

Sitzung der Kommission IV der DBG:  
„Auswirkungen des Klimapflanzenanbaus  
auf den Stoffhaushalt von Böden“  
Jahrestagung der DBG „Böden verstehen  
– Böden nutzen – Böden fit machen“  
Deutsche Bodenkundliche Gesellschaft,  
03.-09.09.2011, Berlin  
Berichte der DBG (nichtbegutachtete  
Online-Publikation)  
<http://www.dbges.de>

## **N-Umsatz, Spurengasemissionen und Produktivität von Fruchtfolgen zur Biogasproduktion in einer Kalkmarsch Schleswig-Holsteins**

A. Pacholski, A. Techow, R. Quakernack,  
A. Hermann, F. Taube, H. Kage

### **Zusammenfassung**

Aufgrund des bisher wenig untersuchten Agrarlandschaftsraumes als auch neuartiger Biogasgärreste ist der Effekt der Biogasnutzung auf den Stoffhaushalt von Marschstandorten schwer zu quantifizieren. Auf einem noch nicht entkalkten Marschstandort Nordfrieslands, Schleswig-Holstein, wurden in einem Parzellenversuch mehrjährige Untersuchungen zur N-Düngewirksamkeit und Spurengasemissionen ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ) bei Düngung mit Mineraldünger (KAS) und Biogasgärresten durchgeführt. Die N-Dünger wurden zur Produktion von Silomais, Weidelgras und GPS-Weizen als Biogassubstrat genutzt. Biogasgärreste wurden mit Schleppschläuchen ausgebracht. Bei Verwendung des Mineraldüngers erzielten Maismonokultur, Ackergras sowie eine Fruchtfolge (Mais-Weizen-Welsches Weidelgras) etwa gleich hohe Erträge (ca.  $30 \text{ t TM ha}^{-1} 2a^{-1}$ ). Bei Weizen und Ackergras führte die Düngung mit Biogasgärresten zu deutlich reduzierten Erträgen.  $NH_3$ -Emissionen lagen aufgrund hoher Windgeschwin-

digkeiten höher als in anderen Regionen Schleswig-Holsteins, wobei Ackergras bei weitem die höchsten ( $80 \text{ kg N ha}^{-1} 2a^{-1}$ ) und Maismonokultur die geringsten ( $20 \text{ kg N ha}^{-1} 2a^{-1}$ ) kumulierten Verluste aufwies. Ohne signifikante Unterschiede zwischen den N-Düngern lagen kumulierte  $N_2O$ -Emissionen mit  $1\text{--}5 \text{ kg N ha}^{-1} a^{-1}$  trotz beträchtlicher N-Aufwandmengen und des tonreichen Bodens relativ niedrig.

**Schlüsselworte:** Biogasgärreste,  $NH_3$ ,  $N_2O$ , Biomasseerträge

### **Einleitung**

Die Marschgebiete im Nordwesten Deutschlands weisen auf Grund ihrer holozänen Genese aus maritimen Sedimenten für Deutschland einzigartige Bodenverhältnisse und eine relativ kühle, ausgeglichene, aber windreiche Witterung auf. Wegen der häufig von Ton dominierten Textur und hoher Grundwasserstände ist dort Grünland eine sehr verbreitete Nutzungsform. In Bezug auf Spurengasemissionen und Stoffausträge mit dem Sickerwasser unter landwirtschaftlicher Nutzung sind diese Standorte kaum untersucht, z.B. liegen bisher keine Daten zu  $N_2O$ -Emissionen vor (JUNGKUNST et al. 2006). Wie in vielen anderen Agrarlandschaftsräumen Deutschlands ist auch in den Marschregionen ein starker Anstieg der Anzahl an Biogasanlagen zu beobachten, was die Ausbringung erheblicher Mengen an Gärresten als Düngesubstrate zur Folge hat. Sowohl aufgrund des bisher wenig untersuchten Agrarlandschaftsraumes als auch der neuartigen N-Dünger ist der Effekt der zunehmenden Biogasnutzung auf den Landschaftshaushalt noch schwer zu quantifizieren. Vor diesem Hintergrund wurden im Rahmen des Verbundprojektes „Biogas-Expert“ der Universität Kiel auf einem noch nicht entkalkten Marschstandort (Kalkmarsch) Nordfrieslands, Schleswig-Holstein, mehrjährige Untersuchungen zur Düngewirksamkeit, zu Spurengasemissionen ( $N_2O$ ,  $NH_3$ ) und zum N-Umsatz im Boden unter Düngung mit

