

Lachgasemissionen beim Rapsanbau

O. Heinemeyer ¹⁾, M. Kücke ²⁾, K. Kohrs ²⁾, E. Schnug ²⁾, J.C. Munch ³⁾, E.A. Kaiser ³⁾

¹⁾ Institut für Agrarökologie, ²⁾ Institut für Pflanzenbau, ³⁾ Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde
Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig

⁴⁾ Institut für Bodenökologie GSF-Neuherberg

Abstract

Nitrous oxide (N₂O) emissions were continuously measured by daily flux rate estimates for a three years period on a loamy silt soil. Conventional cropping practices were applied and rotational cropping of winter barley, sugar beets and winter wheat as the rotation of winter barley, winter rape and winter wheat were studied. N-fertilizer was applied as ammonia nitrate urea solution (AHL) in doses following local fertilizer recommendations to the according crops (N1.0), and at half of this dose (N0.5). Non fertilized plots (N0.0) were included too. From a total of 6600 flux rate estimates it could be deduced that the losses from winter rape varied from 1.4 - 4.0 kg N₂O-N ha⁻¹ y⁻¹ resulting in a mean loss of 2.3 kg N₂O-N ha⁻¹ y⁻¹. In relation to fertilizer N-inputs losses accounted for 1.5 -3.5%. All these values were not significantly different from those found for the other crops. More than 50% of the annual emissions occurred during winter with frost/thaw cycles. N-content in soil incorporated crop residues correlated positively with observed N-losses during winter.

Einleitung

Die Verwendbarkeit von Rapsmethylester (RME) als Substituent des aus Mineralöl gewonnenen Dieselmotorkraftstoffs ist, soweit es die technischen Aspekte betrifft weitgehend unbestritten. Neben sozio-ökonomischen Fragen (Konkurrenz zur Nahrungsmittelproduktion) sind die mit einer breiten Einführung dieses „nachwachsenden Kraftstoffs“ verbundenen ökologischen Aspekte derzeit noch nicht umfassend bewertet. Insbesondere die Auswirkungen auf die Zusammensetzung der Atmosphäre werden kontrovers diskutiert. Bekanntermaßen steigt derzeit die Konzentration der klimarelevanten Spurengase Kohlendioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) in Besorgnis erregendem Maße an. Die befürchteten Folgen dieser Entwicklung werden unter dem Begriff „Global Change“ zusammengefaßt. Identifizierte Ursachen sind zum Einen die intensive Nutzung fossiler Energieträger und zum Anderen die sich ausweitende landwirtschaftliche Produktion. Einen guten Überblick über die den derzeitigen Stand d. Wissens und der internationalen Diskussion geben Mosier et al. 1996.

Da RME landwirtschaftlich produziert wird und einen fossilen Energieträger substituiert, bewegt sich die Diskussion in diesem Spannungsfeld. Dem unbestrittenen Vorteil der ausgeglichenen CO₂-Bilanz stehen befürchtete erhöhte N₂O-Freisetzungen beim Rapsanbau gegenüber (UBA, 1993).

N₂O entsteht im Boden bei der Umsetzung von Stickstoff durch Bodenbakterien. Die natürlichen Bodenprozesse (Nitrifikation, Oxidation von Ammonium zu Nitrat, und Denitrifikation, Reduktion von Nitrat zu molekularem Stickstoff) liefern beide, und zwar in sehr variablem Ausmaß, auch N₂O. Im Gegensatz zu natürlichen Bodenverhältnissen sind landwirtschaftliche Böden durch einen erhöhten Stickstoff-Umsatz gekennzeichnet. Dieser wird durch die zur effektiven Pflanzenproduktion erforderliche Stickstoffdüngerversorgung ausgelöst. Einerseits ermöglicht der seit der Entwicklung der technischen Stickstoffbindung nahezu unbegrenzt verfügbare N-Mineraldünger die erheblich gesteigerte Flächenproduktionsleistung, andererseits erhöht er im Nebeneffekt auch

die N₂O-Emission aus dem Boden. Da N₂O chemisch sehr stabil ist, wird es in der Troposphäre nicht zerstört. Seine mittlere Verweildauer beträgt ca. 170 Jahre. Erst in der Stratosphäre oberhalb 10 km Höhe wird es lichtchemisch zersetzt. Sein Abbauprodukt NO katalysiert dabei den Abbau der vor UV-Bestrahlung schützenden Ozonschicht. N₂O trägt also nicht nur zum Treibhauseffekt bei, sondern erhöht auch die UV-Belastung an der Erdoberfläche.

