



UNIVERSITÄT HOHENHEIM
INSTITUT FÜR BODENKUNDE
UND STANDORTSLEHRE

HOHENHEIMER BODENKUNDLICHE HEFTE

Herausgeber:

Ellen Kandeler – Martin Kaupenjohann – Karl Stahr

Heft 59

Maren Heincke

Effects of Soil Solution on Nitrous Oxide Emissions

2001

UNIVERSITÄT HOHENHEIM (310), D-70593 STUTTGART

ISSN 0942-0754

G Summary

Effects of Soil Solution on Nitrous Oxide Emissions

Nitrous oxide (N_2O) is an important atmospheric trace gas (annual increase 0.3%) which contributes to global warming in the troposphere and stratospheric ozone layer depletion. Up to now not all global N_2O sources and processes involved have been identified and quantified. Thus, N_2O balances are still insecure. Nitrous oxide is highly soluble in water and in part much N_2O is stored in surface waters. Therefore, the exact investigation of N_2O exchange processes between aquatic ecosystems and the atmosphere is a relevant research task in future.

Thus, the aim of this work was to investigate the not well known interactions of N_2O and soil solution. The work consists of following parts:

1. Creation of a review of the effects of soil solution on N_2O emissions.
2. Development of a simple qualitative model of the interactions of N_2O and soil solution.
3. Quantitative estimation of N_2O solubility in soil solution.
4. Development of a simple field method to collect N_2O dissolved in soil solution.
5. Investigation of the N_2O dynamics in soils and groundwater of a rain forest in Costa Rica.

In a 6th part of this work in the context of an interdisciplinary cooperation a significant contribution was given to the classification of N_2O emission potentials of soils.

In the review the range of concentrations of dissolved N_2O in oceans, groundwater, municipal waste water treatment plants and surface waters was summarized. The main focus was the detailed inventory of data on maximal N_2O concentrations in soil solution and in soil air. The N_2O concentration is of extreme high spatial and temporal variability in both compartments. In soil solution N_2O supersaturation up to 30.000 times with respect to the atmospheric N_2O concentration of 0.3 ppm can take place. In soil air the N_2O concentrations are up to 25.000 times higher than in the atmosphere. These N_2O accumulations in soil bodies are the result of N_2O production-, consumption-, and transport processes. The analyzing of the vertical distribution pattern of N_2O in soil air may give hints of these processes. Important factors are cultivation practice, nitrogen turnover, water content and temperature of the soils. The leaching of dissolved N_2O may contribute

to substantial indirect N_2O emissions, in case the N_2O degases via groundwater, drainage systems or surface waters into the atmosphere.

Systematic structures were recognized during the production of the review. This resulted in the development of a new simple qualitative model of interactions of N_2O and soil solution. At first, the physical and chemical factors of N_2O solubility and diffusion were outlined. An analysis of models on N_2O dynamics with respect to the involved N_2O transport processes followed.

In the own model, the N_2O oversaturation of the soil solution is interpreted as a barrier function, resulting from low N_2O diffusion coefficients in water. As N_2O supersaturation may last for longer, the soil solution has got a storage function. Additionally, when N_2O is dissolved in soil solution it has got a transport function when it moves vertically or horizontally.

These 3 functions of soil solution may cause a temporal and spatial separation of N_2O production and N_2O emission. As the soil solution additionally strongly influences N_2O production and N_2O consumption it has a central role in N_2O dynamics in soils.

Next it was investigated, if the N_2O solubility in pure water and in soil solution strongly differs. The N_2O solubility decreases along with rising temperature and increases with rising acidity and decreasing polarity of a solvent. The soil temperature is the major factor regulating N_2O solubility. The concentrations of dissolved salts and organic components of the soil solution as well as the influences of the pH value are in general too small to influence N_2O solubility. Exceptional situations are the accumulation of salts in soils e.g. while drought periods or close to fertilizer granules and the freezing processes in soils.

