

## **Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus Biogas**



**Nr. V – 3/2009**

---

Zusammengestellt von der Arbeitsgruppe V (Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung) im „Biogas Forum Bayern“ von:



**Hans Bachmaier**

**Kerstin Bayer**

**Dr. Andreas Gronauer**

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Landtechnik und Tierhaltung



**Georg Friedl**

**Stefan Rauh**

**Dr. Hubert Pahl**

Technische Universität München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaus

# Treibhausgasemissionen der Energieproduktion aus Biogas

Die Bereitstellung von Energie aus Biomasse („Bioenergie“) erfährt derzeit in den entwickelten Ländern ein starkes Wachstum. Hauptziel ist dabei die Verminderung der Kohlendioxid- und anderer Treibhausgasemissionen durch die Substitution fossiler Brennstoffe. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass sich die Potenziale der verschiedenen Formen und Nutzungspfade der Bioenergie zur Minderung der Treibhausgasemissionen stark unterscheiden.

Im folgenden Beitrag werden Treibhausgasbilanzen modellhafter landwirtschaftlicher Biogasanlagen vorgestellt und die stärksten Einflussfaktoren auf das  $\text{CO}_2\text{-Äq}$ -Minderungspotential der Kraft-Wärme-Kopplung auf der Basis von Biogas diskutiert.

## Ziel

Das Ziel der Bewertung soll einerseits der Vergleich der Treibhausgasbilanz landwirtschaftlicher Biogasanlagen mit fossilen Energiebereitstellungssystemen, andererseits auch der Vergleich verschiedener Biogasanlagen-Konzepte untereinander sein. Abbildung 1 zeigt die wesentlichsten klimawirksamen In- und Outputströme. Die Treibhausgasbilanzen verschiedener Anlagenkonzepte sollen die Haupteinflussfaktoren auf den Treibhauseffekt von Biogasenergie verdeutlichen.

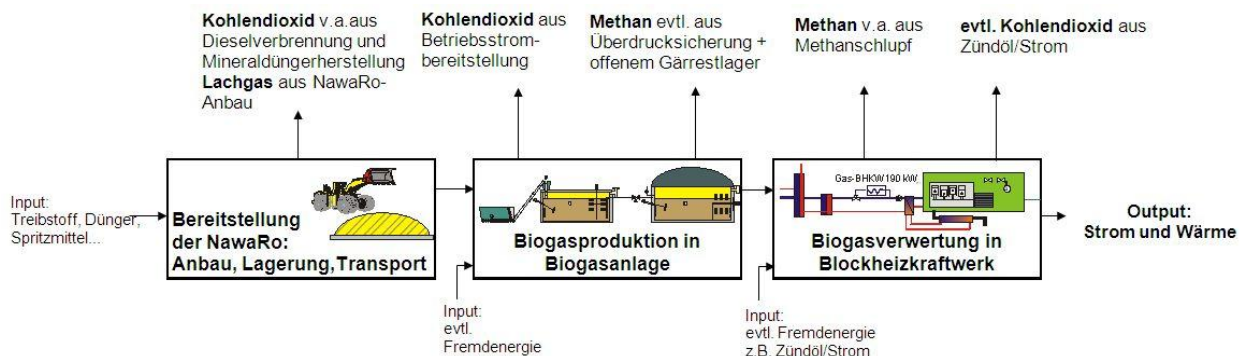


Abbildung 1. Verfahrensschritte der landwirtschaftlichen Biogasproduktion mit klimarelevanten Stoffströmen

## Anlagenvarianten – Charakteristika und Annahmen

Als Rahmen für die Bilanzierung bietet sich die Biogasanlage inkl. Vorkette an (Abbildung 1). Die Vorkette entspricht dem „Klima-Rucksack“, den Produkte mitbringen, die in den Bilanzierungsrahmen importiert werden (v. a. Mineraldünger, Dieseldieselkraftstoff und elektrische Energie). Das Zielprodukt der betrachteten Anlagen ist elektrischer Strom, der zu den Konditionen des Erneuerbare-Energien-Gesetzes in das öffentliche Netz eingespeist wird. Die verwertete Abwärme wird mit einer Gutschrift bewertet, da die Verbrennung fossiler Brennstoffe vermieden wird. Die Vergärung von Wirtschaftsdüngern wird ebenfalls mit einer Gutschrift bewertet, weil die bei der Wirtschaftsdünger-Lagerung unweigerlich auftretenden Methanemissionen durch eine zeitnahe Vergärung stark reduziert werden können.

