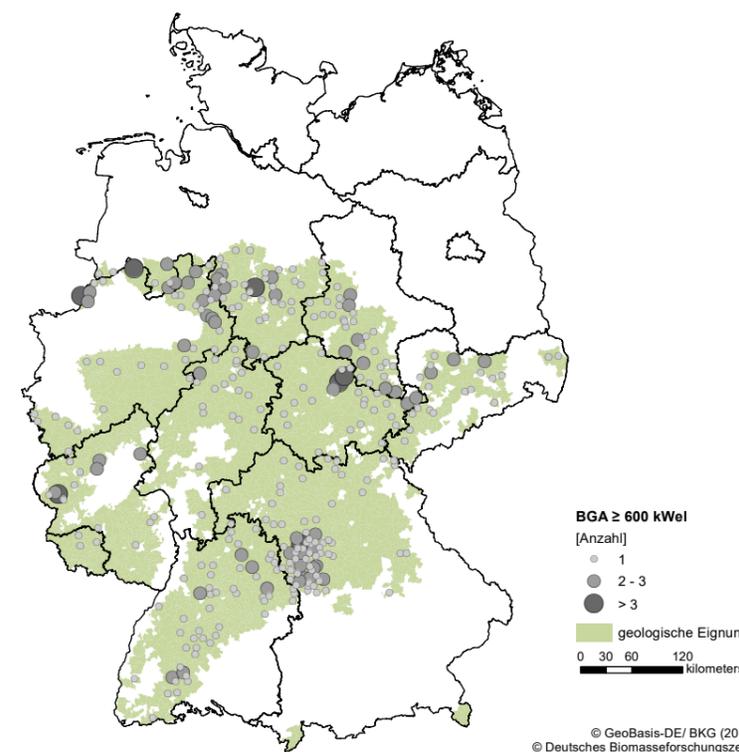


Abbildung 1:
Regionale Verteilung
potenzieller Biogas-
anlagenstandorte
($\geq 600\text{kW}_{el}$ installierte
Leistung) für
definierte geologische
Eignungsregionen

(FKZ: 03ET1593B)

EnEffWärme: Bio2Geo - Entwicklung und Demonstration eines innovativen ökologischen Hybridkraftwerks für die Kopplung von Bioenergie mit Geothermie zur Versorgung unterschiedlicher Abnehmerstrukturen

Tino Barchmann¹, Nadja Rensberg¹,
Jaqueline Daniel-Gromke¹, Ingo Raufuß²
tino.barchmann@dbfz.de
+49 341 2434 375

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig
² geotechnik Heiligenstadt
Aegidienstrasse 14, 37308 Heilbad Heiligenstadt



BioBrick

Fachgespräch III

12:30 – 14:00 Uhr

Martin Meiller, Julian Walberer, Robert Daschner, Holger Burkhardt, Werner Klenk, Dominik Alt, Sebastian Ernst

Technische und wirtschaftliche Machbarkeit der betrachteten Szenarien, Verbrennungsversuche mit Holzgas und Nutzung von Vergaserrückstände im Ziegel

Keywords:
Energieversorgung,
Prozesswärme,
Biomassevergasung

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Das Ziel des Vorhabens ist es den Einsatz von Biomasse in der Industrie vor allem im Bereich der Prozesswärmebereitstellung zu forcieren, auf diesem Weg fossile Energieträger zu verdrängen, die Abhängigkeit von Importen zu reduzieren und CO₂-Emissionen einzusparen. Als Referenzsystem wird der Prozess zur Herstellung von Ziegeln gewählt. Das Projekt zeigt die Machbarkeit innovativer Ansätze, wie der stofflichen Nutzung von Vergaserkoks in einem Produkt sowie der Weiterentwicklung von Feuerungstechnik durch praktische Untersuchungen.

Das Gesamtprojekt thematisiert am Beispiel eines Ziegelwerks, wie Prozesswärme und Rückstände aus Biomasseanlagen für die industrielle Ziegel-Produktion genutzt werden können. Im Projekt-Setup werden unterschiedliche Szenarien betrachtet. Das Basisszenario stellt dabei die konventionelle Betriebsweise eines Holzvergaser-BHKW dar. Hier wird das produzierte Holzgas in einem BHKW zur Stromerzeugung genutzt. Zusätzlich entsteht Wärmeenergie, welche jedoch nur ein relativ geringes Temperaturniveau aufweist und deshalb für die Ziegelproduktion nicht vorteilhaft ist. Aus diesen Grund wurden zusätzlich alternative Einbindungsszenarien definiert. Ziel dieser alternativen Szenarien ist die Bereitstellung von Wärmeenergie auf einem höheren Temperaturniveau (500–1000 °C).

Weiterer Schwerpunkt des Projekts ist die Nutzung der kohlenstoffhaltigen Rückstände aus dem Vergaser als Porosierungsmaterial im Ziegel. Diese Kaskadennutzung verringert die Entsorgungskosten, verbessert die Produkteigenschaften des Ziegels, spart fossile Energieträger ein und steigert gleichzeitig die Kosteneffizienz des Prozesses.

AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

- Technologische, ökonomische und ökologische Bewertung

Insgesamt wurden für jedes Szenario fünf unterschiedliche Kombination/Leistungsklassen betrachtet. Bei der durchgeführten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde die Kapitalwertmethode angewendet. Dazu wurde ein eigenes Excel-Tool programmiert, welches sowohl die Datensätze der untersuchten Holzvergaser – BHKW Varianten als auch die die Prozessdaten des Ziegelwerks für die Produktionsjahre (2018 und 2019) beinhaltet. Somit kann die Wirtschaftlichkeit unterschiedlicher Kombinationen für verschiedene Produktionsjahre einfach berechnet werden. Zudem wird zeitgleich jeweils eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt, wobei die Ergebnisse auch graphisch in einem extra Diagramm dargestellt werden. Das Excel-Tool kann jederzeit durch weitere Produktionsjahre (auch andere Branchen/Betriebe) bzw. weitere Konversionstechnologien (z. B. Feuerungen) ergänzt werden.

- Verbrennungsversuche mit modifizierten Holzgasbrenner

Die Verbrennungsversuche mit einem modifizierten Holzgasbrenner wurden im Freien auf dem Gelände der Firma Burkhardt durchgeführt. Dazu wurde der Brenner an einem Holzvergaser angeschlossen und verschiedene Versuchsreihen gefahren. Die Schwerpunkte hierbei war die Untersuchung des Kalt- und Warmstarverhaltens, Emissionsmessungen, Bestimmung der Abgastemperatur und Untersuchung der Wurflängen von verschiedener Düsen des Brenners.

Im Rahmen des Vortrags werden sowohl detaillierte Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sowie die Ergebnisse der Verbrennungstest vorgestellt.

Die Analysen zeigen ein hohes wirtschaftliches Potenzial für die Nutzung von Holzkohle bei der Herstellung von Ziegeln, während die Rahmenbedingungen für die unmittelbare wirtschaftlich tragfähige Integration des Holzvergasers bislang noch nicht gegeben ist. Die Analysen zeigen jedoch auch, dass veränderte Rahmenbedingungen, z.B. durch steigende Kosten für CO₂-Emissionen dazu führen können, dass eine wirtschaftliche Integration denkbar ist.

Die wichtigsten Ergebnisse der Verbrennungsversuche sind Emissionsmessungen, Abgastemperaturen und Wurflängen der unterschiedlichen Düsenaufbauten des Benner. Abhängig vom Projektfortschritt werden zudem erste Ergebnisse zur Einbringung von Vergaserrückständen als Porosierungsmaterial im Ziegel vorgestellt.

ERGEBNISSE**03EI5410 BioBrick**

Biomasse als Schlüssel für eine nachhaltige Produktion von Ziegeln – Energieversorgung, Erzeugung von Prozesswärme und stoffliche Verwertung von Vergaserrückständen

Martin Meiller*, Julian Walberer*,
 Dr. Robert Daschner¹, Holger Burkhardt²,
 Werner Klenk², Dominik Alt², Sebastian Ernst¹
 julian.walberer@umsicht.fraunhofer.de

¹ Fraunhofer UMSICHT
 An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg

² Burkhardt GmbH
 Kreutweg 2, 92360 Mühlhausen

³ Ernst Ziegelwerk GmbH & Co. KG
 Ziegelei 2, 85117 Eitensheim



Fachgespräch III

12:30 – 14:00 Uhr

Marco Selig, Kai Radtke

Die beste und einzige wissenschaftliche Praxis: Open Data

Keywords:
**open data, FAIR Prinzipien,
Datenpublikation**

Die Menschheit scheint entschlossen, sich effizienten und nachhaltigen Energielösungen wie der Bioenergie zuzuwenden. Bei der großen und weiterhin wachsenden Bedeutung der Daten in der heutigen Wissenschaft und auch der Wirtschaft liegt der Gedanke nah, auch beim Umgang mit (digitalen) Daten auf Effizienz und Nachhaltigkeit Wert zu legen.

In der Tat wird die Europäische Union [1] und im Speziellen auch Deutschland [2] in Zukunft die Veröffentlichung von Forschungsdaten, die mit öffentlichen Mitteln gefördert wurden, fordern und zwar nach der Richtlinie "as open as possible, as closed as necessary".

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Wie sieht ein nachhaltiger Umgang mit Daten aus oder anders gefragt, können die Daten auch noch in 20 Jahren gefunden, gelesen und verwendet werden? Die FAIR Prinzipien des Forschungsdatenmanagements (FDM) geben einen Leitfaden vor, um diese Frage positiv zu beantworten.

FAIR steht für findable, accessible, interoperable und reusable. Die Existenz der Daten muss also bekannt und ihr Ablageort auffindbar sein. Außerdem sollten die Datensätze über einen Persistent Identifier verfügen und mit (maschinenlesbaren) Metadaten versehen sein, welche in durchsuchbaren Repositorien gelistet sind. Die Daten müssen hierfür langfristig archiviert werden und sollten über ein standardisiertes Protokoll zugreifbar sein. Interoperabilität wird durch gut strukturierte Daten in verbreiteten, stabilen, maschinenlesbaren und wenn möglich offenen Formaten gewährleistet. Eine ausführliche Dokumentation, die Verwendung von Community-Standards und offener Lizenzen erleichtert die Nachnutzung. Die Verwendung eines Datenmanagementplanes (DMP) soll dabei die vielseitigen Aspekte des gesamten Lebenszyklus von Forschungsdaten bereits zur Phase der Antragsstellung transparent darstellen. Das Hauptziel ist dabei immer die Nachnutzung der Daten zu erleichtern bzw. zumindest zu ermöglichen.

Es gibt verschiedene Möglichkeiten der Datenpublikationen (auch mit Persistent Identifier). Beispielsweise bieten Repositorien, wie z.B. OpenAgrar (<https://www.openagrar.de/>) die Möglichkeit Datensätze der Öffentlichkeit dauerhaft zur Verfügung zu stellen. Darüber hinaus gibt es spezielle Data Journals, welche den Fokus auf Datensätze sowie deren Beschreibung legen (wobei die damit verbundene wissenschaftliche Fragestellung in den Hintergrund tritt).

Das DBFZ verfolgt mit dem Aufbau der Arbeitsgruppe "Datenlabor" neben den genannten Wegen noch ein erweitertes, der fortschreitenden Bedeutung der Digitalisierung entsprechendes Konzept, welches einen klaren Weg von den Rohdaten bis zum Wissenstransfer und der damit verbundenen Nachnutzung abdeckt. Die erhobenen Rohdaten werden in eine strukturierte Datenablage, ein sogenanntes "Data Warehouse" überführt, von wo aus diese durch standardisierte Programmierschnittstellen (APIs) eigenen Webanwendungen und auch externen Endnutzern zur Verfügung stehen.

KONKRETE MAßNAHMEN

Ein erste solche Anwendung ist die Ressourcendatenbank (<https://webapp.dbfz.de/>), die eine individuelle Recherche von Forschungsdaten zu sektorenübergreifenden Biomassepotenzialen, deren aktueller Nutzung und ihrer Relevanz in Zielmärkten über Filterfunktionen ermöglicht [3].

Zur Veranschaulichung seien hier in Kürze die wesentlichen Inhalte aufgeführt:

- **Webanwendung:** <https://webapp.dbfz.de/resource-database/?lang=de>
- **Daten:** https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00065538 und https://www.openagrar.de/receive/openagrar_mods_00065551
- **Metadaten:** https://www.landwirtschaftsdaten.de/fileadmin/user_upload/rdf-imports/dbfz-ressourcendatenbank-biomasspotenziale-und-deren-nutzung.rdf
- **Programmierschnittstelle:** <https://webapp.dbfz.de/api>

- Ressourcendatenbank online und 2. Release in Bearbeitung
- Erste Schritte hin zu nachhaltiger Wissenschaft durch Open Data für Forschungsdaten und Open Source für wissenschaftliche Software

- <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/1024/oj>
- <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/moderne-verwaltung/open-government/open-data/open-data-node.html>
- <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Digitale-Welt/open-data.html>
- <https://webapp.dbfz.de/>

[1] Directive (EU) 2019/1024 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on open data and the re-use of public sector information, PE/28/2019/REV/1, OJ L 172, p. 56–83. URL: <http://data.europa.eu/eli/dir/2019/1024/oj>

[2] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND HEIMAT (2021): Open-Data-Strategie der Bundesregierung, Berlin, BMI21030.

[3] Brosowski, A. (2021). National Resource Monitoring for Biogenic Residues, By-products and Wastes: Development of a Systematic Data Collection, Management and Assessment for Germany. Dissertationsschrift. (DBFZ-Report, 41). Leipzig: DBFZ. [128] S. ISBN: 978-3-946629-74-0, DOI: <https://doi.org/10.48480/p63p-dc92>

ERGEBNISSE

WEITERE INFORMATIONEN

LITERATUR

Dr. Marco Selig und Dr. Kai Radtke
marco.selig@dbfz.de

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH, Torgauer Str. 116,
04347 Leipzig



FACHGESPRÄCH IV

Biogene Rest- und Abfallstoffe besser erschließen – Teil II

BioReSt

Reststoffverwertung zur Erzeugung von Biogas
Marion Schomaker, Tobias Weide, Elmar Brüggling

agritower®

Mono-Vergärung von Gülle
Klaus Beckers

FlexPump

**Intelligentes Pumpensystem zur Durchmischung
von Biogasreaktoren**
Anne Deutschmann, Gregor Ganzer

SepaFlex

**Bedarfsorientierte Co-Vergärung von separiertem
Bioabfallpresswasser zur Optimierung des
Energiemanagements auf Kläranlagen**
Jingjing Huang, Claudia Maurer, Peter Maurer, Martin Kranert, Laura Mager,
Ralf Müller, Ludger Eltrop, Samah Gouya

PyroGas

**Thermochemische Vorbehandlung von Klärschlamm
für den Einsatz in der Flugstromvergasung**
Andreas Ewald, Sebastian Fendt, Hartmut Spliethoff

DAnKEE

Upscale vom Labor- in Demonstrationsmaßstab
Martin Meiller, Julian Walberer, Robert Daschner, Christoph Weih

Anschließende Diskussion



BioReSt

Marion Schomaker, Tobias Weide, Elmar Brüggig

Fachgespräch IV
14:30 – 16:00 Uhr

Reststoffverwertung zur Erzeugung von Biogas

Keywords:

**Vorbehandlung,
Prozessoptimierung,
landwirtschaftliche
Nebenprodukte,
Bioenergie**

Aufgrund der zeitlich begrenzten Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) stehen viele Biogasanlagenbetreiber vor der Frage, wie sie ihre Anlage zukunftsfähig aufstellen und die Wirtschaftlichkeit der Anlage steigern können. Dabei spielt auch die Erweiterung des Substratmixes und die Einhaltung von Grenzwerten der Ersatzmengen eine wichtige Rolle. In Bezug auf die eingesetzten Getreidekorn- und Maismengen als Substrat gilt für neu bezuschlagte Biogasanlagen ein jährliches Limit von maximal 40 Massenprozent (EEG 2021). Der vermehrte Einsatz von Reststoffen ist sowohl zur Erweiterung, als auch für die Einhaltung der beschriebenen Grenzwerte eine Lösung. Reststoffe im Sinne von landwirtschaftlichen Nebenprodukten, sind oftmals günstige Substrate allerdings ohne Vorbehandlung nur schwer vergärbare. Daher bedarf es geeigneter Vorbehandlungsmethoden, die zum einen die Effektivität der Vergärung steigern und zugleich ökonomisch und ökologisch überzeugen.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Im Rahmen des Projektes "BioReSt – Regionale Vorbehandlungskonzepte zur nachhaltigen Reststoffnutzung in Biogasanlagen" werden unterschiedliche Reststoffe zunächst im Labormaßstab untersucht. Im Anschluss an die Versuche im Labormaßstab werden die erfolgreichen Methoden in den kontinuierlichen Maßstab übertragen, mit dem Ziel Praxisversuche durchzuführen und somit insbesondere mit dem Projektpartner AGRAVIS Raiffeisen AG Konzepte und Empfehlungen direkt in die Praxis zu entwickeln.

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Zu Beginn des Projektes wurden dazu exemplarisch für verschiedene Reststoffkategorien eine Auswahl von sechs Reststoffen getroffen: strohhaltiger Pferde- und Rindermist, Gersten- und Rapsstroh, Kartoffelkraut und Grasschnitt. In einer ersten Versuchsreihe ist systematisch der Effekt verschiedener Kombinationen aus mechanischer, basischer und enzymatischer Vorbehandlung auf die Vergärung bzw. den Methanertrag der sechs Reststoffe untersucht worden. Dazu wurden alle Substrate zunächst mechanisch mit einem Prallreaktor zerkleinert. Anschließend erfolgte die basische Behandlung mit Ammoniak und die biologische Behandlung mit einer Enzymmischung (Abb. 1).

Mit der ersten Screening-Reihe wurde bei der Substratvorbehandlung die Zugabemenge an Ammoniak, die Temperatur und die Enzymdosierung variiert. Als Auswertungsgrößen wurden die Gasproduktion und die Methanerträge der vorbehandelten Proben mit den Ergebnissen der ausschließlich zerkleinerten Proben verglichen (Abb. 2). Zusätzlich wurden die Versuchseinstellungen hinsichtlich ihres Effektes auf die Methanerträge statistisch untersucht. Basierend auf diesen Vergleichen wurden die angewandten Methoden für jeden Reststoff individuell optimiert.

ZWISCHEN ERGEBNISSE

- In den Versuchsreihen mit den Substraten Pferdemit und Gerstenstroh erreichten die Ansätze mit dem zerkleinerten Probenmaterial spezifische Methanerträge bezogen auf den organischen Trockenrückstand (oTR) von 283 und 278 LN/kg oTR. Die zusätzlich basisch und enzymatisch behandelten Versuchsansätze führten zu keinen signifikanten Methanmehrerträgen.
- Die Kombination aus mechanischer und schließlich basischer sowie enzymatischer Behandlung führte bei den Substraten Kartoffelkraut, Rapsstroh, Gras und Rindermist zu einer Steigerung des Methanertrages von 8 bis 28 % (Abb. 2)

AUSBLICK

Auf Basis der Ergebnisse mit den optimierten Vorbehandlungskonzepten wurden die Substrate Rapsstroh, Gras und Rindermist für weitere Optimierungsversuche ausgewählt. Die weiteren Versuche haben das Ziel die Vorbehandlungsmethodik praxisnah zu gestalten und umzusetzen. Unter Berücksichtigung ökonomischer, ökologischer und regionaler Aspekte ist anschließend der Transfer in den kontinuierlichen Maßstab geplant.

WEITERE INFORMATIONEN

www.energetische-biomassennutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/BioReSt-625

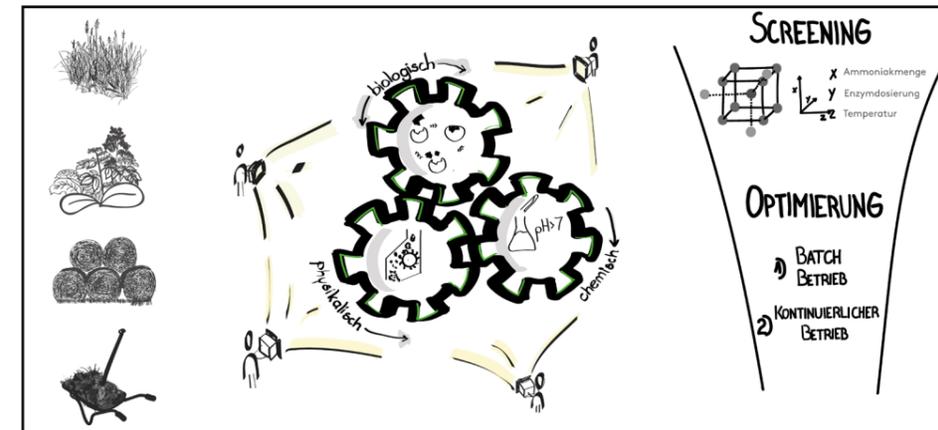


Abbildung 1:
Übersicht der Reststoffkategorien, Vorbehandlungsmethoden und Vorgehensweise

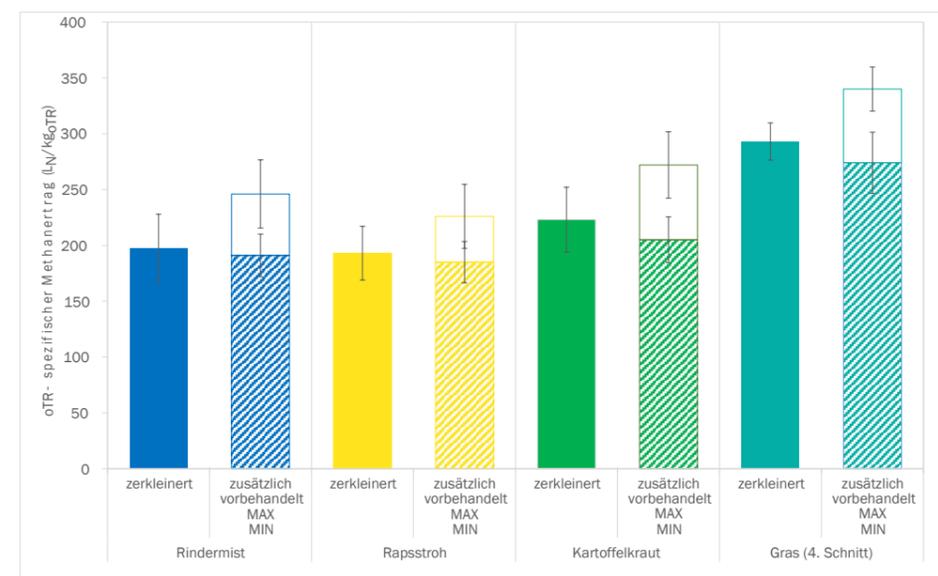


Abbildung 2:
Vergleich der oTR-spezifischen Methanerträge der zerkleinerten Proben mit den zusätzlich basisch und enzymatisch vorbehandelten Proben für die Substrate Rindermist, Rapsstroh, Kartoffelkraut und Gras

03EI5406 BioReSt

Regionale Vorbehandlungskonzepte zur nachhaltigen Reststoffnutzung in Biogasanlagen

marion.schomaker@fh-muenster.de

Marion Schomaker*, Tobias Weide,
Dr.-Ing. Elmar Brüggig

FH Münster, Fachbereich Energie Gebäude Umwelt
Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt



Mono-Vergärung von Gülle

Keywords:
**Biogut, Potenziale,
 Vergärung,
 Hemmnisanalyse,
 Siebreste**

Das Projekt ist ein Verbundprojekt zwischen der 247 agrigas gmbh & co. kg, Schwerin, die Patente, Verfahren und die apparatetechnische Auslegung der Komponenten einbringt, sowie der Fraunhofer Einrichtung für additive Produktionstechnologien, Hamburg, welche 3D-gedruckte Bauteile für den Prototyp der neuartigen Hof-Biogasanlage beisteuert.

Ein nennenswerter Teil von hochgradig klimaschädlichen Methanemissionen (Faktor 25 gegenüber CO₂-Emissionen) stammt insbesondere aus dem Gülle-Management in der Tierhaltung. Die kontrollierte Gewinnung von Methan an Stelle seines unkontrollierten Entweichens in die Atmosphäre ist dabei ein wichtiger und nachhaltiger Beitrag zu mehr Klimaschutz und mehr erneuerbaren Energien.

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Das Projekt umfasst die Entwicklung und Realisierung eines 1:1-Prototyps einer neuartigen 75 KW-Hof-Biogasanlage sowie deren Erprobung unter realen Bedingungen auf einem Tierhaltungsbetrieb.

Der verfahrenstechnische Schwerpunkt liegt dabei in der effizienten Mono-Vergärung dünnflüssiger Substrate, die - aufgrund unzureichend ausgeprägter Besiedlungsstruktur für die Bakterien - mit der herkömmlichen landwirtschaftlichen Biogastechnik nicht effizient beherrscht werden kann. Die Überwindung der zu geringen Besiedlungsstruktur für die Bakterien, das schnelle Ausschleusen großer Mengen von für die Biogasgewinnung nutzlosem Wasser aus dem Prozess sowie eine effiziente und kostengünstige Desintegration der zu vergärenden organischen Substanz sind dabei die zentralen Gesichtspunkte des innovativen Verfahrens.

Der anlagenbauliche Fokus liegt auf der Transportierbarkeit der kompletten Hof-Biogasanlage per Lkw über die Straße, um über die Mobilität die Vermietbarkeit der Anlagen zu erreichen und damit wesentliche bisher nicht erschließbare Substrat- (Gülle-) potentiale erschließen zu können.

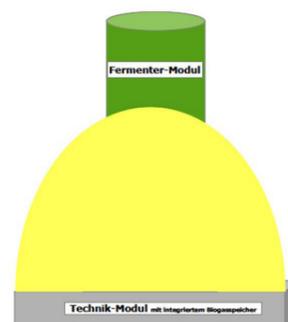
ERGEBNISSE

Die bisherigen Ergebnisse sind:

- Entwicklung und Fertigung eines straßentransportablen Fermenter-Moduls,
- Entwicklung und Fertigung eines zugehörigen Technik-Moduls,
- Erarbeitung einer modernen Anlagensteuerung auf der Grundlage von no-code-Software,
- Anpassung der Infrastruktur des Tierhaltungsbetriebs (Baugrund, Rohrleitungen, Versorgungsmedien) an die Erfordernisse des Probebetriebs
- Aufstellung, Endmontage und Anschluss der Module für den Probebetrieb

Der Probebetrieb läuft gegenwärtig auf einem landwirtschaftlichen Betrieb. Er wird abschließen mit Gutachten des TÜV zu Biogasausbeute sowie Eigenstrom- und Eigenwärmeverbrauch der Anlage.

Abbildung 1:
 Skizze Hof-Biogasanlage



Hof-Biogasanlagen – leistungsfähig und kompakt.



03KB149 agritower®

Entwicklung einer effizienten und kostengünstigen Hof-Biogasanlage zur Mono-Vergärung von Gülle

Dr. Klaus Beckers

klaus.beckers@agrigas.online

247 agrigas gmbh & co. kg

Burgseestr. 5, 19053 Schwerin

Poster Ausstellung



FlexPump

Anne Deutschmann, Gregor Ganzer

Fachgespräch IV
14:30 – 16:00 Uhr

Intelligentes Pumpensystem zur Durchmischung von Biogasreaktoren

Keywords:
Optimierung, Biogas, Flexibilisierung, Pumpen, Multifeedstock

Für Biogasanlagen sind effiziente Konzepte und Technologien zu entwickeln, die langfristig einen nachhaltig rentablen Betrieb unabhängig von staatlicher Förderung gewährleisten. Ein immenses Potenzial liegt hierbei in der Optimierung der Durchmischung der Gärsubstrate, verbunden mit einer effizienten und gezielten Technik zur Substrateinbringung und -vorbehandlung.

Durch gezielte Kopplung der Substratvorbehandlung und der Rückführung interner Prozesswasserströme mit einem intelligenten Pumpensystem soll im Rahmen des Verbundvorhabens FlexPump ein Gesamtsystem zur hydraulischen Durchmischung von Biogasreaktoren entwickelt und unter Praxisbedingungen im Pilotmaßstab überprüft und optimiert werden. Mit der zusätzlichen Erarbeitung und Erprobung eines multifeedstockfähigen Anlagenkonzeptes und der Entwicklung einer komplexen Steuerung zur Anpassung der hydrodynamischen Prozessabläufe soll eine praxistaugliche und nachhaltig rentable Systemlösung zur flexiblen und bedarfsgerechten Biogaserzeugung für einen breiten Anwenderkreis zur Verfügung stehen.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

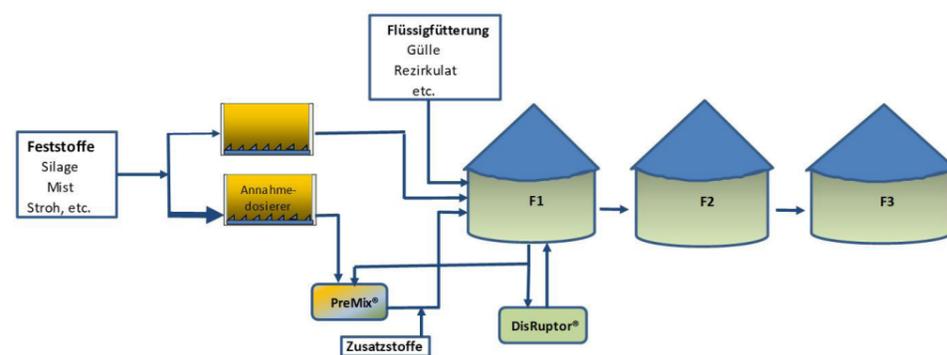
Die Entwicklung, Einbindung und Optimierung des Mischkonzeptes zur externen hydraulischen Durchmischung bei gleichzeitiger Substratvorbehandlung und Einbringung stellt einen der wesentlichen Forschungsschwerpunkte dar.

Dabei wurde die Durchmischung des Fermenters mittels numerischer Strömungssimulation und Prozess-Tomographie bewertet. Eine besondere Herausforderung stellten dabei das strukturviskose Fließverhalten, die Partikelkonzentration sowie die Verteilungsbreite der Partikelgröße dar. Aber auch die Anpassung, Optimierung und Bewertung der Pump- und Mischtechnik an den multifeedstockfähigen Anlagenbetrieb wurden untersucht.

ERGEBNISSE

Durch die Einbindung einer externen hydraulischen Durchmischung mit kombinierter Substratvorbehandlung, Aufbereitung und Einbringung am Hauptfermenter (Fermenter 1) konnte innerhalb des Versuchszeitraumes das Fließverhalten im Fermenter, ohne wesentliche Änderung des Trockenrückstandes (TR), deutlich reduziert werden. Das entwickelte Anlagenkonzept ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Die positiven Auswirkungen auf die Viskosität im Fermenter sind auf die Zerkleinerungswirkung der Substratvorbehandlungstechnik (PreMix®) und Aufbereitungstechnik (DisRuptor®), aber auch den verbesserten Abbau der Substrate zurückzuführen. Der verbesserte Abbau konnte anhand einer Steigerung des Biogaspotentials gemessen werden.

Abbildung 1:
Anlagenschema



Zusätzlich zu den durchgeführten Versuchen wurde mit Hilfe der numerischen Strömungssimulation (CFD-Modellierung) die Durchmischung im Fermenter für verschiedene Betriebs- und Prozessbedingungen untersucht. Für den Hauptfermenter (Fermenter 1) wurden stationäre 3D-Simulationen der Durchmischung im Reaktorvolumen für verschiedene Pumpendurchsätze, Rührwerksanordnungen und Substrateigenschaften durchgeführt. Eine Herausforderung stellt hierbei die Beschreibung der Strömung von hochkonzentrierten Suspensionen aus grobdispersen, faserigen Partikeln dar. Mit Hilfe von Mehrphasenmodellen basierend

auf dem Discrete Phase Model (DPM-Ansatz) konnte die Ausbildung von Schwimm- und Sinkschichten im Fermenter nachgewiesen werden. Ein weiterer Anwendungsfall des Modells war die Analyse des Einflusses der Substratrheologie auf die Durchmischung im Fermenter. Durch kombinierte Nutzung von Rühr- und Pumptechnik konnte eine verbesserte Durchmischung erzielt werden. Hierbei haben vor allem ein erhöhter Durchsatz der Umwälzpumpe und ein verbessertes Fließverhalten (geringere Viskosität) des Fermenterinhalt positive Auswirkungen auf die Vermischung.

