



# Effiziente Biogasaufbereitung mit Membrantechnik

Kurzdarstellung

M. Harasek



## Vorwort

Die vorliegende Kurzdarstellung ist eine Kurzpräsentation des im Rahmen der Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT durchgeführten Projekts *Effiziente Biogasaufbereitung mit Membrantechnik* verfasst von Dr. Michael Harasek. Der Projektbericht wird in der Schriftenreihe „Berichte aus Energie- und Umweltforschung“ des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie im März 2006 publiziert (Berichte aus Energie- und Umweltforschung, Nr. 9/2006). Bestellmöglichkeit sowie die Liste aller Berichte der Schriftenreihe finden Sie auf der Programmhhomepage <http://www.NachhaltigWirtschaften.at>.

Die Programmlinie ENERGIESYSTEME DER ZUKUNFT 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. Durch die Homepage [www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at](http://www.ENERGIESYSTEMEderZukunft.at) und die **Schriftenreihe "Nachhaltig Wirtschaften konkret"** soll dies gewährleistet werden.

Dipl. Ing. Michael Paula  
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien  
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie



# Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	1
Abstract .....	7



## Kurzfassung

### Allgemeines

Mit der seit 1. Jänner 2003 geltenden Fassung der Ökostromverordnung herrschen in Österreich nun attraktivere Rahmenbedingungen für die Erzeugung und Verstromung von Biogas. Aufgrund der Förderhöhe, die einen vermehrten Einsatz von Energiepflanzen mit besonders hoher flächenbezogener Energieausbeute erlaubt, ist zu erwarten, dass in Zukunft noch größere Biogasanlagen (bzw. Blockheizkraftwerke „BHKW“) als in der Vergangenheit in großer Zahl errichtet werden. Der Gesetzgeber beschränkt sich bei Biogas derzeit auf eine reine Stromförderung. Für die Nutzung des Wärmeanteils gibt es keine eindeutigen Auflagen. Die zu erwartende Dynamik bei Anzahl und Größe neuer Biogasanlagen lässt, bei der mit der BHKW-Technologie verbundenen Abwärmenutzungsproblematik, eine weitere Verringerung der energetischen Gesamt-Effizienz der Biogasverwertung befürchten. Damit würde nicht nur eine suboptimale Energienutzung erfolgen, es bleiben auch Einkommensmöglichkeiten ungenutzt. Akzeptanzprobleme in der Bevölkerung (sie hat über den Bezug von Öko- und konventionellen Strom schlussendlich die Kosten der Biogasverstromung zu tragen) könnten die Folge sein.

Zur Biogasverstromung in BHKWs existieren alternative Möglichkeiten und Wege der Biogasnutzung. Zu nennen sind hier v. a. die reine Verbrennung, die Mikrogasturbine, der Stirlingmotor, die Brennstoffzelle (Wasserstoffherzeugung), die Kraftstoffherzeugung (Methan oder auch Methanol) und die Biogaseinspeisung ins Erdgasnetz (Methan). Dem Ziel einer möglichst effizienten Verwertung der chemisch gebundenen Energie im Biogas kann insbesondere die Biogaseinspeisung ins Erdgasnetz gerecht werden.

Die Biogasaufbereitung auf Erdgasqualität eröffnet wichtige Optionen:

- Nach Aufbereitung des Biogases auf Erdgasqualität können unter den Annahmen: Abdeckung des Wärmebedarfes der Fermentation mittels Rohgas und Abdeckung des Strombedarfes aus dem öffentlichen Netz v. a. bei größeren Anlagen bis zu 90 % der Energie des erzeugten Roh-Biogases ins Gasnetz eingespeist werden.
- Man kann das in Biogasanlagen erzeugte Biogas an einem anderen Ort nutzen als am Ort der Erzeugung. Mit der vollständigen räumlichen Entkoppelung kann die Energie dort hingebraucht werden, wo sie benötigt wird. Mit dieser Option kann eine erhöhte Wertschöpfung verbunden sein.
- Gas lässt sich im Gegensatz zu Strom oder heißem Wasser im Wesentlichen ohne bemerkbare Verluste über weite Strecken transportieren und im Leitungsnetz speichern.
- Biogasanlagen können dann auch an Standorten errichtet werden, an denen zwar die Einsatzstoffe, aber keine ausreichenden Wärmenutzungsmöglichkeiten vorhanden sind. Nach vorliegenden Potentialschätzungen ist das Stoffpotential für die Vergärung in Biogasanlagen deutlich höher als verfügbare Standorte mit ausreichender Wärmeabnahme.

Um Biogas in Gas mit Erdgasqualität umzuwandeln, müssen in der Regel die folgenden beiden Prozesse durchlaufen werden:

- Ein Reinigungsprozess, bei welchem Biogaskomponenten entfernt werden, die schädlich für Anlagenteile, gastechnische Einrichtungen, Gasverwertungsgeräte oder die Endbenutzer sein könnten.
- Ein Methananreicherungs-Prozess (Upgrading-Prozess), bei welchem der Wobbe-Index, der Brennwert und andere Parameter so eingestellt werden können, dass die Qualitätsanforderungen an das biogene Erdgassubstitut dauerhaft eingehalten werden können.

### **Projektziele und Konzeption der Pilotanlage**

Ziel dieses Projektes war es, eine moderne, effiziente Methode auf Basis eines Membrantrennverfahrens zur Gewinnung von Methan aus Biogas – die sogenannte Gaspermeation – auf ihre Einsatzmöglichkeit und ihre Praxistauglichkeit im Dauerbetrieb in Verbindung mit einer Biogasproduktion durch Energiepflanzenvergärung zu untersuchen. Dabei wurde eine automatisierte Anlage für den Betrieb in einem Container gebaut, die alle wesentlichen Komponenten einer betrieblichen Anlage enthält:

- Gaskompression (zur Erzeugung des erforderlichen Betriebsdrucks für die Membraneinheit sowie für den Weitertransport des gereinigten Produktgases)
- Gasvorbehandlung (zur Entfernung von Verunreinigungen, die den Betrieb der Gaspermeationseinheit beeinträchtigen können)
- Gaspermeationseinheit (Membranmodul auf Basis einer Hohlfasermembrane)
- Gasanalyse (Qualitätskontrolle auf Basis einer Infrarot-Messtechnik, ergänzend dazu auch Gaschromatographie)
- Regelungstechnik (Regelung von Drücken, Temperaturen und Volumenströmen zur Einhaltung der Produktgas-Spezifikation)

Diese Container-Versuchsanlage wurde zu einer landwirtschaftlichen Biogasanlage zur Energiepflanzenvergärung transportiert und dort ein Teilstrom des produzierten Biogases soweit aufgearbeitet, dass die nach ÖVGW-Richtlinie G31 vorgesehenen Gaseigenschaften des methanreichen Produktgases erreicht werden. Die dabei gewonnenen Daten stellen die Basis für die Auslegung einer Anlage zur Biogasaufbereitung im technischen Maßstab dar. Darüber hinaus wurde im Rahmen dieses Projektes auch die Performance der eingesetzten Gaspermeationsmembran im Dauerbetrieb untersucht, um die Lebensdauer der Membran besser abschätzen zu können.

Ein wichtiges Ziel war die Minimierung des Methanverlustes, was durch die Rückführung des Permeates des zweiten Membranmoduls erreicht wurde. Das Permeat des zweiten Membranmoduls enthält einen höheren Anteil an Methan verglichen mit dem ersten Modul, weil das in dieses Modul eingespeiste Gas eine geringere Kohlendioxidkonzentration aufweist. Durch die gute Abstimmung des Verhältnisses der aktiven Trennflächen der beiden

Membranmodule zu einander gelangen nur geringe Mengen an Methan in den Abgasstrom. Die Minimierung des Methanverlustes ist jedoch mit einer erhöhten Verdichterleistung verbunden, da der rückgeführte Gasstrom für die Aufarbeitung erneut komprimiert werden muss. Ebenso steigt der Rezyklatstrom an, je schlechter, d.h. je höher der Kohlendioxidgehalt im Rohbiogas ist.