Leider verfügen wir nur über äußerst beschränkte Informationen über die mit dem Anbau verschiedener Kulturen verknüpften Variationen an N₂O-Emissionen. Wir haben daher über einen Zeitraum von 3 Jahren unter anderem die N₂O-Emissionen einer für den Standort Braunschweig üblichen Fruchtfolge untersucht und dabei auch den Anbau von Raps einbezogen.

Material und Methoden

Anlage des Feldversuchs

Tabelle 1: Aufbau des Feldversuchs und zeitliche Abfolge der angebauten Feldfrüchte auf den Parzellen des Standortes "Timmerlah" (lehmgiger Schluff). Jede Zeile entspricht einer Parzelle, graue Hinterlegung kennzeichnet tägliche N₂O-Abgabebestimmungen.

N 0,0	W-Weizen	Wintergerste	Winterraps	W-Weizen											
N 0,5	W-Weizen	Wintergerste	Winterraps	W-Weizen											
N 1,0	W-Weizen	Wintergerste	Winterraps	W-Weizen											
N 0,0	W-W	S-Raps	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps										
N 0,5	W-W	S-Raps	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps										
N 1,0	W-W	S-Raps	Winterweizen	Wintergerste	Winterraps										
N 0,0	W-W	S-G	Winterraps	Winterweizen	Wintergerste										
N 0,5	W-W	S-G	Winterraps	Winterweizen	Wintergerste										
N 1,0	W-W	S-G	Winterraps	Winterweizen	Wintergerste										
N 0,0	W-Weizen	Wintergerste	Z-Rüben	W-Weizen											
N 0,5	W-Weizen	Wintergerste	Z-Rüben	W-Weizen											
N 1,0	W-Weizen	Wintergerste	Z-Rüben	W-Weizen											
N 0,0	W-W	Z-Rüben	Winterweizen	Wintergerste	Z-R										
N 0,5	W-W	Z-Rüben	Winterweizen	Wintergerste	Z-R										
N 1,0	W-W	Z-Rüben	Winterweizen	Wintergerste	Z-R										
N 0,0	W-W	S-G	Z-Rüben	Winterweizen	Wintergerste										
N 0,5	W-W	S-G	Z-Rüben	Winterweizen	Wintergerste										
N 1,0	W-W	S-G	Z-Rüben	Winterweizen	Wintergerste										
	F	A	J	A	O	D	F	A	J	A	O	D	F	A	J
	1994				1995				1996				1997		

Für die Untersuchungen wurde am Lößstandort „Timmerlah“, ca. 5 km westl. Braunschweig ein Feldversuch auf „lehmigem Schluff“ (l'U) angelegt. Der Aufbau und der zeitliche Ablauf dieses Feldversuchs ist in Tabelle 1 dargestellt. Er beinhaltet eine dreifache Stickstoff-Düngungs-Variation (keine N-Düngung (N0,0), die Hälfte der betriebsüblichen Düngung (N0,5) und betriebsübliche Düngung (N1,0)) sowie eine standortübliche dreigliedrige Fruchtfolge (Winterweizen, Wintergerste, Zuckerrüben) des Marktfruchtbaus. Zusätzlich wurde eine dreigliedrige Fruchtfolge mit Raps (Wintergerste, Winterraps, Winterweizen) angelegt. Bedingt durch den Zeitpunkt des Versuchsbeginns mußte in 1994 Sommerraps an Stelle von Winterraps angebaut werden. Die Anlage randomisierter Wiederholungen war arbeitstechnisch bedingt nicht möglich. Die Bewirtschaftung der Parzellen erfolgte konventionell, als N-Dünger wurde Ammonium-Nitrat-Harnstoff-Lösung (AHL) ausgebracht.

