

# Lachgasemission und Nitratauswaschung verschiedener Futterproduktionssysteme in Abhängigkeit von der Vornutzung

Bunne, I.<sup>1</sup>, Kluß, C., Loges, R., Herrmann, A. und Taube, F.

*Keywords: Futterproduktionssysteme, N<sub>2</sub>O Emissionen, NO<sub>3</sub> Auswaschung.*

## Abstract

*Intensified agriculture is often associated with nitrous oxide (N<sub>2</sub>O) emissions and nitrate (NO<sub>3</sub>) leaching losses into groundwater due to high application rates of N-fertilizer, increasing maize cultivation and ploughing up permanent grassland. N<sub>2</sub>O is an important anthropogenic greenhouse gas and agriculture is one of the main polluters. NO<sub>3</sub> leaching endangers groundwater quality. In a field experiment on the organically managed farm "Lindhof" in Northern Germany three different forage production systems (1. crop rotation, 2. continuous silage maize 3. permanent grassland) were established parallely after a) ploughing up permanent grassland and b) longtime arable use. N<sub>2</sub>O emissions were measured weekly over the two-year experimental period. Soil water samples were taken over the leaching season (Oct-Mar) once a week and analysed for N-content. The production systems "crop rotation" and "continuous maize" showed significant higher amounts of N<sub>2</sub>O emissions and NO<sub>3</sub> leaching than the newly established or resown grassland. In the system "crop rotation", maize after grass-clover had the highest emissions, because of high N-mineralization of clover residues, both during and after growing season. Long-term cropping history and manure application had no significant effects, but on plots established on former grassland, emissions and leaching tended to be higher.*

## Einleitung und Zielsetzung

Die Landwirtschaft durchläuft seit einigen Jahren den Trend der Intensivierung und Spezialisierung. Dies zeigt sich besonders im konventionellen Landbau, mit gesteigertem Stickstoff-Dünger Aufwand und Maisanbau. Landnutzungsänderungen hin zur Ackernutzung bringen ein hohes Risiko der Lachgas-(N<sub>2</sub>O)-Emission und N-Auswaschung mit sich. Auch in Bezug auf den Ökolandbau wird in der Literatur auf die Gefahr der sog. „Konventionalisierung“ zahlreicher Betriebe hingewiesen (Kratchovil *et al.* 2005). Für die Beurteilung der Ökoeffizienz von Betrieben unterschiedlicher Spezialisierung fehlen gerade im Bereich des Ökolandbaus entsprechende Messdaten, sodass im Bezug auf die Beurteilung von Produktionssystemen i. d. R. auf wenige z. B. nach Standort und Bewirtschaftungsintensität differenzierte, zum Teil weltweit geltende Standardfaktoren zurückgegriffen wird.

Vor diesem Hintergrund wurde 2010 am Standort Lindhof ein Dauerfeldversuch etabliert, in dem fünf verschiedene Produktionssysteme unterschiedlichen Spezialisierungsgrades (mit und ohne Wirtschaftsdünger) in Bezug auf kurz- und langfristige Nachhaltigkeitsindikatoren untersucht werden. Im hier vorliegenden Beitrag werden drei Produktionssysteme zur Erzeugung von Grundfutter auf die Ökoeffizienzkriterien N<sub>2</sub>O-Emissionen, Nitrat-(NO<sub>3</sub>)-Auswaschung und Ertragsleistung

---

<sup>1</sup> Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung; Abteilung Grünland und Futterbau/Ökologischer Landbau, Christian-Albrechts Universität, Hermann-Rodewald Str. 9, 24118 Kiel, Deutschland, [ibunne@gfo.uni-kiel.de](mailto:ibunne@gfo.uni-kiel.de), <http://www.grassland-organicfarming.uni-kiel.de>

analysiert. Zur Erhöhung der Aussagekraft erfolgte die Versuchsanlage parallel auf einer Fläche, die je zur Hälfte seit 1995 langfristig als ökologisches Dauergrün- bzw. Ackerland genutzt wurde, welches zu einer deutlichen Differenzierung der Ausgangs-Bodenhumusgehalte geführt hatte.