### **Screening eines neuartigen Gasanalyseystems**

Die Anforderungen an das Gasanalyseystem für Biogas sind vielfältig. Vor allem ist eine kontinuierliche Detektion der enthaltenen Komponenten in einem hohen dynamischen Bereich notwendig. Für die Komponenten CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> sind Konzentrationen im Vol% – Bereich nachzuweisen. Die Gase H<sub>2</sub>S und NH<sub>3</sub> sind jedoch im Spurenbereich von wenigen ppmV (parts per million) zu bestimmen. So ergibt sich die Herausforderung, dass selbst Spuren einer Gemischkomponente neben anderen, in hoher Konzentration vorhandenen Stoffen noch nachweisbar sein sollen. Für ein gutes Analysensystem sind also eine geringe Nachweisgrenze und minimale Querempfindlichkeiten Voraussetzung.

Dem gegenüber steht die Forderung nach mobilen Systemen mit geringen Kosten. Einzelhofanlagen und Gemeinschaftsanlagen kleiner bis mittlerer Größe stellen die Mehrheit der Betriebe dar. In diesem Bereich sind teure Analysensysteme nicht kostendeckend. Außerdem ist eine Analytik gefragt, welche an einer Anlage vor Ort robust genug ist, um die täglichen Anforderungen zu überstehen.

Zur Gewährleistung der Messgenauigkeit müssen Gasanalyse-Systeme in gewissen Abständen kalibriert werden. Für den Anwender soll damit aber kein Arbeitsaufwand verbunden sein. Das Zeitintervall für die Kalibrierung durch einen Techniker soll dabei 6 Monate nicht unterschreiten. Prinzipiell stehen mehrere Analysensysteme zur Verfügung, um die Konzentration der einzelnen Biogasbestandteile zu bestimmen, wie etwa Wärmetönung, Wärmeleitung, Infrarot, Chemosorption oder elektrische Bestimmung. Bei der Auswahl der Sensoren bzw. der Messverfahren darf jedoch nicht nur die Einzelkomponente betrachtet werden. Es müssen auch Störungen durch andere Begleitstoffe oder die Umgebungsbedingungen berücksichtigt werden (z.B. Wasserdampf, Druckeinfluss). Da es sich bei Biogas um ein Gasgemisch mit variabler Zusammensetzung aus mehreren Gasen unterschiedlicher chemischer und physikalischer Eigenschaften handelt, müssen die Sensoren selektiv auf den entsprechenden Gasbestandteil reagieren.

Aufgrund dieser Auswahlkriterien haben sich zur Bestimmung von Methan und Kohlendioxid Infrarotsensoren, zur Bestimmung von Schwefelwasserstoff und Sauerstoff elektrochemische Sensoren als geeignet erwiesen. Zur Messung der Gasfeuchtigkeit und der O<sub>2</sub>-Konzentration sind kommerzielle Sensoren mit einem guten Preis/Leistungs-Verhältnis erhältlich. Diese eigenständigen Sensoren für H<sub>2</sub>O und O<sub>2</sub> sind auch für die Analyse von Biogas als geeignet anzusehen.

Um den Stand der Technik auf diesem Gebiet zu eruieren, wurden eine Literaturrecherche und eine Marktübersicht erstellt. Aus diesen Analysen ist zu entnehmen, dass für die gesamte Problemstellung keine geeignete kommerzielle Lösung am Markt erhältlich ist.

