



Doctoral Thesis

Mechanisms of trace gas flux regulation in grasslands exposed to drought and N fertilization

Author(s):

Hartmann, Adrian Andreas

Publication Date:

2010

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-006416577> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss ETH N° 19270

Mechanisms of trace gas flux regulation in grasslands exposed to drought and N fertilization

A dissertation submitted to

ETH ZURICH

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by

ADRIAN ANDREAS HARTMANN

Dipl. Biol. I., University of Basel

Born 27 November 1978

Citizen of Gempen (SO), Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Nina Buchmann, examiner

PD Dr. Pascal A. Niklaus, co-examiner

Prof. Dr. Christine Alewell, co-examiner

2010

Abstract

Soil microbial processes are both sources and sinks for methane (CH₄) and nitrous oxide (N₂O), two of the most important non-CO₂ greenhouse gases. The soil fluxes of these two trace gases are controlled by a complex network of interacting factors. Agricultural practices and especially nitrogen (N) input due to fertilization strongly affect trace gas fluxes of soils, and contribute substantially to the anthropogenic global warming. However, our current understanding of the mechanisms controlling trace gas fluxes of agricultural soils is still very restricted. This is especially true for pastures where grazing animals redistribute ingested plant N in patchy form, resulting in high N deposition rates with high patch-level dynamics. Therefore, a process-based understanding of trace gas flux regulation is needed to understand at which hierarchical level flux rates are regulated in such heterogeneous systems. A functional understanding is especially crucial in order to predict trace gas fluxes under a future climate, since the processes involved may differ in their sensitivity to environmental drivers.

We established a field experiment in which two grasslands contrasting in management intensity and climate were exposed to simulated summer drought. The study further included a factorial simulation of N deposition by grazing animals, allowing to study the processes regulating trace gas fluxes in such heterogeneous systems at the patch-level. In order to develop a detailed process-level understanding of the mechanisms regulating trace gas fluxes, we used a combination of various methods targeting the component processes at a wide range of hierarchical levels.

The effects of drought and fertilization on CH₄ fluxes and patch-level dynamics are discussed in **chapter 2**. The combination of time series of ecosystem flux measurements and experimental manipulation of water input by precipitation and N input by fertilization allowed to disentangle the mechanisms regulating CH₄ fluxes, showing that soil moisture was the dominant factor. The episodic drought events altered the soil's water balance throughout the year, resulting in a strong increase of soil CH₄ uptake rates. Fertilization resulted in a persistent

reduction of CH₄ oxidation rates in the topsoil, especially in soils fertilized with ammonium nitrate (NH₄NO₃). However, this was at least partially compensated by an increase of CH₄ oxidation rates in deeper soil layers, indicating a shift of the niche of methanotrophs into deeper soil layers and resulting in resistant ecosystem fluxes.

Chapter 3 focuses on the effects of summer droughts on N₂O fluxes of grazed systems. Soil moisture was a crucial determinant for N₂O emissions, and high flux rates were only observed from wet soils. Therefore, drought generally reduced N₂O emissions despite increased soil mineral N concentrations as a consequence of the drought-driven reduction in plant N uptake. N fertilization on the other hand increased N₂O emission rates, an effect which was especially pronounced when soil moisture was high. Most interestingly, N₂O emission rates were higher when N was applied as cattle urine than when N was applied as NH₄NO₃. This effect could be attributed to the progressive soil acidification of soils fertilized with NH₄NO₃, resulting in a decline of N₂O fluxes over time.

The effects of drought and fertilization on the soil N cycle are investigated in **chapter 4**, with special emphasis on the processes of nitrification and denitrification. The application of cattle urine increased nitrification rates due to increased substrate availability. Fertilization with NH₄NO₃ however reduced nitrification rates despite increased substrate availability, an effect which could be attributed to soil acidification. Fertilization with NH₄NO₃ further resulted in decreased denitrification, which can be attributed to indirect effects of soil acidification due to reduced substrate availability as consequence of lower nitrification rates as well as direct effects of increased acidity. Denitrifying enzyme activity and the abundance of denitrifier functional genes only partially reflected effects observed at the level of ecosystem N₂O fluxes. While both measures indicated the decrease of N₂O fluxes with time in soils fertilized with NH₄NO₃, they did not reflect effects of soil moisture, which was the dominant driver of N₂O fluxes in our study.

Zusammenfassung

Mikrobielle Prozesse in Böden sind sowohl Quellen als auch Senken für Methan (CH_4) und Lachgas (N_2O), zwei der wichtigsten Treibhausgase nach Kohlendioxid. Die Flüsse dieser Spurengase aus Böden werden durch ein komplexes Netzwerk von Faktoren reguliert, welche zudem untereinander interagieren. Landwirtschaftliche Bewirtschaftung und insbesondere Stickstoffeintrag durch Düngung beeinflussen die Spurengasflüsse von Böden, und tragen somit zu einem beträchtlichen Teil an die vom Menschen verursachte Klimaerwärmung bei. Jedoch ist unser Verständnis betreffend der Mechanismen, welche die Treibhausgasflüsse von landwirtschaftlichen Böden steuern, sehr beschränkt. Dies gilt insbesondere für Weiden, da hier die Ausscheidungen von Pflanzenfresser zu lokal begrenzten aber sehr hohen Stickstoffeintrag führen, was sehr dynamische Prozesse mit sich bringt. Um zu verstehen, welche Prozesse die Flüsse dieser beiden Spurengase in solch heterogenen Systemen auf welchen hierarchischen Stufen steuern, wird ein prozessbasiertes Verständnis benötigt. Vor allem da die Sensitivität der verschiedenen Prozesse auf umweltbedingte Einflüsse unterschiedlich sein können, ist ein funktionelles Verständnis von elementarer Wichtigkeit um so die Flüsse dieser Treibhausgase unter einem zukünftigen Klima vorherzusagen.

