

Erhöhte N₂O-Emissionen durch Kohlenstoffanreicherung von Ackerböden infolge organischer Düngung ?

415

A. Kilian¹, R. Gutser¹ und N. Claassen²

Einleitung

N₂O ist eines der Spurengase, deren sicher nachgewiesener Konzentrationsanstieg in der Atmosphäre Anlaß zur Besorgnis gibt. Die Problematik liegt in seiner Rolle als Treibhausgas und in katalytischer Wirkung beim stratosphärischen Ozonabbau.

Weltweit kommt der Mikroflora der Böden die Rolle des Hauptemittenten zu. Gewollte und ungewollte Einträge von Stickstoff in Agrarökosysteme und natürliche Ökosysteme erhöhen zwangsläufig den Gesamtumsatz der Mikrobiologie und damit auch deren N₂O-Produktion. Hauptquelle des bodenbürtigen N₂O ist die Denitrifikation, deren Ablauf im Boden von einem Bündel von Steuervariablen bestimmt wird. Zur Denitrifikation befähigt ist der weit überwiegende Teil aller aerob und fakultativ aerob lebenden Bodenmikroorganismen. Je knapper das Sauerstoffangebot ist (völlig anaerober Boden, wenig Nitrat, hohes Nahrungsangebot, viele Mikroorganismen), umso vollständiger wird der Nitrat-Sauerstoff als Elektronenakzeptor genutzt, der Anteil des N₂ als Endprodukt steigt (GRANLI und BOECKMAN 1994).

Neben Wassergehalt, Durchlüftung und Nitratverfügbarkeit entscheidet über die Höhe der N₂O-Produktion natürlich auch der absolute Umfang des mikrobiellen Umsatzes im Boden, abhängig vom Angebot an verwertbaren Kohlenstoffverbindungen. Langjährige organische Düngung, die den Gehalt eines Bodens an organischer Substanz erhöht, könnte durch die damit einhergehende Ankurbelung des mikrobiellen Umsatzes möglicherweise zu einer dauerhaften Emissionsverstärkung führen. Dieser Aspekt der N₂O-Problematik betrifft natürlich auch den organischen Landbau, dessen Verzicht auf die Applikation mineralischer N-Dünger andererseits eine Verminderung der Stickoxidemissionen gegenüber konventioneller Landbewirtschaftung bewirken sollte.

Die vorliegende Studie versucht anhand von Varianten aus Dauerversuchen eine Beantwortung dieser Fragen. Obwohl nicht nach den Spielregeln des organischen Landbaues bewirtschaftet, gestatten diese Versuche zu unterschiedlichen Systemen organischer Ergänzungsdüngung mit ihren sonst gleich bewirtschafteten Kontrollblöcken ohne Applikation der jeweiligen organischen Dünger brauchbare Aussagen zur Thematik.

1 A. Kilian und Dr. R. Gutser, Lehrstuhl für Pflanzenernährung, TU München, 85350 Freising

2 Prof. Dr. N. Claassen, Agrikulturchemisches Institut der Universität Göttingen, 37075 Göttingen

Material

Die Messungen der N₂O-Emissionen erfolgten auf drei langjährigen benachbarten Feldversuchen mit bekannter Bewirtschaftungshistorie nahe Freising, alles tiefgründige Braunerde aus Lößlehm. 1996 erhielten die Versuche keine organische Düngung, um die Wirkung der langjährigen Kohlenstoff-Unterstützung ungestört beobachten zu können.

Versuch 053: 'Steigerung mineralischer Düngung mit/ohne Gülledüngung'. Versuchsbeginn 1979, Gasflußmessung 1995; 1995 Winterweizen-Wintergerste.

VG 1/1: Kontrolle ohne N-Düngung, geringer Ertrag.

VG 1/4: Mineraldüngung (Ø 1990-1995: 170kg N/ha) - standortbezogener Höchstertrag.

VG 3/3: Mineraldüngung (Ø 128kg N / ha*a) + Gülle (Ø 155kg Gesamt-N / ha*a).

