

Beitrag zur Jahrestagung der DBG 2009  
Kom. VI

„Böden eine endliche Ressource“  
Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft  
05.-13.09.2009, Bonn  
Berichte der DBG (nicht begutachtete  
online Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## N-Umsatz und Spurengasemissionen typischer Biomassefruchtfolgen zur Biogaserzeugung in Norddeutschland

Pacholski A., Gericke D., Herrmann A.,  
Svoboda N., Dittert K., Kage H.,  
Senbayram M., Wienforth B., Sieling K.,  
Taube F.,

### Zusammenfassung

Im Rahmen des Verbundprojektes Biogas-Expert an der CAU-Kiel wurden an zwei Standorten Schleswig-Holsteins verschiedene Fruchtfolgen zur Bereitstellung von Biogassubstraten unter Verwendung von Biogasgülten als N-Dünger durchgeführt. Maismonokultur wies die höchsten Trockenmasseerträge auf, wobei keine signifikanten Unterschiede in den Erträgen zwischen Biogassärresten, organischen N-Düngern und mineralischen Düngern ermittelt wurden. Während in Bezug auf die N-Düngerform bei  $N_2O$ - und Nitratverlusten kein Einfluss der N-Form auf die Höhe der Verluste festgestellt wurde, war die Düngung mit Biogasgülten mit signifikant erhöhten  $NH_3$ -Verlusten verknüpft. Eine abschließende Bewertung der Produktionssysteme ist erst durch Analyse der experimentellen Ergebnisse mit einem Systemmodell möglich.

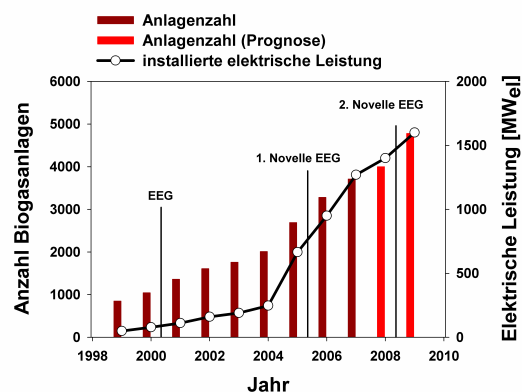
### Schlüsselwörter

Biogas, Wirksamkeit N-Dünger,  $N_2O$ , Nitrat,  $NH_3$

\*Institut für Pflanzenbau und  
Pflanzenzüchtung, Christian-Albrechts-  
Universität Kiel, Hermann-Rodewald-Str.  
9, Pacholski@pflanzenbau.uni-kiel.de

## Einleitung

Im Rahmen der Klimaschutzstrategie der Europäischen Union, welche eine Reduktion klimaschädlicher Treibhausgasemissionen um mindestens 20 Prozent bis zum Jahr 2020 vorsieht, spielt Bioenergie als erneuerbare Energieform eine bedeutende Rolle. In Deutschland wird innerhalb dieser Strategie die Biogasproduktion im beträchtlichen Umfang durch staatliche Subventionen des Erneuerbare Energien Gesetzes (EEG) gefördert. Eine Besonderheit dabei ist, dass die Produktion von Biogas aus nur zu diesem Zweck angebauten Biogaskulturen (v.a. Mais) gezielt bezuschusst wird (NawaRo-Bonus). Trotz leichter Modifikationen in der Förderung ist im Zuge der letzten Novellen des EEG dieses Spezifikum erhalten geblieben, was sich in einer starken Zunahme der Anlagenzahlen seit dem Jahr 2004 und der damit installierten elektrischen Leistung niedergeschlagen hat (Abb. 1).