N₂O-Flußratenbestimmungen

Die N₂O-Flußratenbestimmungen wurden mittels des sogenannten „closed soil cover box“ (Mosier, 1989) Verfahrens vorgenommen. Vereinfacht zusammengefasst wird dabei für kurze Zeit (einige Stunden) ein Gasauffanggefäß bekannten Volumens über die zu untersuchende Fläche gesetzt. Das aus dem Boden austretende N₂O reichert sich nun in der Gasauffangkammer an. Durch Bestimmung des zeitlichen Anstiegs der Konzentration im Gasauffangkasten kann dann auf die N₂O-Emissionsrate zurückgerechnet werden. Nach der Flußratenbestimmung wird das Gefäß sofort von der Meßfläche entfernt, um den dortigen Bodenzustand (Temperatur, Feuchte) möglichst nicht zu beeinflussen.

Für dieses allgemein gebräuchliche Verfahren gibt es keine genormten Auffangkammern. In der Mehrzahl aller Fälle werden jedoch sehr kleine Kammern ($F < 0,1 \text{ m}^2$) verwendet. Dies erfordert wegen der bekannten räumlichen Variabilität von N₂O-Flüssen in Feldflächen (Parkin 19xx) jedoch eine hohe Zahl von Parallelbestimmungen, die arbeitstechnisch nicht zu leisten sind. Auch müssen für die Messungen dann die Kulturpflanzen außerhalb der Gefäße bleiben. Wir haben daher sehr große Gasauffangkammern entwickelt, die in Abb. 1 dargestellt sind.

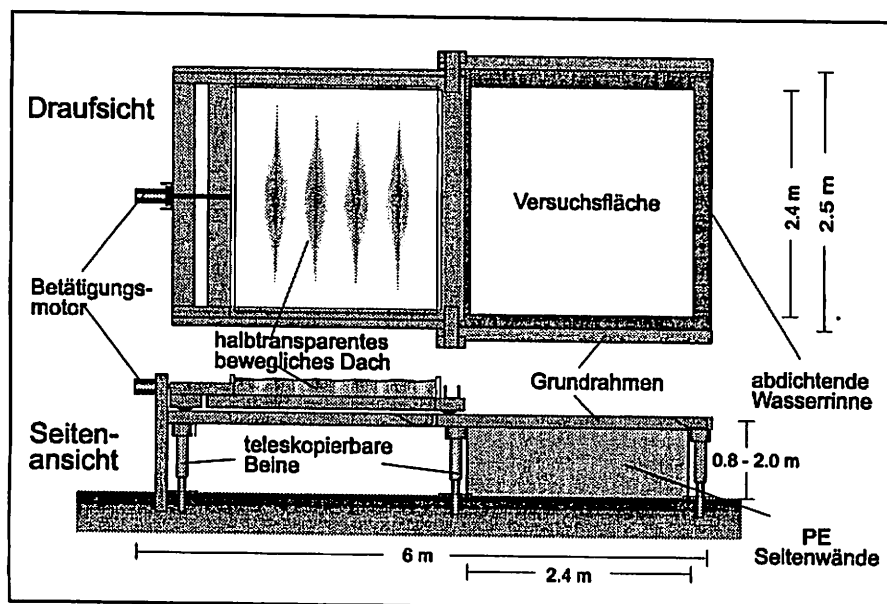


Abbildung 1: Gasauffangkammer (closed soil cover box) zur Bestimmung von N₂O-Flußraten aus bestellten Ackerflächen. Dieses von uns konstruierte System erfaßt eine Fläche von 5,76 m².

Sie erlauben die Flußratenintegration aus einer 5,76 m² großen Meßfläche, die mit den Kulturpflanzen bestanden ist. Die Kammern können den unterschiedlichen Bestandeshöhen durch teleskopierbare Beine und Verlängern der Seitenwände angepaßt werden. Für Raps wurden Kammern mit einer Höhe von 2,2 m verwendet. Die Kammern verbleiben dauerhaft im Bestand und werden lediglich zur Bodenbearbeitung entfernt. Durch einen horizontal verschiebbaren Deckel, der sich in eine wassergefüllte Dichtungsrinne absenkt, wurden die Kammern für die tägliche Flußratenbestimmungen für 3 h gasdicht verschlossen. Zu Beginn der Verschußperiode, während ihrer Mitte und am Ende wurden jeweils Gasproben mittels Septum und Doppelhohlnadeln in zuvor evakuierte 10 ml große Gassammelgefäße (Vacutainer) entnommen. Diese Gasproben wurden dann im Labor mittels eines automatisierten Gaschromatographen (ECD, Heinemeyer & Kaiser, 1996) auf ihren N₂O-Gehalt hin untersucht. Aus den Ergebnissen wurden dann die Flußraten berechnet.