Es werden 6 Anlagenvarianten berechnet, von einer Variante zur nächsten wird jeweils nur ein Faktor verändert. Abbildung 2 zeigt die Klimabilanz der 6 Anlagenvarianten. Alle Angaben beziehen sich auf eine kWh Strom der ins öffentliche Netz eingespeist wird. Die klimarelevanten Emissionen wurden auf CO<sub>2</sub>-Äquivalente umgerechnet. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen bzw. -Gutschriften werden in der Hochwertachse dargestellt. Der schmälere Balken zeigt jeweils die Summe aus Emissionen bzw. CO<sub>2</sub>-Einsparungen an.

Folgende Annahmen wurden getroffen:

**NawaRo-Bereitstellung:** Die Modellanlagen werden mit einer NawaRo-Mischung aus 50% Mais, 25% Getreide-Ganzpflanzensilage und 25% Grassilage (Frischmasseverhältnis) beschickt. Bei den Varianten 1 bis 3 werden 30% Wirtschaftsdünger eingesetzt (Frischmasseanteil). Methanerträge wurden nach [5] und [7], Dieserverbräuche nach [6] berechnet. Bezüglich der Lachgasemissionen wird angenommen, dass 1.25% des ausgebrachten Stickstoffs (in Gärrest und Mineraldünger) zu Lachgas umgesetzt werden [3].

**Biogasproduktion:** Die Energieverbräuche wurden mittels Messungen auf modernen Biogasanlagen ermittelt. Dabei wurde ein Bezug des Betriebsstroms aus dem Stromnetz angenommen. Die Klimabilanz der Errichtung von Biogasanlagen basiert auf dem Materialinventar von Praxisanlagen. Die diffusen Methanemissionen wurden pauschal mit 1% der Methanproduktion angesetzt. Die Varianten 5+6 besitzen keine Gärrestlagerabdeckung.

**Energieproduktion:** Es wurden jeweils Gasmotor-BHKW mit elektrischem Nutzungsgrad 36% angenommen. Die Berechnung der BHKW-Emissionen basiert auf Messungen an Praxisanlagen. Die Gärrestlageremissionen wurden aus Kalt-Gärversuchen mit Nachgärermaterial von Praxisanlagen abgeschätzt.

**Wärmegutschrift:** Im deutschen Wärmemix werden 232 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>therm</sub> emittiert [2]. Wird die Abwärme des BHKWs genutzt, entsteht eine Gutschrift in Höhe der Emissionen für die Wärmebereitstellung im dt. Wärmemix. In den Varianten 1 und 2 wurde eine relativ gute Wärmenutzung mit 0,5 kWh<sub>therm</sub> bezogen auf eine kWh<sub>el</sub> angenommen. In den Varianten 3 bis 6 wird die Wärme nicht genutzt.

**Gutschrift für vermiedene Emissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung:** Für Hühnermist wurde eine Gutschrift in Höhe von 10% des Methanertrags angesetzt, bei Rindergülle in Höhe von 15% des Methanertrags [4].