Kommerziell erhältliche optische Sensorsysteme für CH<sub>4</sub> und CO<sub>2</sub> sind für den Einsatz zur Biogasanalyse zwar geeignet, elektrochemische Sensorsysteme für H<sub>2</sub>S und NH<sub>3</sub> scheitern jedoch an der Anforderung einer kontinuierlichen Langzeitmessung. Insbesondere die Notwendigkeit einer Online-Überwachung der Verunreinigungen von Biogas, verbunden mit mäßigen Gesamtkosten der Analytik, stellt hier eine Herausforderung für eine Neuentwicklung dar.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde deshalb ein neues Sensorsystem für die Biogasanalyse entwickelt. Aufgrund der gestellten Anforderungen an das Analysensystem wurde die photoakustische Detektionsmethode ausgewählt. Insbesondere der hohe dynamische Bereich verbunden mit niederen Nachweisgrenzen qualifiziert dieses Prinzip als geeignete Methode für eine Neuentwicklung für die Analyse von Biogas. Außerdem hat diese Analysenmethode das Potential, alle relevanten Biogaskomponenten kontinuierlich zu erfassen.

Die Photoakustische Spektroskopie (PAS) ist eine Anwendung der Absorptionsspektroskopie. Dies birgt den Vorteil, dass Streueffekte der Probe das Messsignal nicht verändern. Durch die direkte Abhängigkeit des Messsignals von der eingestrahlten Lichtleistung ermöglicht der Einsatz von Lasern eine starke Erhöhung der Empfindlichkeit. Werden Laser als Lichtquellen verwendet, lässt sich in den meisten Fällen der mechanische Chopper (Modulator) durch eine elektronische Steuereinheit ersetzen. In der PAS sind optische Weglängen von nur wenigen Zentimetern üblich. Das ermöglicht den Bau von kompakten und robusten Messaufbauten ohne jede mechanisch bewegte Komponente. Ein Mikrofon detektiert das PA-Signal und wird mittels eines speziellen Verstärkers elektronisch aufbereitet. Das erhaltene Signal ist über einen Konzentrationsbereich von 4 bis 5 Größenordnungen linear. Durch die Verwendung einfacher optischer Aufbauten, kleiner Messzellen und preiswerten Mikrofonen ist die PAS ein potentiell kostengünstiges und mobiles Messverfahren.

Der Prototyp wurde an der Pilotanlage in St. Martin auf seine Praxistauglichkeit getestet. Trotz starker Vibrationen und Lärmentwicklung durch den Gaskompressor konnte keine Veränderung der Messergebnisse gegenüber Laborbedingungen festgestellt werden.

### **Prozessmodellierung**

Die Arbeiten zur Konzipierung und Auslegung der Versuchsanlage begleitend, wurde ein mathematisches Modell des Prozesses auf Basis der Programmiersprache C++ erstellt. Das Modell beinhaltet die Stoff- und Energiebilanzen für die einzelnen Apparate der Anlage und Algorithmen zur Beschreibung der Stoffströme. In der Simulation wird das mathematische Modell bei vorgegebenen Bedingungen (Zusammensetzung und thermischer Zustand des Rohgasstromes, Einstellung/Beschaffenheit der Apparate, ...) gelöst und liefert so Voraus-sagen zum Verhalten des Prozesses.

Der Prozess – eine zweistufige Gaspermeation mit Rezirkulation des Permeates der zweiten Stufe – wird also durch einzelne Apparate und die verknüpfenden Ströme dargestellt, welche aus den Komponenten CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S bestehen.

Das Simulationswerkzeug wurde nun für zwei Rechenmodi konzipiert:

Der erste Rechenmodus liefert die Eigenschaften aller Prozessströme, die Leistung des Kompressors, der Wärmetauscher und der Kondensatoren. Mit diesen Ergebnissen kann nun die Performance des realen Prozesses evaluiert werden und weiters die Auswirkung von vom Auslegungsfall abweichenden Betriebsbedingungen vorausgesagt werden.

