



pascal²
Biogas
2.0

**Hyänen [HYAENIDAE] sind eine Säugetierfamilie aus der Ordnung der Raubtiere (Carnivora) mit vier rezenten Arten, die in weiten Teilen Afrikas sowie im westlichen und südlichen Asien leben. Hyänen (mit Ausnahme des Erdwolfes) sind typische Allesfresser. Sie fressen Früchte, Pflanzenteile, Eier, Fleisch und Aas. Sie brechen mit ihrem kräftigen Kiefer auch Knochen auf und verspeisen die essbaren Teile.*

VORWORT

Seite 03

Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung

Seite 05

Das zentrale Ziel des Projektes ist die nachhaltige Erhöhung der Biomasseproduktion zur energetischen Verwertung in Österreich. Die ertragsstarke, mehrjährige und anspruchslose Pflanze ist neben den bisher zur Biomassegewinnung genutzten Flächen auch für solche Flächen interessant, die derzeit nicht genutzt werden.

Kaskadische Produktion von Biobutanol und Biomethan aus Biomüll

Seite 11

Ziel dieses Projektes ist die Entwicklung eines kaskadischen 3-Stufen-Prozesses zur Gewinnung flüssiger und gasförmiger Bioenergieträger aus kommunalen organischen Reststoffen. Das zentrale Element dieses Prozesses bildet ein 2-stufiger ABE Prozess mit einer nachgeschalteten Biogasstufe.

Synergetische Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und nachhaltigen Fruchtfolgesystemen

Seite 15

Ziel ist die Ermittlung der Potenziale für einen synergetischen Ausbau der landwirtschaftlichen Biogaserzeugung, welcher nicht nur eine Steigerung des Fruchtfolgeertrags ermöglicht, sondern gleichzeitig eine Reduktion der Grundwasserbelastungen, Erosion sowie Emissionen klimarelevanter Gase anstrebt.

Kurzzeit-Kontaktverfahren zur Entschwefelung erneuerbarer gasförmiger Energieträger

Seite 25

Das Projekt hat zum Ziel, ein neuartiges Entschwefelungsverfahren zu entwickeln, welches technologische und ökonomische Vorteile gegenüber den bisherigen Verfahren aufweisen kann. Dadurch kann einerseits der Chemikalienverbrauch des Verfahrens reduziert, und andererseits der Kontaktapparat signifikant kleiner gebaut werden.

Anbau von Zuckerhirse als Zweit-/Zwischenfrucht zur Nutzung als Bioethanol- und Biomethanrohstoff

Seite 33

Im Großversuch wird bei einer Biogasanlage die nachhaltige Nutzung von Zuckerhirse für die Rohstoffgewinnung zur Ethanol- und Biogasproduktion erforscht. Dabei wird erstmals untersucht, inwieweit Pflanzenproduktion, Logistik, Lagerung, Ethanolrohstoffproduktion und Biogasproduktion in zweiter Generation umsetzbar sind.

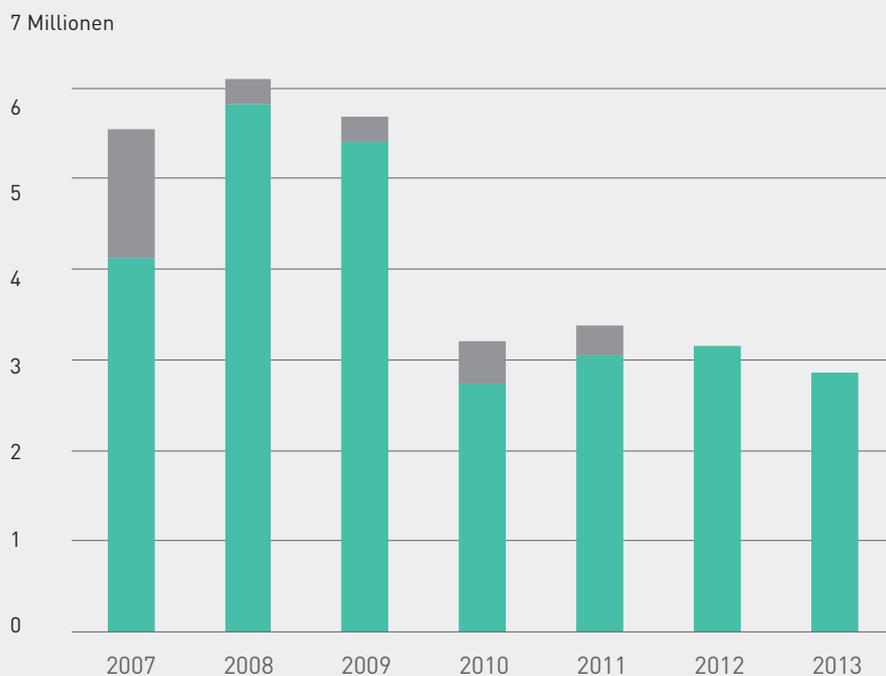
Biogas + Ash Processing

Seite 43

Aschen aus der Biomasse-Feuerung können CO₂ fixieren und H₂S binden. Das Ausmaß der Elimination von CO₂ und H₂S sowie die Eignung dieser Aschen für die Aufbereitung von Biogas werden im vorliegenden Projekt im Labor und in einer semi-industriellen Forschungsanlage untersucht.

Alle geförderten Projekte im Überblick

Seite 50



QUELLE:
Klima- und Energiefonds, Stand: Mai 2014

■ Biogas
■ sonstige Bioenergie



„Gerade in wirtschaftlich schwierigen Zeiten ist es wichtig, neue Wege zu erkunden und in Weiterentwicklung zu investieren. Die Akteure der Branche sind dazu bereit. Der Klima- und Energiefonds wird sie mit dem Energieforschungsprogramm dabei tatkräftig unterstützen.“

THERESIA VOGEL, GESCHÄFTSFÜHRERIN DES KLIMA- UND ENERGIEFONDS

Biogas das „Allround-Talent“ der Energiewende?!

Biogas stellt eine vielversprechende Option unter den erneuerbaren Energieträgern dar: **Biogas kann zur Erzeugung von Strom und Wärme, als Kraftstoff, Erdgassubstitut und Speicher verwendet werden** und ist dadurch besonders flexibel.

Das Ökostromgesetz hat eine rasante Entwicklung der Biogaserzeugung in Österreich ausgelöst. In den Jahren 2003 bis 2007 wurden insgesamt 200 Anlagen mit einer Gesamtleistung von 60 MWel errichtet. Seit 2007 stagniert der Zuwachs, sodass Ende 2013 eine Gesamtleistung von rund 80 MWel installiert war.

Dieser Abwärtstrend ist auch in der BiogASForschung erkennbar. **Seit 2007 hat der Klima- und Energiefonds zwölf BiogASForschungsprojekte mit 2,8 Millionen Euro Förderung unterstützt, davon fünf im Jahr 2007 mit 1,4 Millionen Euro.**

Aufgrund seiner Vielseitigkeit hat Biogastechnologie jedoch Wachstumspotenzial. Es gilt dieses zu nutzen und den erreichten hohen Stand der Entwicklung durch die Weiterführung einer angemessenen Förderung von Forschung- und Entwicklung zu sichern. Im Mittelpunkt stehen die Optimierung von Technologien und Bereitstellung von Biogas im großen und kleinen Leistungsbereich bei gleichzeitiger Reduktion von negativen Umwelteffekten, der Einsatz von Hilfsstoffen zur Erhöhung der Gasausbeute sowie die Weiterentwicklung von Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik.

Eine aufschlussreiche Lektüre wünscht Ihnen

Ihr Klima- und Energiefonds



Projektleitung: JOSEF MAYR
AGES GmbH, Agentur für Gesundheit- und Ernährungssicherheit

ABBILDUNG 1



Dicht geschlossener Silphiumbestand
Standort Hirschstetten, Wien, 06.05.2013

Bioenergy-Silphium

Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung in Österreich

Projekthintergrund

Die Energiepolitik der Europäischen Gemeinschaft zielt darauf ab, den Anteil an erneuerbaren Energiequellen zu steigern (Richtlinie 2009/28/EG). Aus diesem Grund gewinnt die Erzeugung von Energie aus nachwachsenden Rohstoffen an Bedeutung und führte zur Ausweitung der Anbauflächen dominierender Energiepflanzen, wie zB. Mais, Hirse, etc. Die Folge sind vermehrter Schädlings- und Krankheitsbefall (*Diabrotica virgifera* bzw. *Fusarium* spp.) und erhöhte Umweltbelastungen. Der zwangsweise Rückgang der Flächen für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion führt zu Spannungen am Lebensmittelmarkt.

Um dieses Konfliktpotential zu minimieren, braucht es Alternativen. *Silphium perfoliatum* L. könnte so eine Alternative sein, da sie eine ertragsstarke, mehrjährige, anspruchslose Pflanze ist die auch auf Nichtackerflächen (Brach-, Kommunalflächen, ehemaligen Abraum- bzw. Deponieflächen, etc.) und erosionsgefährdeten Flächen (u. a. Hanglagen) kultiviert werden kann. **Damit ließen sich die verfügbaren Flächen für die Produktion von Biomasse-Rohstoffen erhöhen, ohne die Flächen für die Futter- und Nahrungsmittelproduktion einzuschränken.**

Ausgangslage

Silphium perfoliatum L. (kurz Silphie) ist eine in Europa relativ neue Pflanze. Aufbauend auf den Ergebnissen der Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft wurden Lösungsansätze konzipiert, um die Möglichkeiten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit vermehrt auszuschöpfen.

Bisher wurden *Silphium*-Bestände mittels kostenintensiver Pflanzung angelegt. Um der Kultur *Silphium perfoliatum* L. zukünftig eine entsprechende Wettbewerbsfähigkeit zu verleihen, ist die Anwendbarkeit eines praxistauglichen Säverfahrens mit einem hochwertigen Saatgut notwendig.

Die Trockenmasseertragsangaben pro Hektar sind sehr unterschiedlich. Wissenschaftlich fundierten Ergebnisse zur Beurteilung des Ertragspotentials aus Österreich liegen bis dato nicht vor. Da die Potentiale der Bioenergieerzeugung bzw. die Biomasseerträge in hohem Maße durch klimatische Bedingungen bestimmt werden wurden an 3 unterschiedlichen Klimaregionen und in einer Grenzlage des Ackerbaus *Silphium*bestände angelegt und durch unterschiedliche Erntestrategien genutzt.

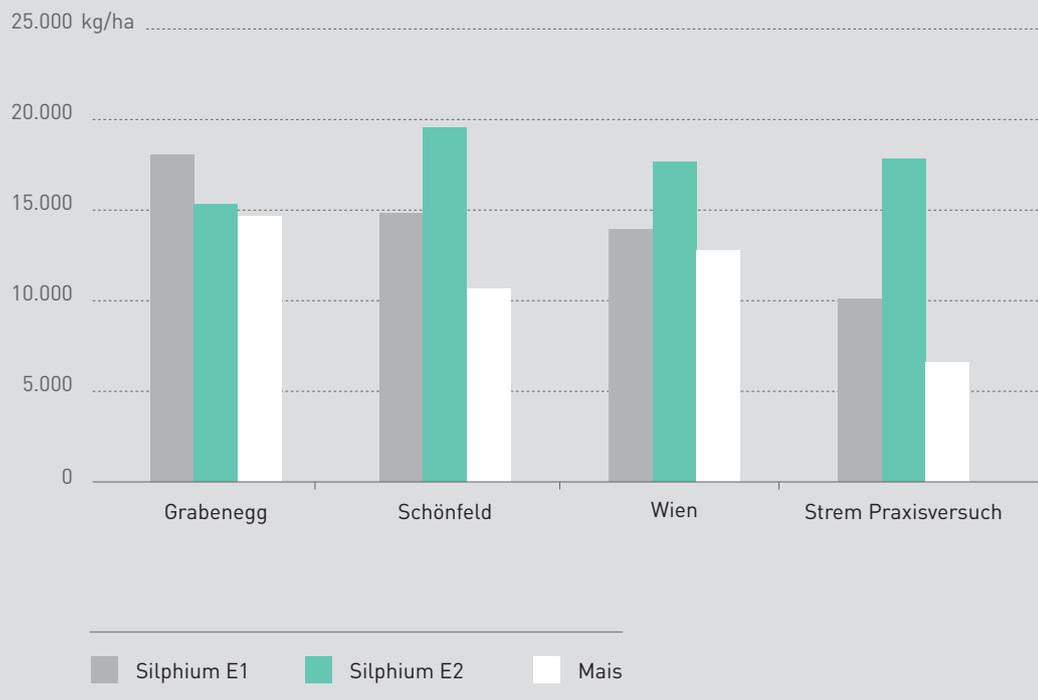
Zum Vergleich mit anderen Energiepflanzen wird die Energieausbeute pro Kilogramm organischer Trockenmasse ermittelt. Dabei kommen unterschiedliche Vorbehandlungsmaßnahmen zum Einsatz, die den Energieoutput optimieren sollen.

Projektziele

- Erfolgreiche Bestandesetablierung von *Silphium perfoliatum* L. in Österreich in drei begünstigten Klimazonen und einer Grenzertragslage des Ackerbaus.
- Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Saatgutes und Optimierung des Saatgutes hinsichtlich der Säbarkeit, sodass eine zeit- und kostensparende Bestandesbegründung mit einer handelsüblichen Sämaschine möglich ist.

Trockenmasseerträge 2013

ABBILDUNG 2



Ertragsergebnisse von Silphium und Mais
an den verschiedenen Standorten von 2013

Trockenmasseerträge und Trockenmassegehalte der Ernte 2013

TABELLE 1

Trockenmasse Ertrag/Anteil 2013	Hirschstetten		Schönfeld.		Grabenegg		Strem	
	TM (t/ha)	TM (%)	TM (t/ha)	TM (%)	TM (t/ha)	TM (%)	TM (t/ha)	TM (%)
Silphium E1	13,84	31,52	14,76	30,16	17,88	20,35	10,03	49,66
Silphium E2	17,56	21,3	19,47	19,46	15,26	16,86	12,74	29,05
Mais	12,61	32,44	10,54	28,88	14,64	32,35	6,56	35,96

- Erhebung von Parametern zur Optimierung der Kulturführung und in weiterer Folge zur Erstellung von Anbauempfehlungen für die Praxis.
- Untersuchung ausgewählter umweltrelevanter Faktoren wie CO₂-Emission, Erosionsstabilität, Eintrag von Nitrat und gelöster Stoffe in Oberflächengewässer sowie ins Sicker- und Grundwasser.
- Erhebung des Energiepotentials der produzierten Biomasse (Biogas, thermische Energie, Ethanol).
- Erlangung praktischer Erkenntnisse zur Bestandesgründung, Kulturführung, Ernte (Befahrbarkeit, Wiederaustrieb, etc.) sowie zur Verwertung in der Biogasanlage.
- Ökonomische Evaluierung der Daten zur Biomasseproduktion von *Silphium perfoliatum* L. im Vergleich mit anderen Energiepflanzen.

Erste Ergebnisse

Die Bestandesbegründung durch Aussaat mit herkömmlichen Becherpflanzmaschinen auf den Versuchsflächen im Jahr 2012 erwies sich als sehr aufwendig. Aufgrund der geringen und leicht zerbröckelnden Wurzelballenmasse wurden die Pflanzen nicht richtig im Boden verankert und es musste Fehlstellen händisch nachgepflanzt werden.

Für die Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Saatgutes für eine Aussaat wurden keimfähigkeitsbeeinflussenden Faktoren ermittelt. Als Ergebnis wurde folgende Keimfähigkeitsprüfmethode definiert: Faltenfilter / 12h Licht / GA3 als Keimflüssigkeit / Stratifikation 7 Tage bei 5°C / danach eine wechselnde Temperatur im 12h Rhythmus zwischen 20 und 30°C. Mit dieser Methode, mit der zukünftig auch das Keimfähigkeitspotential von *Silphium*-Saatgut im Labor ermittelt wird, wurden Keimfähigkeiten von bis zu 96% erzielt. Die pillierten Saatgutvarianten konnten problemlos mit einer handelsüblichen pneumatischen Einzelkornsämaschine ausgesät werden. Dabei wurde ein Feldaufgang von bis zu 70% erreicht.

Für die Unkrautregulierung bis zum Reihenschluss der Bestände waren bis zu fünf Arbeitsgänge mittels händischem hacken notwendig. In den beiden Folgejahren kam es jeweils zu einem sehr raschen Bestandesschluss (siehe Abbildung 1), wodurch keine Unkrautregulierungen mehr notwendig waren. Eine chemische Behandlung gegen Krankheiten oder Schädlinge war ebenfalls nicht erforderlich.

Der Trockenmasseertrag von *Silphium* lag im Erntejahr 2013, sowohl mit Erntestrategie 1 (E1- einmalige Ernte im September), als auch mit Erntestrategie 2



ABBILDUNG 3



„Eine Alternative zu dominierenden Energiepflanzen, die auch auf nicht für die Nahrungs- und Futtermittelproduktion bestimmten Flächen angepflanzt werden kann, ist Mittelpunkt des Projekts. *Silphium perfoliatum* L. ist eine vielversprechende Pflanze, die in unterschiedlichen Klimagebieten Österreichs auf ihre Eignung als Energiepflanze untersucht werden soll.“ PROJEKTLEITER JOSEF MAYR

-----> Bis zu 3 Meter hoher Silphiumbestand
Standort Grabenegg, NÖ, 22.07.2013

(E2-2malige Ernte im Juli und im Oktober), an allen vier Versuchsstandorten über die des Mais (siehe Abbildung 2). Die Pflanzen erreichten eine Höhe von bis zu 3 m (siehe Abbildung 3).