## Methoden

Ein Feldversuch bestehend aus drei Futterproduktionssystemen wurde im Herbst 2010 auf einer Fläche parallel nach einem Dauergrünlandumbruch und nach langjähriger Ackervornutzung in 4-faktorieller Spaltanlage ( $n=3$ ) auf dem ökologisch bewirtschafteten Versuchsgut „Lindhof“ der Universität Kiel angelegt (sandiger Lehm, Ackerzahl 43). Die langjährige durchschnittliche Jahrestemperatur beträgt  $8,9^{\circ}\text{C}$ , die mittlere Jahresniederschlagssumme 768 mm.

**Tabelle 1: Untersuchte Versuchsfaktoren und Faktorstufen**

Versuchsfaktor	Faktorstufe
Langjährige Vornutzung	1. Dauergrünland 2. Ackerland
Futterproduktionssystem	1. Grünland (Erneuerung / Neuanlage 2010) 2. Fruchtfolge: Klee gras, Mais, Winterweizen (Klee grasun tersaat) 3. Mais in Selbstfolge (als Referenzsystem)
N-Düngung	1. $0 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ 2. $240 \text{ kg N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ Rindergülle (nicht zu Klee gras)
Beobachtungsperiode	1. 2012/13 2. 2013/14

Grünland und Klee gras wurden über 4 Schnitte genutzt, Winterweizen als Ganzpflanzensilage geerntet, Mais gehäckselt. Im Beobachtungszeitraum wurden in allen Anbausystemen die Parameter TM- und Energie-Ertrag,  $\text{N}_2\text{O}$ -Emission und  $\text{NO}_3$ -Auswaschung erfasst.  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen wurden wöchentlich, bzw. nach Managementereignissen vermehrt mit dem statischen Messkammerprinzip (Hutchinson & Mosier 1981) gemessen und gaschromatografisch analysiert. Konzentrationsänderungen wurden über lineare Regression ermittelt und kumulative Jahresflüsse durch lineare Interpolation zwischen den Messtagen berechnet. Die N-Auswaschung wurde durch wöchentliche Beprobung keramischer Saugkerzen ab Beginn der Sickerung im Herbst bis Ende März bestimmt. Die Proben wurden auf den Gehalt der N-Fractionen  $\text{NO}_3\text{-N}$ ,  $\text{NH}_4\text{-N}$  und  $\text{N}_{\text{org}}$  photometrisch am Autoanalyser analysiert. Die Sickerwassermenge wurde mittels klimatischer Wasserbilanz nach Mohrlok (2009) berechnet. Die statistische Auswertung erfolgte über ein gemischtes Modell mit Vornutzung, Anbausystem und N-Düngung als fixe Faktoren. Unterschiede wurden mit einer Varianzanalyse und anschließendem multiplen Mittelwertsvergleich ermittelt.

## Ergebnisse

Im Mittel über die Versuchsjahre und N-Stufen emittierten die Fruchtfolge (3,8 (Vornutzung Dauergrünland) /  $2,7 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  (Vornutzung Ackerland) und Mais in Selbstfolge ( $4,3 / 2,7 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) signifikant höhere kumulierte  $\text{N}_2\text{O}$ -Mengen als das zu Versuchsbeginn neu angelegte Grünland ( $0,8 / 0,7 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ) (Tab. 2). Vornutzung Dauergrünland und Gülle-Düngung führten zu tendenziell höheren  $\text{N}_2\text{O}$ -Emissionen. Innerhalb der Fruchtfolge emittierte der Mais die höchsten  $\text{N}_2\text{O}$ -Mengen mit  $7,9 / 6,6 \text{ kg N}_2\text{O-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ . Dies entspricht ca. 75 % der Emissionen der Gesamtfruchtfolge. Die Emissionen des Maises aus der Fruchtfolge überstiegen die des Maises in Selbstfolge um fast das Doppelte.

