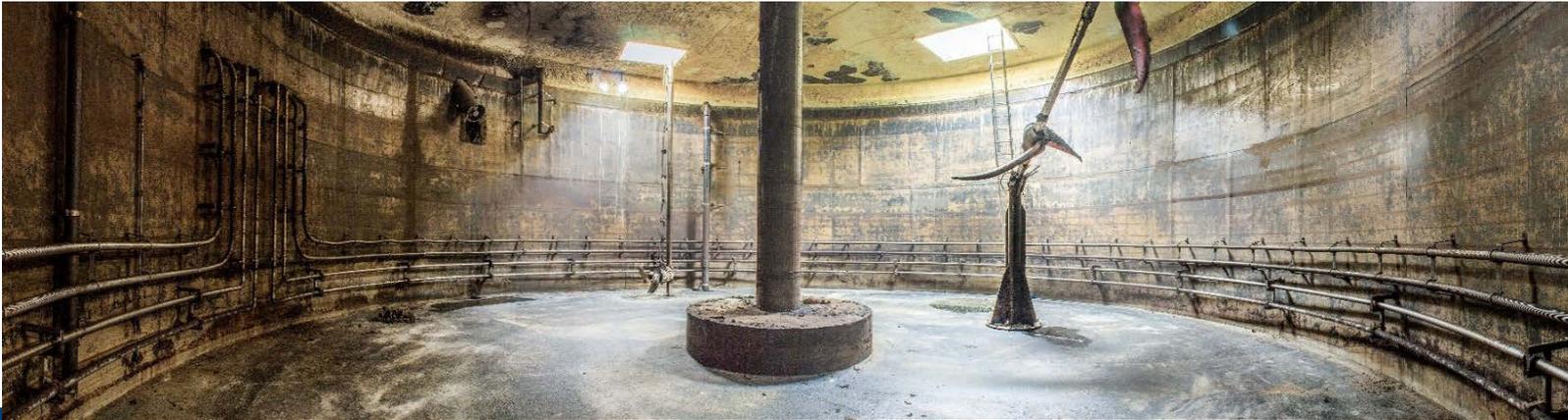




UNIVERSITÄT  
HOHENHEIM

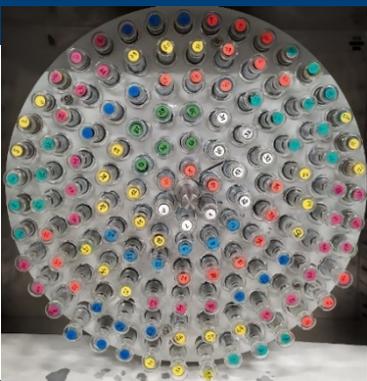


LANDESANSTALT  
für Agrartechnik  
& Bioenergie



## Jahresbericht 2021

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie  
Universität Hohenheim







## Die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

Die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie ist eine besondere Einrichtung der Universität Hohenheim und hat satzungsgemäß folgende Aufgaben zu erfüllen:

- Praxisnahe Forschung
- Spezialberatung für die baden-württembergische Landwirtschaft
- Technische Beratung von landwirtschaftlichen Gewerbe- und Industriebetrieben
- Fortbildung der Lehr- und Beratungskräfte der Landwirtschaftsverwaltung in Bezug auf den Stand der Technik und neue Versuchsergebnisse



Da die Landesanstalt sich seit vielen Jahren speziellen Themenfeldern wie der Biogaserzeugung und Fragen der Bioökonomie widmet, hat sich das genannte Aufgabenspektrum in den vergangenen Jahren deutlich in Richtung der Hochschullehre erweitert. Durch die Habilitation von Herrn PD Dr. Andreas Lemmer, werden einige der Lehraufgaben, speziell auch die Promotionsbetreuung, nun direkt erfüllt und weitere zusammen mit dem Oberleiter der Landesanstalt, Herrn Prof. Joachim Müller, durchgeführt. Das Lehrthema Biogas ist für die Studierenden der NAWARO-Studiengänge und der Agrarwissenschaften zu einem festen Bestandteil der Studienpläne geworden. Studierende fertigen im Rahmen von Forschungsprojekten ihre Bachelor- und Masterarbeiten an und sammeln bei der Mitarbeit als wissenschaftliche Hilfskräfte an der Landesanstalt wertvolle Forschungserfahrungen. Für die an der Landesanstalt beschäftigten Doktoranden bieten die meist großen und interdisziplinär mit Partnern von anderen Universitäten und Forschungseinrichtungen bearbeiteten Forschungsprojekte die Möglichkeit, Erfahrungen bei der wissenschaftlichen Arbeit zu sammeln und ihre Ergebnisse durch Veröffentlichungen in renommierten internationalen wissenschaftlichen Zeitschriften zu publizieren.

Auch das zweite Pandemiejahr hatte noch massive Auswirkungen auf unsere Arbeit. Die Lehre wurde nahezu ausschließlich über Online-Programme durchgeführt. Nach der Erfahrung aus dem Sommersemester 2020 wurde die Präsentationsform der Veranstaltungen weiter optimiert, um den Teilnehmern die Chance für eine verbesserte Zusammenarbeit und zum Austausch über Online-Gruppen zu geben. Diese Verbesserung der Kommunikation zwischen den TeilnehmerInnen gelang besonders auch bei der Biogas-Planungsveranstaltung gut. Die Seminare der MitarbeiterInnen der Landesanstalt und die Kommunikation zu Projekten und Projektanträgen musste über Webkonferenzen stattfinden. Über Homeoffice wurde der direkte Kontakt weiter vermindert, so dass meist nur noch je eine Person pro Büro arbeiten konnte. Die Vorgaben der Universität zum Umgang mit Corona wurden vollständig eingehalten. Dank der Verfügbarkeit der Impfstoffe verbesserte sich die Situation im Laufe des Jahres. Die Corona-Pandemie hatte erheblichen Einfluss auf die internationalen Kontakte und den Austausch von Wissenschaftlern. Unser für September 2020 ursprünglich vorgesehener internationaler Kongress „Progress in Biogas V“ musste auf 2021 verschoben werden. Um auch die Teilnahme eines internationalen Publikums am Kongress zu ermöglichen, wurde dieser vollständig online durchgeführt. Die Zeitverschiebung war eine besondere Herausforderung. Es hat sich aber als gute Entscheidung erwiesen so vorzugehen, denn es haben sich mehr als 160 Wissenschaftler aus 22 Ländern um einen Vortrag beworben. Zusammen mit dem Hauptveranstalter IBBK gelang es, die Veranstaltung dreizügig parallel durchzuführen. 86 Vorträge, 17 Kurzpräsentationen und 30 Poster konnten präsentiert werden. Ausgewählte Beiträge werden 2022 in einem Sonderheft des wissenschaftlichen Journals Bioresource Technology abgedruckt.

Die MitarbeiterInnen der Landesanstalt sind sehr aktiv in der Ausarbeitung von Manuskripten für die Veröffentlichung der hervorragenden Ergebnisse in internationalen wissenschaftlichen Journalen. Damit wächst die internationale Bedeutung der Landesanstalt und es häufen sich Anfragen für eine Zusammenarbeit, Wissenschaftleraustausch bzw. die gemeinsame Beantragung von Forschungsprojekten. Neben diesen Publikationen werden aber auch Veröffentlichungen in landwirtschaftlichen Wochenblättern durchgeführt oder in nationalen Tagungen für Landwirte und Betreiber von Biogasanlagen. Dadurch können die wichtigen Erkenntnisse aus den Forschungsaktivitäten praxisnah und schnell den Nutzern vermittelt und dort umgesetzt werden.

Ende 2020 wurde eine neue Fassung des EEG ausgearbeitet, die gewisse Verbesserungen für die Biogasbetreiber erwarten lässt. In Kombination mit den Vorgaben der europäischen Renewable Energy Directive II (RED II) bieten sich

weitere Perspektiven für Betriebe, die sich zukünftig mit der Erzeugung von Kraftstoff auseinandersetzen. Das hierzu bearbeitete Projekt der LA mit Aufbau einer Pilotanlage zur LNG- und CNG-Erzeugung sowie die Untersuchungen zur Sensorik, Modellierung und flexiblen Biogaserzeugung an der Forschungsbiogasanlage der Versuchsstation „Unterer Lindenhof“ bietet der Praxis neue Erkenntnisse und Entwicklungsmöglichkeiten. Das Modellprojekt der Landesanstalt zur Nutzung eines Linienbusses mit Biogas-LNG wird wichtige Erkenntnisse für Interessenten liefern. Das Projekt „Bundesmessprogramm Biogas III“ wurde durch umfangreiche Berichtsbände über die 61 untersuchten Praxisanlagen bei der FNR abgeschlossen. Damit ist der Status Quo der Biogastechnik festgehalten und dient als Basis für neue Lösungsansätze. Das EEG ist nun seit mehr als 20 Jahren Gesetz und immer mehr Biogasanlagen verlieren mit dem Ablauf der 20 jährigen Bindungsfrist der EEG-Vergütung die Wirtschaftlichkeit. In mehreren Forschungsprojekten wurden für diese Betriebe Lösungsansätze gesucht. Es wurden in einem Post-EEG-Projekt der LA mit dem KTBL u.a. Machbarkeitsstudien für Modellbetriebe erstellt. Ein Modellrechner ist im Internet bei KTBL verfügbar und erlaubt es, Berechnungen für die Biogasbetriebe durchzuführen, um die möglichen Lösungen einschätzen zu können.

Seit 2020 wurden von der Landesregierung neue Projektausschreibungen zum Themenfeld „Bioökonomie“ vorgenommen, an denen sich auch die LA beteiligte. In den hierzu genehmigten Forschungsprojekten spielte besonders die Produktion von Fasern aus Dauerkulturen (z.B. Durchwachsene Silphie) oder aus Nebenprodukten (z.B. Hopfenreihäcksel), zum Beispiel zur Erzeugung von Papier eine wesentliche Rolle und wird sowohl auf Laborebene als auch im Praxismaßstab untersucht. Deren Kombination mit der Biogaserzeugung erlaubt es, über neue Fermenterbauarten in der Praxis nachzudenken. Die wachsende Ausstattung unserer Speziallabore für die Biogaserzeugung, Substrattrennung und chemische Analyse und die Kenntnis der dort arbeitenden MitarbeiterInnen stellt eine hervorragende Basis dar, die im Forschungsbereich erforderlichen Analysen schnell und exakt vorzunehmen. Die Ausstattung wurde im Berichtsjahr durch den Einsatz spezieller Mikroskope, innovative Analysetechnik und Auswertesoftware auch mit Nutzung von Datenbanken und durch verbesserte Biogaslaborfermenter weiterhin verbessert und erlaubt eine verfeinerte Bewertung von Untersuchungsergebnissen.

Nur durch das große Engagement und die sich dadurch ergebende hervorragende Zusammenarbeit mit der Leitung und dem Team der Forschungsstation ist die erfolgreiche Weiterentwicklung und Erprobung völlig neuer Technologieansätze auch im Praxismaßstab möglich. Ein besonderer Dank gilt der Universitätsleitung und der Universitätsverwaltung sowie dem Universitätsbauamt für die hervorragende und in der Regel schnelle Unterstützung bei der Umsetzung aufwändiger Umbaumaßnahmen!

Das junge Forscherteam der Landesanstalt stellt sich auch weiterhin bereitwillig und mit höchster Motivation den neuen Herausforderungen im Umfeld der Bioökonomie, der Biogaserzeugung und -nutzung. Wir versuchen, über die Entwicklung neuer Strategien und den Transfer von Erkenntnissen in die Praxis, den ländlichen Raum, die Situation der landwirtschaftlichen Betriebe und der Biogasanlagenbetreiber zu stärken und langfristig zu sichern. Dabei stehen in einer Zeit mit offensichtlich erforderlichem Umdenken im Energiebereich auch wichtige Entwicklungen für die gesamte Gesellschaft im Fokus. Für das außerordentliche Engagement möchte ich allen MitarbeiterInnen, wissenschaftlichen Hilfskräften und Studierenden der Landesanstalt herzlich danken!

Um innovative Ideen weiter zu entwickeln, greifen wir gerne Ihre Anregungen auf und sind offen für eine partnerschaftliche Kooperation mit Forschungs- und Industriepartnern in Deutschland und weltweit.



Dr. Hans Oechsner

Leiter der Landesanstalt

## Das chemische Labor der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie



Dipl.-Biol. Annette Buschmann



Jacqueline Kindermann

Im chemischen Labor der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie wurde in den vergangenen Jahren die Laborgeräteausstattung kontinuierlich erweitert und parallel hierzu wurden neue Methoden zur chemischen Analyse verschiedenster Parameter wie flüchtige Fettsäuren, Zucker, Alkohole, Makro- und Mikronährstoffe, Schwermetalle etc. entwickelt. Alle Analyseergebnisse führen zum besseren Verständnis prozessbiologischer Fermentationsvorgänge bei Silierungsvorgängen, zur Optimierung der Biogasproduktion und/oder zur biologischen Produktion von Plattformchemikalien im Rahmen unterschiedlichster Projekte. Ein Überblick über ausgewählte Analysen gibt nachfolgende Tabelle.

Parameter	Methode und Gerät(e)	Beschreibung
leichtflüchtige Fettsäuren	Kapillar-Gaschromatographie (GC) - GC der Firma Varian (Typ: CP-3800) mit FID-Detektor und Kapillarsäule CP 7777 der Firma Varian (50m Länge, 0,32 µm Durchmesser, 0,25mm Belegung)	Qualifizierung und Quantifizierung niederer Carbonsäuren aus Flüssig- und Feststoffproben; z.B.: Essig-, Propion-, n- und iso-Butter-, n- und iso-Valerian-, Capronsäure
Alkohole, Zucker	Hochdruckflüssigkeitschromatographie (HPLC) - Gerät der Firma Bischoff mit RI-Detektor und a. BioRad Aminex HPLC Säule HPX-87H (7.8 x300mm; part. Size: 5.0µm) und BioRad-Vorsäule HPX - 87H b. Hyperchrome-HPLC Säule ReproGel Ca (300 x 8.0mm; part. Size: 9.0µm)	Qualifizierung und Quantifizierung verschiedener Säuren, Zucker und Alkohole z.B.: DL-Milchsäure, Saccharose, Fruktose, Glucose, Ethanol, 1,2-Propandiol und Mannitol
TC / TN	Thermo-katalytische Hoch-temperatur-oxidation mit multi N/C 2100 S der Firma Analytik Jena	Quantifizierung des anorganischen Kohlenstoffgehaltes sowie des gesamten Kohlen- und Stickstoffgehaltes flüssiger Proben; Quantifizierung des gesamten Kohlenstoffgehaltes von Feststoffen
ICP-MS	Massenspektrometrie - ICP-MS NexION 2000 der Firma Perkin Elmer	Physikalische Standardmethode zur qualitativen und quantitativen Bestimmung von Elementgehalten. Anorganische Elementanalytik zur massenspektrometrischen Spurenanalyse von z.B. Schwermetallen und Mikronährstoffen
CSB (Chemischer Sauerstoffbedarf)	Photometrie - Küvettestest LCK 014, 514 von Dr. Lange, Thermostat LT 200 - Hach Lange; LASA 20 - Sensor Array Photometer von Dr. Lange	Kenngröße für den Grad organischer Belastung einer Flüssigkeit, ermittelt nach einem genormten Verfahren.
FOS / TAC	Titration mit tiamo 1.2, Titrande und Sample processor der Fa. Metrohm	Parameter zur Bestimmung des Verhältnisses der flüchtigen, organischen Säuren (FOS) zum Säurebindungsvermögen der Probe (TAC)
NH <sub>4</sub> -N (Ammonium-Stickstoff) NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (Ammonium)	Destillation und Titration mit Vapodest 50s der Firma Gerhardt	Ammoniak (NH <sub>3</sub> ) und Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> ) stehen im Gleichgewicht (NH <sub>3</sub> +H <sub>2</sub> O⇌NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> +OH <sup>-</sup> ). Sie werden bei der Analyse (Destillation mit anschließender Titration) zusammen erfasst. Das Ergebnis kann als Ammoniumkonzentration oder - nur auf den Stickstoff bezogen - als Ammonium-Stickstoff angegeben werden
TKN (Kjeldahl-Stickstoff)	Säureaufschluß mit Aufschlussblock der Firma Gerhardt mit Turbosog sowie anschließende Destillation und Titration mit Vapodest 50s der Firma Gerhardt	Summe aus organisch gebundenem Stickstoff und NH <sub>4</sub> -N als Maß für den nicht oxidierten Stickstoff. Im Unterschied zur TN-Bestimmung (s.u.) wird mit dieser Methode der Stickstoff aus Nitrit- und Nitratverbindungen nicht erfasst

## Systemdienlicher Ausgleich der jahreszeitlichen Schwankungen des Energiebedarfs durch saisonal flexibilisierte Biogaserzeugung am Praxisbeispiel der Nutzung von Extensiv- und Biotopgrünland; Teilvorhaben 2: Substrataufbereitung, Lagerung und Kinetik (BioSaiFle)



M.Sc. Christina Brandhorst

PD Dr. Andreas Lemmer

Bei der zukünftigen Biogasproduktion rückt die Erforschung der Reststoffnutzung, die Flexibilität der Einsatzstoffe und die bedarfsgerechte Energieproduktion immer mehr in den Fokus der Öffentlichkeit. Sowohl die Einspeisung von fluktuierenden erneuerbaren Energien (fEE), als auch der Strom- und Wärmebedarf weisen aufgrund der jahreszeitlichen Wetterlage ein saisonales Profil auf. Dieses Profil kann analog dazu von saisonal angepassten Biogasanlagen (BGA) geliefert werden. Besonders für BGA mit Anschluss ans Wärmenetz wäre das Konzept der Saisonalisierung eine Perspektive für die Zukunft, welche wir deutschlandweit in Ihrer Praxisfähigkeit fördern wollen.