Aus diesem Grund haben wir ein Feldexperiment auf zwei Wiesen mit unterschieden in Beweidungsintensität und Klima eingerichtet. In diesem haben wir Sommertrockenheit und Stickstoffeintrag durch Beweidung simuliert, wobei verschiedene Düngerformen ausgebracht wurden. Dies hat es uns ermöglicht, in solch heterogenen Systemen mit punktuellen Düngereintrag jene Prozesse zu untersuchen, welche die Flüsse der beiden Treibhausgase steuern. Dabei mussten wir eine Kombination von unterschiedlichsten Messmethoden verwenden, da die dabei involvierten Prozesse die Spurengasflüsse über ein breites Spektrum von hierarchischen Stufen regulieren können. Dies ermöglichte es uns, ein prozessbasiertes Verständnis der Prozesse zu erlangen, welche die Treibhausgasflüsse in heterogenen Weidesystemen steuern.

Die Effekte von Trockenheit und Düngung auf die Methanflüsse und die Dynamik punktuell gedüngter Böden wird in **Kapitel 2** diskutiert. Die Kombination von Messreihen, in welchen die Ökosystemflüsse erfasst werden, mit gleichzeitiger Manipulation der Niederschlagsmenge und des N Eintrages in Düngerform erwies sich als ausgesprochen Effektiv. Dieses Vorgehen ermöglichte es uns, den Einfluss verschiedener Faktoren auf die Methanflüsse von Böden zu erfassen, wobei sich die Bodenfeuchte als wichtigste Einflussgröße erwies. Trockenheitsperioden beeinflussten die Wasserbilanz des Bodens nachhaltig, was zu einer starken Zunahme der Methanaufnahme der Böden führte. Düngung hingegen reduzierte die Methanaufnahme des Oberbodens, insbesondere in Böden die mit Ammoniumnitrat (NH_4NO_3) gedüngt wurden. Dieser Effekt ist jedoch zumindest Teilweise durch erhöhte Methanaufnahme in tieferen Bodenschichten kompensiert worden. Dies deutet darauf hin, dass Düngung zwar zu einer Verlagerung der Nische methanotropher Bakterien in tiefere Bodenschichten führt, aber dass die Ökosystemflüsse trotzdem sehr stabil bleiben.

Der Fokus von **Kapitel 3** liegt auf dem Einfluss von Sommertrockenheit auf die Lachgasflüsse von beweideten Böden. Die Bodenfeuchte ist ein entscheidender Faktor für Lachgasemissionen. Hohe Flussraten wurden nur während feuchten Bodenbedingungen gemessen, während Trockenheit generell zu einer Abnahme der N_2O Emissionen führte. Dies obwohl es zeitgleich zu einer Erhöhung der Stickstoffverfügbarkeit in Böden kam, welches auf eine trockenheitsbedingte Reduktion der Stickstoffaufnahme durch Pflanzen zurückgeführt werden kann. Stickstoffdüngung führte hingegen generell zu einer Erhöhung der N_2O Emissionen, ein Effekt der jedoch bei hoher Bodenfeuchte besonders ausgeprägt war. Zudem führte die Düngung mit Kuhurin erstaunlicherweise zu höheren N_2O Emissionen als eine Düngung mit NH_4NO_3 . Dieser Effekt kann auf eine zunehmende Versauerung der mit NH_4NO_3 gedüngten Böden zurückgeführt werden, was zu einer immer stärkeren Abnahme der Lachgasemissionen führte.

Die Einflüsse von Trockenheit und Dünger auf den Stickstoffkreislauf von Böden wird in **Kapitel 4** untersucht, wobei die Schwerpunkte bei den Prozessen der Nitrifikation und Denitrifikation liegen. Das Ausbringen von Kuhurin hat zu einer Erhöhung der Nitrifikationsraten geführt, was auf eine Erhöhte Substratverfügbarkeit zurückgeführt werden konnte. Doch während Düngung mit NH_4NO_3 ebenfalls in einer Erhöhung der Substratverfügbarkeit resultierte, so nahmen die Nitrifikationsraten aufgrund einer zunehmenden Versauerung dieser Böden trotzdem ab. Düngung mit NH_4NO_3 führte weiterhin zu einer Reduktion der Denitrifikation, was jedoch nicht nur auf direkte Effekte der Bodenversauerung sondern auch auf die versauerungsbedingte Reduktion der Nitrifikationsraten und damit einer reduzierten Nitratverfügbarkeit zurückgeführt werden kann. Die Enzymaktivität sowie die Häufigkeit funktioneller Gene, welche in den Prozess der Denitrifikation involviert sind, widerspiegeln nur teilweise die Ökosystemflüsse von N_2O . Zwar haben beide Massgrößen die Abnahme der N_2O Emissionen in Böden, welche mit NH_4NO_3 gedüngt wurden, bestätigt, aber sie haben nicht den Einfluss von Bodenfeuchte widerspiegelt, welches in unserer Studie ein dominanter Regulator der Lachgasflüsse war.