**Tabelle 2: Kumulierte N<sub>2</sub>O-Emission (kg N<sub>2</sub>O-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) und NO<sub>3</sub>-Auswaschung (kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>) unterschiedlicher Futterproduktionssysteme bzw. einzelner Fruchtfolgeglieder in Abhängigkeit der Vornutzung (Dauergrünland vs. Ackerland) im Mittel der Versuchsjahre (2012/13 und 2013/14) und N-Stufen (0 und 240 kg N ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>)**

Vornutzung:	N <sub>2</sub> O-Emissionen kg N <sub>2</sub> O-N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>		NO <sub>3</sub> -Auswaschung kg NO <sub>3</sub> -N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	
	Dauergrünland	Ackerland	Dauergrünland	Ackerland
Grünland	0,8 <sup>B</sup>	0,7 <sup>B</sup>	2,5 <sup>B</sup>	5,7 <sup>A</sup>
Mais in Selbstfolge	4,3 <sup>A</sup>	2,7 <sup>A</sup>	12,7 <sup>A</sup>	8,6 <sup>A</sup>
Fruchtfolge	3,8 <sup>A</sup>	2,7 <sup>A</sup>	14,5 <sup>A</sup>	10,7 <sup>A</sup>
Kleegras	1,5 <sup>b</sup>	1,0 <sup>b</sup>	9,5 <sup>b</sup>	8,5 <sup>a</sup>
Mais	7,9 <sup>a</sup>	6,6 <sup>a</sup>	24,2 <sup>a</sup>	14,1 <sup>a</sup>
Winterweizen	1,9 <sup>b</sup>	0,8 <sup>b</sup>	9,8 <sup>b</sup>	9,7 <sup>a</sup>

Unterschiedliche Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Futterproduktionssystemen. Unterschiedliche Kleinbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Kulturen der Fruchtfolge (p<0.05).

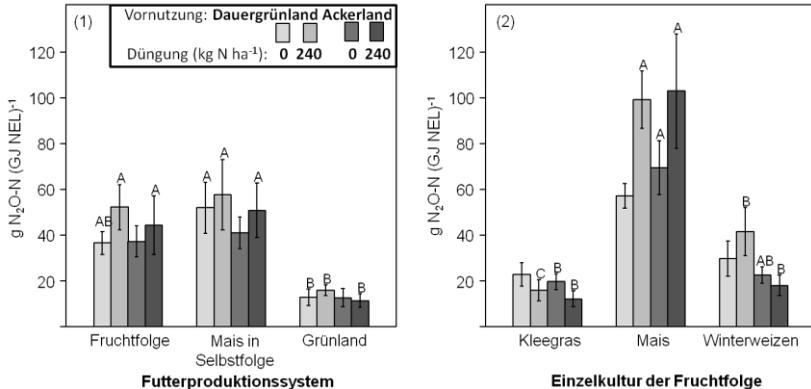
Grünland zeigte signifikant geringere NO<sub>3</sub>-Austräge (2,5 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>), als die Fruchtfolge (14,5 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>) und der Mais in Selbstfolge (12,7 kg NO<sub>3</sub>-N ha<sup>-1</sup>) bei Vornutzung Dauergrünland (Tabelle 2). Wie bei den N<sub>2</sub>O-Emissionen blieben Vornutzungs- und Düngefaktor ohne statistisch absicherbaren Einfluss. Innerhalb der Fruchtfolge trugen der Mais zu 50 %, Kleegras und Winterweizen zu je 25 % der durchschnittlichen Auswaschung bei. Gedüngter Mais nach Vornutzung Dauergrünland überschritt bei einer durchschnittlichen Sickerwassermenge von 209 mm deutlich den kritischen Trinkwassergrenzwert von 50mg NO<sub>3</sub> l<sup>-1</sup> Sickerwasser.

Bei der Betrachtung der Emissionen je Einheit Energieertrag ergaben sich ähnliche Effekte (Abb. 1). Die produktbezogenen N<sub>2</sub>O-Emissionen der Fruchtfolge und des Maises in Selbstfolge (42,6 bzw. 50,4 g N<sub>2</sub>O-N (GJ NEL)<sup>-1</sup>) waren signifikant höher als die des Grünlandes (13,2 g N<sub>2</sub>O-N (GJ NEL)<sup>-1</sup>). Die maximalen produktbezogenen Emissionen erreichte innerhalb der Fruchtfolge der Mais nach Vornutzung Dauergrünland und Gülledüngung mit 103 g N<sub>2</sub>O-N (GJ NEL)<sup>-1</sup>. Die Versuchsfaktoren Vornutzung und N-Düngung blieben ohne signifikanten Effekt.

