

Jahresbericht 2001, 14. Dezember 2001

# Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas

Autor und Koautoren	W. Edlmann, U. Baier, H. Engeli, K. Schleiss
beauftragte Institution	arbi, Arbeitsgemeinschaft Bioenergie GmbH
Adresse	Lättichstr. 8, CH-6340 Baar
Telefon, E-mail, Internetadresse	+41 41 7632121, <a href="mailto:info@arbi.ch">info@arbi.ch</a> , <a href="http://www.arbi.ch">www.arbi.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	35408, 75187
Dauer des Projekts (von – bis)	1.12.1999 bis 1.12.2001

## ZUSAMMENFASSUNG

Ziel dieses abgeschlossenen Projekts war, die Umweltfreundlichkeit der Stromgewinnung aus landwirtschaftlicher Biogasproduktion zu bestimmen, um beurteilen zu können, ob dieser Strom als Ökostrom unter dem Label "naturemade star" verkauft werden kann. Es wurden verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Substratzusammensetzungen (verschiedene Güllen mit Cosubstraten), Baumaterialien (Stahl und Beton) und unterschiedlichen BHKW zur Energiefreisetzung gerechnet. Als Standardvariante wurde eine Mischgülle (Rind/Schwein = 50/50) ohne bzw. mit 2 m<sup>3</sup> Cosubstrat in einem Betonfermenter à 300 m<sup>3</sup> Inhalt vorgegeben.

Die Gewichtung der Folgen, welche durch die Emissionen bei Bau, Betrieb und Abbruch der Anlagen in verschiedenen Wirkungskategorien bewirkt werden, erfolgte mit EcoIndicator 2000. Die Resultate mehrerer Rechengänge, bei welchen auch Sensitivitäten getestet wurden, zeigen einerseits die Vorteile der Gewinnung erneuerbarer Energie. Andererseits jedoch schlagen vor allem die Ammoniak-Mehremissionen der Biogasgülle sehr stark zu Buche. Diese entstehen hauptsächlich beim und unmittelbar nach dem Austragen.

Es zeigte sich, dass die Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas den Grenzwert von 3'875 EI'99-Punkten überschreitet, sofern keine flankierenden Massnahmen ergriffen werden: Durch die Abdeckung des/eines Nachgärbehälters werden einerseits Lachgasemissionen aus der sonst aeroben Schwimmdecke wie auch Ammoniakemissionen verhindert. Andererseits wird das stark treibhausaktive Methan aufgefangen und gleichzeitig einer zusätzlichen energetischen Nutzung zugeführt. Diese Massnahmen bewirken, dass der Grenzwert i.d.R. unterschritten werden kann. Stärker zu Buche schlägt die Umstellung der Güllenbewirtschaftung von Ausspritzen ab Rohr oder Druckfass auf ein umweltverträglicheres Verfahren, wie z.B. Schleppschlauchverfahren. Bei Umstellung der Güllenbewirtschaftung werden die Einsparungen der Umweltbelastung deutlich grösser als die durch die Anlage bewirkten Mehrbelastungen.



## Projektziele

Die hier beschriebene Arbeit möchte mittels Ökobilanzen abklären, ob der auf Landwirtschaftsbetrieben aus Biogas hergestellte Strom die Bedingungen für Ökostrom erfüllt. Dabei wird auf Gülle aus der Tierhaltung von Milchvieh und von Mastschweinen abgestellt, welche in einzelnen Rechnungsvarianten mit Cosubstraten aus der Umgebung des Landwirtschaftsbetriebs ergänzt werden.

Bei den Cosubstraten soll sowohl von der Menge als auch vom Gasertrag her die landwirtschaftliche Seite (Tierproduktion) über der Entsorgungsfunktion stehen. Bei Betrieben, wo grosse Mengen an Cosubstraten von Dritten angeliefert werden, stellt sich das Problem der Nährstoffbilanz der Böden. Die vorliegende Ökobilanz betrachtet daher Betriebe, welche ökologisch vertretbare Mengen von Cosubstraten zusammen mit den landwirtschaftlichen Substraten vergären.

