

# Bestimmung bodenbürtiger Spurengasflüsse beim Anbau nachwachsender Rohstoffe

Die Umweltbilanz nachwachsender Rohstoffe wird durch die Emission von klima- und umweltrelevanten Spurengasen beeinträchtigt. In Abhängigkeit von Intensität und Art der Stickstoffdüngung werden sowohl Lachgas oder Ammoniak emittiert als auch der Methanabbau im Boden beeinflusst. FTIR-Messungen zeigen, dass Ammoniakflüsse bei Düngung mit Kalziumsalpater unter der Nachweisgrenze bleiben. Der Mittelwert für die düngerinduzierten  $N_2O$ -Emissionen liegt nur bei 0,2 % der N-Düngergabe. Die GC-Messungen ergeben, dass der bodenbürtige Abbau atmosphärischen Methans der Bodentemperatur folgt.

Prof. Dr. rer. nat. habil. Hans Jürgen Hellebrand ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung „Technikbewertung und Stoffkreisläufe“ und Dr.-Ing. Volkhard Scholz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung „Technik der Aufbereitung, Lagerung und Konservierung“ des Institutes für Agrartechnik Bornim e. V., Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam (Wissenschaftlicher Direktor: Prof. Dr.-Ing. Jürgen Zasko); e-mail: jhellebrand@atb-potsdam.de

Referierter Beitrag der LANDTECHNIK, die Langfassung finden Sie unter LANDTECHNIK-NET-com.

## Schlüsselwörter

Emissionsraten, Ammoniak, Lachgas, Methan, FTIR-Spektroskopie, Gaschromatographie

## Keywords

Emission rates, ammonia, nitrous oxide, methane, FT-IR spectroscopy, gas chromatography

Literaturhinweise sind unter LT 00408 über Internet <http://www.landwirtschaftsverlag.com/landtech/lo-cal/fliteratur.htm> abrufbar.

Eine intensive Diskussion über Lachgasemissionen ( $N_2O$ ) und die tatsächlich erforderlichen Stickstoffgaben beim Anbau von nachwachsenden Rohstoffen entstand in Verbindung mit der Veröffentlichung der ökologischen Bilanz von Rapsöl und Rapsölmethylester [1]. Mehrere Autoren [2-5] setzten sich in der Folgezeit verstärkt mit diesem Problem auseinander. Die UBA-Studie kam zu dem teilweise umstrittenen Ergebnis, dass Rapsöl als Dieselsubstitut keine deutlichen Vorteile gegenüber dem Dieseldieselkraftstoff hinsichtlich der Klimaeffekte habe. Die Umweltwirkungen der düngerinduzierten  $N_2O$ -Emissionen bilden einen wesentlichen Stützpfiler der Argumentationskette. Auch in der neueren UBA-Studie zur Bewertung des Einsatzes von Rapsöl/RME im Vergleich zu Dieseldieselkraftstoff [6] ist die  $N_2O$ -Bildung ein dominanter Negativfaktor in der Umweltbilanz. In der Ökobilanz [1] wird eine düngerinduzierte  $N_2O$ -N-Emission von 2% bis 3% der N-Jahresgabe als wahrscheinlicher Bereich angenommen. In der aktuelleren Bewertung [6] werden die von der IPCC [7] empfohlenen Umrechnungsfaktoren verwendet. Danach liegt in gemäßigten Breiten der  $N_2O$ -N-Emissionswert bei 1,25% und soll je nach Boden- und Klimabedingungen zwischen 0,25% und 2,25% schwanken. Da die  $N_2O$ -Freisetzung von vielen Faktoren abhängt, können standortabhängig deutliche Abweichungen auftreten. In die Umweltbilanz werden weitere Gase, insbesondere Ammoniak ( $NH_3$ ) und

