

# BIO4GAS

## 4-Kammer-Kleinbiogasanlage für die effiziente Biogasproduktion aus land- wirtschaftlichen Nebenprodukten

D. Sperl, H. Insam, G. Wögerer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

**48/2009**

## **Impressum:**

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:  
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien  
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

# BIO4GAS

## 4-Kammer-Kleinbiogasanlage für die effiziente Biogasproduktion aus land- wirtschaftlichen Nebenprodukten

DI (FH) Daniel Sperl, Univ. Prof. Dr. Heribert Insam  
Universität Innsbruck - Institut für Mikrobiologie

Ing. Gerald Wögerer  
Austrian Research Centers GmbH - ARC  
Bereich Biogenetics – Natural Resources  
Geschäftsfeld Wasser

Innsbruck, März 2008

**Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie**



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



## Vorwort

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT. Sie wurde 2003 vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie im Rahmen des Impulsprogramms Nachhaltig Wirtschaften als mehrjährige Forschungs- und Technologieinitiative gestartet. Mit der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT soll durch Forschung und Technologieentwicklung die Gesamteffizienz von zukünftigen Energiesystemen deutlich verbessert und eine Basis zur verstärkten Nutzung erneuerbarer Energieträger geschaffen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements und der großen Kooperationsbereitschaft der beteiligten Forschungseinrichtungen und involvierten Betriebe konnten bereits richtungsweisende und auch international anerkannte Ergebnisse erzielt werden. Die Qualität der erarbeiteten Ergebnisse liegt über den hohen Erwartungen und ist eine gute Grundlage für erfolgreiche Umsetzungsstrategien. Mehrfache Anfragen bezüglich internationaler Kooperationen bestätigen die in ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT verfolgte Strategie.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist, die Projektergebnisse – sei es Grundlagenarbeiten, Konzepte oder Technologieentwicklungen – erfolgreich umzusetzen und zu verbreiten. Dies soll nach Möglichkeit durch konkrete Demonstrationsprojekte unterstützt werden. Deshalb ist es auch ein spezielles Anliegen die aktuellen Ergebnisse der interessierten Fachöffentlichkeit leicht zugänglich zu machen, was durch die Homepage [www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at](http://www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at) und die Schriftenreihe gewährleistet wird.







Dipl. Ing. Michael Paula

Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



## ProjektmitarbeiterInnen

<p><b>Universität Innsbruck - Institut für Mikrobiologie</b>          DI (FH) Daniel Sperl          Dr. Marta Goberna          Dr. Ingrid Whittle          Mag. Sabine Podmirseg          Maria Gadermaier</p>	
<p><b>Universität Innsbruck - Institut für Infrastruktur, AB Umwelttechnik</b>          Doz. DI Dr. Bernhard Wett          DI Michael Schön</p>	
<p><b>Austrian Research Centers GmbH - ARC</b>          Doz. DI Dr. Georg Haberhauer          Ing. Gerald Wögerer</p>	
<p><b>Ingenieurbüro BENNAT CONSULT</b>          DI Michael Wagner          DI (FH) Harald Lochner</p>	
<p><b>etaone energy GmbH</b>          Dipl.-Ing. Michele Schiliro          Ing. Reinhold Leser          Ing. Michael Lassager</p>	
<p><b>Landwirtschaftliche Landeslehranstalt Rotholz</b>          Dir. DI Josef Norz          Dir. Stv. DI Hannes Haas          DI Josef Stoll          Georg Lechner</p>	





# Inhaltsverzeichnis

<b>1) KURZFASSUNG IN DEUTSCH / SUMMARY IN ENGLISH:</b>	<b>3</b>
1.1) MOTIVATION / <i>MOTIVATION</i>	3
1.2) INHALTE UND ZIELSETZUNGEN / <i>CONTENTS AND AIMS</i>	4
1.3) METHODISCHE VORGEHENSWEISE / <i>METHODICAL APPROACH</i>	5
1.4) ERGEBNISSE / <i>RESULTS</i>	6
<b>2) EINLEITUNG:</b>	<b>7</b>
2.1) ALLGEMEINE EINFÜHRUNG IN DIE THEMATIK	7
2.2) BESCHREIBUNG DER VORARBEITEN ZUM THEMA	8
2.2.1) <i>Untersuchung einer bestehenden 4-Kammer-Anlage</i>	8
2.2.2) <i>Entwicklung Anlagenkonzept</i>	10
2.2.3) <i>Vorarbeiten für die Errichtung der Demonstrationsanlage</i>	11
2.3) EINPASSUNG IN DIE PROGRAMMLINIE	12
<b>3) ZIELE DES PROJEKTES:</b>	<b>13</b>
3.1) ERRICHTUNG UND INBETRIEBNAHME DER BIO4GAS-DEMONSTRATIONSANLAGE	13
3.2) ERMITTLUNG EINER GEEIGNETEN INBETRIEBNAHMESTRATEGIE (START-UP EXPERIMENT)	13
3.3) BESTIMMUNG DES BIOGAS-POTENTIALS VON ABFÄLLEN AUS DER OLIVENÖLPRODUKTION (OLIVEN EXPERIMENT)	15
3.4) ERHEBUNG VON BETRIEBSDATEN AN DER BIO4GAS-ANLAGE IN ROTHOLZ	16
3.5) ENTWICKLUNG EINES MICROARRAYS ZUR IDENTIFIZIERUNG METHANOGENEN MIKROORGANISMEN	16
3.6) GIS BASIERTE ERFASSUNG DES MARKTPOTENTIALS FÜR BIOGASANLAGEN IN TIROL	16
3.7) UNTERSUCHUNG DER BODENBELASTUNG DURCH AUSGEBRACHTE KLÄRSCHLAMMRÜCKSTÄNDE	16
3.8) ABSTIMMUNG MIT DER BIOGASGRUPPE IM RENET	17
3.9) NACHWEIS DER WIRTSCHAFTLICHKEIT UND OPTIMIERUNG DER ANLAGE	17
<b>4) ERGEBNISSE DES PROJEKTES:</b>	<b>18</b>
4.1) ERRICHTUNG UND INBETRIEBNAHME DER BIO4GAS-DEMONSTRATIONSANLAGE	18
4.2) ERMITTLUNG EINER GEEIGNETEN INBETRIEBNAHMESTRATEGIE (START-UP EXPERIMENT)	21
4.3) BESTIMMUNG DES BIOGAS-POTENTIALS VON ABFÄLLEN AUS DER OLIVENÖLPRODUKTION (OLIVEN EXPERIMENT)	24
4.4) ERHEBUNG VON BETRIEBSDATEN AN DER BIO4GAS-ANLAGE IN ROTHOLZ	25
4.5) ENTWICKLUNG EINES MICROARRAYS ZUR IDENTIFIZIERUNG METHANOGENER MIKROORGANISMEN	30
4.6) GIS BASIERTE ERFASSUNG DES MARKTPOTENTIALS FÜR BIOGASANLAGEN IN TIROL	33
4.7) UNTERSUCHUNG DER BODENBELASTUNG DURCH AUSGEBRACHTE KLÄRSCHLAMMRÜCKSTÄNDE	35
INSAM H., FRANKE-WHITTLE I.H., KNAPP B.A. AND PLANK R.: COMBINED USE OF WOOD ASH AND ANAEROBIC SLUDGE FOR GRASSLAND FERTILIZATION (INGEREICHT BEI DIE BODENKULTUR)	36
4.8) ABSTIMMUNG MIT DER BIOGASGRUPPE IM RENET	37
4.9) NACHWEIS DER WIRTSCHAFTLICHKEIT UND OPTIMIERUNG DER ANLAGE	37

---

<b>5) ANGABEN IN BEZUG AUF DIE ZIELE DER PROGRAMMLINIE:</b> .....	<b>44</b>
5.1) BEITRAG ZUM GESAMTZIEL DER PROGRAMMLINIE .....	44
5.1.1) <i>Verbesserungen der Gesamteffizienz des Energiesystems "Kleinbiogasanlage" und ihrer Komponenten</i> .....	44
5.1.2) <i>Verbesserung der Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie Ausbau der Forschungskompetenz</i> .....	44
5.1.3) <i>Beitrag des Projekts zu den ausgewählten Themenstellungen der 2. Ausschreibung (siehe Leitfaden Kapitel 5)</i> .....	44
5.2) BESCHREIBUNG DER UMSETZUNGS-POTENZIALE FÜR DIE PROJEKTERGEBNISSE .....	46
5.2.1) <i>Biogasanlagenmarkt für BIO4GAS in Österreich</i> : .....	46
5.2.2) <i>Biogasanlagenmarkt für BIO4GAS in Europa und weltweit</i> : .....	46
5.2.3) <i>Potentiale der entwickelten Microarray-Technologie</i> : .....	48
5.3) POTENTIAL FÜR DEMONSTRATIONSVORHABEN .....	48
<b>6) SCHLUSSFOLGERUNGEN AUS DEN PROJEKTERGEBNISSEN:</b> .....	<b>49</b>
<b>7) LITERATURVERZEICHNIS / ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b> .....	<b>50</b>
7.1) LITERATURVERZEICHNIS .....	50
7.2) ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	52
<b>8) ANHANG</b> .....	<b>53</b>
8.1) PROZESSDATEN ALLER PROBEN AUS DEM START-UP EXPERIMENT .....	53
8.2) PROZESSDATEN ALLER PROBEN AUS DEM OLIVEN EXPERIMENT .....	54
8.3) LISTE DER FÜR DEN ARCHAEA-MICROARRAY ENTWORFEN DNA-SONDEN.....	55
8.4) AUSZUG AUS DEM EINGEREICHTEN K-REGIO-ANTRAG .....	59

---

## 1) Kurzfassung in Deutsch / *Summary in English:*

### 1.1) Motivation / *Motivation*

Herkömmliche Kleinbiogasanlagen (< 50 kW elektrisch) sind wegen der meist teuren Einzelanfertigung und Einzelplanung nur bei hohen Förderungen ökonomisch vertretbar. Durch Standardisierung und Systemvereinfachung sollte ein marktfähiges Produkt entwickelt werden, das anschließend in Serie gefertigt werden kann.

Bereits in einer Vorstudie wurde eine bestehende Biogasanlage analysiert, welche sich auf Grund ihrer einfach und effizient funktionierenden 4-Kammer-Geometrie als geeignetes Ausgangsmodell für das geplante Produkt erwies. In weiteren Arbeitsschritten gelang die Optimierung des Anlagenkonzepts des 4-Kammer-Systems. Als Resultat konnte schließlich eine innovative Technologie mit dem Namen BIO4GAS präsentiert werden. An der landwirtschaftlichen Landeslehranstalt Rotholz (Tirol) konnte ein geeigneter Standort für die Errichtung einer Demonstrationsanlage gefunden werden.

*Small-scale biogas plants (< 50 kW electrical) are usually considered uneconomical due to the high costs for planning and construction. Through system simplification and standardisation a marketable product, suitable for serial production could be developed.*

*In a preliminary study an existing biogas plant based on a simple but efficient 4-chamber construction got analyzed and appeared to serve as a suitable starting model for the planned product. In further steps the 4-chamber plant concept could be optimised resulting in an innovative technology named BIO4GAS. The provincial agricultural school in Rotholz (Tyrol) was found as the ideal site for the construction of a demonstration plant.*

1.2) Inhalte und Zielsetzungen / *Contents and Aims*

Die primären Ziele des Projektes waren der Bau und die Inbetriebnahme der Demonstrationsanlage an der Landwirtschaftlichen Lehranstalt in Rotholz. Die Funktionalität des in den Vorstudien entwickelten Anlagenkonzeptes sollte in der Praxis demonstriert werden. Der Effizienz des Verfahrens sollte direkt an der Anlage weiter optimiert werden. Mit den erhaltenen Betriebsergebnissen und Kostendarstellungen sollte aufgezeigt werden, dass auch kleine Anlagen (15 bis 50 kW elektrisch) wirtschaftlich betrieben werden können.

Im Zuge der begleitenden Grundlagenforschung sollten Einflüsse der Substratzusammensetzung auf den Anaerobprozess untersucht werden. Durch chemisch-physikalische und mikrobiologische Untersuchungen sollten Prozessoptimierungen ermöglicht und die Gaserträge verbessert werden. Weiters war eine GIS basierte Erfassung des Marktpotentials für Kleinbiogasanlagen in Tirol geplant.

*The main target of the project was the construction and start-up of a biogas demonstration plant at the agricultural school in Rotholz. The functionality of the developed plant concept should be demonstrated at big scale and a further optimization of the plant efficiency was planned to be performed. Based on the acquired operation data and the specification of cost the profitability of the plant should be demonstrated.*

*Within the accompanying research program effects of the substrate composition on the anaerobic process should be studied. Through analysis of chemical-physical as well as microbiological parameters it was expected to optimize the process and to increase the gas yield. Furthermore a GIS based market evaluation for biogas plants in the province of Tyrol was planned.*

1.3) Methodische Vorgehensweise / *Methodical Approach*

Zur Errichtung der Demonstrationsanlage wurde ein Konsortialvertrag zwischen den Partnern Austrian Research Centers GmbH - ARC, Universität Innsbruck, Ingenieurbüro BENNAT CONSULT und etaone energy GmbH abgeschlossen. Die Anlage wurde vom Konsortium direkt an der Landwirtschaftlichen Landeslehranstalt Rotholz errichtet wo sie als Vorzeigeobjekt einer breiten Öffentlichkeit zur Verfügung steht.

Im Zuge der begleitenden Grundlagenstudien wurden zunächst Vorversuche in vier parallel betriebenen 100-Liter-Laborreaktoren der Universität Innsbruck durchgeführt. Dabei wurden sämtliche Methoden zur Bestimmung der relevanten Prozessparameter (pH-Wert, CSB, flüchtige Fettsäuren, Gasqualität, usw.) in die Routineanalytik etabliert. Aus den gewonnenen Erkenntnissen wurde die geeignete Inbetriebnahmestrategie für die Demonstrationsanlage festgelegt.

In Rotholz selbst wurde neben der Inbetriebnahme des Reaktors mit dem Monitoring der Prozessparameter begonnen. Die gesammelten Daten werden anschließend für eine numerische Modellierung des Gärprozesses im BIO4GAS-Reaktor herangezogen.

Weiters erfolgt durch diverse molekularbiologische Methoden eine Charakterisierung der am Gärprozess beteiligten mikrobiologischen Konsortien und deren Prozessdynamik.

*For the construction of the demonstration plant a project consortium was founded by the following partners: Austrian Research Centers GmbH - ARC, University Innsbruck, the engineering firm BENNAT CONSULT and etaone energy GmbH. The plant was constructed at the agricultural school in Rotholz where it is implemented into the agricultural operations and will serve as a showpiece for a big publicity.*

*In the course of the accompanying research program preliminary experiments were conducted in four 100 litre lab-scale reactors at the University Innsbruck. All methods for the determination of the relevant process parameters (e.g. pH-value, COD, volatile fatty acids, gas quality) were established for routine analytics. From the obtained results an appropriate start-up strategy for the big scale plant was chosen.*

*At the plant in Rotholz the start-up was initiated and a monitoring of the process parameters was introduced. The collected data will serve for the numeric modelling of the anaerobic process in the BIO4GAS reactor.*

*Furthermore a characterisation of the diverse micro-organisms and their process dynamics is conducted.*

1.4) Ergebnisse / Results

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse des Projektes dargestellt:

- Erfolgreiche Errichtung und Beginn der Inbetriebnahme der BIO4GAS-Demonstrationsanlage an der LLA Rotholz. Die offizielle Eröffnung der Anlage findet am 2. April 2008 statt.
- Ermittlung einer geeigneten Inbetriebnahmestrategie für die Demonstrationsanlage auf Grund von Ergebnissen eines Laborversuches. Es konnte gezeigt werden, dass die Inbetriebnahme auch ohne die Verwendung eines Inokulums (Impfmateriale) erfolgreich durchgeführt werden kann.
- Bestimmung des Biogas-Potentials von Abfällen aus der Olivenölproduktion, sowie Darstellung der Eignung als Co-Substrat in Biogasanlagen. Ein gemeinsames EU-Projekt mit Partnern aus Italien und Spanien zur Verwertung der Olivenabfälle in einer BIO4GAS-Anlage befindet sich in Vorbereitung.
- Entwicklung eines speziell adaptierten Microarrays zur mikrobiologischen Untersuchung der involvierten methanogenen Mikroorganismen. Der Microarray bietet die Möglichkeit, die An- bzw. Abwesenheit einer Vielzahl an Mikroorganismen in nur einem Experiment zu bestimmen.
- GIS basierte Erfassung des Marktpotentials für Biogasanlagen in Tirol (Diplomarbeit)

*The following main results could be achieved within the project:*

- *Successful construction and initiation of start-up procedure of the BIO4GAS demonstration plant at the agricultural school in Rotholz. The official plant opening will be at the 2<sup>nd</sup> of April 2008.*
- *Determination of the best start-up strategy for the demonstration plant based on the results of a lab-scale experiment. It was shown that a successful start-up without the use of an inoculum is possible.*
- *Determination of the biogas potential of wastes from olive oil production and representation of their applicability as co-substrate in biogas plant. A joint EU-project with partners in Italy and Spain for the utilization of olive wastes in a BIO4GAS plant is in preparation.*
- *Development of a Microarray for the analysis of methanogenic micro-organisms in biogas plants. The Microarray offers the possibility to determinate the presence of a big number of micro-organisms within just one experiment.*
- *A GIS based evaluation of the market potential for biogas plants in the province of Tyrol.*

## 2) Einleitung:

### 2.1) Allgemeine Einführung in die Thematik

Kleinbiogasanlagen werden derzeit im Wesentlichen als volldurchmischte Einkammerreaktoren, als 2-Kammeranlagen verschiedenster Bauart oder als Pfropfenstromreaktoren ausgeführt. Die Vorteile der Einkammerreaktoren liegen in den niedrigeren Errichtungskosten, der einfachen Rührtechnik und dem damit verbundenen, geringeren Wartungsaufwand. Demgegenüber stehen Mehrkammer-Biogasanlagen und Pfropfenstromreaktoren, welche gegenüber Einkammersystemen eine höhere Biogausausbeute aufweisen.

Die im Zuge von umfangreichen Projekt-Vorarbeiten entwickelte BIO4GAS-Technologie verbindet die Vorteile dieser unterschiedlichen Bauweisen. Durch die Rundform und die Anordnung der 4 Kammern wird die Röhreinrichtung vereinfacht. Totzonen mit Ablagerungen, wie sie in Einkammerreaktoren vorkommen werden vermieden. Durch die hydraulische Trennung der vier Kammern stellt sich die erwünschte Pfropfenströmung ein, wodurch frisches Substrat nicht mit ausgefaultem Substrat vermischt werden kann. Eine deutlich höhere Mindestaufenthaltszeit des Substrates wird sichergestellt und somit eine hohe Gasausbeute und verbesserte Hygienisierung erzielt.

Meist werden Einzelanlagen für den jeweiligen Standort individuell geplant und in Ortbeton ausgeführt. Die derzeit angebotenen Fertigteilanlagen sind meist volumenoptimierte Stahlreaktoren. D.h. sie sind auf ein bestimmtes Belastungsniveau bemessen und lassen Beschickungsschwankungen nur in geringem Maße zu. Bei Änderung der Belastungsmenge (z.B. durch Änderung des Viehbestandes oder zusätzliche Einbringung von Co-Substraten) ist es daher nötig, umfangreiche bauliche Maßnahmen vorzunehmen (z.B. Errichtung eines weiteren Fermenters) bzw. wird die Anlage aufgrund fehlenden Substrats unwirtschaftlich.

Herkömmliche Anlagen sind oft technisch hochgerüstet, aufwändig ausgestattet und weisen ein entsprechendes Preisniveau auf. Bei Stahlbauweise spielt der in letzter Zeit stark gestiegene Stahlpreis ebenfalls eine entsprechende Rolle.

Mit Hilfe der BIO4GAS-Technologie soll eine Standardisierung und Systemvereinfachung für Kleinbiogasanlagen erreicht werden. Errichtungs- und Wartungskosten können dadurch gesenkt werden. Durch die hydraulische und mikrobiologische Optimierung des Vergärungsprozesses soll der Betrieb der Anlage in einem variablen Belastungsbereich wirtschaftlich ermöglicht werden.

## 2.2) Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Durch die geleisteten Vorarbeiten konnte die innovative BIO4GAS-Technologie entwickelt und im Zuge des Projektes als Demonstrationsanlage an der LLA Rotholz errichtet werden. Im Folgenden sind die geleisteten Vorarbeiten kurz dargestellt.

### 2.2.1) Untersuchung einer bestehenden 4-Kammer-Anlage

Eine Untersuchung und Analyse einer bestehenden 4-Kammer-Anlage wurde im Rahmen einer Diplomarbeit durchgeführt und ausführlich dokumentiert (Wackerle F., 2006). Die untersuchte Anlage ist ein stehender, rechteckiger Betonfermenter (Gesamtvolumen 192 m<sup>3</sup>), welcher in vier Einzelkammern unterteilt ist und von einem Landwirten mit Schweinezuchtbetrieb (ca. 250 bis 300 Schweine) betrieben wird (s. Abbildung 1 und 2).



Abbildung 1: Ansicht der analysierten Bestandsbiogasanlage

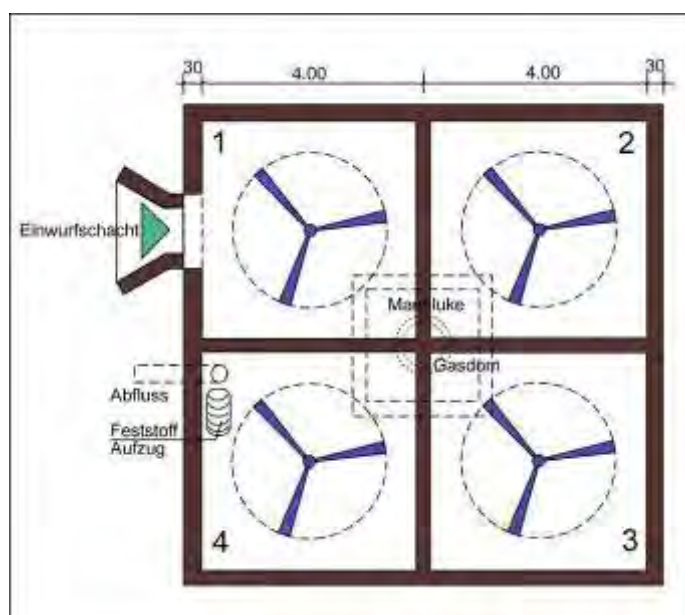


Abbildung 2: 4-Kammer-Schema der analysierten Bestandsbiogasanlage



Im Zuge der durchgeführten Untersuchungen wurden an der gesamten Anlage insgesamt 11 Messpunkte definiert. Durch die so gewonnenen Werte konnten verschiedene Stoffströme erfasst und die Anlage hinsichtlich ihres Stoffdurchsatzes charakterisiert werden. Um die Effizienz der Anlage hinsichtlich Abbaugrad, Biogasanfall und dergleichen zu bewerten, wurden für die verschiedenen In- und Outputströme Stoffstrombilanzen erstellt. In untenstehender Abbildung (Abb. 3) ist beispielhaft die Stoffstrombilanz für den Abbau von Kohlenstoff und organischer Trockensubstanz dargestellt. Etwa ein Drittel des eingebrachten Kohlenstoffs vom Bioabfall, zwei Drittel von der Gülle und ca. 71 % der organischen Trockensubstanz werden abgebaut (hoher Abbaugrad durch Verhinderung von Kurzschlussströmung).