Da der Gasspeicherkapazitäten einer BGA Grenzen gesetzt sind, erfolgt die Energiespeicherung über die Biomasse. Dabei wird die Nutzung gängiger energiereicher Substrate, wie Silagen und Getreide in den Winter verschoben und die Anlagenleistung im Sommer durch die verminderte Gasproduktion bei der Nutzung eines schwer abbaubaren Substrates reduziert. Vor diesem Hintergrund soll im Forschungsprojekt die Eignung von Schnittgut aus Extensiv- bzw. Biotopgrünland (z.B. FFH-Mähwiesen) als vielversprechender Reststoff für die saisonale Flexibilisierung (Saisonalisierung) von BGA untersucht werden. Schnittgut von Naturschutzflächen weisen eine gute Klimabilanz auf und konkurrieren nicht um Fläche. Da die Standorte auf eine regelmäßige Biomasseentnahme angewiesen sind, um den Erhaltungszustand zu sichern, bzw. zu verbessern, würde eine energetische Nutzung somit zu deren Erhalt und gleichzeitig zu einer naturverträglichen Biogaserzeugung beitragen.

Im zweiten Projektjahr wurden unterschiedliche Erntemethoden zur Bergung des Schnittgutes von Streuobstwiesen erprobt und diese im Rahmen einer Arbeitszeitstudie begleitet. Des Weiteren wurden für die Handhabung des Schnittgutes an der Forschungsbiogasanlage Lagerungs- und mechanische Aufbereitungsversuche durchgeführt. Mithilfe dieser Untersuchungen lassen sich Handlungsempfehlungen für die energetische Nutzung des Unterwuchses von Streuobstwiesen ableiten.

Das Betriebskonzept der Saisonalisierung wird neben dem Beispiel aus Baden-Württemberg auch für Naturräume in Brandenburg geprüft. Neben der praxisorientierten Fragestellung wird die Saisonalisierung ökologisch, ökonomisch und auf Systemebene detailliert betrachtet, sodass ein Transferpotential für die restlichen Bundesländer bestimmt werden kann.

### Förderung:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (FNR)

### Partner:

Universität Stuttgart, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER)

Leibniz-Institut für Agrartechnik und Bioökonomie e.V. (ATB)

Landkreis / Landratsamt Reutlingen

Landschaftserhaltungsverband im Landkreis Reutlingen e.V.

Obst- und Gartenbauverein unter Achalm e.V.

Landschafts-Förderverein Nuthe-Nieplitz-Niederung e.V.

Energiegenossenschaft Gussenstadt eG (EGG)

### Laufzeit:

Jan. 2020 – Dez. 2022



Einsatz des Anbaumähers „Grasshopper“ der Firma Amazone auf den Streuobstwiesen im Landkreis Reutlingen

## Entwicklung und Erprobung sensorbasierter Rührsysteme in Biogasanlagen zur Steigerung der Effizienz und Prozessstabilität bei einer lastflexiblen und bedarfsgerechten Biogasproduktion (Sens-o-Mix)

Nach wie vor ist effizientes Rühren in Biogasanlagen eine Herausforderung: Einerseits muss das Material im Fermenter gerührt werden, um die zudosierten Substrate im Behälter zu verteilen und um einen stabilen Fermentationsprozess zu gewährleisten. Andererseits führt intensives Rühren zu einem hohen Eigenstromverbrauch und beeinträchtigt die Methanproduktion. Dieser Zwiespalt verschärft sich im Hinblick auf die flexible Biogasproduktion noch weiter, wenn große Substratmengen innerhalb kurzer Zeit in den Fermenter gegeben werden.

Bisher ist keine praktikable technische Lösung vorhanden, die den Rührbedarf im Behälter zuverlässig und automatisiert erkennt und die optimalen Rühreinstellungen ableiten kann. Die bisherigen Entscheidungen werden vorwiegend aufgrund von Erfahrungen und vom Blick auf die Gärsubstratoberfläche getroffen.

Aufbauend auf den Projekten „OptiFlex“ und „FlexFeed“ wird in „Sens-O-Mix“ die Gärsubstratrheologie tiefergehend charakterisiert und die Durchmischung im Labor und mittels CFD optimiert. Innerhalb des Projekts wurde einer der beiden Fermenter der Forschungsbiogasanlage der Uni Hohenheim am „Unteren Lindenhof“ mit umfangreicher Sensorik ausgestattet, um den Rührbedarf der Anlage bei konstantem sowie bei lastflexiblem Betrieb zu ermitteln. Über selbstlernende Verfahren werden für die Rührerregelung geeignete Messgrößen identifiziert und der Einfluss der Prozessparameter auf den Methanertrag quantifiziert. Die bestehenden Modelle zur Vorhersage der (flexiblen) Biogasproduktion sollen weiter ausgebaut und mit den gewonnenen Messgrößen gekoppelt werden. Durch Praxisversuche am „Unteren Lindenhof“ werden die Simulationen und Modelle validiert sowie die Rührerregelung und der Gesamtprozess bewertet.

Nach dem Einbau der Sensorik finden zurzeit die Inbetriebnahme sowie erste Versuche zum lastflexiblen Betrieb bei unterschiedlichen Rühreinstellungen statt.

Die Projektkoordination liegt beim Fraunhofer IKTS. Die Landesanstalt befasst sich mit dem Einbau und der Validierung von geeigneter Messtechnik sowie mit der praxisnahen Umsetzung der Rührerregelung und des lastflexiblen Betriebs.



Umbaumaßnahmen im Fermenter der Forschungsbiogasanlage für die sensorgestützte Erkennung des Rührbedarfs (2021, Universität Hohenheim).



Dipl.-Ing. Benjamin Ohnmacht

Dr. Johannes Krümpel

PD Dr. Andreas Lemmer

Förderung:  
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Partner:  
Deutsches Biomasseforschungszentrum (DBFZ)  
Fraunhofer-Institut für Keramische Technologien und Systeme (IKTS)  
Technische Universität Berlin (TU Berlin)  
Repowering Technik Ost GmbH (RTO)  
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf (HZDR)

Laufzeit:  
Mai 2020 – April 2023

## Optimierung des Betriebs und Designs von Biogasanlagen für eine bedarfsgerechte, flexibilisierte und effiziente Biogasproduktion unter Berücksichtigung der Prozessstabilität (OptiFlex)



Dipl.-Ing. Benjamin Ohnmacht

PD Dr. Andreas Lemmer

In Biogasanlagen stellen die Rührwerke oftmals den größten Eigenstromverbraucher da. Die Wirtschaftlichkeit einer Anlage beruht damit wesentlich auf dem effizienten Durchmischen des Gärsubstrats. Die Reduzierung der benötigten Rührerenergie durch eine Optimierung der Mischvorgänge ist daher vielversprechend, um Biogasanlagen auch nach der EEG-Laufzeit wirtschaftlich betreiben zu können. Im Projekt „OptiFlex“ arbeiten daher Partner verschiedener Forschungseinrichtungen und aus der Industrie zusammen, um Modelle über das Fließverhalten des Gärsubstrats und über die Biogasbildungskinetik zu entwickeln und zu verifizieren.

Auf Grundlage der gewonnenen rheologischen Erkenntnisse wurden im Rahmen des Projekts neue Rührwerke entwickelt und an der Forschungsbiogasanlage getestet. Daneben wurden gezielt diejenigen Größen identifiziert, die für die Regelung der Biogasproduktion bei einer flexiblen Reaktorbeschickung geeignet sind. Dadurch soll, zusammen mit der optimierten Rührtechnik, die Zukunftssicherheit bestehender und neu errichteter Anlagen gesichert werden.

Bereits kleine Änderungen in der räumlichen Anordnung der Rührwerke können sich stark auf die notwendigen Rührzeiten und den Stromverbrauch auswirken. Als starker Vorteil hat sich darüber hinaus der simultane Einsatz mehrerer Rührwerke, verglichen zum Einsatz eines einzelnen Rührers, erwiesen. Durch die Reduktion der Rührerdrehzahl konnte in Versuchen eine Energieeinsparung von bis zu 50% bei gleichbleibender Biogasproduktion und Prozessstabilität erreicht werden.

Weitere Untersuchungen zeigten, dass das Biogasspeichervermögen von Gärsubstrat einen messbaren Einfluss auf die scheinbare Biogasproduktion hat. In Zeiten, in denen die Rührwerke abgeschaltet sind, sammelt sich Biogas in der Fest-Flüssigphase an und kann durch Rühren wieder freigesetzt werden. Dieser Effekt ist aber, im Vergleich zum Reaktorvolumen und zum Gasspeichervermögen von Membranspeichern zu gering, um technisch eingesetzt zu werden.

### Förderung:

Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Förderkennzeichen:  
22402716

### Partner:

Fraunhofer IKTS  
TU Berlin  
DBFZ  
RTO

### Laufzeit:

Mai 2020 – Juni 2023



Blick in einen Forschungsfermenter (2021, Universität Hohenheim).

## PowerLand 4.2 – Smart and Innovative Land Power Systems

Das zukünftige Energiesystem muss mit steigendem Anteil an erneuerbaren Energien grundlegend transformiert werden. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen wie Wind oder Sonne unterliegen natürlichen Schwankungen. Um dennoch den Bedarf jederzeit sicher abzudecken und Schwankungen auszugleichen, können dezentrale Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung einen wesentlichen Beitrag leisten. Sie sind flexibel einsetzbar und sehr effizient. Zudem kommt ihnen eine besondere Bedeutung zu, da sie unter den erneuerbaren Energien eine Möglichkeit bieten Strom und Wärme gleichzeitig zu produzieren.

Mit PowerLand 4.2 wird auf die zunehmende Komplexität des Energiesystems reagiert, indem eine vollautomatisierte Steuerung für Blockheizkraftwerke und Biogasanlagen entwickelt wird. Diese soll selbstlernend für die jeweils folgenden 48 Stunden den Energiebedarf einer Verbrauchseinheit (z.B. einer ländlichen Gemeinde) prognostizieren. Dabei werden Wochenendeffekte und saisonale Schwankungen berücksichtigt. Ergänzend wird eine Prognose für die Stromerzeugung aus Photovoltaik und Windkraftanlagen erstellt. Die Residuallast soll dann vom Biogas-Blockheizkraftwerk bereitgestellt werden, indem automatisch ein passender Fahrplan berechnet wird. Zudem wird situationsangepasst durch ein intelligentes Fütterungsmanagement die Substratzufuhr für die Biogasanlage ausgelöst.

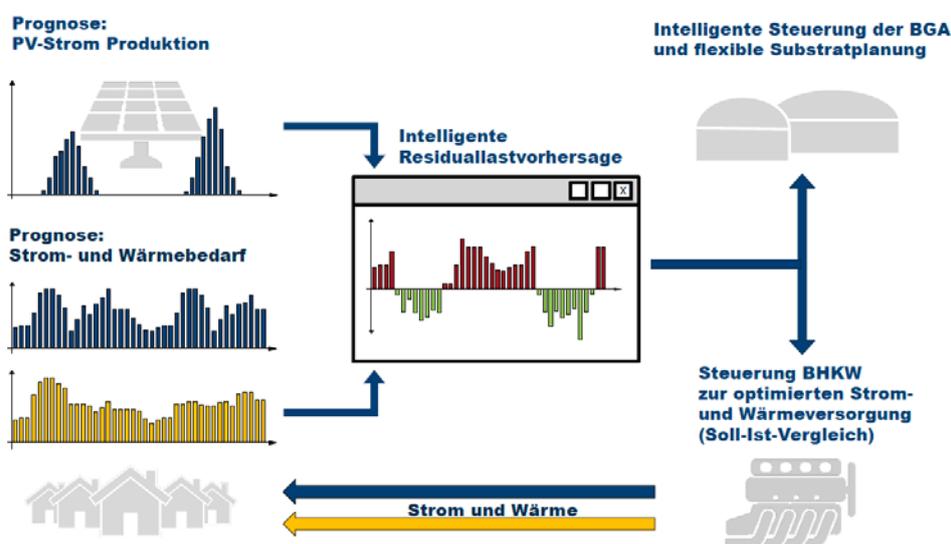
Am Beispiel des Unteren Lindenhofs als Verbrauchs- und Produktionseinheit wird die Steuerung so optimiert, dass ein Dorf seinen Strom- und Wärmeenergiebedarf vollständig auf der Basis erneuerbarer Energien decken kann.



M. Eng. Celina Dittmer

Dr. Johannes Krümpel

PD Dr. Andreas Lemmer



Förderung:  
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft  
Fachagentur für Nachhaltige Rohstoffe e.V.

Partner:  
Hochschule Reutlingen,  
Reutlinger Energiezentrum (REZ)  
NOVATECH GmbH

Laufzeit:  
Okt. 2018 – Sep. 2021

Ablaufschema der Anlagensteuerung zur bedarfsgerechten Strom- und Wärmeproduktion

## Entwicklung innovativer und intelligenter Sensorsysteme zur Gewährleistung der biologischen Prozessstabilität beim lastflexiblen Betrieb von Biogasanlagen (i<sup>2</sup>-Sens)



M.Sc. Leoni Neubauer

Dipl.-Ing. Benjamin Ohnmacht

Dr. Johannes Krümpel

PD Dr. Andreas Lemmer

Der lastflexible, bedarfsorientierte Betrieb von Praxisbiogasanlagen gewinnt immer mehr an Bedeutung. Nachdem Biogasanlagen viele Jahre kontinuierlich Biogas produzierten, wird ihre zukünftige Rolle in der regenerativbasierten Energieversorgung im Ausgleichen der fluktuierenden Stromproduktion aus Windenergie und Photovoltaik liegen. Dafür ist ein Wechsel der Betriebsweise hin zu einer, sowohl täglich als auch saisonal stark schwankenden Anlagenbeschickung nötig, um die ebenfalls schwankende Biogasnachfrage decken zu können.

Dies erfordert eine sichere Prognose des Biogasbedarfs und einer daraus abgeleiteten Prognose der Biogasproduktion. Diese Arbeiten wurden bereits sehr erfolgreich in einer modellprädiktiven Regelung im Vorgängerprojekt „PowerLand 4.2“ um Celina Dittmer, Johannes Krümpel und Andreas Lemmer umgesetzt.

In einem weiteren Schritt hin zu einer ganzheitlichen Anwendung der bedarfsorientierten Biogasproduktion in Praxisanlagen sollen diese Modelle um eine Prozessüberwachung erweitert werden. Dies ist beispielsweise notwendig, um frühzeitig auf kritische Zustände bei stark flexibler Fütterung zu reagieren. Im Rahmen von i<sup>2</sup>-Sens sollen dazu komplementäre Messtechniken, bestehend aus photoakustischen- nichtdispersiven Infrarotsensoren und Raman Spektroskopie, für die zeitlich hochauflösende und hochgenaue Erfassung der Biogaszusammensetzung zum Einsatz kommen. Ausgehend von diesen Messdaten sollen Rückschlüsse auf die Prozessstabilität und -effizienz gewonnen und in die bestehenden Modelle zur flexiblen Fütterung integriert werden.

Zu Beginn des Projekts wurden die Anforderungen an die Messtechnik und an die Messwerterfassung an der Forschungsbiogasanlage am „Unteren Lindenhof“ getroffen. Im Folgenden wird eine Messvorrichtung zur Biogasmessung direkt im Fermenter entwickelt und die neue Messtechnik wird im Praxismaßstab getestet.

Die Koordination des Projekts liegt bei der Landesanstalt. Neben dem Einbau und der Validierung der Gasmesstechnik untersuchen wir die Zusammenhänge zwischen Biogasprozess und Biogaszusammensetzung, um daraus effiziente Fütterungsstrategien für die prozessstabile, bedarfsorientierte Biogasproduktion abzuleiten.

Förderung:  
Fachagentur nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)

Förderkennzeichen:  
2220NR092A

Partner:  
Union Instruments GmbH

Laufzeit:  
Aug. 2021 – Juli 2024



Die Biogaszusammensetzung wird direkt im Fermenter gemessen, um frühzeitig auf Prozessstörungen reagieren zu können

## Numerische Simulation eines neuartigen Biogas-Aufbereitungsverfahrens für kleine Volumenströme zu dessen technischer und ökonomischer Evaluierung (BEREIT)

Im Jahr 2018 deckten in Baden-Württemberg ca. 1.000 Biogasanlagen 6,7% des Bruttostromverbrauchs. Der Großteil der Biogasanlagen verwertet das produzierte Biogas vor Ort mittels Direktverstromung im BHKW (Block-Heiz-Kraftwerk). Die Möglichkeit der Biogasaufbereitung und Einspeisung wird hingegen nur selten genutzt. Nach Angaben der FNR (2022) speisten im Jahr 2021 deutschlandweit 222 Biogasanlagen mit einer Kapazität von 141.120 m<sup>3</sup>/h Biomethan in das Erdgasnetz ein. Aufgrund der bisher hohen Investitionskosten ist eine Biogasaufbereitung bisher lediglich für sehr große Anlagen mit einem Rohgas-Volumenstrom von über 1000 m<sup>3</sup>/h wirtschaftlich. Die Biogas Aufbereitung und weitere Einspeisung in das Erdgasnetz ermöglicht eine vielseitige Nutzung von Biomethan sowohl im Gebäudebereich, als auch in der Energiewirtschaft, der Industrie und im Verkehr.

Zielsetzung der vorliegenden Machbarkeitsstudie ist die Konzeptionierung und technisch-ökonomische Evaluation einer kompakten, effizienz- und kostenoptimierten Biogasaufbereitungsanlage. Diese Aufbereitungsanlage soll für einen kleinen Volumenstrom von 175 m<sup>3</sup>/h ausgelegt werden, was einem Leistungsumfang von ca. 350 kW installierter elektrischer Leistung bei einer Verwertung im BHKW entspricht. Das Verfahren basiert auf einer technisch erheblich vereinfachten Druckwasserwäsche im sequentiellen Batch-Betrieb.

Auf der Grundlage der Gesetze der Thermodynamik und des konzipierten Betriebsaufbaus wurden die physikalischen Prozesse innerhalb der Absorptionskolonne mit Hilfe von Differentialgleichung mathematisch beschrieben. Auf der Basis dieses mathematischen Modells wurde das entsprechende numerische Simulationsmodell in MATLAB/Simulink entwickelt. Das Modell verbindet den Druck innerhalb der Kolonne, die Temperatur, die CO<sub>2</sub>-Konzentration und berechnet die erforderliche Durchflussmenge des durch die Kolonne fließenden Wassers, um die gewünschte Methankonzentration im Produktgas zu erreichen. Die Gesamtevaluierung belegt, dass der gewählte Verfahrensansatz potentiell technisch und wirtschaftlich erfolgsversprechend ist.