Datenbehandlung

Für die statistische Auswertung der N₂O Abgaberraten mittels Varianzanalyse (ANOVA) wurden die Raten logarithmisch transformiert. Für Mittelwertvergleiche (t-Test) wurden die geometrischen Mittelwerte angegeben, da diese dem Mittelwert der log-normalen Verteilung entsprechen.

Ergebnisse und Diskussion

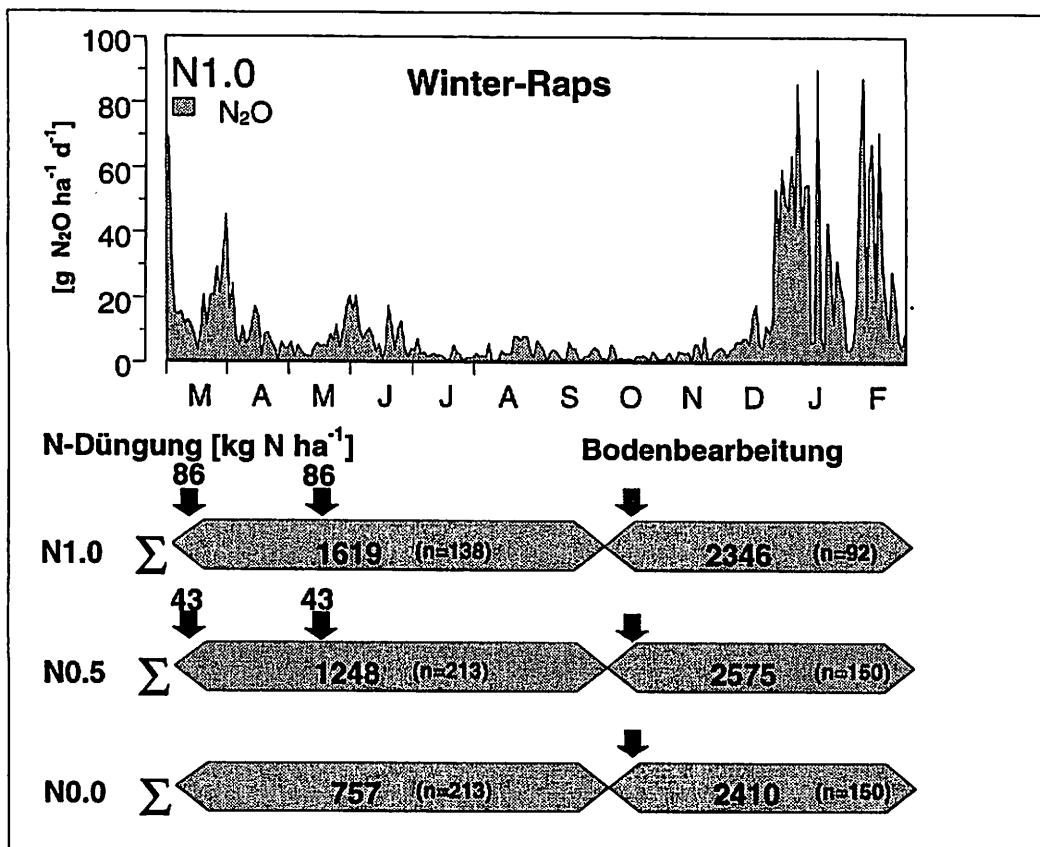


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der N₂O-Emissionen aus normal (N1.0) gedüngtem Winterraps während des Versuchsjahres 1996 und die für Vegetations- (Mrz.-Sep.) und Winterzeit (Okt.-Feb.) aufsummierten Abgabemengen der halb- (N0.5) und ungedüngten (N0.0) Variante.