Die Aufwendungen für den Anlagenbau wurden an zwei Praxisanlagen unterschiedlicher Bauart erhoben (Beton- bzw. Stahlfermenter). Bei den Betriebs- und Emissionsdaten war ursprünglich geplant, sich vollständig auf eigene Erhebungen abzustützen. Bei den gasförmigen Emissionen (insbesondere Methan und Ammoniak) zeigte sich jedoch im Rahmen der Messungen, dass die Streubereiche in Abhängigkeit verschiedener Variablen sehr gross sind, und dass Messungen in einem Umfang nötig gewesen wären, welche den Umfang des Projekts gesprengt hätten. Man führte daher zusätzlich verschiedene Literaturrecherchen durch und setzte die eigenen Messungen zur Überprüfung der Plausibilität der Literaturwerte ein. Als Anlagengrösse wurde 300 m<sup>3</sup> gewählt.

## Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Das methodische Vorgehen wird im Detail beschrieben. Neben zwei Bauweisen der Anlage (Stahl und Beton) und Variierung von Substraten (Güllen von Schwein, Milchvieh, bzw. Mischgülle mit und ohne Zugabe von Cosubstrat) wurden die gasförmigen Emissionen variiert (Reduktion der Ammoniakemissionen, Nutzung der Nachgärung unter Reduktion der Methan- und Lachgasemissionen, erhöhte Methanemissionen aus der Lagerung unvergorener Gülle sowie unter Einsatz von verschiedenen Aggregaten zur Stromgewinnung). Verschiedene Sensitivitäten - auch zu BHKW-Typen - wurden gerechnet und anschliessend diskutiert, um die Beeinflussung des Resultats durch einzelne Parameter abzuklären.

Es kann festgehalten werden, dass die Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas auch ohne Optimierungsmassnahmen umweltfreundlicher ist als die konventionelle Energiegewinnung aus fossilen Energieträgern. Für das Unterschreiten der stark einschränkenden Bedingungen des Labels "naturemade star" von aktuell 3'875 EI'99-Punkten/TJ Strom (Optik: Hierarchist) ist jedoch mindestens die Abdeckung des Güllenlagers zwecks Nutzung der Nachgärung bei gleichzeitiger Reduktion der Methan- und Lachgasemissionen erforderlich.

Als Referenzwert wurde die Bewirtschaftung von nicht vergorener Gülle herangezogen, d.h. es wurden nur die durch die Biogasgewinnung hervorgerufenen Mehrbelastungen betrachtet. Die Ökobilanz zeichnet sich durch Unsicherheiten aus bei den gasförmigen Emissionen (Ammoniak, Lachgas, Methan), welche einen starken Einfluss auf das Resultat ausüben. (Ammoniak ist für mehr als die Hälfte der Umweltbelastung des Prozesses verantwortlich). Die gasförmigen Emissi-

onen werden durch eine sehr grosse Anzahl von Parametern beeinflusst, welche von Betrieb zu Betrieb sehr unterschiedlich sein können (Betriebstyp, Fütterung, Aufstallung, Art der Lagerung, Bodenbeschaffenheit, Bewirtschaftung von Gülle und Wasser etc.). Gleichzeitig werden die gasförmigen Emissionen durch Bakteriengemeinschaften bewirkt, welche ihrerseits wieder von verschiedensten abiotischen Umweltfaktoren beeinflusst werden.



