

Jens Lansche und Joachim Müller

# Ökobilanz der Biogaserzeugung auf dem Unteren Lindenhof der Universität Hohenheim

Landwirtschaftliche Aktivitäten führen in erheblichem Umfang zum Ausstoß von anthropogenen Treibhausgasemissionen. Wird Flüssigmist als Ausgangsstoff zur Biogaserzeugung genutzt, können Emissionen vermieden werden, die bei der konventionellen Lagerung des Wirtschaftsdüngers anfallen. Zusätzlich werden durch die Nutzung des Biogases in Blockheizkraftwerken (BHKW) Strom und Wärme erzeugt, wodurch fossile Energieträger ersetzt werden. Ziel dieser Arbeit war es, die potenziellen Umweltwirkungen der landwirtschaftlichen Biogasproduktion zu erfassen – am Beispiel der Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim am Unteren Lindenhof. Hierzu wurde mit der GaBi-Software ein Modell entworfen, welches die ökologische Bewertung der Biogasproduktion ermöglicht. Außer dem Treibhauspotenzial wurden das Eutrophierungs- und das Versauerungspotenzials analysiert. Die Ergebnisse zeigen: Mit der Biogasproduktion kann ein ökologischer Nutzen erzielt werden. Dieser liegt insbesondere in der Reduzierung von Treibhausgasemissionen im Vergleich zur konventionellen Stromerzeugung.

## Schlüsselwörter

Ökobilanz, LCA, Biogas

## Keywords

Life cycle assessment, LCA, biogas

## Abstract

Lansche, Jens and Müller, Joachim

Life cycle assessment of biogas production at the research plant Unterer Lindenhof of the Universität Hohenheim

Landtechnik 66 (2011), no. 3, pp. 216–219, 2 figures, 1 table, 15 references

Significant contributions to anthropogenic greenhouse gas emissions are caused by agricultural activities. An effective way to reduce agricultural emissions is the implementation of liquid manure to produce biogas, whereby the greenhouse

gas emissions from manure storage are avoided. Additionally, renewable energy in terms of heat and electricity is generated in combined heat and power plants which substitute fossil power plants. The objective of this study was to assess the environmental impacts of biogas production at a research plant of the University of Hohenheim. A model was designed to evaluate the biogas production systems according to their environmental impact using Gabi 4.3 software. Besides global warming potential other impact categories have been used to evaluate the systems effects in the field of eutrophication and acidification. The results show that environmental benefits can be obtained with regard to the emission of greenhouse gases when comparing electricity production from biogas.

■ Im Zeitraum 2003 bis 2007 lagen die jährlichen Emissionen von CH<sub>4</sub> aus Wirtschaftsdünger bei 260 000 t. Dies bestätigte das Umweltbundesamt für Deutschland [1]. Die Emissionen aus der Lagerung von Wirtschaftsdüngern können vermieden werden, wenn die Tierexkrememente als Ausgangsstoff für die anaerobe Vergärung in Biogasanlagen genutzt werden. Wird das so erzeugte Biogas in Blockheizkraftwerken zur Kogeneration von Strom und Wärme genutzt, können die Emissionen aus konventionellen Kraftwerken durch Substitution vermieden

werden. In dieser Studie wird die Methode der Ökobilanzierung (LCA) benutzt, um darzulegen, in welchem Umfang die Produktion von Biogas in Deutschland negative Umweltwirkungen verringern kann. Hierbei dient die Biogaserzeugung an der Forschungsbiogasanlage der Universität Hohenheim am Unteren Lindenhof als Beispiel.