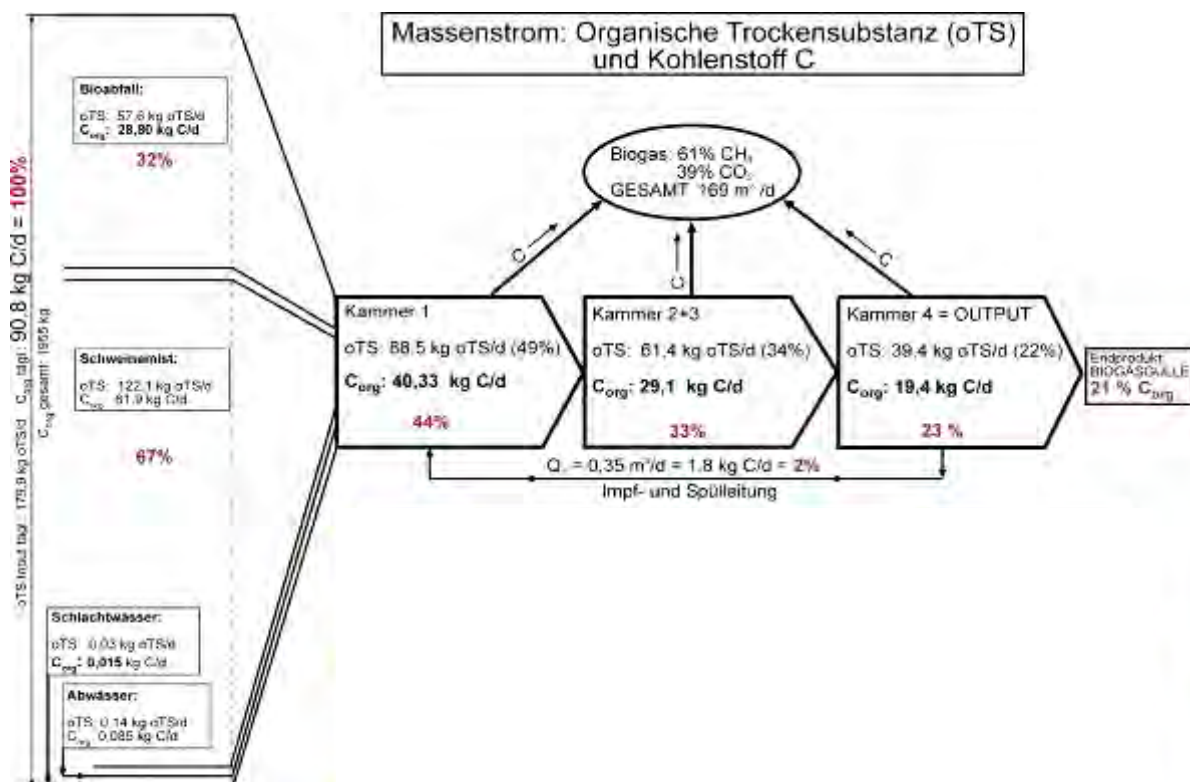
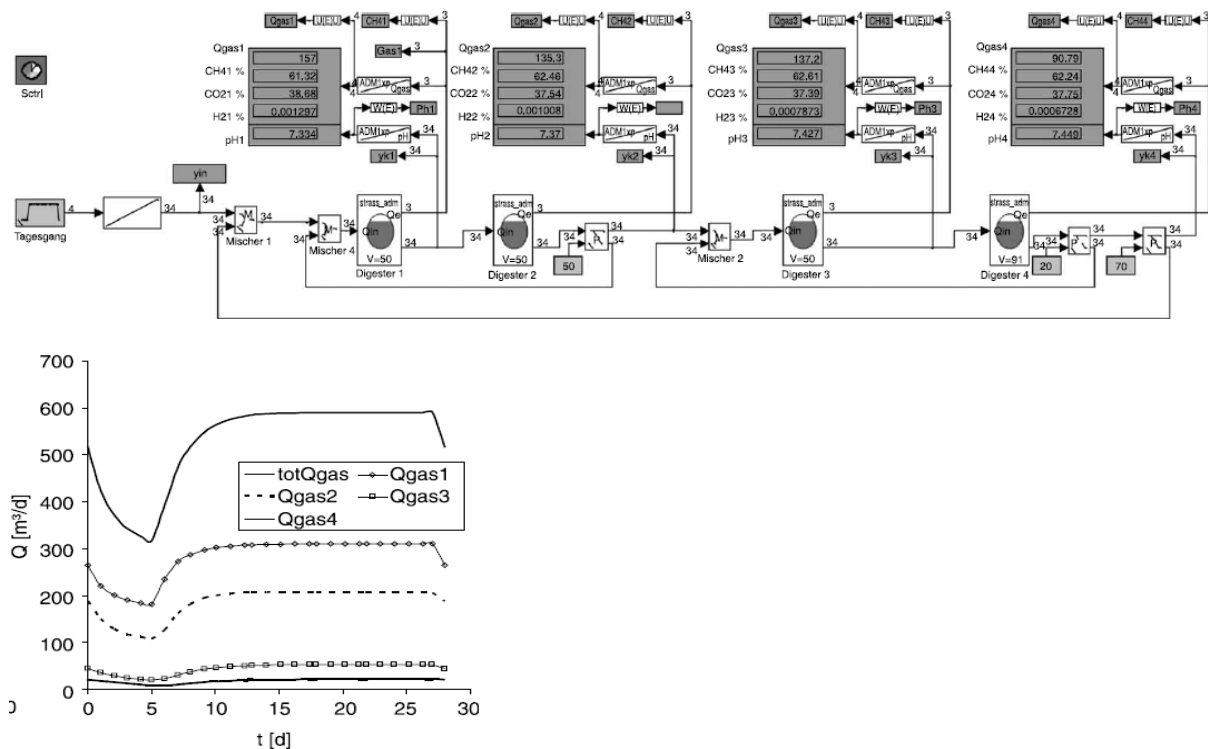


Abbildung 3: Massenströme: Organische Trockensubstanz und Kohlenstoffbilanz

Durch die Analyse der gewonnenen Daten konnten die Vorteile eines 4-Kammer-Systems gegenüber herkömmlichen Bauweisen von Biogasanlagen aufgezeigt werden. Durch die sich einstellende Pfropfenströmung (Vermeidung von Kurzschlussströmungen des Substrats und der Gases) kann eine gute Gasausbeute sowie ein hoher Entschwefelungsgrad des Gases erzielt werden. Allerdings ergeben sich durch die Rechteckform auch Nachteile: es bilden sich Totzonen mit Ablagerungen in den Ecken und es ist eine relativ aufwändige Rührtechnik erforderlich.

### 2.2.2) Entwicklung Anlagenkonzept

Aufbauend auf die Datenbasis der o.g. Analyse wurde die Optimierung des Anlagenkonzepts des 4-Kammer-Systems vorgenommen. Dabei wurden die Grundlagen (Bemessung, Bauweise, maschinelle Ausstattung und Steuerung, Prozessführung und Betriebsart, Kosten und Nutzen) für eine Serienfertigung dieses Anlagentyps geschaffen. Eine numerische Simulation des Anlageschemas mit vier Modellreaktoren wurde mittels dem auf *Matlab-Simulink* basierten Simulationsprogramm SIMBA (s. Abbildung 4) durchgeführt. Zur Kalibrierung und Bestimmung der entscheidenden Prozessparameter wurden aus Laborversuchen gewonnene Daten herangezogen. Hierzu wurden im Labor parallel unterschiedliche Substrate unter spezifizierten Bedingungen vergärt. Außerdem wurden Schwankungen in der Beschickungsmenge untersucht, um die Identifizierbarkeit der Parameter für die Kalibrierung zu verbessern. Schließlich konnte das Modell zum Vergleich von unterschiedlichen Reaktorkonfigurationen und Kammergrößen angewendet werden.



**Abbildung 4: Modelliertes 4-Kammer-System in der SIMBA-Umgebung (oben) zur Simulation der Gasproduktion in den einzelnen Kammern bei hoher Beschickungsmengen (unten)**

Zur weiteren hydraulischen und energetischen Optimierung der geplanten Demonstrationsanlage wurden numerische dreidimensionale Strömungssimulationen durchgeführt. Durch Variationen der Geometrie sowie der Anordnung des Rührwerks wurden Möglichkeiten zur Strömungs- und Anlagenoptimierung aufgezeigt. Der linke Teil der untenstehenden Abbildung (Abb. 5) zeigt einen vertikalen Schnitt durch die Kammern 1 und 2 mit einer simulierten Druckausgleichsschwingung des Substrats. Im rechten Teil sieht man einen horizontalen Schnitt durch die Kammern 3 und 4 mit der simulierten Ringströmung.

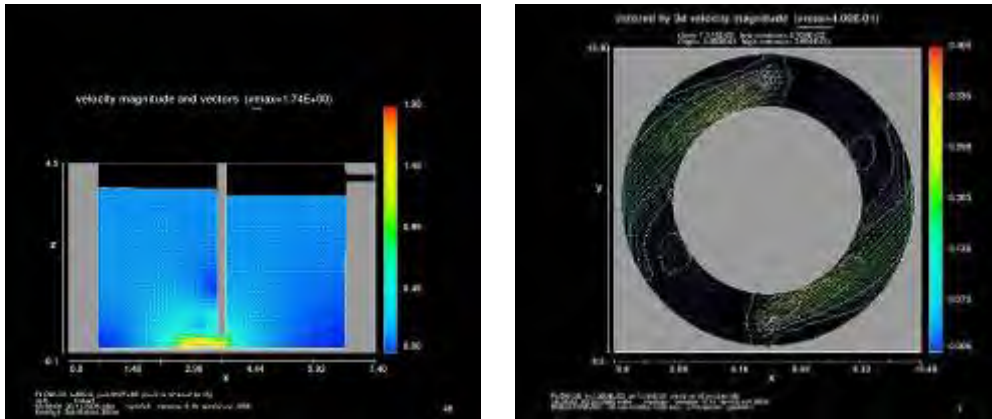


Abbildung 5: Numerische Strömungssimulationen in Kammer 1&2 (li.) und Kammer 3&4 (re.)

### 2.2.3) Vorarbeiten für die Errichtung der Demonstrationsanlage

Schon im Vorfeld des Projekts wurden die Einreichunterlagen zur Errichtung der Demonstrationsanlage erstellt.

Da es sich bei dem Prototyp um eine nicht gewerbliche Anlage ohne Co-Fermentation und einer Engpassleistung unter 100 kW handelt, entfiel eine Bewilligung nach Abfallwirtschaftsgesetz, Gewerbeordnung und Tiroler Elektrizitätsgesetz. Es war lediglich eine Genehmigung nach dem Tiroler Gasgesetz erforderlich, sämtliche anderen berührten Rechtsmaterien wurden in diesem Verfahren mitverhandelt.

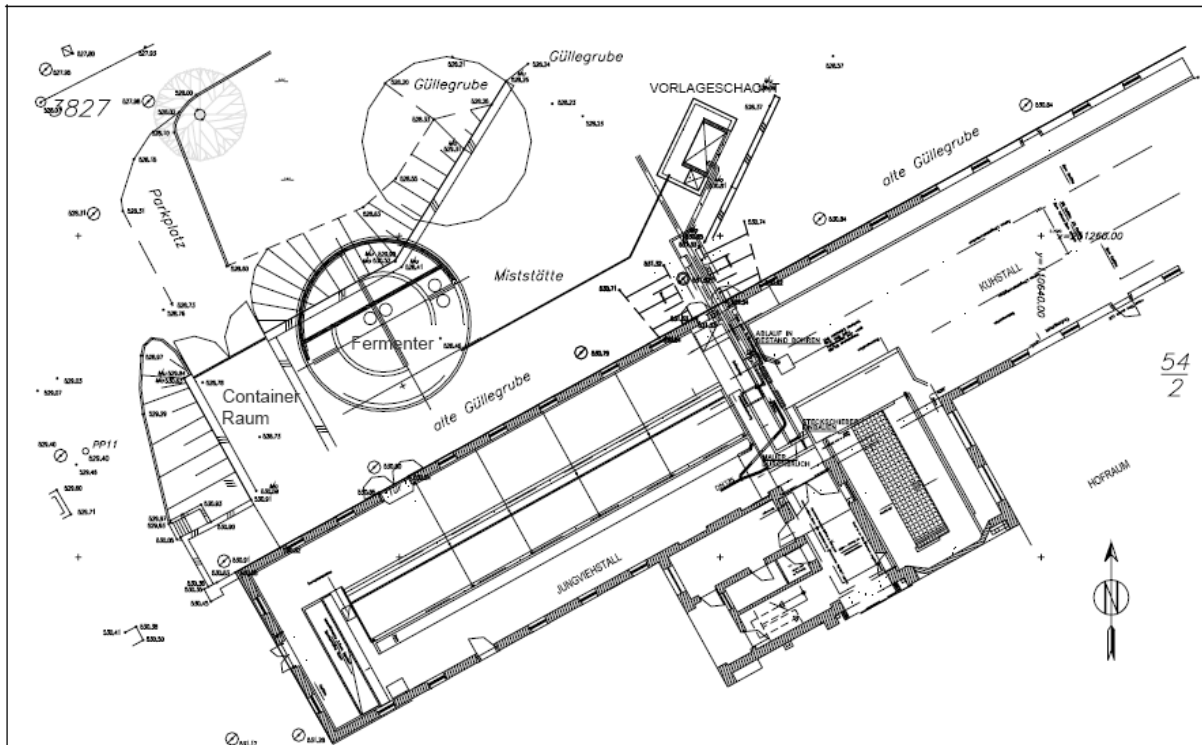


Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Lageplan der Einreichplanung

2.3) Einpassung in die Programmlinie

Das durchgeführte Projekt "BIO4GAS" wird den Ansprüche der EDZ-Programmlinie sowohl in wirtschaftlicher als auch in wissenschaftlicher Hinsicht gerecht. Folgende Aspekte sollen besonders hervorgestrichen werden:

- Durch das zur Durchführung des Projektes gegründete Konsortium wird eine Verbesserung der Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft erreicht. Die meisten Projektmitglieder streben auch nach Ende des Projektes eine weitere Zusammenarbeit an.
- Die Gesamteffizienz des Energiesystems "Kleinbiogasanlage" wird durch die 4-Kammer-Bauweise der BIO4GAS-Anlage verbessert. Dadurch kann eine spezifische Nische bezüglich der Anlagengröße gefüllt werden.
- Auf dem Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck soll es durch die umfassenden Forschungsmöglichkeiten an der Demonstrationsanlage Rotholz gelingen, der Mikrobiologie in Biogasanlagen einen hervorragenden Platz in Europa einzuräumen.
- Durch die Errichtung der Demonstrationsanlage an der LLA Rotholz wird eine ausgezeichnete Voraussetzung für eine lang andauernde Kooperation mit der Landeslehranstalt bzw. der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt geschaffen.

### **3) Ziele des Projektes:**

#### 3.1) Errichtung und Inbetriebnahme der BIO4GAS-Demonstrationsanlage

Das Hauptziel des Projektes war die Errichtung und Inbetriebnahme der BIO4GAS-Anlage in Rotholz. Hierfür wurde ein Konsortialvertrag zwischen den Partnern Austrian Research Centers GmbH - ARC (Seibersdorf), Universität Innsbruck, Ingenieurbüro BENNAT CONSULT (Innsbruck) und etaone energy GmbH (Neckenmarkt) abgeschlossen. Das Konsortium stand in enger Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftlichen Landeslehranstalt Rotholz, in deren Eigentum die Anlage nach erfolgreicher Abnahme übergeben wird.

Nach Abschluss sämtlicher Förder- und Partnerverträge wurden Anfang Juli 2007 die Bautätigkeiten an der landwirtschaftlichen Lehranstalt in Rotholz durch die Fa. Rieser Bau GmbH (Rum) aufgenommen. Der Auftrag für die maschinelle Ausrüstung wurde an das Ingenieurbüro A. Jenewein GmbH (Aldrans, Planung) bzw. die Fa. Integral-Montage Anlagen- und Rohrtechnik GmbH (Wallern a.d. Trattnach, Ausführung) vergeben. Die Lieferung des Energiemoduls (BHKW-Container), welches seitens des Projektpartners etaone energy GmbH zur Verfügung gestellt wurde, verzögerte sich auf Grund von großen Zulieferproblemen deutlich und konnte erst Ende Februar 2008 erfolgen.

Die benötigte EMSR-Technik für den Betrieb des Bio4Gas-Reaktors, sowie die Sonderausstattung für die Durchführung der begleitenden Grundlagenforschung (NH<sub>4</sub>-Sonde, Beschickungsmengenmessung (IDM), usw.) wurde von der Firma Schubert Elektroanlagen GesmbH (Ober-Grafendorf) realisiert. Die HLS-Planung für das benötigte Heizungssystem erfolgte durch das Technische Büro für Installationstechnik Marco Kleinheinz (Wiesing).

#### 3.2) Ermittlung einer geeigneten Inbetriebnahmestrategie (Start-Up Experiment)

Stand der Technik für die erfolgreiche Inbetriebnahme einer Biogasanlage ist die Verwendung eines Inokulums (= Impfmateriel) zur Beimpfung des zu vergärenden Substrates. Das Inokulum ist im Idealfall Gärmateriel aus einer in Betrieb befindlichen Biogasanlage mit ähnlichem Substrat wie die in Betrieb zu nehmende Anlage. Das Inokulum enthält die zur Substratvergärung benötigten Mikroorganismen in ausreichender Konzentration um die anaeroben Abbauprozesse und somit die Inbetriebnahme deutlich zu beschleunigen. Daher ist die Verwendung eines Inokulums für Anlagen mit schwer vergärbaren Substraten von großer Bedeutung. Hingegen wird für Substrate, welche bereits vor der Vergärung die nötigen Mikroorganismen in ausreichender Zahl beinhalten nicht zwingend ein Inokulum benötigt. Gerade Rindergülle und Rindermist sind als derartige Substrate hervorzuheben. Ein großer Vorteil bei einer Inbetriebnahme ohne Inokulum ist, dass Kosten für die Anschaffung des Materials gespart werden können.

Um eine möglichst effiziente und ökonomische Inbetriebnahme der Bio4Gas-Anlage in Rotholz gewährleisten zu können wurde ein Vorversuch im Labor durchgeführt. Dabei wurden in den Laborreaktoren der Universität Innsbruck vier verschiedenen Inbetriebnahmevarianten getestet. Bei den Laborreaktoren (s. Abb. unten) handelt es sich um voll durchmischte 100 Liter Reaktoren in denen Rindergülle aus den Ställen der LLA Rotholz der anaeroben Vergärung unterzogen wurde.



**Abbildung 7: Foto der vier parallel betriebenen 100-Liter Laborreaktoren**

Im Wesentlichen sollten zwei völlig unterschiedliche Inbetriebnahmestrategien miteinander verglichen werden.

Strategie 1 (Reaktor "A1" & "B1"):

- Befüllung der Reaktoren mit verdünntem Inokulum (Kostenfaktor) und Erwärmung auf Betriebstemperatur (37°C) über Nacht.
- Anschließend stufenweise Erhöhung der Beschickung mit Rindergülle auf die 2 Varianten "betriebsübliche Beschickung" (A1) und "Überbeschickung" (B1).
- Durch das Inokulum kann sich der Prozess rasch stabilisieren und die Gefahr einer Übersäuerung wird eingedämmt.

Strategie 2 (Reaktor "A2" & "B2"):

- Befüllung der Reaktoren mit reiner Rindergülle und stufenweise Erwärmung von Ausgangstemperatur (ca. 20°C) auf Betriebstemperatur (37°C).
- Keine Beschickung mit Rindergülle in den ersten vier Wochen. Danach Beschickung direkte Aufnahme der Varianten "betriebsübliche Beschickung" (B2) und "Überbeschickung" (A2).
- Eine Übersäuerung wird durch die niedrige Prozesstemperatur zu Beginn unterdrückt. Durch die langsame Erwärmung können sich sämtliche Mikroorganismen im Reaktor an den Vergärungsprozess anpassen.

### 3.3) Bestimmung des Biogas-Potentials von Abfällen aus der Olivenölproduktion (Oliven Experiment)

Nach Abschluss des Start-Up Experiments (s. Kap. 3.2) wurde noch ein weiterer Versuch - in Hinblick auf antizipierte Kooperationen im Mittelmeerraum - mit den vier Laborreaktoren durchgeführt. Dabei sollte das Biogas-Potenzial von Abfällen aus der Olivenölproduktion sowie deren Eignung als Co-Substrat in Biogasanlagen untersucht werden. Bei den Rückständen handelt es sich im Wesentlichen um abfallende Olivenreste mit homogener, pastöser Konsistenz und einer Trockensubstanz von ca. 30%.