---

Christian-Albrechts-Universität zu Kiel,  
Institut für Pflanzenbau und -züchtung,  
a. Abteilung Acker- und Pflanzenbau  
b. Abteilung Grünland und  
Futterbau/Ökologischer Landbau  
Hermann-Rodewald-Str. 9, 24118  
Kiel

Mineraldünger und Biogasgärresten durchgeführt.

### Material und Methoden

Die Feldexperimente wurden in den Jahren 2008-2010 auf einer Grünlandfläche eines Praxisbetriebes nahe Dagebüll, Nordfriesland, etabliert. Die im Versuch ausgebrachten Biogasgärreste stammten aus der Biogasanlage des Betriebes, aus Kofermentation von Schweinegülle mit Getreide-GPS und Grassilage sowie z.T. Maissilage. Es wurden die Dünge- und Umweltwirkungen der Düngung der Ackerkulturen GPS-Winterweizen (gefolgt von der Zwischenfrucht Welschem Weidelgras), Ackergras (Dt. Weidelgras) und Silomais mit Biogasgärresten (Applikation mit Schleppschläuchen) im Vergleich zu einem Mineraldünger (KAS) untersucht. Dabei wurden Weizen, Welsches Weidelgras und Mais in einer zweijährigen Fruchtfolge (FF) geprüft, sowie zum Vergleich Mais-Monokultur (M) und Weidelgras-Monokultur (M) (4 Schnitte). Bei der Fruchtfolge standen alle Fruchtfolgeglieder in jedem Jahr gleichzeitig im Versuch (a. Weizen gefolgt von Weidelgras (1 Schnitt), b. Mais). Da im Herbst 2008 aufgrund hoher Bodenfeuchte kein Winterweizen gedreht werden konnte, wurden die entsprechenden Parzellen im Jahr 2009 mit Sommerweizen bestellt. Die Kulturen wurden gemäß einem an der Praxis orientierten N-Optimum sowie mit einer erhöhten N-Menge gedüngt. Zur Ermittlung der Dosierung der Biogasgärreste wurden die N-Gesamtkonzentra-

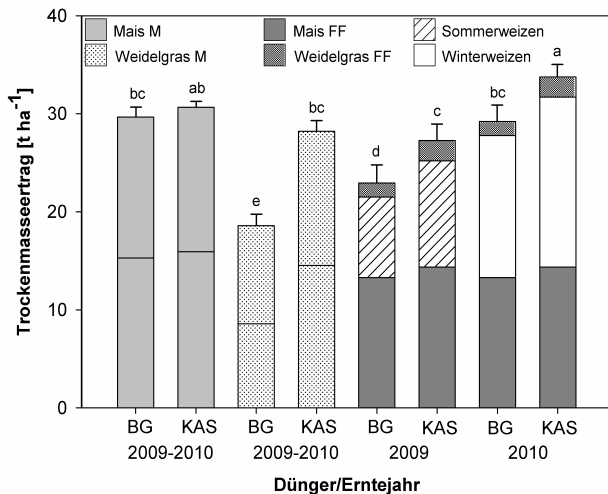
tionen zugrunde gelegt. Alle Behandlungen wurden in 4-facher Wiederholung auf insgesamt 96 Parzellen (12 m x 12 m) geprüft (randomisierte Blockanlage). Die Ermittlung der Trockenmasseerträge erfolgte bei Siloreife per Maschinenernte, Entnahme einer Unterprobe und Trocknung bei 57°C. Genauere Informationen zu Boden- und Klimabedingungen sowie zur N-Düngung sind in Tab. 1 angegeben