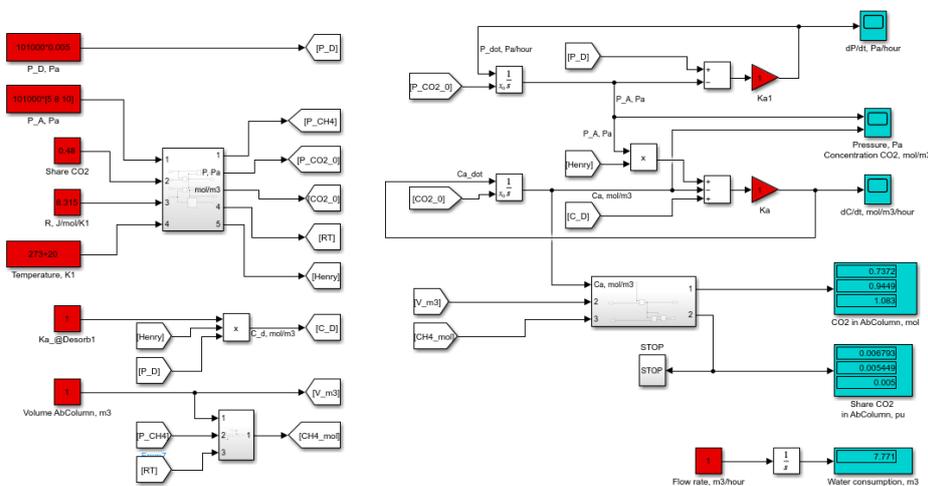
PD Dr. Andreas Lemmer



Dr.-Ing. Anastasia Oskina



M.Sc. Nadiia Nikulina



Numerisches Simulationsmodell entwickelt in MATLAB/Simulink

Förderung:  
Ministerium für Ernährung,  
Ländlichen Raum und Ver-  
braucherschutz Baden-Würt-  
temberg (MLR)

Laufzeit:  
Nov. 2020 – Juli 2021

## Innovative Prozesskette zur ressourceneffizienten Erzeugung von Bio-LNG (Pro-BioLNG)



M.Sc. Elena Holl



M.Sc. Jörg Steinbrenner

PD Dr. Andreas Lemmer

Zur Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung, ist es unerlässlich, dass sowohl industrielle als auch private Sektoren weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Besonders im Bereich der Luftfahrt, sowie im Schiffs- und Schwerlastverkehr wo die fortschreitende Elektromobilität nur schwer Einzug halten wird, stellen biologische Kraftstoffe eine kostengünstige Alternative zu fossilen Antrieben dar. In diesem Zuge ist der Einsatz von Bio-CNG (komprimiertes Biomethan) oder Bio-LNG (verflüssigtes Biomethan) aus nachwachsenden Roh- und Reststoffen im Schwerlast- und Seeverkehr sowie in Bau- und Landmaschinen ein für die Zukunft vielversprechendes Nutzungskonzept.

Ziel des Forschungsvorhabens ProBioLNG ist es, durch anwendungsorientierte Grundlagenforschung eine innovative und hocheffiziente Prozesskette zur kostengünstigen Erzeugung von biomethanbasierten Kraftstoffen zu entwickeln. Diese biomethanbasierten Kraftstoffe können verflüssigt als Bio-LNG im Schwerlast-, See-, Bau- und Landmaschinenbereich eingesetzt werden. Dazu engagieren sich Akteure aus Wissenschaft und Wirtschaft, um gemeinsam vorhandene und vollkommen neuartige Technologien zu einer neuen Prozesskette zu vernetzen.

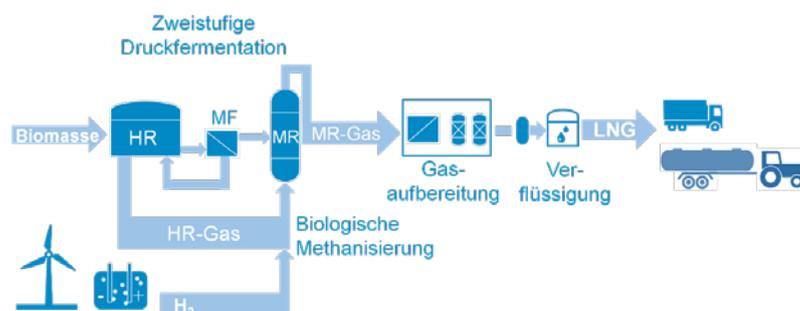
Das gesamte Forschungsvorhaben wird dabei von der Landesanstalt koordiniert. Die Landesanstalt untersucht in ProBioLNG die zweistufige Druckfermentation von Biomasse und die anschließende biologische Wasserstoff-Methanisierung (Power-to-Gas) zur Biomethan- und anschließenden Kraftstofferzeugung. Die Untersuchungen zur Druckfermentation werden sowohl im Technikums-, als auch im Pilotmaßstab durchgeführt. Dafür wird in Kooperation mit den Projektpartnern eine Demonstrationsanlage am Standort „Unterer Lindenhof“ entwickelt und aufgebaut. Im Anschluss an den Anlagenaufbau werden Versuche im vollständigen gekoppelten Betrieb durchgeführt, um das Potential der ProBioLNG Prozesskette in Gänze aufzuzeigen.

Im zweiten Projektjahr startete das Detailengineering für die geplante Pilotanlage sowie erste Baumaßnahmen. Außerdem wurde im Labor die biologische Wasserstoffmethanisierung hinsichtlich geplanter Prozessbedingungen untersucht. Mit Hilfe einer projekteigenen Homepage hat die Öffentlichkeitsarbeit gestartet.

Förderung:  
Projekträger Jülich (PtJ)

Partner:  
DVGW-Forschungsstelle  
am Engler-Bunte-Institut  
KIT Mobima  
Class selbstfahrende  
Erntemaschinen GmbH  
AirLiquide Forschung  
und Entwicklung GmbH

Laufzeit:  
Sep. 2019 – Aug. 2022



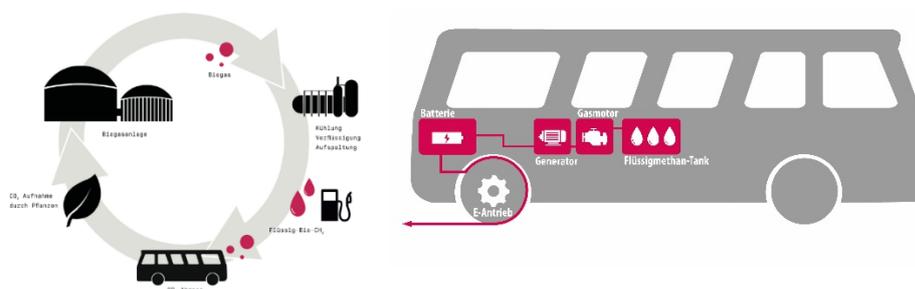
*Innovative Prozesskette zur Herstellung von Bio-CNG und Bio-LNG mit zweistufiger anaerober Vergärung bestehend aus Hydrolysereaktor (HR), Membranfiltration (MF), Methanreaktor (MR) gefolgt von einer biologischen Wasserstoff-Methanisierung (BHM) und anschließender Gasaufbereitung*

## Industrielle Forschung zur Prozesskette der Kraftstofferzeugung und des Betriebs von Linienbussen mit bio-LNG und bio-CNG aus Abfall- und Reststoffen (NeoBus – negative Emission ÖPNV)

Zur Erreichung der Klimaziele der Bundesregierung, ist es unerlässlich, dass sowohl industrielle als auch private Sektoren weniger CO<sub>2</sub>-Emissionen verursachen. Dafür wurde von der EU unter anderem die Clean Vehicle Directive (CVD) verabschiedet, die zu niedrigeren Emissionen vor allem in Städten führen soll. Derzeit halten Busunternehmer jedoch weder Elektroantriebe noch Wasserstoff-Brennstoffzellen-Hybridtechnologien für den regionalen ÖPNV aus technischer und ökonomischer Sicht für geeignet. Komprimiertes Biomethan (bio-CNG) bzw. verflüssigtes Biomethan (bio-LNG) hingegen, kann sowohl geforderte Standards erfüllen, als auch dezentral in ausreichender Menge erzeugt werden.

Inhalt des Projektes ist die industrielle Forschung zum Betrieb von Linienbussen mit on-Farm erzeugtem bio-LNG bzw. bio-CNG mit dem Gesamtziel, die CO<sub>2</sub>-Emissionen auf weniger als 0 kg je Kilometer zu senken. Dabei sollen die gesamten Prozessketten von der on-farm Erzeugung von bio-LNG und bio-CNG über die Tanklogistik, die Anpassung der Busse in Reichweite und Leistung an die Anforderungen des öffentlichen Regionalverkehrs bis zur benötigten Tank- und Werkstatttechnik vergleichend evaluiert werden. Als Antriebskonzepte kommen ein bio-LNG Hybridkonzept (Elektroantrieb mit Rekuperation und Nachspeisen der Batterie über Gasmotor) sowie ein mit bio-CNG betriebener Bus mit Gas-Otto-Motor zum Einsatz. Neben den ökonomischen und technischen Aspekten sollen vor allem die Treibhausgasbilanzen der beiden Prozessketten bio-LNG und bio-CNG unter Praxisbedingungen vergleichend untersucht werden. Aufbauend auf dem laufenden Verbundvorhaben ProBioLNG validiert die Landesanstalt im Rahmen des Projektes NeoBus die on-Farm Erzeugung von methanbasierten Kraftstoffen. Dazu wird zunächst die technische Planung und Beschaffung einer mobilen LNG-Tankstelle für den Betrieb am „Unteren Lindenhof“ durchgeführt. Im Anschluss erfolgen Aufbau, Installation und Inbetriebnahme der bio-LNG Tankstelle an der Pilotanlage. Zuletzt sollen während der gesamten Betriebszeit Daten erhoben werden, um eine qualitative und quantitative Aussage über die Funktionalität der LNG-Produktion zu erhalten.

Zu Beginn des Projektes steht die Fertigstellung der Pilotanlage des ProBioLNG Verbundvorhabens im Vordergrund. Zusätzlich wird die Beschaffung einer LNG-Tankstelle vorangetrieben. Außerdem wurden erste Gespräche mit dem Unterauftragnehmer CM Fluids bezüglich einer CO<sub>2</sub>-Bilanzierung sowie einer möglichen Zertifizierung der hergestellten Kraftstoffe nach RED II besprochen.



Nachhaltiger Kreislauf für bio-methanbasierte Kraftstoffe und Fahrzeugkonzept von CM Fluids



M.Sc. Elena Holl

PD Dr. Andreas Lemmer

**Förderung:**  
 Projektträger Jülich (PTJ)  
 Projektträger des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (VDI/VDE/IT)

**Partner:**  
 Lauer&Weiss GmbH  
 Bottenschein Reisen GmbH  
 Duelli Energie GbR  
 Omnibusverkehr Bühler GmbH & Co. KG

**Laufzeit:**  
 Okt. 2021 – März 2023

## BIOGAS PROGRESSIV – zukunftsweisende Strategien für landwirtschaftliche Biogasanlagen (ProBiogas)



Dr. Benedikt  
Hülsemann

Dr. Hans Oechsner

Eine Vielzahl von Ansätzen für eine optimierte Biogasproduktion ist von Hochschulen, landwirtschaftlichen Forschungsanstalten und der Industrie bereits entwickelt und erprobt worden. Eine Evaluierung dieser Ansätze im Hinblick auf die Nutzbarkeit in praxistauglichen Geschäftsmodellen und ein auf die Betreiber von Biogasanlagen und die Biogasberatung ausgerichtetes Informationsangebot zu dieser Optimierung fehlen allerdings bislang. Diese Lücke wird das Projekt „BIOGAS PROGRESSIV“ schließen. Ziel ist ein umfangreiches Informationsangebot mit dessen Hilfe Anlagenbetreiber und Berater in die Lage versetzt werden, passende Konzepte für Biogasanlagen zu identifizieren und weiterzuentwickeln.

Um dieses Ziel zu erreichen, wird zunächst eine umfassende Datenerhebung zu innovativen Konzepten bei Forschungseinrichtungen, Herstellern von Biogasanlagen und Anlagenkomponenten durchgeführt. Diese Daten bilden, zusammen mit den bereits vorhandenen Informationen, die Basis für die Entwicklung und Evaluierung von Optimierungsmaßnahmen. Diese Maßnahmen wiederum werden zu Verfahrensmodellen kombiniert, die tragfähige Geschäftsmodelle für den Betrieb von Biogasanlagen darstellen. Alle Maßnahmen und Modelle werden technisch, ökonomisch und ökologisch evaluiert unter anderem mit Hilfe von an Praxisanlagen durchgeführten Machbarkeitsstudien.

Im Ergebnis steht ein umfangreiches und fachlich abgesichertes Informationsangebot für Anlagenbetreiber, die landwirtschaftliche Beratung, Planungsbüros, Kommunen, Genehmigungsbehörden, Banken und Investoren zur Verfügung. Auch Entscheidungsträger aus Politik und Verwaltung werden adressiert. Der Know-how Transfer findet mit Hilfe von kostenfreien Online Anwendungen, zielgruppenspezifischen Fachveranstaltungen, einem Fachportal auf der KTBL-Homepage und Publikationen in verschiedenen Formaten statt.

### Förderung:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

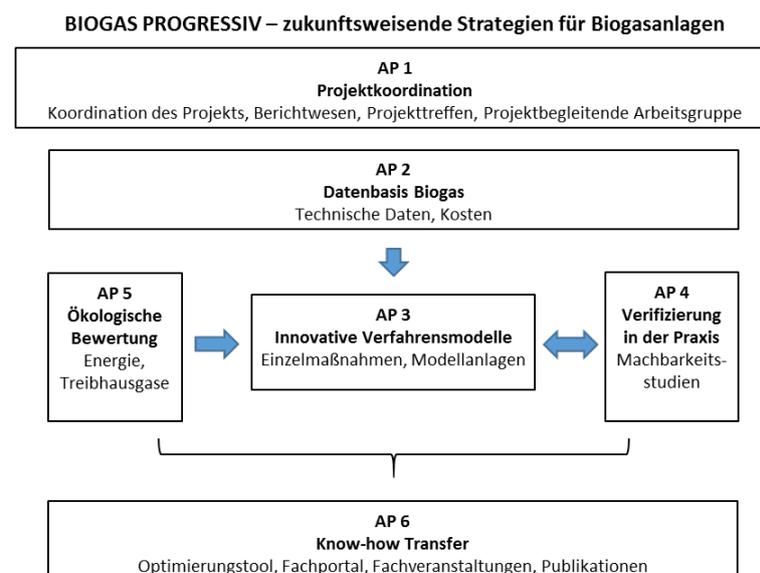
Fachagentur für Nachhaltige Rohstoffe e.V.

### Partner:

Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e. V. (KTBL), Darmstadt  
Landwirtschaftskammer Niedersachsen, Fachbereich Energie, Bauen, Technik, Oldenburg

### Laufzeit:

Dez. 2017 – Juli 2021



## Entwicklung von umsetzbaren Strategien zur Minderung bzw. Vermeidung von klimarelevanten Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung unter besonderer Berücksichtigung der baden-württembergischen Agrarstruktur (MLR-Emissionen)

Das Klimaschutzprogramm 2030 der Bundesregierung legt das Ziel fest, die Methanemissionen bei der Wirtschaftsdüngerlagerung stark zu reduzieren. Dazu wird neben der Erhöhung der Wirtschaftsdüngervergärung in Biogasanlagen mit anschließender gasdichter Gärrestlagerung auch die gasdichte Lagerung von Gülle genannt. Wenn solche Lagerbehälter allerdings nicht in Zusammenhang zu einer Biogasanlage stehen, sind damit Risiken für den Betreiber verbunden. Es entsteht auch bei unbeheizten Lagerbehältern Methan, das zusammen mit Luft explosionsfähige Gemische ergeben kann.

Auf der anderen Seite existieren allerdings technische Möglichkeiten, die Gülle über Biogasanlagen zu verwerten, um damit unkontrollierte Methanemissionen weitgehend zu vermeiden und die damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu mindern. In Baden-Württemberg macht der Wirtschaftsdünger aus der Rinderhaltung mit rund 75% den größten Teil des Potentials der theoretischen Wirtschaftsdüngervergärung aus. Derzeit werden im Land nach eigenen Schätzungen allerdings nur rund 25% des anfallenden Wirtschaftsdüngers in Biogasanlagen energetisch genutzt. In Baden-Württemberg gibt es aktuell knapp 1.000 Biogasanlagen. Diese stehen schwerpunktmäßig in den Regionen, in denen auch die Tierhaltungsdichte am höchsten ist. Somit sollte es in vielen Fällen räumlich möglich sein, Wirtschaftsdünger mit überschaubaren Transportentfernungen an bestehende Biogasanlagen zu bringen.

Ziel dieser Studie ist es zu überprüfen, wie eine verbesserte Nutzung der anfallenden Gülle und des bisher ungenutzten Festmistes über die Biogastechnologie möglich ist, und welche zusätzlichen Förderanreize notwendig sind. Die Untersuchung soll exemplarisch in zwei Regionen (Hohenlohe und Oberschwaben) durchgeführt werden

Folgende Lösungsansätze sollen für die Regionen beispielhaft dargestellt werden:

- Kleine Biogasanlagen an Einzelbetrieben (weniger als 75 kW theoretisches Potential).
- Transport von frischer Gülle zu bestehenden Biogasanlagen in der Nähe.
- Gemeinschaftsbiogasanlagen, ggf. kombiniert mit Gemeinschaftslager.
- Einsatz von Separatoren zur Fest-Flüssig-Trennung (Erhöhung Transportwürdigkeit).