Für einen Versuchsreaktor, der den Hauptfermenter im Labormaßstab abbildet, wurden ebenfalls Rechnungen durchgeführt. Verglichen werden die über Kreuzkorrelation ermittelten Geschwindigkeitsprofile an verschiedenen Messebenen sowie die zeitlichen Verläufe der Farbstoffverteilung. Die im CFD-Modell nachgestellten Farbversuche zeigten eine gute Übereinstimmung in der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Farbstoffs mit dem Experiment. Beim alleinigen Pumpenbetrieb konnte auch hier, wie beim Hauptfermenter F1, die Ausbildung einer Kurzschlussströmung zwischen dem Ein- und Auslass gezeigt werden. Eine Unterstützung durch Rührtechnik ist hier notwendig.

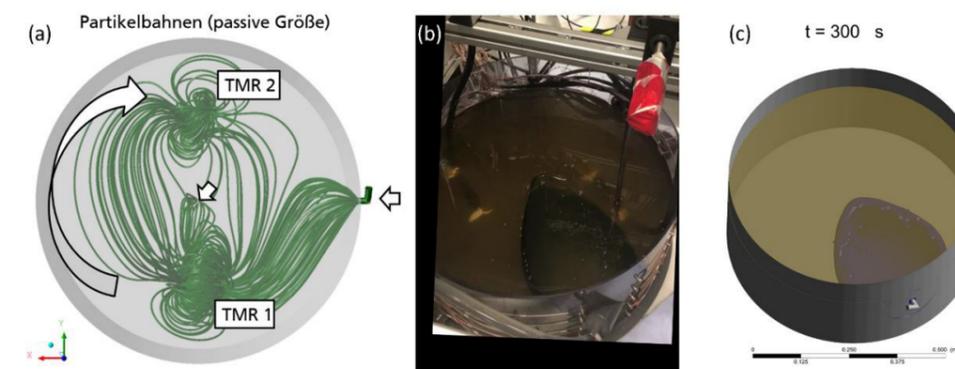


Abbildung 2:
(a) Berechnete Partikelbahnen im Fermenter mit Pumpenbetrieb und zwei Tauchmotorrührwerken (TMR),
(b) Farbversuch beim alleinigen Pumpenbetrieb bei 300 s,
(c) Ergebnis CFD-Modell für den gleichen Fall wie bei (b) bei 300 s

03KB152 FlexPump

Entwicklung und Demonstration eines pumpe-nbasierten Mischkonzeptes für den flexibilisierten, effizienzoptimierten und multifeedstockfähigen Betrieb von Biogasanlagen

Anne Deutschmann, Gregor Ganzer
Anne.deutschmann@ikts.fraunhofer.de

Fraunhofer Institut für keramische Technologien und Systeme IKTS,
Winterbergstr. 28, 01277 Dresden



SepaFlex

Fachgespräch IV
14:30 – 16:00 Uhr

Bedarfsorientierte Co-Vergärung von separiertem Bioabfallpresswasser zur Optimierung des Energiemanagements auf Kläranlagen

Jingjing Huang, Claudia Maurer, Peter Maurer, Martin Kranert, Laura Mager, Ralf Müller, Ludger Eltrop, Samah Gouya

Keywords:
Co-fermentation, Presswasser, Bioabfall, Flexible Biogasproduktion, Energiemanagement

Die hochwertige energetische Verwertung von Biomasse, insbesondere von biogenen Reststoffen für die effiziente Erzeugung von Bioenergie nimmt eine wichtige Rolle zum Erreichen der europäischen und nationalen energie- und klimapolitischen Zielsetzungen ein. Bei einer angestrebten Energieversorgung mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien spielt die Integration der fluktuierenden Stromerzeugung aus Windenergie und Photovoltaik eine wichtige Rolle. Eine zielgerichtete bedarfsorientierte energetische Verwertung biogener Reststoffe kann, neben einem nachhaltigen Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien und einer erhöhten Ressourceneffizienz, einen wichtigen Beitrag zur Systemintegration erneuerbarer Energien und zum Ausgleich fluktuierender Energieerzeugung leisten. Durch den flexiblen und anpassbaren Betrieb von biogasbetriebenen Blockheizkraftwerk (BHKW) kann die Stromerzeugung dann erfolgen, wenn andere erneuerbare Energieträger nicht zur Verfügung stehen. Die Stromerzeugung erfolgt dezentral in vorhandenen Anlagen, wodurch die Stromversorgung gestützt und der Netzbetrieb sicherer wird. Gleichzeitig sind auf vorhandenen Kläranlagen (KA) Kapazitäten zur Vergärung ungenutzt. Somit ist eine Co-Fermentation von Klärschlamm mit Bioabfall eine sinnvolle, effiziente und kostengünstige Alternative.

Eine Möglichkeit den rechtlichen Rahmenbedingungen gerecht zu werden und dabei dennoch den Großteil des Energiepotenzials von Bioabfall auszuschöpfen ist die Nutzung des beim Abpressen zur Vorkonditionierung von Bioabfall zur Kompostierung anfallenden flüssigen Presswassers (PW). Dabei handelt es sich um Prozessabwasser, welches der Abwasserreinigung zuzuführen ist. Aufgrund des hohen Anteils gelöster, leicht abbaubarer organischer Substanz und der daraus resultierenden guten Zugänglichkeit der Nährstoffe für die Mikroorganismen ist zu erwarten, dass das PW sehr gut geeignet ist, um als Co-Substrat im Faulturm von KA zur bedarfsorientierten Biogasproduktion eingesetzt zu werden. Die produzierte Energie kann entweder an den variierenden Strombedarf der KA angepasst oder zur flexiblen Nutzung ins Netz eingespeist werden. Hierdurch kann wiederum ein Zubau von Biogasspeichern eingespart werden, welcher für die angestrebte flexible Betriebsweise des BHKW notwendig wäre.

Das Ziel des geplanten Pilot- und Demonstrationsvorhabens ist im Projektverbund SepaFlex es durch ein innovatives, kostengünstiges Verfahrenskonzept die flexible energetische Nutzung von Bioabfall zu ermöglichen. Dabei soll die Eignung des PW für die flexible Biogasproduktion in Faultürmen kommunaler KA sowie die Verwertung des aBA in Kompostierungsanlagen unter Praxisbedingungen untersucht werden und die technischen sowie ökonomischen Möglichkeiten und Rahmenbedingungen des Verfahrens im Pilotbetrieb durch das ISWA und das Lehr- und Forschungsklärwerk (LFKW) der Universität Stuttgart gemeinsam mit dem Erden- und Komposthersteller BEM Umweltservice analysiert und validiert werden. Eine Bewertung des SepaFlex-Konzepts erfolgt im Kontext des zukünftigen Stromsystems, und seinen Flexibilitätsanforderungen einschließlich der Systemeffekten durch das IER der Universität Stuttgart.

MATERIAL UND METHODE

Im Projektverbund SepaFlex, die getrennte energetische Verwertung der flüssigen und festen Bestandteile von Bioabfall stellt ein innovatives Konzept dar, Bioabfälle durch bestehende Verwertungskapazitäten in Faultürmen auf Kläranlagen kostengünstig energetisch zu nutzen. Durch das Abpressen gelangen die leicht verfügbaren Organikanteile in die Vergärung und durch eine entsprechende Beschickung des Faulturms soll untersucht werden, inwieweit eine bedarfsorientierte Bereitstellung von Biogas möglich ist und dadurch der Eigenenergiebedarf einer Kläranlage gedeckt werden kann. Durch die stoffliche Verwertung der festen organischen Anteile bei der Kompostierung soll eine gleichbleibende hochwertige Verwertung der schwer vergärbaren Organikanteile gesichert werden.

Vor den Pressversuchen wurde eine Siebung durchgeführt, um die Massenbilanz zu ermitteln. Dazu wurde der Bioabfall mit einem 80-mm-Sieb gesiebt, da die 0/80-Fraktion des Abfalls für die Herstellung von Presswasser verwendet wird. Der Pressversuch wurde mit der Schneckenpresse durchgeführt, so dass das Ergebnis flüssiges Presswasser und der feste Rückstand der gepresste Bioabfall ist.

Eine technische Herausforderung, die es in der Kläranlage zu untersuchen gilt, ist, ob der anaerobe Schlamm im Gärbehälter durch die wässrige Lösung, also das Presswasser, ausgespült wird. Aus diesem Grund sind u.a. Versuche zur Charakterisierung des Presswassers notwendig, um den maximalen hydraulischen Zulauf zu bestimmen. Es werden Batchuntersuchungen zur Bestimmung der Biogausbeute von Presswasser durchgeführt. Als Substrate werden Presswasser und Faulschlamm aus der LFKW der Universität Stuttgart verwendet. Diese Untersuchungen der Substrate werden in Batchversuchen im mesophilen Bereich bei 35 +/- 2°C mit einer Versuchsdauer von 21 Tagen durchgeführt. Das Biogasvolumen sowie die CO₂- und CH₄-Konzentrationen werden täglich gemessen und dokumentiert.

Die Betriebsprotokolle des Fermenters der Kläranlage aus den letzten 3 Jahren wurden ebenfalls ausgewertet. Auf Basis der Betriebsdaten (Substratmengen und -zusammensetzung) und der Messwerte aus den Laborversuchen wurde eine Strategie zur bedarfsgerechten Steuerung des Biogasprozesses im Fermenter entwickelt. Um die Strategie im halbertechnischen Maßstab zu testen, wurden kontinuierliche Versuche mit einem 250L-Fermenter im mesophilen Bereich zur flexiblen Biogasproduktion gestartet.

Die Laboruntersuchungen zeigen, dass der Biogasertrag von Presswasser (805 lN/kg oTS) im Vergleich zum Biogasertrag bei Bioabfall (BA) und abgepressten Bioabfall (aBA) deutlich höher ist. Weitere Untersuchungen im halbertechnischen Maßstab zeigen, dass sich durch die Zugabe von Presswasser die Biogasproduktion und Gasqualität (Methangehalt) steigern lassen. Bereits bei einer Beschickung mit einer geringen Menge an Presswasser stieg die Biogausbeute deutlich an.

Der mittlere Stromverbrauch der Kläranlage des Instituts wurden evaluiert. Der Gesamtstromverbrauch der Kläranlage im Tagesablauf wurde ein mittlerer Gesamtwert von 844,86 kWh pro Tag ermittelt. Aus dem Gesamtstromverbrauch der Kläranlage lässt sich eine hierfür notwendige Menge von ca. 360 m³ Biogas berechnen. Die Biogasmenge, die momentan aus Faulgas in der Kläranlage produziert wird, beträgt ca. 55%, das entspricht einem Tageswert von ca. 200 m³. Aus der Aufstellung ist ersichtlich, dass täglich 3,91 m³ Bioabfall gepresst werden müssten, um 1,77 m³ Presswasser zu erzeugen und somit genügend Biogas zu erzeugen.

Weitere Versuchsreihen im halbertechnischen Maßstab zur flexiblen Biogasproduktion und Pilotversuche im Faulturm der LFKW sollen durchgeführt werden. Um Rückschlüsse auf die Wirtschaftlichkeit ziehen zu können, werden Massenbilanz und Energiebilanz des SepaFlex-Konzepts erstellt.

ERGEBNISSE

AUSBLICK

03KB147 SepaFlex

Co-Vergärung von separiertem Bioabfallpresswasser auf Kläranlagen zur flexiblen Energiegewinnung

Jingjing Huang¹, Dr. Claudia Maurer¹, Peter Maurer¹, Dr. Martin Kranert¹, Laura Mager², Ralf Müller², Ludger Eltrop³, Samah Gouya³

jingjing.huang@iswa.uni-stuttgart.de

¹ Universität Stuttgart, Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abwasserwirtschaft
Bandtäle 2, 70569 Stuttgart

² BEM Umweltservice GmbH
Teinacher Str. 34, 71634 Ludwigsburg

³ Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung
Heßbühlstraße 49A, 70565 Stuttgart



PyroGas

Fachgespräch IV
14:30 – 16:00 Uhr

Andreas Ewald, Sebastian Fendt, Hartmut Spliethoff

Thermochemische Vorbehandlung von Klärschlamm für den Einsatz in der Flugstromvergasung

Keywords:
**Pyrolyse,
Flugstromvergasung,
Blockheizkraftwerk,
Kraft-Wärme-Kopplung,
Klärschlamm**

Das Projektvorhaben PyroGas untersucht die stoffgerechte Verwertung von Abfällen und biogenen Reststoffen. Durch eine Pyrolyse und eine anschließende Flugstromvergasung wird aus entsorgungspflichtigen Reststoffen ein Produktgas für den Einsatz in einem Gasmotor erzeugt. Die Rohstoffe für die experimentellen Überlegungen sind Klärschlamm und Hühner trockenkot. Beide Reststoffe enthalten einen hohen Gehalt an Phosphor, weshalb Maßnahmen für eine Rückgewinnung in das Konzept integriert werden. Die Kopplung der thermochemischen Umwandlung der festen Biomasse zu einem brennbaren Produktgas ermöglicht in Kombination mit dem nachgeschalteten Gasmotor die Umsetzung einer Kraft-Wärme-Kopplung. Durch den Einsatz des Gasmotors wird zudem ein hoch skalierbares Gesamtkonzept geschaffen. Somit soll die Möglichkeit einer dezentralen Integration des Systems in Kläranlagen oder große Geflügelfarmen gegeben werden. Ziel der Präsentation ist es, geeignete Vorbehandlungsbedingungen für die im Verfahren nachfolgende Flugstromvergasung aufzuzeigen. In einem ähnlichen Ansatz wurde auf eine thermische Vorbehandlung des Brennstoffes verzichtet und dieser nach der Trocknung direkt einer Mühle zugeführt. Lediglich jeder zweite angelieferte Brennstoff konnte dabei auf den für den folgenden Verfahrensschritt nötigen Mahlgrad aufbereitet werden. [1]

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Eine Pyrolyse bei moderaten Bedingungen soll faserige und zähe Brennstoffe für den Einsatz in dem Gesamtkonzept zugänglich machen. Dabei steht eine Verbesserung von mechanischen Eigenschaften wie der Mahlbarkeit und der Partikelgrößenverteilung im Vordergrund. Zudem kann einer Steigerung des Heizwertes erreicht werden, was sich vorteilhaft auf einen möglichen Transport und die Lagerung des Brennstoffes sowie die anschließende Vergasung auswirkt. Letztendlich spielen auch die Stabilisierung und die Homogenisierung des Brennstoffes eine Rolle.

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Unterschiedliche geeignete Brennstoffe (Klärschlamm, Teichschlamm und nachfolgend auch Hühner trockenkot) werden einer Pyrolyse bei unterschiedlichen Prozesstemperaturen unterzogen. Der entstehende Pyrolysekoks wird nach gängigen Methoden charakterisiert. Durchgeführt wird eine Kurzanalyse zur Bestimmung der Feuchtigkeit, des Aschegehaltes, des Gehaltes an flüchtigen Verbindungen und des Gehaltes an gebundenem Kohlenstoff im jeweiligen Brennstoff. Zudem wird durch eine Elementaranalyse der Gehalt an C, H, N, S und Cl ermittelt. Die Brennstoffasche der unterschiedlichen Pyrolysekoks wird auf ihre elementare Zusammensetzung hin untersucht. Da das Gesamtkonzept eine Rückführung des Phosphors aus der Vergasungasche vorsieht, wird bei der Analyse der Asche ein Fokus auf den Verbleib des Phosphors und den Schwermetallgehalt gelegt. Durch Vergasungsversuche in einem atmosphärischen, elektrisch beheizten Fallrohrreaktor mit Luft findet eine Bewertung zur Eignung der Brennstoffe für die Flugstromvergasung statt. Das entstehende Produktgas wird neben den Hauptgaskomponenten Kohlenstoffmonoxid, Kohlenstoffdioxid, Wasserstoff, Stickstoff und Methan auf seine Teerbelastung hin untersucht.

ERGEBNISSE

- Einfluss der Pyrolysetemperatur auf die Brennstoff- und Aschezusammensetzung
- Einfluss der Pyrolysetemperatur auf das Vergasungsverhalten des Brennstoffes
- Einfluss der Pyrolysetemperatur auf die Teerentstehung bei der Vergasung des Brennstoffes
- Festlegung der geeignetsten Pyrolysetemperatur für das vorgesehene Gesamtkonzept

LITERATUR

[1] JAEGER, M.; MAYER, M.; ADLER, D.; LAMP, P.; SPECHT, E.; BOHNET, M.; STARK, J.; MENZ, D. (1998): Entwicklung eines geschlossenen Konzeptes zur thermischen Verwertung von Klärschlämmen mittels Flugstromvergasung. Noell-KRC Energie- und Umwelttechnik GmbH. Förderkennzeichen: 02-WS9426/0



03KB158 PyroGas

Dezentrale Verwertung von Abfall- und Reststoffen mittels Pyrolyse und anschließender Flugstromvergasung zur gasmotorischen Nutzung (KWK)

Andreas Ewald¹, Dr.-Ing. Sebastian Fendt¹,
Prof. Dr.-Ing. Hartmut Spliethoff²
andreas.ewald@tum.de

¹ Lehrstuhl für Energiesysteme,
Technische Universität München
Boltzmannstraße 15, 85748 Garching bei München
² ZAE Bayern, Bayerisches Zentrum für
Angewandte Energieforschung e. V.
Walther-Meißner-Straße 6, 85748 Garching
bei München

Upscale vom Labor- in Demonstrationsmaßstab

Martin Meiller, Julian Walberer, Robert Daschner, Christoph Weih

DAnKEE –

DAnKEE

Fachgespräch IV
14:30 – 16:00 Uhr

Keywords:
**Rauchgasreinigung, SCR,
Staub- und Stickoxidemissionen**

Der Grundgedanke, der diesem innovativen Konzept zugrunde liegt, ist die Kombination von mehreren Rauchgasreinigungssystemen in einer kombinierten Einheit. Mit der neuartigen Entwicklung wird es möglich sein, verschärfte Emissionsgrenzwerte einzuhalten. Die zunehmende Luftverschmutzung, hier sind im Besonderen Feinstaub- und Stickoxidemissionen zu nennen, führt in ganz Europa zu einer sukzessiven Verschärfung von Abgasgrenzwerten für diverse Verbrennungsprozesse (Verkehr, Energie und Industriesektor). Diese Entwicklung macht auch vor dem Biomassektor nicht Halt, weshalb auch hier striktere Grenzwerte greifen. Aus diesem Grund hat Fraunhofer UMSICHT ein innovatives Filterkonzept entwickelt, welches das Ziel verfolgt eine kostengünstige und effiziente Lösung für die Reduktion von gesundheitsschädlichen Emissionen in Verbrennungsprozessen bereitzustellen.

Der zentrale Bestandteil des Filters ist eine keramische Filterkerze, welche bereits für konventionelle Staubfiltration erfolgreich eingesetzt wird. Bei der neuen Entwicklung ist die Keramik gleichzeitig Trägermaterial für spezielle Niedertemperaturkatalysatoren, welche SCR bereits ab Temperaturen unterhalb 200 °C ermöglichen. Ein Forschungsschwerpunkt ist deshalb die Überführung der bisher erzielten Ergebnisse im Demonstrationsmaßstab. Dies beinhaltet sowohl die Hochskalierung der Anlagen zur Aktivierung der Filterkerzen als auch die Auslegung und Konstruktion einer Filtereinheit. Neben dem Upscale ist ein weiterer Forschungsschwerpunkt die Auslegung und Untersuchung der Reduktionsmitteleinbringung. Da die Umsetzung der Stickoxide bei maximal 200 °C erfolgen soll ist es notwendig neue Konzepte zur Reduktionsmitteleinbringung zu entwickeln, da die am Markt verfügbare Technik nur bei höheren Temperaturen funktioniert.

Zunächst müssen die Herstellprozesse der vielversprechendsten Katalysatorkombinationen aus dem Vorgängerprojekts hochskaliert werden. Konkret werden dabei die Imprägnier- und Kalzinieranlage neu konstruiert. In Anschluss daran werden die aktivierten Filterkerzen unter realen Bedingungen in Technikum von Fraunhofer UMSICHT hinsichtlich Staub- und NO_x-Abscheidung bewertet. Die aktivierten Filterkerzen werden dazu mit Rauchgasen einer Biomassefeuerung beaufschlagt. Zusammen mit den Projektpartner Herding GmbH Filtertechnik wird hierfür eine Filtereinheit konstruiert und in das Fraunhofer Technikum integriert. Fraunhofer UMSICHT übernimmt hier die Auslegung der Reduktionsmitteleinbringung, während Herding die Konstruktion und Fertigung des Filters durchführt.

Welche Ergebnisse werden im Vortrag konkret präsentiert?

- Die Aktivierung der Filterkerzen funktionierte aus technischer Sicht ohne Komplikationen. Die Filterkerzen, welche mit den hochskalierten Anlagen aktiviert wurden erzielten ähnliche NO_x-Abscheideraten (ca. 40%) wie im Labormaßstab (Prüfstandtest). Der Upscale der Aktivierungsanlagen (Imprägnierung und Kalzinierung) war somit erfolgreich.
- Die Auslegung und Test von Reduktionsmitteleinbringungen spielte in diesen Forschungsvorhaben nur eine untergeordnete Rolle. Allerdings hat sich gezeigt, dass bei diesem Punkt noch Forschungsbedarf vorhanden ist. Die getesteten Reduktionsmitteleinbringungen zeigten keine zufriedenstellenden Resultate. Speziell die Einbringung von Reduktionmittel bei niedrigen Temperaturen war problematisch und sollte deshalb in Zukunft noch weiterentwickelt werden.
- Die Verbrennungstests zur Ermittlung der Abscheideleistung der aktivierten Filterelemente unter Praxisbedingungen ist aktuell noch nicht abgeschlossen. Abhängig vom Projektfortschritt werden zudem Ergebnisse zur Abscheideleistung vorgestellt.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

KONKRETE AKTIVITÄTEN

ERGEBNISSE

03KB143

DAnKEE - Demonstration einer Anlage zur kombinierten Entstaubung und Entstickung – Schlüssel für die umweltfreundliche Nutzung von Biomasserest- und Abfallstoffen

Martin Meiller¹, Julian Walberer¹, Dr. Robert Daschner¹,
Christoph Weih²

julian.walberer@umsicht.fraunhofer.de

¹ Fraunhofer UMSICHT
An der Maxhütte 1, 92237 Sulzbach-Rosenberg,
² Herding GmbH Filtertechnik
August-Borsig-Straße 3, 92224 Amberg



FACHGESPRÄCH V

Brennstoffheterogenität und Homogenisierung

StROhgas

Entwicklung der vereinfachten Probenahmenorm DIN EN ISO 21945

Dr. Volker Zelinski, HAWK

VergaOpt

Herstellung von homogenen Proben für Ringversuche sowie Homogenisierung von Holzhackschnitzelchargen (>2t) für Torrefizierungsversuche

Dr. Martin Englisch, BEA

KeVergAv

Heterogenität von Strohchargen und Ansätze zu deren Homogenisierung im Technikumsmaßstab (<2t)

Dr. Annett Pollex, DBFZ

Heterogenität in Holzhackschnitzelchargen und Einfluss der Aufbereitung auf die Heterogenität

Dr. Daniel Kuptz, TFZ

Erfahrungsaustausch und Erarbeitung von Handlungsempfehlungen

- Austausch zu Erfahrungen mit der Heterogenität von Brennstoffchargen sowie Diskussion von Ansätzen und Verfahren zur Homogenisierung von Versuchschargen
- Erarbeitung eines Vorschlags zu Art und Umfang einer allgemein zugänglichen Homogenisierungsanleitung (z.B. als Handlungsempfehlung oder Methodenhandbuch).



StROhgas

VergaOpt

KeVergAv

Fachgespräch V
14:30 – 16:00 Uhr

Annett Pollex

Heterogenität in ausgewählten holz- und nichtholzartigen Brennstoffsportimenten und deren Auswirkungen auf Verbrennungs- und Vergasungsprozesse

Keywords:
Stroh, Holzhackschnitzel,
Homogenisierung,
Brennstoffeigenschaften,
Asche

Bislang wird hauptsächlich Holz mit vergleichsweise guter Qualität für die Bioenergieerzeugung eingesetzt [1]. Dieses wird im Sinne einer zukünftigen Bioökonomiestrategie [2] zunehmend schwerer für eine ausschließlich energetische Nutzung zu beschaffen sein. Entsprechend müssen biogene Rest- und Abfallstoffe (z.B. Holzsortimente niedriger Qualität und nichtholzartige Biomassereststoffe) zunehmend mobilisiert und genutzt werden. Diese weisen nicht nur eine kritischere Brennstoffzusammensetzung mit einem höheren Gehalt an emissions- und verschlackungsrelevanten Inhaltstoffen auf, sondern sind selbst innerhalb einer Brennstoffcharge deutlich heterogener. Dadurch werden wissenschaftliche Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen chemischer Zusammensetzung und Abbrand- und Emissionsverhalten sowie zum Einfluss primärer brennstoff- oder anlagenseitiger Minderungsmaßnahmen erschwert, bei denen eine homogene Brennstoffzusammensetzung für die Interpretation der Ergebnisse unabdingbar ist.

Im ersten Teil des Homogenisierungsworkshops werden in zwei Vorträgen unterschiedliche Aspekte aus dem Bereich der Brennstoffhomogenisierung beleuchtet. Zum einen werden Ergebnisse zur Brennstoffheterogenität aus verschiedenen Vorhaben des Förderprogramms (z.B. StROhgas (FKZ: 03KB085) zu Stroh, VergaOpt (FKZ: 03KB135) zu Holzbrennstoffen) vorgestellt. Zum anderen wird anhand der Probenahmenorm [3] und aktuellen Veröffentlichungen [4–7] der Einfluss der Heterogenität auf die repräsentative Probenahme und die erforderliche Anzahl an Teilproben bei unterschiedlichen Sortimenten erläutert, die notwendig ist, um die Eigenschaften mit der erforderlichen Präzision bestimmen zu können. Zusätzlich wird die im Projekt StROhgas entwickelte Herangehensweise zur Homogenisierung von Stroh vorgestellt [8].

Im zweiten Teil sollen interaktiv die Erfahrungen anderer Forschungseinrichtungen zur Thematik eingesammelt werden und in einer Arbeitsgruppe die Erarbeitung einer Homogenisierungsvorschrift unter Berücksichtigung der Erfordernisse der betroffenen Akteure vorbereitet werden.

LITERATUR

- [1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. Erneuerbare Energien in Zahlen: Nationale und internationale Entwicklung im Jahr 2019; 2020.
- [2] Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft. Nationale Bioökonomiestrategie. [July 30, 2021]; Available from: https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/nationale-bioekonomiestrategie-langfassung.pdf?sessionid=E4BB5BCC6EA9272AF4C7D0B48997D14D.live832?__blob=publicationFile&v=4.
- [3] Deutsches Institut für Normung. DIN EN ISO 18135: Solid Biofuels - Sampling. Berlin, Germany: Beuth Verlag; 2017.
- [4] Thy P, Esbensen KH, Jenkins BM. On representative sampling and reliable chemical characterization in thermal biomass conversion studies. *Biomass and Bioenergy* 2009;33(11):1513–9. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2009.07.015>.
- [5] Leoni E, Mancini M, Aminti G, Picchi G. Wood Fuel Procurement to Bioenergy Facilities: Analysis of Moisture Content Variability and Optimal Sampling Strategy. *Processes* 2021;9(2):359. <https://doi.org/10.3390/pr9020359>.
- [6] Kuptz D, Schreiber K, Schulmeyer F, Lesche S, Zeng T, Ahrens F et al. Evaluation of combined screening and drying steps for the improvement of the fuel quality of forest residue wood chips—results from six case studies. *Biomass Conv. Bioref.* 2019;9(1):83–98. <https://doi.org/10.1007/s13399-019-00389-2>.
- [7] Acquah GE, Krigstin S, Wetzel S, Cooper P, Cormier D. Heterogeneity of Forest Harvest Residue from Eastern Ontario Biomass Harvests. *Forest Products Journal* 2016;66(3-4):164–75. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-14-00098>.
- [8] Pollex A. StROhgas: Entwicklung eines Verfahrens zur Vergasung von asche- und chlorhaltiger Biomasse am Beispiel Stroh: Schlussbericht. Leipzig, Germany; 2019.



1. Schritt Großchargenpelletierung



2. Schritt Großchargenpelletierung



Abbildung 1: (links) Stroh – ein Agrarreststoff mit hohem technischen Potenzial (Quelle: DBFZ)

Abbildung 2: (rechts oben) Erster Homogenisierungsschritt: Grobpelletierung zu Krix und schichtweise Abfüllung (Quelle: DBFZ)

Abbildung 3: (rechts unten) Zweiter Homogenisierungsschritt: Pelletierung und schichtweise Abfüllung (Quelle: DBFZ)

03KB085 stROhgas

Entwicklung eines Verfahrens zur Vergasung von asche- und chlorhaltiger Biomasse am Beispiel Stroh

03KB135 VergaOpt

Mittel- und langfristige Sicherung des Holzvergaseranlagenbestandes und Beitrag zu dessen weiterem Ausbau durch Erschließung preiswerter Brennstoffsortimente

03EI5416 - KeVergAv

Brennstoffspezifische Kennzahlen zum Vergasungs- und Ascheverhalten unterschiedlich aufbereiteter Holz- und Strohbiomasse

Dr. Annett Pollex

annett.pollex@dbfz.de

DBFZ - Deutsches Biomasseforschungszentrum

gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116 116, 04347 Leipzig



FACHGESPRÄCH VI

Besser integrieren

RhoTech

Wasserstoff aus biogenen Rest- und Abfallstoffen mittels
»Dunkel-Photosynthese«

Caroline Autenrieth, Robin Ghosh

Verstetigung der Wärmeversorgung in Bioenergiedörfern
durch energetische Systemkoppelungen

Jan Kelch, Ines Wilkens, Marianne Karpenstein-Machan,

Energiespeicherkonzepte für kleine und mittlere
Biogasanlagen mittels Direktmethanisierung

Charley Michelle Flach, Fosca Conti, Katharina Bär, Markus Goldbrunner

ProPhaSep

Zweistufige Verfahrensführung zur Flexibilisierung der Biogasproduktion

Eike Janesch, Rodrigo R. Retamal Marín, Pierre Haider, Michael Mertig, Peter Neubauer, Anja Lemoine,
Jens Zosel, Stefan Junne

(BGA-PtG)²

Konsument*innen-Präferenzen und Zahlungsbereitschaften für
regenerative Gase im Wärmesektor: Ergebnisse eines Discrete
Choice-Experiments

Benedikt Rilling, Carsten Herbes

Zukünftige Anwendungsfälle und Potentiale der Optimierung des Subst-
rateinsatzes in Biogasanlagen

Joshua Güsewell

Anschließende Diskussion



RhoTech

Caroline Autenrieth, Robin Ghosh

Fachgespräch VI

14:30 – 16:00 Uhr

Wasserstoff aus biogenen Rest- und Abfallstoffen mittels »Dunkel-Photosynthese«

Keywords:
Biowasserstoff,
Purpurbakterien,
Rhodospirillum rubrum,
»Dunkel-Photosynthese«

Die Erzeugung von Biowasserstoff mit Hilfe von Mikroorganismen kann einen wichtigen Beitrag für die Energiewende leisten. Der Wasserstoff wird hier unter vergleichsweise niedrigen Temperaturen produziert, und als Nährsubstrat kann eine vielfältige Palette an organischen Rest- und Abfallstoffen verwendet werden. Die biogene Wasserstoffherzeugung kann mittels Dunkelfermentation, Biophotolyse oder »Dunkel-Photosynthese« erfolgen [1].