suchten Düngungsstufen, so läßt sich nur ein sehr geringer Einfluß der Düngung nachweisen. Dies läßt sich mit der relativen Kurzfristigkeit der differenzierten N-Zufuhr erklären. Drei Jahre reichen auf diesem Standort einfach nicht aus, um einen Einfluß verminderter N-Zufuhr eindeutig zu fassen. In Tabelle 3 werden die beobachteten N₂O-Abgaben in Prozent des zugeführten Düngerstickstoffs dargestellt. Auch diese Darstellungsweise läßt erkennen, daß der Raps mit einem mittleren Verlust von 2,3 % sich nicht signifikant von den anderen Früchten unterschied. Auffällig bei allen Fruchtarten ist jedoch, daß aus der N0.5-Variante im Vergleich zu der normal gedüngten Variante ein tendenziell höherer prozentualer Verlust auftritt. Dies erklärt sich jedoch aus der kurzfristig halbierten N-Zufuhr bei im Beobachtungszeitraum noch kaum zurückgegangener N₂O-Emission. Auch dies kann als Indiz für die Fragwürdigkeit von Daten aus Kurzzeitbeobachtungen verstanden werden.

Tabelle 3: Prozentuale N₂O-Verluste bezogen auf die N-Düngerzufuhr für vier Feldfrüchte bei betriebsüblicher, (N1.0), halber betriebsüblicher (N0.5) und keiner (N0.0) Düngung (AHL) am Standort Timmerlah (lehmgiger Schluff)

Timmerlah		Winterweizen	Wintergerste	Zuckerrüben	Winterraps
Jahr		[kg ha ⁻¹]			
	N-Düngung (empfohlen ¹)	210	190	140	200
1994	N 1.0	0,7 %	1,6 %	1,5 %	1,4 % [§]
1995		1,4 %	1,4 %	3,3 %	1,9 % [§]
1996		2,7 %	2,5 %	4,1 %	2,3 %
1994	N0.5	1,0 %	3,1 %	2,7 %	2,9 % [§]
1995		2,2 %	1,4 %	4,2 %	1,8 % [§]
1996		4,2 %	4,2 %	8,5 %	3,5 %
1994	N0.0				
1995					
1996					
Mittel	(1994-96, N1.0-0.5)	2,0%	2,4%	4,0%	2,3%

[§] Sommergerste bzw. Sommerraps; [§] Winteremissionen aus dem Einarbeiten von Gerstenstroh

¹ Richtwert der Landwirtschaftskammer, ² Richtwert minus Bodenvorrat im Frühjahr (Nmin-Methode)

Insgesamt basieren die in Tabelle 2 bzw. 3 dargestellten Werte auf ca. 6600 einzelnen Flußratenbestimmungen. Eine hier nicht dargestellte Varianzanalyse möglicher Variationsursachen ergab, daß 0,8 % der Varianz durch die Fruchtart und nur 1 % der Varianz durch die Düngung erklärt werden konnten. Mit 12,2 % der Varianz wurde jedoch durch den Monat der Messungen die höchste Varianz - Erklärung überhaupt festgestellt (80,5 % konnten nicht erklärt werden). Abbildung 3 zeigt die zeitliche Abweichung der monatlich gemittelten N₂O-Emissionsraten vom Jahresmittel. Die N₂O-Verluste in der Zeit von Oktober bis Februar (als Winterperiode definiert) machten mehr als 50 % der jährlichen Verluste aus. Ähnliches berichten auch Flessa et al. (1995), die 46 % der Jahresemissionen in den Monaten Dezember und Januar fanden. Auch Christensen und Tiedje (1990) haben von

massiven N_2O -Emissionen während täglicher Frost-Tau-Zyklen berichtet. Hierzu werden zwei Thesen vertreten. So könnte unter einer Eisbarriere im Boden eingeschlossenes N_2O nach Auftauen der Barriere schlagartig entweichen. Dies wäre ein Vorgang analog zu plötzlich erhöhten Abgaberraten, die infolge von Rißbildungen im Boden auftreten (Heinemeyer u. Kaiser, 1996). Aber auch eine direkte mikrobielle Produktion zu diesem Zeitpunkt wäre nicht auszuschließen. Eingehende Untersuchungen von Röver et al. (1998), bei denen per Gammastrahlung sterilisierter Boden mit unsterilisiertem Boden unter Frost/Tau-Zyklen verglichen wurde, zeigten, daß mikrobielle Prozesse auch im Winter die wesentliche Grundlage der N_2O -Emissionen sind.