*Projektbetrieb mit Biogasanlage über 75 kW, welche mit Wirtschaftsdünger beliefert werden könnte. Varianten für die Umstellung auf reine Güllelagerung und in Verbindung mit 20% Festmist oder NaWaRo werden berechnet*



M.Sc. Bastian Kolb



B.Sc. Teresa Knill

Dr. Hans Oechsner

### Förderung:

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg

### Partner:

Institut für Agrartechnik Universität Hohenheim

Landwirtschaftliches Zentrum für Rinderhaltung, Grünlandwirtschaft, Milchwirtschaft, Wild und Fischerei Baden-Württemberg (LAZBW)

### Laufzeit:

Apr. 2021 – Apr. 2022

## Entwicklung und Bau einer neuartigen, kostengünstigen, inputflexiblen und effizienten FEststoffBIOgasanlage bis 75 kWel. (FeBio)



Dr. Benedikt  
Hülsemann

Dr. Hans Oechsner

Zur Biogaserzeugung sollen in Zukunft hauptsächlich Reststoffe genutzt werden. Insbesondere für geringe, dezentral anfallende Reststoffmengen im ländlichen Raum ist der Einsatz von Kleinanlagen bis zu einer Bemessungsleistung von 75 kWel. eine technisch sinnvolle Lösung. Aktuell sind kleine Nassvergärungsanlagen primär auf Güllenutzung ausgelegt und der Einsatz fester Reststoffe ist nur eingeschränkt möglich. Für Reststoffe mit hohen TS-Gehalten, wie z.B. Pferdemist, ist daher eine aufwändige Vorbehandlung nötig. Die aus technischer Sicht geeignetere Alternative der Feststoffvergärung (TS >20%) weist aktuell für Kleinanlagen unwirtschaftliche Stromgestehungskosten von >20 Cent/kWhel auf.

Es soll ein Feststofffermenter mit Investitionskosten unter 8.000 €/kWel. entwickelt werden, um für kleine Anlagen Stromgestehungskosten von weniger als 15 Cent/kWhel. zu ermöglichen. Dazu sind geringe Baukosten, geringe Transport- und Lagerkosten, eine regionale Nutzung der Reststoffe sowie die Realisierung in einer Art Bauherrnmodell vorgesehen.

Mit dem Bau und Betrieb eines Prototyps unter realen Einsatzbedingungen werden Projektierungs- und Betriebserfahrungen gesammelt. Im laufenden Betrieb fließen Optimierungen auf Basis von Betriebserfahrungen mit unterschiedlichen Substraten und Betriebszuständen ein. Der Anpassungsbedarf bestehender rechtlicher Regelungen wird entlang der gesamten Projektionskette ermittelt. Bei Nachweis der wirtschaftlichen und technischen Machbarkeit wird im Anschluss eine Anlage durch das beteiligte KMU zur endgültigen Marktreife gebracht.

Die Aufgaben der Landesanstalt im Projekt sind die Erstellung eines Substratmanagementkonzeptes und das Monitoring und die Optimierung des Anlagenbetriebes im Hinblick auf Substrate und Gaserträge. Die Substratquellen wurden erschlossen. Aktuell soll zeitnah die Erteilung der Baugenehmigung folgen um den Bau der Anlage beginnen zu können.

Förderung:  
Bundesministerium für  
Wirtschaft und Energie  
(BMWi)  
Projektträger Jülich (PtJ),

Partner:  
IZES gGmbH  
Ökobit GmbH

Laufzeit:  
Jan. 2020 – Dez. 2023



*Feststofffermentationsanlage (Pertagnol, 2019)*

## DEMETHA – De-Methanisierung von Flüssigmist: Intelligente Energieversorgung im ländlichen Raum durch flexible Energiebereitstellung mit Güllekleinanlagen

In Deutschland ist die Landwirtschaft für über 59% der Methan- und 95% der Ammoniakemissionen verantwortlich (Umwelt Bundesamt, Umwelt und Landwirtschaft 2018). Dabei sind die wichtigsten Quellen von Methan die Emissionen während des tierischen Verdauungsprozesses von Wiederkäuern und Emissionen durch die Lagerung von Festmist und Gülle.

Zielsetzung des Projektes Demetha ist die Entwicklung hochgradig standardisierter Güllekleinanlagen für landwirtschaftliche Betriebe mit einem Tierbestand ab ca. 150 Großvieheinheiten (GV). Diese Güllekleinanlagen beruhen auf dem Konzept der Hohenheimer zweistufigen Güllevergärung, bestehend aus einem Rührkessel- und einem Festbettreaktor mit einer Rückführung nicht abgebauter Faserstoffe zwischen den beiden Prozessstufen. Diese standardisierten Anlagen bieten ein sehr großes Übertragungspotenzial auf eine Vielzahl von landwirtschaftlichen Betrieben, nicht nur in Deutschland. Durch die Entwicklung dieser Standardanlage könnte zum einen der Rohstoff Flüssigmist flächendeckend erschlossen werden und zum anderen die mit der Lagerung verbundenen Treibhausgasemissionen erheblich reduziert werden.

Das gesamte Forschungsvorhaben wird dabei von der Landesanstalt koordiniert. Die Landesanstalt untersucht die zweistufige Güllefermentation im Labormaßstab und ist gemeinsam mit der Hochland Natec GmbH maßgeblich für die Auslegung und Projektierung der möglichen Pilotanlage verantwortlich. Begleitet wird das Vorhaben von der Renergie e.V. welche unter anderem das technische nutzbare Rohstoffpotential ermittelt und eine ökologische Betrachtung der Prozesse vornimmt.

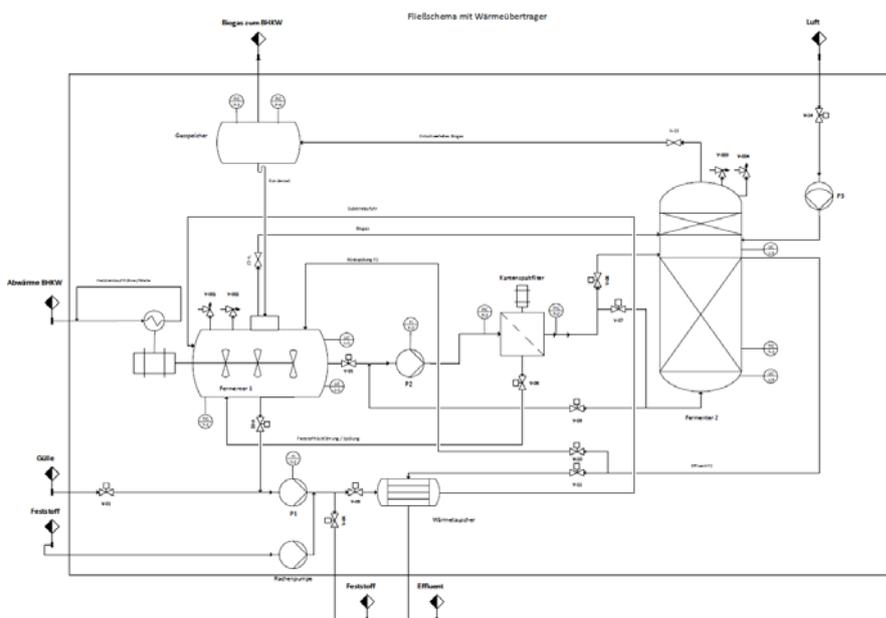
Im ersten Projektjahr wurde für die geplante Standardanlage die Massenbilanz erstellt, das Rohstoffpotential ermittelt und eine mögliche Pilotanlage ausgelegt.



M.Sc. Jörg Steinbrenner

M.Sc. Elena Holl

PD Dr. Andreas Lemmer



Fließschema der zweistufigen Güllekleinanlage bestehend aus einem Rührkesselfermenter und einem Festbettreaktor mit zwischengeschaltetem Kantenspalfilter

Förderung:  
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)  
Fachagentur Nachhaltige Rohstoffe e.V. (FNR)

Partner:  
renergie Allgäu e.V.  
Hochland Natec GmbH

Laufzeit:  
Sep. 2020 – Aug. 2021

## Mechanische Desintegration lignocellulosehaltiger Substrate mit Hilfe einer Kugelmühle zur Substrataufbereitung und Flexibilisierung der Biogaserzeugung (FLEX – CRASH)



M.Sc. René Heller

Dr. Benedikt Hülsemann

Dr. Hans Oechsner

Die Nutzung lignozellulosehaltiger Reststoffe wie Pferdemist, Landschaftspflegematerial oder Stroh aus der Landwirtschaft bilden einen neuen Verwertungsweg für die Biogaserzeugung. Da diese Substrate in aller Regel hohe Trockenmasse-, wie auch hohe Ligningehalte aufweisen, bedarf es einer speziellen Vorzerkleinerung zur Verwertung in der Biogasanlage. Ohne diese Vorzerkleinerung kommt es zu einer unvollständigen und langsamen Abbaubarkeit der Gärsubstrate. Dies geht mit niedrigen Methanerträgen und einer daraus folgenden unwirtschaftlichen Betriebsweise einher. Weiter entstehen ohne eine Aufbereitung verfahrenstechnische Probleme, wie zum Beispiel verstärkter auftretende Schwimmschichten und ein höherer Rühraufwand im Fermenter. Die mechanische Aufbereitung mittels einer Kugelmühle kann die Kinetik des Abbau- und Gasbildungsprozesses beschleunigen, sowie den daraus resultierenden Methanertrag ungenutzter Reststoffe, die Prozesssicherheit und Wirtschaftlichkeit erhöhen und gleichzeitig einen wichtigen Beitrag zur flexiblen und nachhaltigen Stromproduktion beisteuern.

Ziel des Projektes ist es die Kugelmühle weiterzuentwickeln, sowie konstruktiv und verfahrenstechnisch so zu optimieren, dass ligninhaltige Substrate für die flexible Biogasproduktion optimal aufbereitet werden können. Daraus resultierend sind betriebstechnische sowie wirtschaftliche Vorteile zu erwarten, welche die Nutzung von Nebenprodukten und Reststoffen aus der Landwirtschaft in Biogasanlagen attraktiv machen und zudem einen Teil der bisher für die Biogasanlage produzierten NaWaRos kompensieren könnten. Dies würde eine Verbesserung der CO<sub>2</sub>-Bilanz der gesamten Prozesskette darstellen und zur Zukunftsfähigkeit von Biogasanlagen beitragen.

Erste Aufbereitungsversuche mit Pferdemist und Stroh konnten bereits an einem Prototypen der ersten Generation durchgeführt werden, welcher sich an dem landwirtschaftlichen Betrieb eines Projektpartners in Balingen befindet. Dabei wurde ein Mehrertrag an Methan (Hohenheimer Biogasertragstest) und eine deutliche Zerkleinerung (Siebanalyse) im Vergleich zu der unaufbereiteten Variante festgestellt. Die Aufbauarbeiten und Einbindung des Prototyps und der Förderschnecken in die Biogasprozesskette, sowie die Planung der schall- und wetterschützenden Umhausung starteten im Sommer 2021. Nach der noch ausstehenden finalen Inbetriebnahme kann die Anlage im täglichen Betrieb zur Substratzerkleinerung eingesetzt werden und die Effekte der Aufbereitung auf den Methanertrag und die Umsetzungskinetik bewertet werden. Darüber hinaus wird die Möglichkeit der flexiblen Erzeugung von Biogas durch die Substrataufbereitung von landwirtschaftlichen Reststoffen in der Kugelmühle geprüft.

### Förderung:

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)  
 Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

### Partner:

Institut für Agrartechnik  
 Universität Hohenheim  
 Biokraft Energietechnik GmbH  
 Bio-Energie Heuberg GmbH & Co. KG

### Laufzeit:

Okt. 2020 – Sep. 2023



Aufbau und Einbindung des Kugelmühlen-Prototypen an der Forschungsbiogasanlage „Unterer Lindenhof“

## Abwasserfreier Umwelt-Campus Birkenfeld - neue Technologien in der Gebäudesanierung für eine zukunftsfähige Ressourcenwirtschaft (Re-Lab)

Anhand eines konkreten Anwendungsobjektes - einem bestehenden Studentenwohnheim am Umwelt-Campus Birkenfeld (UCB) der Hochschule Trier - soll ein innovatives Recyclingkonzept für Abwässer und organische Reststoffe in den Gebäudebestand implementiert werden. Das Konzept basiert auf der getrennten Erfassung und Nutzung der Abwasser- und Biomassepotenziale. Für die nachträgliche getrennte Erfassung der Abwasserströme soll erstmals ein neu entwickeltes Doppel-Inliner-Verfahren eingesetzt werden, das eine Abtrennung des Fäkalabwassers in bestehenden Gebäuden ermöglicht. Über ein Unterdrucksystem wird das Fäkalabwasser, gemeinsam mit anfallendem Biomüll, einer anaeroben Verwertung zur Produktion von Biogas zugeführt, während das Grauwasser für unterschiedliche Nutzungen aufbereitet wird.

Zielsetzung der Arbeiten der Universität Hohenheim ist es, das Schwarzwasser bzw. die Schwarzwasser-Biomüll-Mischung auf die anaerobe Abbaubarkeit zum Zwecke der Biogasproduktion hin zu überprüfen. Dazu wurden zum einen Methanertragstests des Schwarzwassers und der Speisereste und zum anderen kontinuierliche Gärtests zur Ermittlung der möglichen Raumbelastung und Verweilzeit durchgeführt. Dabei wurde der konventionelle einstufige Betrieb mit dem zweistufigen Biogasanlagen verglichen. Flankiert wurden diese Untersuchungen mit Analysen zu Nährstoffgehalten des Substrates und Schwermetallgehalten bzw. Medikamentenrückstände des Gärrestes.

Die Ergebnisse des Projektes liefern erste, konkrete Anhaltspunkte zum Betrieb einer Praxisanlage am Umwelt Campus Birkenfeld, die mit Schwarzwasser und Speiseresten beschickt wird. Aus Sicht der Prozessbiologie ist die Substratkombination Speisereste plus Schwarzwasser sehr positiv zu bewerten. In den durchgeführten Untersuchungen wurden in keiner Prozessphase Störungen der Gärbiologie beobachtet.



PD Dr. Andreas Lemmer

Dr. Simon Zielonka

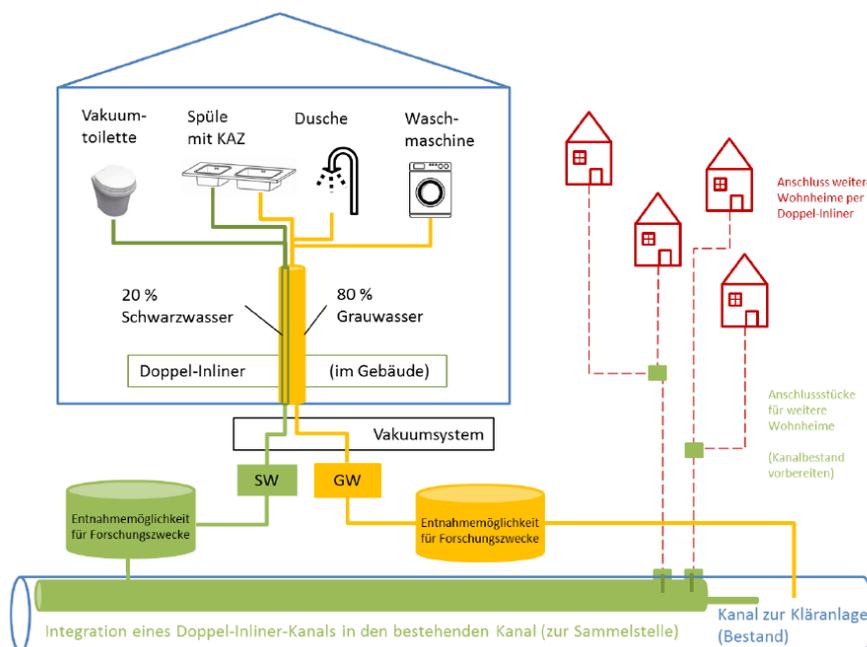


Illustration der umgesetzten Baumaßnahmen am Umweltcampus Birkenfeld zur getrennten Erfassung der Abwässer (Schwarz- und Grauwassertrennung) (Quelle: Ifas, 2022)

Förderung:  
Forschungsinitiative Zukunft Bau

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumforschung

Partner:  
Ifas, Hochschule Trier (Koordination)

Aqseptence Group GmbH,

Björnsen Beratende Ingenieure GmbH

Campus Company GmbH

TU Kaiserslautern, FG Ressourceneffiziente Abwasserbehandlung

Laufzeit:  
Okt. 2017 – Mai. 2021

## Growing Advanced industrial Crops on marginal lands for bioRefineries (GRACE)



M.Sc. Tahir Khan

Dr. Johannes Krümpel

PD Dr. Andreas Lemmer

Das BBI Demonstrationsprojekt "Growing Advanced industrial Crops on marginal lands for bioRefineries" (GRACE) ist ein 15 Millionen € Projekt, das die Optimierung verschiedenster Wertschöpfungsketten für Miscanthus und Hanf zum Ziel hat.

Das Konsortium aus 22 Projektpartnern setzt sich aus Universitäten, landwirtschaftlichen Unternehmen und Industrie zusammen. Geleitet wird das Projekt von der Universität Hohenheim.

Ziel des Projektes ist es nachhaltige Produkte mit einem starken Markt-Potenzial zu produzieren, um eine verlässliche Versorgung nachhaltig produzierter Biomasse zu gewährleisten, sowie Biomasse-Produzenten mit der verarbeitenden Industrie besser zu vernetzen. Um die Konkurrenz zu Nahrungs- und Futtermitteln zu vermeiden, wird Miscanthus und Hanf auf marginalen Flächen angebaut, die beispielsweise mit Schwermetallen kontaminiert sind oder die anderweitig, z.B. aufgrund niedrigerer Erträge, unattraktiv für die Nahrungsmittelproduktion sind.

Im Rahmen des Projekts GRACE hat die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie die Aufgabe, das Biogaspotenzial des bei der Hydroxymethylfurfural-Synthese (HMF) aus Miscanthus-Biomasse anfallenden Prozessabwassers zu bewerten. HMF ist eine Plattformchemikalie, die unter anderem für die Produktion von Kunststoffprodukten verwendet wird. Durch die Nutzung der beim anaeroben Abbau entstehenden Gärreste als Düngemittel wird der Nährstoffkreislauf geschlossen.