Die »Dunkel-Photosynthese«, die mit dem photosynthetischen Purpurbakterium *Rhodospirillum rubrum* betrieben wird, vereint hierbei die Vorteile zweier unterschiedlicher Welten: Der photosynthetische Stoffwechselmodus ist aktiv, d.h. alle Membranen und Membranproteine, die üblicherweise für Photosynthese wichtig sind, aber auch für den Elektronentransport zu den Wasserstoff-produzierenden Enzymen erforderlich sind, werden überproduziert. Gleichzeitig findet der Prozess aber im Dunkeln statt. Das »Licht-Signal« für die Etablierung des photosynthetischen Wachstumsmodus ist eigentlich ein Redox-Signal: durch die photosynthetischen Reaktionen werden die Membranen überreduziert, was wiederum die Genexpression für den photosynthetischen Wachstumsmodus induziert. Die Membranen können allerdings auch durch die Fütterung verschiedener organischer Substrate (z.B. Fruktose [2]) in einen überreduzierten Zustand kommen, was zur Folge hat, dass die Bakterien »getäuscht« werden, und, trotz des fehlenden Lichts, in den photosynthetischen, Wasserstoff-produzierenden Wachstumsmodus übergehen. Die Inkubation im Dunkeln ermöglicht eine Anzucht der Bakterien in herkömmlichen Bioreaktoren, und das *Up-scaling* in einen industriellen Maßstab ist wesentlich leichter als mit Photobioreaktoren, wo Licht immer ein limitierender Faktor ist. Da der »Dunkel-Photosynthese«-Prozess ein semi-aerober Prozess ist, ist das Zellwachstum schneller als bei der herkömmlichen Dunkelfermentation, die unter anaeroben Bedingungen stattfindet.

Ziel der Präsentation ist es, den noch weitgehend unbekannt »Dunkel-Photosynthese«-Prozess zu erläutern und die Arbeiten und Ergebnisse unseres RhoTech-Konsortiums zur Optimierung der Wasserstoff-Produktion mittels »Dunkel-Photosynthese« vorzustellen.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Das vom BMWi geförderte RhoTech-Konsortium [3] besteht aus vier Partnern, sowohl aus dem naturwissenschaftlichen als auch Ingenieurbereich, die gemeinsam den bislang in TRL 3-4 befindlichen »Dunkel-Photosynthese«-Wasserstoffproduktionsprozess in einen größeren Maßstab überführen möchten. Wichtig hierbei ist, dass in dem zu etablierenden industriellen Prozess Nährsubstrate aus biogenen Rest- und Abfallstoffen verwendet werden sollen.

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Im Projekt wird sowohl an der Optimierung der Wasserstoffproduktion mittels »Dunkel-Photosynthese« durch *R. rubrum* als auch an der Etablierung am Markt gearbeitet. Die Arbeitsgruppe an der Universität Stuttgart (Prof. Dr. R. Ghosh, Dr. C. Autenrieth) arbeitet dabei an Stammoptimierung mittels molekularbiologischer Methoden und koordiniert das Konsortium. An der Hochschule Biberach (Prof. Dr. H. Grammel) wird der Prozess verfahrenstechnisch optimiert und Prozessparameter ermittelt. Das Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA (Prof. Dr. A. Sauer, MSc. J. Full) schätzt das verwertbare Biomasseaufkommen und das damit einhergehende Bioenergiepotenzial für Bio-Wasserstoff aus Frucht- und Molkerei-Abfällen ab und ermittelt potenzielle Produktionstopologien und verschiedene Nutzungsszenarien. CAPEX und OPEX-Kosten, sowie THG-Emissionen eines vielversprechenden Nutzungsszenarios werden abgeschätzt und Handlungsempfehlungen für eine erfolgreiche Markteinführung erstellt. Unser KMU-Partner KE-Technologie GmbH (Stuttgart) untersucht die Möglichkeit, die Wasserstoffproduktion mittels niedrigenergie LED-Beleuchtung (die nicht zur Photosynthese sondern nur als zusätzlicher »Signalgeber« verwendet wird) zu erhöhen und unterstützt die AG Grammel beim Bau einer Pilotanlage am Standort Biberach.

Im Vortrag werden hauptsächlich die Ergebnisse der AG Ghosh (Universität Stuttgart) präsentiert. [4] Insbesondere werden Wachstumsversuche im Labormaßstab zur Optimierung der Wasserstoffproduktion durch Aktivierung des Haupt-Enzyms für Wasserstoffbildung, der Nitrogenase, vorgestellt. Hierbei ist die Auswahl der Stickstoffquelle im Nährsubstrat von entscheidender Bedeutung.

Desweiteren werden verschiedene von den einzelnen Gruppen durchgeführte Strategien zur Überführung des Prozesses in den größer-skaligen Maßstab kurz zusammengefasst und ein Ausblick aufgezeigt.

[1] BMWi-Forschungsnetzwerk Bioenergie (2021): Stellungnahme: Biomasse und Bioenergie als Teil der Wasserstoffwirtschaft. URL: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/publikationen/stellungnahmen> (Stand 04.06.2021).

[2] Ghosh, R.; Hardmeyer, A.; Thoenen, I.; Bachofen, R. (1994): Optimization of Sistro medium for the semi-aerobic growth of *Rhodospirillum rubrum* with the maximal yield of photosynthetic membranes. *Appl. Environ. Microbiol.*, 60, 1698-1700.

[3] URL: <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/RhoTech-637> (Stand 31.07.2021)

[4] Autenrieth, C.; Shaw, S.; Ghosh, R. (2021): New approach for the construction and calibration of gas-tight setups for biohydrogen production at the small laboratory scale. *Metabolites*, 11, 667. <https://doi.org/10.3390/metabo11100667>

ERGEBNISSE**LITERATUR**

03EI5407 RhoTech

Neue Strategie zur Wasserstoff-Produktion aus Frucht- und Molkerei-Abfällen mit Hilfe von Purpurbakterien

Dr. Caroline Autenrieth, Prof. Dr. Robin Ghosh
caroline.autenrieth@bio.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

Institut für Biomaterialien und biomolekulare Systeme, Abteilung Bioenergetik
 Pfaffenwaldring 57, 70569 Stuttgart



Fachgespräch VI
14:30 – 16:00 Uhr

Verstetigung der Wärmeversorgung in Bioenergie-dörfern durch energetische Systemkoppelungen

Jan Kelch, Ines Wilkens, Marianne Karpenstein-Machan,

Keywords:
Bioenergie-dörfer,
Solarthermie,
Power-to-Heat,
Wärmegestehungskosten,
Nahwärmenetz

Im Rahmen des Forschungsprojekts »Innovative Konzepte und Geschäftsmodelle für zukunftsfähige Bioenergie-dörfer – klimafreundlich, demokratisch, bürgernah« werden von einem Projektteam der Universitäten Kassel und Göttingen in einem dreijährigen Projekt (2019-2022) mögliche neue Geschäftsfelder für Bioenergie-dörfer erarbeitet. In Zusammenarbeit mit zwei Partnerbioenergie-dörfern und einem Expertenbeirat werden Zukunftsoptionen diskutiert und in Reallaboren auf Praxistauglichkeit geprüft.

Die Ausgangssituation in Bioenergie-dörfern ist sehr unterschiedlich, sie unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Projekthistorie, ihrer technischen Ausstattung, ihrer Gesellschaftsform, der Anschlussquote an das Nahwärmenetz, ihrer finanziellen Lage und nicht zuletzt in dem Engagement der Bürgerinnen und Bürger im Dorf.

Bei vielen der ca. 160 Bioenergie-dörfer läuft in den nächsten 5 bis 10 Jahren die 20-jährige EEG-Förderung aus. Die EEG-Stromvergütung stellt für die Anlagenbetreiber die Haupteinnahmequelle dar und bestimmt zurzeit die Wirtschaftlichkeit. Hier gilt es neue, für die Bioenergie-dörfer maßgeschneiderte Geschäftsmodelle zu finden, die die erneuerbare Nahwärmeversorgung der Bürger und die Wirtschaftlichkeit sicherstellen. In dem Vortrag wird aufgezeigt, wie bisher noch nicht genutzte, erneuerbare Wärmequellen als Ersatz oder Ergänzung für die Biogas-BHKWs in einem der Partnerbioenergie-dörfer eingesetzt werden können, und ob dies zu akzeptablen Wärmepreisen umsetzbar ist.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Sektorenkopplung, Post-EEG Wärmeszenarien,
Berechnung der Wärmegestehungskosten

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Es werden drei Wärmeversorgungsvarianten untersucht: Wärmeversorgung mit einem Holzkessel, einem Holzkessel in Kombination mit einer Solarthermieanlage und eine Power-to-Heat-Lösung bestehend aus einer Kaskadenschaltung von Wärmepumpen mit anteiliger Strombereitstellung durch eine Post-EEG Windkraftanlage (Wind-PtH mit Wärmepumpen). Für die beiden letztgenannten Szenarien werden Jahressimulationen mit der Software EnergyPro durchgeführt, um beispielsweise den solaren Deckungsanteil durch die Solarthermieanlage und den genutzten Windstrom- und Netzstromanteil der Wärmepumpen zu berechnen.

ERGEBNISSE

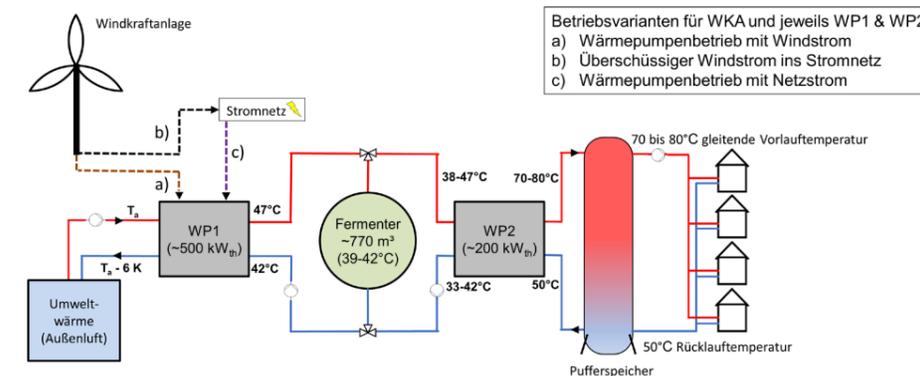
- Kurzübersicht der Bestandsanlagen und Darstellung der nachteiligen Fördersituation im Jahr 2034
- Eckdaten zu den drei Wärmeversorgungsvarianten: Dimensionierung, Einsatz von Energieträgern und Kostenannahmen
- Biogasüberschussprofile und Wärmebedarfsdeckung durch ergänzende Wärmeerzeuger
- Detailbetrachtung des Wärmepumpenszenarios (Wind-PtH mit Wärmepumpen):
 - Wärmebedarfe, Temperaturbedingungen und Integrations-Schema zweier Wärmepumpen zur Beheizung des Fermenters und kleinen Wärmenetzes am Standort der Biogasanlage
 - Erhöhung der Effizienz durch kaskadierte Schaltung der Wärmepumpen
 - Windstromerträge sowie berechnete Deckungsanteile an der Wärmebereitstellung jeweils für Umweltwärme, Wind- und Netzstrom
- Variantenvergleich: jeweilige Aufteilung in kapital-, betriebs- und bedarfsgebundene Kosten sowie Wärmegestehungskosten je kWh Wärme (LCoH bzw. Levelized Costs of Heat).

Erfolg:

- Alle untersuchten Varianten sind technisch in dem Partnerbioenergie-dorf umsetzbar.
- Die Unterschiede der Varianten hinsichtlich Investitionsvolumen, Betriebskosten und Wärmegestehungskosten werden deutlich.
- Auch die insgesamt kostenintensivste Variante Wind-PtH mit Wärmepumpen führt zu Wärmegestehungskosten, die für Nahwärmekunden noch akzeptabel sind.

- [1] Baez, M. J.; Larriba Martínez, T. (2014): Technical Report on the Elaboration of a Cost Estimation Methodology. Work Package 3 - Estimating RHC energy costs. Madrid, Spain: Creara
- [2] Danish Energy Agency; Energinet (Hg.) (2016): Technology Data. Generation of Electricity and District heating. 9. Aufl. Copenhagen.
- [3] Eltrop, L.; Hartmann, H.; Poboss, N. (2014): Leitfaden feste Biobrennstoffe. Planung, Betrieb und Wirtschaftlichkeit von Bioenergieanlagen im mittleren und großen Leistungsbereich. 4. Aufl. Hg. v. FNR. Gülzow-Prüzen.
- [4] Hellwig, M. (2003): Entwicklung und Anwendung parametrisierter Standard-Lastprofile, Institut für Energietechnik. Dissertation. TU München
- [5] Wolf, S. (2017): Integration von Wärmepumpen in industrielle Produktionssysteme. Potenziale und Instrumente zur Potenzialerschließung. Universität Stuttgart IER. Stuttgart.

LITERATUR



- Fermenter ist größter Wärmeabnehmer und weist geringe Betriebstemperatur auf → WP-Kaskadenschaltung effizienter
- Fermenter als Pufferspeicher angenommen:
 - Temperaturerhöhung in Simulation von 3 K angenommen (laut BGA-Betreiber verkräftet Biologie des Fermenters 5-6 K)
 - Wasseranteil Fermenterinhalt bei ca. 80% → Wärmekapazität eines 616 m³-Wasserspeichers angenommen

Abbildung 1:
**Windenergienutzung unter
Einbindung von Wärmepumpen
in Kaskadenschaltung zur
Fermenterbeheizung und
Einspeisung in ein
Nahwärmenetz (Fachgebiet
für Solar- und Anlagentechnik
der Universität Kassel)**

Jan Kelch¹, Dr. Ines Wilkens²,
PD Dr. Marianne Karpenstein-Machan²

j.kelch@uni-kassel.de
ines.wilkens@uni-kassel.de
mariannekarpenstein@uni-kassel.de,

¹ Fachgebiet Solar- und Anlagentechnik
Universität Kassel

Kurt-Wolters-Straße 3, 34109 Kassel

² Fachgebiet Mikroökonomik und empirische
Energieökonomik Universität Kassel
Untere Königsstraße 71, 34117 Kassel



Fachgespräch VI
14:30 – 16:00 Uhr

Energiespeicherkonzepte für kleine und mittlere Biogasanlagen mittels Direktmethanisierung

Charley Michelle Flach, Fosca Conti, Katharina Bär, Markus Goldbrunner

Keywords:
Fermenter, Biogasanlage, Verdichter, Injektorkonzepte, Laborbiogasanlage

Derzeit sind Wind- und Sonnenenergie die wichtigsten erneuerbaren Energieträger in Deutschland. Jedoch haben diese Energieträger den Nachteil, dass die Stromerzeugung von der Intensität des Windes beziehungsweise der Sonneneinstrahlung abhängig und somit nicht steuerbar ist. Je mehr demnach die konventionellen Energieträger durch erneuerbare Energien abgelöst werden, desto wichtiger werden auch die flexiblen und steuerbaren Einsatzmöglichkeiten einer Biogasanlage. Auch in den EEG-Novellen der Jahre 2012, 2014, 2017 und 2021 ist die Flexibilisierung von Biogasanlagen eins der wesentlichen Ziele. Eine ideale Möglichkeit zur Flexibilisierung bieten Biomethananlagen, welche das erzeugte Biogas in das Erdgasnetz einspeisen. Die Gasaufbereitung von Biogas zu Biomethan ist allerdings mit hohen Kosten verbunden [1]. Deshalb sind auch unter Berücksichtigung der EEG Novelle 2021 hier nur Großanlagen wirtschaftlich umsetzbar. So lange die Flexibilisierung von Biogasanlagen außerdem mit einer Reduzierung der Anlagenauslastung bzw. der Stromproduktion einher geht, ist das Nachrüstung von Bestandsanlagen mit den aktuellen Fördermodellen keine wirtschaftliche Option, wie auch ein Hintergrundpapier des DBFZ [2] aufzeigt.

Bestehende Biogas- oder Kläranlagen nutzen das Standardkonzept »Power-to-Gas« lediglich als CO₂-Quelle für die Methanisierung [3]. Das bedeutet, dass die Methanisierung erst nach einer Aufreinigung und CO₂-Abtrennung aus dem Biogas erfolgt. Dadurch ist dieses Vorgehen auch auf sehr große Biomethananlagen mit CO₂-Abtrennung beschränkt. So sieht beispielsweise das in Werlte (Niedersachsen) von den Firmen Audi AG (Ingolstadt) und ETOGAS GmbH (Stuttgart) demonstrierte Verfahren vor, CO₂ aus dem Biogas abzutrennen, um in einem nachfolgenden Prozessschritt CO₂ mit Wasserstoff katalytisch in Methan zu konvertieren [4]. Wenn das CO₂ jedoch für die Methanisierung nicht vollständig abgetrennt wird, sondern das Biogas direkt katalytisch umgesetzt und im vorhandenen Gasspeichervolumen der Fermenter zwischengespeichert wird, wird sich der Prozess deutlich vereinfachen.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Das hier vorgestellte Projekt hat zum Ziel, den Anlagenbetrieb von Biogasanlagen durch geringe technische Nachrüstungen und ohne eine Reduzierung der Stromproduktion zu flexibilisieren. Die Verschaltung eines direkt mit dem Biogas beaufschlagten Methanisierungsreaktors, eingebunden in ein Speicherkonzept einer bestehenden Biogasanlage ist ein innovatives, bisher nicht untersuchtes Konzept. Herfür wird aus dem Fermenter kontinuierlich Biogas entnommen, ein Teil des enthaltenen CO₂'s mit der Direktmethanisierung methanisiert und anschließend wieder zurück in den Fermenter gespeist. Dadurch wird der Anteil des Methans im Gasspeichervolumen des Fermenters kontinuierlich erhöht. Bei der Rückführung des heißen Produktgases (ca. 250 °C) in den Fermenter muss gewährleistet werden, dass die Fermenter-Biologie nicht beeinträchtigt wird.

Das Konzept könnte in ca. 8.000 in Deutschland existierenden Biogas- und Kläranlagen mit Gasmotor ohne kostspielige CO₂-Abtrennung eingesetzt werden. Dabei könnte mit überschaubaren Investitionskosten die Flexibilität der Biogasanlagen signifikant gesteigert werden, in dem durch Überschussstrom der Methananteil des gespeicherten Biogases erhöht und in Bedarfszeiten mehr Strom erzeugt wird.

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

(1) Speicherkonzept FlexBiomethane

Das Speicherkonzept wurde rechnerisch modelliert und der Probetrieb an der Labor-Biogasanlage mit 500 Liter Fermenter der THI wird bald aufgenommen. Der Probetrieb soll in Form eines Dauertests im Testlabor der THI stattfinden. Anschließend soll eine technische und wirtschaftliche Evaluierung ein weiterführendes Demonstrationsprojekt an einer realen Biogasanlage vorbereitet werden.

(2) Produktgas-Rückführung

Untersucht werden soll die Beheizung des Fermenters mit dem ca. 250 °C heißen Produktgas aus der Methanisierung. Betrachtet wird dabei die Gesamtwirkungsgraderhöhung der Anlage durch die Nutzung der Reaktions-Abwärme. Zusätzlich wird untersucht, ob der rückgeführte Gasstrom einen Beitrag zur Durchmischung des Fermenters leisten und somit Hilfsenergie zum Betrieb des Rührwerks eingespart werden kann. Vier mögliche zu untersuchende Konzepte zur Gasrückführung sind ein Wärmeübertrager, ein Heatpipe-Konzept, ein Biogas-Bypass und eine Wasser-Eindüsung.

Das übergeordnete Ziel des Projekts ist es somit, ein Konzept zur katalytischen Direktmethanisierung von Biogas mit Direktdampferzeugung und Direktbeheizung des Fermenters zu entwickeln und das Konzept im Labor zu untersuchen

ERGEBNISSE

[1] DANIEL-GROMKE J, DENYSENKO V, BARCHMANN T. (2014): Aufbereitung von Biogas zu Biomethan und dessen Nutzung. In: Thomé-Kozmiensky, K. J.; Löschau M. TK-Verlag, Neuruppin: pp. 133–150.

[2] THRÄN D, UFZ D, DANIEL-GROMKE J, ZEYMER M, NELLES M. (2014): Auswirkungen der gegenwärtig diskutierten Novellierungs-Vorschläge für das EEG-2014. Chap. in book: Biogas 2014-7. Innovationskongress Tagungsband, Osnabrück, Profair Consult Publisher.

[3] ASUE (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.). (2014): Power-to-Gas – Erzeugung von regenerativem Erdgas. p. 18.

[4] <https://www.powertogas.info/projektkarte/audi-e-gas-projekt/> [Stand 24.03.2021]

Charley Michelle Flach¹, Dr. Fosca Conti^{1,2},
Katharina Bär¹, Prof. Dr. Ing. Markus Goldbrunner¹
charley.flach@thi.de

¹ Institut für neue Energiesysteme, Technische
Hochschule Ingolstadt, Esplanade 10, 85049 Ingol-
stadt, Deutschland

² Department of Chemical Sciences, University of
Padova, Via Marzolo 1, 35141 Padova, Italien



ProPhaSep

Fachgespräch VI
14:30 – 16:00 Uhr

Keywords:
Biogas, Anaerobe Vergärung, Phasenseparation, Dünnschlammrezirkulation, Wasserstoffkonzentration

Eike Janesch, Rodrigo R. Retamal Marín, Pierre Haider, Michael Mertig, Peter Neubauer, Anja Lemoine, Jens Zosel, Stefan Junne

Zweistufige Verfahrensführung zur Flexibilisierung der Biogasproduktion

Energie aus Biomasse besitzt das Potential, die zeitlich fluktuierenden Energieressourcen Wind und Sonne partiell auszugleichen. Dazu ist es notwendig, dass die Prozesse der anaeroben Vergärung gezielt überwacht und gesteuert werden können, um eine flexible Methanproduktion zu ermöglichen. Die Grundlage für eine Einbindung in regionale Reststoffströme bildet zudem ein robustes System, dass den wechselnden Einsatz von unterschiedlichen (schwierig zu hydrolysierenden) Substrattypen bzw. Abfallströmen und -mengen erlaubt. Für eine Flexibilisierung sowohl auf Seiten der Substratnutzung als auch der Produktbildung wird zunächst im Labormaßstab eine Prozessphasenseparation (zweistufig) betrieben (Abb. 1). Dadurch lassen sich die Schritte der anaeroben Vergärung getrennt voneinander steuern. Dabei spielt die Online-Erfassung des Partialdrucks von gelöstem Wasserstoff besonders zur Stabilisierung der methanogenen Stufe eine besondere Rolle. Um die Messung weiter zu verbessern, ist im Vorhaben die Entwicklung Regelegung der Dünnschlammrezirkulation anhand des Gelöstwasserstoffs vorgesehen. Neben der flexiblen Energieausbeute und dem flexiblen Substrateinsatz soll auch die Möglichkeit der Gewinnung von Seitenprodukten und eine mögliche Kopplung der energetischen mit der stofflichen Biomassenutzung untersucht werden. Ziel ist es, die Rolle der Biomasse bei der Energiewende zu unterstreichen und eine Bewertung über die Integration von Prozessphasenseparationen in Bestandsanlagen durchzuführen (Abb. 2).

Abbildung 1:
Konzeption der Prozessphasenseparation zur Flexibilisierung der Substratverwertung und Produktbereitstellung zur Verbesserung der Integration in regionale Reststoffkreisläufe und Energieversorgungskonzepte.

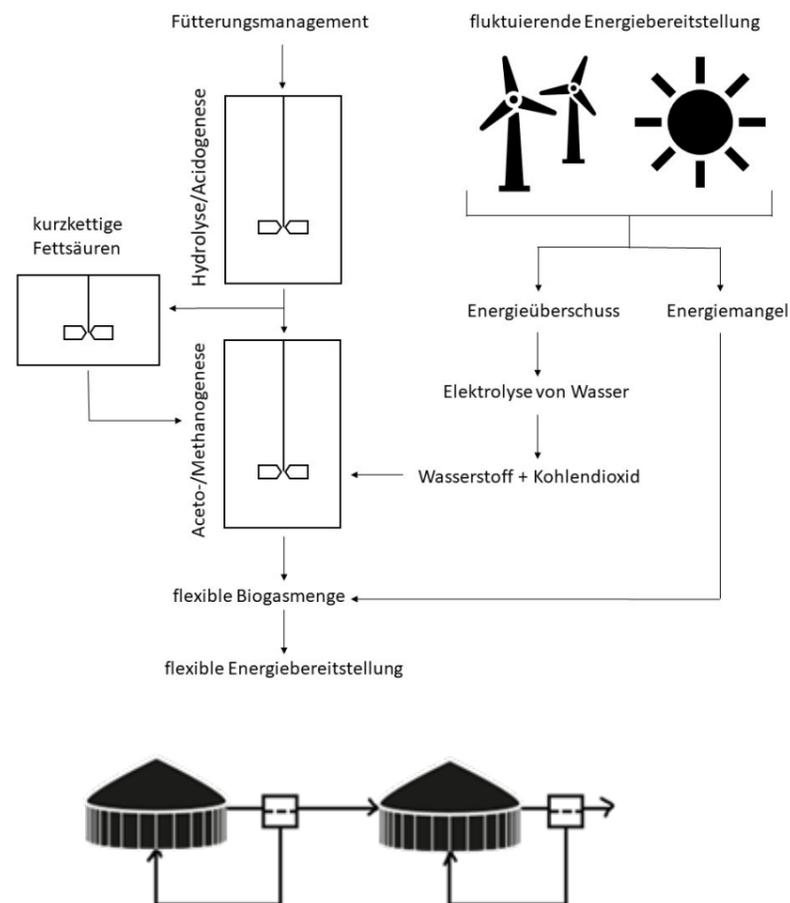


Abbildung 2:
Anlage (schematisch) mit zweifacher Dünnschlammrezirkulation zur besseren Steuerung der Phasenseparation, (links: hydrolytische/acidogene Phase – rechts: methanogene Phase).

Die Forschungsschwerpunkte belaufen sich auf die Nutzung von biogenen Reststoffen bei der anaeroben Vergärung und die flexible Methangewinnung im zweistufigen System unter Ausnutzung von Möglichkeiten zur besseren Prozessüberwachung. Weiterhin wird im Vorhaben ein kostengünstiger Sensor für gelösten Wasserstoff und andere in Gärmedien gelöste Gase entwickelt.

Entsprechend der Ziele wurde ein auf 3-D Druck basierendes Reaktorsystem im Labormaßstab konstruiert und aufgebaut. Das aus zwei Rührkesseln bestehende System sorgt für eine räumliche Trennung von Hydrolyse und Acido-genese im ersten Reaktor und Acetogenese und Methanogenese im zweiten Reaktor (schematisch in Abb. 2 dargestellt), die u.a. über den pH-Wert reguliert werden. Eine Dünnschlammrezirkulation stabilisiert die einzelnen Prozesse, indem sie die Retentionszeit der Mikroorganismen in der Suspension in den einzelnen Reaktoren variiert. Die Integration einer Gelöst-Wasserstoffmessung im zweiten Reaktor erlaubt Maßnahmen zur möglichst vollständigen Wandlung von Wasserstoff aus der Gasphase des ersten Reaktors. Als Grundlage für die Integration dienen zwei neue Extraktionseinheitsmesskammern zur Bestimmung der Konzentration gelöster Gase (z.B. H_2 und CH_4) in Reaktor 1 (Hydrolyse/Acidogenese) und Reaktor 2 (Acetogenese/Methanogenese).

Die Weiterentwicklung und Erprobung eines neuen Messsystems (mit Metalloxid-basierten Sensoren) zum Zweck der Charakterisierung von gelösten Wasserstoff ermöglicht eine erhebliche Kosteneinsparung, höhere Sensitivität und verbesserte Langzeitstabilität gegenüber bisher entwickelten Prototypen. Mit dem neuen Sensor sollen neben dem gelösten Wasserstoff weitere relevante gelöste Gase wie CO_2 gemessen werden.

Das Reaktorsystem, bestehend aus 2 Rührkesselreaktoren mit jeweils 1 Liter Flüssigvolumen wurde zunächst mit Maissilage als Referenzsubstrat etabliert, bevor der Anteil an biogenen Reststoffen erhöht wird. Der pH-Wert im ersten Reaktor wird dabei zwischen 4,2 und 4,5 gehalten, während im 2. Reaktor ein neutraler pH-Wert eingestellt wurde. Nach einer Anfahrtszeit von 60 Tagen werden im ersten Reaktor bei hohen FOS/TAC-Werten von 0,8 bis 1 und COD-Werten von 15 bis 20 g/L gemischte Säuren gebildet; darunter Buttersäure (bis zu 4g/L), Essigsäure (bis 2 g/L) und Milchsäure (1 g/L). Im zweiten Reaktor werden diese bei einem FOS/TAC von ca. 0,4 und COD-Werten von ca. 4 bis 5 g/L wiederum abgebaut und zu Biogas verstoffwechselt. Der Methangehalt im Gasauslass beträgt dabei bis zu 55%. Die Phasenseparation kann durch den Aufbau aufrechterhalten und durch die Dünnschlammrezirkulation kontrolliert werden. Untersuchungen an dem neu entwickelten Sensorsystem im Labor zeigen, dass Wasserstoffpartialdrücke bis in den unteren μPa -Bereich hochselektiv erfasst werden können.

FKZ-Nr. 03EI5409

ProPhaSep - Flexibilisierung der Biogasproduktion durch Prozessphasenseparation und Dünnschlammrezirkulation

Eike Janesch^{1*}, Rodrigo R. Retamal Marín²,
Pierre Haider³, Michael Mertig², Peter Neubauer¹,
Anja Lemoine¹, Jens Zosel², Stefan Junne¹
e.janesch@tu-berlin.de

² Prof. M. Mertig, Dr. J. Zosel, M.Sc. R. R. Retamal Marín
Kurt-Schwabe-Institut für Mess- und Sensortechnik
e.V. Meinsberg
Kurt-Schwabe-Straße 4, 034736 Waldheim

¹ Technische Universität Berlin,
Fachgebiet Bioverfahrenstechnik
Ackerstraße 76, 13355 Berlin

³ fwe GmbH
Wölsauer Str. 20, 95615 Marktredwitz

**FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE**

**AKTIVITÄTEN
MASSNAHMEN**

ERGEBNISSE



(BGA-PtG)²

Fachgespräch VI
14:30 – 16:00 Uhr

Benedikt Rilling, Carsten Herbes

Konsument*innen-Präferenzen und Zahlungsbereitschaften für regenerative Gase im Wärmesektor: Ergebnisse eines Discrete Choice-Experiments

Keywords:
Wärmemarkt,
Biomethan, Power-to-Gas,
Konsument*innen-Präferenzen,
Zahlungsbereitschaft

Forschungsansätze und -projekte im Bereich regenerativer Gase haben häufig einen Fokus auf technologische, chemische und biologische Aspekte, d.h. die Produktions- bzw. Angebots-Seite wird priorisiert. Dieser Fokus lässt sich auch in der Literatur zur Vermarktung regenerativer Gase feststellen (sh. bspw. [1], [2], [3], [4]). Forschungsarbeiten und Publikationen, die explizit die Nachfrage-Seite fokussieren, sind hingegen selten. Für Biomethan finden sich bspw. lediglich zwei Publikationen, die sich diesem Thema widmen: [5] stellen auf Seiten der Konsument*innen in Deutschland Präferenzen für abfallstammiges Biomethan, große Wissenslücken sowie ein starkes Informationsbedürfnis im Hinblick auf Biomethan fest. [6] fanden sehr ähnliche Ergebnisse für den französischen Markt. Studien, die die Nachfrage-Seite zu regenerativen Gasen aus Power-to-Gas-Anlagen beleuchten, gibt es aktuell nicht. Im Hinblick auf die mannigfaltigen Änderungen, die im Biogassektor und darüber hinaus bereits stattfinden oder stattfinden werden (u.a. Änderungen des EEG, Auslaufen von EEG-Vergütungen, Entwicklung einer Wasserstoffwirtschaft), sind fundierte Kenntnisse über die Nachfrage-Seite unabdingbar: zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle, zur Vermarktung neuer Produkte oder zur Erschließung neuer Märkte für existierende Produkte.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Vor diesem Hintergrund setzt sich die vorliegende Arbeit mit zwei zentralen Forschungsfragen auseinander:

- Wie beurteilen Konsument*innen verschiedene Produktoptionen (SNG, Biomethan) in der Wärmeerzeugung und welche Produktattribute sind ihnen wie wichtig?
- Welche Zahlungsbereitschaften existieren bei Konsument*innen für verschiedene Produktoptionen (SNG, Biomethan) und welchen Einfluss haben einzelne Produktattribute in der Wärmeerzeugung?