Vor Beginn der Untersuchungen wurde der aus dem Start-up Experiment stammende Inhalt der 4 Laborreaktoren entnommen, homogenisiert und wieder eingefüllt. Die Reaktoren wurden für 31 Tage einmal täglich mit 3,5 Litern Substrat in folgender Zusammensetzung beschickt:

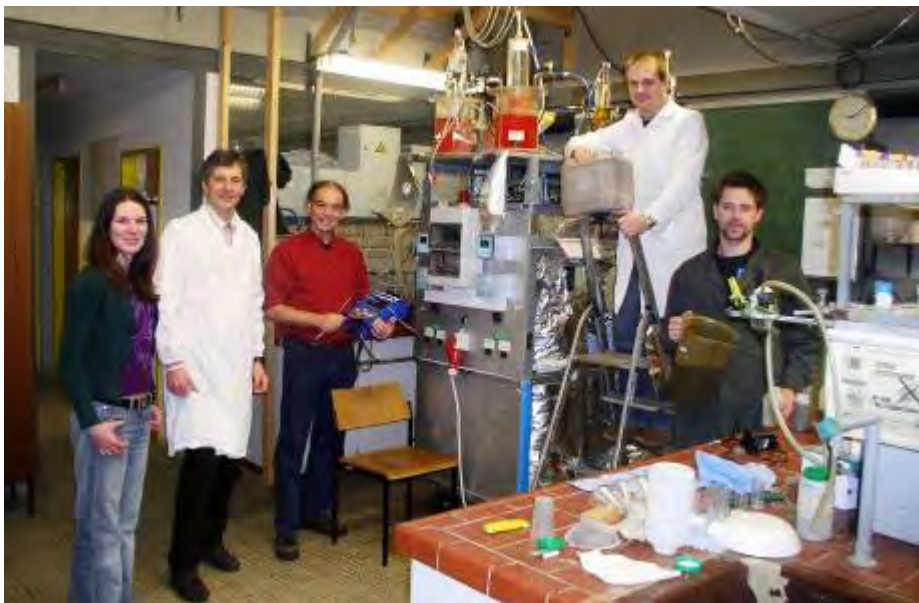
Reaktor A1: 1/4 Olivenrückstände+3/4 Gülle bei einer Reaktortemperatur von 37°C

Reaktor A2: 1/4 Olivenrückstände+3/4 Gülle bei einer Reaktortemperatur von 55°C

Reaktor B1: 1/4 Wasser+3/4 Gülle bei einer Reaktortemperatur von 37°C

Reaktor B2: 1/4 Olivenrückstände+3/4 Wasser bei einer Reaktortemperatur von 37°C

Die Wahl der genannten Varianten hatte folgenden Hintergrund: durch B1 und B2 kann der Beitrag der einzelnen Komponenten der Co-Vergärung (Olivenrückstände und Gülle) zur Biogasproduktion quantifiziert werden. Durch Vergleich mit der Biogasproduktion der gemeinsamen Vergärung beider Komponenten in A1 kann eine mögliche Steigerung der Biogasproduktion durch Co-Fermentation dargestellt werden. Darüber hinaus lässt sich durch Vergleich von A1 und A2 ein möglicher Temperatureinfluss auf die Biogas-Produktion aufzeigen. Durch die Beschickungsrate von 3,5 L/d und dem Reaktorvolumen von 75 L (25 L Gasraum) ergibt sich eine hydraulische Aufenthaltszeit von 21 Tagen, was in etwa den Bedingungen in einer realen Biogasanlage entspricht. Dadurch lassen sich die erhaltenen Ergebnisse innerhalb gewisser Grenzen auf eine solche übertragen.



**Abbildung 8: Mitarbeiter des wissenschaftlichen Projektteams bei Arbeiten für das Oliven-Experiment**

#### 3.4) Erhebung von Betriebsdaten an der BIO4GAS-Anlage in Rotholz

Bereits während der Inbetriebnahmephase wurde mit der Analyse von Reaktorproben, sowie der Aufzeichnung der diversen Betriebsparameter (Temperatur, pH-Wert, Beschickung, usw.) begonnen werden. Die Betriebsparameter wurden dabei mittels online-Messtechnik in einem Datenspeicher aufgezeichnet. Die relevanten Prozessparameter in den Reaktorproben wurden entsprechend der im Zuge der Vorversuche für Biogasanlagen-Schlämme adaptierten Routineanalytik bestimmt.

#### 3.5) Entwicklung eines Microarrays zur Identifizierung methanogenen Mikroorganismen

Durch die derzeit laufenden Entwicklungen von DNA-Microarrays zur Identifizierung von Bakterien und Archaea werden mächtige Werkzeuge zur parallelen Bestimmung von 16S rDNA Genen solcher Mikroorganismen geschaffen (Ogram, 2000). DNA-Microarrays basieren auf der relativ alten Technik zur Hybridisierung von zwei komplementären Nukleinsäuren. Die besondere Innovation der Arrays ist deren Möglichkeit Nukleinsäuren auf einer festen Matrix an exakt definierten Orten zu binden, was die simultane Hybridisierung von Zehntausenden DNA-Sonden erlaubt (Kelly, 2003). Somit bietet ein DNA-Microarray die Möglichkeit, die An- bzw. Abwesenheit einer Vielzahl an Mikroorganismen in einer bestimmten Probe mit nur einem Experiment zu bestimmen.

Der am Institut für Mikrobiologie entwickelte Microarray zielt auf die Detektierung von methanogenen Archeen ab, welche unter anaeroben Bedingungen Methan aus organischen Verbindungen bilden und somit eine sehr wichtige Rolle im biologischen Prozess von Biogasanlagen spielen. Auf dem Array befindet sich Platz für etwa 100 Spots die mit verschiedenen DNA-Sonden zur Identifizierung besonders prozessrelevanter Archaea belegt sind. In Anhang 8.3 befindet sich eine Liste der für den Archaea-Microarray entworfenen DNA-Sonden.

#### 3.6) GIS basierte Erfassung des Marktpotentials für Biogasanlagen in Tirol

Ziel war es mit Hilfe eines geographischen Informationssystems (GIS) das Marktpotential für Biogasanlagen im Bundesland Tirol zu erfassen. Zu diesem Thema wurde eine Diplomarbeit verfasst. Dabei wurde aus den Faktoren Biogas-Energiepotenzial (Substratangebot), Wärmebedarf (Wärmeabnahme), Einspeisungsmöglichkeit ins Erdgasnetz und Stickstoff-Limitierung bei der Gärrestausrückführung eine Standortbewertung vorgenommen und diese flächendeckend für das Bundesland dargestellt.

#### 3.7) Untersuchung der Bodenbelastung durch ausgebrachte Klärschlammrückstände

Zu diesem Thema wurden zwei Diplomarbeiten durchgeführt in denen die Effekte von Gärresten bzw. damit verbundenen Düngemittelkombinationen auf diverse Bodenparameter untersucht wurden.



3.8) Abstimmung mit der Biogasgruppe im RENET

Das RENET (Renewable Energy Network Austria) wurde im Dezember 1999 gegründet und war damit das erste industrielle Kompetenznetzwerk Österreichs. Für RENET steht die Energiegewinnung aus nachwachsenden Rohstoffen im Mittelpunkt seiner Arbeit. In diesem Bereich will das Netzwerk auch zur Bündelung der Kompetenz österreichischer ForscherInnen beitragen. Im Jänner 2004 wurde RENET um den Bereich "Biogas" erweitert. Im Zuge des Projektes sollte der Kontakt mit RENET hergestellt werden, um eine mögliche Beteiligung in diesem Netzwerk abzuklären und bei entsprechenden Synergien auch umzusetzen.

3.9) Nachweis der Wirtschaftlichkeit und Optimierung der Anlage

Ein wesentliches Ziel des Projektes war es die Wirtschaftlichkeit der Anlage bzw. die geringeren Investitions- und Betriebskosten im Vergleich zu konkurrierenden Prozessen darzustellen. Hierzu sollten nach Abschluss der Inbetriebnahme die angefallenen Kosten für die Errichtung ermittelt werden. Die Betriebskosten sollten aus den gemessenen Energieströmen kalkuliert werden.

Weiters sollten aus den gemessenen Betriebsdaten, den Erfahrungen aus dem laufenden Betrieb, sowie den durchgeführten Laboranalysen Schlussfolgerungen für eine weitere Optimierung des Anlagenkonzeptes gezogen und in weiterer Folge umgesetzt werden.

## 4) Ergebnisse des Projektes:

### 4.1) Errichtung und Inbetriebnahme der BIO4GAS-Demonstrationsanlage

Der Errichtung der Demonstrationsanlage an der landwirtschaftlichen Landeslehranstalt in Rotholz wurde erfolgreich durchgeführt. Die offizielle Eröffnung der Anlage fand am 2. April 2008 statt. Die untenstehenden Fotos zeigen die Anlage nach erfolgter Fertigstellung, sowie die einzelnen Bauphasen.





Baufeld für den geplanten Fermenter



Baugrubenaushub mit vernagelter Spritzbetonsicherung



Fertige Baugrubensicherung in Spritzbeton



Bewehrungsarbeiten für die Bodenplatte



Bewehrungsarbeiten Fermenterdecke inkl. Einstiegsschächte in Edelstahl



Dämmarbeiten Fermenterwände

**Abbildung 9: Fotos der fertigen Anlage vom 04. März 2008 (Im Vordergrund des unteren Fotos ist der Container zur Gasverwertung mit aufgesetzter Gasfackel zu sehen).**

Die Inbetriebnahme der Anlage konnte auf Grund der großen Verzögerung bei der Errichtung erst wesentlich später als geplant erfolgen. Hauptgrund für die verzögerte Anlagenfertigstellung waren die unerwartet großen Probleme bei der Lieferung des Blockheizkraftwerkes (BHKW). Diesbezüglich wurde bereits am 20. Dezember 2007 eine Erklärung an die FFG übermittelt (s. Anhang 9.1). Der darin geplante Inbetriebnahmetermin am 14. Jänner 2008 könnte jedoch auf Grund weiterer Lieferprobleme nicht gehalten werden.

Bedingt durch die besonderen Anforderungen (Gasdichtheit des Betons) des Fermenters wurden sämtliche Rohrdurchführungen als Einmauerrohre geplant bzw. ausgeschrieben. Im Zuge der Bauausführung kam es aber zu Lieferverzögerungen der Einmauerrohre durch den Anlagenbauer bzw. die vorhandenen Einmauerrohre wurden falsch in die Schalung eingelegt. Bei neuerlicher Ausführung ähnlichen Anlagen werden sämtliche Rohrdurchführungen nach Abschluss der Betonarbeiten gebohrt und mittels Ringraumdichtung wasser- und gasdicht abgedichtet.

Entsprechend der zur Festlegung einer geeigneten Inbetriebnahmestrategie (s. Kap. 4.2) durchgeführten Laborversuche wurde die Variante ohne Inokulum mit rascher Reaktorerwärmung (ca. 1°C pro Tag) an der Demonstrationsanlage großtechnisch umgesetzt. Hierzu wurden die Kammern 1 und 2 mit Rindergülle gefüllt und schrittweise auf 37°C aufgeheizt. Die Anlage ist zum Stichtag der Berichtslegung (31. September 2008) seit 5 Monaten in Betrieb. Betriebsprobleme traten seit Beginn sonder Zahl auf, insbesondere in Verbindung mit den installierten Messeinrichtungen, der Steuerung und der Anbindung an das Heizsystem der Schule. Wesentliche Mängel und störungen sind unten aufgelistet

- Seitenverkehrte Montage des Überdruckventils - behoben
- Mehrfacher Ausfall der Ammoniumsonde – behoben (?)
- Mehrfacher Ausfall der pH-Sonde und des angeschlossenen Temperaturfühlers
- Fehlmontage der Temperaturfühler (Verwechslung der Eingänge)
- Überdruck im Kühlkreislauf bis zu 4 bar (zu niedrige Überdrucksicherung bei 2 bar)
- Lange Zeit fehlende Einbindung in das Heizungssystem der Schule – behoben
- Lange Zeit zu hohe Belüftungsintensität mit dem Kompressor

4.2) Ermittlung einer geeigneten Inbetriebnahmestrategie (Start-Up Experiment)

In Kapitel 3.2 wurden die Ziele dieses Laborversuchs erläutert. Entsprechend den darin ausgewählten Inbetriebnahmestrategien wurden in diesem Versuch folgende unterschiedliche Start-Up-Varianten getestet:

Reaktor	Befüllung	Temperatur	Beschickung
"A1"	15 L Inokulum + 60 L Wasser	37°C von Beginn	langsame Steigerung der Beschickungsrate bis auf betriebsübliche Mengen

"B1"	15 L Inokulum + 60 L Wasser	37°C von Beginn	schnelle Steigerung der Beschickungsrate bis zur Überladung
"A2"	75 L Rindergülle	stufenweise Erhöhung von ca. 20°C auf 37°C binnen 2 Wochen	Beschickung erst nach 4 Wochen
"B2"	75 L Rindergülle	stufenweise Erhöhung von ca. 20°C auf 37°C binnen 4 Wochen	Beschickung erst nach 4 Wochen

Nach einer Laufzeit von 35 Tagen unter den oben beschriebenen Reaktorkonfigurationen lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- Die Biogasproduktionen aller 4 Reaktoren erreichen nach 4 Wochen ein ähnliches Niveau zwischen 25 und 40 L/d. Dabei ist die Gasproduktion in den schneller hochgefahrenen Reaktoren (B1 & A2) tendenziell etwas höher als bei den jeweiligen Vergleichsreaktoren mit selber Inbetriebnahmestrategie (A1 bzw. B2).
- Durch die Überladung der Reaktoren "B1" und "A2" (hydraulische Verweilzeit nur ca. 3 Tage) konnten keine negativen Effekte gegenüber den Reaktoren mit betriebsüblicher Beschickungsmenge festgestellt werden.
- Alle 4 Reaktoren überstanden die Inbetriebnahmephase ohne eine Prozessstörung

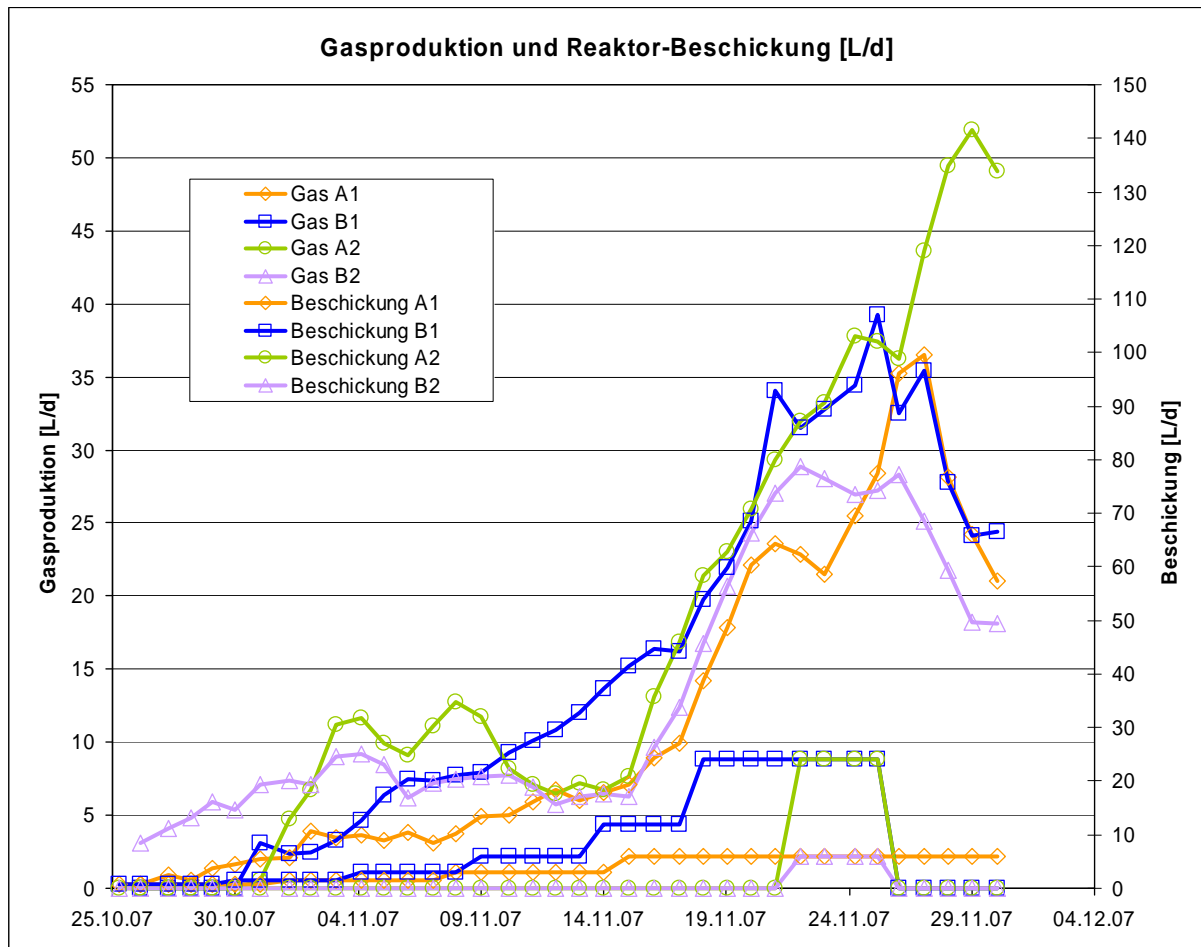


Abbildung 10: Gasproduktion Start-Up Experiment

Es konnte gezeigt werden, dass die Inbetriebnahme auch ohne die Verwendung eines Inokulums (Impfmateriale) erfolgreich durchgeführt werden kann. Da die Biogasproduktion bei der Variante mit rascher Erwärmung von reiner Rindergülle in Woche 5 gleich hoch bzw. höher war als bei den Varianten mit Inokulum und da der Vergärungsprozess auch sonst keine Störungen aufwies, wurde beschlossen die Inbetriebnahme in Rotholz ohne Inokulum und bei rascher Reaktorwärmerwärmung (ca. 1°C pro Tag) durchzuführen.

Neben der oben gezeigten Entwicklung der Gasproduktion wurde noch eine Reihe weiterer Prozessparameter analysiert. Ein Überblick über die Resultate findet sich im Anhang 8.1. Darüber hinaus wurde auch die Gasqualität (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) täglich gemessen (Daten nicht gezeigt).

#### Publikationen

Schoen MA, D. Sperl, M. Goberna, I. Franke-Whittle, H. Insam, B. Wett (2008) Comparison of biogas plant start-up procedures based on lab- and full-scale data and on numerical modelling. [Biomass and waste to energy conference, Venice](#)

SUMMARY: Two different start-up scenarios have been investigated at a lab-scale to test

their adequacy to be scaled up: 1) starting with an inoculum from a stably operating biogas plant and increasing the load stepwise, and 2) filling up the fermenter completely with raw manure and increasing the operation temperature from 20 to 37 °C stepwise. A numerical model based on the Anaerobic Digestion Model ADM1 was established and calibrated by means of experimental data. Incorporation of temperature terms into bacterial growth functions allowed a realistic description of the controlled syntropic degradation of the huge initial substrate pool within a start-up time of one month. Two phenomena were observed: non-occurrence of reactor failure despite high loading rates targeting minimum retention times of 3 days and a poor adaptation of the degradation of sugars within the start-up process. Both effects were successfully analysed by the mechanistic model.

#### 4.3) Bestimmung des Biogas-Potentials von Abfällen aus der Olivenölproduktion (Oliven Experiment)

Wie bereits oben erläutert, wurde nach Abschluss des Start-Up Experiments (s.o.) ein weiterer Versuch mit den vier Laborreaktoren durchgeführt. Dabei sollte das Biogas-Potenzial von Abfällen aus der Olivenölproduktion sowie deren Eignung als Co-Substrat in Biogasanlagen untersucht werden.

Nach einer Laufzeit von 31 Tagen mit den üblichen mehrtägigen „Einschwingphasen“ und unter den oben beschriebenen Reaktorkonfigurationen lassen sich folgende Ergebnisse festhalten:

- die Olivenrückstände einzeln vergärt (B2) zeigen zunächst einen ansprechenden Verlauf der Biogasproduktion, diese fällt dann aber aufgrund sehr hoher Gehalte an organischen Säuren (Versäuerung des Reaktorinhalts, pH-Abfall) sehr schnell ab. Durch Zugabe von Natriumhydroxid am 18.01.08 konnte der pH-Wert wieder stabilisiert werden und die Biogasproduktion stieg wieder leicht an.
- die Co-Vergärung von Olivenrückständen und Gülle bei 37°C (A2) zeigen einen sehr stabilen Verlauf der Biogasproduktion. Aufgrund der guten Pufferwirkung der Gülle konnten die hohen Säuregehalte der Olivenrückstände abgefangen werden und somit eine Versäuerung des Reaktorinhalts vermieden werden.
- die Co-Vergärung beider Substrate bei 55°C (A1) ergibt eine insgesamt noch höhere Biogasproduktion als bei 37°C.



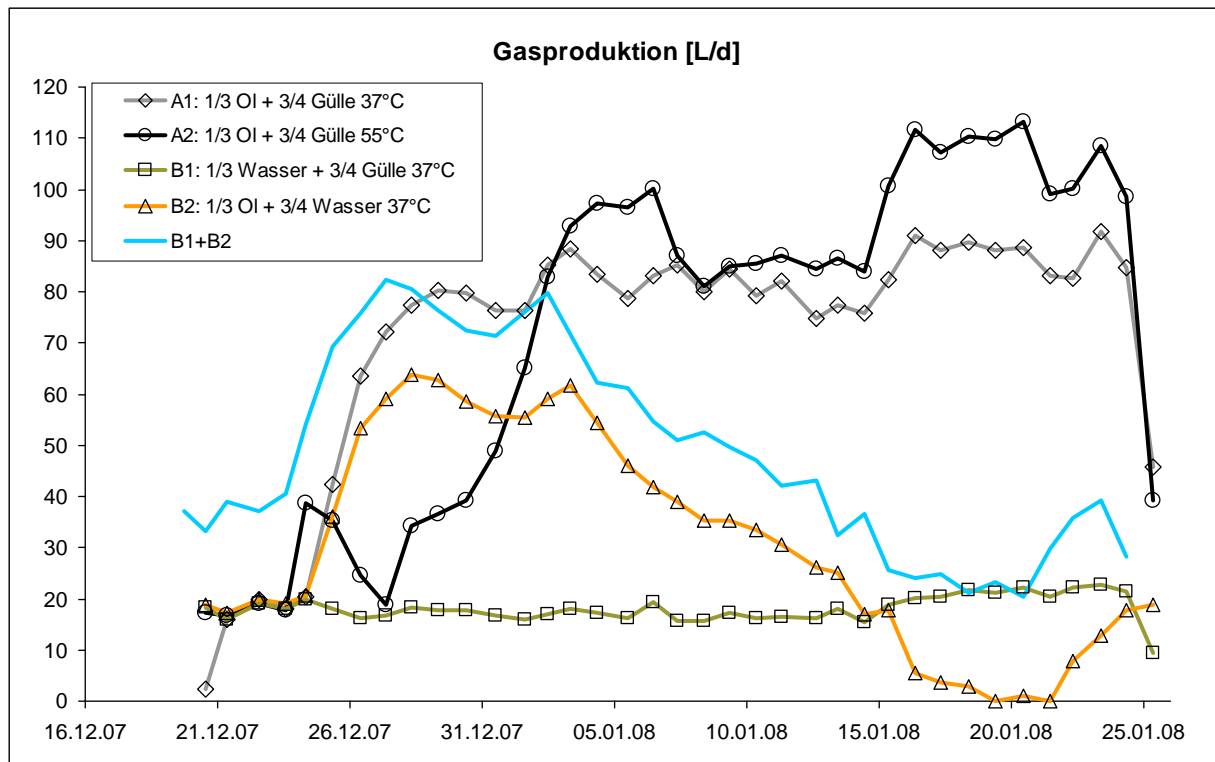


Abbildung 11: Gasproduktion Oliven Experiment (Beschickungsende: 23.01.08)

Ingesamt lässt sich daher feststellen, dass eine Einzelvergärung der Olivenrückstände nicht praktikabel erscheint, da hierbei durch den hohen Gehalt an organischen Säuren die Gefahr eines Reaktorversagens durch Übersäuerung besteht. Eine Co-Vergärung von Olivenrückständen zusammen mit Gülle zeigt sich jedoch als vielsprechend und würde sich für einen BIO4GAS-Reaktor anbieten. Die Gaserträge konnten im durchgeführten Versuch nach Substitution von einem Viertel Rindergülle durch Olivenrückstände von ca. 20 L/d auf 90 L/d (37°C) bzw. 110 L/d (55°C) gesteigert werden. Dies entspricht in etwa einer Biogasertragssteigerung um 400%.