Versuch 031: 'Wirkung von Bioabfallkompost'. Versuchsbeginn 1991, Gasflußmessung 1996; 1996 Hafer. Einheitlich 2 x 30kg N/ha Kalkammonsalpeter (16.4. + 23.5.).

VG 13: Kontrolle ohne Kompost.

VG 43: 1200kg N/ha als Kompost seit 1991 (letzte Gabe: 180kg N Oktober 1995).

Versuch 034: 'Gülleinsatz im Rinderhaltungsbetrieb'. Versuchsbeginn 1990, Gasflußmessung 1996; 1996 Silomais (Vorfrucht Wintergerste).

VG I/3: Kontrolle ohne Gülle; (Ø 147kg N/ha mineralisch).

VG II/3: Ø 120kg Gülle-N/ha + Mineraldüngung (Ø 123kg N/ha), 1996 keine Gülle.

Beide VG erhielten 1996 30kg N/ha Kalkammonsalpeter zur Saat (29.4.).

Tab. 1: Gesamt-Kohlenstoffgehalte im Oberboden (0-30cm) der Versuchsglieder, Mai 1996 [% in der Trockensubstanz]

	053 I/1	053 I/4	053 3/3	031 13	031 43	034 I/3	034 II/3
Ges.-C	1,10	1,14	1,27	1,26	1,84	1,79	1,90

Methoden

Die Feldmessungen der N₂O-Flüsse erfolgten mit "geschlossenen Kammern" nach HUTCHINSON und MOSIER (1981). Zur Umgehung der bekanntermaßen hohen räumlichen Variabilität wurden alle Versuchspartellen mit je acht Dauermeßpunkten belegt (an der Erdoberfläche endende, 3cm hohe Plastikrahmen). Innerhalb einiger Wochen wurden die Gasproben (gezogen mit gasdichten Spritzen und gelagert in speziellen, evakuierten Gassammelcontainern) gaschromatographisch analysiert (Injektion durch Autosampler). Die Bestimmung der Denitrifikationspotentiale erfolgte nach TIEDJE (1994) anhand feldfrischer Bodenproben. Das Ausmaß der N₂O-Produktion unter den Bedingungen dieser Methode spiegelt die gesamte mikrobielle Aktivität zum Zeitpunkt der Probenahme wieder, da die weit überwiegende Mehrheit der Bodenmikroflora zur Denitrifikation befähigt ist.

Ergebnisse und Diskussion

Dynamik der N_2O -Freisetzung

Die folgende Abbildung 1 zeigt die N_2O -Abflüsse von Versuch 053 im Jahresverlauf gegliedert in eine "Grundlinie" sowie mehr oder weniger weit darüber hinauschießende "Peaks". Sie können präzise auslösenden Ereignissen zugeordnet werden. Dies sind ackerbauliche Maßnahmen (Applikationen von Mineraldünger oder Gülle), Niederschlagsereignisse oder Auftauprozesse.