## Anlagevarianten - Ergebnisse

**Variante 1** bildet einen günstigen Fall der Klimabilanz einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (Abbildung 2). 27% der Klimagasemissionen (absolut: 78 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>) entstehen direkt (durch Dieselverbrennung) oder indirekt (z.B. Herstellung von Mineraldünger) beim **Anbau der NawaRo**. Diese Emissionen werden übertroffen von den geschätzten Lachgasemissionen aus den NawaRo-Anbauflächen (90 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>). Die **Errichtung der Anlage** verursacht 3% der treibhauswirksamen Emissionen (10 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>). Der **Betrieb der Anlage** verursacht Emissionen in Höhe 39 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/kWh<sub>el</sub>. (14% der Treibhausgasemissionen) Da der Betriebsstrom komplett aus dem öffentlichen Netz bezogen wird, handelt es sich um indirekte Emissionen, die im deutschen Kraftwerksmix für die Bereitstellung dieser Energie entstehen. Die direkten **Methanemissionen** der Biogasproduktion und –verwertung umfassen insgesamt 70 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub> (24% der Treibhausgasemissionen). Dabei stammen 24 g aus dem Methanschluß (unverbranntes Methan im BHKW-Abgas) und 46 g werden an anderen Stellen (z.B. aus Überdrucksicherungen) emittiert. Den Emissionen in einer Gesamthöhe von 286 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/kWh<sub>el</sub>. stehen Gutschriften für vermiedene Emissionen in Höhe von 270 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/kWh<sub>el</sub> gegenüber. Dabei beträgt die Gutschrift für die **Wärmenutzung** 116 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub> und die Gutschrift für vermiedene Emissionen aus der **Lagerung von Wirtschaftsdünger** 154 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>.

Insgesamt werden **16 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente pro produzierte kWh<sub>el</sub>** emittiert. Die Bereitstellung von elektrischer Energie erfolgt bei Variante 1 also nahezu klimaneutral.