In Bezug auf die Nitratauswaschung je erzeugter Einheit Nettoenergie zeigte sich das Grünland als vorteilhaft gegenüber den anderen Systemen (ohne Abb.).

## Diskussion

Die Ergebnisse zeigen, dass weder die Vornutzung noch die Düngung, sondern das Futterproduktionssystem bzw. die angebauten Kulturen den Haupteinfluss auf die Ausprägung der N<sub>2</sub>O-Emissionen und NO<sub>3</sub>-Auswaschungen ausübten. Es entstanden erhöhte N-Austräge nach Vornutzung Dauergrünland, die auf eine Anregung der Mineralisation akkumulierter organischer Substanz hindeuten. Gleiche Effekte, weitaus ausgeprägter, traten in dem Futterproduktionssystem Fruchtfolge auf. Der Kleegrasumbruch im Frühjahr führte zu deutlich höheren N<sub>2</sub>O-Emissionen und NO<sub>3</sub>-Auswaschungen des Maises in der Fruchtfolge gegenüber dem in der Selbstfolge, welches als Schwarzbrache überwinterte. Daher sollte nach einem (Kleegras-) Umbruch eine Kultur folgen, die große Mengen Stickstoff aufnimmt und vor dem Eintrag in die Umwelt schützt. Mit zunehmendem zeitlichem Abstand zum Umbruchszeitpunkt (abtragende Fruchtfolgestellung des Weizens) ergaben sich sinkende N-Austräge. Der Vergleich mit dem Grünland zeigt, dass wiederkehrende Bodenbearbeitungsmaßnahmen und Einarbeitung von Pflanzenresten eine wichtige Ursache



**Abbildung 1: Energieertragsbezogene N<sub>2</sub>O-Verluste (g N<sub>2</sub>O-N (GJ NEL)<sup>-1</sup>) der verglichenen Futterproduktionssysteme (1) bzw. der Einzelkulturen der Fruchtfolge (2) in Abhängigkeit von Vornutzung und N-Düngung im Mittel der Versuchsjahre (2012/13 und 2013/14)**

Verschiedene Großbuchstaben zeigen signifikante Unterschiede zwischen den (1) Futterproduktionssystemen bzw. zwischen den (2) Fruchtfolgeeinzelkulturen an (p < 0.05)

für die untersuchten Emissionen darstellt. Positiv zu beurteilen ist die Untersaat von Klee gras unter Getreide als ein emissionsarmes Etablierungsverfahren.

## Schlussfolgerungen

Der Versuch weist auf einige Problemfelder bei der Fruchtfolgegestaltung von Futterbaubetrieben hin. Auf schwachen Standorten, die früher traditionell als Grünland genutzt wurden, stellt die Nutzung als Grünland eine umweltfreundliche Alternative der Futtererzeugung dar. Mais, insbesondere nach hochproduktivem Klee gras, kann zu Problemen in Bezug auf N-Emissionen (während und nach dem Anbau) führen. Da es beim Klee gras selbst zu keinen nennenswerten Emissionen kommt und es zu dem den Bodenumusgehalt mehrt, stellt mehrjähriges Klee gras eine wichtige Komponente des klimafreundlichen Futterbaus dar.

## Danksagung

Das Projekt wurde mit Mitteln des EU-7<sup>th</sup>-Framework-Projektes „Cantogether“ gefördert.

## Literatur

- Hutchinson, G. L., Mosier, A. R. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Science Society of American Journal* 45: 311-316
- Kratochvil, R., Engel, A., Schumacher, U., Ulmer, H. (2005): Ökologischer Landbau zwischen Vision und Realität. *Ökologie und Landbau*, 136 (4): 48-50.
- Mohrlok, U. (2009): Bilanzmodelle in der Grundwasserhydraulik. Universitätsverlag Karlsruhe, Karlsruhe, S. 120ff