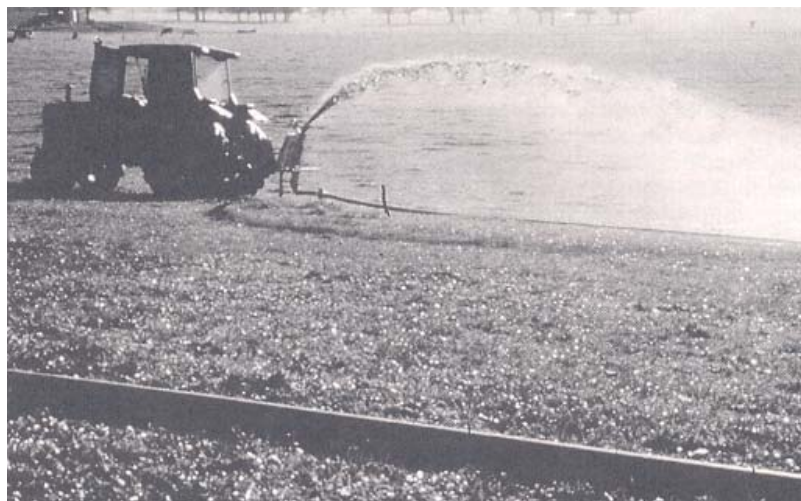
**Foto 1:** Gesamtansicht der Anlage Schmid, Goldach; vor dem Fermenter der Schutzraum für die Gasverwertung. Der Gasspeicher besteht aus einer die Gülle nach oben abdeckenden, offenen Folienkonstruktion.



**Foto 2:** Gesamtansicht der Anlage Wartmann, Bissegg; links vom Fermenter der Lager- und Aufbereitungsbereich. Der Gasspeicher ist unter dem Dach im Fermenter integriert. Das BHKW befindet sich in einem Raum unmittelbar an den Fermenter anschliessend im Untergeschoss des Lagerbereichs.

Unter den vorgängig erwähnten Prämissen können trotzdem die folgenden Aussagen als gesichert gelten:

- Die heutige Landwirtschaft, insbesondere die Bewirtschaftung der Hofdünger, ist stark umweltbelastend und trägt massgebend zu den schweizerischen Emissionen von Ammoniak, Methan und Lachgas bei. Dadurch, dass die Hofdünger während des Abbaus im Lager nicht in Kontakt mit Boden und Pflanzen sind, kann der mineralische Stickstoff nicht gebunden werden; er verflüchtigt sich teilweise bereits im Lager und speziell beim und unmittelbar nach dem Ausbringen als Ammoniak und auch als Lachgas.
- Die landwirtschaftliche Biogasgewinnung verstärkt die Emissionen insbesondere beim sehr stark umweltschädlichen Ammoniak: Durch den optimierten anaeroben Abbau werden mehr Kohlenstoffverbindungen abgebaut und daher mehr Stickstoff mineralisiert. Mehr Ammonium bei gleichzeitig höherem pH führt zu mehr Emissionen, welche in der Bilanz stark zu Buche schlagen. Ohne flankierende Massnahmen ist die landwirtschaftliche Biogasverstromung daher unter dem Label "naturemade star" nicht ökostromtauglich.
- Gesichert ist, dass die Nutzung der Nachgärung (durch Abdeckung zumindest des ersten Lagerbehälters) die Methan- und auch Lachgasemissionen stark reduziert. Diese Verbesserung hat im Vergleich zum Referenzsystem (Lagerung und Ausbringen un behandelter Gülle) zur Folge, dass ein bedeutender Teil der durch die Biogasgewinnung hervorgerufenen Mehrbelastung verhindert, bzw. kompensiert werden kann.
- Gesichert ist ebenfalls, dass die Ammoniakemissionen ganz beträchtlich reduziert werden können, indem für die Gülle schonende Ausbringmethoden zu günstigen Zeiten angewendet werden. Sofern der Bauer seine Güllenbewirtschaftung von Versprühen auf Schleppschlauchverfahren umstellt, ist die Reduktion der Umweltbelastung mehrfach grösser als die durch die Biogasgewinnung bewirkte Mehrbelastung.