Neben der oben gezeigten Entwicklung der Gasproduktion wurde noch eine Reihe weiterer Prozessparameter analysiert. Ein Überblick über die Resultate findet sich im Anhang 8.2. Darüber hinaus wurde auch die Gasqualität (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) täglich gemessen (Daten nicht gezeigt). Zwei Publikationen aus den gesammelten Daten dieses Versuchs befinden sich in Vorbereitung.

#### 4.4) Erhebung von Betriebsdaten an der BIO4GAS-Anlage in Rotholz

Im Folgenden findet sich ein Überblick über die wesentlichen Leistungsmerkmale der Biogasanlage. Durch die Unterteilung der Anlage in 4 Kammern und die installierten Messeinrichtungen ist es möglich, die verschiedenen Werte sehr differenziert zu erheben. Wie man in untenstehenden Abbildungen sieht, entwickelten sich nach der Inbetriebnahme und der Aufheizphase sowohl die Gasproduktion als auch die Gasqualität in ansprechender Weise. Der Methananteil (CH<sub>4</sub>) des von der Kammer 4 in das BHKW geleiteten Biogases liegt durchweg zwischen 50 und 60 % und somit in einem üblichen und einem für die Verbrennung sehr gut geeignetem Bereich. Bezüglich der Gasproduktion ist zu beachten, dass sich ab etwa Mitte Juni das

gesamte Rinderjungvieh der LLA Rotholz auf der Alm befand und somit die anfallende Gülle nur mehr von etwa 50 GVE (Großvieheinheiten) stammte (inklusive der ab diesem Zeitpunkt zugeleiteten Schweinegülle). Nach Rückkehr des Jungviehs im Herbst beläuft sich der Tierbestand wieder auf ca. 100 GVE und es ist daher mit einer erheblichen Steigerung der Gasproduktion zu rechnen.

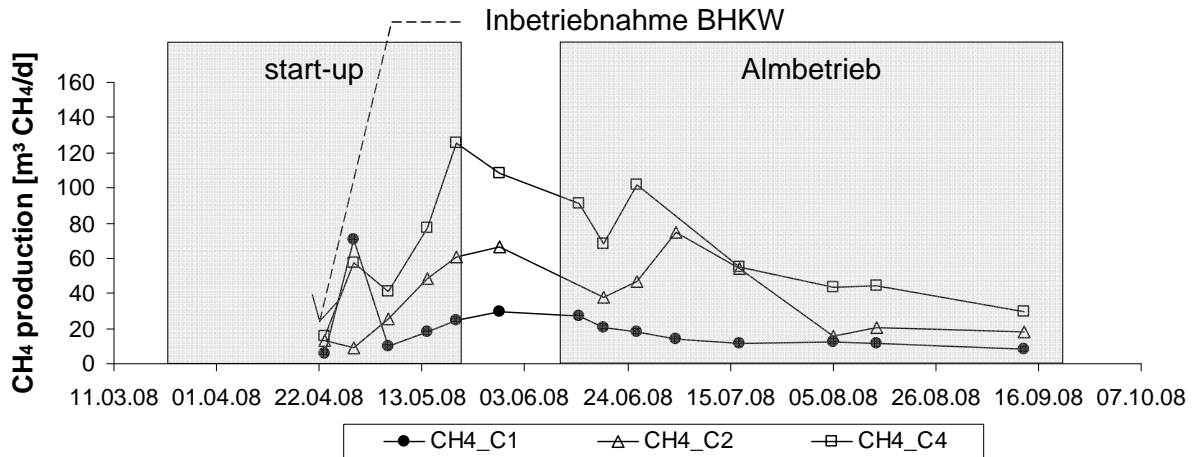


Abbildung xxx: Methanproduktion über den bisherigen Beobachtungszeitraum

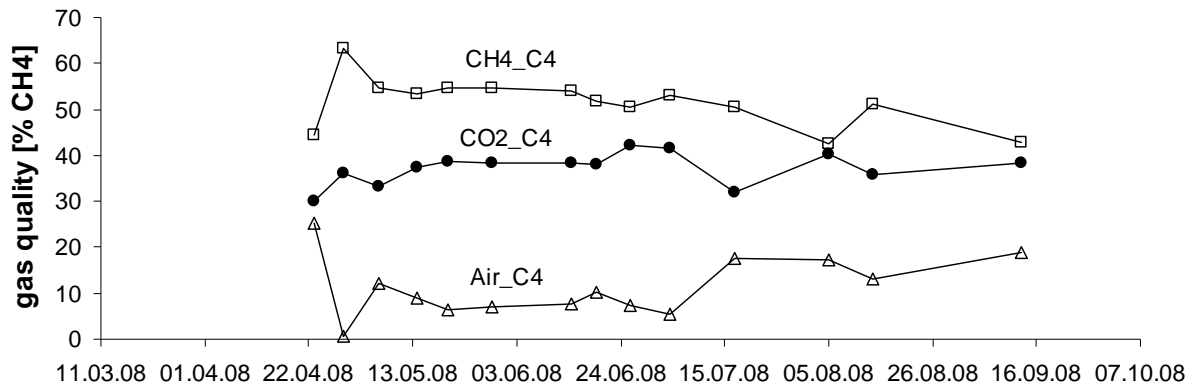


Abbildung xxx: Methan-, Kohlendioxid- und Luftanteil in Kammer 4 über den bisherigen Beobachtungszeitraum

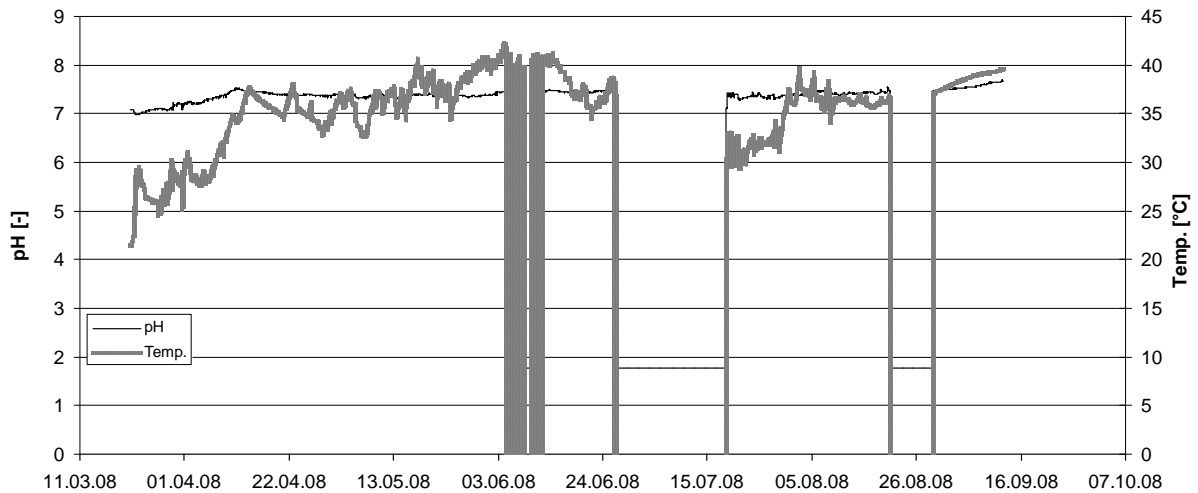


Abbildung xxx: Temperatur und pH-Werte in Kammer 1 über den bisherigen Beobachtungszeitraum (die Nullwerte sind auf Störungen des Messsignals zurückzuführen)

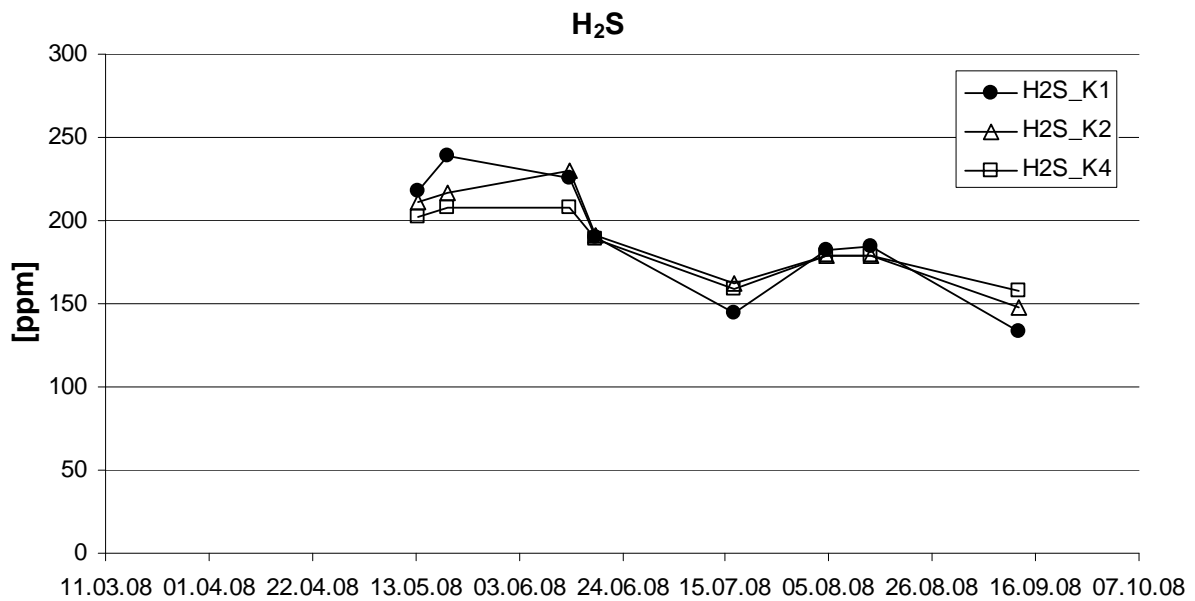


Abbildung xxx: Schwefelwasserstoffkonzentrationen in den Kammern 1,2 und 4 über den bisherigen Beobachtungszeitraum

Aus dem mehrmonatigen Betrieb der Demonstrationsanlage zeigte sich, dass durch das 4-Kammersystem gegenüber volldurchmischten Systemen eine höhere Gasproduktion erzielt werden konnte. Dies ist u.a. auch daran zu erkennen, dass etwa 38-40% des Methans in den Kammern 3 und 4 (=Nachgärung) gebildet wurde.

Bezüglich des Schwefelwasserstoff-Abbaus in der Anlage sind auch hier die Vorteile des 4-Kammersystems und den damit verbundenen langen Reaktionsweg (von Kammer 1 bis Kammer 4), das das schwefelhaltige Gas zurücklegen muss,

erkennbar. Im Reaktor kann man bei unterschiedlichen H<sub>2</sub>S-Ausgangswerten in Kammer 1 eine Gleichgewichtslage am Ende des Reaktionsweges (Kammer 4) im Bereich von 150-200 ppm H<sub>2</sub>S feststellen. Dieser Bereich, wie er auch bei typischerweise bei Klärgasanwendungen mit Eisendosierung zur Entschwefelung erreicht wird, gewährleistet eine hohe Lebensdauer des BHKW-Motors. Spitzenwerte von über 200 ppm H<sub>2</sub>S in Kammer 1 werden ebenfalls aufgrund des langen Reaktionsweges von Kammer 1 bis 4 auf akzeptable Werte abgebaut.

...

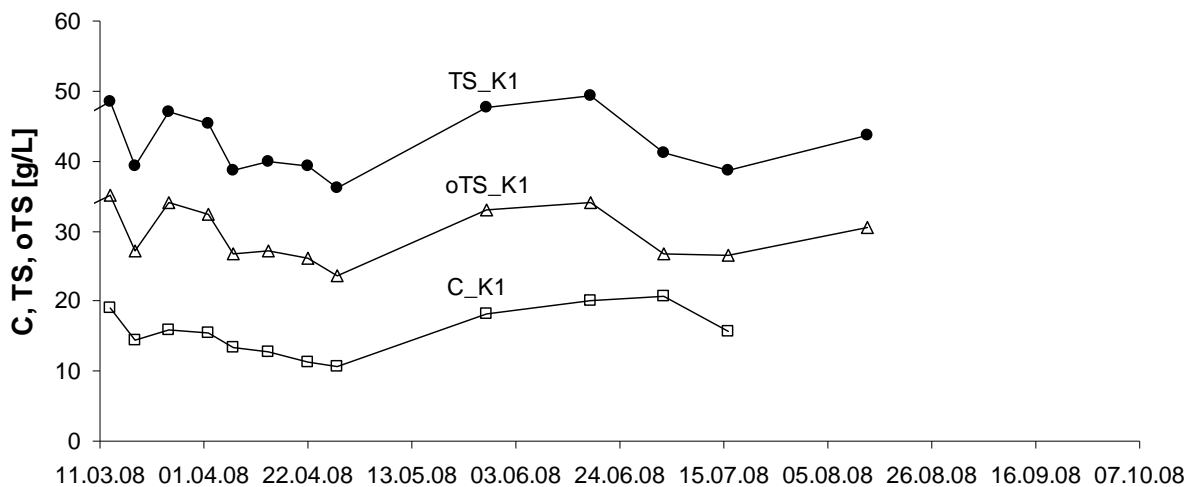


Abbildung xxx: Kohlenstoff, Trockensubstanz und organische Trockensubstanz in Kammer 1 über den bisherigen Beobachtungszeitraum

Aus obiger Abbildung mit den Verläufen für Kohlenstoff, Trockensubstanz und organische Trockensubstanz in Kammer 1 lässt sich auf die Zulaufcharakteristik des verwendeten Substrats schließen. Zu beachten ist hierbei, dass hier nicht die eigentlichen Zulaufwerte sondern die der Kammer 1 dargestellt sind. Durch die dortige Retentionszeit von etwa 10 Tagen ist davon auszugehen, dass ein Teil des Substrats bereits abgebaut wurde. Durch Rückrechnung über die Anteile der Methanproduktion zwischen Kammer 1 und 4 sowie den damit verbundenen Abbau von organischer Trockensubstanz ergibt sich überschlagsmäßig ein mittlerer oTS-Gehalt von mindestens 32,5 g/L im Zulauf.

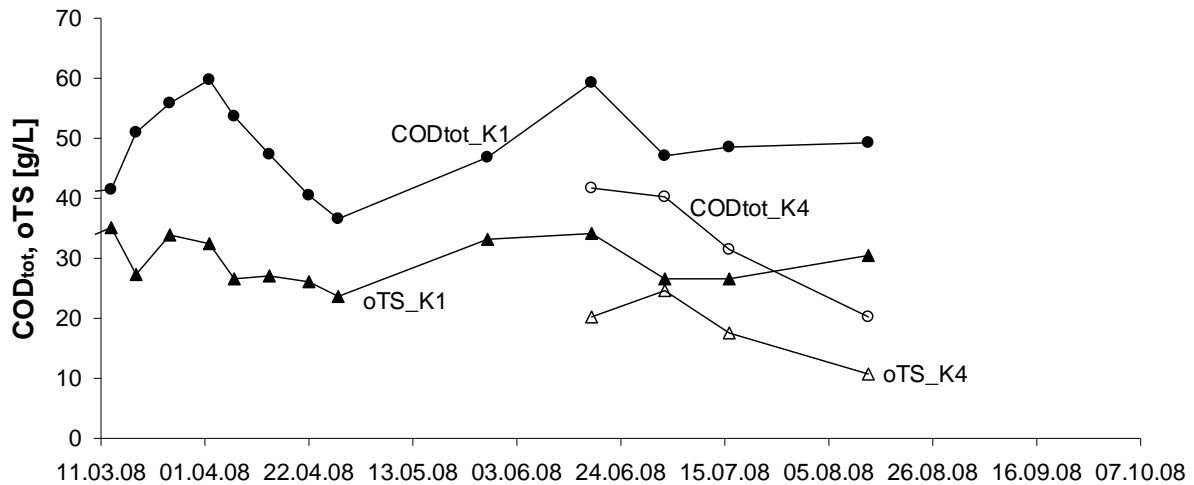


Abbildung xxx: Organische Trockensubstanz und Gesamt-CSB in den Kammern 1 und 4 über den bisherigen Beobachtungszeitraum

Beim Vergleich der Verläufe für organische Trockensubstanz und CSB zwischen Kammer 1 und 4 erkennt man den organischen Abbau des Substrats innerhalb der Anlage und die damit einhergehende Verwertung zu Biogas.

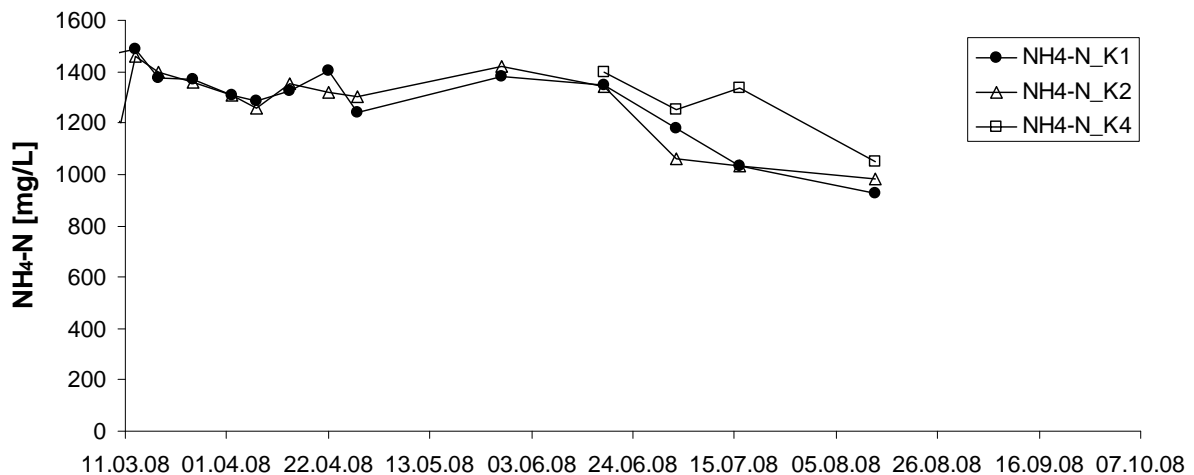


Abbildung xxx: Ammonium-Stickstoff in den Kammern 1,2 und 4 über den bisherigen Beobachtungszeitraum

Wie aus der Abbildung erkennbar, ist der Ammoniumgehalt in Kammer 4 am größten, da es im Verlauf des Faulungsprozesses zu einer Freisetzung des Stickstoffs aus den organischen Verbindungen im Substrat in Form von Ammonium kommt. Allerdings ist aufgrund des hohen  $\text{NH}_4$ -Ausgangswerts in Kammer 1 (bedingt durch hohen Urinanteil im Substrat) nur ein geringfügiger Anstieg der Konzentration bemerkbar.

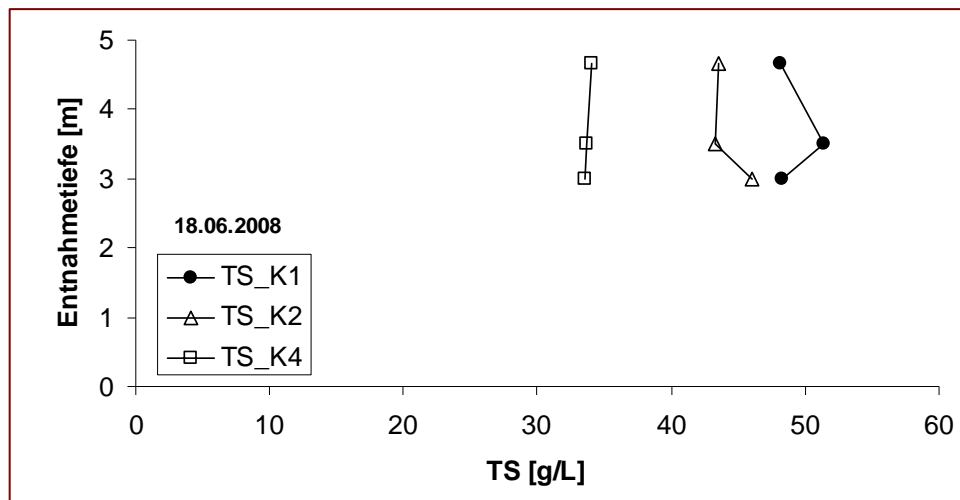


Abbildung xxx: Verlauf der Trockensubstanz über verschiedene Entnahmetiefen in den Kammern 1,2 und 4 -> eine der beiden Grafiken kann gelöscht werden!

Über die Verteilung der Trockensubstanz über verschiedene Entnahmetiefen innerhalb der einzelnen Kammern erkennt man einerseits die typische zunehmende Verflüssigung des Substrats während seines Weges durch die Anlage und andererseits die Schichtung der Gülle innerhalb der Kammern. Offenbar tritt kaum eine Schichtung auf, insbesondere keine Akkumulation von Substrat am Reaktorboden, was auf eine ausreichende Durchmischung des Systems hinweist.

#### 4.5) Entwicklung eines Microarrays zur Identifizierung methanogener Mikroorganismen

Im Zuge des Start-Up Experiments (s. Kap. 4.2) wurden ausgewählte Reaktorproben mit dem am Institut für Mikrobiologie entwickelten Microarray analysiert. Dabei konnte ein erster Überblick über die darin vorhandenen Mikroorganismen erhalten werden (s. Abb. 12).

