

Ulrike Lebender

**Effect of mineral N fertilizers
– N form, amount and way of
application – on nitrous oxide
emissions from croplands**



Cuvillier Verlag Göttingen
Internationaler wissenschaftlicher Fachverlag



Effect of mineral N fertilizers – N form, amount and way of application – on nitrous
oxide emissions from croplands





Effect of mineral N fertilizers – N form, amount and way of application – on nitrous oxide emissions from croplands

**Von der Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Gottfried Wilhelm Leibniz Universität Hannover
zur Erlangung des Grades**

**Doktor der Gartenbauwissenschaften
(Dr. rer. hort.)**

genehmigte Dissertation

von

**Dipl. -Agr. Biol. Ulrike Lebender
geboren am 11.12.1981 in Göppingen**

2014



Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2014

Zugl.: Hannover, Univ., Diss., 2014

Referent: Prof Dr. H. Kuhlmann

Korreferent: Prof. Dr. J. Böttcher

Tag der Promotion: 20. März 2014

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2014

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

www.cuvillier.de

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2014

Gedruckt auf umweltfreundlichem, säurefreiem Papier aus nachhaltiger Forstwirtschaft.

ISBN 978-3-95404-765-9

eISBN 978-3-7369-4765-8



To my parents
Friedl and
Bernd Lebender

1 Abstract

Effect of mineral N fertilizers – N form, amount and way of application – on nitrous oxide emissions from croplands

Key words: nitrous oxide, fertilizer induced emission, yield-scaled N₂O emission

The purpose of this study was to examine the effects of mineral N fertilizers (N form, amount, way of application) on N₂O emissions from fertilized croplands in north-west Germany. Therefore several field trials, one greenhouse pot experiment and two incubation experiments were conducted. Nitrous oxide fluxes were measured by means of the closed chamber method. The length of the experimental period varied between experiments from several weeks (42 days) up to one-year measurement campaigns.

The following results were obtained:

1. N fertilizer form

The cumulative N₂O emissions during the growth period (March-end of July) decreased in the order of Urea > AS > CAN with emissions ranging from 0.19-0.28% of applied fertilizer N (220 kg N ha⁻¹) for Urea, 0.10-0.25% for AS and 0.09-0.12% for CAN.

Between harvest and the following spring (post-harvest period) no significant differences in N₂O emissions between fertilized and non-fertilized treatments were detected with the exception of AS on one field site. The average one-year emission of 0.38% of applied fertilizer N was almost two thirds lower than the IPCC default value of 1% (IPCC, 2007) and varied between 0.05%-0.51% (one exception of AS with 0.94%).

2. N fertilizer amount

The relationship between N_2O and the amount of N applied ($0 - 400 \text{ kg N ha}^{-1}$) was linear on all sites. The emission factors of applied fertilizer N (during the growth period) varied between field sites from 0.10% to 0.37%. and for annual N_2O emissions between 0.46% and 0.53%. Nitrous oxide emissions per ton of grain decreased with increasing N fertilizer application amounts. They followed a hyperbolic function with a minimum at application amounts of 127 kg N ha^{-1} and 150 kg N ha^{-1} , respectively, and increased at higher N application amounts.

3. N application method

3.1 Band application vs. broadcast application

Band application, especially subsurface band application increased N_2O emissions significantly in comparison to broadcast application with Urea (broadcast 0.20%, band surface 0.55% and subsurface band 1.14%). For AS and CN, no significant differences were (average 0.20%) measured.

3.2 N split application

No significant effect between the split applications (2 – 5 times) on cumulative N_2O emissions was observed during the growth period or post-harvest season. The fertilizer induced EF during the growth period varied between 0.11%-0.16% and post-harvest emissions ranged between 0.00%-0.15% of the applied fertilizer N.

4. Relationship between cumulative N₂O emission potential denitrification

There was no correlation between the potential denitrification determined in an incubation experiment and the cumulative N₂O emissions (growth period). But a positive relationship ($R^2 = 0.98$) between the highest daily N₂O peak events in field and the determined potential denitrification was found.

1 Zusammenfassung

Effect of mineral N fertilizers – N form, amount and way of application – on nitrous oxide emissions from croplands

Schlagworte: Lachgas, N-Dünger-induzierte Emissionen, ertragsbezogene N₂O Emissionen

Ziel der vorgelegten Dissertation war es den Einfluss mineralischer Stickstoffdünger (Stickstoff-Form, N-Menge und Applikationsart) auf die Lachgasemissionen von landwirtschaftlich genutzten Feldern in Nord-West Deutschland zu untersuchen. Hierzu wurden mehrere Feldversuche, ein Gefäßversuch sowie zwei Inkubationsexperimente durchgeführt. Die Versuchsdauer im Feld variierte von 42 Tagen bis zu einem Jahr. Die N₂O Emissionen wurden mit Hilfe der „closed-chamber“-Methode bestimmt.

Im Folgenden werden die Ergebnisse dargestellt:

1. N Düngerform

Die kumulierten N₂O Emissionen folgten der Beziehung: Urea > AS > CAN über die Wachstumsperiode auf drei von vier Versuchsstandorten. Die düngerinduzierten Emissionen betrugen bei Urea 0.19-0.28%, AS 0.10-0.25% und CAN 0.09-0.12% des applizierten Stickstoffes als N₂O bei einer gesamten Düngung von 220 kg N ha⁻¹. Zwischen Ernte und nächstem Frühjahr traten auf den drei Standorten keine Unterschiede zwischen den Düngerformen und der ungedüngten Kontrolle auf, mit Ausnahme von AS auf einem Standort.