Der Trockenmassegehalt des Erntegutes war, je nach Erntestrategie und Erntezeitpunkt, unterschiedlich. Der für eine Silierung geforderte Mindesttrockenmasse-Anteil von 25% wurde bei E1 an den Standorten Hirschstetten, Schönfeld und Strem erreicht. Am Standort Grabenegg, sowie bei E2 auf allen Standorten wurde dieser nicht erreicht (siehe Tabelle 1).

Die Biomethanproduktion der Silage nach 30 Tagen der im Juli bzw. September geernteten Materials lag bei 249 bis 305 Nl und 228 bis 253 Nl bezogen auf 1 kg Trockenmasse. Verglichen mit Mais lagen die Biomethanproduktion um 9% bzw. 24% niedriger als bei Mais.

Nach 60 Tagen war die durchschnittliche Methanausbeute aus den Juli-Proben 6% bzw. September-Proben nur 17% darunter.

Schlussfolgerungen

- Silphium perfoliatum L. ist eine ausdauernde Pflanze mit jährlich hohen Biomasseerträgen.
- Die Keimfähigkeitstest und Pilierversuche zur Entwicklung von qualitativ hochwertigem Saatgut zur Aussaat zeigten positive Ergebnisse.
- Der geringe Pflegeaufwand in den Nutzungsjahren sowie die Erosionsminderung durch raschen Bestandesschluss bieten ökologische Vorteile gegenüber Kulturen mit intensivem Pflegeaufwand.
- Um optimale Verhältnisse für eine Silierung zu schaffen wird Abhängig von Erntestrategie und Erntezeitpunkt eine Zweiphasige Ernte mit einer eingeschobenen Anwelkphase als notwendig erachtet.
- Die etwas geringere Methanausbeute gegenüber Mais wurde im Erntejahr 2013 zum Teil durch die höheren Biomasseerträge ausgeglichen.
- Die lange Nutzungsdauer (mindesten 10 Jahre) müssen in der ökonomischen Beurteilung gegenüber anderen Energiepflanzen mit einbezogen werden.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Die veränderten Rahmenbedingungen und der damit vermehrte Anbau der durchwachsenen Silphie in Deutschland sind Hinweise auf die Zukunftsorientiertheit dieses Projekts.
- Die ökologischen Vorteile dieser anspruchslosen Pflanze in den Nutzungsjahren sind starke Argumente für dieses Projekt.
- Durch die Ergänzung der beiden Forschungsinstitutionen der AGES GmbH und der Universität für Bodenkultur im Projekt, werden die bestehenden Netzwerke wesentlich intensiviert und erweitert.

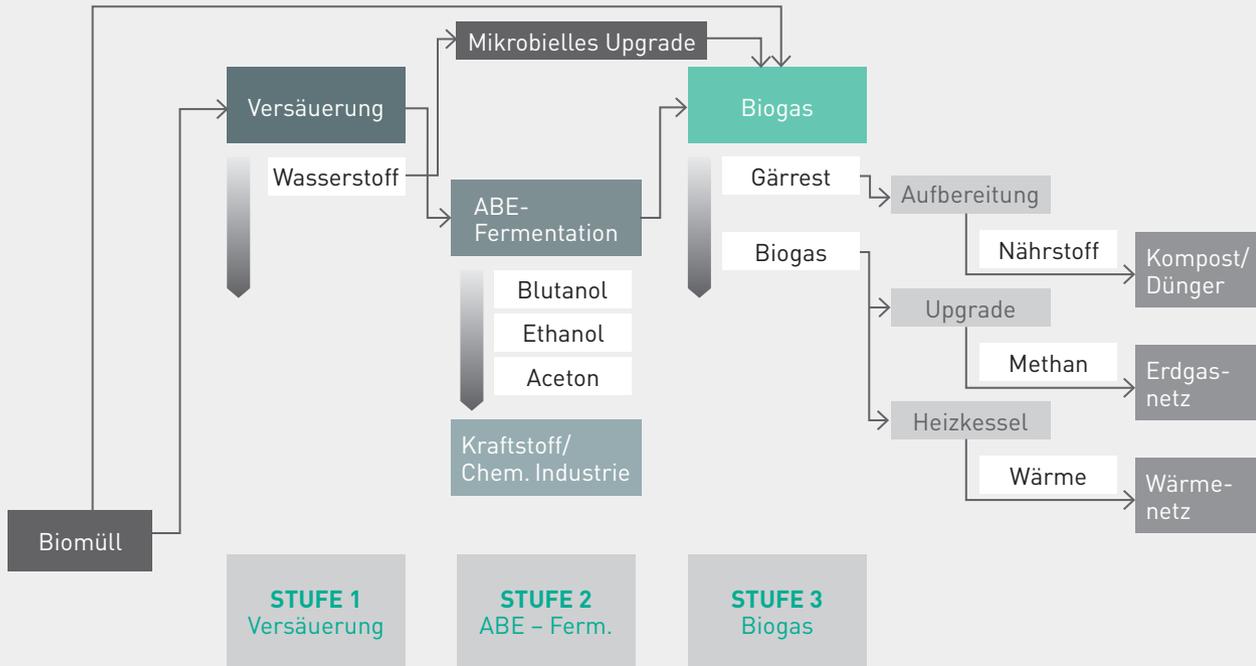




Projektleitung: MARKUS ORTNER
BIOENERGY 2020+ GmbH

KASAV - Multifermentationsprozess

ABBILDUNG 1



KASAV

Kaskadische Produktion von Biobutanol und Biomethan aus Biomüll

Ausgangslage zum Projekt

Rohstoff- und Energiepreise sind in den letzten Jahren deutlich gestiegen und dieser Trend wird wohl in Zukunft mit vereinzelt Ausnahmen (aktuell Schiefergas als kurzfristiger Preisdrücker) weiterhin fortgesetzt werden. Aus diesem Grund ist es wichtig diesem Trend entgegenzuwirken und vermehrt die Nutzung von regionalen und erneuerbaren Energieträgern zu forcieren.

Dass Österreich mit seiner energiepolitischen Ausrichtung am richtigen Weg ist, zeigt neben der wachsenden Zahl von e5 Gemeinden unter anderem auch ein weltweiter Vergleich von Großstädten im Hinblick auf Innovation, Technologie und Nachhaltigkeit durch den US-amerikanischen Klimastrategen Boyd Cohen. Dabei wurde Wien 2011 an die erste Stelle der so genannten „Smart Cities“ gereiht, die Ressourcen intelligent und effizient nutzen.

Die Stadt Wien respektive die MA48 haben durch ihre Biomüllsammlung und Errichtung einer Biogasanlage bereits einen Meilenstein im Bereich des urbanen Abfallmanagement und der Versorgungssicherheit gelegt.

Abfall als Rohstoff für biobasierte Verfahren zur Energiebereitstellung

Substratbereitstellungskosten stellen die höchsten Kosten im Bereich von biobasierten Energiebereitstellungsverfahren dar. Aus diesem Grund wird seit einiger Zeit intensiv nach Alternativsubstraten gesucht. Diese sind in der Regel organische Abfall- und/oder Nebenprodukte aus der Industrie/Haushalt (wie zB. Biomüll), die in keinem bestehenden Konkurrenz-

verhältnis zu anderen Anwendungen (wie zB. Treber oder Trester als Tierfutteradditiv) stehen. Diese Reststoffe werden bereits in vielen Fällen als Ausgangssubstrat für die Produktion von Biogas herangezogen. Zwar weisen Reststoffe zum Teil hohe chemische Energiedichten auf, doch das Vorhandensein von Störstoffen oder etwaigen mikrobiellen Hemmstoffen und die damit oft notwendige intensive Aufbereitung stellt eine große Herausforderung für jegliche biobasierten Verfahren dar.

Biobasierte gasförmige und flüssige Energieträger

Biogas bzw. Biomethan stellt momentan den wichtigsten biobasierten gasförmigen Energieträger dar. Im Bereich der flüssigen Energieträger sind das in erster Linie Bioethanol und Biodiesel.

Fermentativ hergestelltes Butanol wurde bis Ende der 1960er Jahre großtechnisch produziert, verlor dann aber an Bedeutung, da die eingesetzten Rohstoffe für die Erzeugung zu teuer wurden. Seit einiger Zeit scheint es aber eine Revitalisierung dieses biobasierten Verfahrens zu geben. Dies zeigten nicht zuletzt entsprechende Forschungsbemühungen von namhaften Chemieunternehmen. Darüber hinaus gibt es speziell in China starke Anstrengungen diesen Weg stärker auszubauen.

Biobutanol wird von vielen Seiten her eine sehr gute Marktentwicklung mit jährlichen Wachstumszuwächsen von 2-5% in Aussicht gestellt.

Biobutanol hat vielerlei Vorteile gegenüber anderen bereits etablierten biobasierten Kraftstoffen. Zu nennen



„Der klassische 1-stufige anaerobe Verwertungsweg soll durch eine 3-stufige Fermenter-kaskade ersetzt werden. Damit kann neben Biomethan auch Biobutanol bereitgestellt werden, das sowohl als Kraftstoffalternative den Einsatz von fossilen Energieträgern weiter reduzieren als auch als chemischer Baustein in der chemischen Industrie einen wertvollen Beitrag leisten kann. Durch diesen Multifermentationsprozess kann neben der Produktvielfalt auch die Wertschöpfung des Einsatzstoffes „Biomüll“ signifikant gesteigert werden.“

PROJEKTLEITER MARKUS ORTNER



ABBILDUNG 2+3



wären hier ua. ein höherer spezifischer Energiegehalt, bessere Mischbarkeit mit fossilen Kraftstoffen, niedrigerer Dampfdruck und dadurch geringe Emissionen an flüchtigen Verbindungen sowie geringere korrosive und hygroskopische Eigenschaften.

Neben dem Einsatz als Kraftstoffadditiv stellt Biobutanol auch eine wertvolle Substanz in der chemischen Industrie dar. Es ist vor allem als Löse- und Extraktionsmittel sowie als Baustein für die Herstellung von diversen chemischen Verbindungen (Butylester, Ether, etc.) stark nachgefragt.

Projekt KASAV:

Kaskadische Nutzung von Biomüll zur Gewinnung von Biobutanol und Biomethan

Biogene Reststoffe, insbesondere städtischer Biomüll wird bislang gar nicht zu flüssigen Energieträgern wie zB. Bioethanol verwertet, der Großteil der Reststoffe wird zur Herstellung von Biogas genutzt oder über den Weg der Kompostierung entsorgt.

In diesem Projekt soll Biomüll als regional anfallende erneuerbare Roh(Rest-)stoffquelle einer kaskadischen 3 Stufen-Fermentationskette zur Erzeugung von sowohl gasförmigen als auch flüssigen Sekundärenergieträgern zugeführt werden.

Das zentrale Element des KASAV-Prozesses bildet eine ABE Prozesseinheit (2. Stufe), wo das Hauptprodukt Biobutanol gewonnen wird. Um hohe Ausbeuten zu erhalten, werden spezielle kontinuierliche Produktabtrennungsverfahren eingesetzt. Der ABE-Stufe nachgeschaltet ist eine Biogasstufe (3. Stufe), wo ein Teilstrom des Biomülls sowie die Fermentationsrückstände aus den beiden ersten Teilstufen (Stufe 1 und 2) zu Biogas umgesetzt werden. Zusätzlich wird abgetrennter Wasserstoff aus der 1. Fermentationsstufe eingebracht und durch eine spezielle Prozessführung die Methankonzentration (internes mikrobielles Biogas Upgrade) signifikant erhöht. Bisherige Rückschläge bei der Biobutanolproduktion wie zB. niedrige Ausbeuten infolge von Endprodukthemmung, geringen Biomasseaktivitäten oder langen Anlaufphasen in Batch-Prozessen sollen durch eine stetige Produktabtrennung, Immobilisierung der Mikroorganismen an Trägermaterialien sowie eines kontinuierlich laufenden 3-Stufen-Prozesses überwunden werden.

Das finale Ziel ist die Demonstration eines kontinuierlichen Mehrstufen-Prozesses mit simultaner Multi-Produktabtrennung sowie eine Bewertung unter technologischen, ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Neben Biogas wird ein weiterer zukunftsträchtiger Energieträger (Biobutanol) aus der Ressource Bioabfall produziert
- Nutzung von Wasserstoff aus dem Prozess zur Erhöhung der Methanqualität im nachgeschalteten Biogasprozess (internes mikrobielles Biogas Upgrade)
- Etablierung eines innovativen Multifermentationsprozesses zur Produktion gasförmiger und flüssiger Energieträger





Projektleitung: MANFRED SZERENCSEITS
Ökocluster

ABBILDUNG 1



Biogasmix im Südburgenland; Ertrag am 29.09.2011
ca. 5 t TS/ha bei Anbau in der letzten Juli-Woche

Syn-Energy II

Synergetische Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und nachhaltigen Fruchtfolgesystemen

Einleitung

Die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten (ZF), Maisstroh, Gülle und anderen Reststoffen hat gegenüber der Nutzung von Mais zahlreiche Vorteile. Biogas aus diesen Substraten verursacht keine Flächenkonkurrenz oder Gefährdung der Ernährungssicherheit, sondern erhöht die regionale Wertschöpfung ohne Verdrängung sonstiger inländischer Erzeugung. ZF können darüber hinaus auch Risiken des Ackerbaus für Wasser, Boden, Natur und Klima verringern.

Im Rahmen der Projekte Syn-Energy I und II wird deshalb untersucht, welche (Energie-)Erträge mit ZF erzielbar sind und welche Vorgehensweise für Anbau, Düngung und Ernte am Besten geeignet ist. Ergänzend wird ermittelt, welche ökologischen und volkswirtschaftlichen Effekte mit der Biogaserzeugung aus ZF und Reststoffen erreichbar sind.

Zwischenfrüchte – Pflanzen, die zwischen zwei Hauptkulturen Biomasse bilden

Neben Sommer-ZF, die nach Getreide oder Raps angebaut und im Herbst beerntet werden, kann auch aus Winter-ZF, die vor Mais, Soja, Kürbis oder Hirse Anfang Mai beerntet werden, Biogas erzeugt werden. Folgt auf Getreide zB. Mais können Mischungen aus Sommer- und Winter-ZF angebaut und sowohl im Herbst als auch im Frühjahr beerntet werden.

SommerZF

Das Ertragsniveau ist vor allem vom Anbauzeitpunkt und Witterungsverlauf abhängig. Durch die Zusammenstellung von ZF-gemengen, deren Mischungspartner unterschiedliche Klimabedingungen bevorzugen

(zB. BIOGASMIX: Sudangras, Sonnenblume, Futtererbse, Klee, Wicke, Phacelia) wird eine Anpassung an unterschiedliche Witterungsverläufe und damit die Ertragsicherheit erhöht. Gemenge mit Blühpflanzen haben auch einen erfreulichen Nebeneffekt: Die Flächen werden zum Blütenmeer und begeistern damit nicht nur Bienen, Hummeln und Schmetterlinge sondern auch Anrainer. Sind Leguminosen enthalten, kann die Düngung minimiert und als Zusatznutzen Stickstoff fixiert werden. Mit möglichst frühzeitigem Anbau nach der Ernte von Gerste oder Raps werden Erträge von 6-8 t Trockensubstanz (TS) pro ha erreicht. Beim Anbau nach Weizen Mitte bis Ende Juli liegen die Erträge im Oktober bei ca. 5 t TS/ha. Bei ungünstigem Witterungsverlauf oder Anbau im August verringert sich die Ertragserwartung entsprechend auf 2-5 t TS bzw. die Bestände sind unter Umständen nicht erntewürdig. Der durchschnittliche Methangehalt von Sommer-ZF variierte zwischen 240 und 380 NI/kg TS. Der Anbau sollte in der Regel unmittelbar nach Beerntung der Hauptkultur erfolgen. Mulchsaattechnik ermöglicht Stoppelsturz, Anbau und ggf. Gülleearbeitung in einem Arbeitsgang. In Gebieten mit höherem Trockenheitsrisiko dürfte eine Staffelung der Anbauermine (Teile der Flächen jeweils nach Wintergerste, Raps, Weizen und anderen Druschfrüchten) sinnvoll sein, wenn sich dies aus arbeitswirtschaftlichen Gründen oder der Fruchtfolge nicht ohnehin ergibt. Zur Sicherung der positiven Umwelt- und Wasserschutzeffekte sollte auf den Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Mineraldünger zur Zwischenfrucht verzichtet werden.



ABBILDUNG 2+3



Beispiele für Mulchsaattechnik

„Mit Zwischenfrüchten wird die bisherige Kritik an der Biogaserzeugung nicht nur obsolet. Die vielfältigen positiven Nebeneffekte für Umwelt und Klima und der umfassende gesellschaftliche Nutzen der energetischen Nutzung von Zwischenfrüchten und Reststoffen können zu einer deutlichen Verbesserung der Akzeptanz beitragen und dadurch den weiteren Ausbau der Versorgung mit erneuerbarer Energie erleichtern.“ PROJEKTLLEITER MANFRED SZERENCSEITS



Untersaaten und biologischer Ackerbau

In Gebieten mit kürzerer Vegetationsperiode oder bei biologischer Bewirtschaftung sind Klee- oder Gras-Untersaaten im Getreide eine Alternative zur Blanksaat. Bei guter Entwicklung können auch mit Untersaaten 5 t TS/ha erzielt werden. Die Verwertung von Untersaaten, ZF und Klee gras eröffnet insbesondere für viehlose Biobetriebe Chancen zur Erhöhung des Ertragsniveaus bzw. der Ertragssicherheit.