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Aufgrund der nur spärlich vorhandenen Literatur wurde zunächst ein offenes Vorgehen gewählt: Im Rahmen von 22 Interviews mit potentiellen Kund*innen im Wärmebereich wurden erste Erkenntnisse zu Entscheidungsmechanismen, relevanten Attributen und zu den subjektiven Logiken der Verbraucher*innen gewonnen. Basierend auf diesen Erkenntnissen (ergänzt um eine Literaturrecherche zu Zahlungsbereitschaft-Studien im Bereich Erneuerbarer Energien) wurden sog. Discrete-Choice-Experimente konzipiert, zur Methode sh. bspw. [7]. Mittels dieses Vorgehens können die Präferenzen für einzelne Produktattribute erhoben und quantifiziert werden: Die Befragten werden in Szenarien vor eine hypothetische Entscheidung zwischen zwei oder mehr Alternativprodukten gestellt, die sich hinsichtlich einzelner Produktattribute und deren Ausprägungen unterscheiden. Die untersuchten Attribute im Experiment waren der Biomethan-Anteil, der PtG-Anteil, der Erdgas-Anteil, das Vorhandensein von Labels, die räumliche Nähe der Produktions-Anlagen zu den Verbraucher*innen (Regionalität), die Biomethan-Stämmigkeit (Energiepflanzen vs. Abfall), der Anbietertyp sowie unterschiedliche Preissteigerungen. Die Grundannahme des Experiments beruht darauf, dass die verschiedenen Ausprägungen dieser Attribute von den Konsument*innen gegeneinander abgewogen werden und die wiederholte Entscheidung für ein Produkt die Messung des marginalen Nutzens der einzelnen Produkteigenschaften ermöglicht.

Der Fragebogen wurde als Online-Fragebogen in Kooperation mit einem Felddienstleister realisiert und die Teilnehmenden über ein repräsentatives Online-Panel rekrutiert. Die Teilnahme wurde über das Panel vergütet. Teilnahmevoraussetzungen waren ein Alter über 18 Jahren, Nutzung von Erdgas als Energieträger für die heimische Heizung sowie die »Entscheidungshoheit« über Anbieter- und Tarifwahl. Im Hinblick auf die zuvor festgestellten weitreichenden Wissenslücken wurde ein Erklärvideo produziert, das die beiden zugrundeliegenden Technologien (Biomethan und PtG) sowie die Verwendung in der heimischen Heizung erklärt und verpflichtend in den Fragebogen eingebunden wurde. Das Video kann [hier](#) abgerufen werden. Für alle Teilnehmenden wurde aufgrund der individuellen Parameter (Baujahr des Wohngebäudes, Sanierungszustand, Größe, Gebäudetyp) ein spezifischer Jahrespreis kalkuliert und in den Choice-Experimenten variiert. Zusätzlich wurden weitere Informationen (Soziodemographie, Umweltverhalten, Einstellungen etc.) erhoben. Insgesamt wurden 523 vollständige Rückläufer realisiert. Der Softlaunch der Fragebögen erfolgte am 26. Mai 2021 und ging in die eigentliche Onlinephase über, welche am 10. Juni 2021 abgeschlossen war.

- Basierend auf den Ergebnissen der Choice-Experimente bzw. den 5.753 Entscheidungen der Teilnehmenden (523 Teilnehmende mussten sich elfmal zwischen fünf verschiedenen Produkten entscheiden) wurden individuelle Nutzwerte für die einzelnen Produktattribute geschätzt.
- Zusätzlich wurden sog. Latent Classes geschätzt, d.h. Gruppen innerhalb der Stichprobe, die Produktattribute ähnlich bewerten und sich daher von anderen Gruppen abheben. Diese Unterschiede können bspw. im Rahmen von spezifischen Kampagnen gezielt angesprochen werden.
- Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass insbesondere die Gas-Zusammensetzung (Anteile von Erdgas, Biomethan und PtG) eine zentrale Rolle bei der Bewertung spielt. Ähnlich wichtig werden der Preis, Labels sowie die Biomethan-Stämmigkeit eingeschätzt. Im direkten Vergleich spielen die Regionalität sowie der Anbieter-Typ nur eine untergeordnete Rolle.
- Im fiktiven Szenario ohne Preissteigerungen für Biomethan- und PtG-Produkte zeigt sich eine deutliche Bevorzugung von Biomethan gegenüber PtG. Die Ursachen hierfür könnten in der nach wie vor vorhandenen Unkenntnis über diese Technologie liegen und werden weiter analysiert.
- Über diese ersten Ergebnisse hinaus werden in der Konferenz konkrete (Mehr-)Zahlungsbereitschaften für spezifische Produktattribute kalkuliert und präsentiert.

ERGEBNISSE

[1] Herbes, Carsten; Rilling, Benedikt; Ringel, Marc (2021): Policy frameworks and voluntary markets for biomethane – How do different policies influence providers' product strategies? In: Energy Policy 153, S. 112292. DOI: 10.1016/j.enpol.2021.112292.

[2] Herbes, Carsten; Braun, Lorenz; Rube, Dennis (2016): Pricing of Biomethane Products Targeted at Private Households in Germany—Product Attributes and Providers' Pricing Strategies. In: Energies 9 (4), S. 252. DOI: 10.3390/en9040252.

[3] Parra, David; Patel, Martin K. (2016): Techno-economic implications of the electrolyser technology and size for power-to-gas systems. In: International Journal of Hydrogen Energy 41 (6), S. 3748–3761. DOI: 10.1016/j.ijhydene.2015.12.160.

[4] Götz, Manuel; Lefebvre, Jonathan; Mörs, Friedemann; McDaniel Koch, Amy; Graf, Frank; Bajohr, Siegfried et al. (2016): Renewable Power-to-Gas: A technological and economic review. In: Renewable Energy 85, S. 1371–1390. DOI: 10.1016/j.renene.2015.07.066.

[5] forsa (2012): Vorstellungen und Erwartungen der Verbraucher in Bezug auf Biogasangebote. Bericht. Hg. v. forsa - Gesellschaft für Sozialforschung und statistische Analysen mbH. Berlin. Online verfügbar unter <https://www.vzbv.de/sites/default/files/downloads/Biogas-Angebote-Studie-forsa-2012.pdf>.

[6] Herbes, Carsten; Beuthner, Christoph; Ramme, Iris (2018): Consumer attitudes towards biobased packaging – A cross-cultural comparative study. In: Journal of Cleaner Production 194, S. 203–218. DOI: 10.1016/j.jclepro.2018.05.106.

[7] Mariel, Petr; Hoyos, David; Meyerhoff, Jürgen; Czajkowski, Mikolaj; Dekker, Thijs; Glenk, Klaus et al. (2021): Environmental Valuation with Discrete Choice Experiments. Cham: Springer International Publishing.

LITERATUR

03EI5401 (BGA-PtG)²

Ganzheitliche Bewertung der Integration von Power-to-Gas-Konzepten in Biogas- und Biomethananlagen einschließlich der Entwicklung von Geschäftsmodellen für regenerative Gase

Benedikt Rilling*,
Prof. Dr. Carsten Herbes

Hochschule für Wirtschaft und Umwelt Nürtingen-Geislingen, Institute for International Research on Sustainable Management and Renewable Energy (ISR) Neckarsteige 6-10, 72622 Nürtingen



Fachgespräch VI
14:30 – 16:00 Uhr

Zukünftige Anwendungsfälle und Potentiale der Optimierung des Substrateinsatzes in Biogasanlagen

Joshua Güsewell

Keywords:
Biomethan, Substratoptimierung, saisonale Biogasproduktion, THG-Emissionen, REDII, Lineare und nicht-lineare Programmierung, Kostenminimierung

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Die Optimierung des Substratmixes und des Biogasproduktionsprozesses von bestehenden Biogasanlagen (BGA) unterliegt vielfältigen Restriktionen. Prozessparameter wie die organische Belastungsrate, Gärrestlagerkapazitäten oder Anforderungen wie die Verweilzeit im gasdichten System interagieren und behindern sich oft gegenseitig. Gleichzeitig variieren die Substrate hinsichtlich der Verfügbarkeit, der Bereitstellungskosten, der vorgelagerten Treibhausgas (THG)-Emissionen sowie der spezifischen Methanausbeute. Ziele der Optimierung können die Minimierung der Gasgestehungskosten oder der THG-Emissionen sein. Zunehmende Bedeutung hat heutzutage auch die bedarfsorientierte Flexibilität der Gasproduktion, die in Zukunft auch stärker saisonal ausgeprägt sein könnte. Ein optimaler Substratmix, der alle Ziele gleichermaßen erfüllt, ist daher unwahrscheinlich. Abhängig von der Gewichtung der Ziele und den möglichen zukünftigen Erträgen, die mit der Substratnutzung verbunden sind, werden verschiedene Substratmixe optimal sein.

In der vorgestellten Arbeit werden verschiedene Modellversionen der Substratoptimierung mit ihren unterschiedlichen Anwendungsfällen vorgestellt und anhand der Ergebnisse für ausgewählte Referenz-BGA ihr Potential als nützliches Werkzeug bei der Gestaltung von Folgekonzepten für den Post-EEG Betrieb beurteilt. Die Substratoptimierung ist dabei in ein Bewertungsmodell für Repowering und Folgekonzepte für einen großen Datensatz von 2.853 bestehender BGA integriert [1]. Diese Konzepte umfassen verschiedene Biomethanaufbereitungstechnologien und die damit verbundenen Biomethanprodukte wie Bio-CNG oder Bio-LNG sowie die konventionelle Vor-Ort KWK-Nutzung, u.a. mit einem saisonalen Produktionsprofil. Für erstere Konzepte werden die damit verbundenen Erlösoptionen der THG-Quote im Kraftstoffsektor in die Substratoptimierung einbezogen (Modellversion der linearen Programmierung, angelehnt an [2]), während für letztere ein dynamisches Nachfrageprofil kostenoptimal bedient werden muss (Modellversion der nicht-linearen Programmierung, angelehnt an [3]). Weitere Modellrechnungen beinhalten Erlösoptionen wie etwa ein Biodiversitätsflächenbonus für Substrate wie die durchwachsene Silphie und die Verwendung der RED II Standard Werte anstatt regional-spezifisch modellierter Werte für die Vorketten THG Emissionen der Substrate.

ERGEBNISSE

In Tabelle 1 und Abbildung 1 sind beispielhaft für eine stark vereinfachte BGA die Ergebnisse der nicht-linearen Modellversion dargestellt. Bis auf die nicht-lineare Nebenbedingungen der Gasbildungskinetik und des saisonalen Gasbedarfsprofils (einer ganzjährigen BHKW Einsatzoptimierung entnommen) sowie ein Limitierung der täglichen Fütterungsmenge sind in diesem Fall keinerlei Restriktionen wie etwa der Raumbelastung oder Substratverfügbarkeit berücksichtigt. Zu sehen ist, die deutlichen Veränderungen des Substratmixes und ein Anstieg der Gasgestehungskosten. Dieser Anstieg müsste durch die höhere Wertigkeit des saisonalen Gases in der Strom- und Wärmevermarktung kompensiert werden.

Parameter	Einheit	Ohne Nicht-lineare Nebenbedingung	Mit Nicht-lineare Nebenbedingung (ohne Anfahrphase)
Substratmenge	tFM/a	58.400	20.073
Substratanteil: Rindergülle/ Rinderfestmist/ Silomais/ Getreidekörner/Grassilage	%	99.89/0.11/0/0/0	7,5/65,7/3,6/1,2/21,6
Gesamtkosten	€	72.026	300.919
Standard Gaspotential	Nm ³ /a	978.699	1.465.277
Gasproduktion unter Berücksichtigung von Kinetik und Produktionszeitraum von 150d (innerhalb Betrachtungshorizont)	Nm ³ /a	-	975.514
Spezifische variable Gaskosten	€/MWh _{HS}	7.41	30.94

Tabelle 1:
Auswirkungen der Berücksichtigung der nicht-linearen Nebenbedingungen (saisonales Gasprofil) auf den Substratmix und variable Gasgestehungskosten. BGA-Parameter: (Methanbedarf: 975.489 Nm³/a & 4000 m³ Fermentervolumen)

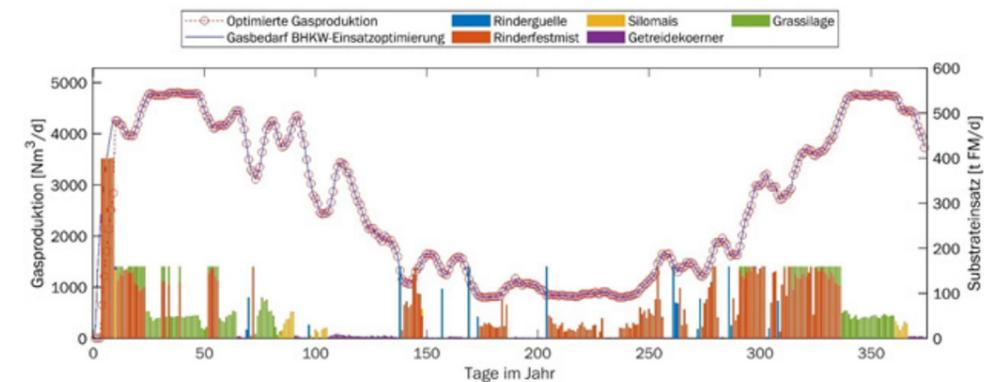


Abbildung 1:
Optimierter Substrateinsatz zur Deckung eines saisonalen Gasbedarfsprofils unter Berücksichtigung einer vereinfachten Kinetik 1. Ordnung und Restriktionen des täglichen Substratzusatzes (4% des Fermentervolumens, 10% in der »Anfahrphase«). Keinerlei sonstige Restriktionen sind berücksichtigt. Optimierungsziel: Kostenminimierung.

Die Ergebnisse der linearen Modellversion zeigen, dass der optimale Substratmix stark von den anlagen-spezifischen Gegebenheiten wie etwa der Substratverfügbarkeit und den vorhandenen Fermentervolumen abhängig ist. Größeres Potential in Bezug auf die Berücksichtigung von Erlösoptionen wie der THG-Quote wird für kleinere Gülle-BGA gesehen, speziell wenn RED II Standard Werte verwendet werden. Die Anreize der THG-Quote kann auch zu einer zusätzlichen Reduktion der THG Emissionen führen. Im Vergleich zur THG-Quote ist der Einfluss eines Biodiversitätsflächenbonus auf die Gasgestehungskosten gering. Weitere Ergebnisse umfassen Sensitivitätsanalysen zu THG-Quotenerlösen, Mindest-THG-Minderungszielen und anderen Substrat- und Prozessrestriktionen sowie die Implementierung weiterer Restriktionen der linearen Modellversion in die nicht-lineare. Durch die Auswertung von Leistungskennzahlen wie dem Kapitalwert werden verschiedenen Folgekonzepte verglichen, die Vorteilhaftigkeit für die Referenz-BGA bewertet und auf die Frage eingegangen, ob die Substratoptimierung die Wahl des vorteilhaftesten Folgekonzept beeinflusst.

- [1] Güsewell, J.; Härdtlein, M.; Eltrop, L.: A plant-specific model approach to assess effects of repowering measures on existing biogas plants: The case of Baden-Wuerttemberg. In: GCB Bioenergy 11 (2019), Heft 1, S. 85-106. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12574>.
- [2] Auburger, S.; Jacobs, A.; Märländer, B. et al.: Economic optimization of feedstock mix for energy production with biogas technology in Germany with a special focus on sugar beets – Effects on greenhouse gas emissions and energy balances. In: Renewable Energy 89 (2016), S. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.11.042>.
- [3] Willeghems, G.; Buysse, J.: Changing old habits – The case of feeding patterns in anaerobic digesters. In: Renewable Energy 92 (2016), S. 212-221. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.01.081>.

LITERATUR

Joshua Güsewell
Joshua.Guesewell@ier.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart
Institut für Energiewirtschaft und
Rationelle Energieanwendung
Heßbrühlstr. 49a, 70565 Stuttgart



POSTER AUSSTELLUNG

Brennwertnutzung an Biomassekesseln mittels angekoppelter Sorptionswärmepumpe – Entwicklung des Rauchgaswärmeübertragers

Tina Hermann, Manfred Pacher, Christoph Sturm, Dominik Glöckner, Marco Bauer, Christian Schweigler

Katalytische Emissionsminderung in Biomasseverbrennungssystemen auf Basis von $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ Hohlkugeln

Bettina Stolze, René Bindig, Andrea Dernberger

VEMS

Intelligentes Verbrennungs- und Energiemanagementsystem für eine effiziente und schadstoffarme Bereitstellung und Nutzung von Wärme aus Biomasseheizkesseln

Mohammad Aleysa, Niro Akbary

Solarnachführung mit Formgedächtnislegierung

Christoph Dünn, Romina Krieg, Ralf Theiß, Peter Dültgen, Simon Horn, Alexander Czechowicz, Eugen Eichmann, Thomas Rusinski

OpToKNuS

Brennstoffeigenschaften - das Kernelement einer Holzgassimulation

Maximilian Heinrich, Tobias Plessing, André Herrmann, Andy Gradel

BiotAB

Effizienzsteigerung bei der Energiegewinnung in Biomassekraftwerken durch die technische Anwendung eines Biobrennstoffkataloges

Jürgen Reichelt, Gudrun Pfrang-Stotz, Britta Bergfeldt, Edwin Karrer, Markus Ricker

KonditorGas

Zukünftiges Potenzial und Herausforderungen bei der Substitution von Erdgas durch biobasiertes Synthesegas in energieintensiven Sektoren: Eine technisch-ökonomische Analyse

Özge Çepelioğullar Mutlu, Matthias Jordan, Thomas Zeng, Volker Lenz

Power-to-Biogas

Experimentelle Untersuchung zur Katalysatordeaktivierung und zur Leistungsfähigkeit eines zweistufigen Methanisierungssystems für die Direktmethanisierung von Biogas

Simon Markthaler, Fabian Grimm, Jürgen Karl

Innovatives Regelkonzept für Holzvergaseranlagen zur systemdienlichen Einbindung in ein volatiles Energienetz

Lukas Tanzer, Korbinian Gernt, Tina Horstkotte

OBEN

Heizungsaustausch - Erleichterung des Entscheidungs-, Planungs- und Installationsprozesses für Hauseigentümer:innen

Laura García Laverde, Torsten Schmidt-Baum, Nora Szarka, Volker Lenz

Ressourcenpotenziale biogener Rest- und Abfallstoffe für die thermische Verwertung in Deutschland: Mengen, Energiegehalt, Klassifikation, Kaskadennutzung und Klimaschutzpotenzial

Viktoria Scheff, Ilze Dzene, Michael Wachendorf, David Laner



Synergetische Effekte durch Mischung von Weizenstroh mit Apfelsaftnebenprodukten und Grüngutkompost in Biokonversionsprozessen

Patrick Beuel, Christiane Rieker, Stéphan Barbe, Oliver Hensel, Jamile Bursche

Energieautarke Rückgewinnung von Phosphaten durch ganzheitliche Klärschlammverwertung mit integrierter Wasserstoffgewinnung

Moritz Gebser, Lars Gronen, Uwe Siemann, Hans-Peter König, Wolfgang Krumm

Sludge2P

LaRA - Lösungsansätze zur technischen Anpassung bestehender Biogasanlagen für die Nutzung faseriger Reststoffe

Norbert Grösch, Stefanie Wageneder, Christiane Herrmann, Jasmin Gleich, Cosima Aeschbach, Katharina Bär, Ulrich Kilburg, Robert Wagner, Wilfried Zörner

Agglomeration von Vergaserkoks für die weitere stoffliche und energetische Nutzung

Annett Pollex, Claudia Kirsten, Thomas Zeng, Roman Adam

VergaFlex

Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger

Christian Schaum, Johannes Blattenberger, Christian Hubert, Bettina Steiniger, Omar Shehata, Jörg Kretschmar, Thomas Steinforth, Stefan Einsiedel, Konstantinos Athanasiadis, Maria Egeler, Markus Heinrich, Arthur Dornburg

FLXsynErgy

Demonstration eines innovativen Verfahrens zur effizienten Biogas- und Düngerherstellung aus Getreidestroh

Marcel Spahr, Oliver Larsen

Stramento

Chemiestandort sichern – mit biogenen Rest- und Abfallstoffen

Manfred Kircher, Gabi Schock, Thomas Bayer

BioNet - Dezentrale Vergärung von schwierigen biogenen Substraten zur klimafreundlichen Bereitstellung von Strom und Wärme am Beispiel des Allwetterzoos Münster

Florian Loosen, Alexander Schank

POSTER

Tina Hermann, Manfred Pacher, Christoph Sturm, Dominik Glöckner, Marco Bauer, Christian Schweigler

Brennwertnutzung an Biomassekesseln mittels angekoppelter Sorptionswärmepumpe – Entwicklung des Rauchgaswärmeübertragers

Keywords:
Absorption, Wärmepumpe, Wasser/LiBr, Biomassekessel, Rauchgaskondensation, Energieeffizienz

Für eine optimierte Brennstoffausnutzung in Biomasse-Heizsystemen bieten sich Rauchgaswärmeübertrager an, bei denen herkömmlicherweise die Wärme aus dem Rauchgas an den Rücklauf des Heizsystems abgegeben wird. Die Wärmeabgabe aus dem Rauchgas ist allerdings oftmals begrenzt durch hohe Rücklaufemperaturen, die bei Nahwärmenetzen etwa 50 °C betragen. Durch Einbindung einer Absorptionswärmepumpe (AWP) in das Biomasse-Heizsystem wird durch Wärmeübertrag aus dem Rauchgas auf den Verdampfer der AWP eine weitaus tiefere Auskühlungstemperatur und somit auch eine Ausnutzung des Brennwerteffekts mit signifikanter Wirkungsgradsteigerung ermöglicht. Die vom Kessel erzeugte Wärme dient als thermischer Antrieb der Sorptionswärmepumpe. Der Bedarf an elektrischer Hilfsenergie ist minimal.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

An der Hochschule München werden experimentelle Untersuchungen zur Wärme- und Stoffübertragung der einzelnen Komponenten der AWP im Hinblick auf eine Kopplung der Wärmepumpe mit dem Biomasseheizkessel durchgeführt. Unter den Gesichtspunkten eines minimalen Einsatzes an elektrischer Hilfsenergie und eines weitestgehend selbstregelnden Betriebs wurde ein neuartiges Konzept für den Wärmepumpenkreislauf entwickelt. So wird beim Desorber die Sorptionslösung nach dem Prinzip einer Blasenpumpe im Umlauf gefördert. Der Verdampfer ist als Rieselfilmverdampfer mit vertikalen, strukturierten Wärmeübertragerrohren konzipiert, der mit einer minimalen Kältemittel-Aufgabemenge betrieben werden kann. Die apparatetechnische Auslegung und Konstruktion der AWP wird zusammen mit dem Projektpartner »SCHERDEL Energietechnik GmbH« durchgeführt.

AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

An einer Versuchsanlage zur Untersuchung der Rieselfilmverdampfung, wird der filmseitige Wärmeübergang und das Benetzungsverhalten an strukturierten Rohren untersucht. Die Verdampferrohre werden dabei rohrrseitig mit Wasser beheizt.

Für die Untersuchung des rauchgasseitigen Wärmeübergangs wurde eine Apparatur zur Erzeugung heißer, befeuchteter Luft errichtet, mit der das Rauchgas eines Heizkessels imitiert werden kann. In einem mantel-seitig mit Wasser gekühlten, vertikalen Einzelrohr, soll damit die Wärmeübertragung bei der Kondensation des Wasserdampf-Luft-Gemischs als Voruntersuchung für die Auslegung des rauchgasbeheizten Rieselfilmverdampfers bestimmt werden.

ERGEBNISSE

Bei der Rieselfilmverdampfung mit geringen Aufgabemengen und einer Berieselungsdichte von 26 kg/(m h) konnte eine vollständige Benetzung der Rohroberfläche beobachtet und Wärmedurchgangskoeffizienten bis zu 4,1kW/(m²K) bestimmt werden. Das Kältemittel wurde dabei über die Länge der Rohre nahezu vollständig verdampft.

Es wurde eine Modellierung zur Rauchgaskondensation durchgeführt und eine geeignete Rohrlänge für den Verdampfer ermittelt. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Rauchgasströmung in der wandnahen Grenzschicht an der gekühlten Rohrrinnenwand den Wasserdampf-Taupunkt unterschreitet, auch wenn die mittlere Rauchgastemperatur anfänglich weit über dem Taupunkt liegt. Demnach ist zu erwarten, dass die Kondensation des Rauchgases direkt am Rohreintritt beginnt.

Experimentelle Untersuchung der Rauchgaskondensation am Einzelrohr sollen nun durchgeführt werden, um die Auslegung des Verdampfers auf Basis der Modellierung zu prüfen.

In dem Beitrag werden die Modellrechnungen zur Auslegung des Wärmeübertragers und die experimentellen Untersuchungen zur Rauchgaskondensation vorgestellt.



Tina Hermann^{1*}, Manfred Pacher¹, Christoph Sturm¹, Dominik Glöckner², Marco Bauer², Christian Schweigler¹
 tina.hermann@hm.edu

¹ CENERGIE – Forschungsinstitut für Energieeffiziente Gebäude und Quartiere
 Lothstr. 34, 80335 München

² SCHERDEL Energietechnik GmbH
 Scherdelstraße 2, 95615 Marktredwitz

Katalytische Emissionsminderung in Biomasseverbrennungssystemen auf Basis von $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ Hohlkugeln

Bettina Stolze, René Bindig, Andrea Dernberger

POSTER

Hintergrund: Aufgrund des wachsenden Interesses an erneuerbaren Energien in den letzten Jahren und des Umweltbewusstseins geriet die Notwendigkeit einer katalytischen Emissionsreduktion in Biomasseverbrennungsanlagen in den Fokus der Forschung. Insbesondere der Ausstoß von Kohlenstoffmonoxid (CO), das als Zwischenprodukt der Verbrennung entsteht, ist aufgrund seiner gesundheits- und umweltschädlichen Wirkung durch geltende Richtlinien begrenzt. Die katalytische Oxidation von CO im Abgasstrom ermöglicht die Einhaltung der geltenden Richtlinien und die Anpassung auf zukünftige Verschärfungen. Die Gaszusammensetzung in solchen Systemen ist sehr komplex und daher sind die Anforderungen an den Katalysator für langfristige Stabilität und Aktivität sehr herausfordernd. Im Hinblick auf die Ziele der nachhaltigen Entwicklung der Vereinten Nationen wurden verschiedene Synthesewege untersucht und verglichen, um MnO_x auf Hohlkugeln aus $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ mit unterschiedlicher Porosität aufzubringen.

Forschungsschwerpunkt: Die Ergebnisse stammen aus dem am DBFZ etablierten Forschungsschwerpunkt »Katalytische Emissionsminderung«

Konkrete Aktivitäten/Maßnahmen: Bei der Auswahl der aktiven Spezies wurden einerseits die Verfügbarkeit aber auch die Toxizität für Mensch und Umwelt berücksichtigt. Die Verwendung von Metallen der Platingruppe (Pt, Pd, Rh) hochdispergiert auf oxidischen Trägermaterialien ist für die oxidative Abgasnachbehandlung literaturbekannt. Sie zeigen eine sehr hohe Aktivität bei niedrigen Temperaturen, sind aber leicht anfällig für Katalysatorgifte. Ihre Seltenheit in der Natur und die ständig steigende Nachfrage haben in den letzten Jahrzehnten zu einem hohen Preisanstieg geführt. Darüber hinaus ist ihre Gewinnung mit hohen Umweltauswirkungen verbunden. Ziel ist es daher, einen edelmetallfreien Katalysator zu entwickeln. Manganoxide sind kostengünstige und vielversprechende Materialien für die CO-Oxidation. Mangan ist ein häufiges Element in der Erdkruste und zeigt weder toxische noch umweltgefährdende Eigenschaften. Obwohl die Aktivität von Manganoxiden weit unter der von Edelmetallen liegt, ist die Entwicklung dieser Materialien aufgrund ihrer wesentlich höheren Verfügbarkeit von Interesse und kann auch in größeren Konzentrationen genutzt werden.

Mit dem Ziel, einen geeigneten Syntheseweg zu finden, wurden die Aktivitätsmessungen mit einer Modellgaszusammensetzung durchgeführt, die sich an einer realen Biomasseverbrennung orientiert. Die Anforderungen an den Syntheseweg neben hohem CO-Umsatz bei möglichst niedrigen Temperaturen, waren eine geringe Anzahl von Syntheseschritten, mit möglichst geringem Energieaufwand pro Syntheseschritt, die Vermeidung von umweltschädlichen Chemikalien und der geringstmögliche Wasserverbrauch.

- Vorstellung der Syntheserouten
- Darstellung der katalytischen Aktivität bezogen auf die CO-Oxidation
- Darstellung der physikalisch/chemischen Charakterisierung

Keywords:
katalytische Emissionsminderung, CO-Oxidation, biogene Reststoffe, nachhaltige Katalysatorsynthese

ERGEBNISSE

Dr. Bettina Stolze*, René Bindig,
 Andrea Dernberger
 bettina.stolze@dbfz.de

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
 Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

VEMS

Mohammad Aleysa, Niro Akbary

POSTER

Intelligentes Verbrennungs- und Energiemanagementsystem für eine effiziente und schadstoffarme Bereitstellung und Nutzung von Wärme aus Biomasseheizkesseln

Keywords:
Gebäudeeffizienz,
Wärmekopplung,
Energiemanagementsystem,
Biomasseverbrennung,
Erneuerbare Energiesysteme

Die hybride Nutzung von erneuerbaren Energiesystemen stellt eine wichtige Methode dar, die für die Versorgung von Gebäuden mit Wärme und Warmwasser zunehmend angewendet wird. In Deutschland werden etwa 35 % des gesamten Endenergieverbrauchs und 30 % der CO₂-Emissionen im Gebäudesektor verursacht [UBA 2020]. Durch den Ausbau von erneuerbaren Energie- und Hybridsystemen, welcher über entsprechende Förderprogramme wie z. B. durch die Bundesförderung für effiziente Gebäude BEG finanziell unterstützt werden, soll ein wichtiger Beitrag für die Minderung des Energieverbrauchs und der Treibhausgasemissionen geleistet werden. Ein großes Problem bei der Nutzung von Energiesystemen besteht darin, dass es bisher keine geeigneten Energiemanagementsysteme gibt, mit denen die Wärmebereitstellung in Gebäuden unter Berücksichtigung der Gebäudeeffizienz günstig abgestimmt wird. Das Fehlen geeigneter Energiemanagementsysteme für die Wärmebereitstellung führt insbesondere beim kombinierten Einsatz von Biomasseheizkesseln mit Solarthermie, bei welcher die erforderliche Wärmebereitstellung insbesondere von den Witterungsbedingungen abhängt, zu einem unnötig hohen Brennstoffverbrauch mit entsprechenden Emissionen an Schadstoffen und Treibhausgasen. Die breite Nutzung von intelligenten Energiemanagementsystemen, mit denen die Wärme durch Biomasseheizkessel in Gebäuden unter Berücksichtigung der Wärmebereitstellung durch andere erneuerbare Energiesysteme intelligent abgestimmt und geregelt wird, soll nicht nur die Gesamteffizienz in Gebäuden verbessern, sondern auch zu einer ökologischeren und ökonomischeren Deckung des Wärmebedarfs in Gebäuden führen.