Die NH<sub>3</sub>-Verflüchtigung wurde nur nach Ausbringung von Biogasgärresten bestimmt, da diese Verluste nach KAS-Düngung sehr gering sind (ca. 2% Dünger-N, SOMMER et al. 2004). Die Messung erfolgte mit semi-quantitativen Passivsammlern zur Erfassung der vielfachen Feldwiederholungen. Die Ergebnisse der Passivsammler wurden durch simultane Anwendung einer kalibrierten dynamischen Kammermethode in absolute Verluste überführt. Die Passivsammler wurden in hoher zeitlicher Auflösung bis etwa 3 Tage nach Gärrestapplikation ausgetauscht. Eine genaue Beschreibung des Aufbaus des Feldversuches sowie der NH<sub>3</sub>-Messmethodik findet sich in QUAKERNACK et al. (2011).

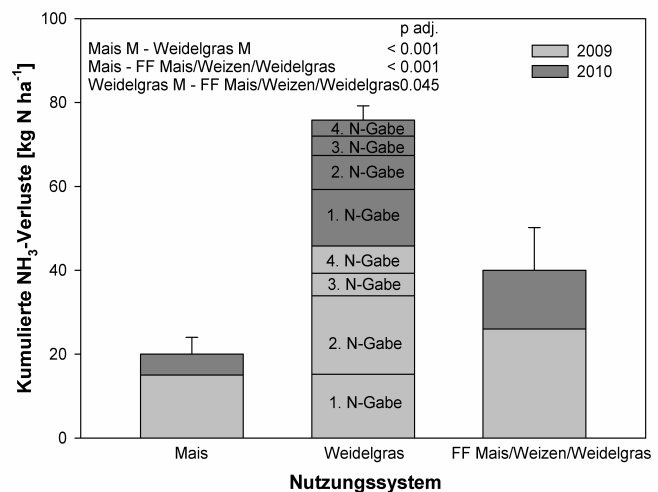
Die Emissionen von N<sub>2</sub>O nach N-Düngung (beide N-Formen) wurden mit der geschlossenen statischen Kammermethode (HUTCHINSON AND MOSIER 1981) in der höchsten N-Stufe ermittelt. Die Messung erfolgte 10 Tage nach der Düngung in relativ rascher Folge (täglich), danach wöchentlich über den gesamten Versuchszeitraum. Die Ergebnisse der Spurengasmessungen

**Tabelle 1:** Bedingungen und N-Düngung im Feldversuch

Parameter/Faktor	Wert
Textur	40 %T, 55 % U, 5 % S
Mittlere Jahrestemperatur	9.3°C
Mittlerer Jahresniederschlag	835 mm
Mittlere Windgeschwindigkeit	4 m s <sup>-1</sup> (2 m Höhe)
Gesamt-N Gehalt Biogasgülle	5 kg m <sup>-3</sup>
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N Anteil Biogasgülle	~68%
pH Biogasgülle	~7.8
	<b>Düngung optimal/hoch [kg N ha<sup>-1</sup>]</b>
Mais (Monokultur/Fruchtfolge)	100/150 + 50 kg Unterfusssdüngung
Monokultur Weidelgras	360 (120, 120, 70, 50)/480 (165, 145, 100, 70)
Fruchtfolge Weizen	220/300
Fruchtfolge Weidegras (1 Schnitt)	80/80



**Abb. 1: Trockenmasseerträge von Biogasfruchtfolgen (2 Jahre bzw. aus den unabhängig getesteten Gliedern der Fruchtfolge aufsummiert) nach Düngung mit Biogasgärresten (BG) und Kalkammonsalpeter (KAS) bei optimaler Düngungshöhe in der Marsch Nordfrieslands; Buchstaben indizieren**