### Förderung:

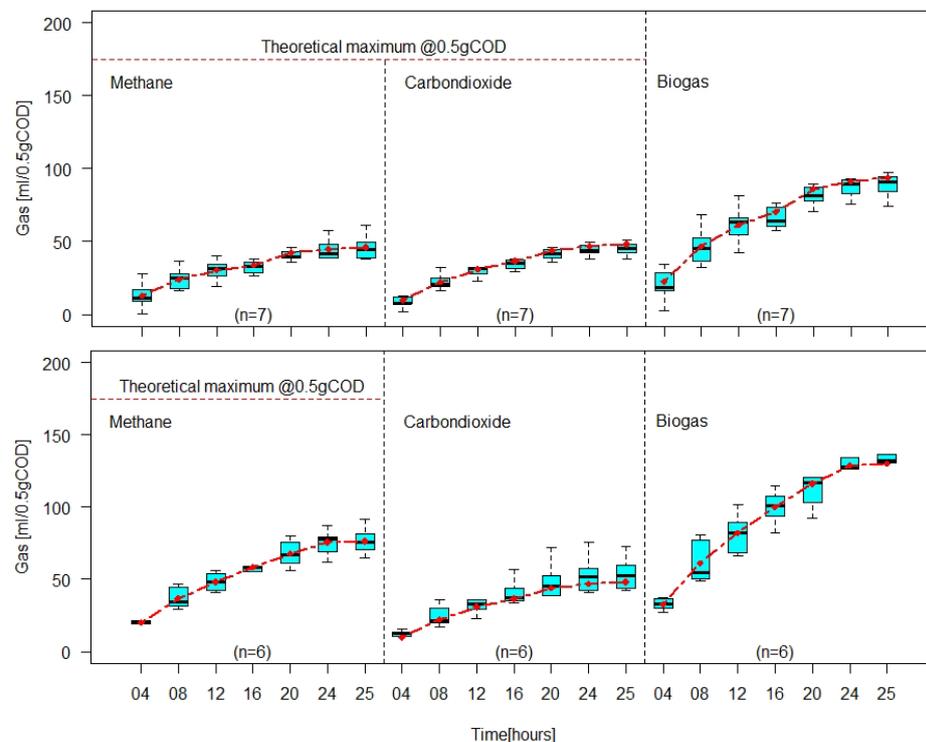
Bio-based Industries  
Joint Undertaking  
(BBI JU)

### Partner:

Wageningen University  
INRA  
Aberystwyth University  
Università Cattolica del  
Sacro Cuore  
University of Zagreb  
Novamont S.p.A.  
Mogu Srl  
AVA Biochem BSL AG  
Addiplast SA  
INA d.d.  
Indena SpA  
C.M.F. GREENTECH  
S.R.L.  
Consorzio di Bonifica di  
Piacenza  
Gießereitechnik Kuehn  
Ecohemp S.r.l.  
Miscanthusgroep  
Terravesta  
Vandinter-Semo  
NovaBiom  
Johannes Furtlehner  
Cluster SPRING

### Laufzeit:

Juni 2017 – Nov. 2022



Kumulative Gasproduktion (Methan, Kohlendioxid und Biogas) in einem kontinuierlichen anaeroben Prozess für Hydroxymethylfurfural (oben) und Hydroxymethylfurfural-Prozess-Abwasser (unten)

## Untersuchung der Vergärbarkeit, des Methanpotentials und der Prozessstabilität in Anaerob-Festbettreaktoren bei der Verwertung von Molkerei-Abwässern (KWA)

Bei der Produktion von Joghurts in der Molkerei fällt ein organikhaltiger Reststoff an, der zu großen Teilen aus Spülwasser, sowie aus Molke und dem Waschwasser aus der Becherpresse besteht. Dieser Reststoff kann für Biogasanlagen eine interessante und kostengünstige Alternative zu den üblichen Substraten darstellen.

Um die Vergärbarkeit und das Potential des Substrates abzuschätzen, werden in dem Kooperationsprojekt mit der KWA Contracting AG zunächst Versuche mit Abwässern aus industriellen Molkerei-Betrieben im Hohenheimer Biogasertragstest durchgeführt. Zudem werden vegane Joghurts auf ihr Potential hin untersucht.

Aufgrund des geringen TS-Gehalts, ist bei Vergärung in einem Rührkesselreaktor zu beachten, dass ein großes Volumen an Wasser mit durch die Biogasanlage geschleust wird, was bei hoher benötigter hydraulischer Verweilzeit zu großen Behältervolumen führt. Eine gute Alternative dazu können daher Festbettreaktoren mit hoher Umsatzleistung und einer daher deutlich geringeren hydraulischen Verweilzeit darstellen. In diesem Forschungsvorhaben sollen die Abwässer aus einem industriellen Molkerei-Betrieb untersucht werden, um Informationen zur Auslegung eines Festbettreaktors im Praxismaßstab zu gewinnen. Besonderer Fokus wird dabei auf die Prozessstabilität und Abbaugrade bei unterschiedlichen Raumbelastungen gelegt. Die Untersuchungen werden durch detaillierte chemische Analysen der In- und Outputströme begleitet.

Die Ergebnisse zeigen, dass die untersuchten Molkereiabwässer sich hervorragend für die Vergärung eignen und hohe Methanerträge liefern. Der Einsatz dieser Substrate ist bisher in der Praxis noch selten und sollte ausgedehnt werden.



Dr. Benedikt Hülsemann



M.Sc. Tahir Khan



Dr. Johannes Krümpel

Dr. Hans Oechsner



Substratvorbereitung: Filtration (links) und Mischung (rechts) des Molkereiabwassers

Partner & Förderung:  
KWA Contracting AG

Laufzeit:  
Okt. 2020 – Jan. 2021

## Demonstration von Trockenfermentationsverfahren und Optimierung der Biogastechnologie für ländliche Gemeinden der MENA-Region (BiogasMena)



M.Sc. Nadiia Nikulina

Dr. Hans Oechsner

### Förderung:

ERANETMED

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR)

### Partner:

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie - Universität Hohenheim (Koordination)

FnBB e.V.

Institut National de la Recherche Agronomique (INRA)

Nenufar SAS

ERM Energies

University of Verona

Fundación IMDEA Energy

Agricultural University of Athens

University of Cyprus Nireas-IWRC

RTD TALOS Limited

S.K. Euromarket LTD

Centre de Biotechnologie de Sfax

EGE University

Universite Sciences et Technologie d'Oran (USTO)

Cairo University

### Laufzeit:

Sep. 2017 – Feb. 2021

In ländlichen Gebieten der MENA-Region (Nordafrika, Südeuropa) stehen die Gemeinden vor mehreren Herausforderungen: unzureichende Infrastruktur für die Abfallbehandlung, begrenzter Zugang zu kostengünstiger Energie, insbesondere Strom, Böden mit schlechter Fruchtbarkeit und Wasserrückhaltekapazität.

Das Projekt zielt auf die Produktion von Biogas aus organischen Abfällen ab. Dies kann zum Kochen oder bei größeren Anlagen zu Strom umgewandelt werden. Aus den Gärresten wird hochwertiger, pathogen-freier Kompost.

Das Projekt hat die folgenden Ziele:

- Laborversuche zur Prozessoptimierung der Trockenvergärung
- Methanertragspotenzialbestimmungen der Substrate aus der MENA-Region und Charakterisierung des Gärrests
- Planung, Installation und Betrieb einer kleinen Demonstrationsanlage von 5 m<sup>3</sup> mit einer geplanten elektrischen Leistung von 500 W in Tunesien
- Erstellen von Ökobilanzen und techno-ökonomischen Analysen
- Ausbildung junger Wissenschaftler aus der ERA- und MENA Region in Hohenheim mehrmonatiger Aufenthalt der Doktoranden aus Algerien, der Türkei und Griechenland
- Informationen über die Biogastechnologie für die Forschung, für Landwirte in der MENA-Region und die Öffentlichkeit mittels der Projektwebsite, mit Workshops und Projektkonferenzen.

Zur Optimierung des Trockenfermentationsprozesses wurden Laborversuche im halbertechnischen Maßstab durchgeführt. Kommunale organische Abfällen (Braune Tonne) wurden als Substrate verwendet. Optimale Substratmischung, Prozesstemperatur, Einfluss des Zusatzes von flüssigem Inokulum wurden untersucht. Es wurden drei verschiedene Verhältnisse von trockenem Inokulum/Substrat untersucht. Während der Versuche wurden die Prozessparameter Flüchtige Fettsäuren, TS/oTS, pH-Wert und Biogasqualität und Menge analysiert. Die Gärreste wurden im Hohenheimer Biogasertragstest weiteruntersucht



Batch-Reaktoren im Labor der Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (Nikulina, 2019)

## Anpassung von Mais-basierten landwirtschaftlichen Produktionssystemen zu Nahrungsmittel-, Futter- und Biomasseerzeugung an begrenzte Phosphatvorräte (AMAIZE – P)

In Kollaboration mit der Agricultural University of China in Peking hat die Universität Hohenheim im November 2018 das Internationale Graduiertenkolleg (IRTG) mit dem Namen "Anpassung von Mais-basierten landwirtschaftlichen Produktionssystemen zu Nahrungsmittel-, Futter- und Biomasseerzeugung an begrenzte Phosphatvorräte", kurz AMAIZE – P gestartet.

Das interdisziplinäre Projekt umfasst den gesamten Phosphatkreislauf in der Landwirtschaft von der Pflanzenernährung über die menschliche und tierische Ernährung bis zur Nährstoffrückgewinnung und eine ökonomische Bewertung in insgesamt 12 Unterkapiteln. Die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie ist Teil des Forschungsfeldes 3.3.

Der Fokus der ersten drei Projektjahre lag auf der Erforschung des chemischen Verhaltens von Phosphat in tierischen Exkrementen während der anaeroben Vergärung. Um die Veränderung der Phosphatsalze zu evaluieren wurde eine sequentielle Extraktion (Fraktionierung) verwendet. Die resultierenden Fraktionen, von wasserlöslichem zu magnesium- und calciumgebundenem bis hin zu eisen- und aluminiumgebundenem Phosphat spiegeln verschiedene kurz- und langfristige Pflanzenverfügbarkeiten wider. Kenntnisse über diese Veränderungen sind entscheidend für eine optimierte Gärrestnutzung als Dünger sowie Nährstoffrückgewinnung aus Gärresten.

Die Ergebnisse aus der ersten Projektphase von AMAIZE-P haben gezeigt, dass die häufig angewendete Hedley Fraktionierung für die Phosphatanalyse in Gärresten angepasst werden muss. Außerdem haben Experimente in Batch- und kontinuierlichen Biogasreaktoren gezeigt, dass Phosphat während der anaeroben Vergärung stetig mineralisiert wird. Das vereinfacht die Phosphatrückgewinnung als reines Phosphatsalz, wobei die mittlere- bis langfristige Phosphatverfügbarkeit erhöht und die kurzfristige Verfügbarkeit reduziert wird. Außerdem haben die kontinuierlichen Vergärungsversuche gezeigt, dass Prozessparameter wie die Faulraumbelastung und Temperatur die Phosphatums wandlung signifikant beeinflussen. Dabei führt eine geringe Faulraumbelastung insbesondere in calciumreichen Substraten zu einer schnelleren Pflanzenverfügbarkeit.



M.Sc. Konstantin Dinkler



M. Eng. Bowen Li

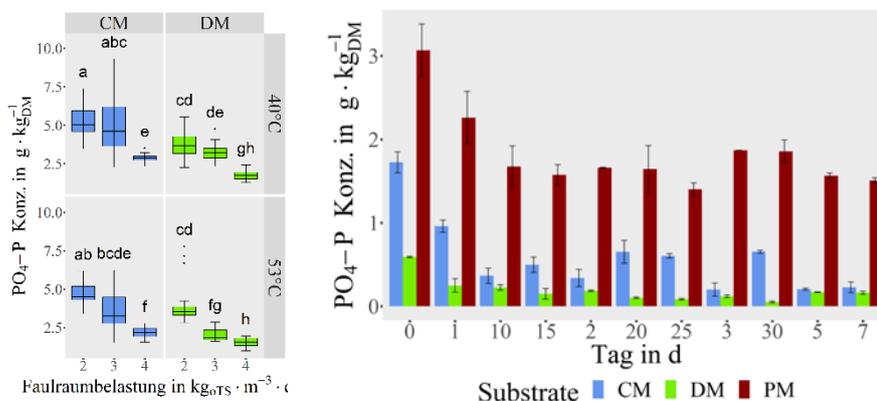


M.Sc. Naga Sai Tejaswi Uppuluri

Prof. Dr. Joachim Müller

Dr. Hans Oechsner

### Konzentration von wasserlöslichem Phosphat



Änderungen der Phosphatkonzentration in Abhängigkeit von der Faulraumbelastung und Temperatur in kontinuierlichen Systemen (links) und von der Zeit in Batchsystemen (rechts). CM: Gärrest aus Hühnerkot; DM: Gärrest aus Rindergülle; PM: Gärrest aus Schweinegülle

Förderung:  
Deutsche Forschungsgesellschaft (DFG)

Partner:  
China Agricultural University (CAU)  
Dr. Jianbin Guo  
M. Eng. Bowen Li

11 Institute der Universität Hohenheim

Laufzeit 1. Projektphase:  
Okt. 2020 – Okt. 2023

## Kombinierte Rückgewinnung von Stickstoff und Phosphor aus landwirtschaftlichen Gärresten unter Berücksichtigung des Kohlenstoffkreislaufs (NitroPhos)



M.Sc. Konstantin  
Dinkler

Bowen Li M. Eng.

Dr.-Ing. Anastasia Oskina

PD Dr. Andreas Lemmer

Phosphor, Stickstoff, Kalium und Kohlenstoff sind die wichtigsten Nährstoffe für die Landwirtschaft. In Deutschland fallen jährlich 82 mio. Kubikmeter nährstoffreicher Gärrest an. Dieser besteht zu 0,2% aus Phosphat und zu 0,25% aus Stickstoff, was 164.000 t  $P_2O_5$  und 205.000 t N pro Jahr entspricht.

Zielsetzung des Projektes ist die Ableitung einer bestmöglichen Verfahrenskombination zur Abscheidung von Ammonium-Stickstoff und Phosphat aus den Gärresten der Biogasanlagen in Baden-Württemberg. Ammonium-Stickstoff und Phosphat sollen dabei in hochkonzentrierte, mineralische Düngeprodukte mit einer hohen Transportwürdigkeit überführt werden. Gleichzeitig muss es das Ziel sein, die Technologien derart zu adaptieren, dass eine möglichst einzelbetriebliche Anwendung möglich wird, so dass aufwändige Transporte der Gärreste entfallen. Biogasanlagen sollen somit zu Anlagen des Nährstoffmanagements und der Erzeugung hochwertiger Düngemittel weiterentwickelt werden.

Das innovative Verfahren der Landesanstalt basiert auf einer mikrobiellen Elektrophorese zur Abscheidung der Phosphat-Ionen. Durch die Kombination biologisch-elektrochemischer Systeme (BES) mit dem Verfahren der Elektrophorese zur Phosphatabscheidung kann der Energiebedarf der Nährstoffgewinnung gegenüber konventionellen Verfahren voraussichtlich erheblich gesenkt werden. Nach derzeitigem Entwicklungsstand ist jedoch eine Vorbehandlung durch pH-Wert-Anpassung der Gärreste zur Phosphormobilisierung notwendig. Im Rahmen des Projektes wird daher eine pH-Wert Absenkung durch  $CO_2$  und eine Anhebung mit  $NH_3$  getestet.  $CO_2$  ist an Biogasanlagen im Biogas verfügbar und  $NH_3$  wird bei der Stickstoffrückgewinnung an Biogasanlagen als Zwischenprodukt produziert.

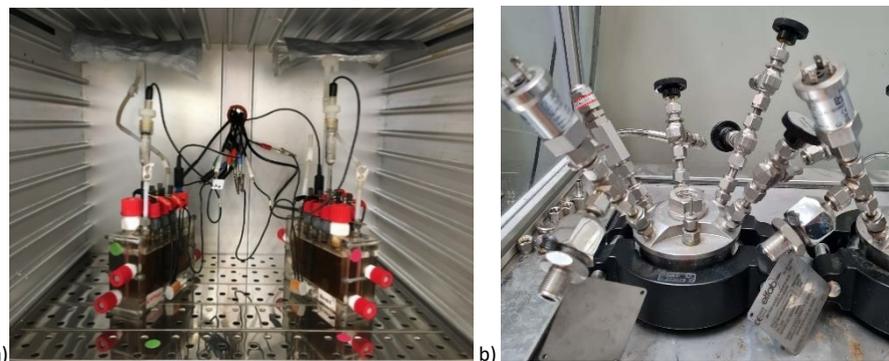
Im Rahmen des Projekts sollen die möglichen Verfahren zur Abscheidung von Ammonium-Stickstoff und Phosphat aus Gärresten unter den Gesichtspunkten der Ökologie und Ökonomie verglichen werden. Außerdem soll ihre Anwendbarkeit im Bereich der landwirtschaftlichen Biogasanlagen evaluiert werden um zu prüfen inwiefern die Technologien angepasst werden müssen und umgesetzt werden können.

### Förderung:

Projekträger des Ministeriums für Ernährung, Ländlichen Raum und Verbraucherschutz Baden-Württemberg (VDI/VDE/IT)

### Laufzeit:

Nov. 2021 – Jul. 2022



Ansicht der BES-Reaktoren in der Klimakammer (a) und Ansicht der Kristallablagerungen auf der Oberfläche der Kathode nach dem Experiment (b)

## Fungi2Fabric – Grundlagen- und anwendungsorientierte Untersuchungen zur Produktion von Pilzmyzel in ‚Solid-State-Fermentation‘ unter Verwendung von Agrarroh- und -reststoffen für die Anwendung als funktionale Materialien

In Bezug auf die aktuell vorherrschende Abfallproblematik ist die Erforschung neuartiger Materialien, die ‚Single-Use-Produkte‘ wie Verpackungen ersetzen können, essenziell. Als Beispiel ist hier erdölbasiertes Polystyrol zu nennen, das unter dem Handelsnamen Styropor® bekannt ist und aufgrund seiner vielen positiven Materialeigenschaften ein breites Anwendungsspektrum aufweist. Dieses gilt es in Zukunft mit umweltfreundlichen Alternativen zu substituieren.