Im Rahmen dieses Forschungsprojekts wird ein intelligentes Energiemanagementsystem (das sogenannte VEMS) für Gebäude entwickelt, mit dem die hybride Wärmebereitstellung durch Biomasseheizkessel in Kombination mit Solarthermieanlagen intelligent bzw. zugunsten eines niedrigen Energieverbrauchs und einer hohen Gebäudeeffizienz geregelt wird. Für die Entwicklung und Erprobung des VEMS wurde von Fachexperten im Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP ein spezieller und einzigartiger Prüfaufbau entwickelt, welcher aus entsprechenden Wärmespeichern, einer Gebäudehydraulik sowie einer parametrierbaren Gebäudesimulation besteht. Das gesamte System ist mit Messsystemen ausgestattet, auf Basis derer Energiebilanzen aufgestellt sowie Effizienzen sowohl von einzelnen technischen Systemen als auch von Kombinationen solcher Systeme ermittelt werden können. An den Prüfaufbau lassen sich flexibel unterschiedliche Kombinationen an erneuerbaren Energiesystemen anschließen und nutzen. Der Prüfaufbau eignet sich ideal für die Entwicklung oder Validierung von Energiemanagementsystemen für Gebäude sowie für die Untersuchung des Verbrennungs- und Emissionsverhaltens von Heizkesseln unterschiedlicher Arten unter praktischen Einsatzbedingungen. Das heißt, es werden dadurch die Emissionen sowie die tatsächlichen Jahresnutzungsgrade und die Effizienz von Heizkesseln bei unterschiedlichen Konstellationen aus Gebäuden, Heizkesseln und sonstigen Energieerzeugern realistisch ermittelt.

Das VEMS besteht nicht nur aus einer innovativen Software für das Energiemanagement, sondern auch aus einem neuen Modularwärmeregulator, in dem die überschüssige Restwärme, welche z. B. als Standby-Verluste beim Takten von Biomasseheizkesseln anfallen kann, zwischengespeichert und anschließend für die Wärme- und Warmwasserbereitstellung genutzt wird. Bei der Erprobung des VEMS ließen sich die folgenden Vorteile im Vergleich zum Stand der Technik feststellen:

- Berücksichtigung von Gebäudeeigenschaften und der Witterungsbedingungen in einem Gebäudemodell: In der Software des VEMS werden auf Basis von den technischen Gebäudedaten (z. B. Wärmedämmungen, Fenster usw.) und den zu erwartenden Witterungsbedingungen entsprechende Energiebilanzierungen durchgeführt, wobei der Energiebedarf im Gebäude rechnerisch ermittelt wird. Die technischen Gebäudedaten müssen vor der Inbetriebnahme einmalig in der parametrierbaren VEMS-Software hinterlegt werden. Die Witterungsbedingungen werden in kurzen Zeitintervallen über einen

Server vom Deutschen Wetterdienst DWD abgerufen und in einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) eingelesen. Der berechnete Energiebedarf im Gebäude ist eine wichtige Größe für die Betrachtung der Gesamteffizienz und die Wärmebereitstellung durch die erneuerbaren Energiesysteme.

- Bedarfsgerechte Wärmebereitstellung: Der berechnete Energiebedarf im Gebäude wird in der Regelung des VEMS als regelungstechnischer Sollwert hinterlegt, wobei durch die erneuerbaren Energiesysteme in Summe nur so viel Wärme bereitgestellt wird, wie auf Basis der berechneten Energiebilanz des Gebäudes benötigt wird. Dabei wird erst überprüft, ob der Wärmebedarf über die Solarthermie gedeckt werden kann. Lässt sich der Energiebedarf über die Solarthermie nicht vollständig decken, wird die restliche Energie durch einen Biomasseheizkessel bereitgestellt, wobei die thermische Leistung des Heizkessels moduliert und die dafür notwendige Brennstoffmenge entsprechend so eingestellt wird, dass der Wärmebedarf im Gebäude gedeckt wird.
- Zwischenspeicherung und Nutzung von Standby-Verlusten: In einigen wenigen Fällen, wie z. B. bei einer unzutreffenden Wettervorhersage oder einem geringen Wärmebedarf, können Taktungen (on/off-Schaltung) des Heizkessels auftreten. Gemäß dem Stand der Technik wird die bei der Taktung im Heizkessel gespeicherte Restwärme nicht genutzt bzw. kann als Standby-Wärmeverluste an die Umgebung verloren gehen. Dank des entwickelten Modularwärmeregulators, welcher ein wichtiger Teil der VEMS-Technologie ist, lässt sich diese Restwärme zunächst kurzfristig zwischenspeichern und anschließend für die Wärmebereitstellung nutzen.

Die Vorteile der bedarfsgerechten Regelung unter Berücksichtigung des Energiebedarfs im Gebäude ergeben sich insbesondere bei der hybriden Nutzung von Biomasseheizkesseln mit Solarthermieanlagen, wobei durch die intelligente Abstimmung der Wärmebereitstellung entsprechende Einsparungen an Brennstoffen und CO₂ erreichbar sind. Das ist insbesondere der Fall, wenn durch Solarthermie bereits der berechnete Gesamtenergiebedarf im Gebäude gedeckt werden kann und keine Brennstoffe für die Wärmebereitstellung verbraucht werden müssen. Im Rahmen der Erprobungen mit dem VEMS wurde festgestellt, dass mit dieser Technologie unter vergleichbaren und reproduzierbaren Umgebungs- bzw. Betriebsbedingungen bei einer mittleren thermischen Leistung von ca. 50 kW je Heizkessel jährlich in etwa 0,348 Millionen Tonnen Brennstoff eingespart werden können. Das entspricht ca. 11 % der in Deutschland produzierten Menge an Pellets bzw. einer Menge von etwa 0,11 bis 0,25 Mio. Bäumen, welche jährlich geschont werden können. Darüber können durch die Breitenanwendung von VEMS bis zu 0,761 Millionen Tonnen CO₂ (entspricht ca. 0,3 % der in Gebäuden verursachten Menge an CO₂) aus Pelletheizkesseln vermieden werden. Beim Einsatz von Hackschnitzeln sind deutlich höhere Einsparungen für Brennstoffe und CO₂ zu erwarten. Die Einsparungen aus Hackschnitzelheizkesseln sollen im Rahmen dieses Forschungsprojekts noch ermittelt werden.

[1] UMWELTBUNDESAMT (2020): Energiesparende Gebäude, Beitrag auf der Homepage des Umweltbundesamts, <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/energiesparen/energiesparende-gebäude#eigentuerer>, zuletzt aufgerufen am 13.07.2021.

LITERATUR

03KB162 VEMS

Intelligentes Verbrennungs- und Energiemanagementsystem für eine effiziente und schadstoffarme Bereitstellung und Nutzung von Wärme aus Biomasseheizkesseln

Dr.-Ing. Mohammad Aleysa, M. Sc. Niro Akbary
mohammad.aleysa@ibp.fraunhofer.de
Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Arbeitsgruppe
Verbrennungs- und Umweltschutztechnik
Nobelstrasse 12, 70569 Stuttgart



Christoph Dünn, Romina Krieg, Ralf Theiß, Peter Dültgen, Simon Horn, Alexander Czechowicz, Eugen Eichmann, Thomas Rusinski

POSTER Solarnachführung mit Formgedächtnislegierung

Keywords:

Formgedächtnislegierung,
Solarenergie, Smart Materials,
Nitinol, autarke Regelung

Solaranlagen werden eingesetzt, um solare Energie in elektrischen Strom zu wandeln. Die Leistung der Solarmodule ist u.a. direkt abhängig von der einfallenden Lichtmenge. Letztere hängt von der Ausrichtung der Solarmodule zur Sonne ab. Um die Leistung zu erhöhen, können daher nach Stand der Technik einachsige elektromotorische Nachführungssysteme eingesetzt werden, die eine Leistungssteigerung von bis zu 30% erreichen können [1]. Weitere Vorteile dieser Nachführungssysteme sind der geringere Platzbedarf, eine gleichmäßigere Stromproduktion, die Schonung der Batterie durch eine gleichmäßige Einspeisung der Ladung sowie ein kompakterer Speicher. Die konstantere Leistung beruht darauf, dass in Situationen mit geringer Lichteinstrahlung (Wolken, morgens/abends, Winter) die Neigung der Solarmodule der Sonneneinstrahlung angepasst wird (Wechsel zwischen 180° und 45° Stellung) und sich so die höchste Leistung aus der indirekten Sonnenstrahlung erzielen lässt (vgl. Abb. 1). Die elektrischen Stellmotoren weisen jedoch Probleme auf: Durch Bewitterung ist die Zuverlässigkeit negativ beeinflusst und die Drehsysteme benötigen bis zu 12% des von der Solaranlage erzeugten Stromes selbst.

Im EFRE.NRW Projekt *SmartSolarMover: Nutzung der thermischen Solarenergie zur Nachführung von Photovoltaikmodulen* (EFRE-0801586) wird ein Drehsystem für Solarmodule auf Basis von thermisch aktivierten Formgedächtnislegierungen (FGL) untersucht. FG-Elemente sind in der Lage bereits bei niedrigen Temperaturen ihre volle Funktionalität zu besitzen. So kann die thermische Energie der einfallenden Sonnenstrahlung als mechanische Energie gespeichert werden und über den Tag selbstregulierend für die Drehbewegung genutzt werden.

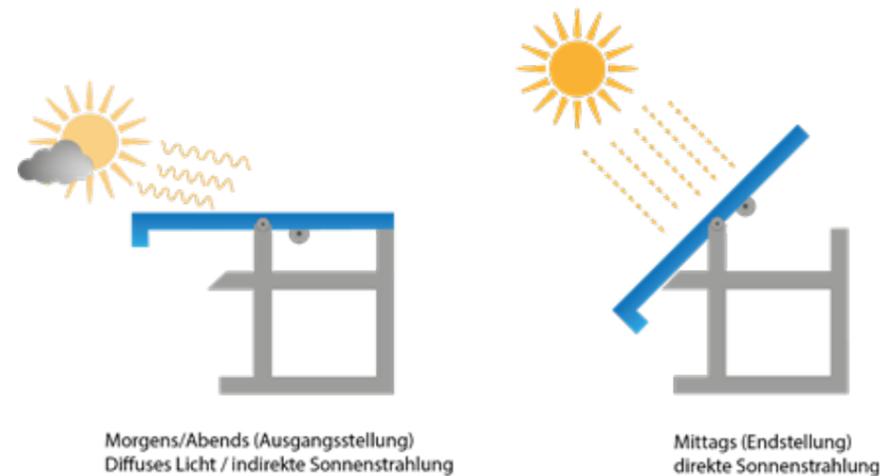


Abbildung 1:

Selbstregulierende Solarmodule,
180° Stellung für wenig Licht und
indirekte Strahlung, 45° Stellung
bei direkter Sonnenstrahlung

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Die Herausforderung liegt in der Gestaltung des Antriebs. Ein FG-Aktor reagiert bei Erwärmung mit einer Formveränderung. Für drahtförmige Aktoren ist dies typischerweise eine Kontraktion, die für eine Positionsänderung in einem Stellmechanismus genutzt werden kann. Nach der Kontraktion lässt sich der Aktor für die nächste Aktivierung durch einen Antagonisten in seine gelängte Ausgangsform zurückstellen. Im Vorhaben wird dies mittels eines pseudoelastischen (PE) FG-Elements und einer Gasdruckfeder realisiert (vgl. Abb. 2 (ohne Gasdruckfeder)). Das PE-Element wird als Feder ausgelegt werden, deren Rückstellkraft temperaturabhängig ist.

Der Stellweg des Aktors ist dabei abhängig von der Leistung der Sonnenstrahlung. Die Rückstellkraft des PE-Element wird dagegen durch die Umgebungstemperatur beeinflusst. Nur aus der Kombination aus Beiden ist der Antrieb in der Lage sowohl bei winterlichen als auch sommerlichen Temperaturen und entsprechender Sonnenleistung funktionsfähig zu sein (vgl. Abb. 3).

Um diese Zielcharakteristiken zu erreichen, müssen die spezifischen Materialeigenschaften der FGL genau eingestellt und aufeinander angepasst werden. Das beinhaltet die Legierungswahl, die Wärmebehandlung aber auch die Vorspannung und Energieberechnung im System.

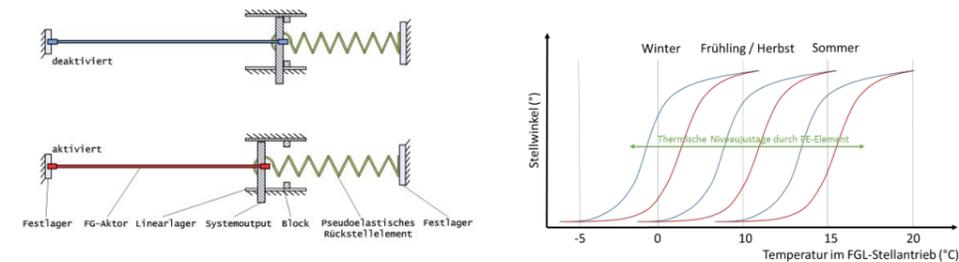


Abbildung 2 (links):
Gewünschte Zielcharakteristik
des FGL-Stellantriebs

Abbildung 3 (rechts):
Adaptive Rückstellung eines
FG-Aktors durch ein
pseudoelastisches Element [2]

In Zusammenarbeit mit den Partnern Kunststoffverarbeitung Hoffmann GmbH, enlop GmbH, t+h ingema ingenieurgesellschaft mbh aachen und der FGW wurde ein vollständiger Demonstrator mit Muster Solarzelle entworfen und mit einem autarken FG-Antrieb umgesetzt. Die Erprobung auf offenem Gelände zeigt die Machbarkeit und ermöglicht einen Benchmarktest über mehrere Jahreszeiten hinweg. Durch Erkenntnisse des Projektes können Rückschlüsse auf eine spätere Produktion, wie auch auf die Markteinführung geschlossen werden.

ERGEBNISSE

[1] ENERGIE-EXPERTEN (2019): Solar-Tracker: Nachführungssysteme für Photovoltaik-Anlagen im Expertencheck, Fachartikel des Informationsportals Energie-Experten, URL: <https://www.energie-experten.org/erneuerbare-energien/photovoltaik/montage/solar-tracker>, (letzter Aufruf am 13.08.2021)

[2] CZECHOWICZ, A. (2012): Adaptive und Adaptronische Optimierungen von Formgedächtnisaktor-systemen für Anwendungen im Automobil, Dissertation Ruhr-Universität Bochum, Shaker Verlag ISBN 3844014330

LITERATUR

Christoph Dünn¹, Romina Krieg¹, Ralf Theiß¹,
Peter Dültgen¹, Simon Horn¹, Alexander Czechowicz²,
Eugen Eichmann³, Thomas Rusinski⁴

duenn@fgw.de
+49 (0) 2191 5921-148

¹ Forschungsgemeinschaft Werkzeuge
und Werkstoffe e.V.

Papenberger Str. 49, 42859 Remscheid
² Kunststoffverarbeitung Hoffmann GmbH
Humboldtstraße 15, 42579 Heiligenhaus

³ enlop GmbH
Grünstraße 51, 47051 Duisburg

⁴ t+h ingema ingenieurgesellschaft mbh aachen
Försterstraße 3, 52072 Aachen



OpToKNuS

Maximilian Heinrich, Tobias Plessing, André Herrmann, Andy Gradel

POSTER

Brennstoffeigenschaften - das Kernelement einer Holzgassimulation

Keywords:
Simulation, Holzgas,
Brennstoffcharakterisierung,
Validierung

Die Biomassevergasung als zukunftsweisende Technologie ist für den Brennstoff Holz in der KWK-Anwendung Stand der Technik. Mit Blick auf einen flexiblen Anlagenbetrieb zur bedarfsgerechten Energiebereitstellung und den Einsatz von alternativen Brennstoffen besteht jedoch weiterhin Forschungs- und Entwicklungsbedarf. Mit Hilfe dieses Projekts soll ein numerisches Simulationstool samt kinetischer Datenbank, welche bestenfalls in einer allgemein gültigen und nutzbaren »Toolbox« resultiert, geschaffen werden. Damit sollen die thermochemischen Prozesse während der Anlagenauslegung brennstoffspezifisch vorhergesagt oder bestehende Anlagen diesbezüglich optimiert werden können.

Auf Basis eines voran gegangenen Projektes konnten am Institut für Wasser- und Energiemanagement der Hochschule Hof (iwe) vertiefte Kenntnisse in der Simulation der Holzvergasung erworben werden. Die verwendeten Modellgleichungen und Zusammenhänge zeigten bisher eine gute Vorhersagequalität unter den speziellen Bedingungen der dortigen Projektziele. Dabei wurden Holzpellets als Brennstoff eingesetzt und der Prozess sowie das dazugehörige Rechenmodell im Zuge der Entwicklung sukzessiv optimiert. [1] Nun soll das Modell so weiterentwickelt werden, dass es in der Lage ist, ein breiteres Anlagen- und Brennstoffspektrum abzudecken.

Die bisherigen Erkenntnisse aus der Literatur zeigen jedoch, dass die Simulationsparameter bisher nicht in vollem Umfang kombiniert betrachtet wurden. Allein die unterschiedlichen Herangehensweisen und verwendeten Brennstoffe spannen damit ein breites Spektrum stark voneinander abweichender Ergebnisse auf wie ein Review von Neves et al. in Bezug auf Pyrolyseprodukte zeigt. [2] Hinzu kommt, dass die Vergaserkohle unterschiedlicher Brennstoffe aufgrund von Struktur und Zusammensetzung unterschiedliche kinetische Eigenschaften aufweist. [3]

Ein wichtiges Ziel des Projektes ist, die theoretischen Zusammenhänge der verschiedenen Reaktionen während des Vergasungsprozesses in praktikable und breitere praktische Anwendungen zu überführen. Dazu sollen mit Hilfe der Projektpartner DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützig GmbH (DBFZ) und Spanner Re² die weiter optimierten Simulationsmodelle mit belastbaren Versuchsdaten unterschiedlicher Anlagenskalierungen validiert werden.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Kern der Projektarbeit neben der Weiterentwicklung des bestehenden Simulationsmodells sind Laborversuche zur Charakterisierung der Vergasungsprozesse sowie Versuche an Realanlagen als Basis zur Modellvalidierung und -optimierung sowie Datenbank- und Toolboxerstellung.

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Mit Hilfe von umfangreichen Brennstoffuntersuchungen und Prozesscharakterisierungen an einer Festbett-Laborvergasungsanlage und einer TGA (Thermogravimetrische Analyse) zusammen mit Validierungsversuchen an Realanlagen soll hier ein Umschwung von Holz auf andere Brennstoffe gelingen. Die Brennstoffe werden dabei hinsichtlich der Einzelvergasungsreaktionen (Pyrolyse, CO₂-/O₂-/H₂O(g)-Vergasung) in einem statistischen Parameterfeld charakterisiert. Weiterhin wird die Realanlage mit entsprechender Messtechnik ausgestattet, um die Laborversuche und Modellrechnungen entsprechend abbilden zu können. Als Referenz und zur Modellvalidierung wird zuerst ein gut definierter hölzerner Brennstoff (Präzisionshackgut) eingesetzt bei dem u.a. folgende Eigenschaften untersucht werden:

- Physikalische Eigenschaften des Brennstoffs (Art, Partikelgrößen/-form und Bettcharakteristik)
- Chem. Zusammensetzung Brennstoff und Pyrolyse-/Vergaserkohle (z.B. Wasser-/Aschegehalt, Elementaranalyse)
- Pyrolysekinetik und Pyrolyseprodukte (Gaszusammensetzung, Teer, Wasser, Vergaserkohle)
- Intrinsische Reaktivität der Pyrolysekohle bezüglich O₂, CO₂ und H₂O
- Porenanalyse der Pyrolysekohle

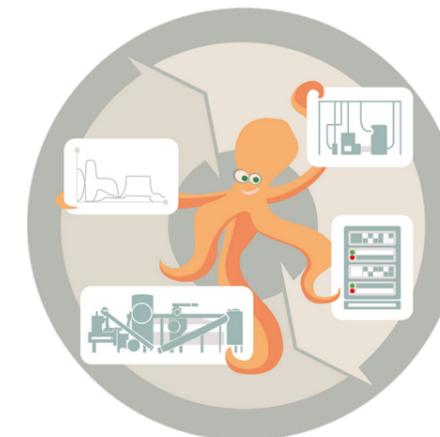
Diese Analysen und Charakterisierungsversuche im Labor sollen den Rahmen für eine übersichtliche Datenbank liefern, die dann die Basis der Simulationen darstellt.

Weiterhin wird eine Realanlage (HKA70) der Firma Spanner Re² GmbH so ausgerüstet, dass das Temperaturfeld im Reaktor möglichst gut aufgezeichnet und überwacht werden kann, da sämtliche Vorgänge stark durch die vorherrschende Temperatur im Reaktor beeinflusst werden. Hinzu kommen auch Gas- und Teermessungen. Mit Hilfe dieser Messwerte kann die Simulation verglichen und validiert werden.

Bei dem Poster sollen die bis dahin entstandenen Projektergebnisse präsentiert werden. Dabei stehen die durchgeführten Laborversuche zur Charakterisierung der Einzelvergasungsreaktionen und deren Ergebnisse in Verbindung mit dem optimierten Simulationsmodell sowie die ersten Versuche an der umgebauten Realanlage im Vordergrund.

- <https://www.hof-university.de/forschung/institut-fuer-wasser-und-energiemanagement/aktuelle-forschungsprojekte/optimierungs-toolbox-fuer-holzvergasungsanlagen-mit-kinetischer-numerischer-simulation.html>
- <https://www.energetische-biomassenutzung.de/projekte-partner/details/project/show/Project/OpToKNuS-632>

- [1] Gradel, A., Honke, R., Wüning, J. A., Plessing, T., & Jess, A. (2019). Modelling of biomass gasification in a downdraft gasifier with integrated tar adsorption. *Chemical Engineering & Technology*.
- [2] Neves, D., Thunman, H., Matos, A., Tarelho, L., & Gómez-Barea, A. (2011). Characterization and prediction of biomass pyrolysis products. *Progress in Energy and Combustion Science*, 37(5), 611–630.
- [3] Morin, M., Pécate, S., Masi, E., & Hémati, M. (2017). Kinetic study and modelling of char combustion in TGA in isothermal conditions. *Fuel*, 203, 522–536.



ERGEBNISSE

WEITERE INFORMATIONEN

LITERATUR

03KB163 OpToKNuS

Optimierungstoolbox mit Kinetischer
Numerischer Simulation

Maximilian Heinrich¹, Prof. Dr.-Ing. Tobias Plessing¹,
André Herrmann², Dr.-Ing. Andy Gradel¹
maximilian.heinrich.2@hof-university.de

¹ Hochschule Hof

Institut für Wasser- und Energiemanagement
Alfons-Goppel-Platz 1, 95028 Hof

² DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH
Torgauer Str. 116, 04347 Leipzig



BiotAB

Jürgen Reichelt, Gudrun Pfrang-Stotz, Britta Bergfeldt, Edwin Karrer, Markus Ricker

POSTER

Effizienzsteigerung bei der Energiegewinnung in Biomassekraftwerken durch die technische Anwendung eines Biobrennstoffkataloges

Keywords:

Anbackungen, Beläge, Sinterversuche, Rostaschen, Biobrennstoffkatalog

Für einen störungsfreien Betrieb von Biomasseverbrennungsanlagen (BMKW) ist die Bereitstellung von Brennstoffen einer definierten Qualität zwingend erforderlich. Bei der thermischen Behandlung von Biomasse in BMKW wird Energie freigesetzt, die über Wärmetauscher zur Strom- oder Wärmeenergie genutzt wird. Bei diesem Prozess werden durch die Freisetzung von Partikeln und Gasen aus den Biobrennstoffen Verschmutzungsmechanismen induziert, die im Bereich des Verbrennungsraumes zu Anbackungen an den Wänden sowie im konvektiven Kesselbereich zur Bildung von Belägen auf den Wärmetauscherflächen führen und somit die Wärmeübertragung im Laufe der Reisezeit immer mehr reduzieren.

Das Ziel des Verbundvorhabens »BiotAB« war, einen Beitrag zur Steigerung der Energieeffizienz in Biomassekraftwerken durch die technische Anwendung eines von den Antragstellern entwickelten Biobrennstoffkataloges (BBK) zu leisten. Dieser soll künftig als allgemeingültiges Instrument herangezogen werden, um die Wirkung unterschiedlichster Biobrennstoffe auf die Bildung von Anbackungen im Verbrennungsraum und Belägen im konvektiven Kesselbereich zu prognostizieren.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Forschungsschwerpunkte waren Großversuche in BMKW zur Validierung der Vorgehensweise zur Erstellung des Biobrennstoffkataloges und Überprüfung der Übertragbarkeit auf BMKW verschiedener Verfahrenstechnik für den Brennstoff Altholz I-IV. Weiterhin wurden durch Sinterversuche im Labor- und halbtechnischen Maßstab chemisch-mineralogischen Reaktionen zur Bildung von Anbackungen und Belägen von holzbasierten und nicht-holzbasierten Biobrennstoffen untersucht, deren Verbrennungseigenschaften als technisch kritisch angesehen werden.

AKTIVITÄTEN MASSNAHMEN

Folgende Vorgehensweise wurde im F+E-Vorhaben angewandt:

- Validierung der Vorgehensweise für die Erstellung des BBK anhand von drei Großversuchen während der regulären Laufzeit eines BMKW, wobei die Anbackungen und Beläge klassifiziert, Brennkammer- und Kesselprofile erarbeitet und Daten dokumentiert wurden,
- Überprüfung der Übertragbarkeit der technischen Anwendung des BBK auf BMKW, die mit unterschiedlichen Verfahrenstechniken (Rostfeuerung, Wirbelschichtfeuerung) ausgestattet sind,
- Simulation von chemisch-mineralogischen Reaktionen zur Bildung von Anbackungen und Belägen durch Sinterversuche im Labormaßstab sowie im Technikumsmaßstab an Altholz sowie an pflanzenbasierten sowie tierischen biogenen Reststoffen
- Simulation der chemisch-mineralogischen Reaktionen zur Bildung von Anbackungen und Belägen durch Sinterversuche im Labormaßstab an verschiedenen Brennstoffgemischen aus Altholz und nicht holzbasierten biogenen Reststoffen im Hinblick auf einen verstärkten Einsatz technisch schwieriger Biobrennstoffe durch eine Mitverbrennung in BMKW

ERGEBNISSE

Die Versuche zur Validierung des BBK zeigen, dass mit Brennkammer- und Kesselprofilen unterschiedliche Verschlackungs- und Verschmutzungsszenarien dargestellt werden können, die auf den Einsatz von Brennstoffen mit unterschiedlichen Eigenschaften zurückgehen. Auf Basis der Ergebnisse kann von einer Praxistauglichkeit und einer Validierung des BBK ausgegangen werden.

Die Versuche zur Überprüfung der Übertragbarkeit des BBK, die in zwei BMKW (Rostfeuerung/Wirbelschichtfeuerung) durchgeführt wurden, lassen erkennen, dass sich Unterschiede in der Brennstoffqualität und der Verfahrenstechnik in differenzierten Brennkammer- und Kesselprofilen abbilden lassen. Eine Übertragbarkeit des BBK auf BMKW unterschiedlicher Verfahrenstechnik ist gegeben.

Sinterversuche zur Simulation von chemisch-mineralogischen Reaktionen an holzbasierten Biobrennstoffaschen im Labormaßstab verdeutlichen, dass die Bildung von Anbackungen im Verbrennungsraum von der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung der Brennstoffaschen sowie der Temperatur gesteuert wird. Die Ergebnisse sind auch Grundlage für Optimierungsmöglichkeiten.

Die orientierend durchgeführten Sinterversuche an den nicht holzbasierten Biobrennstoffen »Maisstroh«, »Miscanthus« und »Geflügmist-Pellets« zeigen, dass sich der Mineralbestand der gesinterten Aschen deutlich von der mineralogischen Zusammensetzung von Aschen von Althölzern unterscheidet und auf ein kritischeres Verschlackungs- und Foulingverhalten hinweist.

Die Versuche mit Althölzern an der Technikumsanlage KLEAA lassen erkennen, dass auf der Basis der chemisch-mineralogischen Zusammensetzung der Aschen Rückschlüsse auf das Bildungspotential von Anbackungen gezogen werden können und sich Hinweise auf die Verwertbarkeit von Rostaschen ergeben. An der INTEC-Versuchsanlage wurden an Althölzern Untersuchungen zum Belagsbildungspotential durchgeführt und mit der Zusammensetzung von realen Belägen aus dem Kesselbereich vergleichend bewertet. Mit der Anlage ist es möglich, die initiale Belagsbildung auf Wärmetauscherflächen zu simulieren sowie Rückschlüsse auf das Korrosionspotential von Biobrennstoffen zu ziehen.

Die orientierend durchgeführten Sinterversuche im Labormaßstab an Mischungen von Altholz mit nicht holzbasierten Brennstoffen zeigen, dass teilweise komplex zusammengesetzte Mineralspektren entstehen. Dies führt zu niedrigeren Sintertemperaturen und zu einem höheren Verschlackungspotential.

An 4 frisch produzierten Rostaschen aus einem BMKW (Altholz I-IV) wurden chemisch-mineralogische Untersuchungen durchgeführt. Es zeigt sich, dass die Vorgaben für Eluatgehalte für eine Deponieklasse II auf Grund der teilweise erhöhten Blei- und Chromgehalte von einigen Rostaschen nicht eingehalten werden. Während einer dreimonatigen Alterung im Labormaßstab wird jedoch eine deutliche Abnahme der Gehalte festgestellt.