## Material und Methoden

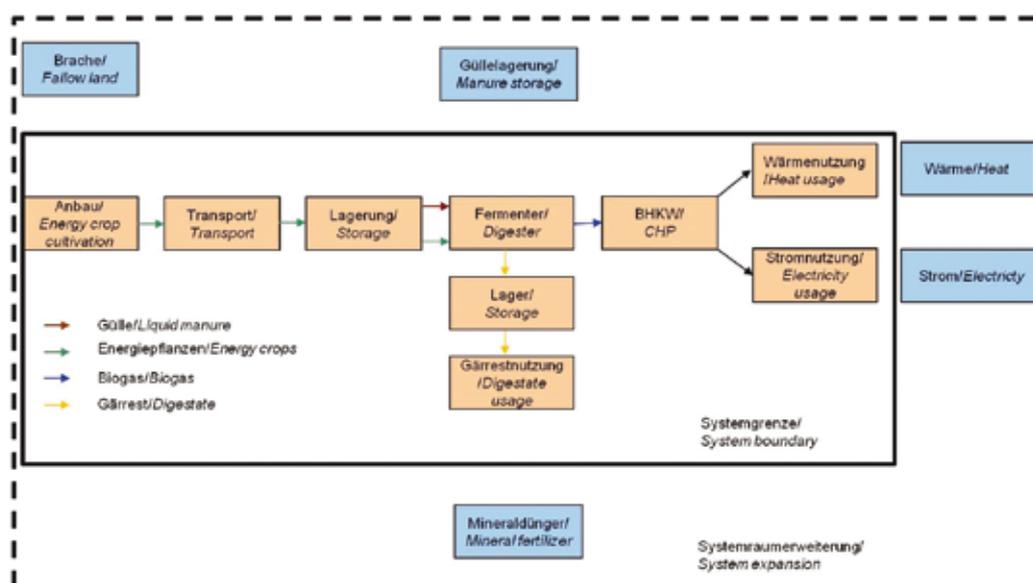
Diese Studie ist methodisch an die internationalen Normen zur Ökobilanzierung in der aktuellen Fassung angelehnt [2; 3]. Als funktionelle Einheit (FU) wurde 1 MJ Biogas gewählt. Die Systemgrenzen umfassen die Erzeugung der Energiepflanzen, die Nutzung der Gärreste als organisches Düngemittel und die Verbrennung des Biogases in einem BHKW zur Erzeugung von Strom und Wärme. Der zeitliche Rahmen der Untersuchung ist das Jahr 2009. Standortspezifische Primärdaten wurden soweit möglich genutzt und wo nötig durch generische Datensätze aus der Ecoinvent-Datenbank ergänzt [4]. Der Anbau der Getreideganzpflanzensilage wurde auf Basis einer Modellierung von nach [5] übernommen. Die Erweiterung des Systemraumes wurde nach [3] genutzt, um die zusätzlichen Funktionen von Koppelprodukten in die Betrachtung mit einzubeziehen und dadurch eine Allokation zu vermeiden. Statistische Daten des BMELV belegen den Inlandsabsatz der bedeutendsten Düngemitteln für das Wirtschaftsjahr 2007/2008 [6]. Betrachtet man Einnährstoffdünger sind dies: Kalkammonsalpeter für N, Superphosphat für  $P_2O_5$  und Kaliumchlorid für  $K_2O$ . Deshalb wurde die Annahme getroffen, dass diese Mineraldünger durch die pflanzenverfügbaren Nährstoffen im Gärrest ersetzt werden, weshalb hierfür eine Gutschrift vergeben wird. Als pflanzenverfügbar wurden hierbei Anteile von 80 % für N und jeweils 100 % für  $P_2O_5$  und  $K_2O$  angenommen [7; 8]. Der Teil des Gärrestes, der

aus der Vergärung des Wirtschaftsdüngers stammt, wird von dieser Gutschrift ausgenommen, weil er mit dem Gärrestlager das betrachtete Produktsystem verlässt. Aus dem Gärrest werden Futtermittel produziert. Die Feldemissionen von Ammoniak bei der Ausbringung des Gärrests wurden mit 30 % des  $NH_4-N$  als  $NH_3$  berechnet [9; 10]. Von dem verbleibenden N werden 1 % als  $N_2O$  emittiert [11] und die diffusen  $CH_4$ -Emissionen aus dem Fermenter wurden mit 1 % angesetzt. An der Forschungsstation, zu der die Biogasanlage gehört, wurde vor der Installation des BHKWs (186 kW<sub>e</sub>) ein Gasbrenner und zur Abdeckung der Spitzenlast ein Ölbrenner zur Wärmeversorgung eingesetzt. Da keine jahresspezifischen Verbrauchsdaten für den Ölbrenner verfügbar waren, wurde angenommen, dass die BHKW-Abwäme die Wärme aus dem Gasbrenner ersetzt. Der erzeugte Strom wird vollständig ins örtliche Stromnetz eingespeist. Auf Messungen an der Forschungsbiogasanlage basierend wurde der Eigenstrombedarf der Anlage mit 8,8 % der produzierten Strommenge [12] berechnet und der Wärmebedarf mit 16,8 % der produzierten Wärmemenge. Die Gehalte der Ausgangsstoffe an Trockensubstanz und organischer Trockensubstanz wurden auf Basis von wöchentlichen Analysen in die Betrachtung einbezogen [13]. Eine Übersicht über das untersuchte Produktsystem, die Wahl der Systemgrenzen und die Systemraumerweiterung gibt **Abbildung 1**.

Die eingesetzten Ausgangsstoffe zur Biogasproduktion sind Flüssig- und Festmist, Maissilage, Grassilage und Getreide – mit einem Jahresinput von 6 926 t. Die Emissionsfaktoren für das BHKW wurden auf Basis von vor-Ort-Messungen berechnet [14]. Diese Faktoren sind zusammen mit den Masseanteilen der einzelnen Ausgangsstoffe in **Tabelle 1** aufgeführt.

Zur Wirkungsabschätzung wird die CML 2001 Methode in der Version von 2007 verwendet. Die betrachteten Wirkungs-

Abb. 1



Produktsystem mit Systemgrenzen und Systemraumerweiterung  
Fig. 1: Production system with system boundaries and system expansion

Tab. 1

Masse der eingesetzten Ausgangsstoffe und Emissionsfaktoren des BHKW

Table 1: Mass of the feedstock and emission factors of the CHP

Parameter Parameter	Einheit Unit	Wert Value
<b>Ausgangsstoffe/Feedstock</b>		
Flüssigmist Liquid manure	t/a	4 100
Festmist Solid manure	t/a	849
Maissilage Maize ensilage	t/a	965
Grassilage Grass ensilage	t/a	411
Getreide und GPS Grain	t/a	601
Gesamt Total	t/a	6 926
<b>Emissionsraten BHKW/Emission rate CHP</b>		
CH <sub>4</sub>	g/h	563
SO <sub>2</sub>	g/h	1,97
NO <sub>x</sub>	g/h	281
CO	g/h	452

kategorien sind Treibhauspotenzial, Eutrophierungspotenzial und Versauerungspotenzial.

**Ergebnisse**

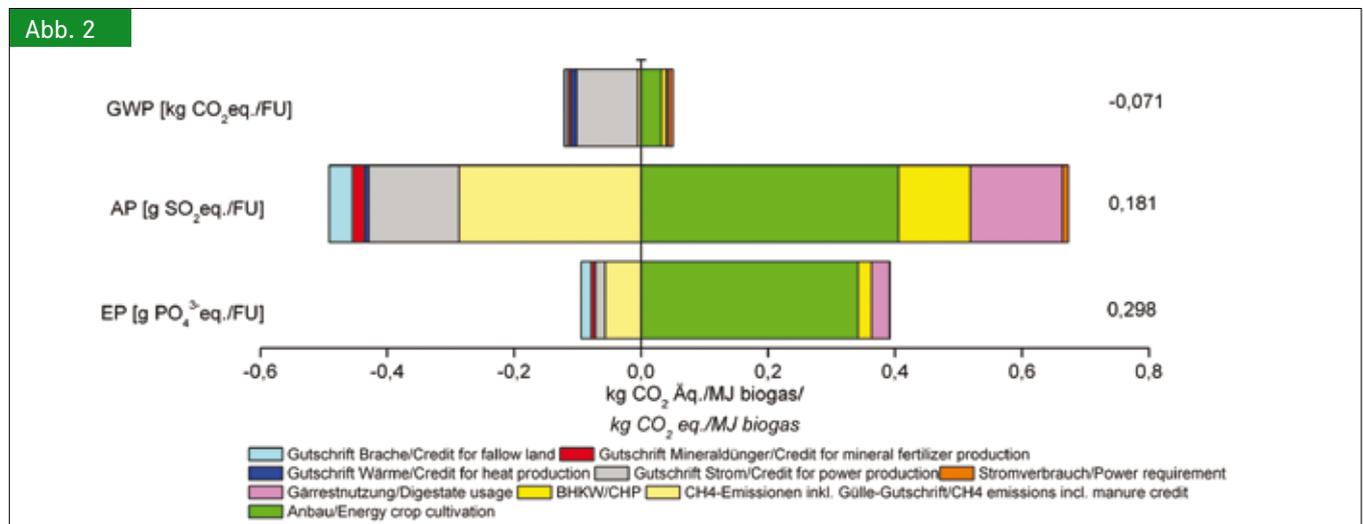
Die Ergebnisse zeigen, dass durch die Nutzung von Wirtschaftsdüngern als Ausgangsstoff für die Biogaserzeugung Treibhausgasemissionen eingespart werden können, wenn das Biogas

zur Strom- und Wärmeerzeugung in einem BHKW genutzt wird (Abbildung 2). Die Menge, die durch die Biogasproduktion an Treibhausgasen im Jahr 2009 eingespart wurde, beträgt 71 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/MJ Biogas. Sowohl die Gutschriften als auch Umweltlasten tragen hierbei zu dem Gesamtergebnis bei. Die größte Gutschrift in Bezug auf die Treibhausgasemissionen waren 96,2 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/MJ Biogas für die Substitution der Stromerzeugung in fossilen Kraftwerken durch den Biogasstrom. Des Weiteren kann eine nennenswerte Verringerung des Treibhauspotenzials durch den Ersatz fossil erzeugter Wärme (8,9 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/MJ Biogas) und von Mineraldüngern (4,9 g CO<sub>2</sub>-Äquivalente/MJ Biogas) erreicht werden.

Die Ergebnisse der anderen Wirkungskategorien unterscheiden sich vom Treibhauspotenzial. Sowohl das Eutrophierungspotenzial als auch das Versauerungspotenzial sind durch die Biogasproduktion angestiegen. Die größten Gutschriften wurden beim Eutrophierungspotenzial und auch beim Versauerungspotenzials für die vermiedenen Lagerungsemissionen gegeben. Außer dem Energiepflanzenanbau führen auch die Gärrestnutzung und der Betrieb des BHKW zu nennenswerten Emissionen.

Ein bedeutender Einfluss auf das Treibhauspotenzial ist durch die CH<sub>4</sub>-Emission des BHKW gegeben. In der Literatur findet sich eine große Bandbreite von Werten, wobei etwa 0,5 bis 3,74 % der produzierten Menge an CH<sub>4</sub> als Schlupf des BHKWs gewertet werden [15]. In dieser Studie wurden auf Basis von vor-Ort-Messungen die CH<sub>4</sub>-Emissionen des BHKW mit 1,58 % berechnet [14]. Dies führt zu jährlichen CH<sub>4</sub>-Emissionen des BHKWs in Höhe von 93,1 t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten. Mit den Literaturwerten gerechnet, ergibt sich eine jährliche Emission von 26,4 bis 220 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Dieser Vergleich zeigt, dass offensichtlich eine große Unsicherheit bei der Berechnung des Treibhauspotenzials von Biogas-Produktionssystemen besteht, wenn auf Literaturdaten statt Messdaten zurückgegriffen wird.

Abb. 2



Treibhauspotenzial (GWP), Versauerungspotenzial (AP) und Eutrophierungspotenzial (EP) der Biogaserzeugung an der Forschungsbiogasanlage  
Fig. 2: Global warming potential (GWP), acidification potential (AP) and eutrophication potential (EP) of the biogas production at the research plant

## Schlussfolgerungen

Die Untersuchung zeigt, dass die Biogasproduktion Treibhausgasemissionen aus der Wirtschaftsdüngerlagerung reduziert. Des Weiteren ist die Produktion von Strom aus Biogas in einem BHKW vorteilhaft im Vergleich zur Stromerzeugung in konventionellen Kraftwerken. Um CH<sub>4</sub>-Emissionen des BHKWs zu vermeiden und somit das Treibhauspotenzial zu verringern, ist es notwendig, das BHKW im Rahmen der Wartung regelmäßig auf einen möglichst geringen CH<sub>4</sub>-Schlupf einzustellen. Die Unsicherheiten, welche beim Erstellen einer Ökobilanz aus Sekundärdaten entstehen, können durch die Verwendung von Messdaten minimiert werden. Dies ermöglicht dann eine präzisere Berechnung der Einsparungen bezüglich des Treibhauspotenzials.

## Literatur

- [1] UBA (2009): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2009. Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990–2007
- [2] ISO14040 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen (ISO 14040:2006)
- [3] ISO14044 (2006): Umweltmanagement – Ökobilanz – Anforderungen und Anleitungen (ISO 14044:2006)
- [4] Ecoinvent (2007): Life Cycle Inventories of Agricultural Production Systems. T.Nemecek und T.Kägi. Zürich und Dübendorf.
- [5] Stenull, M.; Eltrop L. (2010): Bereitstellungspfade für Biomasse – Ergebnisse der ökonomisch-ökologischen Analyse. Institute of Energy economics and the rational use of Energy, Department system analysis and renewable energies (SEE)
- [6] BMELV (2009): Entwicklung des Inlandsabsatzes von Düngemitteln. <http://www.bmelv-statistik.de/index.php?id=139&stw=Düngemittel>, Zugriff am 15.06.2009
- [7] LTZ (2008): Inhaltsstoffe von Gärprodukten und Möglichkeiten zu ihrer geordneten pflanzenbaulichen Verwertung. Augustenberg
- [8] Sensel, K. (2008): Pflanzenbauliche Verwertung von Gärrückständen aus Biogasanlagen unter besonderer Berücksichtigung des Inputsubstrats Energiepflanzen
- [9] Leick, B. (2003): Emission von Ammoniak (NH<sub>3</sub>) und Lachgas (N<sub>2</sub>O) von landwirtschaftlich genutzten Böden in Abhängigkeit von produktionstechnischen Maßnahmen. Dissertation, Universität Hohenheim
- [10] Schäfer, M. (2006): Abschätzung der Emissionen klimarelevanter Gase aus der Landwirtschaft Baden-Württembergs und Bewertung von Minderungsstrategien unter Nutzung eines ökonomisch-ökologischen Regionalmodells. Dissertation, Universität Hohenheim
- [11] IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Chap. 11: N<sub>2</sub>O Emissions from Managed Soils, and CO<sub>2</sub> Emissions from Lime and Urea Application
- [12] Baumgartner, F.; Nägele, H.-J.; Lemmer, A.; Oechsner, H.; Jungbluth, T. (2010): Messungen zum Eigenstrombedarf von Biogasanlagen am Beispiel der Forschungsbiogasanlage Unterer Lindenhof. 4. Rostocker Bioenergieforum, 27–28.10.2010. Rostock, Tagungsband, S. 275–281
- [13] Nägele, H.-J., Lemmer, A.; Oechsner, H.; Jungbluth, T. (2010): Biogasanlage Unterer Lindenhof - Analyse der Ausgangsstoffe zur Biogasproduktion. Landesanstalt für Agrartechnik und Bioenergie, Universität Hohenheim
- [14] LUBW (2008): Emissionsmessungen an der Forschungsbiogasanlage „Unterer Lindenhof“ in Eningen. Zwischenbericht 1. Messzyklus
- [15] Woess-Gallasch, S.; Enzinger, P.; Jungmeier, G.; Padinger, R. (2007): Treibhausgasemissionen aus Biogasanlagen. Institut für Energieforschung, Graz

## Autoren

**M. Sc. Jens Lansche** ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Agrartechnik der Universität Hohenheim, Fachgebiet Agrartechnik in den Tropen und Subtropen (Leitung **Prof. Dr. Joachim Müller**), Garbenstraße 9, 70599 Stuttgart; e-mail: [jlansche@uni-hohenheim.de](mailto:jlansche@uni-hohenheim.de)

## Danksagung

Die vorgestellten Forschungsergebnisse entstanden im Rahmen der Bioenergieforschungsplattform Baden-Württemberg und wurden durch das Ministerium für Ländlichen Raum, Ernährung und Verbraucherschutz mit Mitteln der Baden-Württemberg Stiftung gefördert.