Winter-ZF

Das Ertragsniveau und die Auswirkungen auf die nachfolgende Hauptkultur werden entscheidend von der Frühjahrsdüngung und dem Erntetermin der ZF bestimmt. Als Winter-ZF mit früher Beerntung sind neben Grünschnittroggen, Inkarnatklee und Wintererbsen auch Winterwicken und Winterrüben geeignet. Bei Ernte in der ersten Maiwoche sind Erträge von 6 t TS/ha möglich. In der letzten Aprilwoche können 3-5 t TS/ha erzielt werden. Bei der Düngung von nachfolgendem Mais ist der niedrige Nmin-Gehalt nach der ZF-Ernte zu berücksichtigen. Dann können Ertragseinbußen in der Regel vermieden werden. Häufig wird befürchtet, dass Winter-ZF zu viel Wasser entziehen und deshalb zu Mindererträgen bei der Folgekultur führen. Nach bisherigen Erfahrungen

werden Mindererträge jedoch eher durch Nährstoffmangel hervorgerufen, weil nach der ZF-Ernte im Boden nur 10-30 kg Nmin / ha (0-90 cm) verbleiben. Der Methangehalt von Winter-ZF lag zwischen 270 und 370 Nl/kg TS.

ZF mit zweimaliger Beerntung

In Lücken zwischen Wintergetreide und Mais oder Soja ergibt sich die Möglichkeit der zweimaligen Beerntung. Auf diese Weise konnten je nach Anbau- und Erntetermin Gesamt-Erträge zwischen 5 und 9 t TS/ha erzielt werden. Die bekannteste Zwischenfrucht Mischung, die dafür in Frage kommt, ist das Landsberger Gemenge. Es können aber auch andere winterharte Pflanzen, die nach einer Schnittnutzung weiterwachsen, mit Gräsern und Klee gras kombiniert werden.

Vergleich mit Ergebnissen anderer Projekte/Organisationen

In Projekten in Deutschland und Frankreich wurden ähnliche Erträge ermittelt wie in Syn-Energy. Sie reichten je nach Anbauzeitpunkt, Düngung, Erntetermin und Pflanzenart von nicht erntewürdig bis 8 t TS/ha.



W-erbse, Grünschnittroggen, Inkarnatklee



Inkarnatklee, Winterwicke, Grünschnittroggen

Mais- und Rapsstroh und kombinierte Verwertung mit Gülle

In Abhängigkeit von Maissorte und Ertrag können bei Nutzung als Körnermais oder CCM Maisstroherträge von 2-8 t TS/ha erzielt werden. Der Methangehalt betrug 240 bis 320 NI CH₄/t TS, abhängig vom Reifezustand der Restpflanze. Die Rapsstroherträge sind etwas geringer und lagen zwischen 2 und 5 t TS/ha mit einem Methanertrag von 180-250 NI CH₄/t TS. Die Nutzung von ZF, Stroh und anderen Reststoffen als Co-Substrat ermöglicht die Biogaserzeugung aus Gülle auch in Regionen mit hoher Flächenkonkurrenz, ohne diese mit Mais als Co-Substrat zusätzlich anzuheizen.

Berntung, Lagerung und Zerkleinerung

Die Auswahl der Erntetechnik ist nicht nur für Rentabilität, Trockensubstanzgehalt und Schlagkraft, sondern auch für die Akzeptanz bei Kooperationslandwirten ein entscheidender Faktor. Für ZF hat

sich kurzes Anwelken nach dem Mähen bewährt. Die Beräumung mit Direktschneidwerk am Häcksler ist nur bei sehr gut entwickelten ZF-Beständen rentabel. Die Beräumung von ZF mit Kurzschnittladewagen reduziert sowohl die Kosten als auch das Risiko von Bodenverdichtungen. Stroh wird zunächst mit einem Mulcher, der mit Band- oder Schneckenkollektor ausgerüstet ist, auf Schwad gelegt. Mit dem Ladewagen kann bei der Beräumung von Stroh eine höhere Ladedichte erreicht werden als mit dem Häcksler. Bei Nutzung des Ladewagens ist jedoch die Aufbereitung der Biomasse im Einbringsystem der Biogasanlage erforderlich. Hierfür haben sich zB. Prallbrechmaschinen und Hammermühlen bewährt, die das Material aufschlagen und für die Bakterien eine möglichst große Oberfläche zu schaffen. Die Aufbereitung in der Anlage hat den Zusatznutzen, dass auch Pferdemit oder Gras von Naturschutzflächen als Ergänzung zu

ABBILDUNG 6



Kurzschnittladewagen bei der Beerntung von Winter-ZF

ZF und Stroh verwertet werden können. ZF haben ohne vorheriges Anwelken niedrige TS-Gehalte und sind bei Anfall größerer Mengen aufwendiger zu silieren. Maisstroh hingegen ist (vor allem bei späterem Erntezeitpunkt) meist zu trocken für eine Silierung. Da Maisstroh und Sommer-ZF im gleichen Zeitraum siliert werden können, kann ein optimaler TS-Gehalt im Silo erreicht werden.

Energieertrag

Bei durchschnittlich 4-5 t TS/ha und Methangehalten von ca. 280 NI/kg TS können ca. 1300 Nm³ Methan/ha brutto erzeugt werden. Das entspricht je nach Wirkungsgrad des Blockheizkraftwerks ca. 5000 kW_{hel} und ca. 6000 kW_{hth}. Ein ha durchschnittlich entwickelter ZF reicht somit aus, um den gesamten Strom- und ca. die Hälfte des Raumwärmebedarfs eines durchschnittlichen 4-Personenhaushalts zu decken.

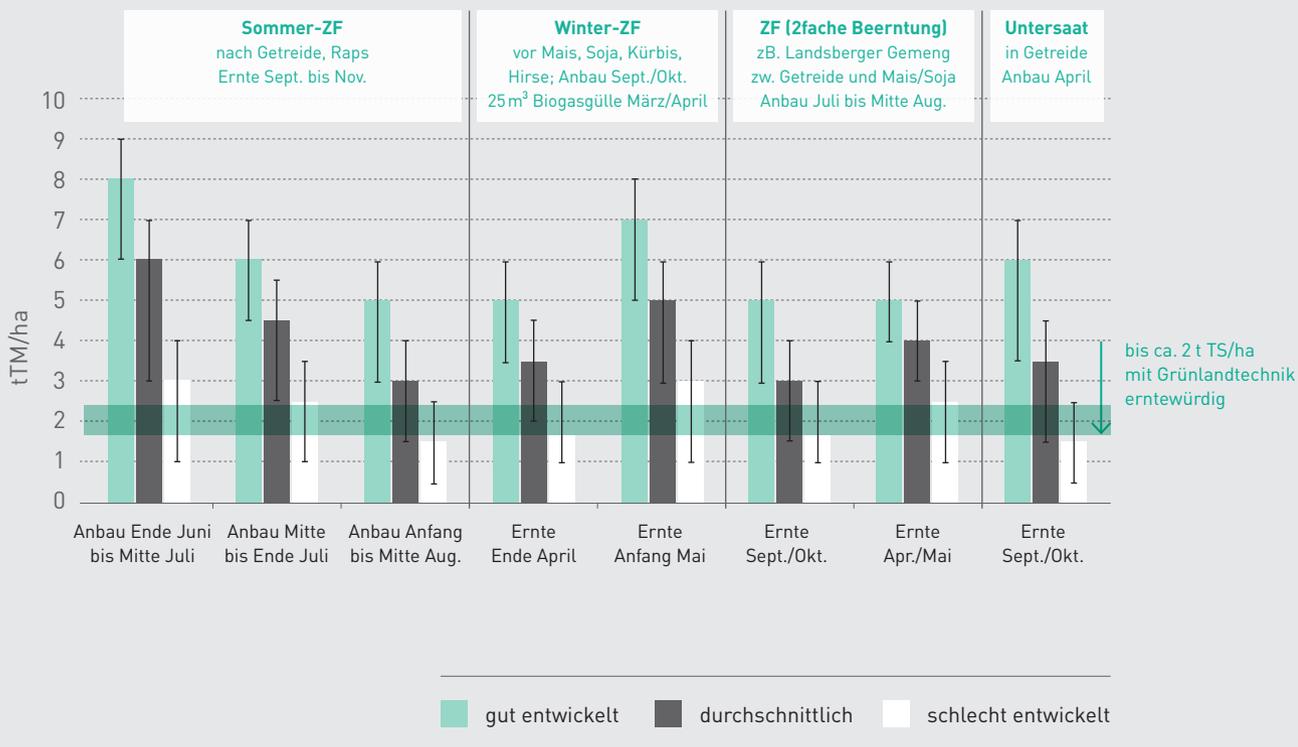
Wird das Biogas zu Methan aufbereitet, stehen abzüglich des Energiebedarfs für Anbau, Ernte, Transport, Biogaserzeugung, -Aufbereitung und -Verdichtung netto ca. 1000 Nm³ Methan/ha z. B. für die Treibstoffnutzung zur Verfügung. Mit einem gasbetriebenen PKW können damit bei einem Verbrauch von 4,9 kg Biomethan (entspricht ca. 7,4l Benzin) ca. 15.000 km zurückgelegt werden. Würde auf 50% der österreichischen Ackerflächen Bio-Methan aus ZF erzeugt werden, ergäbe dies netto ca. 680 Mio. Nm³ Methan pro Jahr. Mit Reststoffen und Wirtschaftsdünger erhöht sich das Gesamtenergiepotenzial um ca. 80% auf 1.250 Mio. Nm³ Methan. Das entspricht ca. 12,5 TWh bzw. 45 Petajoule oder 18 Mrd. km bei Treibstoffnutzung im PKW. Zum Vergleich: Der Leichtverkehr auf österreichischen Autobahnen/Schnellstraßen betrug 2011 23,7 Mrd. Kfz-Kilometer.

Zwischenfrucht Etragspotenziale

Trockenmasse/Hektar und Jahr

Kulturführung ohne Pflanzenschutz und Mineraldünger

ABBILDUNG 7



8-15 % des Energieertrags pro ha ZF sind ausreichend, um nicht nur Bodenbearbeitung, Anbau, Düngung, Pflege, Ernte und Transport der ZF, sondern auch der Hauptkultur zu decken. Traktoren, die Methan als Treibstoff nutzen können, wurden bereits von Steyr und Valtra entwickelt. Eine energieautarke, umwelt- und klimafreundliche Landwirtschaft ohne Einschränkung der Ernährungssicherheit wird mit Biogas aus ZF und Reststoffen möglich.

Ökologische Effekte

Die Biogaserzeugung aus ZF oder Feldresten hat nach aktuellem Stand des Wissens keine negativen Auswirkungen auf den Humusgehalt und die Bodenfruchtbarkeit, wenn schwer abbaubare Anteile der organischen Substanz mit der Biogasgülle dem Boden wieder zugeführt werden. In der Regel ist die Biomassebildung im Falle der Beerntung von ZF jedoch deutlich höher als bei geplanter Gründüngung, weshalb durch die Biogasnutzung eine Verbesserung der Humusbilanz zu erwarten ist. Durch die höhere Biomassebildung verbleibt mit den Wurzeln und Ernterückständen unter Umständen unmittelbar eine ähnlich große Menge an frischer organischer Substanz als Nahrung für das Bodenleben auf dem Acker wie bei der Gründüngung. **Darüber hinaus bleiben die positiven Effekte des ZF-Anbaus wie Erosionsschutz und vermindertes Nitratauswaschungsrisiko auch im Falle der Biogaserzeugung erhalten und tragen zur Verringerung landwirtschaftlich bedingter Risiken für Boden, Wasser, Umwelt, Klima und Natur bei.** Zusätzlich bewirkt die Aberntung der Feldreste eine Reduktion der Vermehrung von Schädlingen und der Fusarienbelastung. Die zusammenfassende Bewertung durch Errechnung des ökologischen Fußabdrucks ergab, dass dieser durch die Biogaserzeugung aus ZF im Vergleich zu praxisüblicher Landwirtschaft mit Nutzung von fossiler Energie um 50-60 % reduziert werden kann.

Wirtschaftliche Bewertung

Die Kosten für ZF-Anbau, Düngung und Beerntung lagen zwischen 250 und 530 €/ha. Mit Mulchsaattechnik, einem Leguminosenanteil von ca. 50 % im ZF-Gemenge sind mit angepasster Erntetechnik in der Regel 350 €/ha ausreichend. **Die Einnahmen für die Biomasse betragen für 4,5 t TS zwischen 270 und 500 €/ha.** Ohne Berücksichtigung des ZF-Anbau-Zusatznutzens und der Einsparungen für den Stoppelnsturz war somit in der Regel ein Ertrag von 4,5 t TS ausreichend, um sämtliche Kosten zu decken. Setzt man für den Zusatznutzen und die Einsparungen 150 € an (das entspricht auch in etwa den Kosten für den ZF-Anbau zur Gründüngung bzw. den Ausgleichszahlungen für ZF-Anbau in Agrarumweltprogrammen), ist bereits ein TS Ertrag von 2,5 t/ha zur Kostendeckung ausreichend. Bei Maisstroh entstehen bei einer Ernte mit Bandmulcher und Ladewagen ähnliche Erntekosten wie bei ZF von ca. 30 €/t TS (Feld Hof Entfernung ca. 3km). Es zeichnet sich jedoch ab, dass die größte Herausforderung bei der ZF-Nutzung das Management einschließlich Koordination und Kommunikation ist. Eine Abschätzung der hierfür anfallenden Kosten ist zur Zeit nicht möglich.

Schlussfolgerungen

Die Biogaserzeugung aus ZF hat zahlreiche positive volkswirtschaftliche Wirkungen (Steigerung der Wertschöpfung und Schaffung von Arbeitsplätzen im ländlichen Raum, weil keine andere Produktion verdrängt wird; Folgeeffekte von Investitionen; Verbesserung der Ernährungssicherheit, weil energieautarke Landwirtschaft möglich ist; aktiver Klimaschutz durch Substitution fossiler Energie und mineralischem N-Dünger; Reduktion des Risikos von Lachgasemissionen im Vergleich zur Gründüngung; Reduktion des N-Auswaschungs-Risikos; Verbesserung des Erosionsschutzes, etc.). Deshalb wäre es naheliegend, die praktische Umsetzung durch die zumindest ansatzweise Honorierung der gesellschaftlichen Leistungen

Kosten und Erlöse der Biogaserzeugung aus ZF ohne Berücksichtigung von Fruchtfolgeeffekten, kurzfristig monetär schwer/nicht erfassbaren Nebeneffekten und Kommunikations- bzw. Koordinationsaufwand

Kosten [€/ha]		von-bis	min.		von-bis	max.	empfehlenswert bzw. Durchschnitt
Anbau	Mulchsaat	50-60	50	Bodenbearbeitung u. Säkombination	bis 130	130	50
Saatgut	ohne Leguminosen	ab 30	30	mit Leguminosenanteil von ca. 50%	100-120	120	120
Gülleausbringung	20-25 m ³		70	10-15 m ³		30	30
Ernte	Ladewagen; 2 km zur Anlage; Vorwelken	ab 100	100	Häcksler; 5 km zur Anlage; ohne Vorwelken	bis 250	250	150
Summe Kosten			250			530	350
Summe Kosten für ZF zur Gründung		80-90	80		150-250	250	150
Summe der Kosten, die über Gründung hinausgehen			170			280	200
Erlös € / t TS		ab 60	60		bis 110	110	85
Erlös bei 2,5 t TS/ha			150			275	213
Erlös bei 3,5 t TS/ha			210			385	298
Erlös bei 4,5 t TS/ha			270			495	383
Erlös bei 5,5 t TS/ha			330			605	468

zu erleichtern. Die Vorzüge der Energiebereitstellung aus ZF sind jedenfalls fachfremden Personen und politischen Vertretern einfacher zu vermitteln, als die der Biogaserzeugung aus Mais. Eine Verbesserung der ökonomischen Rahmenbedingungen wäre für die Anfangsphase erforderlich, wenn eine großflächige Anwendung erreicht werden soll. Denn unter den

aktuellen Bedingungen sind die betriebswirtschaftlichen Anreize in Relation zu den Risiken gering. In Deutschland wurde bereits im EEG 2012 ein Bonus von 2 bis 4 Cent pro kWh_{el} für die Biogaserzeugung aus Leguminosengemengen, Lupine, Phacelia, Winterrüben, Klee gras und Luzernegras als ZF eingeführt.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Zwischenfrüchte ermöglichen die Bereitstellung von Bioenergie bei gleichzeitiger Verbesserung der Ernährungssicherheit sowie Umwelt- und Klimaverträglichkeit der Landwirtschaft.
- Die Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und Reststoffen schafft Arbeitsplätze und erhöht die inländische Wertschöpfung ohne sonstige Arten der Produktion zu verdrängen, Ressourcennutzung einzuschränken oder Arbeitsplätze in anderen Bereichen zu gefährden.
- Es ergibt sich eine WIN-WIN-Situation, die zur Verbesserung der gesellschaftlichen Akzeptanz der Biogaserzeugung in der Bevölkerung beiträgt und den weiteren Ausbau ermöglichen kann.