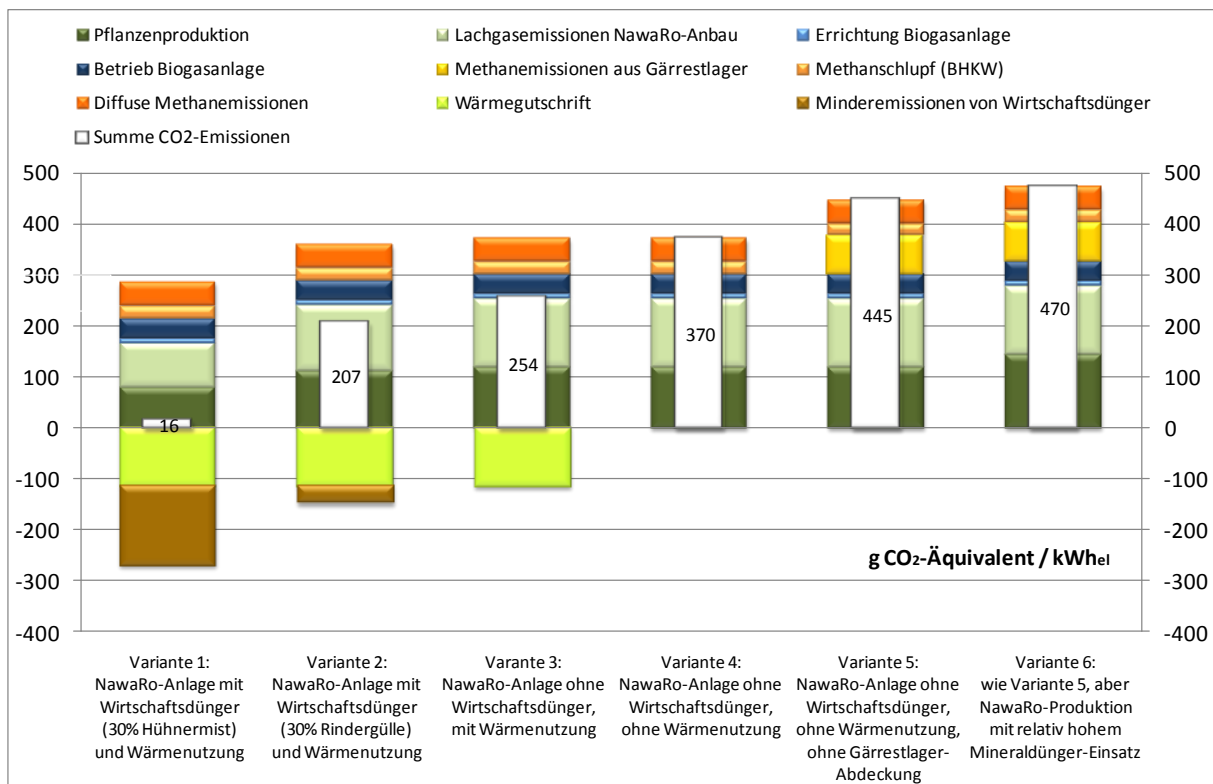


Abbildung 2. Klimagasemissionen der Stromproduktion aus den Model-Biogasanlagen

**Variante 2** zeigt den Einfluss auf die Klimabilanz, wenn die Anlage zu 30 Frischmasse-Prozent mit Rindergülle betrieben wird. Weil die Gülle weniger Biogas liefert, steigt der Bedarf an Silagen. Die Gutschrift für die vermiedenen Methanemissionen vermindert sich im Gegenzug. Die Emissionen steigen auf 207 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>.

**Variante 3** bildet eine Anlage ohne Wirtschaftsdüngereinsatz, jedoch mit Wärmenutzung ab. Ein leicht höherer Verbrauch an pflanzlicher Biomasse und der Wegfall der Gutschrift für vermiedene Methanemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung resultiert in 254 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/kWh<sub>el</sub>.

**Variante 4** beschreibt die gleiche Anlage allerdings ohne Wärmenutzung. Die Emissionen pro kWh<sub>el</sub> betragen 370 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Ursache für den Anstieg ist der Wegfall der Gutschrift für die genutzte BHKW-Abwärme.

**Variante 5** zeigt die Auswirkungen eines nicht gasdicht abgedeckten Gärrestlagers. Durch die Freisetzung von Methan aus dem Gärrestlager steigt die Klimabilanz um 74 g auf 445 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>. Die Methanemission aus dem offenen Gärrestlager entsprechen 1,6% der Methanmenge, die zur Produktion einer kWh elektrischer Energie benötigt wird.

Bei **Variante 6** wurde getestet, wie sich das Dünger-Management auf die Treibhausgasbilanz auswirken kann. Stickstoffverluste lassen sich bei der Ausbringung von Gärrest nicht vollständig vermeiden, wohl aber durch geeignete Maßnahmen (z.B. bodennahe Ausbringung, zeitnahe Einarbeitung in den Boden) gering halten. Während bei Variante 1-5 Stickstoffverluste bei der Gärrestausbringung in Höhe von 30% des ausgebrachten Stickstoffs angesetzt wurden, wird hier ein Verlust in Höhe von 50% angesetzt. Es steigt dadurch die einzusetzende Menge an mineralischem Stickstoff. Die Aufwendungen für die NawaRo-Bereitstellungen steigen dadurch um weitere 25 g, so dass die Gesamtemissionen 470 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub> betragen.

## Schlussfolgerungen

Die Klimagasemissionen pro kWh elektrischer Energie aus Biogas unterscheiden sich je nach Anlagenkonzept erheblich. Die Gesamtemissionen an Klimagasen von Variante 1 bis 6 betragen 16 bis 470 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Nach Böhme und Dürrschmidt [2] ersetzt Biogasstrom zu 30% Strom aus Gaskraftwerken und zu 70% Strom aus Steinkohlekraftwerken. Im Durchschnitt ergeben sich so Klimagasemissionen für den substituierten Strom in Höhe von 825 g CO<sub>2</sub>-Äquivalenten/kWh<sub>el</sub>. Jede der betrachteten Anlagenvarianten erreicht damit eine deutliche Vermeidung treibhauswirksamer Emissionen (Einsparung Variante 1: 809 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>., Einsparung Variante 6: 355 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/kWh<sub>el</sub>).

Schon bei der Planung einer Anlage sollte eine möglichst vollständige Wärmenutzung und ein hoher Wirtschaftsdüngeranteil an der Trockenmasse der Futterration angestrebt werden.

Beide Maßnahmen bringen in der Regel zusätzlich finanzielle Vorteile, da Einnahmen aus dem Wärmeverkauf und verminderte Ausgaben für die Substratbereitstellung entstehen.