**Abb.2: Kumulierte NH<sub>3</sub>-Verluste (2 Jahre) von Biogaskulturen in Selbst- und Fruchtfolge nach Düngung mit Biogasgärresten (BG) bei optimaler N-Düngungshöhe**

werden hier als kumulierte Verluste über die Versuchszeiträume dargestellt. Die statistische Verrechnung der Versuchsergebnisse erfolgte mit dem frei verfügbaren R-Statistikpaket und SAS.

## Ergebnisse und Diskussion

Mit Ausnahme des Silomaises wiesen die untersuchten Kulturen bei Gärrestdüngung signifikant geringere Erträge auf als bei Ausbringung von KAS (Abb. 1). Bei mineralischer Düngung konnten alle drei untersuchten Biogasfruchtfolgen in etwa gleich hohe Erträge erzielen, wobei die Fruchtfolge (mit Winterweizen) die signifikant höchsten Erträge aufwies. Für Ackergras zeigte sich nach Düngung mit Gärresten ein signifikant geringeres Ertragsniveau im Vergleich zu den anderen Prüfgliedern. Diese unterschiedliche Reaktion der untersuchten Kulturen kann auf ihren unterschiedlichen N-Bedarf sowie auf die für die jeweilige Kultur verfügbare N-Nachlieferung aus dem Boden zurückgeführt werden. So besitzt Grünland einen spezifisch erhöhten N-Bedarf und eine relativ geringe Durchwurzelungstiefe, während eine relativ hohe N-Nachlieferung in der Vegetationsperiode von Silomais erfolgt. Außerdem erhielt Mais unabhängig von

der Hauptdüngerform eine mineralische N-Unterfußdüngung (50 kg N ha<sup>-1</sup>). Die Unterschiede zwischen den Düngerformen ist zu großen Teilen auf den etwa 30% niedrigeren mineralischen N-Gehalt der Biogasgärreste im Vergleich zu KAS zurückzuführen. Darüber hinaus traten nach der Ausbringung von Biogasgärresten beträchtliche NH<sub>3</sub>-Emissionen auf, welche die Düngewirksamkeit der Biogasgärreste herabsetzen können.

Bei etwa gleich hohen relativen NH<sub>3</sub>-Verlusten (ca. 15% ausgebrachtes NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) im Vergleich der Produktionssysteme, wies Ackergras mit Abstand die höchsten absoluten NH<sub>3</sub>-Verluste auf (Abb. 2). Dies ist vor allem auf die hohen N-Applikationsmengen zurückzuführen. Auch ohne Einarbeitung der Gärreste wurden im Silomaisanbau die geringsten absoluten und relativen NH<sub>3</sub>-Emissionen beobachtet. Große Oberflächenrauigkeit und eine relativ trockene Bodenoberfläche bei Ausbringung in beiden Versuchsjahren haben vermutlich zu geringen Emissionen beigetragen. Der Effekt der NH<sub>3</sub>-Emissionen auf die Ertragsunterschiede ist schwer zu quantifizieren und wird zurzeit in weiteren Experimenten untersucht. Wegen der hohen Windgeschwindigkeiten in der

**Tabelle 2:** Kumulierte N<sub>2</sub>O-Emissionen bei hoher N-Düngung mit Biogasgärresten und KAS in den Versuchsjahren 2009 und 2010. Buchstaben = Signifikanzstufen (p < 0.05)

Kultur/Dünger	Weidelgras	Mais	Winterweizen+Weidelgras	Mittel
<i>[kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup>] 7. April 2009 bis 6. Dez. 2009</i>				
Kontrolle	0.22	0.93	0.21	0.45 a
KAS	2.00	1.15	2.43	1.86 b
Biogasgärrest	1.74	1.18	1.49	1.47 b
<i>[kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup>] 27. Feb. 2010 bis 30. Dez. 2010</i>				
Kontrolle	0.52	2.45	1.78	1.58 a
KAS	4.17	3.97	3.48	3.87 b
Biogasgärrest	4.85	3.51	2.67	3.67 b

wurden bei gleichen Temperaturverhältnissen im Vergleich zu anderen Standorten in Schleswig-Holstein (NI et al., accepted) deutlich erhöhte NH<sub>3</sub>-Emissionen ermittelt.

