

Johannes Bachmaier, Mathias Effenberger und Andreas Gronauer, Freising

Einflussfaktoren auf die Klimabilanz landwirtschaftlicher Biogasanlagen

Anhand von Praxisdaten fünf moderner landwirtschaftlicher Biogasanlagen wurden die Treibhausgasemissionen der Elektrizitätserzeugung aus Biogas ermittelt. Die Verfahrenskette wurde vom Anbau der nachwachsenden Rohstoffe bis zur Energieproduktion im BHKW betrachtet. Für die Biogasanlagen ergaben sich Treibhausgasemissionen, die durchweg weit unter den Emissionen der Stromproduktion im deutschen Kraftwerksmix liegen. Es werden Maßnahmen für eine bestmögliche Treibhausgasbilanz landwirtschaftlicher Biogasanlagen abgeleitet.

Dipl.-Ing. (FH) Johannes Bachmaier und Dipl.-Ing. M.Sc. Mathias Effenberger sind wissenschaftliche Mitarbeiter im Arbeitsbereich Umwelttechnik der Landnutzung (Leitung: Dr. agr. Andreas Gronauer) am Institut für Landtechnik und Tierhaltung der Bayer. Landesanstalt für Landwirtschaft, Am Staudengarten 3, 85354 Freising; e-mail: Hans.Bachmaier@fl.bayern.de
Die Arbeiten wurden vom Bayerischen Staatsministerium für Landwirtschaft und Forsten finanziell gefördert.

Schlüsselwörter

Treibhauseffekt, Biogas, nachwachsende Rohstoffe, Energie

Keywords

Greenhouse effect, biogas, renewable raw materials, energy

Literatur

Literaturhinweise sind unter LT 07610 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/localliteratur.htm> abrufbar.

Die Biogastechnik ermöglicht die Erzeugung von Strom und Wärme aus organischen Reststoffen sowie eigens angebauten nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo). Die Erzeugung von Energie aus Biogas ist derzeit oft noch kostenintensiver als aus fossilen Brennstoffen. Der Vorteil liegt jedoch in einer Verringerung der negativen Umweltwirkungen aus der Energieerzeugung. Im Fokus der aktuellen öffentlichen Diskussion steht hier vor allem die Emission klimawirksamer Gase. Weil Biogas aus Biomasse erzeugt wird, die vorher Kohlendioxid aus der Atmosphäre gebunden hat, entsteht durch dessen Verbrennung kein zusätzliches Kohlendioxid. Im Gesamtprozess werden aber in gewissem Umfang fossile Brennstoffe eingesetzt, etwa für die Produktion der Rohstoffe.

Ziel und Methodik

Ziel der Untersuchungen ist die Erfassung der wesentlichen Klimagasemissionen der Stromproduktion aus Biogas. An fünf modernen landwirtschaftlichen Biogasanlagen mit unterschiedlichen Verfahrenskonzepten und Substraten wurden die klimarelevanten Emissionen ermittelt. Kohlendioxid aus fossilen Quellen und Methan sind bei der Biogastechnologie die Hauptverursacher des Treibhauseffekts. Bild 1 zeigt die berücksichtigten Klimagasemissionen, aufgeteilt auf die Prozessschritte „Bereitstellung der NawaRo“, „Biogasproduktion“ und „Energieproduktion im Blockheizkraftwerk“.

Die den Berechnungen zu Grunde liegenden Daten wurden einerseits über einen Zeitraum von 300 Tagen direkt auf den Anlagen

gemessen (Substratinput, Biogasmenge, erzeugte Energie), andererseits durch Einzelmessungen ermittelt (BHKW-Abgasuntersuchung und Gärversuch mit Gärrest). Wo eine direkte Ermittlung der Emissionen nicht möglich war, erfolgte eine Berechnung aufgrund von Literaturdaten (Energie- und Düngemittelverbrauch des NawaRo-Anbaus nach [2]). Die Klimagasemissionen werden in kg oder g CO₂-Äquivalent angegeben.

Da die Erzeugung elektrischer Energie derzeit das Hauptziel der Biogasproduktion darstellt, wurde als Bezugsgröße für die Klimagasemissionen eine Kilowattstunde Strom (1 kWh_{el}) gewählt. Als Vergleichsszenario wurde die Stromproduktion in konventionellen deutschen Kraftwerken herangezogen.

Da sämtliche Umweltbelastungen der Stromproduktion zugerechnet wurden, wurde für die außerhalb der Biogasanlage genutzte Abwärme des Blockheizkraftwerks (BHKW) eine Gutschrift entsprechend der Menge an CO₂-Äquivalenten errechnet, die im deutschen Wärmemix nach [1] emittiert wird (326 g·kWh_{thermisch}⁻¹).

Für die Vergärung von Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft wird nach den Vorgaben des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [3] eine Gutschrift für die vermiedenen Methanemissionen berücksichtigt, die ansonsten bei der Lagerung tierischer Exkremente über einen längeren Zeitraum entstehen.