**Foto 3:** *Beim Versprühen der Gülle wird deren Oberfläche durch die Tröpfchen- und Nebelbildung um mehrere Zehnerpotenzen vergrössert, was den Übertritt von Ammoniak in die Gasphase erleichtert. Zudem wird die Gülle auf der Oberfläche von Pflanzen grossflächig verteilt, was ebenfalls stark emissionsfördernd wirkt. (Bildquelle: Frick et al., 1997)*

Für die in Haus und Hof genutzte Abwärme wurde eine Gutschrift im Umfang der Belastung bei Bereitstellung derselben Wärmemenge mit Erdgas in einem LowNO<sub>x</sub>-Gaskessel erteilt. Tabelle A zeigt die Performances von Rechenvarianten unter Gutschrift für genutzte Wärme mit dem standardmässig eingesetzten BHKW (Magermotor, 60 kW<sub>el</sub>).

Pro TJ Strom produziert:	Dim.	Oe- kostrom Grenzwert	MG	MG CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O opt.	MG opt. tot.	MG +Cos	MG+Cos CH <sub>4</sub> + N <sub>2</sub> O opt.	MG+Cos opt. tot.
EI'99, Hierarchist	Punkte	<b>3'875</b>	4'890	<b>3'600</b>	<b>820</b>	4'240	<b>3'080</b>	<b>1'270</b>

**Tab. 1:** Durch Biogasgewinnung hervorgerufene Mehrbelastungen bei der Produktion von 1 TJ Strom mit dem Standard-BHKW 60 kW<sub>el</sub> in einer 300 m<sup>3</sup> Betonanlage bei Wärmegutschrift für die in Haus und Hof genutzte Wärme (Auszug aus Tabelle 17)

MG: Mischgülle, Cos: Cosubstrat, CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O opt.: Nutzung der Nachgärung, Opt. tot.: Zusätzlich sorgfältiges Ausbringen der Gülle mit Schleppschlauchverfahren

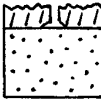
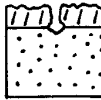
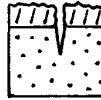

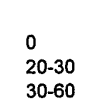
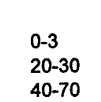
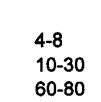
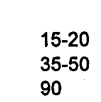
Verschiedene Überlegungen, welche jedoch kaum exakt quantifizierbar sind, sprechen für ein besseres Abschneiden der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas. So konnte beispielsweise mangels quantifizierbarer Daten nicht berücksichtigt werden, dass die Biogasgülle in verschiedenen Belangen Vorteile bringt (z.B. zu Verbesserung der Fliesseigenschaften, Stickstoffverfügbarkeit, Geruchsverminderung etc.).

Im Diskussionsteil des Schlussberichts (*Edelmann et al., 2001*) werden diese Überlegungen ausführlich besprochen. Gleichzeitig werden auch die ganz beträchtlichen Schwankungsbreiten der gasförmigen Emissionen in Abhängigkeit verschiedenster Parameter dargestellt. Unter Berücksichtigung dieser Argumente kann auch das Zündstrahl-BHKW, welches infolge des Einsatzes von Zündöl eine leicht schlechtere Performance aufweist als ein Magermotor oder ein Motor mit Katalysator, bei Nutzung der Nachgärung ebenfalls prinzipiell Ökostromtauglichkeit erreichen.

Es wird empfohlen, für die Erteilung des Labels „naturemade star“ für Strom aus der landwirtschaftlichen Biogasgewinnung folgende Minimalbedingungen zu fordern:

- Der Güllelagertank muss als Nachgärbehälter ausgestattet werden,
- Der Landwirt verpflichtet sich, die Gülle immer möglichst umweltschonend auszubringen,
- Der Landwirt verpflichtet sich, den Wärmebedarf seines Hofes so weit als möglich mit der Abwärme des BHKW zu decken und
- die Betriebsdaten der Anlage regelmässig zur Kontrolle zu erfassen.
- Sofern der Landwirt ein Zündstrahl-BHKW betreibt, verpflichtet er sich, den Zündölverbrauch nach neuestem technischen Stand weitestmöglich zu senken.

Die erhobenen Betriebsdaten sollen zusammen mit bei der Zertifizierung erhobenen Anlagedaten (Bauweise, Isolation der Komponenten, Grösse, BHKW-Typ etc.) erlauben, die jeweilige Anlage in einem Kenngrössenmodell zu bilanzieren.