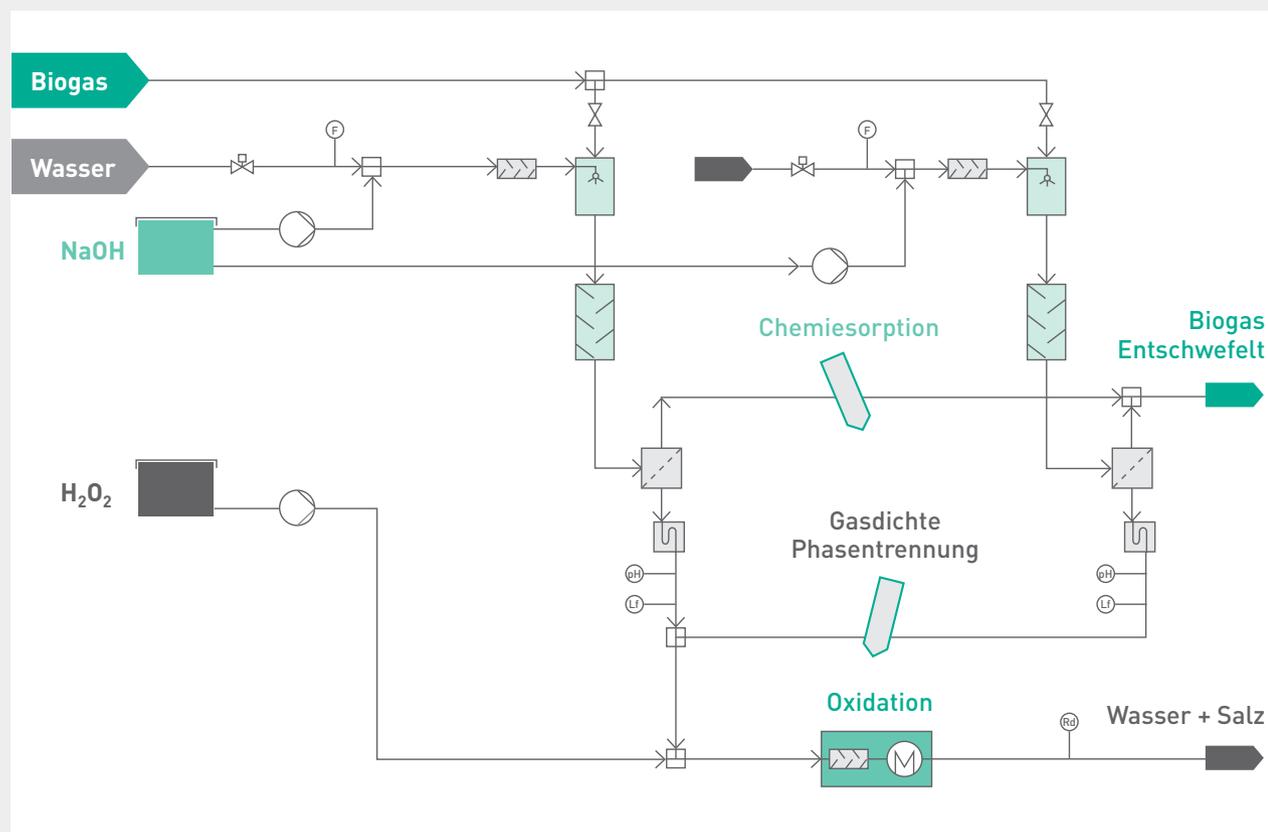


Projektleitung: MICHAEL HARASEK

Technische Universität Wien, Institut für Verfahrenstechnik,
Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

Funktionsschema

ABBILDUNG 1



SHOCOTEC

Kurzzeit-Kontaktverfahren zur Entschwefelung erneuerbarer gasförmiger Energieträger

Erneuerbare gasförmige Energieträger können einen nennenswerten Beitrag bei der Lösung der Energieversorgungsproblematik und des Treibhausproblems leisten. Von speziellem Interesse sind hierbei aufgrund des technologischen Entwicklungsstandes Biogas aus anaerober Fermentation sowie das Produktgas der Dampfvergasung von Holz (Vergasergas). Um einen qualitativ einwandfreien Energieträger aus diesen Produktgasen zu produzieren, ist der Einsatz einer effizienten Gasaufbereitung erforderlich. Als Produkt können dann beispielsweise Biomethan oder Biowasserstoff hergestellt werden. Biomethan kann bei ausreichender Gasqualität als vollwertiges Erdgas-Substitut direkt in bestehende Erdgasnetze eingespeist werden oder direkt als Kraftstoff „Bio-CNG“ verwendet werden. **Obwohl für die Abtrennung der Hauptverunreinigung des Rohgases, nämlich Kohlendioxid, heute bereits eine Vielzahl verschiedener Verfahren kommerziell verfügbar ist, hat sich herausgestellt, dass bei der Abtrennung der Spurenverunreinigungen, und hier speziell Schwefelwasserstoff, noch Entwicklungsbedarf besteht.**

Das Projekt SHOCOTEC (Short Time Contacting Technology for The Desulphurisation of Renewable Gaseous Energy Carriers) hatte zum Ziel, ein neuartiges Entschwefelungsverfahren zu entwickeln, welches technologische und ökonomische Vorteile gegenüber den bisherigen Verfahren aufweisen kann, aber auch sicherheitstechnisch durch die Trennung von Absorption und Oxidation auf dem letzten Stand ist (Abbildung 1). Basierend auf der bereits entwickelten chemisch-oxidativen Wäsche des Gases mittels Natron-

lauge und Wasserstoffperoxid sollte als Herzstück der Technologie ein neuer Kontaktapparat entwickelt werden, der durch sehr kurzen Phasenkontakt zwischen Gas und Waschflüssigkeit die Abtrennselektivität zwischen Schwefelwasserstoff und Kohlendioxid signifikant erhöhen kann, wobei die sehr schnelle Absorptionskinetik des Schwefelwasserstoffs gezielt ausgenutzt wird. Dadurch kann einerseits der Chemikalienverbrauch des Verfahrens reduziert, und andererseits der Kontaktapparat signifikant kleiner gebaut werden (Abbildung 2). Beides reduziert die Investitionskosten und die Betriebskosten und führt zu niedrigeren spezifischen Gasaufbereitungskosten. Neben der intensiven experimentellen Untersuchung anhand einer Versuchsanlage werden zur Unterstützung des Designs des Kontaktapparates umfangreiche strömungstechnische Analysen durchgeführt. Nur eine optimale Strömungsführung mit sehr gutem Phasenkontakt gewährleistet eine hohe Abscheideleistung für Schwefelwasserstoff. Das neue Entschwefelungsverfahren verlangt für einen optimalen und effizienten Betrieb eine verlässliche Quantifizierung des Wasserstoffperoxids in der wässrigen Waschflüssigkeit, weshalb im Rahmen des Projekts eine neue Analyse-methode basierend auf Infrarot-Spektroskopie als Online-Sensorsystem entwickelt wird. Eine leistungsfähige Prozessautomatisierung nutzt die in Echtzeit gelieferten Daten zur optimalen Regelung der Anlage. Das ausgezeichnete dynamische Anlagenverhalten soll dazu beitragen, selbst bei stark schwankenden Eingangsbedingungen, stets ein Produktgas mit konstant hoher Qualität zu liefern.

Größenvergleich mit konventionellen Verfahren

ABBILDUNG 2



biologische Entschwefelung

konventionelle Wäsche

Kurzzeit-Kontaktor

„Ein zuverlässiges, effizientes und betriebssicheres Entschwefelungsverfahren für Biogas und andere erneuerbare gasförmige Energieträger ist eine wichtige Voraussetzung für die Biogasaufbereitung, für Methanierungsverfahren, aber auch für die Realisierung von Power-to-Gas Konzepten. Durch ein neuartiges Verfahrenskonzept vermeidet unser Verfahren den Kontakt von Sauerstoff oder Oxidationsmitteln mit dem Schwefelwasserstoff enthaltenden, gasförmigen Energieträger. Es ist deutlich kompakter als herkömmliche Verfahren, und mit dem im Projekt entwickelten Sensor kann das Oxidationsmittel punktgenau dosiert werden. Der erfolgreiche Testbetrieb der Pilotanlage war für das gesamte Projektteam ein großer Erfolg und ein wichtiger Schritt hin zu einem kommerziellen Produkt.“ PROJEKTLEITER MICHAEL HARASEK



In der ersten Phase des Projektes wurde die neue Abscheidetechnologie im Labormaßstab mit verschiedenen H₂S-haltigen Testgasen untersucht. Die Versuche im Labormaßstab haben demonstriert, dass die vorgeschlagene Technologie zur Entfernung und Neutralisierung von Schwefelwasserstoff funktionstüchtig ist und einige Vorteile gegenüber dem Stand der Technik aufweist. Das komplette Entschwefelungssystem inklusive der drei wichtigsten Schritte der Prozesskette, Kurzzeit-Kontaktor, Tröpfchenabscheidung und Oxidationsstufe, wurde an der TU Wien aufgebaut. **Diese Versuche erfüllten die Rolle eines Proof-of-Concept, und es wurde nachgewiesen, dass trotz tatsächlich sehr kurzer Kontaktzeiten (<<1 s) hohe Abscheidegrade von Schwefelwasserstoff erreicht werden können.** Die Erkenntnisse waren die Basis für die Auslegung des Versuchstandes für die Feldversuche im Pilotmaßstab, wobei der Versuchstand sehr kompakt und transportabel konzipiert wurde. Die Versuche im Labormaßstab haben gezeigt, dass der Chemikalienverbrauch, nämlich das Oxidationsmittel, um etwa 50% im Vergleich zum aktuellen Stand der Technik, reduziert werden kann. Zusätzlich konnte während der Versuche beobachtet werden, dass der entwickelte Prozess ein hohes Potenzial in Hinblick auf Wassereinsparungen, insbesondere durch den Einsatz konzentrierter Lösungen bzw. durch Kreislaufführung aufweist.

Parallel dazu wurde die chemisch-analytische Fragestellung der Konzentrationsmessung von Wasserstoffperoxid in der Mischung mit Salzen, Natronlauge und unterschiedlichen Schwefelverbindungen untersucht. Wichtiges Projektziel war die Entwicklung eines geeigneten IR-basierten Sensorprototyps für die Online-Messung von Wasserstoffperoxid (Abbildung 3). Die Detektion der Wasserstoffperoxid-Konzentration wurde dabei mittels Infrarotspektroskopie realisiert. Aufgrund der deutlich geringeren Kosten von durchstimmbaren Filtern zur Variation der Wellenlänge des IR wurde ersichtlich, sich auf diese zu konzentrieren. Dabei kamen neue optische Bauteile, vor allem die durchstimmbaren Fabry-Pérot Filter, zum Einsatz. Diese wurden in der ersten Phase des Projektes umfassend charakterisiert und auf Tauglichkeit für die angestrebten Messungen getestet. Gleichzeitig wurden Proben, die zum einen von einer bestehenden Entschwefelungsanlage nach herkömmlichem Anlagenkonzept und zum anderen der Versuchsanlage an der TU Wien entnommen worden waren, mit einem FT-IR Spektrometer vermessen. Dabei ist die Anwesenheit von Substanzen, die die Analyse von Wasserstoffperoxid im spektralen Bereich des durchstimmbaren Filters stören, aufgefallen. Da zu diesem Zeitpunkt für die Filter kein alternativer Bereich im IR Spektrum verfügbar war, wurde eine alternative Methode zur Bestimmung der

Wasserstoffperoxidmessung

ABBILDUNG 3

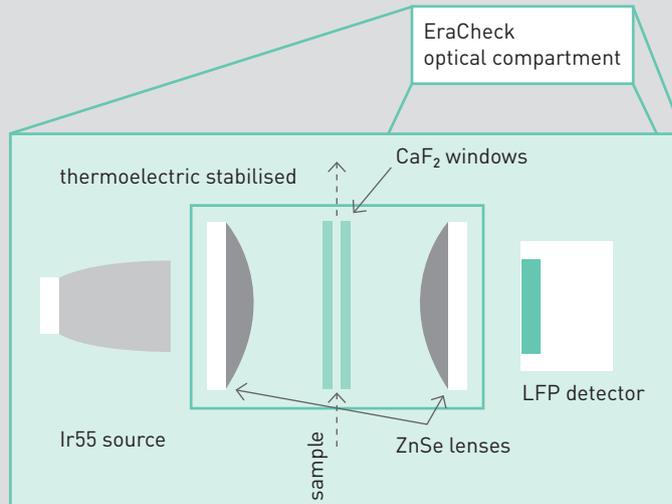


ABBILDUNG 4



Versuchsanlage

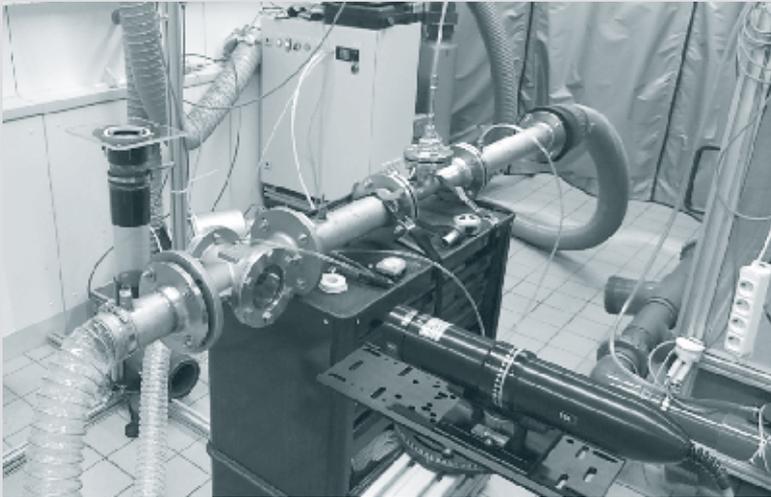


ABBILDUNG 5

Experimenteller Aufbau
Tröpfchengröße

Wasserstoffperoxid-Konzentration gewählt. Hierbei sollen mittels chemischer Modulation (pH-Wert) alle Störsubstanzen entfernt und dann mittels durchstimmbarem Filter erfolgreich quantifiziert werden. Dazu wurden Vorversuche mit den Störkomponenten durchgeführt.

Im Rahmen der zweiten Phase des Projekts entstanden 2 Sensor-Prototypen, wobei einer mit einer Flusszelle zur Messung in Transmission ausgestattet wurde, sowie ein weiterer nach einem anderen Messverfahren. Beide Systeme wurden anschließend charakterisiert. Die Transmissionseinheit bietet dabei durchaus den Vorteil einer höheren Nachweisstärke aufgrund der längeren Interaktionsstrecke zwischen Licht und Probe. Ein weiterer wichtiger Schritt in der zweiten Phase des Projektes war die Konstruktion des Kurzzeit-Kontaktors („Waschapparates“) für etwa $200 \text{ Nm}^3/\text{h}$ (Abbildung 4). Der Kontaktor wurde, ähnlich wie bei den Laborversuchen, in waagrechter Auslegung konzipiert und strömungstechnisch mit laseroptischer Strömungsmess-technik untersucht (Abbildung 5 + 6). Der Kontaktor kann mit unterschiedlichen Mischeinrichtungen zur Intensivierung des Phasenkontaktes, sogenannten statischen Mischern, bestückt werden. Die Kontaktzeit lässt sich ebenfalls leicht durch den Umbau der Rohrlänge bis zur Phasentrenneinrichtung, einem

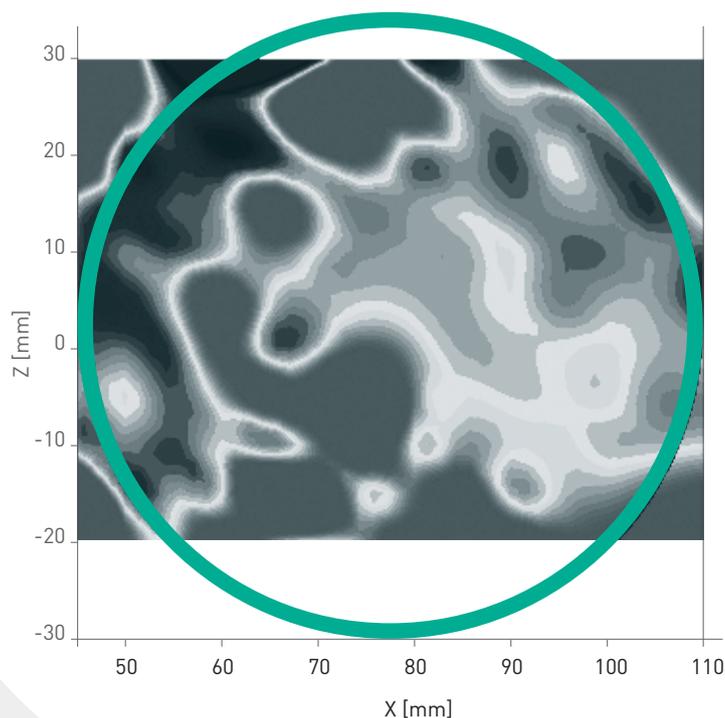
Tröpfchenabscheider aus Drahtgestrick, variieren. Die Pilotanlage umfasst den separat beschickbaren Oxidationsreaktor sowie eine vollständig ausgestattete Dosierstation für die Dosierung von Wasser, Lauge und Oxidationsmittel. Die Versuchsanlage ist mit einer kompakten SPS-Prozessautomatisierung bestückt, sodass auch externe Signale wie die H_2S -Messung oder der entwickelte Wasserstoffperoxid-Sensor in die Regelkreise der Automatisierung eingebunden werden können.

Der abschließende Teil des Projektes beinhaltet die Feldversuche, während derer die Daten über die Verbrauchswerte und die Trenneffizienz unter realen Bedingungen ermittelt wurden (Abbildung 7). Die Trenneigenschaften im Feldversuch lagen wohl unter den Erwartungswerten der Laborversuche, jedoch weiterhin in einem günstigen Bereich. Die Performance-daten für die zukünftige Auslegung größerer Anlagen wurden daher aus den Feldversuchen mit der $200 \text{ m}^3/\text{h}$ Versuchsanlage ermittelt.