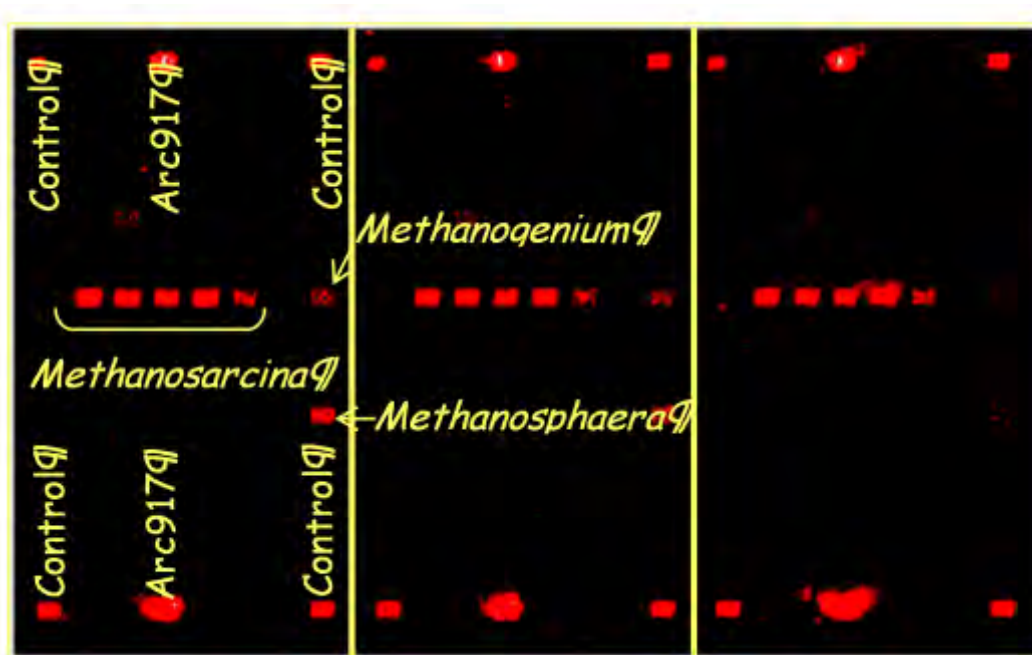
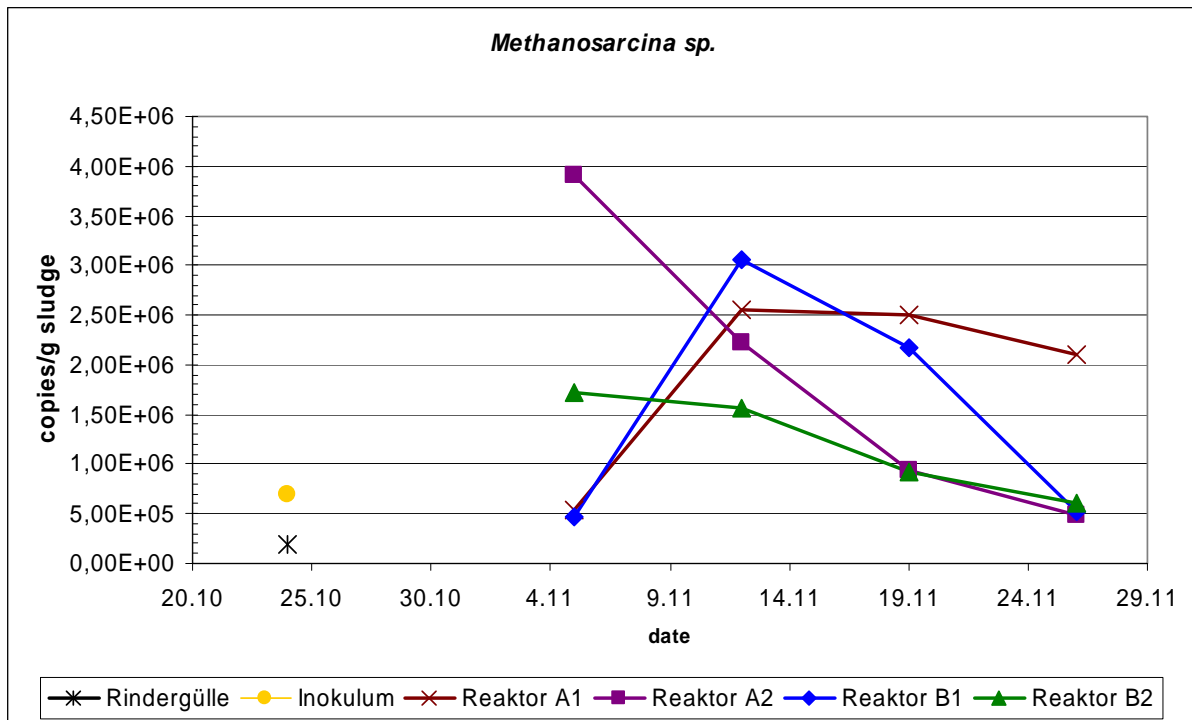


Abbildung 12: Beispiel für einen Microarray mit einer Probe des Start-Up Experiments

Die rot fluoreszierenden Spots signalisieren die Anwesenheit der jeweiligen, spezifischen DNA-Stränge in einer Probe:

- Control = Bindungskontrolle
- Arc917 = unspezifische Archaea Sonde
- Methanosarcina, Methanogenium & Methanosphaera = In der Probe detektierte Mikroorganismen

Dies selben Proben wurden in weiterer Folge auch einer quantitativen Untersuchungen mittels real-time PCR unterzogen.



**Abbildung 13: Beispiel für die Quantifizierung von Mikroorganismen (hier: *Methanosarcina sp.*) in verschiedenen Proben des Start-Up Experiments mittels real-time PCR**

Das Diagramm zeigt die deutlich höhere Abundanz an *Methanosarcina* im Inokulum gegenüber der reinen Rindergülle (24. Okt.). Während jedoch die Abundanz der *Methanosarcina* in den mit Inokulum beimpften Reaktoren (A1 & B1) zunächst noch niedrig bleibt (5. Nov.) und erst danach deutlich ansteigt (12. + 19. Nov.), zeigt sich in den mit reiner Rindergülle gestarteten Reaktoren (A2 & B2) ein völlig unterschiedliches Bild. In diesen Reaktoren stieg die *Methanosarcina*-Abundanz zu Beginn des Experiments stark an und sank sich im weiteren Verlauf stetig.

Diese Ergebnisse zeigen bereits deutlich auf, dass sich bestimmte, für die Biogasproduktion relevante Mikroorganismen abhängig von den jeweiligen Prozessbedingungen sehr unterschiedlich entwickeln können. Mit Hilfe der angewendeten molekularbiologischen Methoden soll es gelingen tiefgehende Erkenntnisse über, in Hinblick auf die Biogasproduktion besonders effektive Organismen bzw. Organismen-Konsortien zu erlangen. Solche Erkenntnisse hätten in weiterer Folge enormes Potential zur Effizienzsteigerung von Biogasanlagen.

Die oben beschriebenen Microarrays befinden sich derzeit noch in der letzten Stufe der Entwicklungsphase. So bald die laufende Microarray-Optimierung abgeschlossen werden kann, werden auch die restlichen, konservierten Proben aus den durchgeführten Versuchen analysiert. Durch diese zusätzlichen Resultate werden einige aufschlussreiche Erkenntnisse erwartet.

**Publications:**

Franke-Whittle H. , Marta Goberna, Heribert Insam (2008) Design and testing of real-time PCR primers for the detection of *Methanoculleus*, *Methanosarcina*, *Methanothermobacter* and uncultured methanogens. Canadian Journal of Microbiology ([submitted](#))



### ABSTRACT

16S rRNA gene primers were designed for the detection of different methanogens involved in biogas production. Primers were tested by end point and real-time PCR, and found to work specifically and sensitively. Application of these primers will allow the detection and quantification of specific methanogenic groups from anaerobic environments.

Franke-Whittle I, Goberna M, Pfister V, Insam H. 2008. Development and application of a 16S rDNA oligonucleotide microarray targeting signature microorganisms in anaerobic bioreactors. In preparation

Goberna M, Franke-Whittle I, Insam H. 2008. Bacterial and Archaeal diversity in a biowaste-treating biogas plant. *FEMS Microbiology Ecology – in preparation*

#### 4.6) GIS basierte Erfassung des Marktpotentials für Biogasanlagen in Tirol

Aufbauend auf eine Kooperation mit der Universität Salzburg wurde eine Diplomarbeit über das Marktpotential für Biogasanlagen in Tirol verfasst:

- Schardinger, I. (2007). Standortevaluierung für Biogasanlagen - GIS-gestützte Modellierung der Dargebots- und Nachfragepotenziale für Biogas im Bundesland Tirol, Magisterarbeit an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Salzburg. 119 Seiten, Salzburg

In der Diplomarbeit wurden mögliche Standorte für Biogasanlagen in Tirol entsprechend den aktuell nutzbaren Energiepotentialen evaluiert (s. Abb. 14). Die farbigen Punkte stellen dabei das jeweilige Energiepotential eines für eine Biogasanlage geeigneten Einzugsgebietes dar. Da die Marktnische für Kleinbiogasanlagen wie dem Bio4Gas-System vor allem in der dezentralen Energieversorgung klein strukturierter Räume zu suchen ist, würde sich die Errichtung solcher Anlagen besonders an den mit hellen Punkten (60 - 2500 MWh bzw. 2500 - 5000 MWh) markierten Gebieten anbieten. Bei angenommenen 8000 Volllaststunden und einem durchschnittlichem elektrischen Wirkungsgrad von 28% würde bereits mit einem Energiepotential von 1430 MWh der Substratbedarf einer Bio4Gas-Anlage mit 50 kW<sub>el</sub> gedeckt werden.

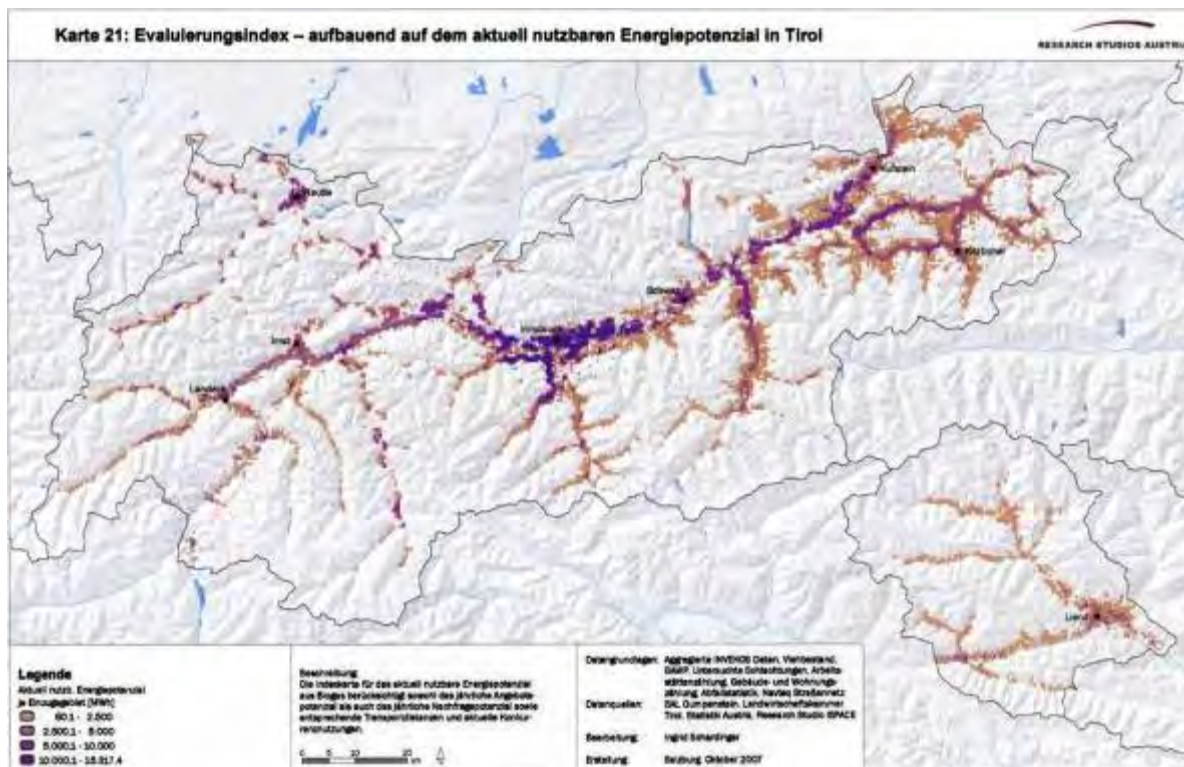


Abbildung 14: Evaluierung potentieller Standorte für Biogasanlagen in Tirol aufbauen auf die aktuell nutzbaren Energiepotenziale (Schardingner, 2007)

Für Tirol ergab sich, dass das größte Potential Abfälle aus der Landwirtschaft darstellen, während biogene Abfälle nur einen geringen Teil ausmachen. Das theoretische Potenzial für das gesamte Bundesland beträgt 2,4 Mio MWh pro Jahr, das technische Potenzial ca. 2,0 Mio MWh und das aktuell nutzbare Potenzial, in das auch die Abwasserreinigungsanlagen mit eingerechnet werden, **600.000 MWh**. Mit dem aktuell nutzbaren Potenzial könnten **1,5% des gesamten Endenergiebedarfs** in Tirol gedeckt werden. Das Stromsubstitutionspotential (aktuell) beträgt 11%. Eine Standortbewertung, in die auch Transportdistanzen, Einspeisemöglichkeiten ins Erdgasnetz, Hochrechnungen für Tirol, Österreich und das geografische Gebiet im Umkreis von 300 km um Innsbruck sind in untenstehender Tabelle zusammengefasst.

	Tirol	Übriges Österreich	Andere Länder im Umkreis von 300 km um Innsbruck
Aktuell nutzbares Potential (GWh)	600	6000	60000
Nehmen wir an, davon werden <b>10%</b> umgesetzt ergibt GWh	60	600	6000
Nehmen wir an, BIO4GAS erzielt einen Marktanteil von soviel %	12%	3%	1%
<b>entspricht so vielen BIO4GAS Anlagen →</b>	<b>12</b>	<b>23</b>	<b>78</b>
davon Landwirtschaft	70%	16	55
davon Kläranlagen	20%	5	16
davon Gewerbe	10%	2	8

**Tabelle:** Hochrechnung von einem praktisch nutzbaren Substratpotential (Landwirtschaft, Kläranlagen und Gewerbe) in Tirol auf Potenziale in Österreich und Mitteleuropa, eigene Berechnungen)

Quelle: Ingrid Schardinger (2007) Standortevaluierung für Biogasanlagen – GIS-gestützte Modellierung der Dargebots- und Nachfragepotenziale für Biogas im Bundesland Tirol. Diplomarbeit Universität Salzburg

4.7) Untersuchung der Bodenbelastung durch ausgebrachte Klärschlammrückstände

Zu diesem Thema wurden zwei Diplomarbeiten durchgeführt:

ROLAND PLANK (2007). Verwertung von Holzasche als Zuschlagstoff zu Gärresten, Magisterarbeit am Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck.

#### **Abstract**

Wood ash and anaerobic sludges are waste products that are becoming available in increasing amounts from renewable energy operations. The aim of this study was to investigate if the use of ash and sludge, or a combination of them, could change soil microbiological properties and improve plant growth. A second aim of the study was to determine whether high doses of these materials could create problems in terms of nitrate leaching, and if potential problems concerning alkalisation, salinisation or nutrient overloads could be offset by using the reactive clay mineral, vermiculite. The effect of sludges and ash on soil microbial bulk parameters was found to be small, while the composition of the bacterial community on amended soils was considerably changed. We were able to demonstrate that an application rate of sludge corresponding to  $180 \text{ kg N ha}^{-1}$  was problematic in terms of nitrate leaching and could not be offset by amending ash or vermiculite at the incubation conditions chosen. Germination of cress was retarded by sludges and ash, however, this effect was partly offset by the addition of vermiculite.

CHRISTINA NIEDERKOFER (2008). Die Wirkung von Holzasche und Gärresten auf Fettwiesen mit intensiver und extensiver Düngung. Auswirkungen auf Bodenparameter und Mikroorganismen, auf Futterqualität und Pflanzengesellschaften, Magisterarbeit am Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck

#### **ZUSAMMENFASSUNG der Diplomarbeit von Christina Niederkofler:**

In der vorliegenden Arbeit sollten die Auswirkungen der Holzasche in Kombination mit Gärrest im Grünland auf verschiedene Boden- und Futtermittel-Parameter untersucht werden. Die Biogasanlage BLOWATT in Kematen (Südtirol) und das Fernheizwerk Feichter in Luttach (Südtirol) wurden als Rohstofflieferanten ausgewählt. Vor der Ausbringung wurden Holzasche und Gärrest auf Schwermetalle und organische Schadstoffe untersucht und die Einhaltung der einschlägigen Grenzwerte bestätigt.

Eine Versuchsfläche wurde im Frühjahr 2007 in Weißenbach (Südtirol) mit sechs Varianten, zwei Wirtschaftsdüngern (Stallmist und Gärrest) und drei Aschemengen ( $0$ ,  $1000 \text{ kg ha}^{-1}$  und  $3000 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sowie deren Kombinationen, zu je vier Wiederholungen angelegt. Die Holzasche wurde einmalig ausgebracht. Die Gärrestdüngung erfolgte in drei Gaben: das erste Mal zwei Wochen nach Ascheausbringung, um eine Ammoniakausgasung zu vermeiden, die beiden weiteren Male nach dem ersten (Juni) und zweiten Grasschnitt (Juli). Insgesamt wurde dreimal gemäht.

Der Humusgehalt fiel nach Ascheausbringung ab was auf eine beschleunigte Mineralisierung schließen lässt. Der pH-Wert stieg nach Ascheausbringung von anfänglich 5,0 um bis zu 0,4 Einheiten von den A0 zu den A2-Flächen, wodurch von einer verbesserten Verfügbarkeit der Hauptnährstoffe N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O, Mg, S und Ca, ausgegangen werden kann, während jene der meisten Spurenelemente (Schwermetalle) verringert wurde. In Abhängigkeit von der Bodenfeuchte kann es zur Auswaschung oder zur Anreicherung der Salze und in letzterem Fall zu osmotischem Stress kommen. Die Leitfähigkeit erhöhte sich durch die Gärrestdüngung signifikant, erreichte aber auf keiner Variante den kritischen Wert von 200 mg Salze 100 g<sup>-1</sup>.

Die verminderte Löslichkeit der Schwermetalle verhinderte deren Transfer in die Pflanzen, sowie die toxischen Auswirkungen auf die Bodenmikroorganismen. Während viele wichtige Spurenelemente erhöht wurden, wie etwa Cu, Fe und Bor sanken die Al-Gehalte ab. Der Anstieg von Bor - häufig ein Mangel-element, deutet auf eine Verdichtung des Bodens hin. Für Cd – das problematischste Schwermetall in der Holzasche – wurde der Grenzwert weit unterschritten.

Der beobachtete Anstieg in der mikrobiellen Biomasse ist auf den Anstieg des pH und auf die Nährstoffzufuhr nach Aschegabe zurückzuführen. Vor allem die erhöhte C-Löslichkeit dürfte den Mikroorganismen zu Gute gekommen sein. Auswirkungen der Asche auf die mikrobielle Aktivität waren nicht erkennbar, jedoch bewirkte die Gärrestgabe ein Absinken der Aktivität.

Insgesamt kann die Asche-und Gärestaubsbringung für Grünlandertrag als positiv beurteilt werden. Interessant wären weitere Studien mit verschiedenen Kulturpflanzen und spezifischen Nährstoffergänzungen, z.B. ob der Bor-Bedarf von Obstplantagen mit Aschedüngung gedeckt werden könnte. Für forstwirtschaftliche Anwendungen wäre eine Untersuchung der Auswirkung von Aschegaben auf die Al-Toxizität dienlich. Eine Verbesserung von Verbrennungstechnologien könnte helfen, die Schwermetallgehalte in der Holzasche weiter zu senken und so eine Anreicherung im Boden zu vermeiden.

Weitere Publikationen zu diesem Thema sind in Vorbereitung:

Insam H., Franke-Whittle I.H., Knapp B.A. and Plank R.: Combined use of wood ash and anaerobic sludge for grassland fertilization eingereicht bei Die Bodenkultur)

### **Abstract**

Wood ash and anaerobic sludges are waste products that are becoming available in increasing amounts from renewable energy operations. The aim of this study was to investigate if the use of ash and sludge, or a combination of them, could change soil microbiological properties and improve plant growth. A second aim of the study was to determine whether high doses of these materials could create problems in terms of nitrate leaching, and if potential problems concerning alkalisation, salinisation or nutrient overloads could be offset by using the reactive clay mineral, vermiculite. The effect of sludges and ash on soil microbial bulk parameters was found to be small, while the composition of the bacterial community on amended soils was considerably changed. We were able to demonstrate that an application rate of sludge corresponding to 180 kg N ha<sup>-1</sup> was problematic in terms of nitrate leaching and could not be offset by amending ash or vermiculite at the incubation conditions chosen. Germination of cress was retarded by sludges and ash, however, this effect was partly offset by the addition of vermiculite.

Zusammenfassend kann von positiven Effekten der Gärreste auf das Bodenleben und auf die Pflanzenerträge ausgegangen werden. Auf Grund dieser ersten Ergebnisse wurden bereits weiterführende Projekte zu diesem Thema beantragt.

#### 4.8) Abstimmung mit der Biogasgruppe im RENET

Es wurde Kontakt mit dem wissenschaftlichen Manager im Bereich Biogas, Prof. Rudolf Braun, BOKU-IFA Tulln, aufgenommen, der auch als Co-Autor für zwei Beiträge für das Buch

**MICROBES AT WORK: FROM WASTES TO RESOURCES.**  
Editors: Heribert Insam, Ingrid Franke-Whittle, Marta Goberna.  
Springer Verlag,

gewonnen werden konnte. Desgleichen wurde RENET die Nutzung unserer Microarray-Technologie angeboten, bislang jedoch ohne Feedback.

Auch mit der Fa. Thöni, Mitglied von RENET, wurden Kontaktgespräche geführt, es konnte jedoch noch kein gemeinsames Projektinteresse identifiziert werden. Eine weitere Intensivierung der Gespräche ist jedenfalls geplant.

#### 4.9) Nachweis der Wirtschaftlichkeit und Optimierung der Anlage

### **Investitionskosten**

Bei einer Untersuchung im Vorfeld des BIO4GAS Entwicklungsprojektes (Diplomarbeit Florian Wackerle) wurden 4 Bestandsanlagen in Tirol untersucht. Alle betrachteten Anlagen wurden als Einzelanlagen geplant und zum Teil mit wesentlichen Beiträgen an Eigenleistungen errichtet. Die mittleren Errichtungskosten betragen 415.000 € bei einem mittleren Volumen der Fermenter von 505 m<sup>3</sup> und einer jährlichen Stromeinspeisung von 308,000 kWh.

Durch umfassende Laborversuche (s.o.) konnte gezeigt werden, dass mit BIO4GAS eine vereinfachte Anlageninbetriebnahme möglich ist, sowie durch den Einsatz von geeigneten Co-Substraten eine Effizienzsteigerung möglich ist. Als Beispiel dafür können die untersuchten Abfälle aus Olivenölproduktion angeführt werden, durch welche der Biogasertrag bezogen auf das Beschickungsvolumen bei geeigneter Zumischung um ca. 400% gegenüber der reinen Vergärung von Rindergülle gesteigert werden konnte.