Die durchschnittliche N₂O Emission über alle Standorte und Düngerformen betrugen auf Jahresbasis (0.38%) etwa ein Drittel des IPCC-Standards (1%; IPCC, 2007) und variierten zwischen 0.05% und 0.51% mit der Ausnahme AS (0.94%).

2. N Düngermenge

Die Beziehung zwischen den kumulierten Lachgasemissionen und der N-Applikationsmenge (0 – 400 kg N ha⁻¹), war während der Vegetationsperiode auf allen Versuchsstandorten linear und betrug 0.10% bis 0.37% während der Vegetation und auf Jahresbasis 0.46% und 0.53%. Die Lachgasemissionen bezogen auf die Tonne Kornertrag nahmen mit Düngung im Vergleich zur Kontrolle ab und folgten einer Hyperbolischen Funktion mit einem Minimum 127 kg N ha⁻¹ und 150 kg N ha⁻¹ und nahm danach wieder zu.

3. N Applikationsart

3.1. Bandapplikation im Vergleich zur breitwürfigen Ausbringung

Bandapplikation, insbesondere wenn diese in den Boden eingebracht wurde führte bei Urea zu signifikant höheren N₂O Emissionen im Vergleich zur breitwürfigen Ausbringung (breitwürfig 0.20%, Band Oberfläche 0.55% und Band in 5cm Bodentiefe 1.14%). Bei AS und CN konnten keine signifikanten Unterschiede gemessen werden (durchschnittlich 0.20%).

3.2. N Split Applikation

Eine Aufteilung der N Düngung in 2-5 Gaben erbrachte keine Unterschiede bei den kumulativen N₂O Emissionen während der Vegetationsperiode als auch über Herbst und Winter. Die düngerinduzierten N₂O Emissionen während der Vegetationsperiode betrugen 0.11%-0.16% und über Herbst und Winter 0.00%-0.15% der applizierten N-Düngermenge.

4. Beziehung zwischen kumulierten Lachgasemissionen während die Vegetationsperiode und dem Denitrifikationspotential von Böden

Es wurde keine Beziehung zwischen den im Labor bestimmten Denitrifikationspotential und den während der Vegetationsperiode kumulierten Lachgasemissionen ermittelt. Jedoch bestand eine positive Korrelation ($R^2 = 0.98$) zwischen dem Denitrifikationspotential und den höchsten im Feld bestimmten Emissionspeaks.

Table of contents

1	Abstract	4
	List of Figures.....	13
	List of Tables.....	16
	Frequently used Abbreviations	18
2	General Introduction.....	19
2.1	Nitrous Oxide (N ₂ O).....	19
2.2	Biological processes producing N ₂ O in soil	21
2.3	Main driving factors for N ₂ O emissions from soils.....	24
2.4	Possible N ₂ O mitigation options and management strategies	27
2.5	Objectives of this thesis	30
3	Impact of mineral nitrogen fertilizer forms on N₂O emissions from arable soils in winter wheat production	32
3.1	Abstract	32
3.2	Introduction	33
3.3	Material and Methods	36
3.3.1	Field trials with winter wheat	36
3.3.2	Incubation experiment.....	40
3.3.3	Nitrous oxide sampling and measurements	40
3.3.4	Soil analyses	42
3.3.5	Statistical analysis.....	42
3.4	Results	43
3.4.1	Cumulative N ₂ O emissions	43
3.4.2	Daily N ₂ O emission	46
3.4.3	Grain yield and yield-scaled N ₂ O emissions	51
3.4.4	Incubation experiment to measure the nitrification rate.....	52
3.5	Discussion.....	53
3.6	Conclusions	56

3.7	Additional research – Results (Impact of fertilizer N forms on N ₂ O emission from arable soils).....	57
4	Effects of mineral N fertilizer application amounts on N₂O emissions from arable soils planted with winter wheat.....	62
4.1	Abstract	62
4.2	Introduction	63
4.3	Material and Methods	64
4.3.1	Field trials cropped with winter wheat	65
4.3.2	N ₂ O sampling and measurements.....	67
4.3.3	Soil analyses	68
4.3.4	Determination of grain yield and economic optimum.....	68
4.3.5	Statistical analysis.....	69
4.4	Results	69
4.4.1	N ₂ O emissions during the winter wheat growth period	69
4.4.2	Annual N ₂ O emissions	73
4.4.3	Economic and environmental assessment.....	74
4.5	Discussion.....	76
4.6	Conclusions	79
5	Effect of N fertilizer application method (placement vs. broadcast) on N₂O emission from spring barley cropping system	81
5.1	Introduction	81
5.2	Material and Methods	81
5.3	Results	83
5.4	Discussion.....	86
5.5	Conclusion	87
6	Effect of split application of N fertilizer on N₂O emissions from winter wheat.....	89
6.1	Introduction	89
6.2	Material and Methods	89
6.3	Results	90
6.4	Discussion.....	94



6.5	Conclusion	96
7	Relationship between cumulative N₂O emission and potential denitrification	97
7.1	Background & Objectives	97
7.2	Materials & Methods	97
7.3	Results & Discussion.....	98
7.4	Conclusion	100
8	General discussion	102
9	References.....	109
10	Appendix	127
10.1	Chapter 3.....	127
10.2	Appendix: Chapter 3: Additional research – Material and Methods.....	129
10.3	Appendix: Chapter 4.....	130
10.4	Chapter 5.....	135
10.5	Chapter 6.....	136
11	Curriculum Vitae	138
Lebenslauf		138
12	Acknowledgements.....	139