**Abb. 1:** Entwicklung der Biogasproduktion in Deutschland (nach FNR, 2009)

Als Folge dieser Förderpraxis ist neben der zunehmenden Energieproduktion aus Biogas vor allem die Etablierung neuer, auf die Maximierung silierfähiger pflanzlicher Biomasse ausgerichteter pflanzenbaulicher Produktionssysteme zu beobachten. Diese sind z.T. durch neue Fruchtfolgen (z.B. Kombination von GPS-Getreide mit biomassestarken C4-Pflanzen wie Sudan-gras), im Besonderen aber durch den Einsatz von Biogassärresten als N-Dünger gekennzeichnet. Aus dieser Neugestaltung der pflanzenbaulichen Praxis ergibt sich ein bedeutender Forschungsbedarf. Zum einen müssen die regionalspezifischen Produktionspotenziale der verschiedenen Biogas-

fruchtfolgen abgeschätzt werden, um die Flächenkonkurrenz zur Nahrungsmittel-erzeugung gering zu halten. Des Weiteren ist die N-Düngungswirksamkeit von Biogasgärresten, vor bei allem von mono-fermentierten NawaRo-Gärresten, noch nicht hinreichend untersucht. Von großer Bedeutung ist auch die Quantifizierung negativer Umweltwirkungen von Biogasanbausystemen, um die in der Klimaschutzstrategie verfolgten Ziele auch tatsächlich zu erreichen. Zu den möglichen negativen Wirkungen ist zuvörderst die Emission von Treibhausgasen wie N<sub>2</sub>O oder CH<sub>4</sub> hervorzuheben. Diese wirken sich unmittelbar auf die Klimabilanz von Biogasproduktionssystemen aus. Aber auch die Nitratauswaschung und die Emission von Ammoniak nach Ausbringung von Biogasgärresten haben neben weiteren bedeutenden negativen Umweltwirkungen indirekte Treibhausgasemissionen zur Folge. In Bezug auf die Düngung mit Biogasgärresten stellt sich somit die Frage, inwiefern deren Nutzung als N-Dünger spezifisch erhöhte Emissionen der genannten Stoffe zur Folge hat. Zumindest im Hinblick auf die NH<sub>3</sub>-Emissionen bestehen mit relativ hohen pH-Werten und NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-Konzentrationen der Biogasgülle Hinweise auf potenziell hohe Emissionen, die aber bisher noch nicht hinreichend quantifiziert wurden.

## Material und Methoden

Zur Untersuchung dieses Fragekomplexes wurde im Rahmen des Biomassekompetenzzentrums Schleswig-Holstein an der Agrarfakultät der Universität Kiel das Verbundprojekt „Biogas-Expert“ etabliert. In diesem Verbundprojekt wurde der N-Haushalt von verschiedenen Bioenergiefruchtfolgen an zwei landschaftsraumtypischen Versuchsstandorten (Hohenschulen, Karkendamm) im Zeitraum Herbst 2006 bis Frühling 2009 untersucht. Die Versuchsstandorte, die untersuchten Fruchtfolgen, die verwendeten N-Dünger sowie die N-Düngestufen sind in Tab. 1 aufgeführt.

Neben der Ermittlung der Trockenmasseerträge der angebauten Biogaskulturen wurde der N-Haushalt der Fruchtfolgen durch verschiedene Messungen charakterisiert. Die ausgebrachten organischen Dünger wurden bezüglich der pH-Werte sowie der N- und Trockenmassegehalte charakterisiert. NH<sub>3</sub>-Emissionen wurden in einem Zeitraum von 3 Tagen nach Ausbringung mit einer Kombination einfacher passive-flux sampler (Vandré und Kaupenjohann 1998) und einer kalibrierten Kammermethode (Pacholski et al. 2006) in den Versuchspartellen bestimmt. N<sub>2</sub>O- und CH<sub>4</sub>-Emissionen wurden nach Biogasgülleausbringung 10 Tage täglich und danach im wöchentlichen Abstand mit der ‚closed chamber Methode‘ gemessen. Die Messung der Spurengasemissionen erfolgte hauptsächlich in den Partellen mit den höchsten N-Stufen, in den Kontrollpartellen und einer weiteren N-Stufe. Nitratausträge wurden durch Beprobung mit keramischen