03KB125 BiotAB

Effizienzsteigerung bei der Energiegewinnung in Biomassekraftwerken durch die technische Anwendung eines Biobrennstoffkataloges

Dr.-Ing. Jürgen Reichelt^{1*}, Dr. Gudrun Pfrang-Stotz², Dr. Britta Bergfeldt², Dipl.-Ing. Edwin Karrer³, Dipl.-Ing. Markus Ricker³

ibr.reichelt@t-online.de

+49 7257-924-555, www.ibr-kva.de

¹ Institut für angewandte Bau- und Reststoff-Forschung GbR
Obergrombacher Str. 29, 76646 Bruchsal

² Karlsruher Institut für Technologie
Institut für Technische Chemie
Herrmann-von-Helmholtz-Platz,
76344 Leopoldshafen-Eggenstein

³ INTEC Engineering GmbH
John-Deere-Straße 43, 76646 Bruchsal



KonditorGas

POSTER

Özge Çepelioğullar Mutlu, Matthias Jordan, Thomas Zeng, Volker Lenz

Zukünftiges Potenzial und Herausforderungen bei der Substitution von Erdgas durch biobasiertes Synthesegas in energieintensiven Sektoren: Eine technisch-ökonomische Analyse

Keywords:
**Biomasse, Vergasung,
 Synthesegas, Methanisierung,
 industrielle Wärmebereitstellung,
 Wirtschaftlichkeit**

Die intensive Nutzung fossiler Energieträger führt nachwievor zu einem Anstieg der Treibhausgasemissionen, was große Herausforderungen für den Klimaschutz mit sich bringt [1]. Daher ist es wichtig, den Anteil der erneuerbaren Energien zu erhöhen, insbesondere im energieintensiven Wärmesektor. In diesem Zusammenhang hat sich die deutsche Regierung ehrgeizige Ziele gesetzt, um die Treibhausgasemissionen bis 2045 um 100 % gegenüber 1990 zu reduzieren [2,3]. Derzeit ist der Industriesektor in Deutschland für etwa 20 % der Treibhausgasemissionen verantwortlich und wird hauptsächlich durch Erdgas abgedeckt, was neue Konzepte zur Substitution fossiler Brennstoffe und zur Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energien erfordert [4]. In diesem Zusammenhang kann Biomasse als erneuerbare Energiequelle mittels BECCS/BECCU¹ Hochtemperaturprozesswärme mit negativen CO₂-Emissionen mittel- und langfristig bereitstellen [5]. In vielen industriellen Prozessen ist die direkte Verbrennung von Biomasse zur Wärmeerzeugung derzeit jedoch noch nicht wettbewerbsfähig. In der chemischen Industrie beispielsweise müssen viele Öfen im Batch-Betrieb gefahren werden, was für kontinuierlich arbeitende Feuerungsanlagen mit fester Biomasse nicht praktikabel ist. Die Verunreinigung mit Asche aus festen Brennstoffen ist eine weitere Herausforderung für viele industrielle Prozesse. Zudem ist für weitere Hochtemperaturprozesse die direkte Verbrennung von Biomasse keine Option, da die erforderlichen adiabatischen Verbrennungstemperaturen nicht erreicht werden können. Eine vielversprechende Lösung kann daher die Erzeugung von gasförmigen Energieträgern wie Syngas aus Biomassevergasungsprozessen sein. Dabei wird Biomasse thermo-chemisch umgewandelt und das entstehende Synthesegas durch eine Gasreinigung und eine mehrstufige, katalytische Methanisierung zu einem Gas veredelt, das den Eigenschaften von Erdgas entspricht. Das erzeugte Synthesegas kann mit geringen Modifikationen in bestehenden Brennern von Heizungsanlagen eingesetzt werden. Für viele industrielle Prozesse ist es allerdings nicht notwendig, das bei der Biomassevergasung entstehende Synthesegas auf Erdgasqualität aufzubereiten. Stattdessen kann bereits durch eine Teil-Methanisierung und -Aufreinigung die Gasqualität an die Bedürfnisse industrieller Prozesse und Brenner individuell angepasst werden. Im Rahmen des vom BMWi geförderten Projektes »KonditorGas« soll eine vollständige Prozesskette, bestehend aus der Vergasung von Biomasse, der Aufbereitung des Synthesegases und der Verbrennung in angepassten Flox-Brennern, entwickelt und demonstriert werden. Neben den experimentellen Arbeiten sollen auch techno-ökonomische Analysen durchgeführt werden, um die Wettbewerbsfähigkeit gegenüber anderen Heiztechnologien einschließlich fossiler Heiztechnikkonzepte zu bewerten.

In diesem Zusammenhang werden industrielle Anwendungen mit einem Temperaturbedarf von mehr als 500 °C mit dem Modell BENOPT (BioENERgyOPTimisation) modelliert, indem ausgewählte Vergasungskonzepte integriert werden. Es wurden zwei verschiedene Fallstudien ausgewählt: 1) indirekte Vergasung durch den Heatpipe Reformer (HPR) [6] und 2) dualer Wirbelschichtvergaser mit Gaskonditionierung und Methanisierung (GobiGas) [7]. Als Brennstoffe wurden für die Modellierung Holzpellets, Hackschnitzel aus Industriestroh und Waldrestholz sowie Miscanthuspellets berücksichtigt. Der Projektionszeitraum wurde bis 2045 begrenzt, um die Gesamtsystemkosten zu minimieren und die definierten deutschen Klimaschutzziele zu erfüllen. Weitere Details der Modellierung wurden durch Jordan et al. veröffentlicht [8]. Es wurden verschiedene Szenarien einbezogen, um die Auswirkungen des Strompreises, des zukünftigen Potenzials von Biomassearten und anderer Heiztechnologien wie der »direkten Biomassefeuerung« zu untersuchen.

Die ersten vorläufigen Ergebnisse haben gezeigt, dass die Vergasung mit anschließender Methanisierung in den vorgeschlagenen Szenarien für die industrielle Wärmebereitstellung mit einem Temperaturniveau von > 500 °C kaum wirtschaftlich konkurrenzfähig sein wird. Einer der Hauptgründe sind die Unterschiede in den Gesteungskosten im Vergleich zu konkurrierenden Technologien. Der Preisunterschied der Gesteungskosten zu konkurrierenden Technologien für feste Biomasse beträgt >60 €/MWh und zur günstigsten konkurrierenden Biomethanoption >30 €/MWh.

Daher dürfte es zielführender sein, sich auf Bioraffinerieanwendungen zu konzentrieren, für die beispielsweise Gas mit hohem C-Gehalt benötigt wird.

In einem nächsten Schritt sollen weitere Industriesektoren im Detail identifiziert und wirtschaftliche Nutzungsoptionen für die Biomethanherzeugung aus Synthesegasen zur Bereitstellung von Hochtemperaturprozesswärme, modelliert werden.

- [1] J.S. Tumuluru, S. Sokhansanj, J.R. Hess, C.T. Wright, R.D. Boardman, A review on biomass torrefaction process and product properties for energy applications, *Industrial Biotechnology* 7 (2011) 384–401.
- [2] Bundesregierung, Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung 2010.
- [3] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Klimaschutzplan 2050 (2021).
- [4] Tobias Fleiter, Matthias Rehfeldt, Marius Neuwirth, Andrea Herbst, Deep decarbonisation of the German industry via electricity or gas? A scenariobased comparison of pathways, *ECEEE Industrial Summer Study 2020. Proceedings* 23–33.
- [5] F. Rosillo-Calle, A review of biomass energy- shortcomings and concerns, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 91 (2016) 1933–1945.
- [6] J. Held, J. Olofsson, LignoSys - System study of small scale thermochemical conversion of lignocellulosic feedstock to biomethane, *Renewable Energy Technology International AB*.
- [7] H. Thunman, C. Gustavsson, A. Larsson, I. Gunnarsson, F. Tengberg, Economic assessment of advanced biofuel production via gasification using cost data from the GoBiGas plant, *Energy Sci Eng* 7 (2019) 217–229.
- [8] M. Jordan, V. Lenz, K. Millinger, K. Oehmichen, D. Thrän, Future competitive bioenergy technologies in German heat sector: Findings from an economic optimization approach, *Energy* 189 116194.

LITERATUR

03E15417: KonditorGas
 Industrielle Prozesswärmeerzeugung durch
 katalytische Konditionierung von Synthesegasen

¹ DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
 gemeinnützige GmbH
 Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig, Deutschland

Dr. Özge Çepelioğullar Mutlu*, Dipl.- Ing. Matthias
 Jordan², Dr. -Ing. Thomas Zeng¹, Dr.-Ing. Volker Lenz¹
 oezge.cepelioğullar.mutlu@dbfz.de

² UFZ Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung
 GmbH, Permoserstraße 15, 04318, Leipzig



¹ Bioenergy with carbon capture and storage / Bioenergy with carbon capture and utilization

Power-to-Biogas

POSTER

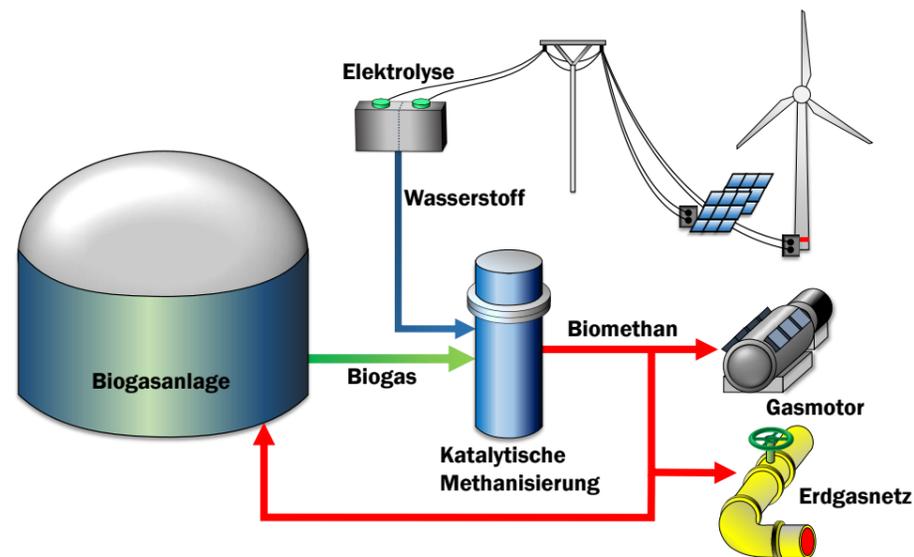
Simon Markthaler, Fabian Grimm, Jürgen Karl

Experimentelle Untersuchung zur Katalysatordeaktivierung und zur Leistungsfähigkeit eines zweistufigen Methanisierungssystems für die Direktmethanisierung von Biogas

Keywords:
Thermochemische Konversion,
Biomethan, Sektorenkopplung,
Katalytische Methanisierung

Bei der Methanisierung von Biogas wird das im Gas enthaltene Kohlenstoffdioxid mithilfe von Wasserstoff zu Methan umgewandelt. Über die Kopplung an einen Elektrolyseur kann die überschüssige elektrische Leistung erneuerbarer Energien zur Methananreicherung im Biogas verwendet werden (siehe Abb. 1). Diese Veredelung des Biogases erleichtert die Einspeisung ins Erdgasnetz und damit einhergehend die Sektorenkopplung mit erneuerbaren Energien. Darüber hinaus ist eine Rückführung zum Fermenter mit lokaler Speicherung in der Gashülle sowie die direkte Verbrennung in Gasmotoren mit Kraft-Wärme-Kopplung möglich.

Abbildung 1:
Direktmethanisierung
von Biogas zur Verwertung
im Gasmotor, lokalen
Zwischenspeicherung in der
Gashülle des Fermenters und
Einspeisung ins Erdgasnetz



Die vorliegende Arbeit präsentiert experimentelle Laboruntersuchungen zur Machbarkeit und Leistungsfähigkeit der katalytischen Direktmethanisierung von entschwefeltem Biogas. Hierfür werden nicht nur Umsatz und Ausbeute bei zwei verschiedenen Ni/Al₂O₃-Katalysatoren analysiert, sondern auch die Deaktivierungsneigung dieser Katalysatoren bzgl. möglicher Spurenelemente im Biogas (Ammoniak, Siloxane) untersucht. Neben diesen Katalysator-Tests werden weitergehend Versuche an einer zweistufigen Methanisierung mit Zwischenkondensatoren vorgestellt. Trotz des relativ einfachen Aufbaus, welcher auf Neubert et al. (2018) basiert, können sehr hohe Produktgasqualitäten mit einem Methangehalt von bis zu 95 Vol.-% erreicht werden. Die hierin aufgeführten Ergebnisse belegen somit das technische Potential der katalytischen Direktmethanisierung von Biogas, die in ihrem vereinfachten und kostengünstigen Aufbau auch für dezentrale und kleinskalige Anwendungen geeignet ist.

LITERATUR

[1] Neubert, M., Hauser, A., Pourhossein, B., Dillig, M., & Karl, J. (2018). Experimental evaluation of a heat pipe cooled structured reactor as part of a two-stage catalytic methanation process in power-to-gas applications. Applied Energy, 229, 289-298.



03KB165A Power-to-Biogas
Erfahrungsbasierte Einsatzplanung für die katalytische
Methanisierung von Biogas zur Anlagenflexibilisierung

Simon Markthaler, Fabian Grimm, Prof. Dr. Jürgen Karl
simon.markthaler@fau.de
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
(FAU), Lehrstuhl für Energieverfahrenstechnik,
Fürther Str. 244f, 90429 Nürnberg, Deutschland

Lukas Tanzer, Korbinian Gernt, Tina Horstkotte

Innovatives Regelkonzept für Holzvergaseranlagen zur systemdienlichen Einbindung in ein volatiles Energienetz

POSTER

Die Optimierung von Vergaseranlagen hinsichtlich ihrer Effizienz und Regelfähigkeit kann der Holzvergasung zur höheren Marktakzeptanz verhelfen. Vor allem die Inflexibilität bei geforderten Lastwechseln steht der Integration der Technologie in moderne Energienetze im Weg.

Die Aufgabe der Stadtwerke Rosenheim innerhalb des Verbundprojektes ENavi, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (2016-2019), war es, die eigene Holzvergaseranlage so zu optimieren, dass ein wirtschaftlicher Dauerbetrieb mit Teillastfähigkeit als Reaktion auf die Anforderungen eines vernetzten Energiesystems möglich ist.

Steigerung der Effizienz des Rosenheimer Verfahrens.

Einführung einer Regelfähigkeit für Teillastbetrieb zur Systemintegration.

Zahlreiche Entwicklungsschritte führten sowohl zu einer innovativen Bestimmung der Luftzahl Lambda über Stoffbilanzen, als auch zur Umsetzung einer robusten Regelbeziehung. Somit ist es möglich, einen beliebigen Lambda-Sollwert über eine Anpassung der Brennstoffzufuhr konstant zu halten.

Mit dem neuen Regelkonzept wurde ein Vergaser-Kennfeld erstellt, das stufenlos alle möglichen Betriebszustände von 80 Nm³/h bis 150 Nm³/h abbildet. Auf dieser Basis ist es gelungen, sämtliche Betriebspunkte mit elektrischen Leistungen von 30 kW bis 65 kW bei einer Nennleistung von 50 kW und thermischen Leistungen von 65 kW bis 145 kW (Nennleistung 110 kW) kontrolliert anzufahren und sicher zu halten.

- Lambdabestimmung und Regelkonzept
- Vergaserkennfeld (Teil- und Volllast)
- Lastwechsel bei gleichbleibend hohem Wirkungsgrad

Zentrales Ergebnis dieses Projektes ist die Entwicklung eines neuen Regelkonzepts für den Pyrolyse/Wirbelbettvergaser PGW300, welches sowohl den Rahmen des bisher möglichen Volllastbetriebs bei gleichbleibend hohen Wirkungsgraden erweitert als auch einen Teillastbetrieb bei hohen Wirkungsgraden zulässt. Die Erkenntnisse legen zum einen Grundsteine für die Integration von Holzvergasungsanlagen in Wärme- und Stromnetze. (Beispiel Sommer/Winterbetrieb Kunden-Anlage Südtirol). Zum anderen eröffnet das neue Lambda-Regelkonzept Möglichkeiten für den Einsatz von minderwertigen Brennstoffen wie Altholz und nicht getrocknetem/biologisch trockenem Waldrestholz, die in den Anschlussprojekten AlthRO, gefördert von BMWi und ROWaH, gefördert von BMEL derzeit erforscht werden.

Keywords:
Lambda-Regelung,
wärmegeführter
Teillastbetrieb,
Regelfähigkeit,
Systemintegration

FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE

AKTIVITÄTEN
MASSNAHMEN

ERGEBNISSE

Lukas Tanzer, Korbinian Gernt,
Dr. Tina Horstkotte
lukas.tanzer@swro.de

Stadtwerke Rosenheim GmbH & Co. KG,
Bayerstrasse 5, 83022 Rosenheim

OBEN

POSTER

Laura García Laverde, Torsten Schmidt-Baum, Nora Szarka, Volker Lenz

Heizungsaustausch - Erleichterung des Entscheidungs-, Planungs- und Installationsprozesses für Hauseigentümer:innen

Keywords:
Heizungsaustausch,
Ölersatz, Hemmnisanalyse &
-auflösung, Hauseigentümer,
Biomassefeuerung

Die Relevanz der Wärmewende in den privaten Haushalten nimmt weiter zu, da deren Energieverbrauch im Jahr 2019 etwas mehr als ein Viertel des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland ausmacht. Rund 80% des Energieverbrauchs der Haushalte entfallen auf Raumwärme und Warmwasser, wobei Erdgas und Heizöl hier den höchsten Verbrauch aufweisen [1]. Das Anfang 2020 umgesetzte Förderprogramm und möglicherweise auch der Lockdown während der Pandemie haben im letzten Jahr (2020) zu einem starken Aufschwung der zuvor stagnierenden Installationen von Erneuerbare-Energien-Heizungen geführt. So ist z.B. der Anteil an Heizungssystemen mit Pelletfeuerung gegenüber 2019 um 170% gewachsen (Berechnung basierend auf [2]). Wenn umgesetzt wie im Klimapaket der Bundesregierung vorgesehen, würde ein mögliches Verbot der Ölheizung jedoch nur bis zum Jahr 2026 in Kraft treten, was Hybridsysteme mit einer erneuerbaren Wärmequelle und einige Ausnahmefälle weiterhin zulassen würde. Wird ein neuer Ölkessel heute installiert, so ist damit zu rechnen, dass er innerhalb der technischen Lebensdauer von Ölheizungen bis mindestens 2040 in Betrieb bleibt [3] und damit als fossiler Brennstoffverbraucher und CO₂-Emittent im deutschen Energiesystem verbleibt.

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Vor diesem Hintergrund und in Übereinstimmung mit den weltweiten Zielen zur Reduktion von Treibhausgasemissionen, die auf nationaler Ebene im Klimaschutzplan 2050 dargestellt und durch das Klimaschutzprogramm 2030 ergänzt werden, unterstützt das Projekt OBEN die Identifizierung von Hemmnissen sowie Lösungen und Treibern zur Erleichterung des Umstiegs auf Erneuerbare-Energien-Heizsysteme, mit Schwerpunkt auf Biomassefeuerungen. Die Analyse betrachtet den gesamten Austauschprozess, von der Erkenntnis der Notwendigkeit, eine Ölheizung auszutauschen, bis zur Installation und Nutzung einer neuen Biomasseheizung. Damit werden alle Hauptakteure einbezogen, die eine Schlüsselrolle bei der Erleichterung oder Erschwerung des Heizungsaustauschs spielen. Die Perspektive der Hausbesitzer ist von zentraler Bedeutung, ebenso wie die von Handwerkern, Installateuren, Energieberatern, Schornsteinfegern und Pelletkesselherstellern als Vermittler des Prozesses sowie von Vertretern der Politik als Unterstützer des Übergangs. Neben möglichen Lösungen für hochpriorisierte Hemmnisse soll ein IT-gestütztes Werkzeug entwickelt werden, das Interessierte bei der Entscheidung für ein neues Heizsystem mit personalisierten Lösungsvorschlägen unterstützt.

KONKRETE AKTIVITÄTEN MAßNAHMEN

Während des ersten Projektjahrs hatten wir die Möglichkeit, Informationen über die wichtigsten Herausforderungen im Zusammenhang mit dem Heizungsaustauschprozess und mögliche Lösungen zu erforschen. Dies wurde durch eine umfangreiche Literaturrecherche und Interviews mit Schlüsselakteuren wie Nutzer (auf eine Haus Messe), Energieberatern, Handwerkern, Installateuren, Schornsteinfegern und Gesprächen im politischen Umfeld ermöglicht. Eine endgültige Liste der Hemmnisse wurde bereits im Jahr 2020 in neun Kategorien unterteilt und von externen und internen Experten nach Prioritäten geordnet (Abbildung 1). Im gleichen Jahr wurden in Telefoninterviews mit vier Heizungsinstallateuren, der Handwerkskammer, dem Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik, sieben Energieberatern und drei Schornsteinfegern weitere Erkenntnisse gewonnen, da diese durch ihre Nähe zu Hauseigentümern zusätzliche Einblicke in Entscheidungsprozesse erhalten. [4] Die Analyse der Hemmnisse und potenziellen Lösungen wurde durch

die Perspektive der Hausbesitzer ergänzt, und zwar über eine Online-Umfrage unter Hausbesitzern (August bis Oktober) und einen Online-Workshop (5. Oktober 2021), um ihre Erfahrungen mit dem Austausch der Heizungsanlage zu ermitteln. Die Informationskanäle, die sie für vertrauenswürdig halten, die schwierigsten Schritte während des Heizungsaustauschs und ihr Feedback zu den potenziellen Vorteilen eines digitalen IT-Tools. Die Präsentation der Endergebnisse mit den Pelletkesselherstellern und deren Feedback für die weiteren Projektschritte sind zwischen November und Dezember 2021 geplant.

Das Poster konzentriert sich auf die Zusammenfassung der Ergebnisse der Beteiligungsprozesse mit Hausbesitzern (Umfrage und Workshop) im Rahmen früherer Projektergebnisse, die bereits Erfahrungen mit dem Ersatz einer Öl- oder Gasheizung durch ein System für erneuerbare Energien gemacht haben oder sich noch im Entscheidungsprozess befinden. Die Unabhängigkeit/Glaubwürdigkeit von Beratung und zuverlässigen Informationen wurde als ein wichtiger Aspekt für den Entscheidungsprozess in den Haushalten festgestellt. Der Einfluss von Intermediären (Handwerkern, Installateuren, Beratern) und deren eigene Präferenzen in Bezug auf bestimmte Heizsysteme wurde als Schlüsselfaktor für die Wahl oder Ablehnung von Heizsystemen auf Basis erneuerbarer Energien bestätigt. Diese Präferenzen der Intermediäre könnten durch ihr spezifisches technologisches Fachwissen und ihr bereits etabliertes Netzwerk (mit Herstellern und unterstützenden Dienstleistungen) beeinflusst sein. Wie bereits festgestellt, beschäftigen sich die Hausbesitzer mit den zur Verfügung stehenden Fördermöglichkeiten sowie den direkten und damit verbundenen Kosten einer neuen Heizungsanlage (Erstinvestition, Betrieb und Brennstoff). In Anbetracht der Corona-Pandemie ist es für sie fraglich, ob die Fördermöglichkeiten wie ursprünglich vorgesehen erhalten bleiben oder die Bedingungen verändert werden. Im speziellen Fall der Biomasseheizung beziehen sich die Bedenken umweltbewusster Hausbesitzer auf die nachhaltige Nutzung der Holzressourcen, einschließlich der nationalen und EU-Lieferketten (Importe), die Ökobilanz der Pelletproduktion und die Nachhaltigkeit der Substitution von Öl-/Gasheizungen durch Biomasseheizungen in größerem Umfang sowie das potenzielle Risiko der Ressourcenschöpfung. Abschließend werden die wichtigsten Umfrageergebnisse im Zusammenhang mit den aktuellen Lösungsvorschlägen für die festgestellten Hemmnisse vorgestellt.



Abbildung 1: Darstellung wichtiger und sehr wichtiger Hemmnisse für Hauseigentümer*innen und Handwerk beim Ersatz von Ölheizungen durch Biomassefeuerungen, geclustert in acht Hemmnisgruppen.



03KB156 OBEN
Öl-Ersatz Biomasse Heizung

Laura García Laverde*,
Dr. Torsten Schmidt-Baum,
Dr.-Ing. Nora Szarka, Dr.-Ing. Volker Lenz
laura.garcia@dbfz.de

DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum
gemeinnützige GmbH,
Torgauer Straße 116
04347 Leipzig, Deutschland

[1] Umweltbundesamt. Energieverbrauch nach Energieträgern und Sektoren; (2021). Available from: URL: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/energie/energieverbrauch-nach-energietraegern-sektoren#entwicklung-des-endenergieverbrauchs-nach-sektoren-und-energietraegern>

[2] Deutsches Pelletinstitut GmbH (DEPI): Zubau von Pelletfeuerungen in Deutschland 2012 - 2020, inkl. Prognose 2021 (24.02.2021). Available from: URL: <https://depi.de/p/Zubau-von-Pelletfeuerungen-in-Deutschland-ifiKxdyAokNQ-Cyv84fq2qW>

[3] Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft e. V. (BDEW): »Wie heizt Deutschland?«. (2019) Studie zum Heizungsmarkt September 2019.

[4] Schmidt-Baum,T; García Laverde, L; Pomsel, P; Szarka,N; Lenz, V (2021): »Handwerkerschafts-Dilemma« beim Umstieg auf Biomasseheizanlagen.

LITERATUR

Viktoria Scheff, Ilze Dzene, Michael Wachendorf, David Laner

POSTER **Ressourcenpotenziale biogener Rest- und Abfallstoffe für die thermische Verwertung in Deutschland: Mengen, Energiegehalt, Klassifikation, Kaskadennutzung und Klimaschutzpotenzial**

Keywords:
**Ressourcenpotenziale,
Materialflussanalyse,
Klassifikation, Bioreststoffe**

Die Verwendung von Biomasse zur Energieerzeugung stellt unter den richtigen Rahmenbedingungen eine nachhaltige Alternative zu fossilen Energieträgern dar. Biogene Rest- und Abfallstoffe, die am Ende einer Kaskade anfallen und stofflich nicht sinnvoll genutzt werden können, stehen im Sinne der angestrebten Bioökonomie in keiner Nutzungskonkurrenz zu anderen Anwendungen (Thrän 2020). Sie können vor dem Hintergrund der Kaskadennutzung und der Optimierung von Wertschöpfungsketten in Verbrennungsanlagen nachhaltig zur Produktion von Wärme und Strom genutzt werden. Um den möglichen Beitrag biogener Rest- und Abfallstoffe zum Energiesystem in Deutschland abschätzen zu können, ist es notwendig vorhandene Ressourcenpotenziale vor dem Hintergrund variierender Randbedingungen zu bewerten und darzustellen.

Biogene Rest- und Abfallstoffe entstehen in vielen Bereichen und Wirtschaftszweigen. Eine zentrale Erfassung der anfallenden Mengen, wie es in der Kreislaufwirtschaft nach dem KrWG vorgesehen ist, existiert hierbei nicht. Zu den Mengenpotenzialen wurden daher bereits zahlreiche Studien veröffentlicht, die entweder einzelne Bereiche betrachten (bsplw. Gaida 2013) oder eine übergreifende Betrachtung vornehmen (Brosowski 2019). Die vom DBFZ veröffentlichte Ressourcendatenbank hat sich in der Potenzialermittlung zu einer zentralen Datensammlung etabliert und beinhaltet die Mengenpotenziale von insgesamt 77 Einzelbiomassen aus fünf Sektoren (DBFZ 2021). Unklare Datenlagen aufgrund der fehlenden Erfassungspflicht und kaskadische Nutzungen gestalten eine einheitliche und vollständige Darstellung der Potenziale an biogenen Rest- und Abfallstoffen allerdings schwierig. Für eine konsistente Bilanzierung bedarf es daher spezifischer Materialflussanalysen für biogene Rest- und Abfallstoffe, die dazu dienen Datenlücken und -unsicherheiten aufzuzeigen und dabei die kaskadische Nutzung der Materialien berücksichtigen. Darüber hinaus kann der Einfluss von Umlenkungen einzelner Stoffflüsse auf das Gesamtsystem unmittelbar dargestellt und bewertet werden. In diesem Beitrag werden daher auf Basis vorhandener Datenquellen die Material- und Energieflüsse biogener Rest- und Abfallstoffe aus den fünf Sektoren mittels Materialflussanalysen für das Gesamtsystem dargestellt. Unter Berücksichtigung verschiedener Randbedingungen werden daraus unterschiedliche Ressourcenpotenziale in Bezug auf die thermische Verwertung abgeleitet. Das Ziel ist dadurch den möglichen Beitrag biogener Rest- und Abfallstoffe zum deutschen Energiesystem und zum Klimaschutz durch ihre jeweilige Verfügbarkeit für die thermische Verwertung zu bewerten. Diese Arbeit steht in Zusammenhang mit dem vom BMWi geförderten Projekt „BioRestBrennstoff“, das durch die Entwicklung von Aufbereitungsverfahren eine effiziente thermische Verwertung für zwei ausgewählte biogene Rest- und Abfallstoffe ermöglichen soll.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Die Ermittlung der Mengen- und Energieflüsse sowie der kaskadischen Aufbereitungsprozesse biogener Rest- und Abfallstoffe im Gesamtsystem ist ein Schwerpunkt dieses Beitrags. Auf Basis der zusammengetragenen Daten werden weiterhin Kriterien und Randbedingungen formuliert, um die Stoffströme in Bezug auf eine thermische Verwertung klassifizieren zu können.

Konkrete Aktivitäten / Maßnahmen

Mittels Materialflussanalysen nach (Brunner 2004) werden auf Basis veröffentlichter Daten die Materialflüsse biogener Rest- und Abfallstoffe und ihrer kaskadischen Aufbereitung im Gesamtsystem dargestellt. Unter Verwendung der Software STAN werden die Stoffflüsse veranschaulicht. Auf Basis der erhobenen Datengrundlage werden anschließend Kriterien und Randbedingungen aus ökologischer, ökonomischer und werkstofflicher Sicht formuliert, die eine Klassifikation nach UNFC-United Nations Framework Classification for Resources to Anthropogenic Resources (UNECE 2018) erlauben.

Durch die Materialflussmodelle werden alle Stoffströme biogener Rest- und Abfallstoffe im Gesamtsystem dargestellt. Die zusätzliche Darstellung von Aufbereitungs- und Verwertungsprozessen bezieht die Kaskadennutzung mit ein. Darüber hinaus werden Datenlücken ersichtlich und Unsicherheiten können quantitativ miteinbezogen werden. Darauf aufbauend werden Diagramme erstellt, die verschiedene Ressourcenpotenziale biogener Rest- und Abfallstoffe für die thermische Verwertung darstellen. Daraus lassen sich unmittelbar spezifische Stoffströme identifizieren, die unter den vorher definierten Randbedingungen für eine thermische Verwertung geeignet sind. Aus den ermittelten Mengen kann weiterführend der Beitrag zum deutschen Energiesystem sowie das Klimaschutzpotenzial abgeschätzt werden, wodurch insgesamt der Beitrag biogener Rest- und Abfallstoffe mittels thermischer Verwertung erfasst wird.

ERGEBNISSE

- [1] THRÄN, D.; MOESENFECHTEL, U. (HRSG.) (2020): Das System Bioökonomie. Springer Spektrum. 395p.
[2] GAIDA, B.; SCHÜTTMANN, I.; ZORN, H.; MAHRO, B. (2013): Bestandsaufnahme zum biogenen Reststoffpotential der deutschen Lebensmittel- und Biotechnik-Industrie. Schlussbericht zum Forschungsvorhaben. 149p.
[3] BROSOVSKI, A.; THRÄN, D. (2019): Schlussbericht zum Vorhaben. Thema: Arbeitsgruppe Biomassereststoffmonitoring (AG BioRestMon). 47p.
[4] DBFZ (2021): Ressourcendatenbank. Biomassepotenziale, aktuelle Nutzung und Relevanz in einem Zielmarkt. URL: <https://webapp.dbfz.de/resource-database/?lang=de> (Stand 27.06.2021)
[5] BRUNNER, P.H.; RECHBERGER, H. (2004): Material Flow Analysis. Lewis publishers. 233p.
[6] UNECE (2018): Specifications for the application of the United Nations Framework Classification for Resources to Anthropogenic Resources. United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). Geneva.

LITERATUR

Viktoria Scheff*, Prof. Dr. David Laner',
Dr. Ilze Dzene², Prof. Dr. Michael Wachendorf²

scheff@uni-kassel.de; david.laner@uni-kassel.de
ilze.dzene@uni-kassel.de; mwach@uni-kassel.de

¹ Universität Kassel, Fachbereich Bauingenieur- und
Umweltingenieurwesen

Ressourcenmanagement und Abfalltechnik
Mönchebergstraße 7, 34125 Kassel

² Universität Kassel, Ökologische Agrarwissenschaften
Grünlandwissenschaft und Nachwachsende Rohstoffe
Steinstr. 19, 37213 Witzenhausen



POSTER

Patrick Beuel, Christiane Rieker, Stéphan Barbe, Oliver Hensel, Jamile Bursche

Synergetische Effekte durch Mischung von Weizenstroh mit Apfelsaftnebenprodukten und Grüngutkompost in Biokonversionsprozessen

Keywords:
Erneuerbare Energie, Biogasanlage, Schlaufenreaktor, Getreidestroh, Nährstoffzirkulation, Verwertung biogener Reststoffe

Biogene Reststoffe, z.B. Weizenstroh oder Apfelsaftnebenprodukte, stehen in keiner Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion und sind daher besonders für Biokonversionsprozesse geeignet. Die Erzeugung von Biogas aus Weizenstroh erfordert aufgrund des hohen Gehalts an Lignocellulose den Einsatz von Vorbehandlungsmethoden, um der eingeschränkten biologischen Abbaubarkeit entgegen zu wirken [Sindhu et. al. 2015].