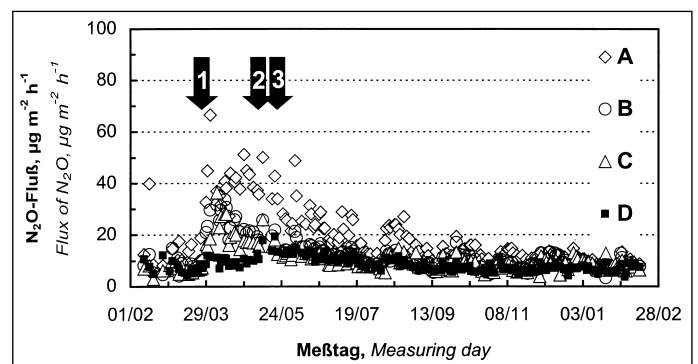
Methan ( $CH_4$ ), eingeordnet. Um die ökologischen Vorteile nachwachsender Rohstoffe besser bewerten zu können, sollen mit den hier vorgestellten Untersuchungen detailliertere Kenntnisse zum Einfluss der Bewirtschaftung (Düngung, Pflanzenart) auf die bodenbürtigen Gasflüsse gewonnen werden.

## Bodenbürtige Gasflüsse

Die biologische Aktivität im Boden führt zu Gasflüssen zwischen Atmosphäre und Boden. Viele Organismen verbrauchen Sauerstoff. Einige können je nach Bodenbedingungen Wasserstoff ( $H_2$ ), Kohlenmonoxid ( $CO$ ) sowie  $CH_4$  abbauen oder  $CH_4$  freisetzen.  $CH_4$ -Emissionen als Ergebnis anaerober Umsetzung von organischer Substanz findet man vorwiegend in hydromorphen Böden (Moorstandorte) [8]. Kohlendioxid ( $CO_2$ ) und Oxidationsstufen des Stickstoffs ( $N_2O$ ,  $NO$  und  $NO_2$ ) werden als gasförmige Stoffwechselprodukte emittiert. Obwohl Bodenemissionen von Stickstoffmonoxid ( $NO$ ) deutlich höher sein können als  $N_2O$ -Emissionen [9, 10], weist  $NO$  aufgrund der kurzen atmosphärischen Verweildauer eine untergeordnete Klimarelevanz auf.  $NO$  und das Oxidationsprodukt Stickstoffdioxid ( $NO_2$ ) müssen in der Umweltbilanz berücksichtigt werden, da sie den troposphärischen Ozongehalt beeinflussen [11]. Insgesamt sind die bisherigen Kenntnisse zu biogenen  $NO$ -Emissionen jedoch noch nicht ausreichend, um  $NO$ -Bodenemissionen in die Umweltbi-

Bild 1:  $N_2O$ -Bodenemissionsverlauf 1999/2000 auf den Pappelparzellen A, B, C und D. Die Zeitpunkte der Düngungsgaben sind mit Pfeilen gekennzeichnet: 1 – Düngung von A, B und C mit je  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  am 26. März 1999; 2 – Düngung von A mit  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  sowie B und C mit je  $25 \text{ kg N ha}^{-1}$  am 7. Mai 1999; 3 – Düngung von A mit  $50 \text{ kg N ha}^{-1}$  am 18. Mai 1999

Fig. 1: Course of  $N_2O$  emission rates from the soil of the poplar plots A, B, C and D during 1999/2000. Fertilising dates are indicated by arrows: 1 –  $50 \text{ kg N/ha}$  for the plots A, B and C on March 26<sup>th</sup> 1999; 2 –  $50 \text{ kg N/ha}$  for plot A on May 18<sup>th</sup> 1999



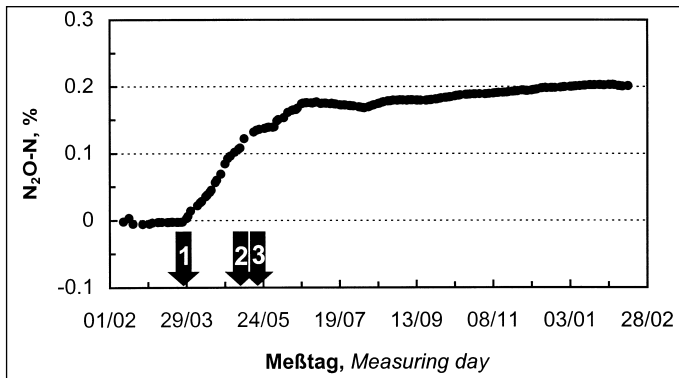


Bild 2: Verhältnis der akkumulierten, düngungsinduzierten  $N_2O$ -N-Bodenemissionen zur Stickstoffjahresgabe (Gewichtete Mittelwerte aller Parzellen A, B und C als Differenz zum Mittelwert aller Parzellen D). Die Zeitpunkte der Düngungsgaben sind mit Pfeilen gekennzeichnet (s. Bild 1).