Für das interdisziplinäre Projektteam war dieses Projekt sehr erfolgreich, weil eine innovative verfahrenstechnische Lösung optimal mit einer innovativen chemisch-analytischen Lösung kombiniert werden konnte. Trotz der Herausforderungen in Hinblick auf die Durchführung einzelner Projektziele – wie beispielsweise die

Tröpfchengrößenmessung

ABBILDUNG 6

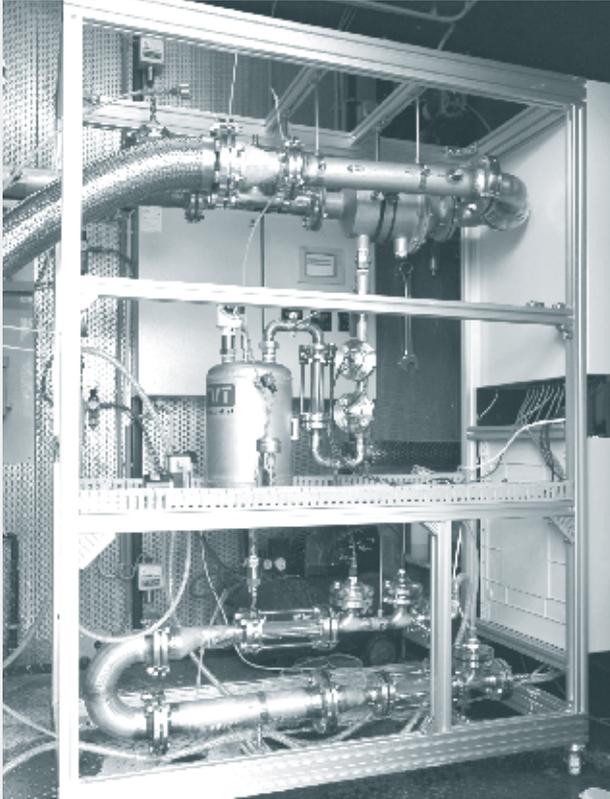


Feldversuche bei einer Biogasaufbereitungsanlage – konnten alle Hauptaufgaben des Projektes nach dem eingereichten und bewilligten Projektplan erfüllt werden. Diese umfassten die Entwicklung und Konstruktion des Kurzzeitkontaktapparates, der Testanlage und des Messsystems für die Regelung des Wasserstoffperoxidgehaltes. Eine komplette einstufige Anlage nach dem vorgeschlagenen Prinzip wurde in einem mehrwöchigen Feldversuch an einer Biogasanlage getestet. Die Online-Analyse der Wasserstoffperoxid-Konzentration in dem Gaswäschesystem mittels Infrarotspektroskopie mit den in diesem Projekt getesteten optischen Bauteilen zeigt einen neuen Weg zu einem kostengünstigen, robusten und billigen Sensor für verfahrenstechnische Problemstellungen. Dabei ist dieses System auch generisch auf andere, ähnliche Fragestellungen anwendbar und stellt somit ein flexibles und zukunfts-trächtiges Messsystem dar.

Zu einem sehr wichtigen Ergebnis des Projektes gehört die Entwicklung von erfahrungsbasierten Richtlinien für eine effiziente Auslegung der Entschwefelungsapparate nach dem innovativen Trennprinzip. Dabei hat sich gezeigt, dass aufgrund des niedrigen Druckverlustes des Wäschesystems auch mehrstufige Schaltungen leicht implementierbar sind und so beliebige Schwefelwasserstoff-Abscheidegrade leicht erreichbar sind.

In weiterer Perspektive geht das Projektteam von einer Kommerzialisierung der entwickelten Technologie aus. Mit potenziellen Kunden und Inkubatoren werden Gespräche über die Errichtung einer ersten Pilotanlage nach der aktuellen Projektphase geführt. **Ein erster Prototyp im technischen Maßstab mit einer Entschwefelungskapazität von 500 m³/h Biogas bei max. 1000 ppm H₂S wird bis Ende 2014 assembliert und für einen umfangreichen Feldtest Anfang 2015 vorbereitet** (Abbildung 7).

ABBILDUNG 7



Versuchsanlage im Feldtest (links)
Demo Prototyp (rechts)

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Hochflexible, kompakte Entschwefelungstechnologie für Biogas und andere methan- und wasserstoffhaltige Produktgase erstmals im Pilotmaßstab erfolgreich im Betrieb
- Kurzzeitkontaktor mit genau definierter Kontaktzeit nützt Absorptionskinetik optimal und reduziert Absorbervolumen – geringere Investitions- und Betriebskosten – ressourcenschonender Chemikalieneinsatz
- Interdisziplinäres Projektteam entwickelt zusätzlich einen innovativen IR-basierten Online-Sensor zur Konzentrationsmessung von Wasserstoffperoxid für die sparsame Dosierung

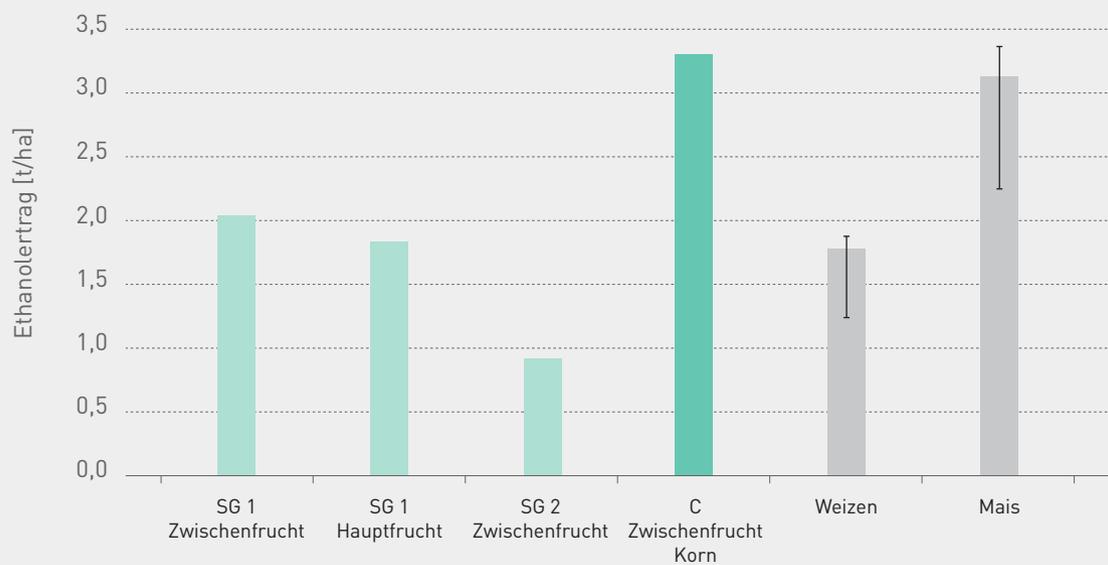




→ **Projektleitung:** MANFRED KIRTZ, AGRAR PLUS

Ethanolерtrag von Zuckerhirse und den Referenzrohstoffen Weizen und Mais für Sugargraze 1, Sugargraze 2 und Chopper

ABBILDUNG 1



- Ethanol aus Zucker (Ernte mit höchstem Zuckerertrag)
- Ethanol aus Stärke (4. Ernte)
- Ethanolерtrag Referenz

BISUNFUEL

Anbau von Zuckerhirse als Zweit-/Zwischenfrucht zur Nutzung als Bioethanol- und Biomethanrohstoff

Ausgangssituation/Motivation des Projektes

Nachwachsende Rohstoffe zur Nutzung in den Bereichen Ökostrom, regenerative Wärme und alternativer Treibstoff werden unter den gesteckten österreichischen Zielen (Kyoto, 34% Einsatz von Alternativenergien in Österreich bis 2020) immer wichtiger, um den CO₂-Ausstoß zu minimieren. Die potenziellen Flächen für den Anbau von nachwachsenden Rohstoffen stehen aber in direkter Konkurrenz zur Lebensmittelproduktion, sodass, ausgelöst durch starke Marktpreisschwankungen, die Diskussion bezüglich Teller-Trog-Tank ein ständiger Begleiter für die nunmehr 295 Biogasanlagen darstellt. Zusätzlich kommt es durch die Siedlungstätigkeit zu einem weiteren Flächenentzug, welchem durch neue Produktionsverfahren in der Ackerwirtschaft entgegengewirkt werden muss. Darüber hinaus stellen Preisschwankungen auch Biogasanlagenbetreiber vor schwierige Herausforderungen, um den wirtschaftlichen Betrieb ihrer Anlage aufrecht zu erhalten. Zuckerhirse (*Sorghum bicolor*) als Zwischen-/Zweitfrucht nach dem Getreideanbau stellt eine Möglichkeit dar mittels kaskadischer Nutzung einen Rohstoff für die Bioethanol-Industrie sowie Pflanzenrestmassen mittels thermomechanischen Aufschluss für die Biogasproduktion bereit zu stellen. Die Motivation für den Biogasanlagenbetreiber ist einerseits die Möglichkeit einen Großteil seiner benötigten Rohstoffe aus Pflanzenrestmassen einer Zwischen-/Zweitfrucht zu beziehen und andererseits einen Rohstoff für die Bioethanolproduktion zu erzeugen. Für die Bioethanolindustrie steht dadurch ein neuer Rohstoff zur Verfügung. Dadurch ist es möglich sich von den Getreide- und Maispreisschwankungen

abzukoppeln. Volkswirtschaftlich stehen hingegen durch einen geringeren Bedarf an Getreide bzw. Mais für die Bioethanolindustrie sowie der Biogasproduktion mehr Anbauflächen für die Nahrungs- und Futtermittelindustrie zur Verfügung.

Ziel

Ziel des Projektes ist es anhand des vollständigen Produktionsablaufs aufzuzeigen, dass die Produktion des Rohstoffs für die Bioethanolindustrie und die Biogasproduktion zweiter Generation mittels Zwischen-/Zweitfrucht (*Sorghum bicolor*) nachhaltig, ökologisch und wirtschaftlich umgesetzt werden kann. Dazu wird mittels Pflanzengroßversuchen unter wissenschaftlicher Anleitung zusammen mit Landwirten, Biogasanlagenbetreibern die potenzielle Zuckerhirsesorte zusammen mit der optimalen Ernte- und Lagermethode sowie der effizientesten Methode für die Bereitstellung des Rohstoffes für die Bioethanolindustrie und der Biogasanlage erarbeitet.

Durchführung des Projektes

Das Projekt wurde in vier Teilbereiche aufgliedert:

1. Auswahl der geeigneten Zuckerhirseart: Anbau, Pflege, Ernte, Lagerung, Weiterverarbeitung.
2. Verfahrenstechnische Optimierung zur stofflichen und energetischen Nutzung der Hirse
3. Ökologische Bewertung der kaskadischen Nutzung der Zwischen-/Zweitfrucht *Sorghum bicolor* zur Biogas und Bioethanol-Erzeugung
4. Darstellung der Zukunftssicherheit der Zwischen-/Zweitfrucht unter dem Aspekt des Klimawandels

1. Anbauversuche

Anbau, Pflegemaßnahmen und Ernte sind vergleichbar mit dem Maisanbau und erfordern dadurch keine zusätzliche Mechanisierung.

Untersuchte zuckerproduzierende Arten:

Sugargraze, Sugargraze 1, Sugargraze 2, Nectar

Bei den oben genannten Arten handelt es sich um Sorten, welche sich durch den hohen Zuckergehalt von <15% im Stängel und in den Blättern auszeichnen; durch Auspressen des Zuckersaftes bzw. Ganzpflanzenfermentation ist es möglich aus dem eingelagerten Zucker Bioethanol zu produzieren.

Bei den Versuchsreihen konnte besonders bei Sugargraze 1 ein hoher Zuckerertrag mit bis zu 4,4 t pro Hektar festgestellt werden. Es muss aber bei diesem Ergebnis darauf hingewiesen werden, dass die klimatischen Bedingungen in diesem Versuchsjahr ideal waren. Durch ungünstige Produktionsverhältnisse während der weiteren Versuchsjahre konnte dieses Ergebnis nicht wiederholt werden.

Bei einem Zuckerertrag von 4,4 t/ha ist die daraus mögliche Ethanol-Produktion von rund 2,1-2,2 t/ha vergleichbar bzw. höher als würde man Weizen als Rohstoff für die Bioethanol-Produktion heranziehen.

Untersuchte Stärkearten:

Chopper	23431
Nutrigrain	Farmsorgho
PAC 537	Supersol
PAC 501	GK Emesse
26837	Express

Bei den oben genannten Arten handelt es sich um Zuckerhirsehybride welche sich durch besonders hohe Stärkeproduktion in den Fruchtständen auszeichnen. Bei der Stärkesorte Chopper wurde im ersten Versuchsjahr ein Kornertag von 10,23 t TM/ha erzielt. Der Stärkeanteil im Korn betrug 63,7%. Setzt man einen Zucker-Umsetzungsgrad von 100% voraus, so ergibt

sich dadurch ein Zuckerertrag von 7,2 t TM/ha. Aus den 7,2 t /TM/ha Zucker lassen sich rund 3,3 t Ethanol pro Hektar produzieren.

Wie schon bei den Zuckerarten erwähnt, wurde dieser hohe Ertrag bei besonders günstigen Witterungsverhältnissen im Jahr 2011 erreicht. In den Versuchsjahren 2012 und 2013 konnten aufgrund einer sehr verkürzten optimalen Vegetationsperiode die oben dargestellten Ergebnisse nicht erreicht werden.

LAGERUNG

Zuckervarianten:

Für die praktische Umsetzung einer Ethanol-Produktion aus den, in der Zuckerhirse gebildeten, freien Zuckern ist es notwendig, diese über einen längeren Zeitraum zu konservieren.

Eine Möglichkeit zur Konservierung des Zuckers in der Pflanzenbiomasse ist die Anlage einer Silage, in der jedoch keine Milchsäuregärung stattfinden darf. Bei einer herkömmlichen Silierung werden die einwertigen Zucker sofort abgebaut.

Bei den Lagerungsversuchen konnte mittels Ameisensäure der Abbau des Zuckergehaltes über mehrere Monate stabilisiert werden. Die Analyse des Zuckergehalts, welche nach 3 Monaten gezogen wurde, zeigte nur minimale Zuckerverluste.

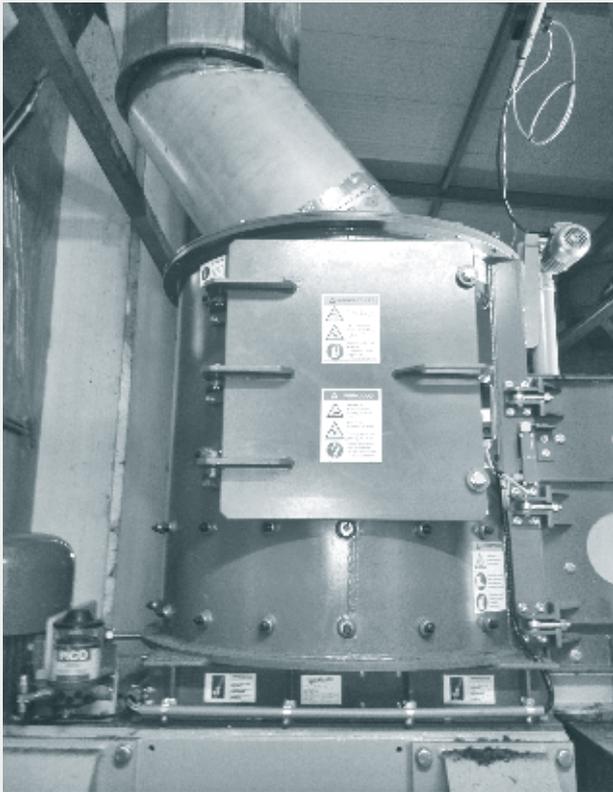
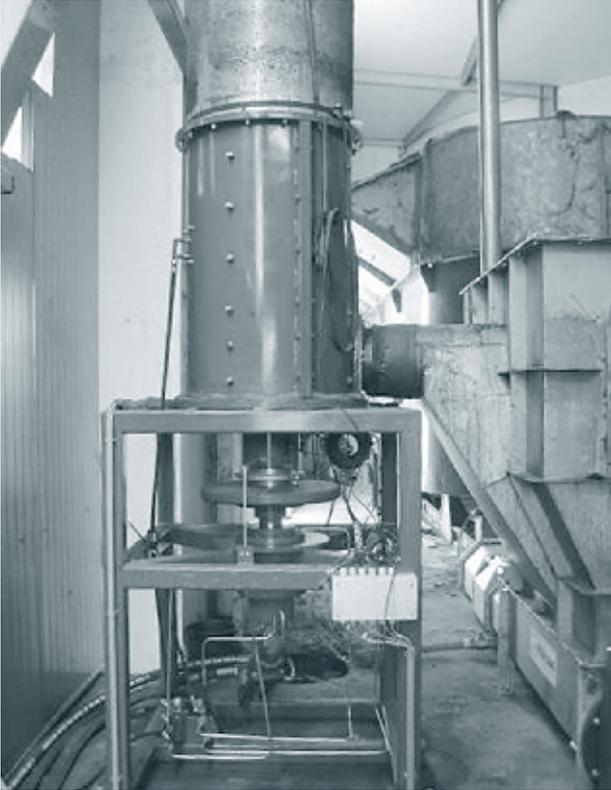
Die Versuchslagerungen wurden so eingestellt, dass ausgehend von 80% Ameisensäure Versuchsreihen mit 0,5, 0,75 und 1% bezogen auf die Frischmasse beigemischt wurde.

Ab einem Anteil über 0,75% konnte eine Stabilisierung des Zuckers über mehrere Monate beobachtet werden.

Stärkevariante:

Hinsichtlich der Lagerung der Körner von Stärkehirsen gibt es bereits etablierte Verfahren aus der Getreideproduktion. Wichtig ist die Einhaltung eines Trockenmassegehalts von über 83% um mikrobiologische Aktivitäten zu unterbinden. Wird dieser nicht erreicht, so müssen die Körner zuvor getrocknet werden.