Eine klimafreundliche Energieerzeugung ist eines der Hauptziele der Bioenergieproduktion. Aus diesem Grund muss bei Planung und Betrieb einer Biogasanlage auf die Minimierung direkter Methanemissionen (Überdrucksicherung, Gärrestlager) geachtet werden. Richtig dimensionierte BHKWs, eine auf die Biogasproduktion abgestimmte Motorleistung und ausreichend große Biogaslager vermeiden bei schwankender Gasproduktion Methanemissionen durch die Überdrucksicherung. Der Einsatz einer Gasfackel verhindert das Entweichen von Methan z.B. während BHKW-Wartungsarbeiten. Methanemissionen aus dem Gärrestlager sollten durch eine gasdichte Abdeckung vermieden werden.

## Literatur

- [1] Bachmaier, H.; Effenberger, M.; Lehner, A.; Gronauer, A. (2008): Klimabilanz von Praxis-Biogasanlagen. In: Wulf, Sebastian (Hrsg.). *Ökologische und ökonomische Bewertung nachwachsender Energieträger*. Darmstadt: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL-Schrift 463). S. 194–200
- [2] Böhme, D.; Dürrschmidt, W. (01/2007): *Umweltpolitik - Erneuerbare Energien in Zahlen - nationale und internationale Entwicklung*. -Stand: Januar 2007 - Internet Update. Herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Berlin.
- [3] Bouwman, A. (1996): *Direct emission of nitrous oxide from agricultural soils*. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 46 S. 53-70.
- [4] Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL), Agrartechnik Bornim (ATB), Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL)(2001): *Abschlussbericht zum Projekt Anpassung der deutschen Methodik zur rechnerischen Emissionsermittlung an internationale Richtlinien sowie Erfassung und Prognose der Ammoniak-Emissionen der deutschen Landwirtschaft und Szenarien zu deren Minderung bis zum Jahre 2010*. UBA F+E-Vorhaben FKZ 299 42 245 / 02 BLE Vorhaben 99HS022.
- [5] Keymer, U.: "Biogasausbeuten verschiedener Substrate". URL: <http://www.lfl.bayern.de/ilb/technik/10225/index.php> [Stand: 24. März 2009].
- [6] KTBL (2006): *Energiepflanzen. Daten für die Planung des Energiepflanzenanbaus*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt.
- [7] KTBL (2007): *Faustzahlen Biogas*. Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft (KTBL). Darmstadt.
- [8] Machat, M.; Werner, K. (2007): *Climate Change 01/07. Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix*. Herausgegeben von Umweltbundesamt. Dessau.



## Das „Biogas Forum Bayern“ ist eine Informationsplattform zum Wissenstransfer für die landwirtschaftliche Biogasproduktion in Bayern

### Arbeitsgruppe V (Betriebs- und volkswirtschaftliche Bewertung)

hier erarbeiten Experten Publikationen zu folgenden Themen:

- Gesetzliche und politische Rahmenbedingungen
- Betriebswirtschaft
- Volkswirtschaft
- Organisation und Management
- Finanzierung

### Mitglieder der Arbeitsgruppe

- **Landesanstalt für Landwirtschaft**  
Institut für Landtechnik und Tierhaltung  
Institut für Ländliche Strukturentwicklung, Betriebswirtschaft und Agrarinformatik
- **Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit**
- **Centrales Agrar-Rohstoff-Marketing- und Entwicklungs-Netzwerk e.V. (C.A.R.M.E.N.)**
- **renergie Allgäu e.V.**
- **Technische Universität München**  
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues
- **Fachverband Biogas e.V.**
- **EBA-GmbH**
- **Bayerischer Bauernverband**
- **Arbeitsgemeinschaft Landtechnik und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.**
- **Biogasanlagenbetreiber**



#### Herausgeber:

Arbeitsgemeinschaft Landtechnik  
und landwirtschaftliches Bauwesen in Bayern e.V.  
Vöttinger Straße 36  
85354 Freising  
Telefon: 08161/71-3460  
Telefax: 08161/71-5307  
Internet: <http://www.alb-bayern.de>  
E-Mail: [info@alb-bayern.de](mailto:info@alb-bayern.de)