Fig. 2: Accumulated fertilizer induced soil emission of  $N_2O$ -N as ratio to the total annual fertilisation level (Fertiliser related mean values of all plots A, B, and C as difference to the mean value of all plots D). Dates of fertilising are indicated by arrows (see Fig. 1).

lanz nachwachsender Rohstoffe einzuordnen. Deshalb werden in der UBA-Studie [1] biogene  $NO$ -Emissionen nicht bewertet und in der Studie [6] werden  $NO_x$ -Feldemissionen gleich Null gesetzt.

Düngung kann die biologische Aktivität beeinflussen. Da Nitrationen die Methanogenese hemmen [12], müsste Stickstoffdünger die Methanbildung einschränken. Methanotrophe Bakterien oxydieren Methan und reduzieren oder verhindern Methanemissionen insbesondere in Feuchtgebieten, wo eine stärkere Methanbildung vorhanden ist [13, 14]. Die Oxidation des atmosphärischen Methans ist bisher nicht eindeutig geklärt [15].

Wenig gesichert ist die Datenlage bezüglich  $NH_3$ -Emissionen aus den Böden, also nach Einarbeiten oder Einsickern ammoniumhaltiger Düngersubstanzen und infolge Ammonifikation proteinhaltiger organischer Substanz (Gründüngung). Die gute Wasserlöslichkeit und die hohe Adsorptionsneigung des  $NH_3$  an Oberflächen hemmen  $NH_3$ -Bodenemissionen stark.  $NH_3$  stimuliert über die im Boden ablaufenden Nitrifikations- und Denitrifikationsprozesse Lachgasemissionen. Deshalb werden bei ammoniumhaltigen Nitratdüngern höhere  $N_2O$ -Freisetzungen beobachtet als bei reinen Nitratdüngern [11].

### Versuchsfeld und Gasesstechnik

Seit Anfang 1997 erfolgen begleitende Gasflussmessungen auf einem Versuchsfeld des ATB (40 Parzellen á 624 m<sup>2</sup>) [17], wo unter praxisnahen Bedingungen der umweltverträgliche Anbau nachwachsender Rohstoffe untersucht wird. Die Ergebnisse der Jahre 1997 und 1998 beruhen auf wöchentlichen Probenahmen mit anschließender FTIR-Gasanalyse [5]. Seit Anfang 1999 werden die Gasproben viermal wöchentlich mit einem automatisierten GC [18] ausgewertet. Die FTIR-Analyse führt bei der gewählten Messanordnung zu Variationskoeffizienten

von 7% bei der Analyse von  $N_2O$  und  $CH_4$  in atmosphärischen Konzentrationsbereichen sowie von etwa 20% bei der  $NH_3$ -Bestimmung sehr geringer Konzentrationen (< 0,5 ppm). Die Standardabweichung beim Bestimmen des massebezogenen Flusses für alle drei Gase liegt im Bereich um  $20 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Die automatisierte GC-Mess-technik hat eine Standardabweichung von  $0,6 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  für  $CH_4$  und  $0,17 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  für  $N_2O$  bei der Untersuchung der bodenbürtigen Flüsse.

### Ammoniak, Lachgas und Methan

Obwohl mit Kalkammonsalpeter ein ammoniumhaltiger Dünger ausgebracht wurde, waren bei  $NH_3$  im Gegensatz zu den  $N_2O$ -Messungen keine düngerinduzierten Emissionen mittels der FTIR-Mess-technik nachweisbar. Die FTIR- $NH_3$ -Messwerte schwanken stochastisch innerhalb der Messfehlergrenzen. In Verbindung mit der FTIR- $NH_3$ -Standardabweichung von  $20 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$  würde für die Parzellen mit der höchsten Düngungsstufe folgen, dass düngerinduzierte  $NH_3$ -Emissionen ab etwa  $2 \text{ kg NH}_3 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  zu beobachten sein müssten. Die  $NH_3$ -Nachweisgrenze der Flussmessungen ist besser als  $5 \mu\text{g m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Daher ist es wahrscheinlich, dass diese Emissionen noch wesentlich geringer sind.