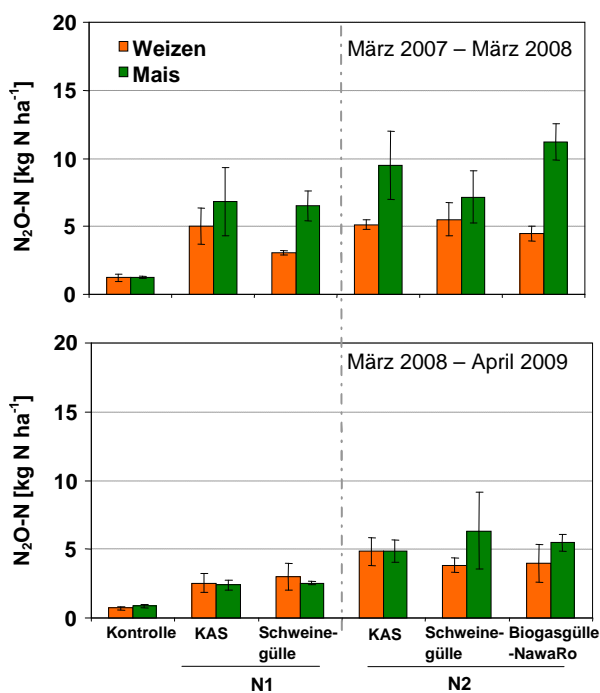
**Tabelle 1:** Versuchsstandorte und Behandlungsfaktoren des Projektes ‚Biogas-Expert‘

|                                | <b>Hohenschulen<br/>(östliches Hügelland)</b>   | <b>Karkendamm<br/>(Geest)</b>  |
|--------------------------------|---|--|
| Boden                          | Sl, Parabraunerde   | Ss, Podsol   |
| Untersuchte Fruchtfolgen (2 a) | - Maismonokultur<br>- GPS-Winterweizen<br>- Weidelgras (2 Schnitte) - Mais                    | - Maismonokultur<br>- Ackergras (4 Schnitte)   |
| N-Dünger                       | - Kalkammonsalpeter<br>- Schweinegülle<br>- Biogasgülle (Koferment)<br>- Biogasgülle (NawaRo) | - Kalkammonsalpeter<br>- Schweinegülle<br>- Rindergülle<br>- Biogasgülle (Koferment)<br>- Biogasgülle (NawaRo) |
| N Stufen (Gesamt-N)            | 4 (0/120/240/360)   | 4 (0/120/240/360)  |

Saugkerzen in 60 cm Bodentiefe in allen Versuchspartzen und Berechnung von Sickerwassermengen mit einem Simulationsmodell (HUME, Kage und Stützel 1999) ermittelt.

## Ergebnisse

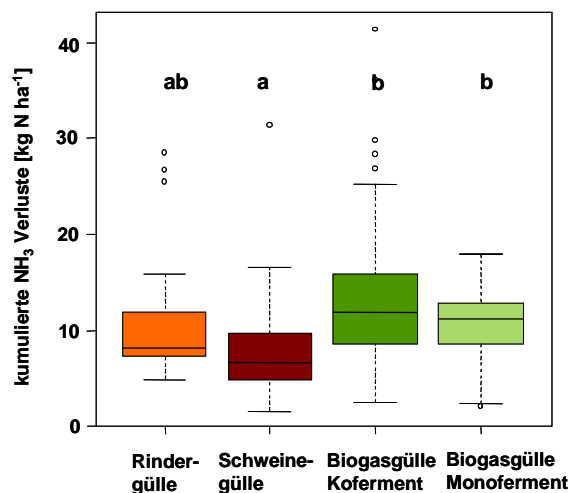
Im Unterschied zu den Erwartungen war Maismonokultur an beiden Versuchstandorten den alternativen Fruchtfolgen (Mais - GPS-Weizen – Zwischenfrucht Ackergras; Ackergras) im Ertrag überlegen. Erste Analysen zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Ertragswirkung der verschiedenen N-Düngereformen bei praxisüblichen Düngemengen (Daten nicht gezeigt). Biogasgülle wiesen im Vergleich zur mineralischen Düngung und tierischen Gülle keine erhöhten N<sub>2</sub>O-Verluste auf (Abb. 2).