ABBILDUNG 2

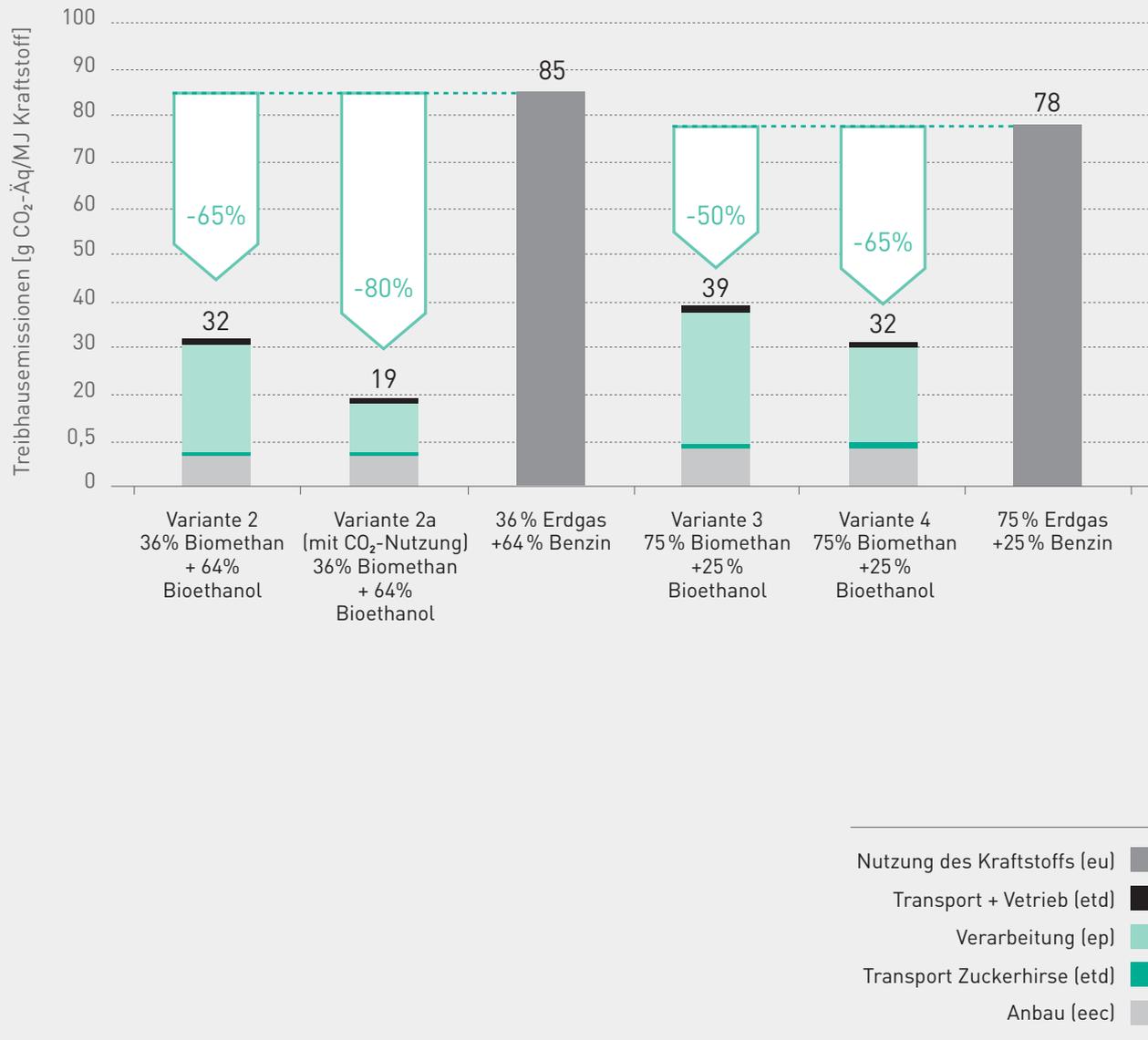


Prototyp und Demoversion des Bio-Heat-Converters der EVM Margarethen am Moos (Foto: EVM Margarethen am Moos)

Gesamtemissionen und Einsparung von Treibhausgasemissionen

ABBILDUNG 3

durch Biomethan und Bioethanol aus Zuckerhirse im Vergleich zu Erdgas und Benzin



2. Verfahrenstechnische Optimierung zur stofflichen und energetischen Nutzung der Hirse

Für die verfahrenstechnische Optimierung, die auch als Grundlage für die ökologische Bewertung der kaskadischen Nutzung herangezogen wurde, wurden folgende Prozessvarianten untersucht.

- Getrennte Nutzung von Stroh und Körnerhirse (Stärkevariante, Variante 2)
- Ganzpflanzenfermentation einer Zuckerhirsesorte (Variante 3)
- Getrennte Verarbeitung von Zuckersaft und Restpflanze (Variante 4)
- Als Vergleichsprozesse wurden eine konventionelle Biogasanlage mit Maissilage und eine Ethanolproduktion aus Mais herangezogen (Variante 1).

Dabei konnte unter Einbeziehung der Ergebnisse aus den Anbau- und Lagerversuchen die Variante 2 als geeignetste Variante identifiziert werden. Dies liegt vor allem an der einfachen Ernte, Lagerung sowie Verbringung der Stärke zu einem zentralen Bioethanolproduzenten. Bei der Biogasanlage ist aber für das strohartige Material vor Einbringung ein Aufschluss des Materials vorzunehmen welches in Margarethen am Moos durch einen eigens zu diesem Zweck entwickelten Bio-Heat-Converter durchgeführt wird. Dadurch ist auch der Einsatz von Wirtschaftsdünger mit hohem Strohanteil, Mais- Raps-, und Getreidestroh möglich.

3. Ökologische Bewertung

Im Rahmen des Projektes wurde eine ökologische Bewertung von Zuckerhirse als Rohstoff zur Bioethanol- und Biomethanherstellung durchgeführt. Es wurden die Treibhausgasemissionen (Kohlendioxid - CO₂, Methan - CH₄, Distickstoffmonoxid/ Lachgas - N₂O) und der Primärenergiebedarf (erneuerbar, fossil, sonstige) von den drei oben genannten Varianten mit Zuckerhirse untersucht: Mit Hilfe der erarbeiteten Datenbasis wurden die dargestellten Gesamtemissionen

und die Einsparung von Treibhausgasemissionen für die untersuchten Systemvarianten bestimmt. Für die stärkehaltige Zuckerhirsesorte, bei der Korn und Stroh getrennt werden, das Korn in einer zentralen Anlage zur Bioethanol-Produktion eingesetzt und aus dem Stroh Biomethan gewonnen wird, ergeben sich Gesamtemissionen in der Höhe von 32 g CO₂-Äq./ (0,36 MJ Biomethan + 0,64 MJ Bioethanol).

Wird bei dieser Variante in einer zentralen Bioethanol-Anlage auch CO₂ abgetrennt und verflüssigt, reduzieren sich die spezifischen Treibhausgasemissionen auf 19 g CO₂-Äq./ (0,36 MJ Biomethan + 0,64 MJ Bioethanol).

Diese Variante erreicht die höchste Treibhausgaseinsparung mit 80% im Vergleich zu Erdgas und Benzin.

Bei Ganzpflanzennutzung einer zuckerhaltigen Zuckerhirsesorte ergeben sich bei Ganzpflanzenfermentation (Variante 3) 39 g CO₂-Äq./ (0,75 MJ Biomethan + 0,25 MJ Bioethanol) bzw. bei Zuckersaftfermentation (Variante 4) 32 g CO₂-Äq./ (0,75 MJ Biomethan + 0,25 MJ Bioethanol). Die Einsparung von Treibhausgasemissionen betragen 50% bzw. 65% im Vergleich zu Erdgas und Bioethanol.

Der Vergleich mit Standardwerten aus der EU-Richtlinie und Literaturwerten für Biomethan aus Mais und Bioethanol aus Weizen und Mais zeigte, dass die Emissionen beim Anbau der Zuckerhirse mit 7-9 g CO₂-Äq./MJ Kraftstoff günstig sind. Dies ergibt sich primär durch die vergleichsweise hohen Rohstoff- und Biokraftstoffträge, die aus den Daten im Versuchsjahr 2011 abgeleitet werden konnten. Diese Ergebnisse konnten bei den Anbauversuchen in den Jahren 2012 und 2013 nicht wiederholt werden. Daraus kann geschlossen werden, dass die vorliegenden Treibhausgaseinsparungen ein Potential bei sehr günstigen Anbau- und Witterungsbedingungen darstellen.

Unter diesen günstigen Anbaubedingungen erreichen drei der vier untersuchten Systemvarianten mit Zuckerhirse, die für das Jahr 2018 geforderte Treibhausgaseinsparung der EU, in der Mindesthöhe von 60%.

Der gesamte Primärenergiebedarf ist bei den Systemvarianten mit Zuckerhirse etwas höher (0,2 - 0,3 MJ/MJ

Zukünftige Entwicklung der potentiellen Anbaubereiche

2011 - 2040

2036 - 2065

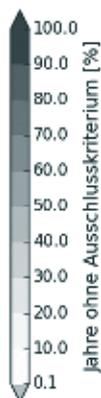
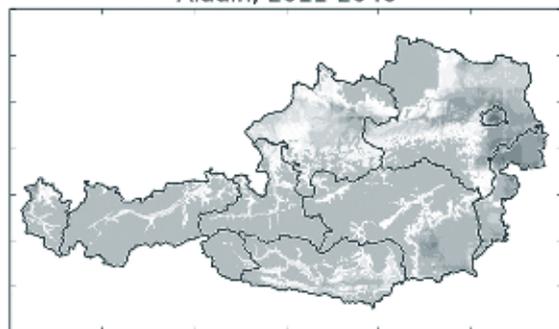
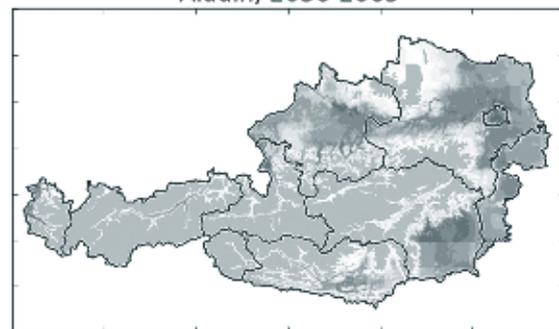
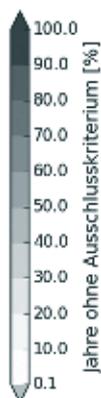
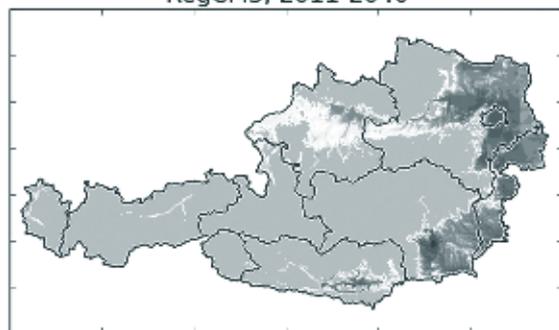
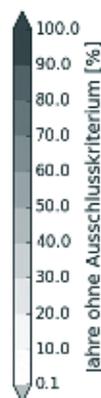
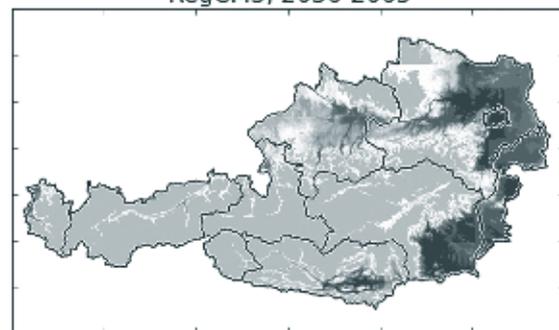
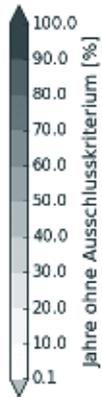
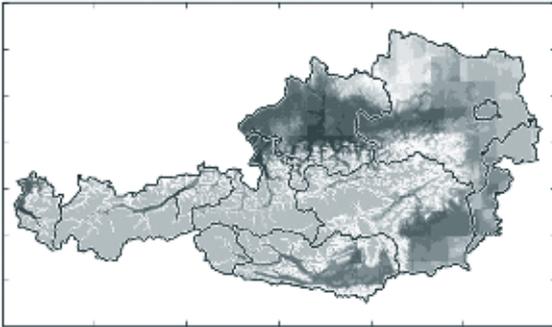
Potentielle Anbauregionen
von Sorghum bicolor
Aladin, 2011-2040Potentielle Anbauregionen
von Sorghum bicolor
Aladin, 2036-2065Potentielle Anbauregionen
von Sorghum bicolor
RegCM3, 2011-2040Potentielle Anbauregionen
von Sorghum bicolor
RegCM3, 2036-2065

ABBILDUNG 4

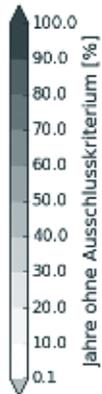
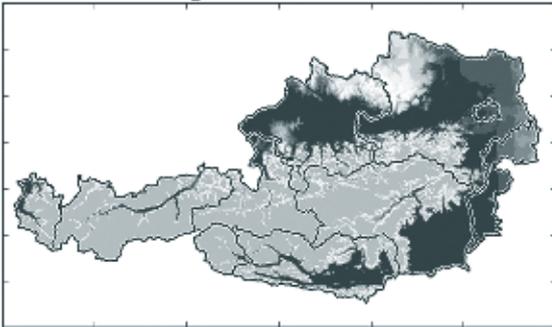
2071 - 2100

Potentielle Anbauregionen
von Sorghum bicolor
Aladin, 2071-2100



Aladin

Potentielle Anbauregionen
von Sorghum bicolor
RegCM3, 2071-2100



RegCM3

Kraftstoff) als bei Erdgas und Benzin. Für den nicht erneuerbare Primärenergiebedarf ergab sich bei den Systemvarianten mit Zuckerhirse eine Reduktion von 50% bis 70%.

4. Klimatologische Aspekte des Anbaus von Zuckerhirse

Da Zuckerhirse in Österreich nicht heimisch ist, sondern aus subtropischen Regionen stammt, ist es notwendig zu wissen, ob hinreichende klimatische Bedingungen für einen erfolgreichen Anbau in Österreich gegeben sind. Um mögliche Anbaugebiete für Zuckerhirse auszuweisen wurden aus der Literatur klimatische Mindestanforderungen abgeleitet und deren räumliche Verteilung analysiert. Es wurde gemäß der Anbauversuche von einem Anbauermin im Juni und einem Erntetermin im Oktober ausgegangen. Unter den gegenwärtigen klimatischen Bedingungen ist ein Anbau von *Sorghum bicolor* lediglich in den Ackerbaugebieten von Ostösterreich (Wiener Becken, Seewinkel und Grazer Becken) zuverlässig möglich. Im Weinviertel treten Probleme durch niedrige Minimumtemperaturen auf, sodass lediglich weniger als die Hälfte der Jahre genutzt werden können. In den Hügellagen und den Alpen sind die Temperaturen derzeit generell zu tief. Limitierungen durch Niederschlagsmangel waren nur im Raum Wien zu beobachten. Betrachtet man die Auswertungen anhand der RCMs, so zeichnet sich eine Ausweitung potentieller Anbauflächen ab. Tieflagen sind weiterhin begünstigt, aber auch in angrenzenden Hügellagen könnte der Anbau von Zuckerhirse durch das zunehmend höhere Temperaturniveau profitieren. Für die kommenden 30 Jahre kann anhand der Simulation von RegCM3 und REMO (beide durch das globale Klimamodell ECHAM5 angetrieben) davon ausgegangen werden, dass der Anbau im östlichen und südlichen Flachland mit relativ geringer Ausfallswahrscheinlichkeit aufgrund klimatischer Faktoren möglich sein wird. Aladin, das eine stärkere Temperaturentwicklung hat und im Osten deutlich trockener ist, zeigt zwar ähnliche Muster, aber der

Anteil der Jahre, in denen ein Anbau möglich ist, liegt nur bei etwa 50%. Mitte des Jahrhunderts zeigen alle RCMs, dass die Wahrscheinlichkeit eines erfolgreichen Anbaus weiterhin steigt. Ende des Jahrhunderts verlagern sich die besonders begünstigten Gebiete weiter nach Westen, da der Osten des Landes zunehmend zu trocken wird. Allerdings wäre dann auch der Anbau im Klagenfurter Becken und sogar im Inntal und Rheintal möglich.

Schlussfolgerung

Am Markt sind Zuckerhirsesorten verfügbar, welche sich zur Nutzung für die Rohstoffbereitstellung für die Bioethanol- und Biogasproduktion eignen und auch als Zwischen-/Zweitfrucht bei gegebenen Klimaverhältnissen großes Ertragspotential aufweisen. Unter diesen finden sich Zuckerhirsesorten wie Chopper und NutriGrain, die sich durch ihre großen Fruchtkörner (vergleichbare Größe wie Weizen) und den Stärkeertrag pro Hektar besonders für die Rohstoffbereitstellung für die Ethanolproduktion eignen. Auch der Anbau ist mit vorhandenen maschinellen Ausrüstungen der landwirtschaftlichen Betriebe durchführbar, sodass keine wesentlichen Investitionskosten auf die Produzenten zukommen. Die Produktionskosten liegen ähnlich zu den Produktionskosten von Mais. Auch die Lagerhaltung von stärkeproduzierenden Sorten ist erprobt. Mittels Trocknung wie bei Mais oder Getreide können die Körner haltbar gemacht werden.