Eine Möglichkeit dies zu erreichen, sind Myzel-Materialien, die sich die Eigenschaft von Pilzen zunutze machen, mit ihrem Hyphenwachstum Substratpartikel teilweise zu degradieren und dabei wie eine Art natürlicher Kleber funktionieren. Als Substrate kommen dabei sämtliche lignozellulosehaltigen Reststoffe infrage. Je nach eingesetztem Pilz und Substrat, sowie gewählttem Produktionsverfahren entstehen Komposite mit steuerbaren Eigenschaften und dadurch mit einem breiten Anwendungsspektrum – ähnlich dem von Styropor®. Nach ihrer Nutzung können die Materialien aufgrund ihrer biogenen Zusammensetzung anaerob abgebaut werden.

Ziel des Projekts ‚Fungi2Fabric‘ ist, die Grundlagenforschung auf diesem neuartigen Forschungsgebiet voranzutreiben und Zusammenhänge aus eingesetzten Substraten und resultierenden Eigenschaften zu analysieren. Desweiteren sollen neue potenzielle Reststoffe identifiziert werden. Außerdem steht die Weiterentwicklung des Produktionsprozesses, inklusive dem Testen der anaeroben Abbaubarkeit in Biogasanlagen, im Fokus der Arbeit. Daraus resultierend sind verfahrenstechnische und wirtschaftliche Fortschritte zu erwarten. Alles in allem können so CO<sub>2</sub>-Emissionen eingespart und lokale Stoffkreisläufe geschlossen werden.

Derzeit werden Versuche durchgeführt, um Einblicke in die Einflussfaktoren Pilzart, Substratzusammensetzung, pH-Wert und CO<sub>2</sub>-Verfügbarkeit auf das Myzelwachstum zu gewinnen. Die Experimente werden im April 2022 abgeschlossen sein und deren Ergebnisse dazu dienen, gezielt Reststoffe aus dem Agrarsektor auszumachen, die sich für die Kompositproduktion eignen.

Weiteres Ziel des Vorhabens ist die Verwendung verschiedener lokal anfallender Agrarreststoffe zur Herstellung von Prüflingen und diese hinsichtlich ihrer Materialeigenschaften zu untersuchen und zu bewerten.



Links: Myzel-basierte Verpackungsmaterialien auf Basis von Hanfschäben.  
Rechts: Im Labor hergestellte Prüflinge für Folgeuntersuchungen



M.Sc. Katharina A. Schoder

Dr. Johannes Krümpel

PD Dr. Andreas Lemmer

Förderung:  
Nagelschneider-Stiftung  
– Erforschung nachhaltiger Energien

Partner:  
Institut für Agrartechnik  
Universität Hohenheim

Laufzeit:  
Januar 2021 – Mai 2024

## Bewertung von innovativen Verfahren zur Gewinnung von Pflanzenfasern in regionaler Wertschöpfung zur Optimierung der Biogas-Verfahrenskette



Dr. Benedikt  
Hülsemann



B.Sc. Philipp Lang

Dr. Hans Oechsner

Die Biogasbranche steht momentan an einem Scheitelpunkt, da die EEG-Bindungsfrist für die Betriebe nach 20 Jahren ausläuft. Daher ist die Generierung weiterer Absatzmärkte ein zentrales Thema um die Stromproduktion von Biogasanlagen in Deutschland weiterhin zu sichern. Des Weiteren kann die Wertschöpfung von landwirtschaftlichen Produkten mithilfe von Bioökonomieansätzen maßgeblich erhöht werden, was außerdem zum Klimaschutz beiträgt.

Im Rahmen des Projekts wurde die Fasergewinnung bei gleichzeitiger energetischer Verwertung von landwirtschaftlich genutzten Pflanzen und Reststoffen untersucht. Das Konzept sieht vor die Fasern als Feststoff vor der Biogasanlage abzuscheiden und zur Papierproduktion zu verwenden, während die Flüssigkeit im angepassten Biogasfermenter vergoren wird.

Es wird ein Screening von unterschiedlichen landwirtschaftlich genutzten Pflanzen und Reststoffen durchgeführt und das Potential der Pflanzen zur Fasergewinnung untersucht. Als Pflanzen sind neben der Durchwachsenen Silphie, auch Hanf, Brennnesseln und Miscanthus im Fokus. Als Reststoff werden beispielsweise Hopfenrebhäcksel und Apfeltrester untersucht.

Die Aufbereitung der Fasern der ausgewählten Pflanzen und Reststoffe wird anschließend mit unterschiedlichen Methoden durchgeführt. So soll diese in der Praxis mittels Steam Explosion, Querstromzerspanner und Extruder, als auch im Labor unter anderem mittels Steam Explosion, Kugelmühle und Thermomix erfolgen. Nach dem Aufbereitungsprozess werden mittels Fest/Flüssig-Trennung im Labor jeweils die gewünschten zwei Phasen erzeugt.

Die technische ökologische und ökonomische Bewertung des Gesamtprozesses erfolgt jeweils mit Hilfe von Massen- und Energiebilanzen, Biogasertragstest und verschiedenen Methoden zur Bestimmung der Faserqualität (z.B. Faserlänge und Wasseraufnahmefähigkeit).

### Förderung:

Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR)  
Baden-Württemberg

### Partner:

Hochschule für Medien Stuttgart  
Hahnennest GmbH & Co. KG

### Laufzeit:

Dez. 2020 – Mai 2021



Laboranlage zur Steam Explosion



## Verfahrenstechnische Untersuchung zur Fasergewinnung aus Durchwachsener Silphie zur Papierherstellung bei gleichzeitiger energetischer Verwertung der aufgeschlossenen Pülpe

Die Durchwachsene Silphie stellt als Energiepflanze eine ökologischere Alternative zum Mais zur Fütterung in Biogasanlagen dar, da diese blüht und von Bienen angenommen wird. Am Energiepark Hahnennest in Ostrach wird die Silphie seit einigen Jahren angebaut, vertrieben und in der Biogasanlage eingesetzt. Sowohl bei der Silphie als auch in anderen Substraten sind allerdings Fasern enthalten, die im anaeroben Biogasprozess aufgrund des Lignins nicht abgebaut werden können. Daher ist es naheliegend die Faser bereits vor dem Biogasprozess abzutrennen, um eine weitere Wertschöpfung zu generieren. Die Faser kann in der Papierindustrie genutzt werden, während die anderen Bestandteile der Biogasanlage zugeführt werden. Dazu wurde in Hahnennest eine Fasergewinnungsanlage installiert und in Betrieb genommen.

Das Ziel des Projektes ist die verfahrenstechnische Optimierung der Silphiefaser-Aufbereitungsanlage. Hierfür werden die Methanausbeuten und die Partikelgrößenverteilung des Outputs der Fasergewinnungsanlage in Abhängigkeit des Erntezeitpunktes untersucht. Anschließend soll eine Massen- und Energiebilanz, sowie eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Anlage erstellt werden, sodass die Anlage prozesstechnisch und wirtschaftlich bewertet und der optimale Erntezeitpunkt bestimmt werden kann.

Im September und Oktober wurde die Durchwachsene Silphie zu drei ca. 3 Wochen auseinanderliegenden Zeitpunkten geerntet und getrennt voneinander siliert. Seit Februar werden die drei Silagen in der Fasergewinnungsanlage verarbeitet und anschließend im Labor auf ihre jeweiligen Fasereigenschaften untersucht.

Die Aufgabe der Landesanstalt ist es, eine Aussage treffen zu können, wie die neu entwickelte Fasergewinnungsanlage es schafft, einen ökonomischen Überschuss durch den Erlös der gewonnenen Faser bzw. der energetischen Verwertung der aufgeschlossenen Pülpe zu produzieren, um im Sinne der Bioökonomie neue Haupt- und Nebenprodukte aus der Prozesskette zu generieren und damit den gesamten Prozess nachhaltig und rentabler zu gestalten.



*Durchwachsene Silphie (van der Sanden, 2020)*



Dr. Benedikt Hülsemann



M.Sc. Marian Baumgart

B.Sc. Marzieh Eslami

Dr. Hans Oechsner

Förderung:  
Ministerium für Ländlichen Raum und Verbraucherschutz (MLR) Baden-Württemberg

Partner:  
Hahnennest GmbH & Co. KG

Laufzeit:  
Juli. 2020 – Mai 2021

## Optimierung der Silierung von Durchwachsener Silphie durch Zusatz von Additiven um eine optimale Faserqualität für die Papierproduktion zu erzielen (SILPHIE – SIL)



M.Sc. Marian Baumgart



Dr. Benedikt Hülsemann

Dr. Hans Oechsner

Zur Steigerung der Wertschöpfung im ländlichen Raum werden im Rahmen der baden-württembergischen Bioökonomie-Initiative neue bzw. optimierte Nutzungspfade in der Landwirtschaft gesucht. Die Nutzung von Energiepflanzen, wie z.B. der Durchwachsenen Silphie, zur Erzeugung von Energie aus Biogas ist in Baden-Württemberg bereits etabliert. Der Anbau der Durchwachsenen Silphie ist dabei besonders interessant, da die perennierende Pflanze wesentliche ökologische Vorteile gegenüber dem Mais verspricht. Aufgrund ihres hohen Faseranteils und des resultierenden niedrigen spez. Methanertrags (ca. 250 L CH<sub>4</sub>/kg oTS) ist die Vergärung dieser allerdings im Vergleich zu Mais (ca. 340 L CH<sub>4</sub>/kg oTS (KTBL,2013)) wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Ein Grund ist, dass die Fasern in der Biogasanlage nicht abgebaut werden können. Mit Hilfe einer physikalisch-thermischen Vorbehandlung, der sogenannten Thermodruckhydrolyse, können die Fasern von den restlichen Bestandteilen der Silphie abgetrennt und als hochwertiges Produkt für die Papierherstellung eingesetzt werden. Die resultierende Flüssigkeit (Pülpe) mit den sonstigen Zellinhaltsstoffen, ist zudem sehr gut vergärbar und kann somit energetisch genutzt werden. Es hat sich gezeigt, dass die Silierung der Silphiepflanzen als Häckselmaterial eine besondere Herausforderung darstellt. Der Gehalt an Milchsäure ist in der Silage im Vergleich zu anderen Energiepflanzen sehr niedrig und es bildet sich, als Folge von Fehlgärung, Buttersäure, die dazu führt, dass sowohl die Silage als auch die daraus gewonnene Faser unangenehm riecht, was die Vermarktbarkeit der Faser einschränkt.

Im Silphie-Sil Projekt soll der Erntezeitpunkt und der Silierungsprozess der Silphie im Labor unter Zusatz von Bakterienkulturen und anderen Additiven optimiert werden, um einen schnellen pH-Abfall, geringe Silierverluste sowie ein geruchsarmes Faserprodukt zu erhalten. Das übergeordnete Ziel besteht in der Steigerung der Milchsäurebildung in der Silage, sodass die Bildung von Buttersäure verringert und somit die Lagerstabilität der Silphie verbessert, die Geruchsemissionen reduziert und die Ausbeute an Biogas aus der verbleibenden Pülpe gesteigert werden können. Hierfür werden drei Erntetermine und die Zusammensetzung der Gärsäuren während der gesamten Silierphase untersucht. Die Fasern werden anschließend über das Thermodruckhydrolyseverfahren abgetrennt und die Nutzung als Rohstoff zur Papierherstellung untersucht (Faserqualität, Reißfestigkeit, Geruch). Die Pülpe wird auf das Methanpotenzial und auf toxische Inhaltsstoffe (Phenole, Furfurale) untersucht.

Förderung:  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft

Partner:  
Institut für Agrartechnik Universität Hohenheim

Laufzeit:  
Nov. 2021 – Jul. 2022



Erster Erntetermin des Silphiebestandes (links) einsiliert unter Zugabe von Silierhilfsmittel (mitte) und Öffnung der Weckgläser nach spätestens 90-Tagen (rechts)

## Energetische und stoffliche Kopplung einer Biogasanlage mit einer Bio-raffinerie (BioKop)

Im Sinne der nachhaltigen Bioökonomie ist es notwendig dezentrale Bioraffinerien zu betreiben. Das Konzept des BioKop Projekts basiert auf der Kopplung einer Bioraffinerie mit dem Blockheizkraftwerk einer Biogasanlage. In diesem Projekt soll eine energetische und vollständige Substratkopplung ausgearbeitet werden. Das Projekt wird zunächst an der Versuchsstation „Unterer Lindenhof“ entwickelt und durchgeführt, und soll anschließend für sämtliche Biogasanlagen verallgemeinert werden.

Durch die Kopplung mit der Biogasanlage wird die Rückführung der Nährstoffe gewährleistet. Das Projekt verfolgt somit auch die Ziele der Nachhaltigkeit und der Kreislaufwirtschaft. Das dezentrale Konzept ermöglicht die Nutzung von lokal produzierten Biomassen. Ein besonderer Aspekt ist dabei die Biogasanlage, welche Teil der dezentralen Wertschöpfungskette wird. In diesem Projekt wird die Bilanz zwischen elektrischer und thermischer Energie unter Berücksichtigung des Substratflusses, sowie der Wärmenutzung von Seiten der Bioraffinerie neu bewertet und optimiert.

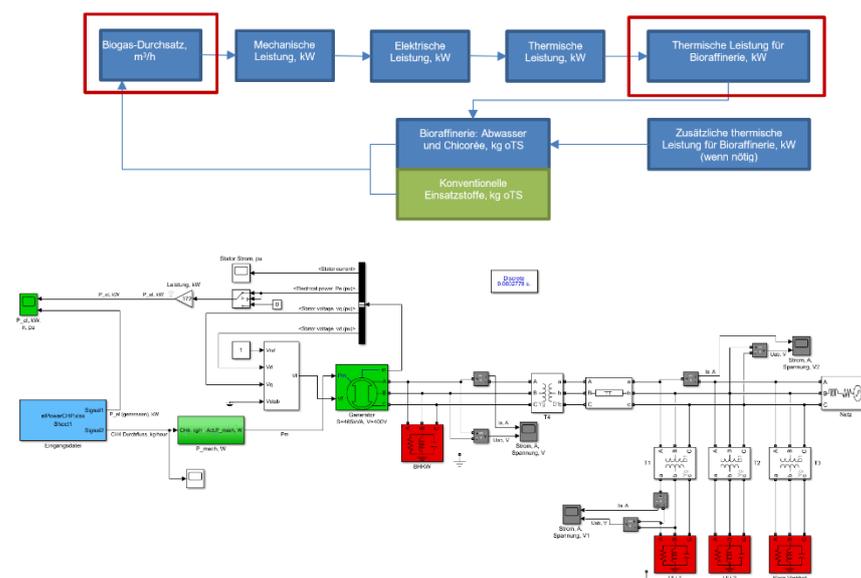
Die MATLAB-Simulationsmodelle der elektrischen und thermischen Energieerzeugung wurden entwickelt. Anhand dieser erarbeiteten Simulationsmodelle wurde der Energieeinsatz analysiert, und es wurden verschiedene Szenarien der Wärmenutzung betrachtet. Um den Wärmebedarf der Bioraffinerie zu decken, wurde die Installation eines zusätzlichen Abgaswärmetauschers, welcher Thermoöl als Kühlmittel verwendet, in Betracht gezogen. Die technischen Parameter des neuen Abgaswärmetauschers wurden berechnet und ein aktualisiertes PI-Diagramm wurde ausgearbeitet. Zusätzlich wurde das mathematische Modell zur Beurteilung des potenziellen Biogasertrags für den Fall der Substratkopplung entwickelt.

Anschließend wird das MATLAB-Simulationsmodell der Biogasanlage mit dem ASPEN Plus-Simulationsmodell der Bioraffinerie gekoppelt, um die stoffliche Kopplung der beiden Funktionsteile zu ermöglichen.



Dr.-Ing. Anastasia Oskina

PD Dr. Andreas Lemmer



Schema der gekoppelten Prozesse (oben) und des Simulationsmodells der elektrische Energieerzeugung der Versuchsstation „Unterer Lindenhof“ (unten)

**Förderung:**  
Fachagentur Wachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

**Partner:**  
Fg. Konventionstechnologien nachwachsender Rohstoffe (440f), Universität Hohenheim

**Laufzeit:**  
Dez. 2020 – Dez. 2021

## Hohenheimer Biogasforum auf den Biogasinfotagen in Ulm, 2021



Dr. Padma Priya Ravi

M.Sc. Nadiia Nikulina

PD Dr. Andreas Lemmer

Die jährlich durchgeführte Fachmesse „Biogas-Infotage“ des Renergie Allgäu e.V. ist die größte jährlich stattfindende Messe im süddeutschen Raum und bundesweit eine der Top Messen der Biogasbranche. Neben der klassischen Industriemesse sind auch die drei Vortragsforen (Wissenschaft, Praxis und Innovation) ein fester und beliebter Bestandteil der Biogas-Infotage. Diese Foren sind für die Messebesucher sowie für die Aussteller frei. So ist das Publikum der Foren bunt zusammengesetzt aus Biogasanlagenbetreibern, Vertretern von Firmen, Behörden, Verbänden, Vereinen und aus der Wissenschaft. Durch diese Konstellation sind die Biogas-Infotage bestens für den Wissenstransfer in die landwirtschaftliche Praxis geeignet.

Das Hohenheimer Biogasforum auf den Biogas-Infotagen 2021 ist ein zweitägiges, einzüiges Wissenschaftsforum im Hybrid-Format (Präsenz + Online-Übertragung) mit insgesamt 12 Vorträgen. Es bietet den Messebesuchern unabhängige Informationen zu aktuellen Forschungen im Themenbereich Biogas. Organisiert, moderiert und thematisch gestaltet wurde das Forum durch die Mitarbeiter\*innen der Landesanstalt.