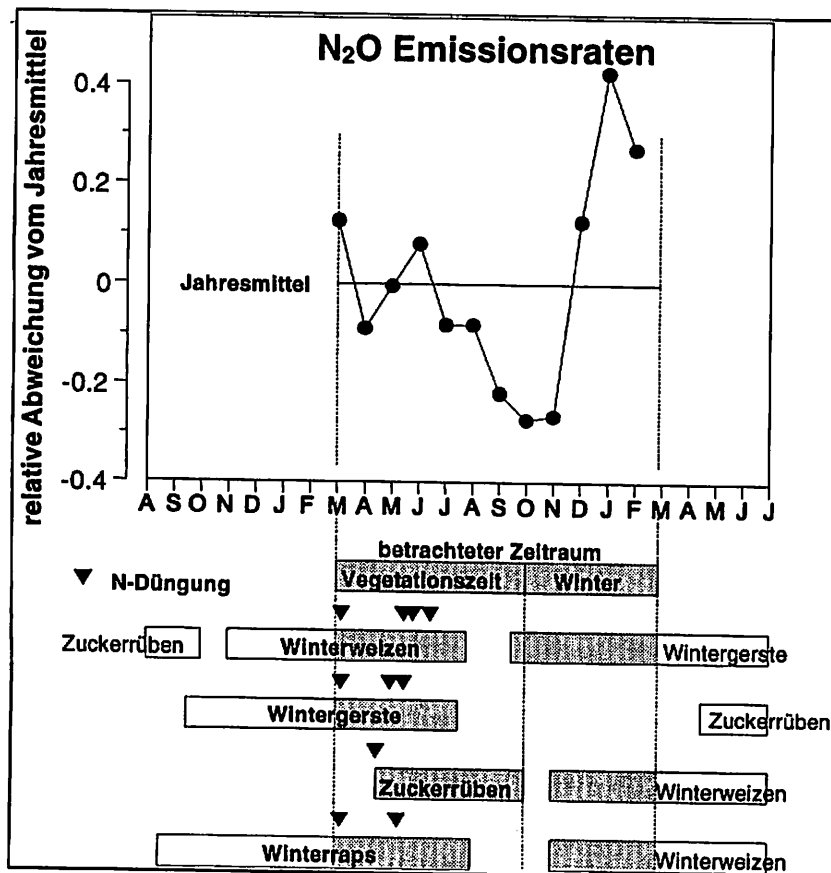


Abbildung 3: Zeitliche Verteilung der Abweichungen der monatlich gemittelten N_2O -Emissionsraten vom Jahresmittel (In, n = 6600).

Fragt man nach den Ursachen dieser relativ hohen Emissionen im Winter, so ist festzustellen, daß auch im Winter die N_2O -Produktion im Boden von den verfügbaren Nährstoffzufuhren abhängt. In dieser Zeit wurden jedoch keine N-Düngergaben verabreicht. Die in diesem Zeitraum für Nitrifikation und Denitrifikation zur Verfügung stehenden C- und N-Quellen stammen zu großen Teilen aus der Mineralisation der eingearbeiteten Erntereste. Wir haben daher die Beziehung zwischen den eingearbeiteten Ernteresten und den im Winter auftretenden N_2O -Emissionen für alle Varianten und Jahre untersucht und in Abbildung 4 dargestellt. Die dargestellte lineare Beziehung erklärt jedoch nur 30 % der vorliegenden Variation, ein klarer Hinweis auf die Bedeutung zusätzlicher meist witterungsbedingter Faktoren. Der Einfluß von Rapsstroh konnte versuchsbedingt leider nur in 3 Fällen beobachtet werden. In diesen Fällen jedoch lagen die Emissionen im oberen Bereich der Beobachtungen.