Die Nutzung des Abfallprodukts Apfeltrester wurde in den letzten Jahren intensiv erforscht und findet derzeit in verschiedenen Industriezweigen Verwendung. Apfeltrester wird u.a. als Substrat für mikrobielles Wachstum genutzt, beispielsweise wurden zu verschiedenen Zwecken Bakterien, Hefen und Pilze auf Apfeltrester gezüchtet [Vukušić et. al. 2021].

Voruntersuchungen haben gezeigt, dass die Zugabe von Grünschnittkompost das Wachstum von lignocelluloseabbauenden anaeroben Mikroorganismen unter thermophilen Bedingungen sicherstellt. Infolge der freigesetzten Zuckerverbindungen wurde der Hydrolyseprozess der anaeroben Vergärung verbessert. Es wurde nachgewiesen, dass eine Vorbehandlung mit Kompost die Ausnutzung der lignocellulosehaltigen Biomasse Weizenstroh steigern kann [Beuel et. al. 2020].

Ziel dieses Projekts ist die optimierte Bereitstellung von Biogas aus Weizenstroh auf Basis einer Koppelnutzung. Dabei werden Nebenprodukte aus dem Produktionsstrom der Apfelsaftherstellung (Apfeltrester sowie Melasse) mit Grüngutkompost zur biologischen Vorbehandlung des Weizenstrohs kombiniert und verglichen.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Die vorgestellten Ergebnisse stammen aus dem laufenden Forschungsprojekt :metabolon. Im Teilprojekt Lignobiol werden u.a. anaerobe thermo-biologische Vorbehandlungsmethoden für den optimierten Einsatz von Weizenstroh in der Bioenergieproduktion untersucht und verglichen.

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Die Nebenprodukte bzw. Koppelprodukte der Apfelsaftherstellung werden als weiteres Additiv zur Substratvorbehandlung von Weizenstroh eingesetzt. Darüber hinaus werden diese zur Einstellung des Trockensubstanzgehalts des Weizenstrohs eingesetzt. Um die Wirksamkeit des Substrataufschlusses nach einer Inkubationszeit von 14 Tagen unter thermophilen Bedingungen zu beurteilen, werden die jeweiligen Substratzusammensetzungen zur Bestimmung der Lignocelluloseanteile mittels HPLC analysiert. Es folgt eine Bewertung der biologischen Umwandlungsprozesse unter Berücksichtigung der Abbaubarkeit der Substratgemische. Das Biomethan Potential (BMP) nach einer anaeroben Feststoffvergärung dient zur Evaluierung der synergetischen Effekte der vorbehandelten Proben. Abschließend erfolgt eine Massen- und Energiebilanz, um die Durchführbarkeit der vorgestellten Ansätze zu bewerten.

BISHERIGE ERGEBNISSE

Ein Vergleich der gesamten löslichen Bestandteile der Zucker und organischen Fettsäuren vor und nach der anaeroben thermophilen Inkubationszeit von 14 Tagen der jeweiligen Mischungen ohne Kompost deuten an, dass hinsichtlich der zusammengefassten Extraktivstoffe keine nennenswerten Umwandlungsprozesse in den mit Apfelsaftnebenprodukten versehenen Proben stattgefunden haben (vgl. Abb. 1). Durch die Vermischung mit den Apfelsaftnebenprodukten erhöhen sich entsprechend die Anteile der Zucker und organischen Fettsäuren (Apfeltrester: Fructose, Glucose und Essigsäure; Melasse: Glucose, Xylose, Milchsäure, Propionsäure, Essigsäure und Buttersäure; Stroh-Wasser Mischung: Glucose und Essigsäure).

Die mit Kompost und Apfelsaftnebenprodukten gemischten Strohproben deuten darauf hin, dass fermentative Prozesse während der thermophilen Vorbehandlung begünstigt werden. Hervorzuheben ist, dass die Zugabe von Kompost den Säuregehalt ansteigen und folglich den pH-Wert in den Proben absinken lässt (vgl. Abb. 2).

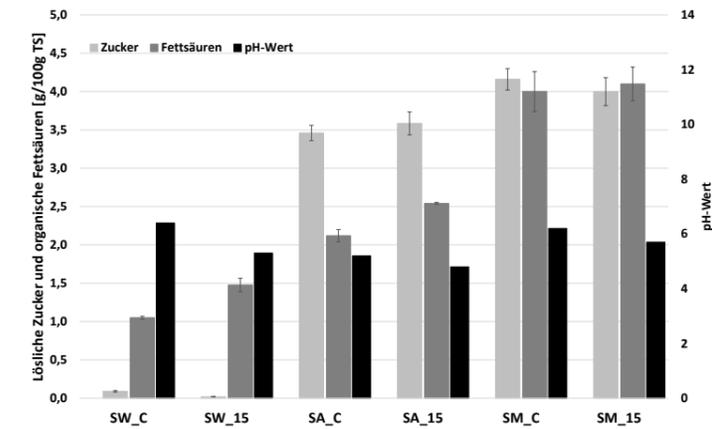


Abbildung 1:

Zusammengefasste lösliche Extraktivstoffe der untersuchten Proben – ohne Kompost.
SW, Stroh mit Wasser; SA, Stroh mit Apfeltrester; SM, Stroh mit Melasse; C, Kontrollprobe; 15, anaerob inkubiert bei 55° C für 14 Tage.

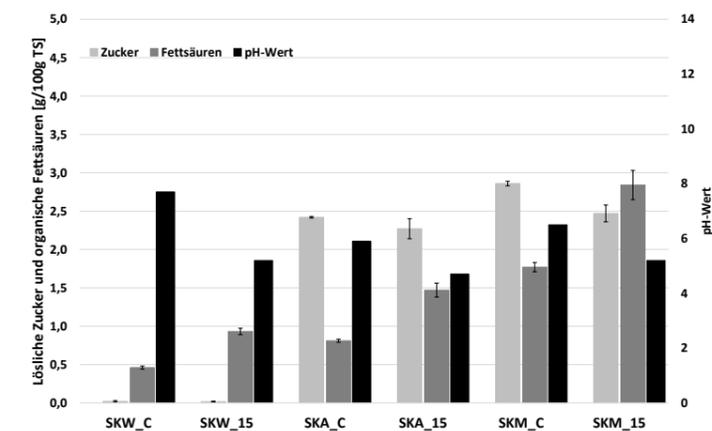


Abbildung 2:

Zusammengefasste lösliche Extraktivstoffe der untersuchten Proben – mit Kompost.
SKW, Stroh mit Wasser und Kompost; SKA, Stroh mit Apfeltrester und Kompost; SKM, Stroh mit Melasse und Kompost; C, Kontrollprobe; 15, anaerob inkubiert bei 55° C für 14 Tage.

Die Zuckerfraktionen scheinen hingegen während der thermophilen Vorbehandlung in Fettsäuren umgewandelt zu werden. Hinzu kommt, dass im Vergleich mit den Kontrollproben andere säurehaltige Extraktivstoffe mittels HPLC, wie zum Beispiel Ameisen- und Capronsäure, festzustellen sind. Rückschlüsse auf synergetische Effekte im Verlauf der Biomethanisierung werden zum Abschluss der anaeroben Feststoffvergärung im Rahmen eines Batchverfahrens erwartet.

- [1] Sindhu, R.; Binod, P.; Pandey, A. (2015): Biological pretreatment of lignocellulosic biomass – An overview. *Bioresour. Technol.* 199, pp. 76-82. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.08.030>
- [2] Vukušić, J.L., Millenautzki, T., Cieplik, R.; Obst, V.; Saaid, A.M.; Clavijo, L.; Zlatanovic, S.; hof, J.; Mösche, M.; Barbe, S. (2021): Reshaping Apple Juice Production Into a Zero Discharge Biorefinery Process. *Waste Biomass Valor* 12, pp. 3617–3627. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01245-5>
- [3] Beuel, P.; Rieker, C.; Bursche, J. (2020): Biogenic Catalysis by Adding Compost when Using Wheat Straw in a Biorefinery Concept. *Chem. Eng. Technol.* 43 (8), pp. 1485–1492. <https://doi.org/10.1002/ceat.202000029>

LITERATUR

Patrick Beuel^{1*}, Dr. Christiane Rieker¹,
Dr. Stéphan Barbe², Dr. Oliver Hensel¹,
Dr. Jamile Bursche¹
patrick.beuel@th-koeln.de

² Technische Hochschule Köln, Campus Leverkusen
Fakultät für Angewandte Naturwissenschaften,
CHEMPARK Leverkusen – E28
Kaiser-Wilhelm-Allee, 51368 Leverkusen

¹ Technische Hochschule Köln, Campus Deutz
Fakultät für Anlagen, Energie- und Maschinensysteme
Betzdorferstr. 2, 50679 Köln

³ Universität Kassel, Fachgebiet Agrartechnik
Nordbahnhofstraße 1a, 37213 Witzenhausen



Sludge2P

Moritz Gebser, Lars Gronen, Uwe Siemann, Hans-Peter König, Wolfgang Krumm

POSTER

Energieautarke Rückgewinnung von Phosphaten durch ganzheitliche Klärschlammverwertung mit integrierter Wasserstoffgewinnung

Keywords:

Energieautark, Klärschlammaschen, Schmelzflüssige Behandlung, thermo-chemische Verwertung, PRecycling

Phosphor ist ein essenzieller Pflanzennährstoff und daher ein wichtiger Bestandteil in Düngemitteln. Der Großteil des in Deutschland benötigten Phosphors wird derzeit weltweit in Lagerstätten abgebaut. Bedingt durch die Novellierung der Abfallklärschlammverordnung (AbfKlärV) und die zugehörige Verordnung zur Neuordnung sind Kläranlagenbetreiber dazu verpflichtet, den im Abwasser enthaltenen Phosphor spätestens ab 2029 zurückzugewinnen. Hierfür wird keine Technologie vorgeschrieben, jedoch müssen die Anlagenbetreiber in einem Bericht bis 2023 darstellen, wie der Phosphor zurückgewonnen werden soll.

Im vorgestellten Projekt Sludge2P soll dies durch die Kombination eines thermo-chemischen Verfahrens zur Verwertung von Klärschlamm mit der anschließenden schmelztechnischen Behandlung der erzeugten Verbrennungssasche erfolgen. Es wird ein Phosphor-Rezyklat mit hoher Pflanzenverfügbarkeit bei gleichzeitiger Energieautarkie und Wasserstoffherzeugung hergestellt.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Brennstoff-Design auf der Basis von Rest- und Abfallstoffen, Verbrennung und Vergasung von Festbrennstoffen, metallurgische Prozesse zur Erzeugung von Phosphordünger mit hoher Phosphatverfügbarkeit

KONKRETE AKTIVITÄTEN

Zur Erreichung der Projektziele wurden drei Meilensteine definiert:

- erfolgreiche Anpassungen der Versuchsanlage an die Anforderungen zur Verwertung von Klärschlamm
- Erzeugung eines P-Düngemittel mit hoher Wirksamkeit
- Energieautarker Betrieb des gesamten Verfahrens

Die thermo-chemische Verwertung des Klärschlammes und der biogenen Rest- und Abfallstoffe, die auf dem Betriebsgelände der Entsorgungsbetriebe Siegen (ESi) anfallen, erfolgt mit dem am Lehrstuhl für Energie- und Umweltverfahrenstechnik der Universität Siegen (LEUVT) entwickelten IPV-Verfahren (Integrierte Pyrolyse und Verbrennung). Die Komponenten der Anlage, die Anlagenperipherie und Messeinrichtungen werden gemäß den Anforderungen, die die thermo-chemische Verwertung von Klärschlamm und biogenen Rest- und Abfallstoffen stellt, modifiziert. Nach erfolgreicher Anpassung wird die Anlage getestet, bevor Versuchskampagnen mit optimierten Brennstoffmischungen durchgeführt werden. Die Brennstoffmischungen bestehen aus den drei Hauptabfallstoffströmen der ESi: Klärschlamm, Rechengut und Fette. Laboruntersuchungen im Technikum des LEUVT dienen vorab der Charakterisierung der Mono- und Misch-Brennstoffe sowie der Eingrenzung auf einige wenige Brennstoffe/Brennstoffmischungen für die Versuchskampagnen. Während der thermo-chemischen Behandlung entsteht ein H₂-reiches und brennbares Produktgas aus der Pyrolyse/Vergasung, heißes Rauchgas aus der Verbrennung und Asche.

Der Phosphor des eingesetzten Brennstoffes konzentriert sich bei diesem Prozess in der Asche, ist jedoch mineralogisch so gebunden, dass dieser nur bedingt pflanzenverfügbar ist. Die Transformation dieser Phosphathasen in besser verfügbare Spezies erfolgt im Projekt Sludge2P durch Behandlung der Klärschlammaschen bei bis zu 1.600 °C in pyrometallurgischen Prozessen, die mit den im IPV-Verfahren erzeugten Energiemengen betrieben werden. Durch Zugabe von z.B. Kalkträgern kann die Pflanzenverfügbarkeit des Phosphors in Laborversuchen auf nahezu 100 % gesteigert werden, indem sich beim Abkühlen besser lösliche Ca-P-Phasen bilden. Neben Branntkalk (CaO) werden ferner alternative Kalkträger untersucht wie z.B. Ca-reiche, fein zerfallende Schlacken aus der Sekundärmetallurgie.

Der weitestgehend energieautarke Charakter des in Sludge2P entwickelten Verfahrens soll es möglich machen, biogene Reststoffe auf Kläranlagen mittlerer Größe so zu behandeln, dass eine maximale Verwertung von Phosphor und Energie vor Ort gewährleistet wird. Dadurch entfallen z.B. Transportwege zu

dezentralen Verbrennungsanlagen und die zum Transport notwendige und sehr energieintensive Trocknung der anfallenden biogenen Reststoffe. Daher führt das vorgestellte Verfahren zur energieautarken P-Rückgewinnung zur Schonung der natürlichen P-Reserven und trägt damit zur unabhängigeren Versorgung Deutschlands mit diesem wichtigen Pflanzennährstoff bei.

- Vorstellung des Gesamtprozesses, bestehend aus IPV-Anlage und anschließender Düngemittelherstellung
- Eigenschaften der Mono- und Misch-Brennstoffe und deren Eignung für die IPV-Anlage
- Schmelzflüssige Behandlung mit Ca-Trägern im Ofen erzeugt beinahe vollständige P-Verfügbarkeiten

ERGEBNISSE

[1] AbfKlärV, Klärschlammverordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465), die zuletzt durch Artikel 6 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) geändert worden ist.

[2] Verordnung zur Neuordnung der Klärschlammverordnung vom 27. September 2017, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 65, ausgegeben zu Bonn am 2. Oktober 2017

LITERATUR**03E15411 S2P**

Energieautarke Rückgewinnung von Phosphaten durch ganzheitliche Klärschlammverwertung mit integrierter Wasserstoffgewinnung

Moritz Gebser¹, Dr. Lars Gronen², Uwe Siemann³, Dr. Hans-Peter König², Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Krumm¹
moritz.gebser@uni-siegen.de

¹ Universität Siegen, Department Maschinenbau, Energietechnik, Lehrstuhl für Energie- und Umweltverfahrenstechnik
Paul-Bonatz-Str. 9 – 11, 57076 Siegen

² FEHS-Institut für Baustoff-Forschung e.V.
Bliersheimerstraße 62, 47229 Duisburg

³ ESi - Entsorgungsbetrieb der Stadt Siegen
Goldammerweg 30, 57080 Siegen

POSTER

Norbert Grösch, Stefanie Wageneder, Christiane Herrmann, Jasmin Gleich, Cosima Aeschbach, Katharina Bär, Ulrich Kilburg, Robert Wagner, Wilfried Zörner

LaRA – Lösungsansätze zur technischen Anpassung bestehender Biogasanlagen für die Nutzung faseriger Reststoffe

Keywords:
Flexibilisierung,
bedarforientierte
Beschickung,
Biogasproduktion

Mit der Einführung des Erneuerbare-Energien-Gesetzes (EEG) im Jahr 2000 erhielten deutsche Biogasanlagen ab Inbetriebnahme der Anlage über 20 Jahre einen festen Vergütungssatz für die Stromerzeugung [1]. Mit der EEG-Überarbeitung im Jahr 2017 wurde die Option zur Verlängerung des Vergütungsanspruchs für Bestandsanlagen um weitere 10 Jahre eingeführt. Dieser Vergütungsanspruch fällt im Vergleich geringer aus und wird durch die Teilnahme an einem Ausschreibungsverfahren vergeben. Darüber hinaus ist der Einsatz von Mais und Getreidekorn für den zukünftigen Betrieb begrenzt und bestehende Förderprämien sowie die Vergütungsboni wurden abgeschafft [2].

Zukunftsorientierte Anlagenkonzepte ermöglichen die Transformation der Biogasproduktion von der geförderten Grundlastnetzeinspeisung und dem energiepflanzenorientierten Betrieb hin zu einer bedarfsgerechten Stromerzeugung auf Basis von landwirtschaftlichen Reststoffen als Inputmaterial [3].

Der teilweise oder vollständige Ersatz von Energiepflanzen als Einsatzstoffe durch kostengünstige landwirtschaftliche Reststoffe zur Vergärung scheint für die Betriebskostensenkung vielversprechend. Laut einer Metastudie aus dem Jahr 2015 bieten ungenutztes Stroh (141 PJ), tierische Exkremente wie Gülle und Mist (70 PJ) sowie Landschaftspflegematerial (15 PJ) ein gutes Potenzial für die Biogaserzeugung in Deutschland [4]. Die Komplexität der anaeroben Vergärung der lignozellulosehaltigen Materialien und das Risiko von Investitionen in neue Technologien stellen dabei für die Verwertung der Reststoffe in landwirtschaftlichen Biogasanlagen zwei wesentliche Hemmnisse für Betreiber dar [5].

Das Ziel der hier vorgestellten Fallstudie ist es, an 15 Biogasanlagen innovative Ansätze zu entwickeln, um optimale Bedingungen für die Verwertung von faserhaltigen landwirtschaftlichen Reststoffen in Bestandsbiogasanlagen zu schaffen. Dabei werden die Effekte der anaeroben Vergärung und deren technische Einflüsse untersucht, um zukunftsorientierte Anlagenkonzepte unter Berücksichtigung von anlagen- und prozesstechnischen sowie sozioökonomischen Aspekten zu identifizieren und zu bewerten.

METHODIK

Im ersten Schritt wurden landwirtschaftliche Reststoffe mit vielversprechendem Biogaspotenzial auf Grundlage einer eingehenden Literaturrecherche und Metastudienanalyse ausgewählt. Dabei wurden die drei landwirtschaftlichen Rest- und Abfallstoffe Stroh, Landschaftspflegerückstände und Festmist kategorisch festgelegt.

Die nachfolgende Grafik beschreibt den Ablauf und Umfang der Projektuntersuchungen.

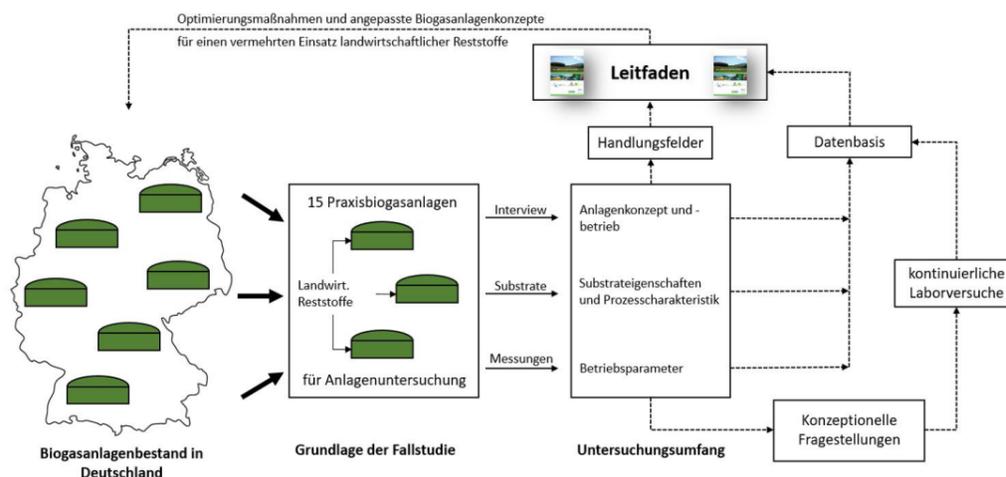


Abbildung 1:
Ablauf der LaRA-Projektuntersuchungen (© Grösch, Technische Hochschule Ingolstadt)

Auf der Basis einer Markt- und Bestandsanalyse wurde im Anschluss eine repräsentative Auswahl von je 5 Betriebsbiogasanlagen für jede Reststoffkategorie vorgenommen.

Mit Fokus auf offene Forschungsfragen wurden im dritten Schritt an den Praxisanlagen umfassende anlagen- und prozesstechnische sowie sozioökonomische Datenerhebungen durchgeführt. Diese dienen der Identifizierung von Möglichkeiten zur effizienten Verwertung faseriger landwirtschaftlicher Reststoffe. Die Erstellung einer fundierten Datenbasis umfasst dabei Substrat- und Fermentationsprozessanalysen, technologische und anlagenprozessbezogene Messungen an den Anlagen sowie Interviews mit den Anlagenbetreibern.

Darauf aufbauend werden im vierten Schritt Optimierungsmaßnahmen abgeleitet, adaptierte Konzepte für die untersuchten Biogasanlagen erarbeitet und Handlungsfelder definiert. Eine Nutzwertanalyse bewertet die definierten Anpassungsmaßnahmen hinsichtlich Wirtschaftlichkeit und Marktfähigkeit. Auf dieser Grundlage werden im Anschluss geeignete Konzepte erstellt.

Im letzten Projektschritt werden die Handlungsempfehlungen und die Beschreibung der erarbeiteten Anlagenkonzepte und -adaptionen in einem Leitfaden gebündelt.

- Darstellung der Kriterienmatrix für die repräsentative Anlagenauswahl von 15 Praxisbiogasanlagen
- Beschreibung der ausgewählten Betriebsbiogasanlagenkonzepte und Besonderheiten, wie bspw. Voraufschluss
- Erläuterung der verwendeten Messmethodik zur Schaffung einer fundierten Datenbasis
- Erste Ergebnisse der Projektuntersuchungen hinsichtlich:
 - Substratabbaufähigkeit und Restgasbildungspotenziale der untersuchten Anlagenkonzepte
 - Energieverbräuche des Gärbehälter (Strom und Wärmebedarf)
 - Rheologische Einflüsse und technischer Rühraufwand
 - Wirtschaftlichkeit des Anlagenbetriebs der vorgestellten Betriebskonzepte
 - Akzeptanz der Anwohner, Gemeinden und Naturschutzverbände

ERGEBNIS DARSTELLUNG

[1] EEG (2000): Gesetz für den Vorrang Erneuerbarer Energien (Erneuerbare-Energien-Gesetz – EEG) sowie zur Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes und des Mineralölsteuergesetzes. In: Bundesgesetzblatt Jahrgang 2000 Teil I Nr. 13, Bonn.

[2] EEG (2021): Erneuerbare-Energien-Gesetz vom 21. Juli 2014 (BGBl. I S. 1066), das zuletzt durch Artikel 1 des Gesetzes vom 21. Dezember 2020 (BGBl. I S. 3138) geändert worden ist.

[3] THEUERL, S.; HERRMANN, C.; HEIERMANN, M.; GRUNDMANN, P.; LANDWEHR, N.; KREIDENWEIS, U.; PROCHNOW, A. (2019): The Future Agricultural Biogas Plant in Germany: A Vision. In: Energies, Vol. 32.

[4] BOROWSKI, A.; ADLER, P.; ERDMANN, G.; STINNER, W.; THRÄN, D.; MANTAU, U.; REINHOLDT, G. (2015): Biomassepotenziale von Rest- und Abfallstoffen - Status Quo in Deutschland. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V., Gülzow-Prützen.

[5] ACHINAS, S.; ACHINAS, V.; EUVERINK, G. J. (2017): A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. In: Engineering, Vol. 3, pp. 299 - 307.

LITERATUR

Norbert Grösch¹, Stefanie Wageneder¹, Katharina Bär¹, Prof. Dr.-Ing. Wilfried Zörner¹, Christiane Herrmann², Jasmin Gleich³, Cosima Aeschbach³, Ulrich Kilburg³, Robert Wagner³

² Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam
³ C.A.R.M.E.N. e.V.
Schulgasse 18, 94315 Straubing

¹ Institut für neue Energie-Systeme,
Technische Hochschule Ingolstadt
Esplanade 10, 85049 Ingolstadt



VergaFlex

Annett Pollex, Claudia Kirsten, Thomas Zeng, Roman Adam

POSTER

Agglomerierung von Vergaserkoks für die weitere stoffliche und energetische Nutzung

Keywords:
**Vergaserkoks, Pellet,
 Granulat, Bindemittel**

Für die kohlenstoffreichen Nebenprodukte der Vergasung, die sogenannten Vergaserkoke, existieren eine Vielzahl potentieller Einsatzfelder, z.B. als Additiv in der Baustoffindustrie, für die Abwasserreinigung und für die Bodenverbesserung. Auch als Brennstoff für Kleinstvergaser könnte Vergaserkoks verwendet werden, da bei deren Einsatz vergleichbar zur Vergasung von Holzkohle [1, 2] ein weitgehend teerfreies Produktgas entstehen kann. Allerdings fallen Vergaserkoke typischerweise feinkörnig oder staubförmig an [3]. Für einige der stofflichen bzw. energetischen Anwendungen ist die Agglomerierung erforderlich, um ein fließfähiges und dosierbares Produkt zu erhalten sowie die Staubbelastung während des Transports und Umschlags zu reduzieren. Dies kann durch Aufbau- oder Pressagglomerierung erfolgen. Allerdings werden die inhärenten Bindemittel der Biomasse durch die thermische Behandlung während der Vergasung im Wesentlichen zerstört und entsprechend müssen für die Agglomerierung Bindemittel zusätzlich zugegeben werden. Zum Beispiel wurde für die Anwendung als Reduktionsmittel bei der Stahlherstellung Holzkohlestaub mit Pyrolyseöl pelletiert [4, 5]. Beim Einsatz als Brennstoff für Kleinstvergaser müssen jedoch möglichst aromatenarme Bindemittel verwendet werden, die potentiell nicht zu einer erhöhten Teerbildung führen. Ebenso sollten keine Bindemittel fossilen Ursprungs eingesetzt werden. Im Vorhaben wurde untersucht, unter welchen Bedingungen sich Vergaserkoks agglomerieren lässt. Im Beitrag werden die Ergebnisse dieser Untersuchungen präsentiert.



Abbildung 1:
 Granulate aus Vergaserkoks
 mit Carboxymethylcellulose
 als Bindemittel

**FORSCHUNGS
SCHWERPUNKTE**

Die dargestellten Ergebnisse dienen der Nutzbarmachung von Nebenprodukten aus der Holzvergasung zur flexiblen Strom- und Wärmebereitstellung. Damit tragen sie zu dem am DBFZ etablierten Forschungsschwerpunkt »Intelligente Biomasseheiztechnologien« bei.

**KONKRETE
MAßNAHMEN**

Um Vergaserkoks zu agglomerieren, werden verschiedene Film- und Matrix-bindemittel (u.a. Stärke, Polyvinylalkohol, Stearin) eingesetzt und Rohmaterial- sowie Pelletierungsparameter wie z.B. der Wassergehalt und die Matrizengeometrie variiert. Zielgrößen waren eine geeignete Partikelgröße der Agglomerate sowie

eine ausreichende Festigkeit, um die Staubbelastung beim Handling zu reduzieren.

- Darstellung der Herausforderungen beim Einsatz von Vergaserkoks in der Pressagglomerierung
- Einfluss der verschiedenen Bindemittel
- Erzeugbare Pelletqualitäten bzw. Granulateigenschaften

[1] Bhattacharya SC, Mizanur Rahman Siddique AHM, Pham H-L. A study on wood gasification for low-tar gas production. Energy 1999;24(4): 285–96.

[2] Brandt P, Larsen E, Henriksen U. High Tar Reduction in a Two-Stage Gasifier. Energy Fuels 2000;14(4): 816–9.

[3] Weber K, Quicker P. Properties of biochar. Fuel 2018;217: 240–61.

[4] Demus T, Reichel T, Schulten M, Echterhof T, Pfeifer H. Increasing the sustainability of steel production in the electric arc furnace by substituting fossil coal with biochar agglomerates. Ironmaking & Steelmaking 2016;43(8): 564–70.

[5] Riva L, Surup GR, Buø TV, Nielsen HK. A study of densified biochar as carbon source in the silicon and ferrosilicon production. Energy 2019;181(3): 985–96.

ERGEBNISSE**LITERATUR****03KB157 VergaFlex**

Flexibilisierung der Biomassevergasung durch Nutzung des Vergaserkokes als Biomaterial für die stoffliche Verwertung und als Brennstoff für Kleinstvergaser <5 kW_{el}

**DBFZ - Deutsches Biomasseforschungszentrum
 gemeinnützige GmbH**
 Torgauer Straße 116 116, 04347 Leipzig

Dr. Annett Pollex*, Claudia Kirsten,
 Dr. Thomas Zeng, Roman Adam
 annett.pollex@dbfz.de



FLXsynErgy

POSTER

Christian Schaum, Johannes Blattenberger, Christian Hubert, Bettina Steiniger, Omar Shehata, Jörg Kretzschmar, Thomas Steinforth, Stefan Einsiedel, Konstantinos Athanasiadis, Maria Egeler, Markus Heinrich, Arthur Dornburg

Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger

Keywords:
Faulungen und Biogasanlagen, branchenübergreifender Wissenstransfer

FORSCHUNGSSCHWERPUNKTE

Um die im Klimaschutzplan 2050 definierten Klimaschutzziele erreichen zu können, hält das Umweltbundesamt (UBA) eine vollständige Energieversorgung bis 2050 durch erneuerbare Energien für notwendig. Dafür müssen alle Energieeffizienzpotenziale erschlossen, erneuerbare Energien ausgebaut und Synergien durch Sektorkopplung genutzt werden. Im Positionspapier (UBA) „Klimaschutz und Abwasserbehandlung“ wird in diesem Zusammenhang die besondere Stellung von Kläranlagen beschrieben. Kläranlagen bieten ein hohes Potential den Energieverbrauch zu reduzieren, die Effizienz zu steigern und durch die Faulgasproduktion fossile Energieträger einzusparen. Das UBA geht davon aus, dass bei Kläranlagen noch deutliche ungenutzte Potenziale im Elektrizitätssektor von ca. 2 TWh/a bestehen. Gesamtenergetisch ist das Potenzial um ein Vielfaches höher.

Wichtiger Fokus des 7. Energieforschungsprogramms „Innovationen für die Energiewende“ ist der Technologie- und Innovationstransfer sowie die systemischen und systemübergreifenden Fragestellungen der Energiewende. In diesem Zusammenhang wurde das Forschungsprojekt FLXsynErgy initiiert (Projektlaufzeit: 01.07.2020 - 30.06.2023).

Ziel von FLXsynErgy ist die Bereitstellung und Entwicklung von Bemessungsgrößen und Steuerungsmechanismen zur Flexibilisierung der Faulgasproduktion auf Kläranlagen. Die inhaltliche Strukturierung des Projekts ist in Abbildung 1 dargestellt.