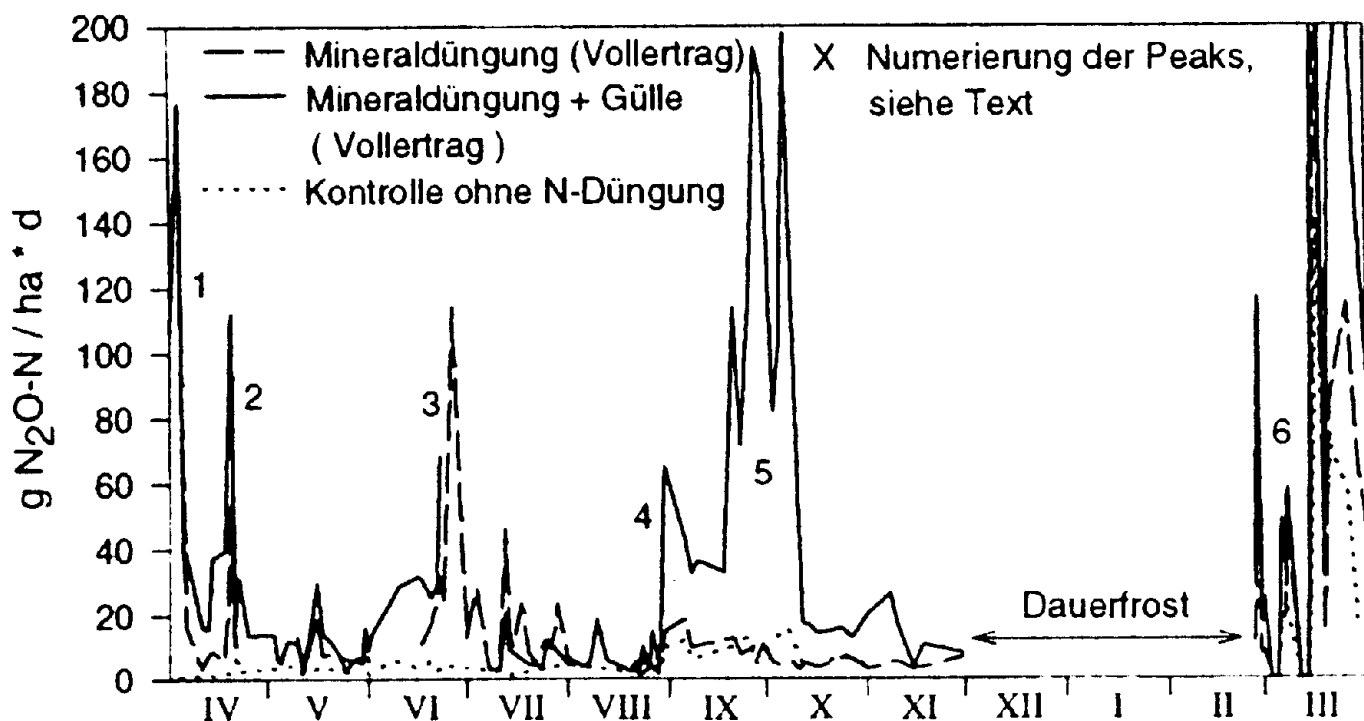


Abbildung 1: N_2O -Flüsse Versuch 053 von April 1995 bis März 1996.

Im Folgenden seien die auslösenden Ereignisse der in der Abbildung 1 durchnummerierten großen Peaks (entscheidend für die Größenordnung der Gesamtemission) kurz benannt: Mineraldüngerapplikation auf nahezu wassergesättigten Boden erzeugte Peak 1. Nach einer Beruhigung bei abtrocknendem Boden, der noch immer viel Nitrat bereithielt, bewirkte ergiebiger Niederschlag erneut kräftige N_2O -Freisetzung (Peak 2). Peak 3 ist wieder auf Mineraldüngerapplikation auf nassen Boden zurückzuführen. Peak 4 erschien nur bei den güllegedüngten Versuchsgliedern während der Wiederbefeuchtung nach einem Monat Trockenzeit, der dreigipfelige Peak 5 schließlich repräsentiert die kurzfristigen Folgen einer Gülleearbeitung, hier könnte neben der Denitrifikation auch die Nitrifikation einen erheblichen Beitrag geleistet haben. Die mit '6' bezeichnete Serie von Peaks fand sich während wiederholten Gefrier-Auftau-Zyklen, ab Mitte März verstärkte Emissionen nach einer Mineraldüngergabe. Über tiefgefrorenem Boden fand sich bei stichprobenhaften Messungen zwischen Dezember und Mitte Februar keinerlei Gasabfluß. Gemeinsam ist allen Situationen mit hohen N_2O -Abflüssen die Kombination von hoher Wassersättigung mit relativ hohem Nitratspiegel in den Oberböden (deren

Nitratgehalte kontinuierlich verfolgt wurden) - erwartungsgemäß ein deutlicher Hinweis auf Denitrifikation als die Hauptquelle des bodenbürtigen N_2O . Solange die Nitratwerte im Boden einen Wert von ca. $1,5 \text{ mg NO}_3\text{-N / kg}$ Trockensubstanz nicht überschritten (Kontrolle ohne N-Düngung !) fanden sich trotz Wassersättigung keine Peaks. Ursache ist nicht das Fehlen von Denitrifikation, sondern die Dominanz von N_2 als Endprodukt von Denitrifikation bei niedrigem Nitratangebot - je knapper das Angebot an Elektronenakzeptoren, umso wahrscheinlicher die vollständige Reduktion des N_2O , bevor es ausgast (BLACKMER und BREMNER 1978). Im organischen Landbau ist diese Situation eher zu erwarten als bei konventioneller Landwirtschaft, wo die Applikation konzentrierter mineralischer N-Dünger häufig für anhaltend hohe Nitratgehalte der Böden sorgt.