	Schlepp- schläuche	Schlepp- schuhe	Schlitz- drill	Tiefe Injektion
Wiese				
Boden				
Arbeitstiefe cm	0	0-3	4-8	15-20
Ausbringung m <sup>3</sup> /ha	20-30	20-30	10-30	35-50
Emissionsreduktion %	30-60	40-70	60-80	90

**FAT** Rainer Frick 25.11.1996 Fc  
nh3r2\_4.prs

**Abb. 1:** Verschiedene Techniken der schonenderen Gülleausbringung und deren Einsparpotenzial bei der Ammoniakemission (Quelle: Frick et al., 1997)

Auf die zwingende Forderung nach der Nutzung der Nachgärung könnte bei der Zertifizierung eines Betriebs u.U. dann verzichtet werden, wenn der Betreiber gleichzeitig mit dem Bau der Biogasanlage sein Gülle-Management auf Schleppschlauchverfahren umstellt, da dann die Einsparungen durch schonendes Gülle-Management auf jeden Fall deutlich grösser sind als die gesamten durch die Biogasanlage hervorgerufenen Mehrbelastungen.

## Abstract

The aim the study "Life cycle assessment (LCA) of electricity produced by agricultural biogas" is to determine, whether electricity from farm biogas may be ecologically safe enough to fulfil the standards of the top label "naturemade star" for eco-electricity. The LCA was done with "Ecoindicator'99". Results of "Ecoindicator'95" and "UBP" are presented for comparisons. Details on the methodology of the new EI'99 are given.

In the study, different combinations of parameters were calculated: Two methods of construction were compared (i.e. digester construction material: cement or steel). Different substrates were used (pig or dairy manure, respectively a mixture of both, eventually combined with the addition of co-substrates). The amounts of the emissions were varied by different technical assumptions (reduction of ammonia emissions by improved manure handling; use of the biogas generated in the slurry tank by covering it with a plastic membrane in order to reduce CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O-emissions; assumed higher values for the emission of methane from the storage of undigested manure (reference); use of different motor technologies for electricity generation). The calculation of sensitivities allowed an accurate discussion of the parameters important in the context of this LCA.

It can be shown that the production of electricity from agricultural biogas (even without any technical improvement) is environmentally safer than electricity generated by fossil sources or an electricity mixture such as produced conventionally in Europe. The label "naturemade star" allows actually at the most 3'875 EI'99-points/TJ electricity as weighted by the so-called "Hierarchist". Here, technical solutions are needed to fulfil the conditions imposed: At the least, the manure storage

tank must be covered by a membrane to take profit of the escaping methane and to reduce  $N_2O$  emissions, which could escape from an aerobic scum layer.

Biogas production was compared to ordinary storing of undigested manure, i.e. only surplus emissions caused by biogas production were taken into account. The amounts of  $CH_4$ ,  $N_2O$  and  $NH_3$ -emissions may vary considerably. At the same time, these gaseous emissions show to have a very large influence on the result of the LCA (ammonia surplus emissions of the slurry while being stored and brought out to the fields count for over 50% of the environmental impact). The amounts of these emissions depend on factors such as: feeding diet of the animals, water use on the farm, kind of storage tank (covered/uncovered), type of soil, manure management etc.. Simultaneously, the bacteria producing the gases depend on a variety of abiotic factors such as (soil) climate, availability of oxygen and water, availability of organic matter etc.. Despite of these uncertainties, the following statement seem to be accurate:

- Modern agriculture, especially the management of animal manure, is very polluting and responsible for very large parts of the Swiss  $CH_4$ ,  $N_2O$  and  $NH_3$  emissions. Because having no contact to the soil while being stored, mineral nitrogen cannot be taken up and fixed by plants. It evaporates in the form of  $NH_3$  and  $N_2O$  during storing already and especially while being brought out and immediately thereafter.
- While producing biogas, especially the emissions of ammonia are increased: anaerobic digestion increases the degree of degradation of the organic matter and hence the mineralisation of nitrogen. More ammonium-ions at simultaneously higher pH-levels cause higher concentrations of free ammonia and thus higher emissions - what shows to have a heavy impact on the result of the LCA. Without additional technical improvements, electricity from agricultural biogas is clearly not fit for the label "naturemade star".
- $CH_4$  and  $N_2O$ -emissions are reduced considerably, if covering the storing tank by a plastic foil in order to take profit of the biogas generated in the storage tank. This improvement (in comparison to the reference, i.e. ordinary storing of undigested manure) compensates for a large part of the surplus emissions of biogas production.
- Ammonia emissions may be reduced considerably by applying manure with accurate methods at good times (cool and humid weather, no wind, optimal growth stage of the plants, etc.). If a farmer changes its manure management, the savings may be up to 2-3 times larger than the total impact caused by biogas production. The ammonia emissions (dangerous to the environment) may be reduced specially, if the manure is not sprinkled (with a huge amount of tiny droplets and thus a huge surface for evaporation), but if applied directly to the soil by a trail-hose or by a similar device.

A benefit was given for that part of the generator waste heat, which is used on the farm for room heating and warm water production: The environmental impact was calculated for producing the same amount of heat by a Low $NO_x$ -burner (condensation) powered by natural gas. This impact was deduced from the impacts of biogas production. Table A shows the performance of some sensitivities including the benefits for the heat used on site.

There are different reasons - which could not be quantified in this study - which suggest that agricultural biogas production performs even better than presented in the tables and figures (e.g. improvement of the manure quality, which is a third product besides of electricity and heat). Taking account of the arguments presented in the chapter "discussions", the performance of the biogas-electricity could be improved by several hundred EI'99-Pts. This would allow to reach the limit imposed by "naturemade star" also while using co-generators driven with 7-10% of fossil oil for igni-



tion (these show higher environmental impacts than the other co-generators compared in this study).

Reference: Prod. of 1 TJ <sub>el</sub>	Dim.	Eco- limit	MM	MM CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O opt.	MM opt. tot.	MM+Cos	MM+Cos CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O opt.	MM+Cos opt. tot.
EI'99, Hierarchist	Points	<b>3'875</b>	4'890	<b>3'600</b>	<b>820</b>	4'240	<b>3'080</b>	<b>1'270</b>

**Tab. A:** *Surplus emissions caused by the production of 1 TJ electricity with agricultural biogas using the Standard co-generator (60 kW<sub>el</sub>) in a 300m<sup>3</sup> cement plant including the benefit for the heat used on site (extract of table 17 of the final report)*

*MM: mixture of pig and dairy manure (50/50); Cos: co-substrate; CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O opt.: using the biogas generated in the storage tank by installing a covering; Opt. tot.: Additional: improved manure management while bringing the manure out to the fields.*

It is recommended to award the label "naturemade star" for electricity from agricultural biogas if the following conditions are fulfilled:

- The storage tank is covered in order to reduce CH<sub>4</sub> and N<sub>2</sub>O-emissions,
- The farmer brings out his manure as carefully as possible,
- The waste heat of co-generation is used for heating purposes as much as possible and
- The data of running the plant are recorded regularly for controlling purposes.

These data combined with the plant construction data will allow to make an estimation on the performance of a plant to be certified. The covering of the storage tank may not be necessary, if the farmer changes to a manure management, which is less polluting than sprinkling, simultaneously with the biogas plant construction. The savings of improved manure management will be larger than the additional impacts caused by biogas production.

## Referenzen

Edelmann, W., Baier U., Engeli H. Schleiss K. (2001): **Ökobilanz der Stromgewinnung aus landwirtschaftlichem Biogas**, BFE/ENET (95 Seiten)

Frick R., Menzi H. (1997): **Hofdüngeranwendung - wie Ammoniakverluste verhindern**. FAT Berichte, Nr. 496, CH-8356 Tänikon