Düngerinduzierte  $N_2O$ -Emissionen konnten bereits in den Messjahren 1997 und 1998 nachgewiesen werden. Die Messfrequenz und die Messunsicherheit verhinderten eine quantitative Auswertung. Mit dem Übergang auf die GC-Messtechnik und der Vervierfa-

chung der Messfrequenz gelang es, den Emissionsverlauf genauer zu erfassen. Signifikant erhöhte Lachgasemissionen treten ab dem Folgetag der Düngungsgabe auf und sind danach noch etwa drei Monate nachweisbar (Bild 1). Die gewichtete Differenz der akkumulierten Mittelwerte von ungedüngten und gedüngten Parzellen liefert eine erste Aussage zum  $N_2O$ -Emissionsfaktor. Am untersuchten lehmig-sandigen Standort treten düngerinduzierte Emissionen nur in einer Höhe von etwa 0,2% auf (Bild 2). Dieser Wert liegt am unteren Ende des vom IPCC [7] empfohlenen Ansatzes für die Bestimmung düngerinduzierter  $N_2O$ -N-Emissionen. Die Lachgasemissionen auf dem untersuchten Standort beeinträchtigen deshalb die Umweltbilanz nachwachsender Rohstoffe nur in einem geringem Ausmaß. Messungen über weitere Jahre sind noch erforderlich, um diesen Wert zu erhärten.

Im Messzeitraum seit 1997 werden fast nur negative  $CH_4$ -Bodenemissionen, also Abbau des atmosphärischen  $CH_4$  im Boden, gemessen. Der  $CH_4$ -Abbau korreliert mit der Bodentemperatur. Während von Dezember bis März die Abbauraten auf Werte um  $5 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{h}^{-1}$  sinken, liegen im Zeitraum Juni bis November die Messwerte überwiegend im Bereich von 10 bis  $20 \mu\text{g CH}_4 \text{ m}^{-2} \text{h}^{-1}$ . Als Durchschnittswert über alle Parzellen wird eine  $CH_4$ -Abbaurate von  $700 \text{ g CH}_4 \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  auf dem untersuchten Standort ermittelt (Tab. 1).

### Fazit

- Ammoniumhaltiger Mineraldünger führt nicht zu essentiellen  $NH_3$ -Bodenemissionen.
- Stickstoffdüngung auf lehmig-sandigen Standorten setzt 0,2% des Düngersstickstoffs als  $N_2O$  frei. Dieser Wert liegt am unteren Ende des vom IPCC empfohlenen Ansatzes für die Bestimmung düngerinduzierter  $N_2O$ -N-Emissionen. Die  $N_2O$ -Emissionen auf dem untersuchten Standort beeinträchtigen die Umweltbilanz nachwachsender Rohstoffe nur in einem geringen Ausmaß.
- Eine eindeutige, düngerinduzierte Hemmung des Abbaus atmosphärischen Methans im Boden ist nicht nachweisbar. Die Resultate sprechen eher für einen düngerstimulierten Methanabbau.

Tab. 1: Methanabbauraten in  $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$  auf Pflanzenparzellen mit unterschiedlicher Düngungsgabe

Table 1: Soil methane ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{a}^{-1}$ ) at release of plots with plants plots at different fertilisation levels

Pflanzen	Düngungsstufen			Mittelwert
	0 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	75 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	150 kg N ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup>	
Pappeln	0,25	0,29	0,50	0,35
Weiden	1,00	0,57	0,51	0,69
Roggen	0,46	0,63	0,96	0,68
Knautgras	0,52	0,75	0,98	0,75
Triticale	0,89	1,02	0,91	0,94
Mittelwert	0,62	0,65	0,77	0,68