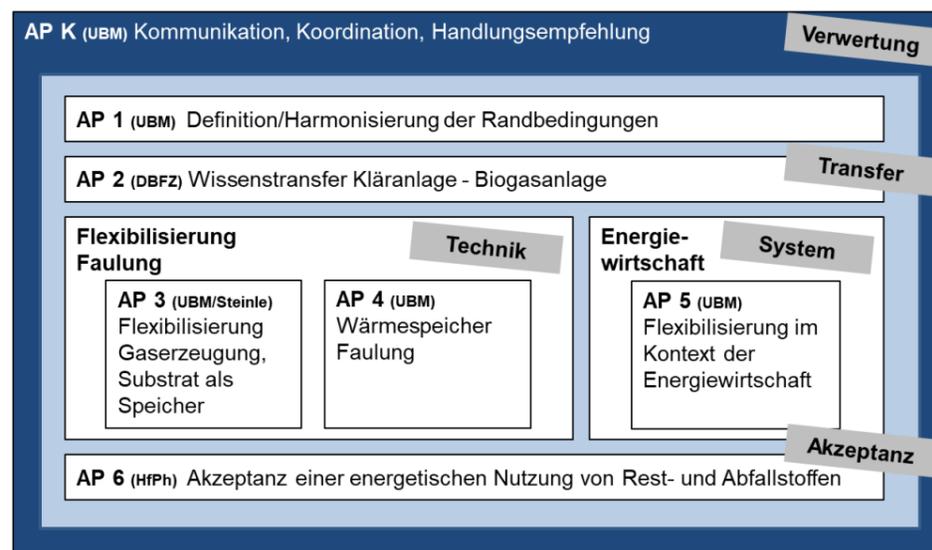


Abbildung 1:
Struktur der in FLXsynErgy geplanten Arbeitspakete

Im Fokus des Projekts steht die vollenergetische Nutzung (Strom und Wärme) von Klärschlämmen sowie biogenen Rest- und Abfallstoffen. Des Weiteren wird die Nutzung der Faulung als Wärmespeicher näher betrachtet. Somit kann die Kläranlage als Energiespeicher und flexibler Energieverbraucher sowie -erzeuger einen wichtigen Beitrag zur Energiewende leisten. Wenngleich, verfahrenstechnisch betrachtet, landwirtschaftliche/abfallwirtschaftliche Biogasanlagen und Faulungen auf Kläranlagen sehr ähnlich sind, fehlt bislang fast vollständig ein Wissenstransfer zwischen den Fachgebieten. Dieser interdisziplinäre Austausch wird ebenfalls im Projekt initiiert.

Zum Erreichen der Zielsetzungen verknüpft FLXsynErgy Betreiber und Planer von repräsentativen Kläranlagen unterschiedlicher Ausbaugröße mit der Wissenschaft unter Berücksichtigung der regulativen Rahmenbedingungen aus dem Bereich Energie und Klärschlammensorgung. Dabei verfolgt FLXsynErgy den Ansatz spätere rechtliche sowie umwelt- und sozialethische Konfliktpotentiale bereits während der technischen Entwicklungsphase zu identifizieren, um durch diesen ganzheitlichen Ansatz die Akzeptanz zu erhöhen und die Implementierung zu erleichtern.

Um eine gemeinsame Ausgangsbasis für den interdisziplinären Austausch zwischen landwirtschaftlichen/abfallwirtschaftlichen Biogasanlagen und Faulungen auf Kläranlagen zu schaffen wurde ein Vergleichsdatenblatt erstellt, in dem verfahrenstechnische, und branchenspezifische Daten, sowie rechtliche/ sicherheitstechnische Anforderungen gegenübergestellt werden. An fünf großtechnischen Anlagen wurden Energiechecks durchgeführt, auf deren Grundlage Flexibilisierungsszenarien entwickelt werden sollen. Ferner wurden an 10 Versuchsreaktoren Versuche zur Bewertung unterschiedlicher Beschickungsstrategien sowie dem Einfluss der Faulraumtemperatur im Hinblick auf Gasproduktion, Abbaugrade, Prozessstabilität und Entwässerungseigenschaften des Faulschlammes durchgeführt. Es konnte gezeigt werden, dass Stoßbelastungen von bis zu 6 kg oTR/m³ zu keiner Beeinträchtigung der Prozessstabilität führten. Allerdings ist mit steigender Stoßbelastung mit einer Abnahme der spez. Gasproduktion sowie mit einer Verschlechterung der Entwässerungseigenschaften des Klärschlammes zu rechnen. Erste Versuche bei Temperaturen zwischen 33 und 53 °C und Auswertungen von großtechnischen Betriebsdaten der assoziierten Partner zeigten vergleichbare Größenordnungen der Faulgasquantität und -qualität. Die Wärmebilanzen für verschiedene Szenarien der Faulraumtemperatur werden anhand der Daten der assoziierten Partner verifiziert. Zur Diskussion sozialethischer Fragestellungen der Flexibilisierung von Faulungsanlagen sowie dem Wissenstransfer zwischen Biogas- und Faulgasanlagen sind Workshops geplant.

AKTUELLE AKTIVITÄTEN UND ERSTE ERGEBNISSE

03E15420A-F FLXsynErgy

Flexible und vollenergetische Nutzung biogener Rest- und Abfallstoffe: Faulungen und Biogasanlagen als Energieverbraucher, -speicher und -erzeuger

² Deutsches Biomassenforschungszentrum gemeinnützige GmbH

Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig

³ Hochschule für Philosophie München

Kaulbachstraße 31a, 80539 München

⁴ Dr.-Ing. Steinle Ingenieurgesellschaft für

Abwassertechnik mbH

Ziegelstraße 2, 83629 Weyarn

⁵ Wolter Hoppenberg Rechtsanwälte

Partnerschaft mbB

Bernburger Str. 32, 10963 Berlin

⁶ bluemove consulting GmbH

Marsstraße 12, 80335 München

christian.schaum@unibw.de

¹ Universität der Bundeswehr München-Professur

für Siedlungswasserwirtschaft und Abfalltechnik

Werner-Heisenberg 39, 85577 Neubiberg



Stramento

Marcel Spahr, Oliver Larsen

POSTER

Demonstration eines innovativen Verfahrens zur effizienten Biogas- und Düngerherstellung aus Getreidestroh

Keywords:

Erneuerbare Energie, Biogasanlage, Schlaufenreaktor, Getreidestroh, Nährstoffzirkulation, Verwertung biogener Reststoffe

Die Bundesregierung hat sich im Koalitionsvertrag darauf geeinigt den Erneuerbaren-Anteil im Stromsektor auf etwa 65 % bis zum Jahr 2030 zu erhöhen. Des Weiteren bekennt sich Deutschland zu dem Pariser Klimaschutzabkommen (im Rahmen des G20 Gipfels in Hamburg) mit dem 1,5°C-Ziel, welches nur durch die Erreichung der Netto-Null-Emissionen bis zum Jahr 2050 eingehalten werden kann. Der geplante Ausstieg aus der Kohle- (und Nuklearenergie) soll zum Erreichen dieser Ziele beitragen. Dies bedeutet, dass ein mittelfristig tiefgreifender Umbau des Energiesystems in Deutschland erforderlich ist.

Vor diesem Hintergrund hat sich das Projektprojekt „Stramento“ (lat. aus Stroh gemacht) zum Ziel gesetzt, durch einen innovativen Biogasprozess eine integrierte Energie- und Nährstoffnutzung lignozellulosereicher landwirtschaftlicher Reststoffe zu erreichen und somit neben der Bereitstellung von Biogas und Gärrestsubstraten nachhaltig Treibhausgas- und Nährstoffemissionen zu reduzieren sowie Bodenfunktionen zu verbessern.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

Die Projektpartner Herbst Umwelttechnik GmbH (Abk.: HUT) und die Technische Universität Berlin (Abk.: TUB) verfolgen das Ziel, ein effizientes, wirtschaftliches und umweltverträgliches Verfahren zu entwickeln, mit dem sich lignocellulose-reiche landwirtschaftliche Reststoffe wie Getreidestroh in energetisch hochwertiges Biogas und Wärme umwandeln lassen. Das Verfahren basiert auf dem von der HUT neu entwickeltem Herbst-Schlaufenreaktor®, der sich bereits bei der Fermentation von Reisstroh in Vietnam erfolgreich bewährt hat (Projekt BioRist FKZ 01LY1508A/B). Neben der Herstellung von Elektrizität, Wärme und/oder Kälte sollen Nährstoffe und nicht vergärbare Kohlenstoff emissionsarm in hochwertigen organischen Düngemitteln zur Verfügung gestellt werden, welche in regionalen Wertschöpfungsketten zur Reduktion landwirtschaftlicher Treibhausgas- und Nährstoffemissionen beitragen und eine nachhaltige Bodenverbesserung unterstützen.

Zusätzlich sollen durch den Einsatz von wasserarmen, lignocellulosehaltigen Substraten in Kombination mit 100%iger Rückführung abgepresster, flüssiger Gärreste die anfallenden Gärrestmengen reduziert und die Transportwürdigkeit des humusbildenden Biogasanlagen-Outputs erhöht werden. Des Weiteren verfolgt die HUT nach erfolgreichem Projektabschluss die Entwicklung von Repowering-Konzepten, mit denen sich bestehende Biogasanlagen nachrüsten lassen, sodass diese auch lignocellulosereiche Biomassen vergären können.

KONKRETE AKTIVITÄTEN UND ERGEBNISSE

1. Im Zentrum des Vorhabens Stramento steht die Entwicklung, der Bau (Arbeitspaket (AP) 4) und der Betrieb einer Demonstrationsanlage im Pilotmaßstab (AP 5) nach dem Schlaufenreaktor-Prinzip. Dabei ist ein mesophiler Reaktor mit 30 m³ mit einem hypothermophilen Reaktor mit 5 m³ verschaltet. Mit der Inbetriebnahme der Pilotanlage werden Versuche gestartet, um die Betriebsführung zu optimieren.
2. Die für die Betriebsführung benötigten primären und sekundären Betriebsparameter werden mit Hilfe einer zweistufigen Laboranlage mit einem mesophilen (200 Liter) und einem hyperthermophilen (20 Liter) Reaktor vorab ermittelt (AP 3).
3. Mit Betrieb der Pilotanlage werden verschiedene Verfahren zur Gärrestveredelung, wie Kompostierung, Trocknung, und hydrothermale Karbonisierung getestet und evaluiert (AP 6) um zusätzliche Klimaschutz-, Energieeinsparungs- und Nährstoffpotenziale zu nutzen. Auch soll ein Berechnungsmodell zur Vorhersage der Gärrestzusammensetzung für das Stramento-Verfahren entwickelt werden.
4. Im Anschluss werden die Stoffströme und Emissionen des Verfahrens erfasst, um dessen Klimagaseffekte zu bilanzieren (AP 7 und 8).
5. Zusätzlich wird eine Biomasse-Potenzialanalyse für die Projektgemeinde Trebbin (Brandenburg) durchgeführt und eine Biomassen-Datenbank erstellt (AP 2)

6. Zur Schaffung von neuen Tätigkeitsfeldern und zur Stärkung ländlicher Räume sollen nachhaltige Geschäftsmodelle für die Nutzbarmachung ungenutzten Getreidestrohs entwickelt werden. Dafür werden größengestaffelte Anlagenkonzepte für Neu- und Bestandsanlagen entwickelt. Mit der Entwicklung eines flexiblen Anlagenkonzepts für eine Stramento-Biogasanlage im industriellen Maßstab (am Beispiel einer Anlage mit 500 kWel) soll perspektivisch eine Erhöhung des Bioenergieanteils am Gesamtenergiesystem, zum Ausgleich fluktuierender Solar- und Windenergie sowie zur Gewährleistung der Versorgungssicherheit realisiert werden. Teil des Anlagenkonzepts wird auch eine Logistikanalyse für den Standort Trebbin sein (AP 9).

Der Stand und die Ergebnisse aus den AP 2, 4 und 5 werden im Rahmen der 10. SK vorgestellt. Weitere Informationen zum Stramento-Verbundprojekt finden Sie auf der offiziellen Internetseite: <https://www.herbstumwelt.com/entwicklungsarbeit-forschung>

[1] Bundesministerium für Wirtschaft und Energie. (2019): Zweiter Fortschrittsbericht zur Energiewende - Die Energie der Zukunft.

LITERATUR**03EI5408 Stramento**

Demonstration eines innovativen Verfahrens zureffizienten Biogas- und Düngerherstellung aus Getreidestroh

Marcel Spahr, Oliver Larsen
marcel.spahr@herbstumwelt.de
oliver.larsen@tu-berlin.de

¹ Herbst Umwelttechnik GmbH
Goerzallee 305e, 14167 Berlin

² Technische Universität Berlin, Institut für Technischen Umweltschutz, Fachgebiet Kreislaufwirtschaft und Recyclingtechnologie
Straße des 17. Juni 135, 10623 Berlin



Manfred Kircher, Gabi Schock, Thomas Bayer

POSTER

Chemiestandort sichern – mit biogenen Rest- und Abfallstoffen

Keywords:
Kohlenstoffkreislauf,
organische Chemie,
stoffliche Verwertung,
Bioabfälle, Bioreststoffe

Künftige Rohstoffe für die Sektoren der Energie und Treibstoffe sowie Chemie

Fossile Rohstoffe werden im Wesentlichen in folgenden Wirtschaftsbereichen verbraucht: Im Energie- und Treibstoffsektor (Wärme, Strom, Treibstoff) sowie in der Chemiewirtschaft. Mit einem Verbrauchsanteil von mehr 90% dominieren der Energie- und Treibstoffsektor bei Weitem und konsequenterweise wird die Energiewende mit der Erschließung erneuerbarer Energien energisch vorangetrieben. Nicht-fossile Alternativen bieten kohlenstofffreie Energieformen wie Photovoltaik, Windenergie, Wasserkraft, Solarwärme, Geothermie und die energetische Verwertung von (kohlenstoffhaltiger) Biomasse bzw. von biogenen Reststoffen und Abfällen. Die Energiewirtschaft kann also sowohl auf kohlenstofffreie als auch auf kohlenstoffhaltige Energiequellen ausweichen.

Für die Chemieindustrie gilt das für Produkte der organischen Chemie nicht. Sie ist und bleibt auf Kohlenstoffquellen angewiesen. Biomasse sowie biogene Rest- und Abfallströme sind ein unverzichtbares Element der künftigen Rohstoffversorgung. Langfristig sollen Rezyklierung und die Verwertung von CO₂ das Rohstoff-Portfolio ergänzen, aber trotzdem ist ein großer Bedarf an biogenen Kohlenstoffquellen für die Chemie absehbar, der in einer Nutzungskonkurrenz (Teller/Trog-Diskussion vermeiden!) mit dem Nahrungsmittel-, dem Treibstoff- und dem Energiesektor stehen wird. Erschwerend kommt hinzu, dass eine Lösung dieses Konflikts durch Ausweitung der Anbauflächen für Biomasse aus Gründen des heute schon überlasteten Ökosystems nicht oder nur begrenzt möglich ist.

Stoffliche Verwertung von Rest- und Abfallstoffen

Deshalb sind Methoden zur stofflichen Verwertung von biogenen Rest- und Abfallstoffen in Entwicklung. Attraktive biogene Kohlenstoffquellen bieten beispielsweise biogene Siedlungsabfälle, kommunaler Grünschnitt, industrielle Lebensmittelabfälle, Klärschlamm, Reste aus der Forst- und Landwirtschaft wie z.B. Gülle, CO₂ und weitere industrielle Reststoffe. Sie können zu Produkten der Grund-, Spezial- und Feinchemie verarbeitet werden. Der ökologische Nutzen liegt in der Schließung des Kohlenstoffkreislaufs durch Bindung von Kohlenstoff in Produkten; der ökonomische Nutzen liegt in der im Vergleich zu energetischer Verwertung höheren Wertschöpfung und der soziale Nutzen drückt sich in der höheren Beschäftigung der langen Wertschöpfungsketten der Verarbeitung von Chemieprodukten aus.

Begrenzend ist allerdings der Aufwand für die Logistik von Rest- und Abfallstoffen. Ihre stoffliche Verarbeitung ist deshalb nur dort sinnvoll, wo hohe Volumen konzentriert auf einer begrenzten Fläche anfallen und die Abnehmer in derselben Region angesiedelt sind. Dies gilt insbesondere für Ballungsräume mit einer starken Chemieindustrie wie beispielsweise in der Metropolregion Frankfurt-Rhein/Main, in der Region um Ludwigshafen und das Rheinland. In solchen Regionen sollte deshalb der stofflichen Verwertung von biogenen Rest- und Abfallstoffen Vorrang gegeben werden.

Das ökonomische, ökologische und soziale Potential biogener Rest- und Abfallstoffe

In dem Poster wird das ökonomische, ökologische und soziale Potential der energetischen und der stofflichen Verwertung biogener Rest- und Abfallstoffe vorgestellt und es werden Entwicklungen zur stofflichen Verwertung in der Chemieindustrie u.a. am Beispiel des vom BMBF mit 20 Mio. EUR geförderten Innovationsraums Bioökonomie im Ballungsraum (BioBall) präsentiert. Weiterhin werden notwendige Änderungen im deutschen und europäischen Abfallrecht angesprochen.

LITERATUR

- [1] Kircher M. (2021): Bioeconomy - Present status and future needs of industrial value chains. New Bio-tech 60:96-104
 [2] Kircher M. (2020): Weg vom Öl - Potenzial und Grenzen der Bioökonomie. Springer. ISBN 978-3-662-61490-7. <https://www.springer.com/de/book/9783662614891>
 [3] Kircher M. (2018): Implementing the bioeconomy in a densely populated and industrialised country. Advances in Industrial Biotechnology (2018) 1:003. Online: <http://www.heraldopenaccess.us/fulltext/Advances-in-Industrial-Biotechnology/Implementing-the-Bioeconomy-in-a-Densely-Populated-and%20Industrialized-Country.php>

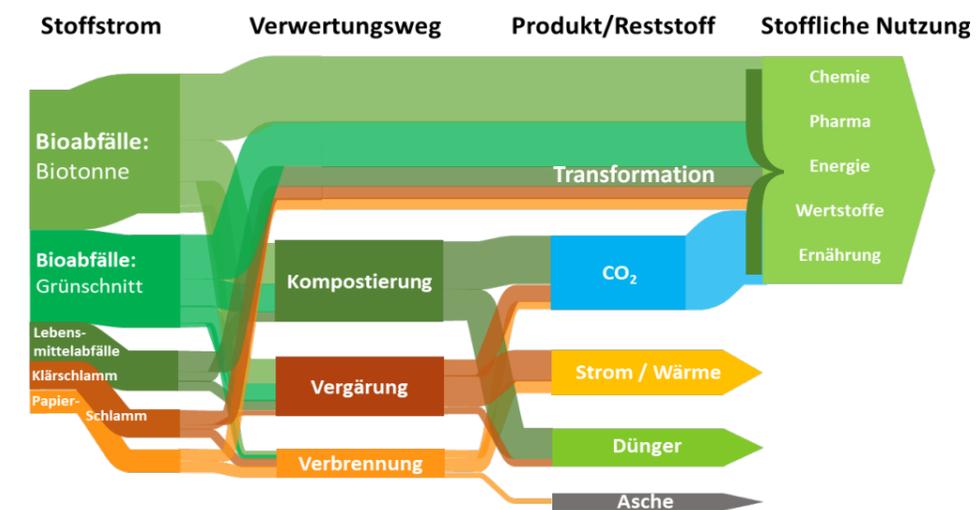


Abbildung 1:
Die stoffliche und energetische Verwertung biogener Abfall- und Reststoffe (Quelle: Provadis Hochschule)

https://www.urban-bioeconomy.de/bioball/de/home_de.html

<https://www.provadis-hochschule.de/studium.html>

www.kadib.de

<https://schock.org>

Weitere Informationen

Dr. Manfred Kircher^{1*}, Gabi Schock²,
 Prof. Dr. Thomas Bayer³
 kircher@kadib.de
¹ KADIB
 Kurhessenstr. 63, 60431 Frankfurt am Main

² Umweltberatung Gabi Schock
 Hagerweg 26, 47798 Krefeld
³ Provadis School of International Management
 and Technology AG
 Industriepark Höchst, Gebäude B845
 65926 Frankfurt/Main



POSTER

BioNet – Dezentrale Vergärung von schwierigen biogenen Substraten zur klimafreundlichen Bereitstellung von Strom und Wärme am Beispiel des Allwetterzoos Münster

Florian Loosen, Alexander Schank

Keywords:
**Trockenfermentation,
 Biogas, Tiermist,
 Biogene Reststoffe,
 Dezentral**

Biomassen, welche außerhalb der Nahrungsmittelkette anfallen, wie z.B. Grünschnitt, Tiermist oder Bioabfälle bieten großes Potenzial für eine energetische Umsetzung. Ein großer Teil dieser Biomassen fällt dezentral in kleineren Mengen von ca. 500 bis 3.000 Tonnen pro Jahr an. Für die Umsetzung dieser meist stoffbeladenen und faserigen Substrate ist die Technologie der Trockenfermentation vorteilhaft. Die momentan am Markt erhältlichen Anlagen zur Trockenfermentation weisen komplexe Konstruktionen auf und sind auf hohe Durchsätze ab 5.000 Tonnen pro Jahr ausgelegt. Im Rahmen des Forschungsvorhabens BioNet (FKZ: 03KF0061) wurde ein Gesamtverfahren zur Vergärung von Restbiomasse in einer Größenordnung von 1.000-4.000 t/a am Standort des Allwetterzoos Münster erarbeitet. Aktuell wird der im Allwetterzoo anfallende Tiermist offen gelagert und anschließend als Dünger auf landwirtschaftliche Flächen ausgebracht. Zentraler Bestandteil der dezentralen Vergärungsanlage ist ein neuartiger Propfenstromfermenter mit dem Namen DECAT, welcher den Zoomist kontinuierlich durch den Reaktor fördert und unter thermophilen Bedingungen vergärt. Ein Teil des separierten Gärrest soll in Zusammenarbeit mit regionalen Entsorgungsbetrieben zu einer Komposterde aufbereitet werden. Dieses Vorhaben ist der letzte Baustein für eine regionale Kreislaufführung am Beispiel eines Zoobetriebs. Regional angebaute Futtermittel werden durch die Zootiere verwertet. Der anfallende Tiermist wird vergärt und die Verbrennung des entstehenden Biogases liefert Strom und Wärme, welche durch den Zoo vor Ort verbraucht wird. Ein Großteil des Gärrests wird zu einer Komposterde umgewandelt, welche von Privatleuten für gartenbauliche Zwecke verwendet werden kann. Ziel der Präsentation ist es die Funktionalitäten des DECAT und die Implementation in einem realen Zoobetrieb genauer zu erläutern.

FORSCHUNGS SCHWERPUNKTE

- Implementierung von kontinuierlichen thermophilen Trockenfermentationsprozessen zur Verwertung von biogenen Reststoffen in bestehende Infrastrukturen
- Verfahrenstechnische Auslegung eines Gesamtverfahrens von der Substrataufbereitung, über die Vergärung bis hin zur anschließenden Gärrestverwertung/-aufbereitung.

KONKRETE MAßNAHMEN

Es wurde ein neuartiger Trockenfermenter in Segmentbauweise entwickelt. Die Segmente wurden an den entsprechenden Stellen mit Dämmung und Heizelementen versehen, um den Eigenenergiebedarf der Anlage zu minimieren. Die Segmente wurden so ausgelegt, dass ein Transport per LKW und möglichst schneller Aufbau des gesamten Fermenters möglich ist.

Zur Beförderung und Ausgasung der Substrate innerhalb des Fermenters wurde ein neuartige Rührwerkschnecke entwickelt, welche im Anschluss patentiert wurde. Mit Hilfe dieser neuen Schnecke setzt sich das Rührwerk durch einen verminderten Energiebedarf und eine reduzierte Materialbelastung vom Stand der Technik ab. Der Allwetterzoo Münster konnte als Partner für die erste Umsetzung eines DECAT Fermenters im Rahmen des Forschungsvorhabens BioNet gewonnen werden. Im Rahmen des Projekts wurde die mehrteilige Gesamtanlage rund um den DECAT-Trockenfermenter samt der nötigen Peripherie ausgelegt und in die zoointerne Energieinfrastruktur integriert. Der Beginn der Umsetzung des Vorhabens ist für November 2021 geplant.

ERGEBNISSE

- Integration eines dezentralen Trockenfermenters in eine bestehende und vom Aufstellungsplatz limitierten Liegenschaft (i. d. F. Allwetterzoo Münster) zur Vergärung von 2.000 t Tiermist pro Jahr.
- Einsparung von 826 t CO₂eq u. a. durch Substitution von bisher fremdbezogenen Strom und auf Basis fossiler Energieträger bereitgestellter Nutzwärme.
- Implementierung eines Konzepts zur Nutzung eines Teils der festen Gärreste als regional zu vertreibenden Gartendünger.



Florian Loosen, Alexander Schank

fl@abc-loesung.de, +49 221 9602 8802

as@abc-loesung.de, +49 221 9602 8810

abc advanced biomass concepts GmbH

Weinsbergstr. 190, 50825 Köln

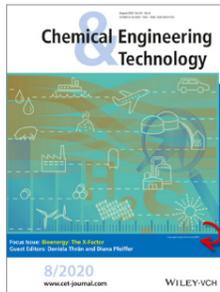


Poster Ausstellung



Themenhefte

Einreichungen eines wissenschaftlichen Fachartikels (Scientific Paper)



THEMENHEFT: Call for Papers CET

Teilnehmende der 10. Statuskonferenz BMWi-Forschungsnetzwerk Bioenergie: »Bioenergie - Eine Partnerin für alle Fälle« und weitere Interessierte haben die Möglichkeit ein wissenschaftlichen Fachartikel für ein Themenheft zur Bioenergie mit dem Fokus auf der Verwertung von Rest- und Abfallstoffen in dem Journal »Chemical Engineering & Technology« (ISI-Journal) einzureichen.

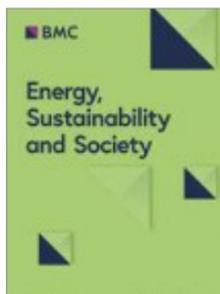
Deadline: 01.04.2022 oder nach Vereinbarung.

Kontaktieren Sie: cet@wiley-vch.de; Editor: Frau Dr. Barbara Böck

Autoren-Richtlinien & Manuskript einreichen:

onlinelibrary.wiley.com/page/journal/15214125/homepage/2044_forauthors.html

- Paper in englischer Sprache: Stellen Sie Ihre Ergebnisse unbedingt im Kontext der internationalen Entwicklungen und deren Übertragbarkeit auf internationale Fragestellungen dar.
- Entsprechen Sie den CET-Richtlinien für Autorinnen und Autoren
- Formatierung der Literaturzitate unbedingt entsprechend der CET-Richtlinien.
- Berücksichtigen Sie die Limitierung für die Anzahl und die Größe von Abbildungen
- Geben Sie mindestens 3 potentielle Gutachter aus 3 verschiedenen Ländern an
- Wählen Sie beim Upload Ihres Papers im Uploadsystem folgendes Special Issue aus: »Energy use from biogenic waste and residues«



THEMENHEFT: Call for Papers ESS

Sie forschen zur Optimierung der energetischen Biomassenutzung aus Rest- und Abfallstoffen? Dann haben Sie die Möglichkeit, einen wissenschaftlichen Beitrag (Full Paper), der auf Ihrem Vortrag oder Poster basiert, in englischer Sprache zur Publikation in einem Themenheft des Journals »Energy, Sustainability and Society« einzureichen.

Bitte senden Sie die Manuskripte als Word- und PDF-Datei an Dagmar Fiedler. Erst nach einer kurzen inhaltlichen und formalen Prüfung können die Artikel auf die Springer-BMC-Plattform der Zeitschrift zur Begutachtung, Produktion und Publikation hochgeladen werden. Alle Artikel werden fortlaufend auf der Homepage publiziert und außerdem dort nacheinander in das Themenheft aufgenommen, sobald sie im Laufe des Jahres 2022 erschienen sind.

Deadline: 01.03.2022

Kontaktieren Sie: dagmar.fiedler@ufz.de

Autorenrichtlinien:

<https://energysustainsoc.biomedcentral.com/submission-guidelines/preparing-your-manuscript>

Einreichen der Manuskripte: <https://energysustainsoc.biomedcentral.com/submission-guidelines>

Titel des Themenheftes: »Optimization of biomass energy use from biogenic residues and waste«.

Forschungsnetzwerk Bioenergie



BIOENERGIE

FORSCHUNGSNETZWERKE
ENERGIE

Willkommen im Forschungsnetzwerk Bioenergie

Im Folgenden finden Sie einen Überblick über die wichtigsten Informationen und Links zum Forschungsnetzwerk Bioenergie:

Webseite Förderbereich »Energetische Biomassenutzung«:
www.energetische-biomassenutzung.de

Registrieren im Forschungsnetzwerk Bioenergie:
www.forschungsnetzwerke-energie.de/bioenergie

Publikationen und Stellungnahmen:
www.energetische-biomassenutzung.de/publikationen

Vernetzung und Austausch in den Arbeitsgruppen:
www.energetische-biomassenutzung.de/arbeitsgruppen-methoden

Neuste Publikation: Methodenhandbuch – Stoffstromorientierte Bilanzierung der Klimagaseneffekte
<https://www.energetische-biomassenutzung.de/publikationen/schriftenreihe/04-methodenhandbuch>



Projektideen einreichen
im Förderbereich des BmWi
bis zum 01.03.2022, 14 Uhr



Zahlen und Fakten:
Das Forschungsnetzwerk
Bioenergie

Impressum

Herausgeberinnen Daniela Thrän, Vera Tens

Kontakt DBFZ Deutsches Biomasseforschungszentrum gemeinnützige GmbH
Torgauer Straße 116, 04347 Leipzig
Telefon: +49 (0)341 2434-554
Telefax: +49 (0)341 2434-133
E-Mail: vera.tens@dbfz.de
www.energetische-biomassenutzung.de

Geschäftsführung Wissenschaftlicher Geschäftsführer: Prof. Dr. mont. Michael Nelles
Administrativer Geschäftsführer: Ronny Bonzek

Bildnachweise Titel: Joshua Röbbisch
Grafiken und Icons: Joshua Röbbisch, weitere sind individuell ausgewiesen

Bei jedem Beitrag sind die Autor*innen für die korrekte und rechtskonforme Verwendung ihrer Darstellungen, Texte und Bilder selbst verantwortlich.

Layout, Satz Joshua Röbbisch

Schriften Fira Sans von Erik Spiekermann und Ralph du Carrois
Fontin Sans von exljbris Font Foundry

Förderung Erstellt mit finanziellen Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi)

ISSN (online) 2698-6809
ISBN 978-3-946629-78-8
DOI: 10.48480/3z9p-cy88

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. © DBFZ 2021



Organisationsteam

Prof. Dr. Daniela Thrän

Projektleitung
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
E-Mail: daniela.thraen@dbfz.de
Telefon: +49 (0)341 2434 435

Dr. Vera Tens

Projektkoordination
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
E-Mail: vera.tens@dbfz.de
Telefon: +49 (0)341 2434 554

Anne Kolbe

Presse & Informationsmaterial
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
E-Mail: anne.kolbe@dbfz.de
Telefon: +49 (0)341 2434 601

Joshua Röbbisch

Satz & Layout & Grafiken
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
E-Mail: joshua.roebisch@dbfz.de
Telefon: +49 (0)341 2434 599

Rico Ehrentraut

Webseite & Neue Medien
Deutsches Biomasseforschungszentrum gGmbH
E-Mail: rico.ehrentraut@dbfz.de
Telefon: +49 (0)341 2434 336



**Energetische
Biomassenutzung**



BIOENERGIE
FORSCHUNGSNETZWERKE
ENERGIE

Gefördert durch



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

PTJ
Projekträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

DBFZ

www.energetische-biomassenutzung.de