An investigation in soils of a rain forest were planned. Therefore, a robust, simple and cheap new method for the collection of dissolved N_2O and nutrients was developed. A wick sampler was used, which was connected with a flexible plastic bag. An irrigation experiment with bromide as tracer and dissolved N_2O was conducted to control the workability and efficiency of the new method. The recoveries of water and bromide were sufficiently well, dissolved N_2O passed through the sampling system without restrictions. An important shortcoming was the lack of total airtightness of the secreta bags used, which restricted the length of the collection intervals.

In Costa Rica in soils of a rain forest the dynamics of N_2O in soil air, soil solution and groundwater, the dynamics of CO_2 in soil air and the leaching of nitrate was investigated. Three pits at Inceptisol sites (3 m depth), 3 pits at Oxisol sites (4 m depth) and 20 wells (1-4 m depth) at Tropaquets and

Humitropepts sites were used. The investigation lasted from May-July 1998, from the end of the dry season to the beginning of the rainy season. The N_2O concentrations in soil air ranged at the Oxisols from 0.24-1.37 ppm, at the Inceptisols from 0.18-4.24 ppm. In the dry season they rose with soil depth. Soil air N_2O concentrations increased in course of the rainy season, especially in the topsoils and above the infiltrated groundwater. Daily emissions in the measurement period were very roughly calculated with 0.9-3.5 mg N_2O m⁻² for the Inceptisols and 0.3 mg N_2O m⁻² for the Oxisols. Nitrous oxide concentrations in soil solution ranged from 0.09-10.27 ppmv. Most of the time there was a N_2O supersaturation compared to ambient air. A very small annual leaching of 0.03 kg N_2O ha⁻¹ was calculated. The N_2O concentrations of groundwater ranged from 0.17-2.76 ppmv. They were higher at the drier than at the wetter sites. Indirect N_2O emissions via groundwater and streams were considered. Nitrate and ammonium concentrations in soil solution and groundwater were close to detection limit. Probably the N leaching was very small. Carbon dioxide soil air concentrations ranged from 0.11-4.20% (vol.). They were generally higher in the Inceptisols than in the Oxisols and increased with depth and in run of the rainy season. It was concluded, that the insight into the below-ground trace gas dynamics are important to understand trace gas emissions from the soil surface.

In a last step in the context of an interdisciplinary cooperation a significant contribution was given to the classification of N_2O emission potentials of agricultural soils. The general knowledge of soil science and land evaluation, the expert knowledge of N_2O emissions and literature data were involved. The classification was used to estimate N_2O emissions on the regional scale.

Zusammenfassung

Einfluß der Bodenlösung auf Lachgasemissionen

Lachgas (N_2O) ist ein wichtiges atmosphärisches Spurengas (jährlicher Anstieg 0,3 %), das zur Klimaerwärmung in der Troposphäre und maßgeblich zur Zerstörung der Ozonschicht in der Stratosphäre beiträgt. Vermutlich wurden bisher noch nicht alle globalen N_2O Quellen und beteiligten Prozesse identifiziert und quantifiziert, weshalb die N_2O Bilanzierungen noch mit sehr großen Unsicherheiten behaftet sind. Da N_2O stark wasserlöslich ist, und z.T. große N_2O Mengen in Oberflächengewässern gespeichert werden, ist die genauere Untersuchung der Austauschvorgänge des N_2O zwischen aquatischen Ökosystemen und der Atmosphäre ein wichtiges zukünftiges Forschungsfeld.

Ziel der vorliegenden Arbeit war daher, die wenig bekannten Wechselwirkungen von N_2O und der Bodenlösung zu untersuchen. Die Arbeit baute sich aus folgenden Arbeitsschritten auf:

1. Erstellen eines Reviews über die Einflüsse der Bodenlösung auf die N_2O Emissionen.
2. Entwicklung eines qualitativen Modells zur Interaktion von N_2O und Bodenlösung.
3. Quantitative Abschätzung des Löslichkeitsverhaltens von N_2O in der Bodenlösung.
4. Entwicklung einer Feldmethode zur Gewinnung des gelösten N_2O in der Bodenlösung.
5. Felduntersuchungen der N_2O Dynamik in Böden und Grundwasser eines Regenwaldes in Costa Rica.