**Abb.2:** Kumulierte N<sub>2</sub>O-Emissionen am Standort Hohenschulen in den Jahren 2007/08 und 2008/09, N1 = 120 kg N ha<sup>-1</sup>, N2 = 360 kg N ha<sup>-1</sup>

Es konnten allerdings beträchtliche Unterschiede zwischen den Versuchstandorten beobachtet werden. Die Emissionen auf dem Lehmstandort Hohenschulen waren im Vergleich zum Sandstandort um ein Vielfaches erhöht (Daten nicht gezeigt). Spezifische

Unterschiede in den Emissionen konnten auch zwischen den verschiedenen Fruchtfolgen beobachtet werden. Mais wies, unabhängig von der N-Düngereform, die höchsten N<sub>2</sub>O-Verluste auf (Abb. 2). Auch zwischen den beiden Versuchsjahren konnten beträchtliche Unterschiede beobachtet werden. Im Jahr 2007/08 waren im Vergleich zum Folgejahr deutlich höhere Emissionen aufgrund sehr hoher Sommerniederschläge zu beobachten. Im Unterschied zu den N<sub>2</sub>O-Emissionen konnten bei den Ammoniak-Emissionen signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen organischen N-Düngern ermittelt werden. Biogasgülle wiesen trotz einer sehr großen Variation der Emissionen im Jahresverlauf signifikant höhere NH<sub>3</sub>-Verluste auf als konventionelle tierische Gülle (Abb. 3).

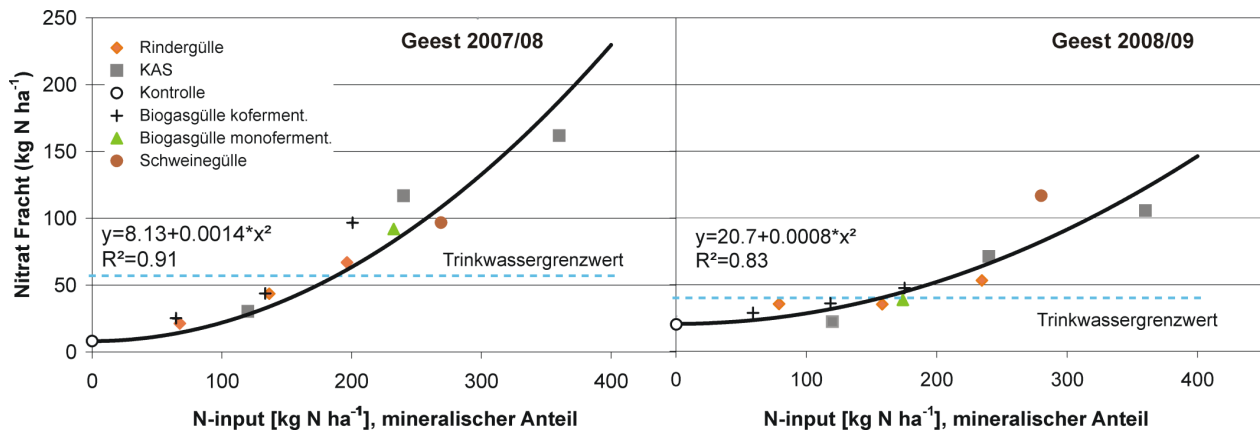


**Abb. 3:** Mittlere NH<sub>3</sub> Emissionen je Biogasapplikation in den Jahren 2007 und 2008, 15 Feldversuche, Kruskal-Wallis-Test

Bezüglich der NH<sub>3</sub>-Emissionen ließ sich in ansteigender Anordnung folgende Reihenfolge der verwendeten Substrate ermitteln:

Schweinegülle < Rindergülle < Biogasgülle.