Die Integration der N_2O -Flüsse aus Abb. 1 ergibt folgende mengenmäßige Bilanz:

Tabelle 2: Summen der N_2O -Abflüsse von Versuch 053 [kg N / ha]

	VG 1/1	VG 1/4	VG 3/3
Ó IV '95 - IX '95	0,8	3,0	5,0*
Ó IV '95 - III '96	2,5	5,4	11,9

* ohne Peak Nr. 5 (Gülleearbeitung)

Diese Zahlen kennzeichnen neben der Gülleearbeitung die Schaffung eines hohen Nitratangebotes durch Düngungsmaßnahmen als entscheidendes Moment zum Erhalt hoher N_2O -Ausgasung.

Einfluß einer Kohlenstoffanreicherung

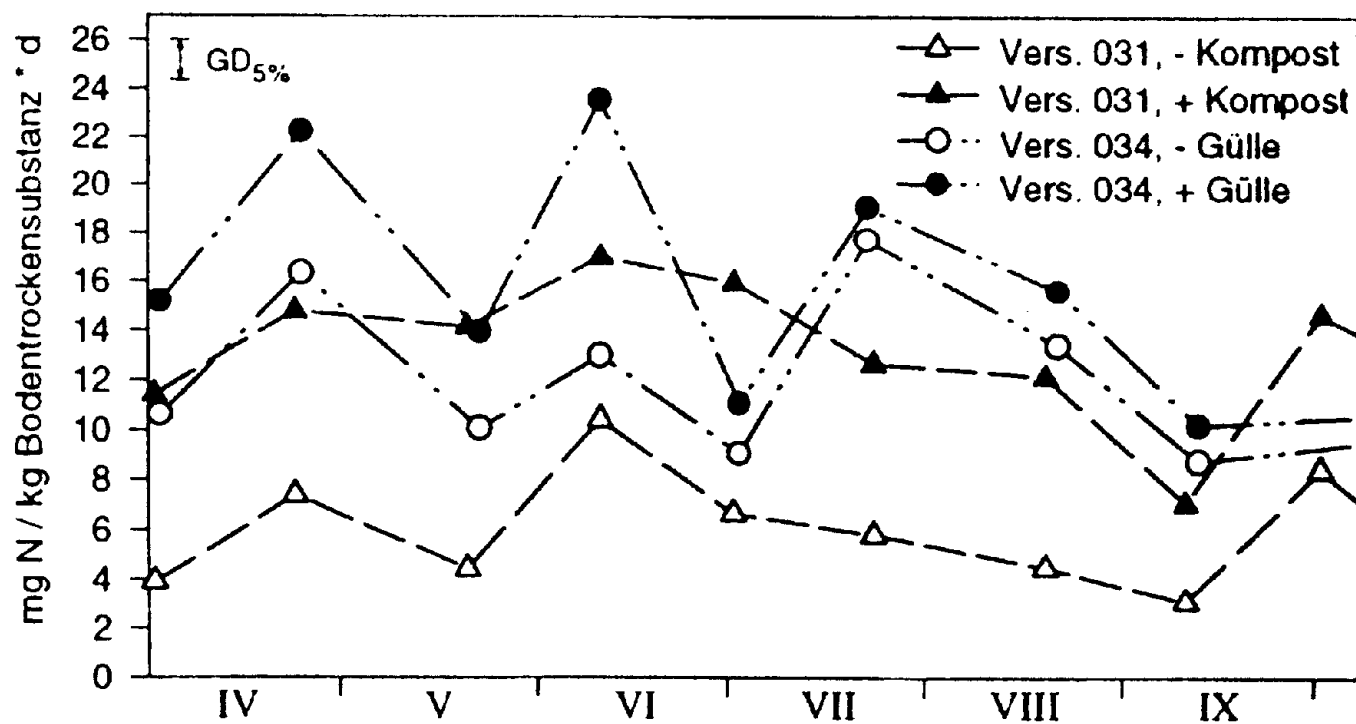


Abbildung 2: Denitrifikationspotentiale der Versuchsflächen 031 und 034 1996.