Aufgrund der uns bisher vorliegenden Daten, die im Zuge der Erstellung eines Businessplanes für eine Spin-off Firma erhoben wurden, wird von einer Zielgröße für die Gesamtanlage von 240.000 € ausgegangen

**Tab.** Kennzahlen von 4 bestehenden Kleinbiogasanlagen in Tirol

	Biogasanlage 1	Biogasanlage 2	Biogasanlage 3	Biogasanlage 4	Mittelwerte
Gesamtkosten	€ 560,000	€ 500,000	€ 229,000	€ 370,000	€ 414,750
Kosten Anlagentechnik	€ 240,000	€ 248,000	€ 178,000	-	€ 222,000
Baukosten	€ 320,000	€ 252,000	€ 51,000	-	€ 207,667
Eigenleistung	€ 62,000	€ 66,400	€ 37,000	€ >185,000	€ 55,133
Förderung in %	ca. 34 %	30 %	40%	ca. 20%	31%
Stromeinspeisung kWh/a	200727	700000	23000 - 25000		308242
Einspeistarif pro kWh	11 Cent	11 Cent	11 Cent	11 Cent	
Gewinn aus Strom pro a	€ 22,080	€ 77,000	€ 2,750		
Fermentervolumen	400 m <sup>3</sup>	600m <sup>3</sup>	460 m <sup>3</sup>	530 m <sup>3</sup>	505 m <sup>3</sup>
Stufigkeit	2	2	? (thermophil/mesoph.	2	
Verwertung mit BHKW	84 kW	30 kW + 140 kW	30 kW	60 kW	86 kW (51kW)
<b>Baukosten/m<sup>3</sup> Fermentervol.</b>	<b>€ 800.00</b>	<b>€ 420.00</b>	<b>€ 110.87</b>	<b>€ 698.11</b>	<b>€ 507.25</b>
<b>Gesamtkosten/m<sup>3</sup> Fermentervol.</b>	<b>€ 1,400.00</b>	<b>€ 833</b>	<b>€ 498</b>	<b>€ 698.11</b>	<b>€ 857.32</b>
<b>Gesamtinvest bezogen auf 10 Jahre Stromeinspeisung €/kWh</b>	<b>€ 0.28</b>	<b>€ 0.07</b>	<b>€ 0.95</b>	<b>-</b>	<b>€ 0.67</b>

Obenstehende Tabelle zeigt die große Bandbreite der Kennzahlen von Kleinbiogasanlagen auf. Während der Markt für Großanlagen heftig umworben wird, vernachlässigen die Mitbewerber den Kleinanlagensektor, wahrscheinlich aufgrund der widersprüchlichen Erfolge und Misserfolge von Kleinanlagen. Überproportionale Investitionskosten von Kleinbiogasanlagen entstehen durch ein bloßes „Herunterskalieren“ von Großanlagen. D.h. Anlagen werden individuell geplant und errichtet und Kosten einzelner Arbeitsschritte und Komponenten unterliegen nicht dem Skalierungsfaktor. Substantielle **Einsparungen bei den Investitionskosten** lassen sich durch eine Reihe von Strategien erzielen, die im nächsten Kapitel beschrieben sind.

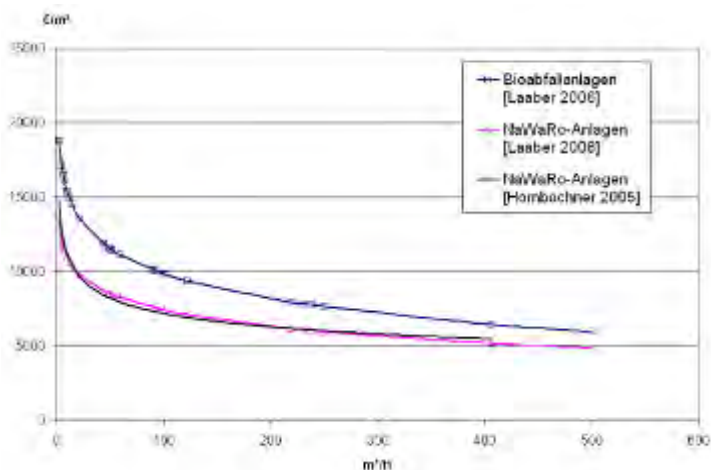
Im Zuge der Kostenermittlungen für das mittlerweile gegründete Spin-off-Unternehmen BIO4GAS GesmbH können obigen Angaben untenstehende Kalkulationen gegenübergestellt werden:

Gesamtkosten	290.000
Kosten Anlagentechnik	160.000
Baukosten (Betonfermenter)	130.000
Eigenleistung in %	0
Förderung in %	0
Stromeinspeisung in kWh/a	350.400
Fermentervolumen	300
Stufigkeit (Anzahl Kompartimente)	4
Verwertung BHKW	40
Baukosten pro m <sup>3</sup> Fermentervolumen	433
Gesamtkosten pro m <sup>3</sup> Fermentervolumen	967
Gesamtinvest bezogen auf kWh für zehn Jahre	0,08

Obige Tabelle bezieht sich auf bisher vorliegende Kostenermittlungen. Als weitere Zielgröße für die Kosten (Weiterentwicklung im neugegründeten Unternehmen) können 240.000 € angegeben werden. Die Betriebskosten dürften bei der

Die Anlage arbeitet seit 1. April 2008. Aufgrund der Ergebnisse unserer Laboruntersuchungen wurde beim Start-up auf eine Fremdbeimpfung verzichtet.

Biogasanlagen einschließlich Komplettlösungen für die Biogasnutzung werden derzeit kommerziell nur in einem Größenbereich ab ca. 50 m<sup>3</sup> Gas/h bzw. > 50 kW elektrischer Leistung angeboten. Die Ursache dafür liegt vor allem im starken Anstieg der ertragsspezifischen Investitionskosten bei kleinen Anlagen (s. Abb.). In der untenstehenden Tabelle sind die einzelnen Anlagenteile aufgelistet, deren Herstellkosten keine lineare Skalierung aufweist. D.h. bei kleinen Anlagen kosten die einzelnen Komponenten und Teilleistungen überproportional viel, da sich die Anzahl der Arbeitsschritte, der Aufwand für Akquisition, Fertigung, technisch-/kaufmännische Abwicklung usw. kaum verringert.



**Abb.** Spezifische Investitionskosten (€/Nm<sup>3</sup>) österreichischer Biogasanlagen ohne BHKW u. Gas-Aufbereitung abhängig von der Anlagengröße (m<sup>3</sup>/h) (aus [Hornbacher 2005], [Laaber 2006])

**Tab.** Die wichtigsten Kostenblöcke bei der Errichtung einer Biogasanlage

<b>Bauwerk</b>	Erdarbeiten, Manipulationsfläche, Substratübernahme, Pumpschächte, Fermenter, Nachgärbehälter, Endlager, Maschinenraum und Einhausung
<b>Technik und Installation</b>	Substrattechnik/-zerkleinerung, Pumpen, Rührwerk, Wasserinstallation, Mess- und Regeltechnik, Wärmeinstallation, Elektrik, gasführendes System, Trafo-/Übergabestation
<b>Gasverwertung</b>	Blockheizkraftwerk/Gaskessel mit Steuerung, Aufbereitung, Gasspeicher, Gasfackel, ev. Einspeisung

Substantielle **Einsparungen bei den Investitionskosten** lassen sich durch folgende Strategien erzielen:

- **Technische Innovation und Systemvereinfachung:** Rührwerke und Pumpen im Fermenter sind infolge geforderter Explosionsschutzmaßnahmen aufwendige Installationen und verursachen einen hohen Wartungs- und

Reinvestitionsbedarf. Die neu entwickelte und patentierte Bio4Gas Technologie vermeidet mit dem auf Gasdruck und Konvektion basierten Thermo-Gas-Lift jegliche mechanisch bewegten Anlagenteile und Elektroinstallationen innerhalb des Fermenters.

- **Standardisierung und Serienproduktion:** Optimale Abstimmung der einzelnen Anlagenkomponenten und deren Fertigung (z.B. Schalungselemente für Betonfermenter; Containermodul mit BHKW) können in einem Konsortium von Partnerfirmen mit einem Planungshorizont größerer Stückzahlen realisiert werden. Die wiederholte Errichtung baugleicher Standardanlagen ermöglicht einen höheren Vorfertigungsgrad, erhöht die Ausführungsqualität und senkt dramatisch den Aufwand für Planung und kaufmännische Abwicklung.
- **Klare Schnittstellendefinition,** wobei zwischen inneren Schnittstellen zwischen Teilleistungen der Anlagenerrichtung und äußeren Schnittstellen hin zum Kunden unterschieden werden muss: Bei der Errichtung einer Biogasanlage sind üblicherweise ein Bauplaner, eine Baufirma, ein maschineller Ausstatter, ein Elektroplaner, ein Ausrüster für die Mess- und Regelungstechnik und ein BHKW-Lieferant beteiligt. Eine optimal abgestimmte Produktion einer BIO4GAS-Anlage erlaubt die Einschränkung auf 2 Leistungsbereiche: Der vor Ort errichtete Fermenter (mit dem vereinfachten Rührsystem und einschließlich Zulaufpumpschacht und Gassack) und das fabriksgefertigte Containermodul („plug and play“; mit BHKW, Gasfackel, Wärmetauscher und einschließlich Steuerung für den Fermenterbetrieb). Diese Struktur mit 2 klar abgetrennten Verantwortungsbereichen reduziert den Aufwand für Koordination und Aufsicht.
- Jeweils eine Schnittstelle zwischen Pumpschacht und Substratlager (Güllegrube) und beim Abgang der Nahwärmeleitung erleichtert **die Einbindung in den Hof** bzw. den Kundenbetrieb und erspart individuelle Planungs- und Ausführungsarbeiten. Zudem ermöglicht es dem Kunden mit der besseren Kenntnis der Vor-Ort-Situation die Einbindung kostengünstig selbst durchzuführen bzw. vom hauseigenen Heizungstechniker/Installateur durchführen zu lassen.

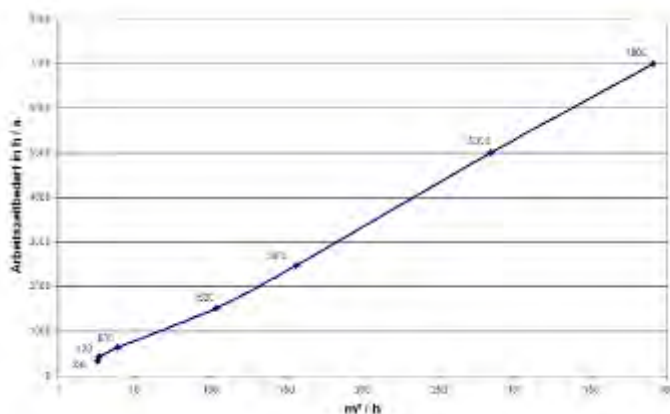
## Betriebskosten

Im Unterschied zu den Investitionskosten weisen Kostenfaktoren im Bereich der Betriebskosten eine für Kleinanlagen positive Entwicklung auf:

- **Substratkosten:** Verwendung von landwirtschaftlichen Neben- und Abfallprodukte (vor allem Gülle) als meist kostenloses Substrat; Kleinanlagen benötigen keinen großen Substrateinzugsbereich und können daher oft direkt am Anfallort von entsorgungspflichtigen Stoffen platziert werden (z.B. bei Kleinkläranlagen und Gewerbebetriebe mit organischen Abfällen).
- **Entsorgungskosten:** Bei landwirtschaftlichen Kleinbiogasanlagen entfallen meist jegliche Kosten für die Gärrestentsorgung und Nährstoffelimination durch die Verwendung als hofinternes Düngemittel (eventuell Substitution von ansonsten zugekauftem Mineraldünger).



- **Personalkosten:** Einen wesentlichen Anteil an den Betriebskosten hat der Personalaufwand, der mit der Größe der Anlage linear steigt. Aus der nachstehenden Abbildung ergibt sich ein mittlerer Zeitaufwand für Kleinbiogasanlagen von 300 bis 400 Stunden pro Jahr, d.h. ca. 1 h/Tag. Berichten aus der Praxis zu Folge ist anzumerken, dass für Anlagen, die mit NaWaRo gespeist werden, der Arbeitszeitaufwand zeitweise durch Schwimmdeckenbildung oder Verlegung der Rührwerke sich erhöhen kann. Ebenso ist für die Hygienisierung von Speiseresten, welche nach der [EU-Hygieneverordnung](#) für bestimmte Substrate vorgeschrieben ist, und für die Entfernung von Störstoffen aus Bioabfällen ein nicht unerheblicher Arbeitszeitaufwand einzukalkulieren.
- **Energiekosten:** Bei konventionell betriebenen Biogasanlagen mit BHKW-Verstromung werden in der Regel zwischen 5 und 15 % der erzeugten Strommenge als Eigenstrombedarf für den Anlagenbetrieb verwendet. Diese Energie wird für Rührwerke, Pumpen, Steuerung usw. benötigt. Für die Fermenterheizung wird je nach Anlagentyp und -größe ca. 15 bis 50 % der gewonnenen thermischen Energie benötigt.
- **Instandhaltung und Wartung:** Die laufenden Kontrollen und Reparaturarbeiten für die Instandhaltung fallen hauptsächlich für elektrische und mechanisch bewegte Anlagenteile an (Pumpen, Rührwerke, Messsonden) oder werden durch Verstopfungen und Ablagerungen verursacht. Neben den Eigenleistungen für die Wartung des BHKWs (Schmierung, Ölwechsel) sind jeweils nach einer vom Lieferanten empfohlenen Betriebsdauer zusätzliche Serviceleistungen erforderlich.
- **Versicherungsprämien:** Je nach Anforderungen kann ein Versicherungsschutz gegen bauliche Risiken (Bauleistungs- und Bauherrenhaftpflichtversicherung), gegen betriebliche Risiken (Maschinen-, Betriebsunterbrechungs- und Betriebshaftpflichtversicherung, Gebäude-Versicherung gegen Feuer, Leitungswasser, Sturm, Elementar) und gegen Schäden durch Umwelteinwirkungen (Umwelthaftpflichtversicherung) erworben werden.



**Abb.** Arbeitszeitbedarf für den Betrieb von Biogasanlagen bezogen auf den Durchsatz in m<sup>3</sup>/h (aus: [\[Krachler 2003\]](#), [\[Kirchmeyr 2003\]](#), Substratbereitung/Silierung nicht berücksichtigt)

## Erlöse

Möglichkeiten des Erlöses und des wirtschaftlichen Ertrags von Biogasanlagen ergeben sich in folgenden 3 Bereichen:

- **Förderungsmöglichkeiten:** In der EU wird ein mittlerer Anteil an erneuerbaren Energieträgern von 20 % bis 2020 angestrebt. Der Beitrag Österreichs liegt sogar bei einem 35 % Anteil, der nur durch eine entsprechende Förderpolitik erreicht werden kann. In den meisten Ländern werden Biogasanlagen weniger durch Investitionsförderungen gestützt als durch die Abgeltung eines erhöhten Ökostromtarifs bei Netzeinspeisung von elektrischer Energie. Teilweise erfolgt die Ökostromförderung gestaffelt nach Anlagengröße mit dem maximalen Erlös für elektrische Energie aus Kleinbiogasanlagen (in **Deutschland** von ca. **21 Cent/kWh**, in **Italien** derzeit **31 Cent/kWh**). Allerdings entfällt z.B. in Österreich bei Verwendung von Bioabfällen als Co-Substrat die Ökostromförderung zur Gänze. Ein zusätzlicher Erlös kann über ein Emissionszertifikat lukriert werden. Dabei wirkt sich bei der Güllefermentation die vermiedene Methanemission wesentlich stärker aus (CO<sub>2</sub>-Äquivalenzfaktor von 23) als die CO<sub>2</sub>-Neutralität des Biogases.
- **Energieerlös:** Generell ist die thermische Energie wesentlich weniger ‚wert‘ wie die elektrische Energie und vor allem von der räumlichen Nähe des Wärmeabnehmers und dessen Einsparungspotenzial durch Ersatz des gegenwärtigen Wärmeerzeugungssystems bestimmt. Derzeit kann in Österreich von einem monetären Wert von ca. 4 Cent pro kWh ausgegangen werden. Der Erlös für die elektrische Energie wird zudem – wie erwähnt – in vielen Ländern durch die Ökostromförderung erhöht (Richtwerte derzeit: Ö, 14 Cent, D 21 Cent, Italien 32 Cent).
- **Entsorgungserlös für Substrat:** Die Erlöse für die Entsorgung von Co-Fermente bewegen sich bei Anlieferung in dem in der folgenden Tabelle dargestellten Band. Durch den Anstieg der Nachfrage nach Co-Fermenten werden die Entsorgungserlöse in den nächsten Jahren eine sinkende Tendenz aufweisen. Trotzdem stellt für nichtlandwirtschaftliche Kundengruppen (Kleinkläranlagen, Gewerbebetriebe) der Entsorgungsaspekt die wesentliche Motivation für die Errichtung einer Kleinbiogasanlage dar.

**Tab.** Richtwerte für den Entsorgungserlös bei Übernahme angelieferter Cosubstrate

<b>Co-Ferment</b>	<b>Entsorgungserlös bei Anlieferung</b>
Speisereste	20 – 50 €/t
Biomüll	20 – 50 €/t
Fette	10 – 25 €/t
Molkereischlamm	15 – 35 €/t
Grünschnitt	0-15 €/t
Trester	15 €/t



## 5) Angaben in Bezug auf die Ziele der Programmlinie:

5.1) Beitrag zum Gesamtziel der Programmlinie

Folgende Aspekte des Projektes tragen zu den Zielen der Programmlinie bei:

### *5.1.1) Verbesserungen der Gesamteffizienz des Energiesystems "Kleinbiogasanlage" und ihrer Komponenten.*

Durch die 4-Kammer-Bauweise der BIO4GAS-Anlage ist es möglich, die energetische Nutzung der Substrate zu verbessern. Modellversuche und Modellrechnungen in der Begleitforschung haben zu einer Optimierung der Effizienz durch eine Größenanpassung der einzelnen Kammern beigetragen und werden auch zukünftig weitere Optimierungen ermöglichen.

Durch die Optimierung der Anlage kann eine spezifische Nische bezüglich der Anlagengröße (Kleinbiogasanlagen) gefüllt und somit ein zusätzlicher Betreiberkreis für Biogasanlagen erschlossen werden. Das Anlagenkonzept ist für eine Vielzahl verschiedener Substrate aus dem landwirtschaftlichen und Abfallbereich geeignet.

### *5.1.2) Verbesserung der Kooperation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft sowie Ausbau der Forschungskompetenz.*

Das Projekt ist ein Paradebeispiel für eine Verbesserung der Kooperation zwischen Universitäten bzw. Forschungseinrichtungen und der Wirtschaft. Das Projekt wurde von einem Konsortium zwischen den Partnern Austrian Research Centers GmbH - ARC, Universität Innsbruck, Ingenieurbüro BENNAT CONSULT und etaone energy GmbH und in Zusammenarbeit mit der Landwirtschaftlichen Landeslehranstalt Rotholz durchgeführt. Dabei wurde erstklassige Forschung mit einem wirtschaftsnahen Themen verbunden. Auf dem Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck ist man bestrebt, der Mikrobiologie in Biogasanlagen einen hervorragenden Platz in Europa einzuräumen. Das gegenständliche Projekt soll hierfür als Aushängeschild dienen, da die Anlage als ‚Forschungsreaktor‘ für umfassende Untersuchungen genutzt werden kann. Gleichzeitig ist die Kombination mit den Aktivitäten der Landeslehranstalt und der landwirtschaftlichen Forschungsanstalt eine ausgezeichnete Voraussetzung für eine lang andauernde Kooperation, die unter anderem im Rahmen eines K-Regio-Projektes der Tiroler Zukunftsstiftung weitergeführt werden soll.

### *5.1.3) Beitrag des Projekts zu den ausgewählten Themenstellungen der 2.*

#### *Ausschreibung (siehe Leitfaden Kapitel 5)*

Der besondere Innovationscharakter der BIO4GAS-Technologie besteht darin, dass es durch das 4-Kammer-Konzept, sowie durch die Systemvereinfachungen (z.B. beim Heizsystem und der Durchmischung) zu einer entscheidenden Verbesserung der Wirtschaftlichkeit landwirtschaftlicher Kleinbiogasanlagen im

Leistungsbereich bis 50 kW<sub>el</sub> kommt. Durch die Systemvereinfachung wird weiters die Betriebssicherheit gesteigert bzw. das Ausfallsrisiko minimiert. Durch den Bau und den Betrieb der Demonstrationsanlage in Rotholz sollen die innovativen Komponenten in einer serienreifen Anlage den Interessenten vorgestellt werden können. Mit dem Projekt wird die Technologieführerschaft in diesem Marktsegment angestrebt.

Folgende Optimierungen, die in der Demonstrationsanlage realisiert werden, tragen zu besseren Marktchancen für Biogasanlagen dieser Leistungsklasse in landwirtschaftlichen Betrieben bei:

- **Optimierter Gasertrag und bessere Biogasqualität:**

Voruntersuchungen belegen, dass durch den neu entwickelten 4-Kammer-Fermenter Kurzschlussströmungen weitestgehend vermieden und damit höhere Abbaugrade erzielt werden können. Dies resultiert in einer um ca. 10% höheren Gasausbeute im Vergleich zu handelsüblichen Fermentern. Weiters bedingt die besondere Fermenterkonstruktion, dass das produzierte Biogas auf seinem Weg zur Gasverwertungsanlage im Vergleich zu herkömmlichen Anlagen relativ große Oberflächen bestreicht, welche mit Entschwefelungsbakterien besetzt sind. Dies ermöglicht eine effizientere Entschwefelung des Biogases (Oxidation zu elementarem Schwefel), was sich wiederum positiv auf die Standzeit und Betriebskosten des nach geschalteten BHKW auswirkt.

- **Reduzierter Prozessenergiebedarf:**

Elektrisch: Durch die Minimierung der durch Pumpen bewegten hydraulischen Massen sowie durch Strömungsoptimierungen wird der elektrische Prozessenergiebedarf reduziert.

Thermisch: Die intelligente Konstruktion des 4-Kammer-Fermenters reduziert thermische Abstrahlverluste. Dies wird erreicht durch eine thermische Stufung der Fermenter-Kammern. Thermische Stufung heißt, der für die Biogasbildung wesentliche wärmere Kern (Kammer 1 + 2) wird von den auf niedrigerem Temperaturniveau betriebenen peripheren Nachgärkammern (Kammer 3 + 4) ringförmig umschlossen. Eine spezielle Kernisolierung sorgt für eine Reduzierung des Wärmeverlustes in den beiden inneren Kammern.

- **Geringere Investitionskosten:**

Die Investitionskosten reduzieren sich durch Systemvereinfachungen (z.B. beim Heizsystem und der Durchmischung) und die Verwendung standardisierter bzw. vorgefertigter Bauteile.

- **Geringere Betriebskosten:**

Durch den oben genannten reduzierten Prozessenergiebedarf, der besseren Gasqualität und dem aufgrund der Systemvereinfachung wartungsarmen und stabilen Betrieb mit geringem Reininvestitionsbedarf werden die Betriebskosten reduziert.