Hier kann das Risiko erhöhter N₂O-Winteremissionen bei permanentem Rapsbau oder erhöhtem Rapsanteil in der Fruchtfolge zwar vermutet werden, doch reichen die vorliegenden Messungen keinesfalls aus, um diese Vermutung auch ausreichend zu belegen.

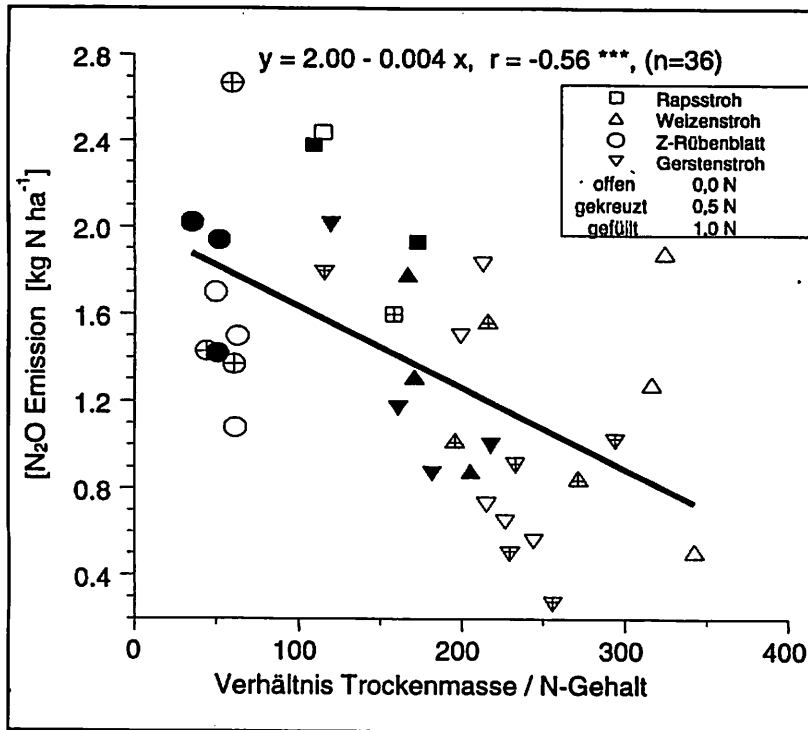


Abbildung 4: Zusammenhang zwischen dem Verhältnis von Trockenmasse und N-Gehalt in eingearbeiteten Ernteresten auf die N₂O-Emissionen während des Winters (n=36).

Vergleicht man die oben dargestellten Meßergebnisse mit den Abschätzungen des UBA (1993) so muß man feststellen, daß der dort angegebene „wahrscheinliche Wertebereich“ für N₂O-Emissionen aus dem Rapsanbau von 2 - 3 % des zugeführten Düngerstickstoffs durch unsere Messungen (Bereich 1,4 - 3,5 %, Mittelwert 2,3 %) bestätigt wird. Allerdings stammt die Hälfte unserer Information von Flächen, die nur mit 100 kg N versorgt wurden (N0.5). Dort wird für die weiteren Berechnungen eine N-Düngung von 190 kg N ha⁻¹ a⁻¹ zu Grunde gelegt. Bei ordnungsgemäßer Düngung ist der zu Vegetationsbeginn noch vorhandene Stickstoff im Boden zu berücksichtigen (Nmin -Verfahren). Dies führt zu tatsächlichen Aufwendungen, die häufig unter einer Düngeempfehlung von 190 kg N ha⁻¹ a⁻¹ bleiben. Bei den vorliegenden Schwankungsbreiten ist dies jedoch unerheblich. Schmaedeke et al. (1997), die in Göttingen eine Winterweizen, Wintergerste, Winter/Sommerraps Fruchtfolge, ebenfalls mit voller und halbiertes N-Düngung, untersuchten, berichten von N₂O-Emissionen von 1,3 - 1,8 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹ für Raps und von 0,6 - 0,8 kg N₂O-N ha⁻¹ a⁻¹ für die Wintergetreide. Eine Umrechnung auf zugeführten Dünger N für Raps liefert einen Bereich von 1,3 - 2,0 % und einen Mittelwert von 1,6 %. Dies Ergebnis liegt zwar unter dem unsrigen, ist aber nicht signifikant verschieden. Da Schmaedeke et al. (1997) Flußraten wesentlich seltener bestimmten (1 x pro Woche), ist hier sogar eine Unterbestimmung wahrscheinlich.