Der zweite Rechenmodus ermöglicht die Beantwortung einer der wesentlichsten Fragen bei der Prozess-Auslegung, die nach den Membranflächen der eingesetzten Membranmodule. So kann hier die Methankonzentration im Produktstrom entsprechend einer zur erreichenden Gasqualität sowie das Verhältnis der Membranflächen von Modul 1 und Modul 2 vorgegeben werden. Die Rechnung liefert daraufhin die Eigenschaften aller übrigen Prozessströme, die Leistung des Kompressors, der Wärmetauscher und der Kondensatoren und die erforderlichen Membranflächen.

### **Wichtigste Ergebnisse und Schlussfolgerungen**

Es wurde im Rahmen dieses Projektes gezeigt, dass aus Biogas durch die Aufbereitung mit Membrantrennverfahren ein Gas produziert werden kann, welches den sehr strengen Anforderungen des österreichischen Erdgasnetzes (ÖVGW-Richtlinie G31) entspricht und als Ersatzgas in das Netz der Gasversorger eingespeist werden kann.

Das Ziel des Projektes war aber auch der Aufbau einer Versuchs- und Demonstrationsanlage, um die Technologie angreifbar zu machen sowie die Weiterentwicklung der Anwendung von Membrantrennprozessen zur Anreicherung von Biogas. Ebenso stand im Vordergrund die Öffentlichkeit auf die Möglichkeit hinzuweisen, Biogas in Zukunft verstärkt als Substitut für Vergasertreibstoff einzusetzen.

Die gewonnenen Projektergebnisse leisten so einen hohen Beitrag zur Stärkung der österreichischen Forschungs- und Entwicklungskompetenz im Bereich „Nachhaltige Technologieentwicklung“.

Die direkte Umsetzung der gewonnenen Projektergebnisse in eine Großanlage würde einen aktiven Beitrag zur Sicherstellung der Energieversorgung Österreichs darstellen. Aufbereitetes Biogas kann einen in diesem Land sehr beliebten, jedoch auf der Erde nur in begrenzten Mengen vorkommenden Energieträger (Erdgas) zumindest teilweise substituieren. Erdgas ist der „umweltschonendste“ aller fossilen Energieträger, da er nahezu schadstofffrei verbrennt und die geringste Kohlendioxidemission pro kWh besitzt. Das Produktionspotential für aufbereitetes Biogas in Österreich ist jedenfalls enorm. Auch wenn unter Fachleuten über die genauen Zahlen noch Uneinigkeit herrscht, scheint eine jährliche Produktionsmenge von  $1,5 \cdot 10^8 \text{ m}^3$  sogar pessimistischen Schätzungen zu Folge möglich; optimistische Zahlen liegen sogar bei einer möglichen Jahresproduktion für Österreich von  $>10^9 \text{ m}^3$  (!).

Die in diesem Projekt mit einem rein österreichischen Konsortium entwickelte und erprobte Technologie zur Anreicherung von Methan im Biogas wurde speziell auf die Bestimmungen

für die Einspeisung in das heimische Gasnetz entwickelt. Die Anlage ist kompakt und einfach aufgebaut, sie sollte von einem interessierten Biogasanlagenbetreiber nach Einschulung bedient werden können.

Aufgrund ähnlicher Richtlinien für die Einspeisung von Biogas in das Gasnetz in den anderen Ländern der Europäischen Union ist der Einsatz des Verfahrens in diesen ebenfalls möglich. Mit Hilfe des im Zuge des Projektes entwickelten Simulationstools können die eventuell notwendigen Modifikationen berechnet werden, um die Biogasaufbereitungsanlagen an die lokalen Erfordernisse anzupassen.