Die Unterschiede in den NH<sub>3</sub>-Verlusten lassen sich hauptsächlich auf die im Vergleich zu tierischen Gülle deutlich erhöhten pH-Werte (~ 7.7 vs. ~7.1) und Viskositäten der Biogasgülle zurückführen.



**Abb. 4:** Nitratauswaschung unter Maismonokultur am Standort Karkendamm in Abhängigkeit von der applizierten mineralischen N-Menge

Ähnlich wie bei den  $N_2O$ -Verlusten konnten in den ersten Analysen der Untersuchungsergebnisse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Nitrat-Auswaschungsverlusten nach Düngung mit den verschiedenen N-Düngereformen bei praxisüblichen N-Düngungshöhen festgestellt werden (Abb. 4). Aufgrund sehr hoher N-Düngestufen wies die mineralische Düngung bei den beiden höchsten Stufen deutlich höhere  $NO_3^-$ -Auswaschungsverluste auf als die organischen Varianten. Dies ist aber auf eine weitaus höhere Überdüngung des Maises in der KAS-Variante zurückzuführen. Insgesamt konnte in beiden Versuchsjahren die Nitratauswaschung auf die Höhe der mineralischen N-Düngung zurückgeführt werden. Ähnlich wie bei den  $N_2O$ -Verlusten konnten auch hier deutliche Jahresunterschiede in den Auswaschungsverlusten ermittelt werden, mit deutlich höheren Nitrat-Verlusten im Jahr 2007/08 an beiden Versuchsstandorten.

## Diskussion

In den ersten beiden Versuchsjahren von Biogas-Expert konnten die wichtigsten N-Umsetzungsprozesse und -Verlustpfade für verschiedene Biogasproduktionssysteme quantifiziert werden. Bezüglich der N-Düngereformen konnten signifikante Unterschiede zwischen herkömmlichen Düngern und Biogasgülle nur bezüglich der  $NH_3$ -Verluste festgestellt werden. Anhand der deutlichen Jahres- und Standortunterschiede bei  $N_2O$ -Emissio-

nen und Nitratausträgen wird offensichtlich, dass zweijährige Messungen zu einer erschöpfenden Bewertung der untersuchten Produktionssysteme noch nicht ausreichend waren. Diese Bewertung ist nur unter Berücksichtigung von verschiedenen Standorteigenschaften und Jahreswitterungsverläufen und mit Daten gestützten Simulationsrechnungen möglich. Mit einem validierten Pflanzenwachstumsmodell sowie N-Mineralisations- und  $NH_3$ -Verflüchtigungsmodulen sind erste wichtige Bausteine für eine umfassende Bewertung in 'Biogas-Expert' bereits vorhanden, so dass die angestrebten Bewertungen in naher Zukunft durchgeführt werden können.

## Literatur

- FNR (2009) <http://www.bio-energie.de/biogas.html> (29.11.2009)
- Kage, H., and H. Stützel (1999): HUME: An object oriented component library for generic modular modelling of dynamic systems. In "Modelling cropping systems". (C. S. M. Donatelli, F. Villalobos, J. M. Villar, ed.), pp. 299-300, Lleida. June 1999. European Society of Agronomy.
- Pacholski, A., G. X. Cai, R. Nieder, J. Richter, X. H. Fan, Z. L. Zhu, and M. Roelcke. 2006. Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field - comparative measurements in Henan Province, China. *Nutr Cycl Agroecosyst* 74 (3):259-273
- Vandré, R., and M. Kaupenjohann. 1998. In situ measurement of ammonia emissions from organic fertilizers in plot experiments. *Soil Sci Soc Am J* 62 (2):467-473.