Bei den Zuckerhirsearten, die Zucker in den Zellen einlagern, ist die Lagerung nicht so einfach. Vor allem die hohen Investitionskosten für die Stabilisierung des Zuckers und die dezentrale Weiterverarbeitung des Zuckers zu Ethanol (Lagerung der Ganzpflanze mit Ameisensäure, sowie Investition in Kleinethanolanlage bzw. Abpressen des Zuckersaftes und Eindicken im Kampagnenbetrieb) lassen einen wirtschaftlichen Betrieb unter den jetzigen ökonomischen Rahmenbedingungen nicht zu.

Der Reststoff der Zuckerhirsepflanze stellt einen Rohstoff dar, welcher bei Biogasanlagen seine Anwendung

finden kann, wobei gesagt werden muss, dass bei besonders ausgereiften Fürchten eine Vorbereitung des Materials zum besseren Aufschluss im Fermenter vorangestellt sowie die Eintragungseinrichtung und Rührwerke auf die neue Rohstoffsituation adaptiert werden müssen. Dies erlaubt aber den Biogasbetreibern weitere strohartige Nebenprodukte der Landwirtschaft, wie diverse strohhaltige Wirtschaftsdünger aus Pferde- oder Rinderhaltung sowie Getreide- und Maisstroh für die Biogasproduktion, einzusetzen.

Betrachtet man die ökologische Eignung der Zuckerhirse aus der Zwischen-/Zweitfruchtproduktion so wird ersichtlich, dass die Mindesteinsparungen der Treibhausgasemissionen (35%), welche laut EU-Richtlinie (RL 2009/28/EG) vorgeschrieben sind, eingehalten werden können. Auch die Vorgaben für 01.01.2017 (50% Einsparung) und 01.01.2018 (60% Einsparung) können bei der Produktion von Bioethanol und Biomethan eingehalten werden, wobei die separate Nutzung von Korn in einer zentralen Bioethanolanlage

und Stroh bei einer Biogasanlage mit Minimum 65% Emissionseinsparungen für Bioethanol und Biomethan die Vorgabe der Richtlinie erfüllt.

Die Analyse der derzeitigen Klimabedingungen zeigt, dass ein erfolgreicher Anbau von Zuckerhirse als Zwischen-/Zweitfrucht gegenwärtig lediglich in den tief gelegenen östlichen Ackerbaugebieten Österreichs möglich ist. Sehr hohe Wahrscheinlichkeit von Anbauerfolg (>90%) ist lediglich im Seewinkel zu erwarten. Die Auswertung anhand der Klimaszenarien ergibt, dass sich potentielle Anbauggebiete weiter nach Westen bzw. in Hügellagen ausweiten wobei speziell das RCM Aladin eine Verringerung des Niederschlags im Osten prognostiziert und damit eine Reduktion der Wahrscheinlichkeit des Anbauerfolges verbunden ist. REMO und RegCM3 sehen bis Ende des Jahrhunderts in weiten Gebieten des Flach- und Hügellandes nahezu sichere klimatische Bedingungen für den Anbau von Zuckerhirse.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Die Zukunft von Biogasanlagenbetreiber liegt in der Nutzung agrarischer Reststoffe. Durch die kaskadische Nutzung von Zuckerhirse kann einerseits für die Bioethanolindustrie ein weiterer Rohstoff gewonnen werden und der Biogasanlagenbetreiber kann die Restmasse zur Biogasproduktion einsetzen.
- Durch die Nutzung als Zweit-/Zwischenfrucht kann die Produktivität pro Flächeneinheit gesteigert werden, sodass dem ständigen Flächenverbrauch für Infrastruktur- und Siedlungsprojekte durch Produktionssteigerung entgegengewirkt werden kann.
- Durch den Klimawandel zeigt sich, dass Zuckerhirse als Zwischen-/Zweitfrucht zukunftssicher ist und die potentiellen Anbauflächen sich in den nächsten Jahrzehnten wesentlich vergrößern werden.



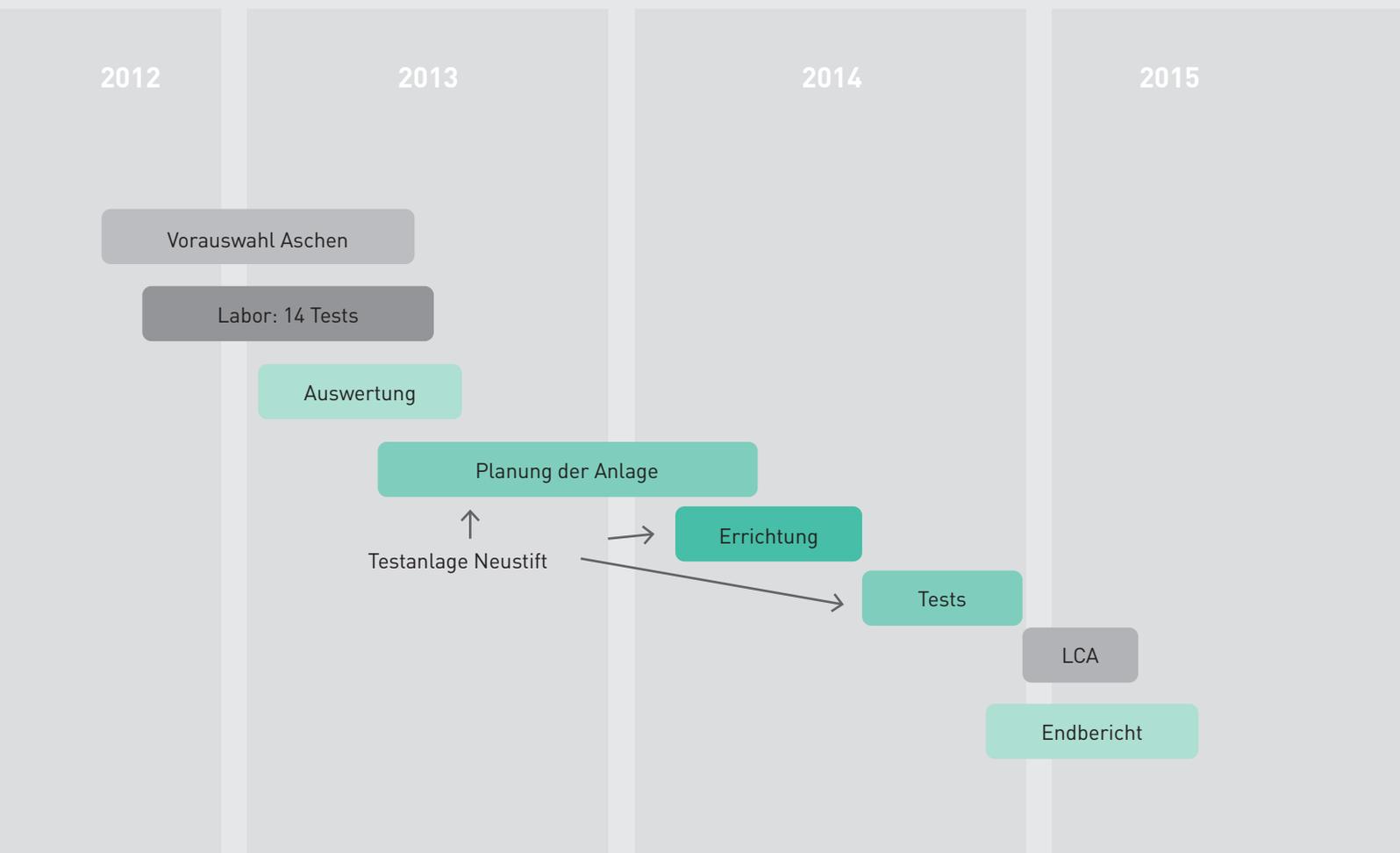


Projektleitung: PETER MOSTBAUER

Institut für Abfallwirtschaft (BOKU-ABF), Department für Wasser - Atmosphäre - Umwelt, Universität für Bodenkultur Wien

Projektlauf

ABBILDUNG 1



BioGAP: Biogas + Ash Processing

Hintergrund

Alkalische Reststoffe (Aschen, Schlacken) haben grundsätzlich die Eigenschaft mit „sauren“ Gaskomponenten von Bio- und Deponiegas zu reagieren, also CO_2 und H_2S zu binden. Zur „Sequestrierung“ von CO_2 aus Abgasströmen bei gleichzeitiger Verwendung von alkalischen Feststoffen (Abfälle, Mineralien) liegen bereits zahlreiche Untersuchungen vor, welche die technische Durchführbarkeit der einzelnen Sequestrierungs-Methoden bestätigen. In den Jahren 2006 bis 2008 wurde vom Institut für Abfallwirtschaft, Universität für Bodenkultur auch die Reaktion zwischen synthetischem Deponiegas ($\text{CH}_4 + \text{CO}_2$) und der Asche aus der Verbrennung kommunaler Abfälle („Müllverbrennungsschlacke“) untersucht, und es wurde gezeigt, dass dabei ein gereinigtes Gas mit sehr hohem Methan-gehalt gewonnen werden kann (bis $>98\%$ CH_4 , falls das Rohgas wenig Stickstoff enthält). Diese Ergebnisse wurden im Jahr 2008 unter anderem im Fachjournal *Environmental Technology* veröffentlicht (Mostbauer P. et al., *Env.Tech.* 29:2008:757-764) und bei internationalen Tagungen präsentiert.

Bereits am Markt etablierte Verfahren zur Aufbereitung von Biogas, deren Ziel die Trennung von CO_2 , H_2S und CH_4 ist (ggf. auch N_2), beruhen derzeit primär auf physikalischen Prinzipien oder auf der Auswaschung von CO_2 und H_2S mit Flüssigkeiten (Chemisorption, Physisorption). Die in Europa und Nordamerika bisher errichteten Aufbereitungsanlagen verwenden vorwiegend Druckwechseladsorption und Druckwasserwäsche, so dass derzeit diese beiden Aufbereitungsmethoden klar dominieren. Beide Verfahren erfordern einen Mindestdurchsatz, um wirtschaftlich betrieben zu

werden. Hierdurch kommen diese Anlagen in der Regel nur für größere Biogasanlagen (>1 MW elektrisch) in Frage.

Projektidee, Projektziele

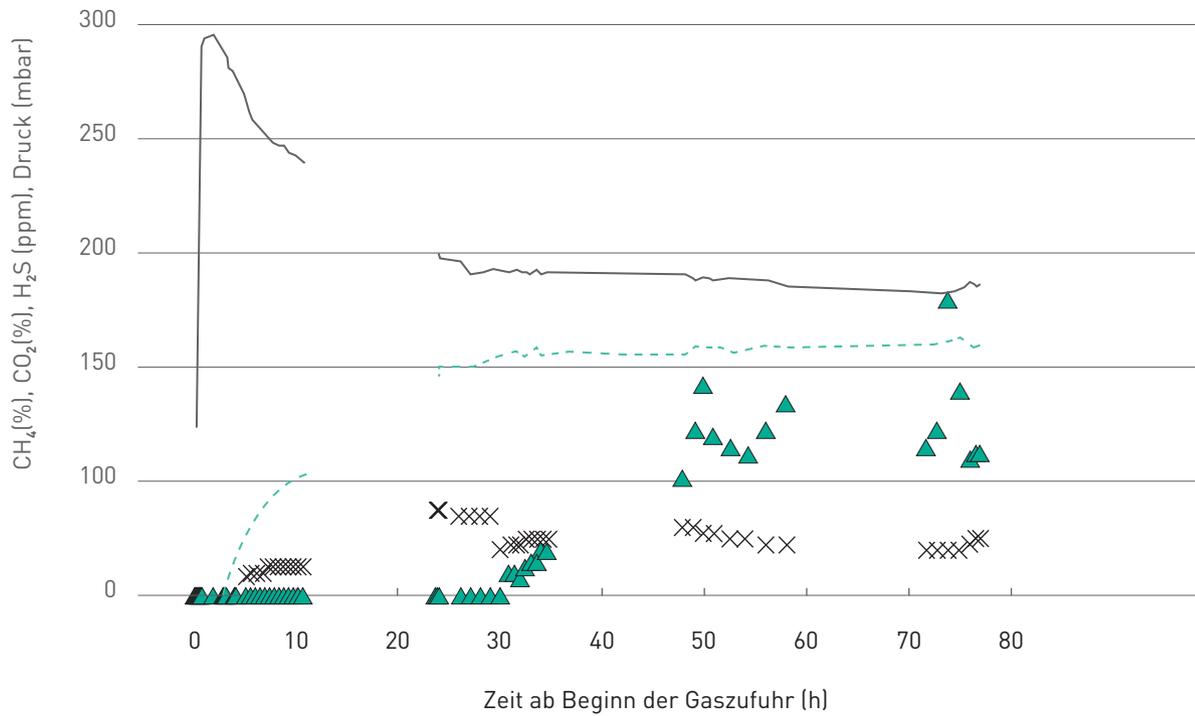
Im Rahmen des Projektes BioGAP wurde ein neues, Asche-basiertes Verfahren zur Aufbereitung bzw. Reinigung von Biogas entwickelt und im semi-industriellen Maßstab (ca. 1 t Asche pro Test) validiert. Die neue Aufbereitungstechnik nutzt die Eigenschaften von Biomasseasche zur Fixierung von CO_2 und zur gleichzeitigen Abtrennung von H_2S aus dem Rohbiogas. Vom neuen Verfahren wird erwartet dass es technisch einfach durchführbar ist – und damit auch für kleinere Biogasanlagen geeignet – und die Verwertung der Biomasseasche erleichtert. Im konkreten Fall wurden als Proben Biomasseaschen aus mehreren Heizkraftwerken in Tirol untersucht, die vorwiegend unbehandeltes Holz als Brennstoff verwenden. Bei entsprechenden Eigenschaften der Asche (darf nicht trocken sein, soll schadstoffarm sein) wird ein Schließen regionaler Stoffkreisläufe erleichtert.

Weitere Erwartungen an das neue Verfahren sind:

- Geringe CO_2 -Emissionen durch permanente Fixierung von CO_2 in der Asche
- Verringerung von Korrosionserscheinungen in Gasmotoren durch H_2S -Eliminierung
- Verringerung von SO_2 -Emissionen
- Behandelte Asche kann voraussichtlich als K-/Mg-Dünger verwendet werden
- Geringere Auslaugbarkeit im Fall der Ablagerung der Asche

Beispiel für Ergebnisse der Labortests: Reingaszusammensetzung

ABBILDUNG 2



- CH_4 (Vol %)
- - - CH_2 (Vol %)
- ▲ H_2S (ppm)
- × Gegendruck (mbar)

Projektablauf, Testanlage in Neustift im Stubaital

Der Projektablauf wird in Abbildung 1 vereinfacht dargestellt. Die Testanlage in Neustift im Stubaital wurde im Juli 2014 in Betrieb genommen und bis inklusive November 2014 verwendet. Die Anlage in Neustift (Abbildung 3) ist größtenteils im Freien in einer Seehöhe von 1030 m aufgestellt und kann nur bis ca. -5°C betrieben werden.

Tests im Labormaßstab

Die Testanlage im Labor besteht aus Gasflaschen welche vorfabrizierte Gasmischungen enthalten, Dosiereinrichtungen und einem thermisch isolierten Kunststoffgefäß (Kapazität: bis ca. 30 kg Asche) als „Karbonatisierungsreaktor“. Zugehörige Messeinrichtungen sind Waagen, Gasanalysengeräte, Manometer, Temperaturdatenlogger, kalibrierte Balgengaszähler etc. Es wurden insgesamt 14 Tests im Labor in Wien durchgeführt. Die insgesamt 7 Ascheproben bzw. Aschemischungen stammen aus unterschiedlichen BKHW-Anlagen in Tirol. Die Gasmessung ist in dieser Labor-Testanlage nicht voll automatisiert, sodass nur selten Messungen in der Nacht zwischen 22 h und 7h durchgeführt wurden, obwohl die Test meistens mehrere Tage beanspruchten. Später – im semi-industriellen Maßstab – konnten die Messungen programmiert bzw. per Logger automatisiert werden.

Die Abbildung 2 stellt die Ergebnisse bezüglich Gaszusammensetzung von Roh- und Reingas exemplarisch dar. Man beachte dass nach ca. 50 h bis 80 h das Reingas deutlich weniger H₂S als Rohgas enthält. Der Wirkungsgrad der Eliminierung liegt zu in diesem Zeitintervall noch deutlich über 90%.

Wichtige Ergebnisse welche im Labormaßstab gewonnen wurden sind:

- Trockene, feinkörnige Aschen erwiesen sich als ungeeignet
- Durch den Nassaustrag in den Heizkraftwerken befeuchtete, eher grobkörnige Rostaschen und Rostasche-Flugasche-Mischungen sind gut geeignet für die Eliminierung von H₂S und CO₂
- Der Strömungswiderstand der zuletzt genannten Aschen ist gering, der Gegendruck beträgt max. 15 mbar (bei einem Input von ca. 4-5 Nm₃/h*t und einer Einbauhöhe bis 38 cm). Ein ausreichender Wassergehalt für die CO₂-Aufnahme liegt vor. Die CO₂-Aufnahme beträgt bis zu 70,7 kg CO₂/t Asche.
- Die H₂S-Aufnahme erfolgt ausreichend rasch. Die Temperaturerhöhung, die als Folge der Neutralisation von CO₂ auftritt, ist hierbei vorteilhaft.
- Die Ascheproben nehmen auch dann noch über längere Zeit H₂S auf, wenn deren Aufnahmekapazität für CO₂ erschöpft ist (wenn sie also bereits annähernd pH-neutral sind).
- CO₂ wird in der Asche dauerhaft in Form von Kalzit (CaCO₃) gebunden.
- Die Auslaugbarkeit und der pH-Wert der Aschen werden verringert.

Die Ergebnisse der 14 Labortests wurden auch zur Auswahl von Aschen und für die Dimensionierung der semi-industriellen Forschungsanlage (zB. Wahl des Rohgas-Volumenstroms) in Neustift verwendet.