5.2) Beschreibung der Umsetzungs-Potenziale für die Projektergebnisse

5.2.1) *Biogasanlagenmarkt für BIO4GAS in Österreich:*

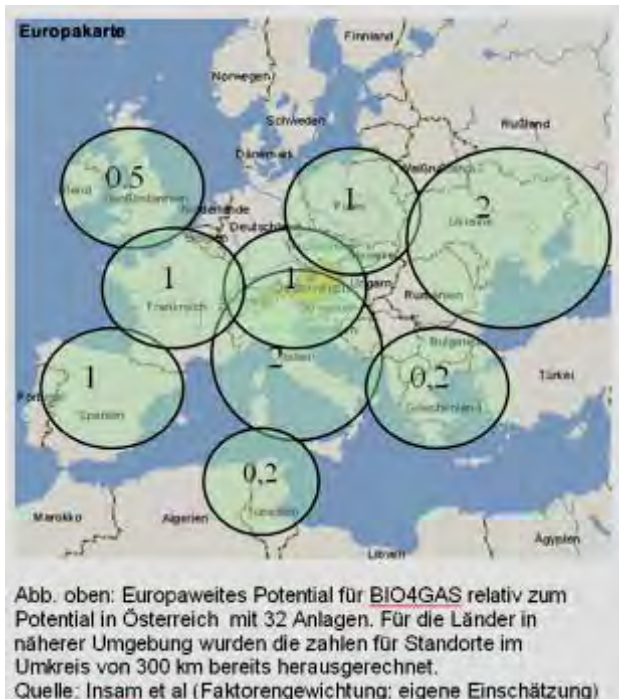
Folgende Aufstellung zeigt das geschätzte Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen in Österreich:

Fehler! Es ist nicht möglich, durch die Bearbeitung von Feldfunktionen Objekte zu erstellen.

**Abbildung 15: Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen in Österreich**

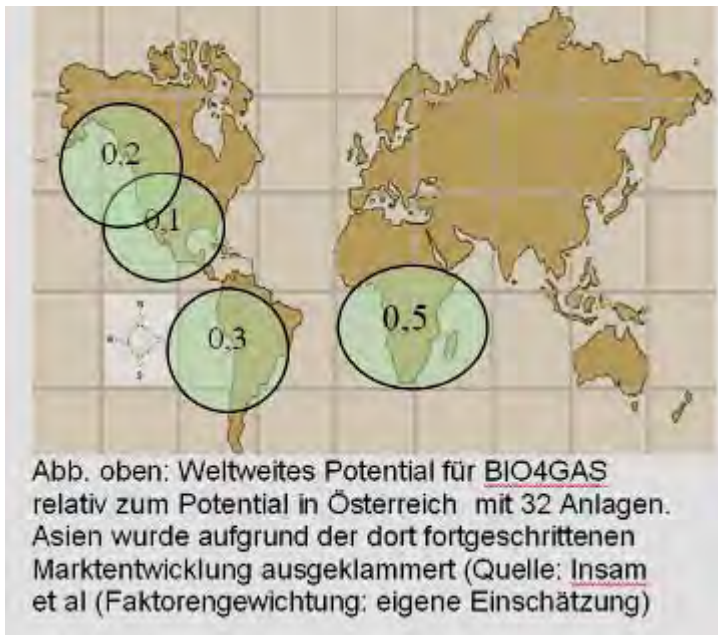
5.2.2) *Biogasanlagenmarkt für BIO4GAS in Europa und weltweit:*

Über das nähere Umfeld hinausgehend, sind mehrere europäische Länder/Regionen als potentielle Märkte interessant, was in untenstehender Abbildung dargestellt wird. Die angegebenen Zahlen beziehen sich dabei auf einen Multiplikationsfaktor auf Basis der erwarteten Anlagen in Österreich.



**Abbildung 16: Europaweites Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen**

Für BIO4GAS sehen wir jedoch nicht nur einen europäischen Markt, sondern auf Lizenzbasis durchaus auch einen Weltmarkt. In untenstehender Grafik sind jene Regionen und Länder dargestellt, in denen wir konkretes Potenzial sehen, was auf Kenntnissen der dortigen Märkte beruht. Wegen Unkenntnis des Asiatischen Marktes, und der dort schon häufig angewendeten Biogastechnik wurde diese Weltregion ausgeklammert. Umsatzmäßig würden diese Märkte wegen Beschränkung auf Lizenzvergabe nur mit ca. 5% des in geografischer Nähe erzielbaren Umsatzes zu Buche schlagen.



**Abbildung 17: Weltweites Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen**

In unten angeführter Tabelle ist der für ausgewählte Länder und Regionen erwartete Markt für BIO4GAS dargestellt. Berechnungsbasis ist der erwartete Markt für Österreich, der unter Einbeziehung des politisch-wirtschaftlichen Umfeldes und der Distanz des Marktes mit bestimmten Gewichtungsfaktoren für jede Region/Land versehen wurde. Details zu den Rahmenbedingungen sind andernorts aufgeführt.

<b>Region</b>	<b>Faktor</b>	<b>Begründung</b>
Österreich	1 32	Bedarfsberechnung
Südosteuropa	0,2 6	Aufkommende EU-Förderungen
Ukraine, Osteuropa	2 64	Aufkommende EU-Förderungen
Iberische Halbinsel	1 32	Gute Rahmenbedingungen für Co-Substrate
Frankreich	1 32	Gute Rahmenbedingungen
Italien (Entfernung > 300km)	2 64	Beste Rahmenbedingungen (31 €-cent Einspeistarif)
Großbritannien	1 32	Rahmenbedingungen ok, Markt groß
Polen	1 32	Gute EU Förderungen
Nordafrika	0,1 3	Beziehungen im Aufbau
Afrika	0,5 16	Biogasinitiative 2020: 2 Mio Biogasanlagen für Afrika
Kanada	0,1 3	Reges Interesse
USA	0,2 6	Reges Interesse, großer Markt
<b>SUMME</b>	<b>291</b>	

Fazit: Neben Tirol, Österreich und seinen Nachbarländern wird auch weltweit ein großes Marktpotential gesehen. Dieses Potential gilt es, vorerst punktuell und später systematisch zu bearbeiten.

### *5.2.3) Potentiale der entwickelten Microarray-Technologie:*

Biogasanlagen werden derzeit im Zuge der anhaltenden Klimaschutzdiskussionen weltweit zu einem immer relevanteren Thema. In Folge dessen werden auch die Forschungsaktivitäten hinsichtlich Anaerobtechnologien zur Energiegewinnung intensiviert. Auch das Institut für Mikrobiologie der Universität Innsbruck hat mittlerweile einen Forschungsschwerpunkt zu dieser Thematik. Wir erwarten, dass in den kommenden Jahren vermehrt wissenschaftliche Erkenntnisse auf dem Gebiet der mikrobiologischen Prozessbeschreibung für Anaerobreaktoren gewonnen werden können. Es ist somit nur eine Frage der Zeit bis es gelingt die höchst komplexen Abbauprozesse in Biogasanlagen so weit beschreiben zu können, dass in Folge besonders effektive Organismen bzw. Organismen-Konsortien definierbar werden. Damit wird wiederum ein großes Potential zur mikrobiologischen Effizienzsteigerung von Biogasanlagen eröffnet.

Mit dem an der Universität Innsbruck entwickelten DNA-Microarray kann die An- bzw. Abwesenheit einer Vielzahl an Mikroorganismen in einer bestimmten Probe bestimmt werden. Der Array eignet sich daher ideal als schnelles Werkzeug für die Bestimmung der mikrobiellen Konsortien in einem Biogas-Reaktor und wird helfen Optimierungspotentiale aus mikrobiologischer Sicht zu erkennen. Der Microarray soll nach Fertigstellung der derzeit laufenden Optimierungsarbeiten bis zur Vermarktung geführt werden. Potentielle Kunden sind Forschungsinstitutionen im Bereich Anaerobtechnologie sowie routine-analytische Labors die mit der Beprobung von Biogasanlagen beschäftigt sind.

### 5.3) Potential für Demonstrationsvorhaben

Das gegenständliche Projekt beinhaltet den Bau einer Demonstrationsanlage. Das Potential dafür sowie die damit verbundenen Chancen, Schwierigkeiten und Risiken wurde bereits im Projektantrag ausführlich dargestellt. Weitere Demonstrationsanlagen sind – unter günstigen Substratvoraussetzungen – in nationalen und internationalen Kooperationen geplant.



## 6) Schlussfolgerungen aus den Projektergebnissen:

Mit der Errichtung der BIO4GAS-Demonstrationsanlage ist dem Projektteam der Einstieg in die Marktnische "Kleinbiogasanlagen" erfolgreich gelungen. Die Anlage stellt die Grundlage für weitere Optimierungen dieser Technologie dar. Die Errichtungskosten für weitere Anlagen dieses Typs werden auf Grund des Wegfalls der Erstauführungs-Mehrkosten deutlich gesenkt werden können. Bis auf den Konsortialpartner etaone energy GmbH, welcher seine Marktausrichtung mittlerweile auf größere Anlagentypen verlagert hat, sind sämtliche Planungs- und Ausführungs-Partner an der Realisierung weiterer BIO4GAS-Anlagen interessiert.

Im Laufe des Projektes gab es immer wieder Anfragen von Technologieinteressenten über die Marktverfügbarkeit der BIO4GAS-Technologie. Neben interessierten Landwirten im näheren Umkreis der Anlage, gab es u.a. auch konkrete Anfragen von einer Südtiroler Forschungsinstitution (Istituto Agrario di San Michele all'Adige), einem Mitglied einer kanadischen Biogas-Delegation (Anlagenbesuch August 2007), oder einem Tiroler Unternehmen zur Naturlab-Gewinnung (erste Gespräche im Herbst 2007). Ein EU-Projekt mit Partnern aus Italien und Spanien zur Verwertung von Olivenabfällen in einer BIO4GAS-Anlage befindet sich derzeit in Vorbereitung.

Derzeit wird an der Gründung einer Firma zur weiteren Vermarktung der BIO4GAS-Technologie gearbeitet. Die Marktpotentiale für BIO4GAS-Anlagen wurden bereits analysiert (s. Kapitel 5.2).

Da die errichtete Anlage auch weiterhin für die Durchführung verschiedenster Forschungsaufgaben genutzt werden darf, stellt diese aus wissenschaftlicher Sicht eine höchst wertvolle Einrichtung dar. Durch die langfristig geplanten Forschungsarbeiten an der Anlage, wird die Kompetenz auf dem Sektor Biogas deutlich gesteigert werden können.

Am 24. März 2008 wurde von der Universität Innsbruck der Antrag für das K-Regio Projekt "**BioTreat - Renewable energy through Biological Treatment and Recycling Technologies**" bei der Tiroler Zukunftsstiftung eingereicht. Die Zusammenfassung der Ziele aus dem Projektantrag ist im Anhang 8.4 zu finden. Das Projekt gliedert sich in vier Arbeitspakete (s. Tabelle unten) von welchen Paket 1 "BioGasProcess" ein direktes Folgeprojekt für das gegenständliche EdZ-Projekt darstellt. Auch die Arbeitspakete 2 und 3 stehen in engem Zusammenhang mit der errichteten BIO4GAS-Anlage und dem daraus gewonnenem Know-How.

Workpackages	
<b>1. BioGasProcess</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Process optimisation</li> <li>• Monitoring &amp; Analytics</li> <li>• Asset development</li> </ul>
<b>2. Biogas Monitoring</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tyrolean competence centre for biogas plants</li> <li>• Novel research tools (microarrays)</li> </ul>
<b>3. VOCs</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volatile organic compounds measured online</li> <li>• VOCs as a potential process indicator</li> </ul>
<b>4. Wood Ash</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wood ash utilisation</li> <li>• Fertiliser-Development</li> <li>• Digester residue utilisation</li> </ul>

## 7) Literaturverzeichnis / Abbildungsverzeichnis

### 7.1) Literaturverzeichnis

Insam H, B. Wett (2008) Control of GHG emission at the microbial community level. Waste Management 28, 699-706

Insam H, B. Wett 2006 Greenhouse gas emission at microbial community level during waste treatment (2006). Biomass and waste to energy conference, Venice, 29.11.-1.12.2006 (electronic proceedings)

Insam,H, Franke-Whittle I, Mayrhofer S, Hansel A, Knapp BA From substrate to application: microbes do the job. In: Fuchs JG, Kupper T, Tamm L, Schenk K (Eds.) Compost and digestate: sustainability, benefits, impacts fort he environment and for plant production. Proceedings of the international conference CODIS 2008, Solothurn, Switzerland, pp. 175-180

Kelly, J.J. (2003). Molecular techniques for the analysis of soil microbial processes: functional and gene analysis and the utility of DNA microarrays. Soil Sci 168, 597-605.

Niederkofler C, H. Insam, E. Stimpfl (2007) The application of wood ash on grassland with intensive and extensive fertilization: effects on chemical and microbial soil-parameters, on fodder-quality and plant communities. In proceeedings „Managing Alpine Future“, 15.-17. Oktober 2007, Innsbruck, Austria.

Niederkofler, C. (in Vorbereitung). Die Wirkung von Holzasche und Gärresten auf Fettwiesen mit intensiver und extensiver Düngung. Auswirkungen auf Bodenparameter und Mikroorganismen, auf Futterqualität und Pflanzengesellschaften. Diplomarbeit, Universität Innsbruck.

Ogram, A. (2000). Soil molecular microbial ecology at age 20: Methodological challenges for the future. Soil Biol Biochem 32, 1499-1504.

Plank, R. (2007). Verwertung von Holzasche als Zuschlagstoff zu Gärresten. Diplomarbeit, Universität Innsbruck.

Schardinger, I. (2007). Standortevaluierung für Biogasanlagen - GIS-gestützte Modellierung der Dargebots- und Nachfragepotenziale für Biogas im Bundesland Tirol. Diplomarbeit, Universität Salzburg, 119 Seiten

Schoen MA, De Toffol S., Wett B, Insam H, Rauch W (2007) Comparison of Renewable Energy Resources in Alpine Regions. In proceedings „Managing Alpine Future“, 15.-17. Oktober 2007, Innsbruck, Austria.

Sperl D, K. Meyer, H. Insam The potential to gain energy from the extractable fraction of organic waste Biomass and waste to energy conference, Venice, 29.11.-1.12.2006 (electronic proceedings)

Wackerle, F. (2006). Untersuchung einer 4-Kammer Biogasanlage im landwirtschaftlichen Bereich. Diplomarbeit, FH, 2006)

Wett B, M. Schoen, P. Phothilangka, F. Wackerle, H. Insam (2006) Performance of a highly reliable 4-chamber small scale biogas reactor (2006) Biomass and waste to energy conference, Venice, 29.11.-1.12.2006 (electronic proceedings)

Wett, B.; Schoen, M.; Phothilangka, P.; Wackerle, F.; Insam, H (2007) Model based design of an agricultural biogas plant – application of Anaerobic Digestion Model No.1 for an improved 4 chamber scheme. Water Science & Technology 55, 21-28

## 7.2) Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ansicht der analysierten Bestandsbiogasanlage.....	8
Abbildung 2: 4-Kammer-Schema der analysierten Bestandsbiogasanlage .....	8
Abbildung 3: Massenströme: Organische Trockensubstanz und Kohlenstoffbilanz.....	9
Abbildung 4: Modelliertes 4-Kammer-System in der SIMBA-Umgebung (oben) zur Simulation der Gasproduktion in den einzelnen Kammern bei hoher Beschickungsmengen (unten) .....	10
Abbildung 5: Numerische Strömungssimulationen in Kammer 1&2 (li.) und Kammer 3&4 (re.) .....	11
Abbildung 6: Ausschnitt aus dem Lageplan der Einreichplanung .....	11
Abbildung 7: Foto der vier parallel betriebenen 100-Liter Laborreaktoren .....	14
Abbildung 8: Mitarbeiter des wissenschaftlichen Projektteams bei Arbeiten für das Oliven-Experiment .....	15
Abbildung 9: Fotos der fertigen Anlage vom 04. März 2008 (Im Vordergrund des unteren Fotos ist der Container zur Gasverwertung mit aufgesetzter Gasfackel zu sehen). .....	21
Abbildung 10: Gasproduktion Start-Up Experiment .....	23
Abbildung 11: Gasproduktion Oliven Experiment (Beschickungsende: 23.01.08) .....	25
Abbildung 12: Beispiel für einen Microarray mit einer Probe des Start-Up Experiments .....	31
Abbildung 13: Beispiel für die Quantifizierung von Mikroorganismen (hier: Methanosarcina sp.) in verschiedenen Proben des Start-Up Experiments mittels real-time PCR .....	32
Abbildung 14: Evaluierung potentieller Standorte für Biogasanlagen in Tirol aufbauen auf die aktuell nutzbaren Energiepotenziale (Scharinger, 2007) .....	34
Abbildung 15: Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen in Österreich .....	46
Abbildung 16: Europaweites Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen.....	46
Abbildung 17: Weltweites Marktpotential für BIO4GAS-Anlagen .....	47

## 8) Anhang

### 8.1) Prozessdaten aller Proben aus dem Start-Up Experiment

A1 - Inoc., low load													
Sampling Date	TS	VS	COD tot	COD sol	NH4-N	Alkalinity	org. Acids	Acetat	Propionat	Ac + Prop	EC	C-tot	N-tot
	[%]	[% TS]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mmol H+-equ/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mS/cm]	[% TS]	[% TS]
25.10.07	1,0	66,7	6474	2188	414	46	866	121		121	5,49	31,81	2,57
29.10.07	1,1	67,6	7287	2219	450	53	337	15	12	27	6,03	28,71	2,56
01.11.07	1,0	63,6	10082	2194	461	55	315	46	56	102	6,58	34,33	3,17
05.11.07	1,2	64,0	10874	2416	531	62	424	67		67	7,43	29,30	2,28
08.11.07	1,2	62,2	9563	2751	680	68	435	69	53	122	7,84	32,66	2,96
12.11.07	1,3	57,4	11998	3183	680	83	474	89	60	150	9,11	38,80	4,67
15.11.07	1,6	59,6	12914	3609	709	94	663	82	100	182	10,03	36,22	3,57
19.11.07	2,0	63,5	23645	4860	824	111	809	234	102	336	11,08	38,79	4,47
22.11.07	2,5	65,8	20523	5631	941	113	756	122	133	255	12,72	39,62	3,96
26.11.07	3,4	66,5	26574	6950	1195	159	1238	267	172	439	14,66	36,33	3,43
29.11.07	3,5	64,3	32155	6584	1325	162	975	23		23	15,43	38,52	3,36
03.12.07	3,6	65,8	27312	7409	1226	172	1025	65		65	15,99	36,59	3,16

A2 - Man., fast temp.													
Sampling Date	TS	VS	COD tot	COD sol	NH4-N	Alkalinity	org. Acids	Acetat	Propionat	Ac + Prop	EC	C-tot	N-tot
	[%]	[% TS]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mmol H+-equ/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mS/cm]	[% TS]	[% TS]
25.10.07	2,7	67,2	17220	6825,5	788	114	1895	1387	173	1560	12,56	35,95	2,78
29.10.07	2,9	69,5	19418	6938	983	115	1960	1267	304	1571	12,81	32,67	2,35
01.11.07	3,7	75,7	19979	5746	815	117	1257	735	281	1016	12,96	25,29	1,82
05.11.07	2,6	64,4	17289	5210	891	120	908	89	230	319	13,34	32,33	2,37
08.11.07	2,6	62,5	17270	5169	866	126	875	114	86	200	12,79	31,09	2,39
12.11.07	3,1	65,3	18529	4977	920	129	778	85	66	151	13,06	38,00	3,05
15.11.07	3,1	63,9		6501	891	129	908	70	110	179	12,99	36,81	3,07
19.11.07	3,0	65,0	30412	8858	1019	144	2052	1068	265	1333	14,95	37,08	3,69
22.11.07	3,5	66,4	31280	11685	1093	153	3695	2083	492	2575	16,17	37,53	3,71
26.11.07	5,1	71,6	35586	12273	1249	169	4206	2492	576	3067	15,83	36,74	2,93
29.11.07	4,7	70,7	36590	10665	1283	171	3137	1158	710	1868	16,00	40,30	3,30
03.12.07	4,8	69,9	30835	7889	1222	186	2186	184	708	892	16,14	42,63	2,93

B1 - Inoc., high load													
Sampling Date	TS	VS	COD tot	COD sol	NH4-N	Alkalinity	org. Acids	Acetat	Propionat	Ac + Prop	EC	C-tot	N-tot
	[%]	[% TS]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mmol H+-equ/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mS/cm]	[% TS]	[% TS]
25.10.07	1,4	64,8	8762	2447	508	53	346	164		164	6,07	31,09	2,81
29.10.07	1,4	63,5	9020	2311	587	59	346	16		16	6,67	35,31	3,17
01.11.07	1,5	62,6	10685	2240	592	62	381	45		45	7,29	33,25	2,87
05.11.07	1,6	61,4	11111	2534	637	72	478	76		76	8,37	32,39	3,06
08.11.07	1,8	62,0	11793	2780	680	81	477	77	58	135	9,12	32,24	2,68
12.11.07	2,0	59,9	19888	3447	770	99	612	132	63	195	10,77	33,91	3,52
15.11.07	2,4	64,0	15621	4566	814	113	890	269	120	390	12,20	35,26	3,22
19.11.07	3,3	65,9	32810	7497	1004	143	1986	930	241	1171	14,49	37,39	3,46
22.11.07	4,2	66,6	33045	10970	1107	159	3080	1349	487	1836	15,46	36,27	3,43
26.11.07	4,6	69,8	36160	11426	1238	177	2847	1065	550	1615	16,52	36,51	3,20
29.11.07	4,4	67,3	37165	8751	1280	183	1768	118	651	769	16,93	36,29	3,13
03.12.07	4,2	66,2	31168	7316	1186	194	1465	119	230	349	17,07	37,95	3,15

B2 - Man., slow temp.													
Sampling Date	TS	VS	COD tot	COD sol	NH4-N	Alkalinity	org. Acids	Acetat	Propionat	Ac + Prop	EC	C-tot	N-tot
	[%]	[% TS]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mmol H+-equ/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mg/L]	[mS/cm]	[% TS]	[% TS]
25.10.07	3,7	63,1	26295	6852	947	126	1678	1403	174	1576	13,49	32,40	2,81
29.10.07	3,6	62,6	26212	6534	943	127	1821	1492	285	1777	13,54	33,54	2,77
01.11.07	3,4	61,8	24812	5574	1006	129	1440	846	292	1139	13,99	35,51	2,80
05.11.07	3,4	60,4	25153	5382	1094	134	1192	170	258	427	14,09	32,88	2,84
08.11.07	3,5	62,0	22015	5390	1069	137	975	120	157	277	13,97	33,59	2,71
12.11.07	3,3	60,3	30566	5168	1105	141	889	84	64	148	14,25	34,52	3,29
15.11.07	3,3	59,5	31024	5952	1192	141	995	66	102	168	14,43	34,29	3,32
19.11.07	3,4	62,8	24122	6137	1096	146	1219	342	101	442	14,48	33,57	3,44
22.11.07	3,6	64,0	26287	6813	1130	153	1455	343	155	498	15,16	35,32	3,34
26.11.07	3,8	65,4	27907	7020	1197	163	1514	366	157	523	15,71	34,90	3,16
29.11.07	3,5	61,9	26318	6912	1263	168	1083	73		73	15,77	41,07	3,44
03.12.07	3,5	62,5	25966	6530	1195	170	1081	24		24	16,08	37,18	3,21