In einem weiteren, 6. Schritt, wurde innerhalb einer interdisziplinären Zusammenarbeit ein wichtiger Beitrag zur Erstellung von N_2O Emissionspotentialklassen von Böden geleistet.

In dem Review wurde die Spanne der Konzentrationen von gelöstem N_2O in Meeren, Grundwasser, Kläranlagen und Oberflächengewässern dargestellt. Der Schwerpunkt lag auf der umfassenden Aufstellung der maximalen N_2O Konzentrationen in Bodenlösung und Bodenluft. In beiden Phasen ist die N_2O Konzentration räumlich und zeitlich hochvariabel. In Bodenlösungen können – bezogen auf den atmosphärischen N_2O Hintergrundswert von 0,3 ppm - N_2O Übersättigungen bis zum Faktor 30000 auftreten. In der Bodenluft sind die N_2O Konzentrationen bis zu 25000 mal höher als in der Atmosphäre. Diese N_2O Akkumulationen im Bodenkörper sind das Ergebnis aus N_2O Produktions-, Konsumptions- sowie Transportprozessen. Zum Teil können anhand von typischen

vertikalen Verteilungsmustern der N_2O Bodenluftkonzentrationen Rückschlüsse auf diese Prozesse gezogen werden. Entscheidende Faktoren sind Bewirtschaftungsart, Stickstoffumsetzung, Wassergehalt und Temperatur der Böden. Der Transport von gelöstem N_2O mit der Bodenlösung kann z.T. zu bedeutenden indirekten N_2O Emissionen führen, wenn dieses N_2O z.B. via Grundwasser und Drainagesysteme oder Oberflächengewässer in die Atmosphäre ausgast.

Bei der Erstellung des Reviews wurden systematische Strukturen erkannt. Dies führte zur Entwicklung eines neuen, einfachen, qualitativen Modells zur Interaktion von N_2O und Bodenlösung. Zunächst wurden die physikalischen und chemischen Gesetzmäßigkeiten von N_2O Löslichkeit und Diffusion erläutert. Eine Analyse vorhandener N_2O Modelle hinsichtlich der berücksichtigten N_2O Transportprozesse folgte.

Im eigenen Modell wird die N_2O Übersättigung der Bodenlösung auf deren Barrierenfunktion zurückgeführt, die von der sehr niedrigen N_2O Diffusionsgeschwindigkeit in Wasser herrührt. Die Bodenlösung besitzt außerdem in Bezug auf N_2O eine Speicherfunktion, da N_2O Übersättigungen länger andauern können. Hinzu kommt die Transportfunktion der Bodenlösung, wenn sie sich mitsamt des darin gelöstem N_2O vertikal oder horizontal bewegt. Diese drei Funktionen der Bodenlösung können eine zeitliche und räumliche Trennung von N_2O Produktion und N_2O Emission bewirken. Da die Bodenlösung außerdem die mikrobiellen N_2O Produktions- und Konsumptionsprozesse stark beeinflusst, steht sie an zentraler Stelle innerhalb der N_2O Dynamik im Bodenkörper.

Desweiteren wurde die Frage untersucht, ob sich die N_2O Löslichkeit in reinem Wasser und Bodenlösung stark unterscheidet. Die N_2O Löslichkeit sinkt mit zunehmender Salzkonzentration, steigt hingegen mit zunehmenden Säuregrad und abnehmender Polarität eines Lösungsmittels. Die Bodentemperatur ist jedoch der entscheidende Faktor für die N_2O Löslichkeit. Die Konzentrationen an Salzen und organischen Bestandteilen der Bodenlösung sowie die pH Effekte sind im allgemeinen zu gering, um einen Einfluß auf die N_2O Löslichkeit auszuüben. Ausnahmesituationen sind Salzakkumulationen in Böden z.B. nach Trockenzeiten oder nahe von Düngerkörnern sowie die Gefrierprozesse im Boden.