Gereinigtes Biogas kann für den Betrieb von Kraftfahrzeugen eingesetzt werden, die mit komprimiertem Erdgas (CNG) betrieben werden. In Schweden und in der Schweiz gibt es bereits eine größere Anzahl an Kraftfahrzeugen, die mit aufbereitetem Biogas betrieben werden. Dazu bedarf es in Österreich jedoch noch der Verbreitung der erdgasbetriebenen Fahrzeuge. Diese ist aufgrund der geringen Anzahl an Tankstellen, an denen Erdgas getankt werden kann (nur 27 Stück in Österreich) noch sehr gering.

Die Europäische Union hat bereits im Jahre 2000 empfohlen, den Einsatz von Ersatzkraftstoffen stetig zu erhöhen, um die Abhängigkeit von Erdöl zu reduzieren. Neben der Verwendung von Biokraftstoffen wird insbesondere der Einsatz von Erdgas und Flüssiggas gefördert. Es ist daher in Österreich in naher Zukunft mit der Verbreitung von CNG-Fahrzeugen, die auch mit aufbereitetem Biogas betankt werden können, zu rechnen.

Das Marktpotential für aufbereitetes Biogas ist groß, da der Energiebedarf stetig steigt. Im Moment fehlen in Österreich jedoch noch zum Teil die rechtlichen Rahmenbedingungen oder/und eine dem Ökostromgesetz entsprechende Förderrichtlinie, damit aufbereitetes Biogas den Durchbruch schaffen kann.

## **Abstract**

### **General remarks**

Based on the new law which is active since January 1, 2003, for the reimbursement of electricity produced from renewable energy sources, it has become more attractive to produce biogas and convert it into electricity via gas engines. Larger biogas plants have recently started its operation, however, only ecologically produced electricity is subsidized at the moment. Yet there is no clear directive how to handle the usage of the co-generated heat. Especially during the summer heat usage will stay low, thus reducing the overall efficiency and energy usage from biogas with the increasing number of plants in operation. In consequence, significant sources of income for the biogas producer will continue to be unused. Furthermore, acceptance problems may arise, because the electricity endusers – the public – have to pay for the extra cost of electricity produced from biogas.

Biogas produced from grass or energy crops is a gas mixture containing methane (50-75%), carbon dioxide (23-48%), hydrogen (up to approx. 2%) and traces of hydrogen sulphide and ammonia. Biogas when produced is saturated with water. Biogas can be used for several purposes: direct energetic usage (combustion), combined heat and power generation (gas engines, gas turbines), compression and usage as fuel, and the usage as a natural gas substitute after upgrading and compression.

Upgrading of biogas offers interesting alternatives:

- Up to 90% of the energy from the raw biogas can be fed into the gas grid (based on the assumption that raw biogas is also used for heating the fermentation).
- Biogas can be used in different places away from the biogas plant. As a consequence, higher revenues may arise for the biogas producer.
- Gas can be transported without significant losses over long distances. Gas storage is also possible.
- Biogas plants will no longer be dependent on nearby users of heat.

Biogas upgrading involves following steps:

- Corrosive or otherwise dangerous compounds have to be removed.
- Via removal of carbon dioxide the Wobbe-Index, the higher heating value and other gas parameters have to adjusted in order to meet local quality regulations.

### **Major project goals – the concept of the pilot plant**

For the usage as a natural gas substitute it is important to develop an efficient and robust technology to remove carbon dioxide, humidity and the traces of ammonia and hydrogen sulphide for the specific requirements in rural areas.

Current technologies have certain disadvantages: using water absorption, for instance, it is difficult to reach the required methane concentration according to the Austrian gas quality

directive G31 for the direct usage as a natural gas substitute. Investment costs are usually high and the specific energy consumption as well as the consumption of other resources (e.g. cooling water or fresh water for water scrubbers) are rather high.

It was the main goal of the project “Efficient Biogas Upgrading using Membrane Technology” to develop a modern efficient method based on a membrane separation technology and to test the technology in combination with a biogas fermentation for the digestion of energy crops.