Das Vorhaben diente dem Wissenstransfer aus der Forschung in die landwirtschaftliche Praxis mit dem Fokus auf der Thematik Biogas. Aufgrund der aktuellen Situation in der Biogasbranche werden aber gerade die bisher eher als Nebenschauplätze gehandelten Themen, wie z.B. Bioraffinerien, immer relevanter. Als aktuelle thematische Schwerpunkte für das Hohenheimer Biogasforum wurden folgende Themenblöcke identifiziert und jeweils über verschiedene Vorträge adressiert:

- Güllevergärung & Nachhaltigkeit von Biogasanlagen
- Stoffströme & Düngeverordnung
- Alternative Substrate für Biogasanlagen
- Bioraffineriekonzepte zur Erzeugung von Verbundfaserstoffen

Zusätzlich zu den Vorträgen wurde auch eine wissenschaftliche Posterausstellung im Foyer der Messe durch die Universität Hohenheim bestückt. Hier wurden 15 Poster wissenschaftlicher Projekte zum Thema Biogas vorgestellt.



Förderung:  
Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL)  
Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR)

Laufzeit:  
Mai 2021 – Okt. 2021

## Forschungsbiogasanlage „Unterer Lindenhof“

Die Biogasanlage „Unterer Lindenhof“ ist eines der erfolgreichsten Forschungsgrößgeräte der Universität Hohenheim, das es in beispielhafter Weiser ermöglicht, praxisnahe, anwendungsorientierte Forschungsvorhaben mit hochkomplexer Grundlagenforschung zu verknüpfen. Themenschwerpunkte sind dabei die Systemintegration der Bioenergie, die Nutzung und Aufbereitung organischer Reststoffe sowie neue Verfahrensansätze zum Nährstoffmanagement auf landwirtschaftlichen Betrieben. Sowohl die Integration der Biogastechnik in zukünftige Energiesysteme als auch die verfahrenstechnischen Forschungsprojekte erfordern eine „Digitalisierung der Biogasproduktion“. Dies setzt ein datenbankgestütztes Datenmanagement mit einer online Erfassung der Prozessdaten der Anlage und der integrierten Systeme des gesamten Standortes „Lindenhöfe“ voraus. Die Zahl der Verbund-Forschungsprojekte, die gleichzeitig an der Forschungsbiogasanlage durchgeführt, erreichte in 2021 erneut einen Höchststand:

- OptiFlex: Optimierung des Betriebs und Designs von Biogasanlagen für eine bedarfsgerechte Biogasproduktion
- PowerLand 4.2: Vollständig automatisierte Systemintegration der Bioenergie
- BioSaiFle: Nutzung von FFH-Mähgut in Biogasanlagen
- Flex-Crash: Integration einer Kugelmühle zur Verwertung faserreicher Substrate
- Sens-O-Mix: Automatisierung der Rührsysteme im Lastwechselbetrieb von Biogasanlagen.
- Pro-BioLNG: Dezentrale bio-LNG Erzeugung als „negative-emission“ Kraftstoff
- i<sup>2</sup>-Sens: Entwicklung innovativer und intelligenter Sensoren zur Gewährleistung der Prozessstabilität beim lastflexiblen Betrieb von Biogasanlagen.

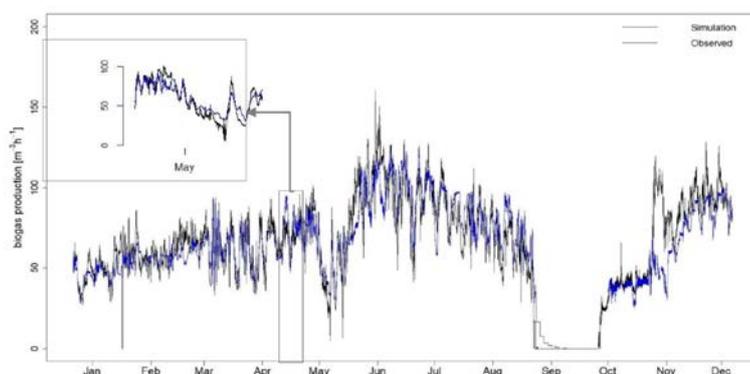
Nebern der Forschung übernimmt die Landesanstalt im Auftrag des Rektorates die betriebliche Leitung der Anlage, organisiert deren permanente technische Aktualisierung und koordiniert die Forschungsvorhaben. Ein erfolgreicher Betrieb dieses komplexen Forschungsgerätes ist nur durch den großen persönlichen Einsatz der Mitarbeiter\*innen der Versuchsstation Agrarwissenschaften in der täglichen Betreuung der Anlage sowie von Herrn Ohnmacht von Seiten der Landesanstalt möglich. Allen Kolleginnen und Kollegen möchten wir hierzu unseren herzlichen Dank aussprechen.



PD Dr. Andreas Lemmer



Dipl.-Ing. Benjamin Ohnmacht



Simulierte Daten der Biogasproduktion (blau) auf Basis der Fütterung und realisiert Gasproduktion (schwarz) an der Forschungsbiogasanlage

## Mitveranstaltete Tagungen

### **ALB Fachtagung - „Schweinehaltung - Praktische Umsetzung zukünftiger rechtlicher Vorgaben“**

11. März 2021, online Fachtagung, veranstaltet zusammen mit der Landesanstalt

### **Hohenheimer Biogasforum auf den Biogas-Infotagen**

07.-08. Juli 2021, Messe Ulm, Ulm, veranstaltet zusammen mit dem Renergie Allgäu e.V.

### **Progress in Biogas V**

22.-24. September 2021, Internationale online -Konferenz, veranstaltet zusammen mit dem IBBK

### **International Biogas & AD Training Course**

19. Oktober -04. November 2021, Online-Kurs, veranstaltet zusammen mit dem IBBK

### **ALB Fachgespräch - „Milchziegenhaltung – Käseproduktion, Direktvermarktung“**

18. November 2021, Sulzburghof, Unterlenningen, veranstaltet zusammen mit der Landesanstalt

## Hochschulprüfungen 2021

### Bachelor- und Masterarbeiten

#### **Sina Vervin**

Planung einer verfahrenstechnischen Anlage zur biologischen Wasserstoff-Methanisierung im Pilotmaßstab.

#### **Marzieh Eslami**

Process Engineering Studies on Biogas- and Fiber Production from *Silphium perfoliatum* L.

#### **Marian Baumgart**

Verfahrenstechnische und ökonomische Beurteilung des Faseraufschlusses der durchwachsenen Silphie mit dem Verfahren der Thermodruckhydrolyse und anschließender Faserseparation

#### **Christian Bidlingmaier**

Wirtschaftlichkeit zukunftsfähiger Geschäftsmodelle für Biogasanlagen nach dem ersten EEG-Vergütungszeitraum

#### **Teresa Knill**

Wirtschaftlichkeit verschiedener Strategien für den Weiterbetrieb von Biogasanlagen nach der Förderperiode eins am Beispiel zweier Biogasanlagen in der Region Westallgäu- Oberschwaben.

## Internationaler Austausch

### Internationale Gastwissenschaftler an der Landesanstalt

#### **Giovanni Ferrari**

Doktorand der Universität Padua. Life Cycle Assessment of ProBioLNG process chain

---

---

## Veröffentlichungen 2021

### Peer-reviewed

**Cao, Z., Hülsemann, B., Wüst, D., Oechsner, H., Lautenbach, A., Kruse, A.**

Effect of residence time during hydrothermal carbonization of biogas digestate on the combustion characteristics of hydrochar and the biogas production of process water. (2021) *Bio. Techn.* 333 (2021) 125110. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125110

**Dinkler, K., Li, B., Guo, J., Hülsemann, B., Becker, G. C., Müller, J., Oechsner, H.**

Adapted Hedley fractionation for the analysis of inorganic phosphate in biogas digestate. (2021) *Bio. Techn.* 333 (2021) 125038. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.125038

**Dittmer, C.; Krümpel, J; Lemmer, A.**

Modeling and Simulation of Biogas Production in Full Scale with Time Series Analysis. In: *Microorganisms* 9 (2). DOI: 10.3390/microorganisms9020324.

**Dittmer, C., Krümpel, J., Lemmer, A.**

Power demand forecasting for demand-driven energy production with biogas plants (2021) *Renewable Energy*, 163, pp. 1871-1877.

**Hagemann, M.H., Born, U., Sprich, E., Seigner, L., Oechsner, H., Hülsemann, B., Steinbrenner, J., Wünsche, J.N., Lehmaier, E.**

Degradation of hop latent viroid during anaerobic digestion of infected hop harvest residues. (2021) *European Journal of Plant Pathology*, 161, pp. 579-591. DOI: 10.1007/s10658-021-02344-2

**Hassa, J., Klang, J., Benndorf, D., Pohl, M., Hülsemann, B., Mächtig, T., Effenberger, M., Pühler, A., Schlüter, A., Theuerl, S.**

Indicative Marker Microbiome Structures Deduced from the Taxonomic Inventory of 67 Full-Scale Anaerobic Digesters of 49 Agricultural Biogas Plants. (2021) *Microorganisms* 2021, 9(7), 1457. DOI: 10.3390/microorganisms9071457

**Hülsemann, B., Mächtig, T., Pohl, M., Liebetrau, J., Müller, J., Hartung, E., Oechsner, H.**

Comparison of Biological Efficiency Assessment Methods and Their Application to Full-Scale Biogas Plants. (2021) *Energies* 2021, 14, 2381. DOI: 10.3390/en14092381

**Illi, L., Lecker, B., Lemmer, A., Müller, J., Oechsner, H.**

Biological methanation of injected hydrogen in a two-stage anaerobic digestion process, (2021) *Bioresource Technology*, 333, art. no. 125126

**Khan, M.T., Krümpel, J., Wüst, D., Lemmer, A.**

Anaerobic degradation of individual components from 5-hydroxymethylfurfural process-wastewater in continuously operated fixed bed reactors, (2021) *Processes*, 9 (4), art. no. 677

**Kumar Khanal, S., Lü, F., Wong, J.W.C., Wu, D., Oechsner, H.**

Anaerobic digestion beyond biogas (2021) *Bioresource Technology*, 337, art. no. 125378

**Nikulina, N., Uslu, S., Lemmer, A., Azbar, N., Oechsner, H.**

Optimal conditions for high solid co-digestion of organic fraction of municipal solid wastes in a leach-bed reactor, (2021) *Bioresource Technology*, 331, art. no. 125023

**Ohnmacht, B.; Lemmer, A.; Oechsner, H.; Kress, P.**

Demand-oriented biogas production and biogas storage in digestate by flexibly feeding a full-scale biogas plant," *Bio-resour. Technol.*, vol. 332, no. April, p. 125099, 2021.

- 
- Sailer, G., Silberhorn, M., Eichermüller, J., Poetsch, J., Pelz, S., Oechsner, H., Müller, J.**  
Influence of Digester Temperature on Methane Yield of Organic Fraction of Municipal Solid Waste (OFMSW). *Appl. Sci.* 2021, 11, 2907. DOI: 10.3390/app11072907
- Sailer, G., Knappe, V., Poetsch, J., Paczkowski, S., Pelz, S., Oechsner, H., Bosilj, M., Ouardi, S., Müller, J.**  
Upgrading the Organic Fraction of Municipal Solid Waste by Low Temperature Hydrothermal Processes. *Energies* 2021, 14, 3041. DOI: 10.3390/en14113041
- Sailer, G., Eichermüller, J., Poetsch, J., Paczkowski, S., Pelz, S., Oechsner, H., Müller, J.**  
Characterization of the separately collected organic fraction of municipal solid waste (OFMSW) from rural and urban districts for a one-year period in Germany. *Waste Management* 2021, 131, 471-482. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.07.004
- Sailer, G., Eichermüller, J., Poetsch, J., Paczkowski, S., Pelz, S., Oechsner, H., Müller, J.**  
Dataset for a full-year time series characterization of separately collected organic fraction of municipal solid waste from rural and urban regions in Germany. *Data in Brief* 2021, 39, 107543. DOI: 10.1016/j.dib.2021.107543
- Stökle, K., Hülsemann, B., Steinbach, D., Cao, Z., Oechsner, H., Kruse, A.** A biorefinery concept using forced chicory roots for the production of biogas, hydrochar, and platform chemicals, (2021) *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11 (5), pp. 1453-1463.
- Winqvist, E., Van Galen, M., Zielonka, S., Rikkonen, P., Oudendag, D., Zhou, L., Greijdanus, A.**  
Expert views on the future development of biogas business branch in germany, the netherlands, and finland until 2030, (2021) *Sustainability (Switzerland)*, 13 (3), art. no. 1148, pp. 1-20.
- Zhou, L., Hülsemann, B., Cui, Z., Merkle, W., Sponagel, C., Zhou, Y., Guo, J., Dong, R., Müller, J.**  
Operating Performance of Full-Scale Agricultural Biogas Plants in Germany and China: Results of a Year-Round Monitoring Program. (2021) *Appl. Sci.* 2021, 11, 1271. DOI: 10.3390/app11031271
-

---

## Konferenz-/Tagungsbandbeiträge

**Effenberger, M, Eckel H., Lemmer A., Loewen, A., Paterson, M., Strobl, M.**

Aspekte eines nachhaltigen Betriebs von Biogasanlagen. In: KTBL (2021): Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven. 7. FNR/KTBL-Kongress, Onlinetagung 29.-30.09.2021, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., S., KTBL-Schrift 524, 132 – 140

**Hagemann, M.H., Born, U., Sprich, E., Seigner, L., Oechsner, H., Hülsemann, B., Steinbrenner, J., Wünsche, J.N., Lehmaier, E.**

Fate of the Hop latent viroid during ensiling of hop harvest residues. (2021) Acta Hort. 1328. ISHS 2021. Proc. V. International Humulus Symposium; DOI 10.17660/ActaHortic.2021.1328.9

**Hülsemann, B., Oechsner, H.**

Efficiency analysis of biological systems of biogas plants: definition and accuracy. Progress in Biogas, 22-24.9.2021

**Hülsemann, B., Oechsner, H.**

Future concepts for biogas plants in Germany. Progress in Biogas, 22.-23.9.2021

**Lemmer, A., Holl, E., Bär, K., Steinbrenner, J.**

Dezentrale Erzeugung von LNG in einer neuartigen Prozesskette – Möglichkeiten und Grenzen. In: KTBL (2021): Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven. 7. FNR/KTBL-Kongress, Onlinetagung 29.-30.09.2021, Darmstadt, Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V., S. 55 – 65

**Oechsner, H., L Zhou, R. Gerhards:**

Inactivation of different weed seeds in the biogas process at different fermentation temperatures and retention times. International conference on biotechnology for sustainable agriculture, environment and health (BSAEH-2021), Jaipur, Indien, 4. – 8. April 2021, Tagungsband

**Ohnmacht, B.; Lemmer, A.; Oechsner, H. und Kress, P.:**

Optimierung des Betriebs und Designs von Rührwerken zur Senkung des Eigenstromverbrauchs von Biogasanlagen“, 7. FNR/KTBL-KONGRESS - Biogas in der Landwirtschaft – KTBL-Schrift 524, S. 114-121

**Rubner, I., Baur, L., Grau, B., Steinbrenner, J., Hülsemann, B., Lemmer, A.**

Curricular innovation research in the field of renewable energy using the example of anaerobic digestion and methane production. (2021) 9th International Conference on Sustainability, Technology and Education

---

## Vorträge

**Brandhorst, C., Lemmer, A.**

Methanerträge von FFH-Mähwiesen im Vegetationsverlauf. Biogas Infotage 2021, Renergie Allgäu e.V., Ulm, Hybrid, 07.-08.07.2021

**Brandhorst, C., Lemmer, A.**

Naturalistic management of lowland ha meadows for biogas production. Methane yields determination over the vegetation period. International online conference "Progress in Biogas V", 22-24.09.2021

**Dinkler, K.**

Phosphatgewinnung aus Biogas-Gärprodukten, 15. Biogastag Baden-Württemberg, 04.03.2021 Online, 22-24.09.2021

**Dinkler, K.**

Phosphate Analysis for an Optimized Recovery, Progress in Biogas V – International online conference, 22-24.09.2021, Online

**Dinkler, K.**

20. Süddeutsche Biogas Fachtagung, Aufbereitung von Gärresten Stand der Technik und Perspektiven, Online, 17.11.2021

**Heller, R.**

Pre-treatment of lignocellulosic residues by means of a ball mill, Progress in Biogas V – International online conference, 22-24.09.2021

**Holl, E., Steinbrenner, J., Lemmer, A.**

Development of an innovative process chain generating resource efficient biofuel based on methane. Workshop Biological Carbon Capture and utilization (BCCU), Online, 25.05.2021

**Holl, E., Steinbrenner, J., Lemmer, A.**

Development of an innovative process chain generating resource efficient biofuel based on methane. Progress in Biogas V, Online, 23.09.2021

**Hülsemann, B., Oechsner H.**

Effizienzbewertung des biologischen Prozesses – Vorstellung der Methoden und Darstellung der Kernergebnisse. Seminar Biogas-Messprogramm III, Online, 27.1.2021

**Hülsemann, B., Oechsner H.**

Biogas-Messprogramm III – Ist-Stand des Biogasanlagenbestands. 15. Biogastag Baden-Württemberg - WebSeminar, 4.3.2021

**Hülsemann, B., Föllmer, M., Oechsner, H., Franz, M.**

Bewertung von innovativen Verfahren zur Gewinnung von Pflanzenfasern in regionaler Wertschöpfung zur Optimierung der Biogas-Verfahrenskette. Statusseminar MLR Bioökonomie, Online, 23.6.2021

**Hülsemann, B., Oechsner, H.**

Efficiency analysis of biological systems of biogas plants: definition and accuracy. Progress in Biogas, Online, 22-24.9.2021

**Hülsemann, B., Oechsner, H.**

Future concepts for biogas plants in Germany. Progress in Biogas, Online, 22.-24.-9.2021

**Hülsemann, B., Baumgart, M., Oechsner, H.**

Faser- und Biogasproduktion aus Durchwachsener Silphie -Prozesstechnische Bewertung. Bayreuther Silphie-Symposium, Online, 28.10.2021

**Hülsemann, B.**

Erkenntnisse aus dem Biogas-Messprogramm III und mögliche Entwicklungsoptionen für die Biogasanlagen nach dem Ablauf der EEG Förderung, Biogas aktuell, Online, 7.12.2021

**Krümpel, J.**

Automated feeding management of biogas plants for optimal system integration of bioenergy, Progress in Biogas V, Online 2021