Für geplante Untersuchungen in Regenwaldböden wurde eine robuste, einfache und billige neue Methode zur Gewinnung der Bodenlösung und des darin gelöstem N_2O sowie der Nährstoffe entwickelt. Es wurde ein Dochtsammler verwendet, der mit einem flexiblen Plastikbeutel verbunden war. Zur Überprüfung der Einsetzbarkeit und Sammeleffizienz der neuen Methode, wurde ein Beregnungsversuch mit Bromid als Tracer und gelöstem N_2O durchgeführt. Die

Wiederfindungsraten für Wasser und Bromid waren ausreichend gut, gelöstes N_2O passierte das Sammelsystem problemlos. Ein wichtiges Defizit war die mangelhaften Gasdichtigkeit der eingesetzten Sekretbeutel, welche die Dauer der Sammelintervalle beschränkte.

In Costa Rica wurde in Regenwaldböden die Dynamik von N_2O in Bodenluft, Bodenlösung und Grundwasser, sowie die Dynamik von CO_2 in der Bodenluft und die Versickerung von Nitrat untersucht. Dazu dienten 3 Schächte in Inceptisols (3 m Tiefe), 3 Schächte in Oxisols (4 m Tiefe) und insgesamt 20 Grundwasserpegel (1-4 m Tiefe) in Tropaquepts bzw. Humitropepts. Untersuchungszeitraum war Mai bis Juli 1998, der Übergang von der Trockenzeit zur Regenzeit. Die N_2O Bodenluftkonzentrationen waren in den Oxisols zwischen 0,24-1,37 ppm, in den Inceptisols zwischen 0,18-4,24 ppm. Sie stiegen zunächst mit der Bodentiefe an. Im Verlauf der Regenzeit nahmen die N_2O Konzentrationen insgesamt zu, vor allem in den Oberböden sowie in den Unterböden direkt oberhalb von eingedrungenem Grundwasser. Grob abgeschätzt betragen die täglichen N_2O Emissionen (Juni, Juli) der Oxisols $0,3 \text{ mg } N_2O \text{ m}^{-2}$, die der Inceptisols $0,9\text{-}3,5 \text{ mg } N_2O \text{ m}^{-2}$. Die N_2O Konzentrationen der Bodenlösung lagen zwischen 0,09-10,27 ppmv und waren zumeist bezüglich der Atmosphäre N_2O übersättigt. Eine äußerst geringer jährlicher N_2O -Sickerwassertransport von ca. $0,03 \text{ kg } N_2O \text{ ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ wurde abgeschätzt. Im Grundwasser bewegten sich die N_2O Konzentrationen zwischen 0,17 und 2,76 ppmv. Sie waren an den trockeneren Standorten höher als an den nasseren. Eine N_2O Ausgasung vom Grundwasser via Boden oder Flüsse in die Atmosphäre wurde für möglich erachtet. Die Konzentrationen von Nitrat bzw. Ammonium in Bodenlösung und Grundwasser lagen im Spurenbereich, so daß von sehr geringen Stickstoffverlagerungen in den Böden ausgegangen wurde. Die Konzentrationen von CO_2 in der Bodenluft reichten von 0,11 % (Vol.) bis 4,20 % (Vol.), waren in den Inceptisols höher als in den Oxisols und stiegen kontinuierlich mit der Bodentiefe und im Verlauf der Regenzeit an. Es wurde geschlußfolgert, daß das Verständnis der Spurengasdynamik im Bodenkörper entscheidend zum Verstehen der Spurengasemissionen von der Bodenoberfläche beiträgt.

Im letzten Schritt wurde im Rahmen einer interdisziplinären Kooperation ein entscheidender Beitrag zur Klassifizierung von N_2O -Emissionspotentialen landwirtschaftlicher Böden geleistet. Einbezogen wurden dabei allgemeine Kenntnisse der Boden- und Standortkunde, das Expertenwissen über N_2O -Emissionen sowie Literaturdaten. Diese Klassifizierung diente der Abschätzung von N_2O Emissionen auf regionaler Ebene.