Da die N₂O-Emissionen aus dem Rapsanbau offensichtlich denen des sonstigen Feldbaues entsprechen, ist für eine ökologisch schlüssige Beurteilung des Rapsanbaus die Frage entscheidend, wie die Rapsanbaufläche alternativ (ohne Rapsanbau) bewirtschaftet würde. Langjährige ungedüngte Brachen oder Aufforstung würden eindeutig günstiger abschneiden als Rapsanbau zur Mineralölsubstitution. Kurzfristig und vorübergehend aus der

Nahrungsmittelproduktion herausgenommene Flächen (1-3 Jahre) wären dagegen für diese Nutzung geeignet ohne daß der Malus der N₂O-Emission bedeutend wäre, denn derartige Flächen emittieren auch ohne Rapsanbau noch fast die gleichen N₂O-Mengen, wie durch die Ergebnisse an den ungedüngten Flächen gezeigt wurde.

Letztlich wird es die Konkurrenz zwischen Mineralölsubstitution und Nahrungsmittelproduktion sowie das geringe erreichbare Substitutionsvolumen für Mineralöl sein, welches die breite Nutzung vom RME schon ökonomisch beschränkt. Als ökologisch vertretbares „Nischenprodukt“ kann es aber lokal oder regional durchaus eine interessante Nutzungsperspektive bieten.

Danksagung

Diese Arbeit wurde aus Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) sowie der Union zur Förderung v. Öl- u. Proteinpflanzen unterstützt.

Literatur

- CHRISTENSEN S, TIEDJE J. M. (1990) Brief and vigorous N₂O production by soil at spring thaw. *Journal of Soil Science* 41, 1-4.
- FLESSA H., DÖRSCH P., BEESE F. (1995) Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *Journal of Geophysical Research* 100, 23115-23124.
- HEINEMEYER O.; KAISER E.-A. (1996) An automated gas injector system for gas chromatography - Atmospheric nitrous oxide analysis. *Soil Science Society of America Journal* 60, 808-811.
- KAISER E.-A.; HEINEMEYER O. (1996) Temporal changes in N₂O-losses from two arable soils. *Plant and Soil* 181, 57-63.
- MOSIER, A. R. (1989) Chamber and isotope techniques, In: Adreae, M. O.; Schimel, D.S. eds. Exchange of trace gasses between terrestrial ecosystems and the atmosphere. John Wiley and Sons Ltd. Chichester, 175-187.
- MOSIER A. R., DUXBURY J. M., FRENEY J. R., HEINEMEYER O.; MINAMI K. (1996) Nitrous oxide emissions from agricultural fields: Assessments, measurements and mitigation. *Plant and Soil* 181, 95-108.
- RÖVER M., HEINEMEYER O.; KAISER E.-A. (1998) Microbial induced nitrous oxide emissions from arable soil during winter. *Soil Biology & Biochemistry* (in press).
- SCHMÄDEKE, F; BEESE, F; BRUMME, R.; LICKFETT, T. ; PRZEMECK, E. (1997) N₂O Emissions from an Oilseed Rape Crop Rotation as affected by N Fertilization. In (K.H. Becker, P.Wiesen eds) Proceedings of the 7 th International Workshop on Nitrous Oxide Emissions, Cologne, April 21-23 1997, pp 429-431. Bergische Universität Gesamthochschule Wuppertal Fachbereich 9 Physikalische Chemie.
- UBA (Umweltbundesamt) (1993) Ökologische Bilanz von Rapsöl bzw. Rapsölmethylester als Ersatz von Dieselmotortreibstoff (Ökobilanz Rapsöl), *UBA-Texte 4/93*, Umweltbundesamt Berlin eds. 176 p.

Fachtagung

Biodiesel

**Optimierungspotentiale und Umwelteffekte
Informationen, Erfahrungsaustausch, Perspektiven**

**12. - 13. Juni 1998
Forum der FAL, Braunschweig**

Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL)

Fachhochschule Coburg