Ergebnisse

Sie sind in Bild 2 zusammenfassend dargestellt. Jede Säule spiegelt eine Anlage wider.

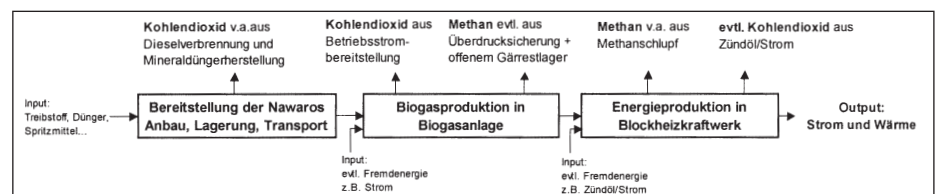


Bild 1: Klimagase bei der Energieerzeugung aus Biogas: Kohlendioxid aus fossilen Quellen und Methan

Fig. 1: Greenhouse gases during energy production from biogas: carbon monoxide from fossil sources and methane

Die Säulen im positiven Bereich zeigen die entstehenden Treibhausgasemissionen, die Säulen im negativen Bereich die Gutschriften. Die schmalere Säule zeigt für jede Anlage die Gesamtbilanz (Summe aus Emissionen und Gutschriften). Von Anlage 1 bis 5 (von links nach rechts) steigen die Klimagasemissionen in $\text{kg CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$.

Die klimarelevanten Emissionen zur *Bereitstellung* der nachwachsenden Rohstoffe (NawaRo) schwanken je nach Pflanzenart. Die beiden überwiegenden Klimagas-Quellen sind die Abgase der Maschinen für Anbau, Ernte, Transport und Einlagerung der NawaRo sowie die Emissionen aus der Herstellung der verwendeten Düngemittel und Bodenverbesserer (Kalk). Am energieintensivsten – und damit auch für die meisten Emissionen verantwortlich – ist dabei die Herstellung von mineralischem Stickstoffdünger. Grassilage ist gekennzeichnet durch einen hohen Anteil an Emissionen aus Diesel, da die Ernte im Vergleich zu allen anderen NawaRo aufwändiger ist (mehrere Ernten pro Jahr). Weil aber Gras ohne mineralischen Stickstoffdünger (zusätzlich zum Gärrest) auskommt, liegen die Emissionen aus der Bereitstellung von Dünger weit unter denen anderer NawaRo. Bezogen auf die organische Trockenmasse werden bei Maissilage weniger Klimagase emittiert als bei Getreide-Ganzpflanzensilage oder Corn-Cob-Mix. Pro Hektar ist zwar die Produktion von Corn-Cob-Mix und Getreidekörnern mit weniger Emissionen belastet als Maissilage; weil aber die Erträge weit hinter Maissilage zurückfallen, steigen die auf die Trockenmasse bezogenen spezifischen Emissionen.

Besteht die eingesetzte Biomasse hauptsächlich aus NaWaRos (Anlage 2 bis 5), werden für den Anbau zwischen $98 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Anlage 3) und $145 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Anlage 4) frei gesetzt ($\emptyset 116 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$). Höhere Emissionen korrelieren meist positiv mit einem niedrigeren Mais- und Grasanteil in der täglichen Substratration. Anlage 1 setzt große Mengen an Wirtschaftsdünger tierischer Herkunft ein (Trockenmasseanteil etwa ein Drittel). Dessen Emissionen sind sehr gering im Vergleich zu pflanzlichen NawaRo, da nur der Transport zu berücksichtigen ist.

Die Klimabilanz der *Errichtung* der Biogasanlagen wurde über den „ökologischen Rucksack“ der verwendeten Baustoffe abgeschätzt [1]. Der ökologische Rucksack beschreibt dabei die Klimagasemissionen aus der Bereitstellung der verschiedenen Baustoffe. Durch die „Abschreibung“ dieser Emissionen über die technische Lebensdauer der Anlagen (20 a) errechnen sich Emissionen von unter $10 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$.

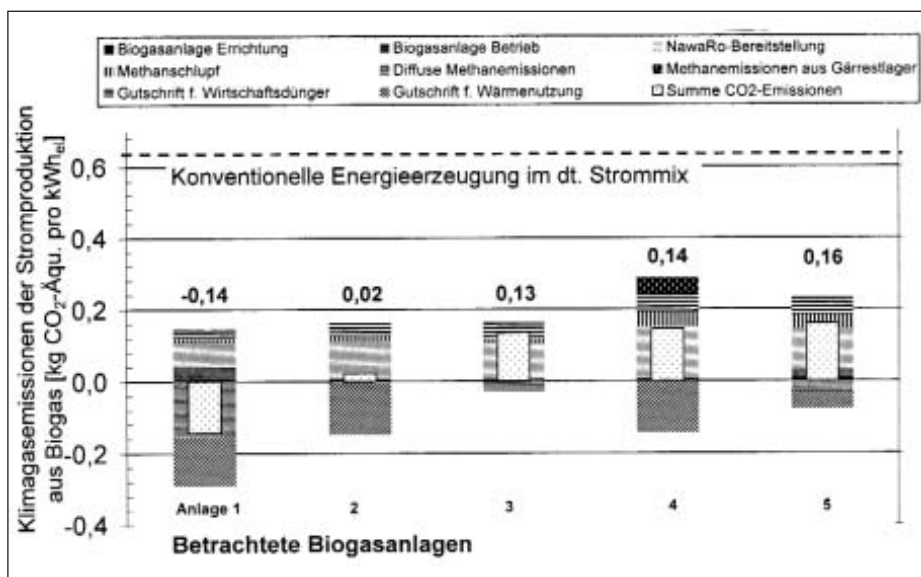


Bild 2: Vergleich der Treibhausgasemissionen der Stromproduktion in den untersuchten Praxis-Biogasanlagen mit konventionellen Kraftwerken

Fig. 2: Comparing greenhouse gas emissions of electricity generation in the examined biogas plants with conventional power plants

Die Anlagen 1 und 5 beziehen die elektrische Energie für den *Betrieb* der Biogasanlage aus dem Stromnetz, Anlage 2 nutzt hierfür einen Teil des eigenen Biogas-Stroms. Der Strombedarf der Anlagen 3 und 4 wird größtenteils über Kleinwasserkraftwerke abgedeckt. Daraus resultieren sehr unterschiedliche Treibhausgasemissionen für den Eigenstromverbrauch der Biogasanlagen zwischen 0 und $36 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$. Grundsätzlich sind die Klimagasemissionen höher, wenn der Strom für den Anlagenbetrieb aus dem öffentlichen Netz bezogen wird.

Die *direkten Methanemissionen* umfassen den Methanschlupf (unverbranntes Methan im BHKW-Abgas) und die Methanemissionen aus der Überdrucksicherung der Behälter sowie – falls vorhanden – aus dem offenen Gärrestlager. Der Methanschlupf ist abhängig vom Motortyp. Basierend auf Einzelmessungen an baugleichen BHKW wurden Werte zwischen 10 und $40 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ angenommen.

Die *Treibhausgasemissionen* aus offenen Gärrestlagern können teilweise erheblich sein. Von den betrachteten Anlagen besitzt nur die Anlage 4 ein offenes Gärrestlager. Basierend auf einem Gärtest wurden Methanemissionen in Höhe von etwa $44 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ geschätzt.

Die *sonstigen Methanemissionen* (durch Foliendach, Überdrucksicherung) können nicht gemessen werden und wurden für alle Anlagen pauschal mit 1 % der Methanproduktion angenommen.

Die *Gutschrift für die Abwärmenutzung* des BHKW beträgt zwischen $0 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Anlage 1) und $140 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Anlage 3).

Die *Gutschrift für die Vergärung von Wirtschaftsdüngern* beläuft sich je nach Wirtschaftsdüngeranteil auf Werte zwischen 0 g

$\text{CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Anlage 4) und $150 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ (Anlage 1).

Aus der Differenz der Emissionen und Gutschriften ergibt sich die *Treibhausgasbilanz* der jeweiligen Anlage (Bild 2). Anlage 1 vermeidet klimaschädliche Gase in Höhe von $140 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$. Die Emissionen aus dem Anlagenbetrieb (NawaRo-Anbau, Errichtung und Betrieb der Anlage, Methanemissionen) werden durch die Einsparung von fossilen Brennstoffen für Heizzwecke und die Vermeidung von Methanemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung überkompensiert. Anlage 5 weist die ungünstigste Klimabilanz mit $+160 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$ auf und bleibt damit immer noch weit unter den Treibhausgasemissionen der Stromproduktion im deutschen Kraftwerksmix ($640 \text{ g CO}_2\text{-Äqu.}\cdot\text{kWh}_{\text{el}}^{-1}$).

Fazit

Die Stromproduktion aus Biogas weist in den fünf betrachteten Anlagen eine weitaus bessere Klimabilanz auf als die Stromproduktion im deutschen Kraftwerksmix. Der Anlagenvergleich zeigt, dass sich die Klimabilanz landwirtschaftlicher Biogasanlagen vor allem durch folgende Maßnahmen weiter verbessern lässt:

- Maximierung des Anteils von Wirtschaftsdüngern am eingesetzten Substrat
- Maximierung der Wärmenutzung außerhalb der Biogasanlage
- Minimierung direkter Methanemissionen (Überdrucksicherung, Gärrestlager)
- Deckung des Strombedarfs für den Betrieb der Biogasanlage nicht aus dem öffentlichen Netz, sondern durch den selbst erzeugten Strom (Überschusseinspeisung)