Die Versuchsglieder mit organischer Düngung aller Feldversuche zeigen analog zu ihrer Anreicherung mit Kohlenstoff (siehe Tab. 1) eine permanent gesteigerte mikrobielle Aktivität gegenüber den Kontrollen ohne Applikation organischer Dünger (siehe Abb. 2). Diese signifikanten Unterschiede im Denitrifikationspotential (bzw. in der mikrobiellen Aktivität) der Varianten finden sich in den beobachteten N_2O -Abflüssen kaum wiedergespiegelt - siehe die folgende Abb. 3. Erst die Summierung über die Zeit verdeutlicht einen etwas höheren N_2O -Abfluß von den Varianten mit organischer Düngung (siehe Tabelle 3).

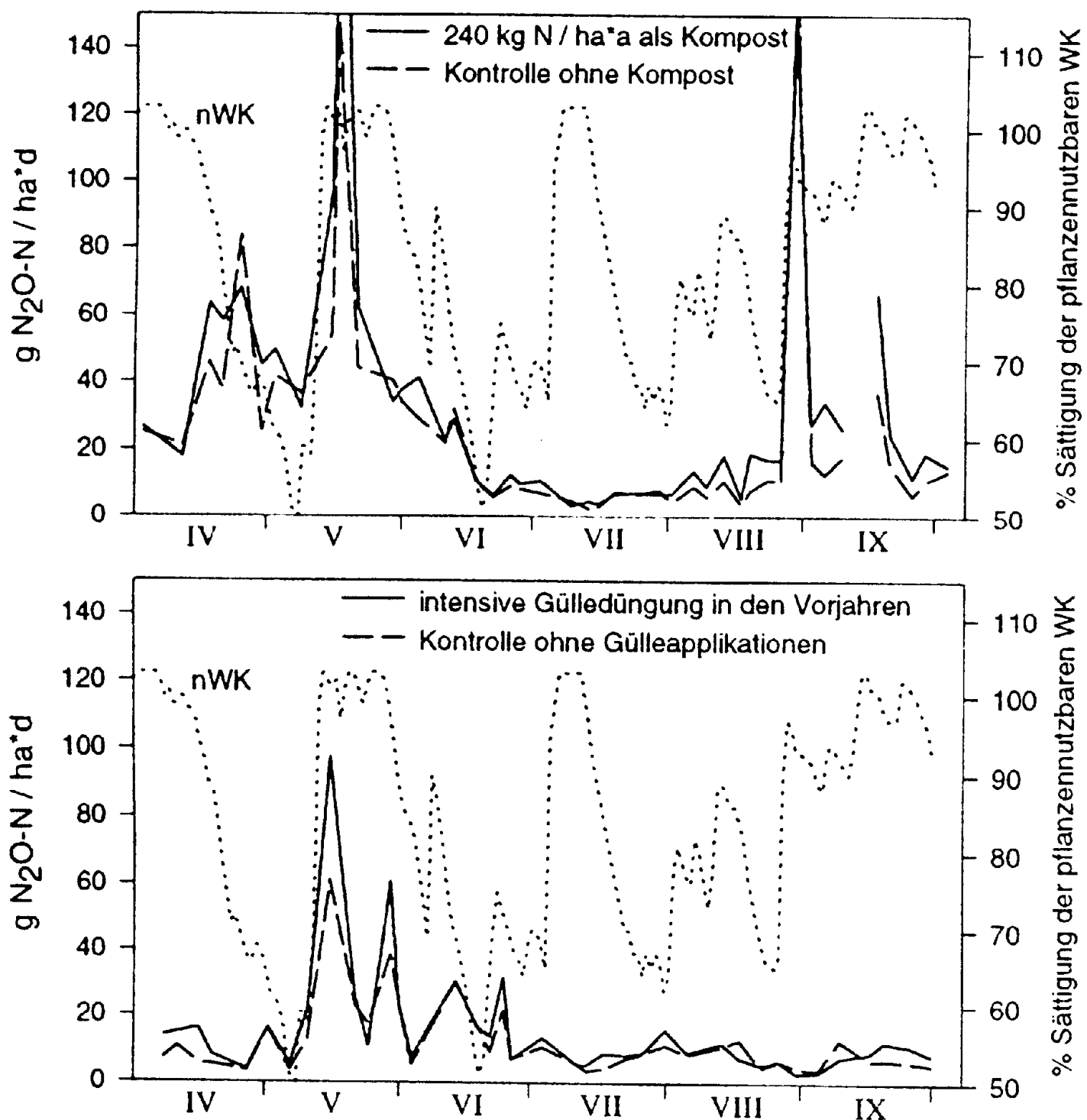


Abbildung 3: N_2O -Abflüsse von Versuch 031 (oben) und Versuch 034 (unten) 1996.

Tabelle 3: Summen der N_2O -Abflüsse von den Versuchen 031 und 034 [kg N / ha]

	031; -Kompost	031; +Kompost	034; -Gülle	034; +Gülle
Σ IV'96 - IX'96	5,0	5,7	2,2	2,8

Der fördernde Effekt früherer organischer Düngung mit spürbarer Kohlenstoffanreicherung auf die N_2O -Abflüsse fällt bescheidener aus, als es die großen Abstufungen im Denitrifikationspotential vermuten ließen. Gegenüber den massiven Abweichungen zwischen den Ackerstandorten (031 und 034) tritt er zurück.

Zur Interpretation der auffallenden Standortunterschiede ist die Betrachtung der jeweiligen Bewirtschaftungsmaßnahmen hilfreich: Die beim Versuch 031 von Mitte April bis in den Juni hinein andauernde Phase hoher N_2O -Abgasung wurde eingeleitet durch den Anbau der Sommerung (Hafer) mit Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung und Einbringung einer Startdüngung zur Saat (30kg N/ha Kalkammonsalpeter). Kräftige Niederschläge Mitte Mai brachten den Maximalpeak, die anschließende zweite Mineraldüngergabe sorgte für einen hohen Nitratspiegel bis in den Juni hinein. Zu diesem Zeitpunkt hatte dann der Getreidebestand den Boden "geleert", die kräftige Durchfeuchtung im Juli bewirkte wegen fehlendem Nitratangebot keine spürbare N_2O -Produktion durch Denitrifikanten. Die Peaks Ende August und Mitte September traten dann während Durchfeuchtung der jeweils kurz vor den Niederschlägen im Zuge der Stoppelbearbeitung bewegten Krume auf (jede Bodenbearbeitung erzeugt neue Oberflächen, erschließt den Mikroorganismen Nahrung und Nährstoffe).

Versuch 034 wurde Ende April mit Silomais bestellt (Bodenbearbeitung zur Saatbettbereitung, Vorratsdüngung zur Saat), anschließend erzeugten Niederschläge jeweils N_2O -Peaks, bis Ende Juni auch hier der Nitratvorrat des Oberbodens erschöpft war. Ohne jegliche weitere Bewirtschaftungsmaßnahmen blieben die N_2O -Abflüsse in der Folge gering. Auch auf diese beiden Feldversuche treffen also die Schlüsse aus Versuch 053 zur Dynamik der N_2O -Freisetzung voll zu.

Der Vergleich zwischen den Flußbildern der beiden Ackerstandorte von Abb. 3 zeigt also, daß Kultur und Kulturführung offenbar einen stärkeren Einfluß auf die N_2O -Abgabe haben als die mikrobielle Aktivität in den Böden der Flächen (siehe Abb. 2) - wäre dieser Parameter entscheidend, müßte Versuch 034 stärker emittieren als Versuch 031, tatsächlich ist es umgekehrt.