Ähnlich wie in der Übersichtarbeit von JUNGKUNST et al. (2006) für hydromorphe Böden angegeben lagen die N<sub>2</sub>O-Emissionen aus dem Marschboden, auch im Vergleich zu anderen Standorten in Schleswig-Holstein, relativ niedrig (Tab. 2). Im Jahr 2009 traten aufgrund der trockenen Witterung im Frühjahr und Frühsommer deutlich geringere N<sub>2</sub>O-Emissionen auf als im Folgejahr. Es wurden keine signifikanten Unterschiede der N<sub>2</sub>O-Emissionen sowohl zwischen den angebauten Kulturen als auch zwischen den Düngerformen ermittelt. Bezogen auf die gedüngten N-Mengen traten bei Mais keine spezifisch (je kg appliziertes N) höheren N<sub>2</sub>O-Verluste auf als bei Gras. Dies resultiert aus den sehr niedrigen N<sub>2</sub>O-Emissionen in den Kontrollparzellen unter Gras im Vergleich zu Mais, so dass die Differenz zwischen Kontrolle und Messparzelle je kg appliziertes N bei beiden Kulturen gleich ist. Bei vorherrschender Entwicklung von N<sub>2</sub>O aus der Denitrifikation können höhere N-Aufnahmeraten des Grases, und damit geringere verfügbare Nitratmengen und verringerte Nitratkonzentrationen diese Unterschiede der N<sub>2</sub>O-Freisetzung in den beiden Kontrollvarianten erklären. Allerdings lagen in den gedüngten Maisparzellen im Jahresverlauf durchgängig z.T. mehrfach erhöhte Nitratkon-

zentrationen im Vergleich zum Ackergras vor (Daten nicht gezeigt), so dass eine Erklärung des nicht Vorhandenseins von Unterschieden zwischen den beiden Kulturen unter N-Düngung nicht mit den beobachteten Nitratkonzentrationen erklärt werden kann. Obwohl bei Mais nur sehr geringe Unterschiede in den Erträgen zwischen der Kontrolle und den beiden N-Stufen vorlagen (Abb. 1), und somit eine Überdüngung und relativ geringe N-Effizienz vorhanden war, konnten keine erhöhten N<sub>2</sub>O-Emissionen beobachtet werden.

### Literatur

- HUTCHINSON AND MOSIER, 1981. G.L. Hutchinson and A.R. Mosier, Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. SSSAJ 45, 311–316.
- JUNGKUNST, H. F. et al. 2006. Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany - a synthesis of available annual field data. - Journal of Plant Nutrition and Soil Science 169, 341-351.
- NI K., PACHOLSKI, A., DIRK GERICKE, D. AND KAGE H. (201x): Analysis of ammonia losses after field application of biogas slurries by an empirical model, JPNSS, accepted.
- QUAKERNACK R.; PACHOLSKI A., TECHOW A.; HERRMANN A., et al. (2011): Ammonia volatilization and yield response after application of biogas residues to energy crops in a coastal marsh of Northern Germany, Agriculture, Ecosystems & Environment, DOI: 10.1016/j.agee.2011.05.030
- SOMMER, S. G., SCHJOERRING, J. K. AND DENMEAD, O. T. 2004. Ammonia emission from mineral fertilizers and fertilized crops. - In: Advances in Agronomy 82, 557-622.