8.2) Prozessdaten aller Proben aus dem Oliven Experiment

**14 Olv. 04 Nov. 2011**

Sampling Date	TS [%]	VS [% TS]	COD tot [mg/L]	COD sol [mg/L]	tit4-H [mg/L]	Alkalinity [mmol(H+)-eq/L]	org. Acids [mg/L]	Acetat [mg/L]	Propionat [mg/L]	Ac + Prop [mg/L]	FC [mS/cm]	C-tot [% TS]	H-tot [% TS]
24.12.07	4.0	0.92	2747	7394	110	150	507	220		224	10.0	20.3	2.23
27.12.07	4.3	0.93	3201	8536	110	135	129	504	305	810	18.1	43.2	2.93
3.12.07	4.5	1.03	3589	8906	875	173	160	173	212	333	16.7	41.3	2.83
13.01.08	4.7	1.0	3404	8550	113	135	174	106		280	16.5	41.22	2.97
17.01.08	4.9	1.27	3526	9301	150	139	153	112	250	372	16.5	43.44	3.11
10.01.08	5.1	1.37	3467	9975	109	130	161	69	330	273	16.1	46.24	3.24
14.01.08	5.1	1.29	3321	10358	135	132	163	100	314	311	16.2	46.06	3.19
17.01.08	5.3	1.38	3593	10886	135	134	163	137	331	315	16.1	46.30	3.18
21.01.08	5.3	1.40	3361	11717	871	130	125	146	526	675	16.1	44.22	3.01
24.01.08	5.9	1.58	4233	12306	893	137	175	268	574	843	15.8	43.54	3.13

**14 Olv. 14 Nov. 2011**

Sampling Date	TS [%]	VS [% TS]	COD tot [mg/L]	COD sol [mg/L]	tit4-H [mg/L]	Alkalinity [mmol(H+)-eq/L]	org. Acids [mg/L]	Acetat [mg/L]	Propionat [mg/L]	Ac + Prop [mg/L]	FC [mS/cm]	C-tot [% TS]	H-tot [% TS]
24.12.07	5.0	0.54	2722	7742	159	133	122	206		209	17.1	27.25	2.32
27.12.07	4.3	0.39	3276	11371	120	125	179	209	130	2203	17.3	40.30	2.73
3.12.07	4.7	0.50	3067	13052	105	133	162	166	736	902	17.3	31.31	2.95
13.01.08	4.9	0.73	4121	17488	171	173	163	316	138	485	16.1	41.5	3.04
17.01.08	4.0	0.73	3313	15806	184	17	163	201	1575	1848	16.7	44.3	3.33
10.01.08	4.7	1.17	4085	15530	157	178	124	1626	1712	1940	17.1	44.42	3.11
14.01.08	5.2	1.33	4381	16150	104	130	145	1542	1585	3128	17.0	41.30	3.42
17.01.08	5.3	1.40	4364	16898	103	135	139	158	1300	1438	16.5	42.57	3.42
21.01.08	5.0	1.38	4384	17841	121	137	137	177	908	1085	16.1	48.17	3.61
24.01.08	5.6	1.7	4549	20136	115	133	135	217	437	654	16.8	48.56	3.61

**14 Olv. 24 Nov. 2011**

Sampling Date	TS [%]	VS [% TS]	COD tot [mg/L]	COD sol [mg/L]	tit4-H [mg/L]	Alkalinity [mmol(H+)-eq/L]	org. Acids [mg/L]	Acetat [mg/L]	Propionat [mg/L]	Ac + Prop [mg/L]	FC [mS/cm]	C-tot [% TS]	H-tot [% TS]
24.12.07	4.0	0.33	2313	6438	124	179	173	218		218	16.8	26.30	2.42
27.12.07	3.8	0.7	2300	6474	182	137	165	74		74	16.7	27.80	2.63
3.12.07	3.7	0.53	2476	630	162	174	184	81		81	16.2	27.99	2.55
13.01.08	3.5	0.56	2829	5000	162	130	189	40		40	16.0	28.2	2.61
17.01.08	3.9	0.58	2588	6270	137	131	155	35		35	15.8	29.7	2.72
10.01.08	5.4	0.88	2249	5541	167	130	163	68		68	15.8	41.77	3.07
14.01.08	2.6	0.12	2277	6280	158	130	178	71		71	15.2	44.20	3.55
17.01.08	2.9	0.26	2123	5730	143	130	187	67		67	15.2	40.12	3.19
21.01.08	3.1	0.19	2382	5445	186	127	192	53		53	15.2	40.30	2.99
24.01.08	3.2	0.35	2537	5360	193	124	179	15		15	14.8	41.10	3.05

**14 Olv. 04 Nov. 2011**

Sampling Date	TS [%]	VS [% TS]	COD tot [mg/L]	COD sol [mg/L]	tit4-H [mg/L]	Alkalinity [mmol(H+)-eq/L]	org. Acids [mg/L]	Acetat [mg/L]	Propionat [mg/L]	Ac + Prop [mg/L]	FC [mS/cm]	C-tot [% TS]	H-tot [% TS]
24.12.07	4.0	0.72	2374	6095	202	139	167	202		202	15.2	39.43	2.43
27.12.07	3.0	0.37	2476	560	129	139	172	48		48	15.2	30.31	2.19
3.12.07	3.6	0.33	2798	780	147	147	167	50		50	13.2	41.90	2.71
13.01.08	3.4	0.10	2749	837	135	133	161	50		50	12.3	40.74	2.51
17.01.08	3.3	0.33	2849	944	113	113	175	258		258	11.0	48.72	4.02
10.01.08	3.3	0.23	2363	1030	493	39	166	70		70	10.1	47.36	3.54
14.01.08	3.2	0.19	2219	1230	467	72	129	152		152	9.0	42.72	3.63
17.01.08	3.0	0.10	3159	1304	571	38	132	241		241	10.2	46.84	3.53
21.01.08	3.6	0.28	3379	1337	112	133	174	236		236	12.1	36.38	2.74
24.01.08	3.8	0.10	3661	1384	118	118	132	239		239	11.0	40.00	3.04

## 8.3) Liste der für den Archaea-Microarray entworfenen DNA-Sonden

Nachfolgende Tabelle zeigt die Liste der für den Archaea-Microarray entworfenen DNA-Sonden (engl.: DNA-Probes).

**Tabelle: Designed probe sequences with specificity, GC-content, and melting temperature.**

Probe name	Target Organism	Probe-Sequence 5'-3'	Percent GC [%]	T <sub>m</sub> [°C]
Arc917	<i>Archaea</i>	TTTTTTTTTTTTGUGCUCCCCGCCAAUUC	60	67.5
Mbac855	<i>Methanobacteriaceae</i>	TTTTTTTTTTTTCTTAACAGCTTCCCTTCGG	52.6	59.7
Mbac313	<i>Methanobacteriaceae</i>	TTTTTTTTTTTTACCTTGTCTCAGGTTCCATC	50	57.6
MMMM817	<i>Methanothermobacter</i> + <i>Methanobacterium</i> + <i>Methanosphaera</i> +3 <i>Methanobrevibacter</i>	TTTTTTTTTTTTCAACACCAAGTCCACATCG	52.6	58.3
MbM405	<i>Methanobacterium</i> + <i>Methanothermobacter</i>	TTTTTTTTTTTTACCCCGTTAAGAGTGGC	58.8	56.4
MIM594	<i>Methanlobus</i> + <i>Methanomethylovorans</i>	TTTTTTTTTTTTCAGATTCCCGGAAGACTG	52.6	59.4
MMM309	<i>Methanomicrobium</i> + <i>Methanogenium</i> + <i>Methanoplanus</i>	TTTTTTTTTTTTGTCTCAGATTCATCTCCG	50	59.4
MMbac183	<i>Methanobacterium</i> ; Clone 1-14, Clone 2-2	TTTTTTTTTTTTTAGGGAACCAATTCCAGG	50	56.9
MMbac624	<i>Methanobacterium</i> ; Clone 1-14, Clone 2-2	TTTTTTTTTTTTAUCUCCAGCAAUCCACAC	47.4	56.4
Mbc263	<i>Methanobacterium</i>	TTTTTTTTTTTTACTGGCTTGGTGGGCAT	58.8	59.9
Mbc542	<i>Methanobacterium</i>	TTTTTTTTTTTTAAAATGGCCACCACTTGAG	47.4	59.9
Mbc644	<i>Methanobacterium</i>	TTTTTTTTTTTTCCGGCCTCAAGCCTAAT	58.8	60.0
Mbc744	<i>Methanobacterium</i>	TTTTTTTTTTTTACTCACCGTCAGGTCCG	61.1	57.7
MbcF733	<i>Methanobacterium</i> <i>formicum</i>	TTTTTTTTTTTTGGCCCGTTCCAGTTAGC	64.7	59.9
MbcF745	<i>Methanobacterium</i> <i>formicum</i>	TTTTTTTTTTTTACTCACCGTCAGGCC	61.1	60.0
Mbre364	<i>Methanobrevibacter</i>	TTTTTTTTTTTTCTCACATTGCGGAGGT	50	57.6
Mbre377	<i>Methanobrevibacter</i>	TTTTTTTTTTTTCCCGTCGCGATTTCTC	62.5	58.2
Probe	Target Organism	Probe-Sequence 5'-3'	Percent	T <sub>m</sub> [°C]

name			GC [%]	
Mbre406	<i>Methanobrevibacter</i>	TTTTTTTTTTTTCCATCCCCTTAAGAATGG	50	57.5
Mbre846	<i>Methanobrevibacter</i>	TTTTTTTTTTTTCCCTTCGGCACTGAAAC	58.8	57.6
MbreS840	<i>Methanobrevibacter smithii</i>	TTTTTTTTTTTTACTGGGACAGCTCAAAGC	55.6	56.5
MbreS731	<i>Methanobrevibacter smithii</i>	TTTTTTTTTTTTAGAATCGTTCAGTCAGACG	50	59.0
MbreS178	<i>Methanobrevibacter smithii</i>	TTTTTTTTTTTTCATTACAGGAATAATTGCCTAT	31.8	56.9
Mcal465	<i>Methanocalculus</i>	TTTTTTTTTTTTCCCTTCTCCTGGTGTGTGT	55	61,1
Mcal585	<i>Methanocalculus</i>	TTTTTTTTTTTTCCAGAGACTTAACGACCAA	50	59,5
Mcal600	<i>Methanocalculus</i>	TTTTTTTTTTTTGCCAAAAGATTTCCCCAG	50	59,6
Mcal840	<i>Methanocalculus</i>	TTTTTTTTTTTTCACCTCAGCGACTCGTGG	66.7	61.1
Mcal422	<i>Methanocalculus</i>	TTTTTTTTTTTTACACCAGAACAGCCTGCA	55.6	58.1
Mcal707	<i>Methanocalculus</i>	TTTTTTTTTTTTCGGTCGTCCCTCGG	73.3	58.1
Mcald179	<i>Methanocaldococcus</i>	TTTTTTTTTTTTCCAGACCTCCTCCCCTA	61.1	58.4
Mcald276	<i>Methanocaldococcus</i>	TTTTTTTTTTTTGCCCGTACGGATCGTAG	64.7	58.1
Mcald444	<i>Methanocaldococcus</i>	TTTTTTTTTTTTCCGGAGCTGTTTACACT	55.6	57.0
Mcald822	<i>Methanocaldococcus</i>	TTTTTTTTTTTTCGACGCGACACCTAGTCC	66.7	60.6
Mcoc139	<i>Methanococcoides</i>	TTTTTTTTTTTTCGGAGTTATGCCGAACCT	55.6	60.0
Mcoc194	<i>Methanococcoides</i>	TTTTTTTTTTTTCTTAGGCAACCGAAGTCTTT	45	59
Mcoc438	<i>Methanococcoides</i>	TTTTTTTTTTTTGCCGTTTACACATGTGGA	47,4	59.7
Mcoc465	<i>Methanococcoides</i>	TTTTTTTTTTTTCTTGCTAACACATGCCGTT	47.4	58.7
Mcoc584	<i>Methanococcoides</i>	TTTTTTTTTTTTGAAGAACTGATCAAACCGG	47.4	56.6
Msc0183	<i>Methanocorpusculum</i>	TTTTTTTTTTTTCCATTCCAGGACATATCCA	47.4	57.3
Msc0583	<i>Methanocorpusculum</i>	TTTTTTTTTTTTCAAGAGACCTAACAGTCAAGC	47.6	56.3
Msc0832	<i>Methanocorpusculum</i>	TTTTTTTTTTTTAACACGTGGTTACCGACA	47.4	56.4
Msc0843	<i>Methanocorpusculum</i>	TTTTTTTTTTTTCGGCGCATCAGTAACAC	55.6	59.4
Mcul574	<i>Methanoculleus</i>	TTTTTTTTTTTTAACCAGCTACGAACGC	58.5	57.8
Mcul170	<i>Methanoculleus</i>	TTTTTTTTTTTTGCATCTGTAACCTATAGGGTATT	39.1	57.9
Mcul302	<i>Methanoculleus</i>	TTTTTTTTTTTTCCAACCTCCGGGCTCTT	58.8	59.4
Mcul393	<i>Methanoculleus</i>	TTTTTTTTTTTTTACAGGCACTCGAGGTCC	57.9	59.6
Mcul669	<i>Methanoculleus</i>	TTTTTTTTTTTTCCCCGAAGTACCCCT	68.8	58.5
Mg193	<i>Methanogenium</i>	TTTTTTTTTTTTATGGCGCCTCAACTTTC	50	58.4
Mg229	<i>Methanogenium</i>	TTTTTTTTTTTTCTAATCGACCGCAGATCC	55.6	57.3
Mg619	<i>Methanogenium</i>	TTTTTTTTTTTTTAGACGCCCGTCGGTTA	58.5	59.2
<b>Probe</b>	<b>Target Organism</b>	<b>Probe-Sequence 5'-3'</b>	<b>Percent</b>	<b>T<sub>m</sub> [°C]</b>



<b>name</b>			<b>GC [%]</b>	
Mg833	<i>Methanogenium</i>	TTTTTTTTTTTTAGTGACTCGTGGTCACCAGT	55	58.2
Mhal183	<i>Methanohalobium</i>	TTTTTTTTTTTTACCACAGAGCCTTCCAGC	61.1	59.0
Mhal236	<i>Methanohalobium</i>	TTTTTTTTTTTTCACTACCACCTGATAGACCG	55	56.9
Mhal598	<i>Methanohalobium</i>	TTTTTTTTTTTTCACCAGATTTCCCAATGG	50	57.5
Mhal829	<i>Methanohalobium</i>	TTTTTTTTTTTTGCCGTACCATCCCTAACAC	57.9	59.4
Mlob133	<i>Methanolobus</i>	TTTTTTTTTTTTATGCCTGACCTTAGGGC	55.6	57.4
Mlob183	<i>Methanolobus</i>	TTTTTTTTTTTTCACAGAACATTCCAGTATCTATGA	37.5	59.2
Mlob389	<i>Methanolobus</i>	TTTTTTTTTTTTGGCACTCAGTATCCCCTTA	52.6	56.5
Mlob821	<i>Methanolobus</i>	TTTTTTTTTTTTGTCCCAGACACCTAGCGAG	63.2	59.1
Mmic183	<i>Methanomicrobium</i>	TTTTTTTTTTTTAGGAGACATTCCAGTACTCCT	47.6	56.5
Mmic615	<i>Methanomicrobium</i>	TTTTTTTTTTTTACGCCTCACAGTTAAGCC	55.6	57.2
Mmic829	<i>Methanomicrobium</i>	TTTTTTTTTTTTAACTCGTAGTTACAGGCACAC	47.6	56.7
Mmic854	<i>Methanomicrobium</i>	TTTTTTTTTTTTCACGTTTTCACTTCGGC	50	58.6
Msae406	<i>Methanosaeta</i>	TTTTTTTTTTTTAGCCAGATTTGTAACCTGG	47.4	56.8
Msae827	<i>Methanosaeta</i>	TTTTTTTTTTTTACCGTGGCCGACACCT	68.8	60.0
Msae841	<i>Methanosaeta</i>	TTTTTTTTTTTTCACCGACAACGGTCGC	68.8	59.3
Msar184	<i>Methanosarcina</i>	TTTTTTTTTTTTGACGCATAAAGCATTCCAG	47.4	58.4
Msar197	<i>Methanosarcina</i>	TTTTTTTTTTTTCTTGGGCAGACGAATCC	58.8	57.3
Msar549	<i>Methanosarcina</i>	TTTTTTTTTTTTCCAATAATCACGATCACC	47.4	57.2
Msar587	<i>Methanosarcina</i>	TTTTTTTTTTTTCCGGAGGACTGACCAAAC	61.1	59.2
Msar416	<i>Methanosarcina</i>	TTTTTTTTTTTTCTGGACAGCCAGCATATGA	52.6	58.5
Msar601	<i>Methanosarcina</i>	TTTTTTTTTTTTAGCTATCAGATTTCCCGG	50	56.5
Msph125	<i>Methanosphaera</i>	TTTTTTTTTTTTCAGTCCTAAGGGTAAGTTATCC	45.5	57.7
Msph598	<i>Methanosphaera</i>	TTTTTTTTTTTTGCTACAAGCTTTCACCAAAG	45	57.6
Msph743	<i>Methanosphaera</i>	TTTTTTTTTTTTTACTCACCGTCAAGATCGT	45	57.0
Msph673	<i>Methanosphaera</i>	TTTTTTTTTTTTCCCCTACCCCGGTAGTAC	66.7	58.5
Msph539	<i>Methanosphaera</i>	TTTTTTTTTTTTAACAGCTACCACTCGAGCTG	55	59.7
Msph841	<i>Methanosphaera</i>	TTTTTTTTTTTTGGCACTGGAACAACCTCGA	55.6	57.8
MsphS193	<i>Methanosphaera stadtmannae</i>	TTTTTTTTTTTTCTTAGGCGAAAAATACATTTTC	33.3	57.5
MsphS838	<i>Methanosphaera stadtmannae</i>	TTTTTTTTTTTTGGAACAACCTCGAGGCCA	58.8	57.5
<b>Probe</b>	<b>Target Organism</b>	<b>Probe-Sequence 5'-3'</b>	<b>Percent</b>	<b>T<sub>m</sub> [°C]</b>

name			GC [%]	
MsphS174	<i>Methanosphaera stadtmanae</i>	TTTTTTTTTTTTTCAGGCATAACCTAATATCCAG	42.9	57.2
Mspi165	<i>Methanospirillum</i>	TTTTTTTTTTTTTACGAACTATGGAGTATTACCCC	45.5	60.0
Mspi406	<i>Methanospirillum</i>	TTTTTTTTTTTTTAGCCAGCCTGTGCTGG	68.8	58.2
Mspi422	<i>Methanospirillum</i>	TTTTTTTTTTTTTGGTGGACAGCCAGCC	68.8	58.3
MspiH174	<i>Methanospirillum hungatei</i>	TTTTTTTTTTTTTAGTCAGCACGAACTATGGAG	50	56.7
MspiH193	<i>Methanospirillum hungatei</i>	TTTTTTTTTTTTTCGGATCTTTCGTTTCGCA	52.9	59.4
MspiH620	<i>Methanospirillum hungatei</i>	TTTTTTTTTTTTTCCTGAACGCCACCG	73.3	59.1
Mthe167	<i>Methanothermobacter</i>	TTTTTTTTTTTTTCACCTATCCGGGTTTATC	47.4	56.6
Mthe190	<i>Methanothermobacter</i>	TTTTTTTTTTTTTGTGTTTCGGTGAAGAACCA	47.4	57.5
Mthe426	<i>Methanothermobacter</i>	TTTTTTTTTTTTTCACTTCTGAAAAGCCACCC	52.6	59.5
Mthe643	<i>Methanothermobacter</i>	TTTTTTTTTTTTTCCGACCTCGAGTCATGATA	52.6	57.4
MtheT193	<i>Methanothermobacter thermoautotrophicus</i>	TTTTTTTTTTTTTGAAGGTGTTTCGGTGAAGA	47.4	56.9
MtheT176	<i>Methanothermobacter thermoautotrophicus</i>	TTTTTTTTTTTTTAGGCAGCATCACCTATCC	55.6	56.4
UncM283	Uncultured methanogene	TTTTTTTTTTTTTCTCTCAAGGCCCATACCC	61.1	58.9
UncM301	Uncultured methanogene	TTTTTTTTTTTTTCCAACCTCTGGGCTCCCT	64.7	58.6
UncM385	Uncultured methanogene	TTTTTTTTTTTTTCTAGGAATCCCTCATCGG	52.6	58.9
UncM544	Uncultured methanogene	TTTTTTTTTTTTTATAAAATCGACCACCACTTG	40	57.1
UncM869	Uncultured methanogene	TTTTTTTTTTTTTCCCCAAGTAGCAGACTTAA	45	57.2
MUncM625	Uncultured methanogene; Clone 2-10	TTTTTTTTTTTTTGTCTCCTCGGAAGACGGA	61.1	58.8
MUncM836	Uncultured methanogene; Clone 2-10	TTTTTTTTTTTTTATGCCCCCAAGGACTT	52.9	58.6
Con	Control	AGGAAGGAAGGAAGGAAG		
NbCon	Non-binding control	AGAGAGAGAGAGAGAGAG		
EUB338	Most <i>Bacteria</i>	TTTTTTTTTTTTTGCTGCCTCCCGTAGGAGT	66.7	61.4
BPs583	<i>Pseudomonas</i>	TTTTTTTTTTTTTATCCAACCTAACGAACCACCT	42.9	60.5

## 1. Intention and Goals

In the current political discussion, keywords like renewable energy, sustainability or climate change are highlighted more than ever before. BioTreaT will focus on renewable bio-energies. On a national level, BioTreaT aims to become a leading R&D-institution in the field of "Biological Treatment and Recycling Technologies" with an emphasis in the area "renewable energy from biomass" and it aims to fill a gap in this area of expertise in western Austria. On an international level, BioTreaT aims to be a significant player, where technology driven product development will be closely linked to modern molecular microbiological approaches.

In our long-term development we want to contribute to the achievement of the goals of the European Union's 7<sup>th</sup> framework program. This program defines 10 research areas which shall be funded with a total amount of 32.3 billion Euros over a 7 year period from 2007 till 2013. Our K-Regio project will directly target at 3 of these areas, namely area 2 "Food, Agriculture and Biotechnology", area 5 "Energy" and area 6 "Environment (including climate change)".

BioTreaT follows the strategic goals summarized below:

- By 2010, establishment of BioTreaT as a renowned European F&E player in the area of renewable energy from biomass
- Lead position in molecular-biological and microbial diagnostics in the area of anaerobic biotechnology
- Mid- and long-term strategic F&E-partnerships with industry
- Short and mid-term co-operations with industry
- Demanded partner in the European research framework (7<sup>th</sup> framework program)
- Knowledge transfer between international research activities and (primarily) domestic enterprises
- Creation of networks
- Remain a central player in the area of Renewable BioEnergies of the Province of Tirol