**Lemmer, A., Morozova, I. Nikulina N., Krümpel, J.**

Einfluss von Stickstoff auf die Prozessstabilität. (2021) 15. Biogastag Baden-Württemberg – WebSeminar, 04. März 2021

**Lemmer, A., Krümpel, J.**

An introduction to Digester Biology. (2021) IBBK Biogas Online Training, Module 5 – Theory & Practice of Digester Biology in AD, online workshop, 03-30-2021

**Lemmer, A., Krümpel, J.**

An introduction to Digester Biology. (2021) IBBK Biogas Online Training, Module 5 – Theory & Practice of Digester Biology in AD, online workshop, 10-26-2021

**Lemmer, A., Krümpel, J.**

Importance of process stability for sustainable biogas production. (2021) Progress in Biogas V, online conference, 22.-24.09.2021

**Lemmer, A., Holl, E., Steinbrenner, J.**

Bio-CNG und Bio-LNG: Verfügbare zero-emission Kraftstoffe für den Schwerlastverkehr und den ÖPNV. (2021) 06. Bioökonomietag Baden-Württemberg, 18. November 2021

**Lemmer, A., Holl, E., Steinbrenner, J.**

Dezentrale Erzeugung von LNG in einer neuartigen Prozesskette, Möglichkeiten und Grenzen. (2021) FNR-KTBL Kongress „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“ 29. Oktober 2021

**Oechsner, H.:**

Effizienz von Biogasanlagen. In: Fortbildung Basisqualifikation „Grundlagen der Energieeffizienzberatung“ ID: 50-159-1 der Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Online, 3.2.2021

**Oechsner, H.:**

Trace elements in biogasplants to compensate for substrate-related deficiencies – Increasing the process efficiency. In: Enhanced biogas production & recent innovations. Ege University, Izmir, 17. – 19. März 2021, Online

**Oechsner, H. und Lijun Zhou:**

Inactivation of different weed seeds in the biogas process at different fermentation temperatures and retention times. In: International conference on biotechnology for sustainable agriculture, environment and health (BSAEH-2021), Jaipur, Indien, Online, 4. – 8. April 2021

**Oechsner, Hans:**

Degradation efficiency of biogas plants, depending on substrate, hydraulic retention time and number of digesters in series. In: Biorestec-Online-Congress 2021, Session 2B: Biological waste treatment, Online, 17. Mai 2021

**Oechsner, Hans:**

Aufbereitungsverfahren für faserhaltige Substrate und Vergleich mit der neu entwickelten Kugelmühle. Biogas Infotage 2021, Renergie Allgäu e.V., Ulm, Hybridveranstaltung, 07.-08.07.2021

**Oechsner, Hans, Matthias Franz:**

Bewertung von innovativen Verfahren zur Gewinnung von Pflanzenfasern in regionaler Wertschöpfung zur Optimierung der Biogas-Verfahrenskette. Statusseminar Netzwerktreffen Bioökonomie. MLR Baden-Württemberg. 23. – 24. Juni 2021, Online

**Oechsner, Hans:**

Pretreatment of fibre-rich substrates. In Progress in Biogas V, International Congress at the University of Hohenheim, IBBK, Online, 22. – 24. September 2021

**Oechsner, Hans:**

Degradation efficiency of biogas plants, depending on substrate, hydraulic retention time and number of digesters in series. Great Cycle Meeting – International symposium on agriculture and rural carbon. Neutralisation-contribution of biogas process. Chinese Agricultural University, Beijing, 23. – 26. September 2021, Online

**Oechsner, Hans:**

Biogas as an important element of an energy supply with renewable energy. In: International Sustainability Workshop (ISW 2021) Qatar University, Online, Hybrid, Doha, Katar, 26. – 27. Oktober 2021

**Oechsner, H.:**

Effizienz von Biogasanlagen. In: Fortbildung Basisqualifikation „Grundlagen der Energieeffizienzberatung“ ID: 50-159-1 der Landesanstalt für Landwirtschaft, Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg, Online 15.12.2021

**Ohnmacht, B., Lemmer, A., Oechser, H.**

Investigating the mixing in a full-scale biogas plant, Progress in Biogas V, online, 22.-24.09.2021

**Ohnmacht, B.; Lemmer, A.; Oechsner, H. und Kress, P.:**

Optimierung des Betriebs und Designs von Rührwerken zur Senkung des Eigenstromverbrauchs von Biogasanlagen“, 7. FNR/KTBL-KONGRESS - Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven, online, 29.-30.09.2021,

**Ohnmacht, B.**

Energieeffizienz in der Biogaserzeugung – Schwerpunkt Rührtechnik, LEL-Fortbildung, online. 3.2.2021

**Ohnmacht, B.**

Energieeffizienz in der Biogaserzeugung – Schwerpunkt Rührtechnik, LEL-Fortbildung, online. 15.12.2021

**Oskina, A., Ravi, P.P., Lemmer, A.**

Continuous flow bio-electrochemical system for organic wastewater treatment: Steps for its practical implementation, Online, Progress in Biogass V – International online conference, 22-24.09.2021

**Rubner, I., Baur, L., Grau, B., Steinbrenner, J., Hülsemann, B., Lemmer, A.**

Curricular innovation research in the field of renewable energy using the example of anaerobic digestion and methane production. (2021) 9th International Conference on Sustainability, Technology and Education

**Steinbrenner, J., Lemmer, A.**

Neue schlüsselfertige Güllekleinanlage? - Ergebnisse aus dem Kooperationsprojekt DEMETHA. (2021) 20. Süddeutsche Biogasfachtagung, Westerheim

---

## Poster

**Baumgart, M., Hülsemann, B.**

Verfahrenstechnische Untersuchung zur Fasergewinnung aus Durchwachsener Silphie zur Papierherstellung bei gleichzeitiger energetischer Verwertung der aufgeschlossenen Pülpe. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Brandhorst, C, Lemmer, A.**

Naturnahe Bewirtschaftung von FFH-Mähwiesen für die Biogasproduktion. Methanerträge im Vegetationsverlauf. Biogas Infotage 2021, Renergie Allgäu e.V., Ulm, 07.-08.07.2021

**Brandhorst, C, Lemmer, A.**

Naturnahe Bewirtschaftung von FFH-Mähwiesen für die Biogasproduktion. Methanerträge im Vegetationsverlauf. Online Tagung „Biogas in der Landwirtschaft – Stand und Perspektiven“, FNR & KTBL, 29.-30.09.2021

**Heller R., Hülsemann, B., Oechsner H.**

Mechanische Desintegration lignocellulosehaltiger Substrate mit Hilfe einer Kugelmühle für die Flexibilisierung der Biogaserzeugung, Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Holl, E., Steinbrenner, J., Lemmer, A.**

ProBioLNG – Innovative Prozesskette zur ressourceneffizienten Erzeugung von Bio-LNG. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Holl, E., Steinbrenner, J., Lemmer, A.**

Development of an innovative process chain generating resource efficient biofuel based on methane, BMBF project: ProBioLNG. Bioretec, Online, 17.05.2021

**Hülsemann, B., Bidlingmaier, C.**

Biogas Progressiv (538). Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Hülsemann, B., Oechsner, H.**

Efficiency analysis of biological systems of biogas plants: definition and accuracy. Progress in Biogas, Online, 24.9.2021

**Hülsemann, B., Lang, P.**

Bewertung von innovativen Verfahren zur Gewinnung von Pflanzenfasern in regionaler Wertschöpfung zur Optimierung der Biogas-Verfahrenskette. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Khan. M.T., Hülsemann, B., Krümpel, J., Oechsner, H., Lemmer, A.**

Verwertung von Molkerei-Abwässern in Anaerob-Festbettreaktoren. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Khan. M.T., Hülsemann, B., Krümpel, J., Oechsner, H., Lemmer, A.**

Anaerober Abbau von Prozess-Abwässern aus der Hydroxymethylfurfural-Produktion. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Ohnmacht, B., Krümpel, J., Lemmer, A.**

Verbundprojekt „Sens-O-Mix“: Entwicklung und Erprobung sensorbasierter Rührsysteme in Biogasanlagen zur Steigerung der Effizienz und Prozessstabilität bei einer lastflexiblen und bedarfsgerechten Biogasproduktion. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

**Oskina, A., Lemmer, A., Kruse, A.**

Energetische und stoffliche Kopplung einer Biogasanlage mit einer Bioraffinerie. Biogas Infotage 2021, Renergie Allgäu e.V., Ulm, 07.-08.07.2021

**Steinbrenner, J., Lemmer, A.**

DEMETHA - De-Methanisierung von Flüssigmist - Intelligente Energieversorgung im ländlichen Raum durch flexible Energiebereitstellung mit Güllekleinanlagen. Biogas Infotage, Ulm, 7-8.7.2021

---

## Vorlesungen an anderen Hochschulen oder Universitäten

**Lemmer, A.**

Zukünftige Anforderungen an die Biogastechnik. (2021) Vorlesung an der Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften (ZHAW), online Vorlesung, 09. Februar 2021

## Weitere Veröffentlichungen

**FNR.** Schlussbericht DEMETHA - De-Methanisierung von Flüssigmist - Intelligente Energieversorgung im ländlichen Raum durch flexible Energiebereitstellung mit Güllekleinanlagen (2021), verfassende Mitarbeiter: Steinbrenner, J., Lemmer, A.

**FNR.**

Biogas-Messprogramm III (2021), verfassende Mitarbeiter: Hülsemann B., Oechsner, H., ISBN-Nr.: 978-3-942147-42-2

**KTBL**

Gasdichte Lagerung von Rinder- und Schweinegülle – Eine Maßnahme zur Minderung und Vermeidung von klimarelevanten Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung (2021), KTBL Schrift 525

**KTBL.**

Gasausbeute in landwirtschaftlichen Biogasanlagen – Potenziale, Erträge, Einflussfaktoren (2021), verfassende Mitarbeiter: Oechsner, H., B. Hülsemann und Weitere, KTBL-Schrift 526

**KTBL**

Biogasanlagen effizient betreiben – Bewertungskriterien und -methoden. Darmstadt (2021), verfassende Mitarbeiter: Lemmer, A., KTBL Schrift 525

**Martinez-Hernandez, C., Y. Garcia-Lopez, H. Oechsner**

Biogas plants in Germany: Revision and Analysis. Revista CienciasTécnicas, ISSN 1010-2760, Vol. 30, No. 4, Oktober 2021, S. 88-100

**Martinez-Hernandez, C., H. Oechsner, M. Brule**

Hohenheim biogas yield test (HBT) Methodology for the determination of methane potential in agricultural substrates. Revision and Analysis. Revista CienciasTécnicas, ISSN 1010-2760, Vol. 30, No. 4, April 2021, S. 70-78

**Oechsner, Hans**

Keine Störenfriede in den Fermenter. Nachgefragt bei ... In BW-agrar, Heft 19, 2021, S. 5

---

## Projektvideos

ProBioLNG <https://www.youtube.com/watch?v=zzMcwpycWUI&t=2s>



PowerLand4.2 <https://www.youtube.com/watch?v=wrRsbKZKGu4>



BioSaiFle <https://www.youtube.com/watch?v=RaLdjXVp8Mk>



## Websites

PowerLand4.2 <https://www.powerland42.de/>



## Gremienarbeit

- Bioresource Technology: Mitglied im Editorial board
- MDPI: Special Issue Editor „Renewable Energy in Agriculture“
- KTBL – Arbeitsgemeinschaft „Energie“
- KTBL – Arbeitsgruppe „Ringversuche“
- KTBL – Arbeitsgruppe „nachhaltige Biogaserzeugung“
- KTBL – Arbeitsgruppe „Gasdichte Güllelagerung“
- KTBL – Arbeitsgruppe „Gaserträge“
- KTBL – Arbeitsgruppe „Güllevergärung“
- VDI-Richtlinie 4630 – Wissenschaftliches Komitee
- VDLUFA – Methodenkommission Biogasertrag, Restgaspotenzial
- DLG – Prüfungskommission „Separator“
- VERA – Internationale VERA Kommission für Gülleseparation
- Internationale Arbeitsgruppe „Methode Biogasertragsbestimmung“
- Verschiedene Tagungsausschüsse (z.B. VDI, KTBL, FNR, FV-Biogas, Progress in Biogas, Uni Stuttgart, Eranetmed, Doktorandenkolloquium)
- Projektbeiräte (Bio2020Plus, OptiSys, Subeval)

---

## Die Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie

**Leitung**

Dr. sc. agr. Hans Oechsner

**Oberleitung**

Prof. Dr. sc. agr. Joachim Müller

**Stellvertretender Leiter**

PD Dr. sc. agr. Andreas Lemmer

**Sekretariat**Margit Andratschke  
Elke Weiß (ALB)**Post-Docs und Wissenschaftliche Mitarbeiter/innen**

M.Sc. Konstantin Dinkler

M.Sc. Benedikt Hülsemann

Dr. sc. agr. Johannes Krümpel

M.Sc. Benjamin Ohnmacht

Dr. Anastasia Oskina

M.Sc. Gregor Sailer

M.Sc. Jörg Steinbrenner

Dr. sc. agr. Andrea Stockl

**Doktoranden/innen**

M.Sc. Marian Baumgart

M.Sc. Christina Brandhorst

M.Sc. Celina Dittmer

M.Sc. Marion Gebhardt (extern)

M.Sc. René Heller

M.Sc. Elena Holl

M.Sc. Muhammad Tahir Khan

M.Sc. Ievgeniia Morozova

M.Sc. Leoni Neubauer

M.Sc. Katharina Schoder

M.Sc. Naga Sai Tejaswi Uppuluri

**Technische Mitarbeiter**

Ralph Drescher

Dipl.-Ing. agr. Christof Serve-Rieckmann

**CT Assistentinnen**

Dipl.-Biol. Annette Buschmann

Jacqueline Kindermann

Promotionsarbeiten unter wissenschaftlicher  
Betreuung von:

- Prof. Dr. Joachim Müller
- PD Dr. Andreas Lemmer



# LANDESANSTALT FÜR AGRARTECHNIK & BIOENERGIE (740)

## Leiter der Landesanstalt

Dr. Hans Oechsner



Stellvertretender Leiter der Landesanstalt  
PD Dr. Andreas Lemmer

## Sekretariat

Margit Andratschke



Elke Weiß (ALB)

## Wissenschaftliche Mitarbeiterinnen & Mitarbeiter



Dr. Anastasia Oskina

- Projektleiterin**
- o Modellierung und Simulation
  - o Bioelektrochem. Systeme
  - o „NitroPhos“



Konstantin Dinkler

- Projektleiter**
- o Nährstoffe im Biogasprozess
  - o Fachgebiets-administrator
  - o „BW2Pro“



Dr. Benedikt Hülsemann

- Arbeitsgruppenleiter**
- o Praxisanlagen
  - o Substrataufbereitung
  - o Leitung HBT
  - o „ProBiogas“
  - o „BW2Pro“



Gregor Sailer

- Wissenschaftlicher Mitarbeiter**
- o Hard- und Software
  - o „BW2Pro“



Dr. Johannes Krümpel

- Arbeitsgruppenleiter**
- o Systemintegration
  - o Myzelbasierte Werkstoffe
  - o Messtechnik Labor
  - o Datenbankmanagement
  - o „Sens-O-Mix“



Benjamin Ohnmacht

- Arbeitsgruppenleiter**
- o Flexibilisierung
  - o Rührsysteme
  - o Forschungsbiogasanlage
  - o „Sens-O-Mix“



Jörg Steinbrenner

- Arbeitsgruppenleiter**
- o Zweistufige Vergärung
  - o Bio-CNG und Bio-LNG Produktion
  - o „Pro-BioLNG“



Dr. Andrea Stockl

- Projektleiterin**
- o Konferenzen
  - o „BGA-Cluster“

## Doktorandinnen & Doktoranden



Iyevgeniia Morozova  
„Stickstoff“  
„AMALIZE-P“



Naga Sai Tejaswi Uppuluri  
„AMALIZE-P“



René Heller  
„FLEX-CRASH“



Marian Baungart  
„BW2Pro“



Marion Gebhardt (ext.)  
„Verbund-Faserstoffe“



Katharina Schoder  
„Fun2F-ab“



Celina Dittmer  
„PowerLand 4.2“



Leoni Neubauer  
„i<sup>2</sup>-Sens“



Chrisima Brandhorst  
„BioSaiFie“



Muhammad Tahir Khan  
„NeoBus“



Elena Holl  
„Pro-BioLNG“

Nährstoffe im Biogasprozess

Optimierung von Praxisanlagen

Werkstoffe aus Rest- und Rohstoffen

Systemintegration der Bioenergie

Bio-CNG und Bio-LNG Erzeugung

## Technische Mitarbeiterinnen & Mitarbeiter



Annette Buschmann



Jacquelline Kindermann



Christof Serve-Rieckmann



Ralph Drescher

## Kontakt

Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie (740)  
Garbenstraße 9  
70599 Stuttgart  
Tel.: +49 (0)711 459 22683  
Fax: +49 (0)711 459 22111  
E-Mail: la740@uni-hohenheim.de

**Besucheranschrift:**

Universität Hohenheim  
Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie  
Garbenstraße 9  
70599 Stuttgart

**Postanschrift:**

Universität Hohenheim (740)  
70593 Stuttgart

Tel.: +49 (0)711 459-22683

Fax.: +49 (0)711 459-22111

Email: [la740@uni-hohenheim.de](mailto:la740@uni-hohenheim.de)

Homepage: [www.uni-hohenheim.de/labioenergie](http://www.uni-hohenheim.de/labioenergie)



Von links nach rechts:

1. Reihe: René Heller, Dr. Anastasia Oskina, Jacqueline Kindermann, PD Dr. Andreas Lemmer, Dr. Hans Oechsner, Christina Brandhorst, Annette Buschmann, Elena Holl, Dr. Andrea Stockl, Naga Sai Tejaswi Uppuluri
2. Reihe: Leoni Neubauer, Dr. Benedikt Hülsemann, Katharina Schoder, Dr. Johannes Krümpel, Jörg Steinbrenner, Ralph Drescher, Elke Weiß, Christof Serve-Rieckmann, Konstantin Dinkler, Marian Baumgart, Gregor Sailer