For this purpose a mobile pilot plant unit was designed and built that contains all necessary components of a full-size production plant:

- Gas compression to achieve and adjust the operating pressure within the membrane separation devices and for the transport of the product gas into grid (which is usually under pressure).
- Gas pre-treatment for the removal of contaminants that may have adverse effect on the membranes.
- Gas permeation system (hollow fibre membrane modules).
- Gas analysis for the quality control of the product gas.
- Process control to keep the product specification and the operating conditions within a well-defined window.

This mobile pilot plant was transported to an agricultural biogas production facility using energy crops as fermentation feed source. During the demonstration phase of the project a small bypass raw biogas stream of up to 1 m<sup>3</sup>/h was upgraded to meet the requirements of the Austrian natural gas quality directive ÖVGW G31. The product gas quality was analyzed and confirmed by an independent laboratory. The results achieved are the basis for a future full-scale design of a biogas upgrading facility. Although the membrane lifetime cannot be estimated from the runs so far, only a small performance decline of the membrane modules was observed.

One major goal was to reduce methane losses – the innovative process design required only one compressor; additionally, the methane losses could be reduced down to below 2%.

### **Screening of gas analysis systems**

The accurate online analysis of biogas is difficult and expensive. Analysis systems have to meet various objectives. Concentrations may range from parts per million up to 60% and more. Analyzing hydrogen sulphide and ammonia in the gas phase needs devices with minimum cross sensitivity and low detection limits. On the other hand, analysis systems should be mobile, cheap and robust. Calibration of such systems should be easy and needed only after long time of operation.

Within the project, state-of-the-art techniques were evaluated to define the needs for new developments. The project involved the screening of new gas analysis techniques for the

online monitoring of the product gas. A new technology based on a photoacoustic signal generation was tested by constructing a suitable prototype for the measurement of carbon dioxide. The system shows a wide dynamic range, it is simple to build as the signal can be detected by a microphone. Using lasers reduces the size for the gas cells, and there are no moving parts involved thus increasing the robustness. The prototype was tested under rough conditions in St. Martin, the vibrations and the noise of the gas compressor did not interfere with the photoacoustic detection system. The results are promising and they may be the basis for further development.

Safety measures for the scale up of the technology and suitable control techniques were investigated and recommendations were given for the fully automated plant operation. A concept was developed for the quick shutdown of the upgrading facility.

### **Process modelling**

Finally, a C++ based simulation tool was developed to model and scale up the investigated technology. The simulation model considers all the individual unit operations (compression, condensation, gas permeation, adsorption) and will be the basis for a future scale-up.

The simulation model could be used in two modes:

- Calculation of all the material and energy balances, the duties of all machinery involved, and evaluation of the real process via comparison with the model (tuning possibilities)
- Optimization of the sizes of the membrane stages 1 and 2 based on a desired gas quality

### **Important results and conclusions**

It was shown that the chosen technology is suitable for the upgrading of biogas. An independent laboratory confirmed that the gas quality achievable is compatible with the Austrian natural gas quality directive ÖVGW G31.

The pilot plant was shown to the public. Many visitors were explained the technology and were toured through the facility. Results were disseminated via press conferences, television interviews and publications.

The possibilities for the production of upgraded biogas are large. Optimistically, more than  $10^9$  m<sup>3</sup> per year can be fed into the grid (more than 10% of the Austrian domestic consumption), however, the product prices for upgraded biogas are still much higher than natural gas prices – thus subsidies are needed.

Upgraded biogas can be used as car fuel. However, the number of CNG vehicles in Austria is still very low due to the fact that there are less than 30 public CNG stations available in Austria.

The market potential of upgraded biogas is high because of increasing energy demand every year. Yet, federal regulations are missing for a smooth and economically feasible technology implementation.





[www.NachhaltigWirtschaften.at](http://www.NachhaltigWirtschaften.at)