Innerhalb der Versuche emittieren die jeweiligen Varianten mit organischer Düngung und erhöhter mikrobieller Aktivität im Boden (siehe Abb. 2) tendenziell etwas mehr N_2O als die Kontrollen ohne organische Düngung. Dieser Befund harmoniert mit der gemeinsamen Kernaussage nahezu aller Laborstudien zum Thema, wonach die Verfügbarkeit mikrobiell verwertbarer Kohlenstoffverbindungen der wichtigste Kontrollfaktor für Denitrifikationsraten unter anaeroben Bedingungen ist (SWERTS et al., 1996). Zu bedenken ist hier, daß der Boden als äußerst heterogenes System auch dann noch viele kleinräumige anaerobe Zonen mit mikrobieller Denitrifikation im Inneren von Bodenaggregaten aufweist, wenn er als Gesamtheit von Wassergehalt und

Durchlüftung her als aerob gelten kann (PARKIN 1987). Steigernd auf mögliche N₂O-Verluste durch Denitrifikation wirkte auf den organisch gedüngten Parzellen außerdem ein permanent etwas erhöhtes Nitratangebot im Boden (nicht dargestellt).

Schlussfolgerung

Die vorliegenden Langzeit-Meßreihen ordnen sich von der Größenordnung der Gesamt-Verluste her jenen meist jüngeren Studien zu, die relativ hohe N₂O-Verluste von ca. 3% des applizierten (Mineral-)Düngerstickstoffs als normal ansehen (GRANLI und BOECKMAN 1994).

Zur Situation des ökologischen Landbaues hinsichtlich der N₂O-Problematik sind einige Aussagen möglich:

Der konsequente Verzicht auf die Applikation mineralischer N-Düngemittel eliminiert das wichtigste "Antriebsmoment" für die großen N₂O-Peaks, die für den überwiegenden Teil der jährlichen Gesamtverluste verantwortlich sind (siehe "Dynamik der N₂O-Freisetzung"). Hinzu kommt ein geringerer Einsatz von Wirtschaftsdüngern (Gülle !) wegen begrenztem Viehbesatz. Dagegen tritt der die N₂O-Verluste fördernde Effekt der Kohlenstoff-Anreicherung der Böden, welcher den Ergebnissen der vorliegenden Studie nach recht bescheiden ausfällt, bedeutungsmäßig deutlich zurück. In der Summe wird die Bewirtschaftung eines Ackerstandortes nach den Prinzipien des organischen Landbaues gegenüber der konventionellen Bewirtschaftung höchstwahrscheinlich zu einer deutlichen Verminderung der N₂O-Emissionen führen.

Die massiven N₂O-Verluste während Gefrier-Auftau-Zyklen im Winter bzw. Frühjahr, sowie Peaks nach Bodenbearbeitung (pflügen, grubbern usw.) sind unvermeidbar.

Die im ökologischen Landbau übliche oberflächliche Applikation gut verrotteter organischer Dünger (Kompost, Stallmist) läßt keine solchen dramatischen Effekte erwarten, wie wir sie nach Gülleeinarbeitung beobachteten - sorgfältige Sicherstellung rein aerober Rottevorgänge an den Lagerplätzen vorausgesetzt, sonst verlagern sich nur Zeitpunkt und Ort der Emissionen.

Literaturverzeichnis

- Blackmer, A.M. und Bremner, J.M. 1978 : Inhibitory effect of nitrate on reduction of nitrous oxide to molecular nitrogen by soil microorganisms. *Soil Biol. Biochem.* 10: 187-191.
- Granli, T. and Bøckman, O. 1994 : Nitrous oxide from agriculture. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences* No. 12.
- Hutchinson, G.L. and Mosier, A.R. 1981 : Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 311-316.
- Parkin, T.B. 1987 : Soil microsites as a source of denitrification variability. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 51: 1194-1199.
- Swerts, M., Merckx, R. and Vlassak, K. 1996 : Influence of carbon availability on the production of NO, N₂O, N₂ and CO₂ by soil cores during anaerobic incubation. *Plant and Soil* 181: 145-151.
- Tiedje, J.M. 1994 : Denitrifiers. S. 245-267 in *Methods of Soil Analysis Part 2 - Microbiological and Biochemical Properties*. Number 5 in the Soil Science Society of America Book Series, Madison, USA.