Vorläufige Ergebnisse – Testanlage

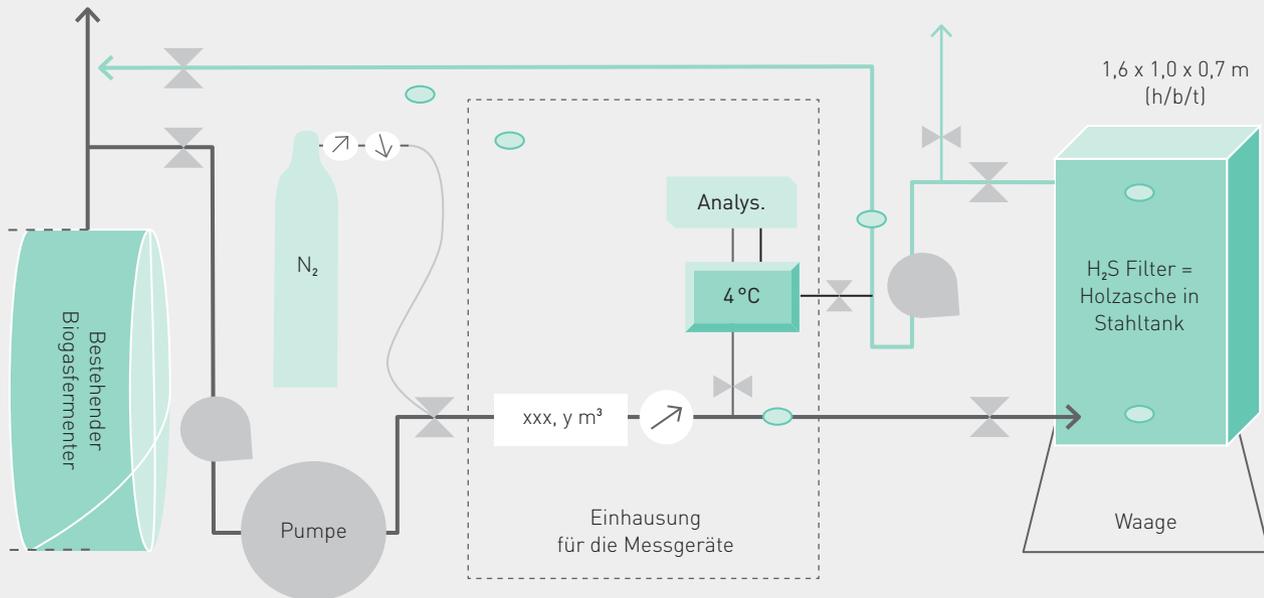
Die Ergebnisse der Testanlage Neustift waren zum Zeitpunkt der Erstellung des vorliegenden Berichtes noch nicht vollständig ausgewertet. Test Nr.4 war noch nicht abgeschlossen. Es können somit nur vorläufige Ergebnisse präsentiert werden.

Für alle Projektpartner überraschend war die langandauernde Eliminierung von H₂S im Test 1. Ursprünglich wurde auf Basis der Labortests abgeschätzt, dass bei einem Rohgasvolumenstrom von ca.5 m³/h und einer Aschemenge von ca. 1 t das Aufnahmekapazität der Asche ca. nach 3-4 Tagen erschöpft sein kann. Tatsächlich dauerte der Test 1 jedoch aufgrund der guten, langandauernden H₂S-Eliminierung 37 Tage.

Wie auch im Labor-Test wird anfänglich auch CO₂ vollständig eliminiert, und es treten Methan-Konzentrationen bis über 97% CH₄ im Reingas auf. Die CO₂-Eliminierung ist jedoch nur von kurzer Dauer.

Testanlage Neustift im Stubaital

ABBILDUNG 3



Kondensatabscheider

Analys.

Analysator (O₂, CH₄, CO₂, H₂S)

4 °C

Kühlschrank für die Gasproben



Temperatursensoren

xxx, y m³

Gaszähler

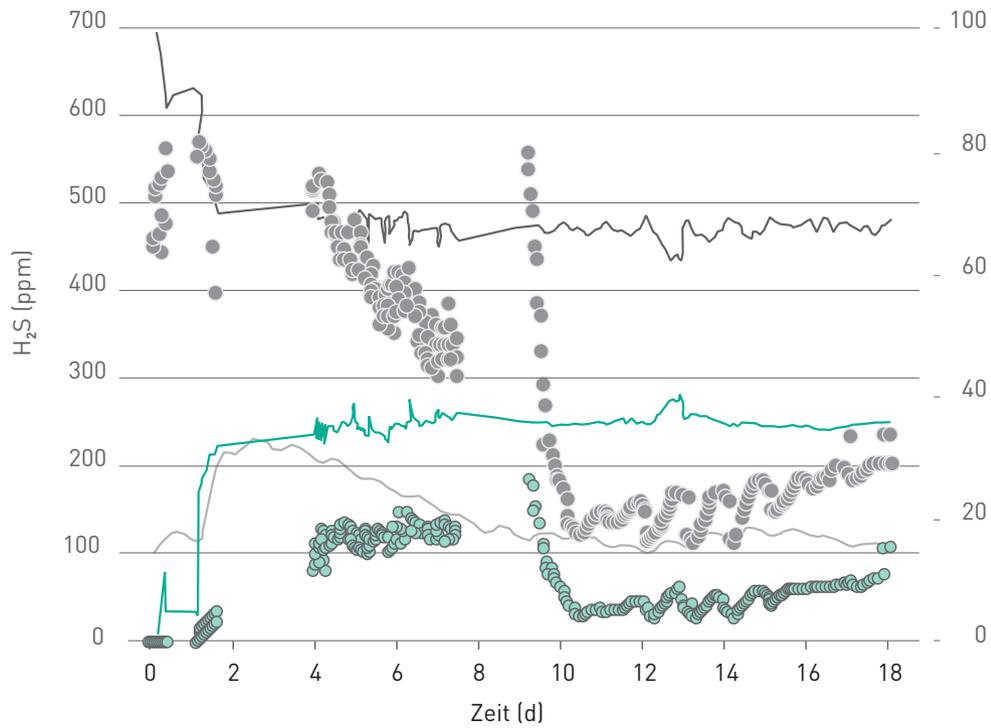


Manometer

Neustift: Test 2

Biogasmenge: 5,2 m³/h, Aschemenge: 713 kg

ABBILDUNG 4



Semi-industrieller Test 2:
vorläufige Ergebnisse

- H₂S Reingas
- H₂S Rohgas
- CH₄ Reingas (Vol %)
- CO₂ Reingas (Vol %)
- Temp Asche oben (oC)



„Aschen reagieren alkalisch und können daher CO_2 und H_2S binden. Wenn CO_2 und H_2S aus dem Biogas vollständig abgetrennt werden kann, entsteht fast reines Methangas. Auch wenn nur H_2S abgetrennt wird, dann wird zumindest die Verwertung des Gases erleichtert. Bei Einsatz von Biomasseasche bzw. Holzasche als „Filter“ für das Biogas wird gleichzeitig der pH-Wert der Asche verringert. Die anschließende Verwertung des verbrauchten „Filtermaterials“ als Dünger ist aufgrund der hohen Kalium- und Magnesiumgehalte der Holzasche naheliegend.“ PROJEKTLEITER PETER MOSTBAUER

Die Neutralisationsreaktion zwischen CO_2 und den alkalischen Aschebestandteilen (zB. Ca-hydroxid) führt ähnlich wie im Labor zu einem Temperaturanstieg in der Asche (bis zu 74°C).

Der Strömungswiderstand der Asche ist sehr gering. Es wurde nur ein Gegendruck von wenigen mbar beobachtet. Im Vergleich zu den Labortests ist der Strömungswiderstand geringer, weil im Labor die Asche lagenweise verdichtet eingebaut wurde. Im semi-industriellen Maßstab erfolgte die Verdichtung im 160 cm hohen Reaktor jedoch ausschließlich durch Schwerkraft.

Im Test 2 wurde im Vergleich zu Test 1 eine geringere Aschemenge (713 kg statt 845 kg) gewählt und insgesamt ein geringerer Wirkungsgrad der H_2S -Eliminierung erreicht (siehe Abbildung 4). Im Test 1 wurde über lange Zeit hinweg ein Wirkungsgrad nahe 100% erreicht. Im Test 2 beträgt der Wirkungsgrad der H_2S -Eliminierung gegen Ende des Tests (Tag 15 bis Tag 18) immerhin noch rund 60 bis 70%.

Ausblick

Bei der Bewertung der Ergebnisse im Hinblick auf die Weiterentwicklung, zB. die zukünftige Errichtung einer Pilotanlage im Maßstab 1:1, sind unterschiedliche Szenarien der Aufbereitung zu beachten.

Die potentielle „Vollaufbereitung“ welche auf Netzeinspeisung des Reingases abzielt (CO_2 -Eliminierung und gleichzeitig H_2S -Eliminierung) stößt auf mehrere Hindernisse. Für mittlere und große Biogasanlagen sowie für große Deponien ist die Asche-basierte Vollaufbereitung nicht umsetzbar, da extrem große Aschemengen benötigt werden. Außerdem wurde bei den Tests in Neustift nur eine relativ kurze Dauer der effektiven Eliminierung von CO_2 festgestellt, also ein sehr früher Durchbruch von CO_2 in das Reingas. Häufiger Filter- bzw. Aschewechsel erhöht den Bedarf für die Spülung des Filters mit technischem Stickstoff (N_2), und damit die Kosten für den Ankauf des Spülgases (N_2).

Die Entschwefelung von Roh-Biogas (ohne durchgehende Eliminierung von CO_2) scheint aufgrund der bisher ausgewerteten Tests für kleinere Biogasanlagen und kleine Deponiegasmengen/Klärgasmengen technisch machbar zu sein. Dabei ist zu beachten, dass die am Markt befindlichen adsorptiven und externen biologischen Entschwefelungsverfahren den Vorteil einer längeren Verweilzeit des Filters haben. Dies bedeutet, dass konventionelle, am Markt etablierte Entschwefelungsmethoden deutlich längere Austauschintervalle (bzw. Wartungsintervalle) für das Filtermedium aufweisen. Häufiger Filterwechsel ist ein organisatorisches Problem und ein wirtschaftlicher Nachteil.



ABBILDUNG 5

Die Projektpartner
vor dem Testreaktor
in Neustift

Wenn jedoch die Asche gleichzeitig aufgewertet wird und auch eine entsprechende Kooperation zwischen BHKW (Asche-Erzeuger) und Biogasanlage entsteht, kann dieser Nachteil voraussichtlich überwunden werden. Der Verbrauch an Spülgas (N_2) ist bei H_2S -Eliminierung aufgrund der im Vergleich zur Vollaufbereitung längeren Austauschintervalle für kleinere und mittlere Biogasanlagen akzeptabel.

Ein spezielles Szenario ist die Aufbereitung bzw. Reinigung von Teilströmen von Deponiegas aus älteren Deponien (sogenanntes „Schwachgas“). Wenn am Deponiestandort gleichzeitig Aschen übernommen werden, kann durch Asche-basierte Eliminierung von

CO_2 und H_2S eine Erhöhung des CH_4 -Gehaltes und damit eine Verlängerung der konventionellen Nutzung von Deponiegas (Verstromung in Gasmotoren) erreicht werden.

Diese Aussagen gelten vorbehaltlich einer weiteren Auswertung der Messdaten. Für die weitere Interpretation wird es erforderlich sein, die Messergebnisse und Massenbilanzen aller Tests in Neustift (auch der abgebrochenen Tests) gründlich zu analysieren. Für Anfang 2015 ist im Rahmen des Projektes BioGAP auch eine Lebenszyklus-Bilanzierung der ökologischen Auswirkungen (LCA, zB. CO_2 -Bilanz, Versauerungspotential) vorgesehen, die derzeit noch nicht vorliegt.

DREI GUTE GRÜNDE FÜR DAS PROJEKT

- Die am Markt verfügbaren Aufbereitungstechnologien für Biogas emittieren CO_2 und sind für kleinere und mittlere Biogasanlagen zu teuer.
- Kleine Biogasanlagen können nur technisch einfache (keine aufwändigen) Verfahren zur Eliminierung von H_2S anwenden.
- H_2S im Biogas ist auch beim Betrieb kleinerer Biogasanlagen ein Problem, kann die Gasmotoren schädigen oder SO_2 -Emissionen verursachen.





Erhöhung der Biomasseproduktion durch *Silphium perfoliatum* L. zur energetischen Verwertung in Österreich

Projektnummer	834657
Koordinator	Österreichische Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit GmbH
Projektleitung	Markus Gansberger: markus.gansberger@ages.at
Partner	BOKU Wien; Biogas Strem Errichtungs- u. BetriebsGmbH & Co KG
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.04.2012 – 31.03.2015
Budget	541.866 €



Kaskadische Produktion von Biobutanol und Biomethan aus Biomüll

Projektnummer	838708
Koordinator	BIOENERGY 2020+ GmbH
Projektleitung	Markus Ortner: markus.ortner@bioenergy2020.eu
Partner	AAT Abwasser u. Abfalltechnik GmbH; Axiom Angewandte Prozesstechnik GmbH; MA48, Abfallwirtschaft, Straßenreinigung u. Fuhrpark; BOKU Wien, Department f. Agrarbiotechnologie; IFA-Tulln, Inst. f. Umweltbiotechnik; TU Wien, Inst. f. Verfahrenstechn., Umwelttechn., Techn. Biowissenschaften
Förderprogramm	e!Mission+.at - Energy Mission Austria
Dauer	01.04.2014 - 31.03.2017
Budget	591.757 €



Synergetische Biogaserzeugung aus Zwischenfrüchten und nachhaltigen Fruchtfolgesystemen

Projektnummer	829732
Koordinator	Ökocluster
Projektleitung	Manfred Szerencsits: manfred.szerencsits@oeko-cluster.at
Partner	AGES - Österr. Agentur f. Gesundheit u. Ernährungssicherheit GmbH; Bioforschung Austria; BioG Biogastechnik GmbH; Biogas Strem Errichtungs- u. BetriebsGmbH & Co KG; Energiepark Bruck/Leitha; IPPT TU Graz; Joanneum Research; Saatbau Linz; wpa Beratende Ingenieure; BAW-IKT; Landwirtschaftliche Umweltberatung Steiermark
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer / Budget	01.08.2011 - 31.07.2014 / 578.762 €



Kurzzeit-Kontaktverfahren zur Entschwefelung erneuerbarer gasförmiger Energieträger

Projektnummer	834459
Koordinator	TU-Wien Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften
Projektleitung	Michael Harasek: michael.harasek@tuwien.ac.at
Partner	Axiom angewandte Prozesstechnik GmbH; TU-Wien, Institut f. Chemische Technologien u. Analytik; QuantaRed Technologies GmbH
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.09.2012 - 31.08.2014
Budget	413.573 €



Anbau von Zuckerhirse als Zweit-/Zwischenfrucht zur Nutzung als Bioethanol- und Biomethanrohstoff

Projektnummer	829936
Koordinator	EVM Energieversorgung Margarethen am Moos GmbH
Projektleitung	Manfred Kirtz: manfred.kirtz@agrarpplus.at
Partner	BOKU Wien Inst. f. Landtechnik, Inst. f. Meteorologie; TU-Wien, Inst. f. Verfahrenstechnik, Umwelttechnik u. Technische Biowissenschaften; JOANNEUM RESEARCH ForschungsgmbH
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.03.2011 - 28.02.2014
Budget	424.986 €



Biogas + Ash Processing

Projektnummer	834424
Koordinator	Universität für Bodenkultur Wien Department Wasser-Atmosphäre-Umwelt Institut für Abfallwirtschaft
Projektleitung	Peter Mostbauer: peter.mostbauer@boku.ac.at
Partner	Uni Innsbruck, Fakultät f. Biologie, Institut f. Mikrobiologie, Fakultät f. Bauingenieurwissenschaften, Institut f. Infrastruktur; Biogasanlage Armin Hofer; Bauunternehmen DI Josef Hautz
Förderprogramm	Neue Energien 2020
Dauer	01.10.2012 - 31.03.2015
Budget	320.666 €

Medieninhaber

Klima- und Energiefonds

Gumpendorfer Straße 5/22, 1060 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90, Fax: (+43 1) 585 03 90-11

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Broschüre. Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider. Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (bmvit) oder die Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sind für die Weiter-nutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angieneering.net

Druck

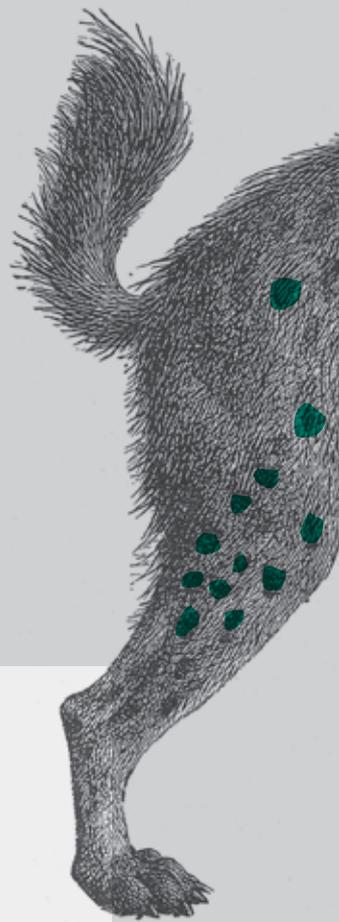
Druckerei Janetschek GmbH. Bei der mit Ökostrom durchgeführten Produktion wurden die Anforderungen des Österreichischen Umweltzeichens erfüllt. Sämtliche während des Herstellungsprozesses anfallenden Emissionen wurden im Sinne einer klimaneutralen Druckproduktion neutralisiert.

Verlags- und Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft. Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at





In Kooperation mit:

