

## Energiebilanz der Biogaserzeugung aus Gras- und Maissilage

M. Kelm und F. Taube

Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung, Grünland und Futterbau / Ökologischer  
Landbau, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, 24098 Kiel

### Einleitung und Problemstellung

Ende des Jahres 2006 waren deutschlandweit rund 3.500 Biogasanlagen installiert, die 2006 insgesamt mehr als 5 Mrd. kWh Strom erzeugten. Für das Ende des Jahres 2007 wird mit einer Verdoppelung der Kapazitäten auf ca. 10 Mrd. kWh gerechnet, wobei der Trend zu immer größeren Anlagen auf Basis nachwachsender Rohstoffe (NaWaRo) geht. Dies impliziert auch immer längere Transportwege – eine Anlage von z.B. 500 kW<sub>el</sub> hat einen Flächenbedarf von 250-300 ha Silomais. Es stellt sich die Frage, inwieweit ein solch hoher fossiler Energieeinsatz für den Anbau und den Transport der Silage sowie für den Rücktransport der Gärreste gerechtfertigt ist – wie steht es um die Relation zwischen Energieaufwand und Energieertrag von NaWaRo-Biogasproduktionssystemen?

In der vorliegenden Modellrechnung wurde anhand praxistypischer Kenngrößen für Anbau, Transport und Anlagenbetrieb eine Energiebilanz aufgestellt. Neben der Variation des Substrats (Gras- oder Maissilage) wurden auch die Faktoren Transportentfernung und Stickstoffintensität des Anbaus variiert. Die Berechnungen wurden für den Fall der ausschließlichen Stromerzeugung und alternativ für den Fall der Kraft-Wärme-Kopplung durchgeführt.

### Material und Methoden

Folgende Kenngrößen wurden für die Zielgröße einer Stromerzeugung aus Biogas von 3,6 Mio. kWh/Jahr bestimmt:

- Energieeinsatz fossil [GJ/a, kWh/a]
- Energiegewinn [kWh/a, kWh/ha/a]
- Energieeffizienz [kWh Einspeisung/kWh fossil].

Die der Berechnung zugrunde liegenden Parameter sind in Tab. 1 aufgeführt. Praxistypische Werte für NaWaRo-Biogasanlagen der Leistungsklasse 500 kW<sub>el</sub> wurden u.a. aus Datensätzen des Biogas-Messprogramms der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR, 2005) abgeleitet.

Die Natural- und Stickstoffträge von Silomais und Dauergrünland in Abhängigkeit von der Höhe der mineralischen N-Düngung basieren auf den Ergebnissen mehrjähriger Feldversuche an einem typischen Futterbaustandort Schleswig-Holsteins (TROTT et al., 2004; WACHENDORF et al., 2006). Der fossile Energieeinsatz in Anbau und Vorleistungskette wurde von KELM et al. (2004) für dieselben Anbausysteme analysiert.

In der Grassilageerzeugung (Dauergrünland, 4 Siloschnitte jährlich) wurden die mineralischen N-Düngungsstufen im Feldversuch bei 0, 100, 200 und 300 kg N/ha angesetzt. Die mineralischen N-Düngungsstufen im Silomaisanbau (Monokultur) lagen bei 0, 50, 100 und 150 kg N/ha.

Die Nährstoffrückführung über den Gärrest wurde in der vorliegenden Studie als „Gutschrift“ in Form von Mineraldüngeräquivalenten (MDÄ) mit dem Mineraldüngereinsatz gegengerechnet. Der zugrunde gelegte Primärenergieeinsatz aufgrund der Produktion mineralischen N-Düngers („indirekter Energieeinsatz“; siehe KELM et al., 2004) wurde je Flächeneinheit entsprechend der N-Rückführung durch den Gärrest reduziert.

Tab. 1: Zugrunde gelegte Kenngrößen in der Biogaserzeugung aus Gras- und Maissilage.

Parameter			Anmerkungen
<b>Biogasanlage</b>			
• Anlagentyp			NaWaRo-Anlage, keine Gülle
• installierte el. Leistung	500	kW el.	einschl. ca. 10% Leistungsreserve
• Wirkungsgrad el.	32	%	Gasmotor (FNR, 2005)
• Wirkungsgrad therm.	33	%	Gasmotor (FNR, 2005)
• Eigenstrombedarf	6	%	der ges. Stromproduktion (FNR, 2005)
• Eigenwärmebedarf	5	kWh/m <sup>3</sup> /d	FNR (2005)
• Fermentervolumen	6,8	m <sup>3</sup> /kW el.	FNR (2005)
• Betriebsstunden	8000	h/a	FNR (2005)
• Energieerzeugung el.	3,6 Mio.	kWh/a	fixe Zielgröße
<b>Substrat, Anbau und Gärrest</b>			
• Biogasertrag Grassilage	123,2	m <sup>3</sup> /t FM	54% CH <sub>4</sub> ; Grassilage: 25% TS (88% oTS)
• Biogasertrag Maissilage	178,4	m <sup>3</sup> /t FM	54% CH <sub>4</sub> ; Maissilage: 33% TS (95% oTS)
• Naturalertrag Grünland			nach TROTT <i>et al.</i> (2004)
• Naturalertrag Silomais			nach WACHENDORF <i>et al.</i> (2006)
• Energieeinsatz im Anbau			nach KELM <i>et al.</i> (2004)
• Energieeinsatz im Transport der Silage/des Gärrestes und in der Beschickung der Anlage			persönliche Mitteilungen von Lohnunternehmern und Anlagenbetreibern
• MDÄ* des Gärrestes	50	%	nach GUTSER <i>et al.</i> (2005)
• Lagerungs- und Ausbringungsverluste Gärrest	10	%	
• Substrat- und Gärrestmengen, sonstige Kennzahlen des Anlagenbetriebs			Berechnung mit dem KTBL-Wirtschaftlichkeitsrechner Biogas ( <a href="http://www.ktbl.de/energie/index.htm">www.ktbl.de/energie/index.htm</a> ); FNR (2005)
* MDÄ: Mineraldüngeräquivalente			

## Ergebnisse und Diskussion

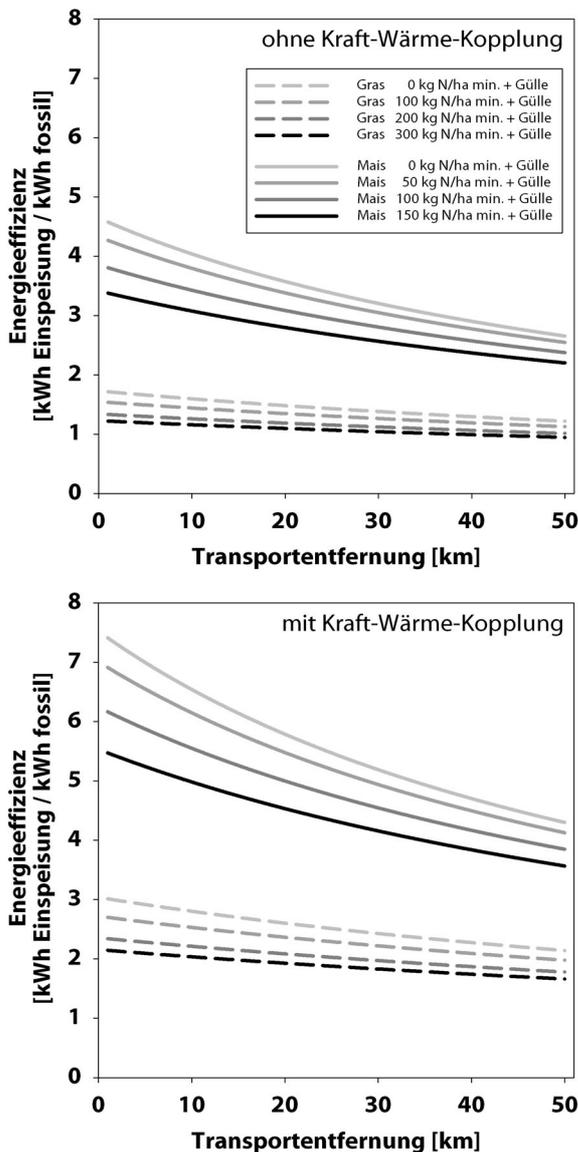
Der gesamte fossile Energieeinsatz für die Erzeugung von 3,6 Mio. kWh/Jahr aus Biogas (eine typische Größenordnung für eine 500 kW<sub>el.</sub>-Anlage) ist bei Verwendung von Grassilage weitaus höher als mit Maissilage als NaWaRo. Auf Grassilagebasis müssen 60-106% der erzeugten elektrischen Energie bereits in Form von fossiler Energie vorab „investiert“ werden. Dieser fossile Energieeinsatz steigt mit zunehmender mineralischer N-Düngungsintensität und mit längeren Transportentfernungen. Intensiv gedüngtes Grünland als NaWaRo zur Biogaserzeugung ist demnach – insbesondere im Fall anlagenferner Flächen – mit einem negativen Energiegewinn verbunden. Die Energieeffizienz (eingespeiste Energie je Einheit investierter fossiler Energie) liegt unter 1,0 (Abb. 1, oben). Mit einer Kraft-Wärme-Kopplung der Biogasanlage lässt sich diese Relation deutlich verbessern, liegt

allerdings immer noch signifikant unterhalb der Energieeffizienz, die mit Maissilage erzielt wird (Abb. 1, unten).

Ohne Kraft-Wärme-Kopplung kann jedoch auch mit Maissilage bestenfalls eine Energieeffizienz von 3-4 kWh regenerativ / kWh fossil erzielt werden (bei mittleren Transportentfernungen und moderater N-Düngungsintensität, siehe Abb. 1 oben). Mit zunehmender Distanz zwischen Feld und Biogasanlage verschlechtert sich diese Relation.

### Schlussfolgerungen

Nach Aussage von Lohnunternehmern in Schleswig-Holstein (persönliche Mitteilungen) sind Transportentfernungen von 50 km zwischen Feld und Biogasanlage eher die Regel als die Ausnahme. Auch ist die Kraft-Wärme-Kopplung bei Biogasanlagen die Ausnahme (FNR, 2005). Demnach kann für NaWaRo-Anlagen auf Maisbasis in der Regel von einer Energieeffizienz in der Größenordnung von 2,5-3,0 kWh regenerativ / kWh fossil ausgegangen werden. Anders ausgedrückt: 33-40% des eingespeisten Biogas-Stroms müssen in fossiler Form investiert werden. 120-146 Tage im Jahr läuft die „typische“ Biogasanlage nur zur Kompensation des eigenen Energieaufwandes. Die CO<sub>2</sub>-Bilanz verhält sich nahezu proportional zur Energiebilanz. Neben dieser bedenkenswerten Relation ist aus ökologischer Sicht der hohe Flächenverbrauch für den Maisanbau zu berücksichtigen, der



**Abb. 1:** Energieeffizienz der Biogaserzeugung aus Gras- und Maissilage in Abhängigkeit von der Transportentfernung. Oben: ohne Kraft-Wärme-Kopplung, unten: mit Kraft-Wärme-Kopplung.

negative Auswirkungen auf die Artenvielfalt in Agrarlandschaften nach sich ziehen könnte (ANDERSON & FERGUSON, 2006) und der Nahrungsmittelproduktion Flächen entzieht bzw. deren Faktorkosten über steigende Pachten erhöht.

### Literatur

ANDERSON, G. Q. A. & FERGUSON, M. J. (2006): Energy from biomass in the UK: sources, processes and biodiversity implications. *Ibis* 148, 180-183.

FNR (2005): Ergebnisse des Biogas-Messprogramms. Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe e.V. (FNR), Gülzow.

GUTSER, R., EBERTSEDER, T., WEBER, A., SCHRAML, M. & SCHMIDHALTER, U. (2005): Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 168, 439-446.

KELM, M., WACHENDORF, M., TROTT, H., VOLKERS, K. & TAUBE, F. (2004): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. III. Energy efficiency in forage production from grassland and maize for silage. *Grass and Forage Science* 59, 69-79.

TROTT, H., WACHENDORF, M., INGWERSEN, B. & TAUBE, F. (2004): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. I. Impact of defoliation system and nitrogen input on performance and N balance of grassland. *Grass and Forage Science* 59, 41-55.

WACHENDORF, M., VOLKERS, K., LOGES, R., RAVE, G. & TAUBE, F. (2006): Performance and environmental effects of forage production on sandy soils. IV. Impact of slurry application, mineral N fertilizer and grass understorey on yield and nitrogen surplus of maize for silage. *Grass and Forage Science* 61, 232-242.