

Landnutzungsbedingte Treibhausgas-Emissionen: Modellierung und erste Ergebnisse

Rene Dechow, Martin Henseler, Katrin Brautzsch, Thomas Leppelt, Sören Gebbert
Thünen-Institut für Agrarklimaschutz

Ziel

Die deutsche Klimaberichterstattung quantifiziert landnutzungsbedingte Emissionen in den Sektoren Landwirtschaft und Landnutzung/Landnutzungsintensität. Dieser liegt bei etwa 10%. Innerhalb dieser Kategorien leisten direkte und indirekte Lachgas (N₂O) Emissionen (ca. 30%), Treibhausgasflüsse organischer Böden (ca. 40 %) und N₂O sowie CH₄ Emissionen aus der Tierhaltung (18%) und dem Wirtschaftsmanagement (7 %) einen relevanten Beitrag (Folie 3).

In der Klimaberichterstattung sowie einer Vielzahl von Studien zur Bewertung der Klimarelevanz bestimmter landwirtschaftlicher Produkte, bzw. landwirtschaftlicher Verfahren werden vereinfachende Emissionsfaktoransätze (IPCC 1996, 2006) zur Berechnung direkter und indirekter N₂O Emissionen aus landwirtschaftlichen Böden und allen relevanten Treibhausgasen genutzter organischer Böden verwendet.

Diese Ansätze vernachlässigen, dass die Bildung von Treibhausgasen in den Sektoren Landwirtschaft und Landnutzung meist durch mikrobielle Umsetzungen induziert wird. Die Kinetik dieser mikrobiellen Prozesse wird durch ein komplexes Wirkungsgefüge anaerober und aerober Faktoren beeinflusst (THG organischer Böden; Lachgasemissionen aus Böden). Die Bilanzierung und die Beurteilung von Minderungsmaßnahmen erfordern Modellansätze, welche die wesentlichen Steuergrößen bei der THG Entstehung berücksichtigen. Dies wird durch die Ansätze nach IPCC (1996, 2006) nur bedingt erfüllt. Das Teilprojekt „Modellierung landnutzungsbedingter Treibhausgasemissionen“ entwickelt datenbasierte Modelle, die im Vergleich zu Tier1 Ansätzen nach IPCC detailliertere Aussagen zu regionalspezifischen und landnutzungsspezifischen Emissionsminderungspotentialen ermöglichen. Dies wird im Folgenden am Beispiel direkter Lachgasemissionen landwirtschaftlich genutzter mineralischer Böden demonstriert (Folien 4-5).

Methodik

Modellentwicklung

Insbesondere in den letzten 2 Dekaden wurde eine Vielzahl von Experimenten zur Untersuchung von landnutzungsbedingten Lachgasemissionen als Folge natürlicher und anthropogener Bedingungen durchgeführt und publiziert. Diese Daten wurden gesammelt,

entsprechend ihrer Güte bewertet und statistisch ausgewertet. In Europa und insbesondere in Deutschland ist die Dichte dieser Daten vergleichsweise hoch (Folie 7).

Ein flexibler statistischer Modellansatz (MODE) wurde genutzt um Faktoren zu determinieren, die geeignet sind die Variabilität gemessener jährlicher N₂O Emissionen zu beschreiben. Über Validierungsmethoden und Unsicherheitsanalysen wurde die Güte des Modells evaluiert (Folie 8).

Regionalisierung und Aggregation

Mithilfe dieses Modells, Karten natürlicher Umweltbedingungen und Landnutzungs-informationen wurden regionalspezifische direkte N₂O Emissionen für Deutschland im Zeitraum 1990 bis 2005 berechnet. Darüber hinaus wurden Emissionspotentiale ermittelt, die auf Landkreisebene aggregiert, dem agrarökologischen Modell RAUMIS erlauben regionalspezifische N₂O Emissionen zu berechnen (Folien 9-11).

Ergebnisse

Auswertung der Trainingsdaten

Die Auswertung des Messdatensatzes mit verschiedenen Methoden macht deutlich, dass die Systeme Grünland und Acker unterschiedlich externe Bedingungen reagieren. Die jährlichen Lachgasemissionen auf Grünland werden stark von der jeweiligen Stickstoffdüngemenge beeinflusst. Saisonale Witterungsbedingungen und Bodeneigenschaften (pH) sind von untergeordneter Bedeutung, wie auch in vergleichbaren Studien berichtet wurde (Freibauer et al. 2003, Jungkunst et al. 2003, Roelandt et al. 2004). Demgegenüber werden Lachgasemissionen auf Ackerstandorten stark durch die jeweiligen Witterungsbedingungen geprägt (Folie 12).

Basierend auf diesen Ergebnissen wurden zwei Modellansätze zur Abschätzung jährlicher Lachgasemissionen auf Acker- und Grünlandstandorten erstellt. Eine Modellvalidierung an unabhängigen Messungen zeigt, dass verglichen mit anderen empirischen Modellen die Genauigkeit der entwickelten Ansätze relativ hoch ist (Dechow und Freibauer, 2011). Das gilt auch wenn zusätzlich der Einfluss der Datenunsicherheit auf die Modellgüte berücksichtigt wird.

Auswertung der Regionalisierung mit RAUMIS – MODE

Viele Studien zu landnutzungsbedingten Lachgasemissionen haben gezeigt, dass die applizierte N Düngemenge den anthropogenen Einfluss auf die direkten Lachgasemissionen am besten beschreibt. Deshalb sollte ein Modell zur Untersuchung von Mitigationsmaßnahmen den Einfluss der Stickstoffdüngung auf die jährliche Lachgasemission möglichst wirklichkeitsgetreu abbilden. Nach IPCC (1996) verursacht eine Steigerung der N Düngung um 100 kg eine zusätzliche Lachgasemission von 1.25 kg. Die sich hieraus ergebende Quote (in diesem Fall 1.25%) wird als Emissionsfaktor bezeichnet.

Bei den Feldversuchen zu direkten N₂O Emissionen handelt es sich in vielen Fällen um N Steigerungsversuche. Hier werden Versuchsfelder unter sonst identischen Bedingungen mit unterschiedlichen Düngerraten behandelt. Eine Metaanalyse derartiger Experimente zeigt, dass die so empirisch bestimmten Emissionsfaktoren in einem weiten Bereich zwischen 0-5% schwanken. Die Dichteverteilung der empirisch ermittelten Emissionsfaktoren ähnelt der Dichteverteilung der Emissionsfaktoren, die sich aus der Regionalisierung mit MODE ergibt. Der mittlere Emissionsfaktor liegt hier bei 0.9 %, was dem aktualisierten IPCC Faktor (IPCC 2006) von 1.0 % recht nahe kommt (Folie 13).

Betrachtet man die berechneten regionalspezifischen Emissionen wird deutlich, dass der Nordosten Deutschlands durch geringe Emissionen geprägt wird, was unter anderem auf standörtlich bedingte geringe Lachgasemissionspotentiale zurückzuführen ist, während der Westen Deutschlands im Mittel durch höhere Emissionen gekennzeichnet ist. Das Alpenvorland, die Gebiete nordwestlich und südöstlich des Harzes (Lössbörden, das Thüringer Becken, Weser Leine Bergland, Untere Weser Bergland) und der Südwesten Deutschlands sind Regionen hoher Emissionspotentiale (Witterung, Bodentyp). Während die hohen Lachgasemissionen im Nordwesten Deutschlands maßgeblich durch das Aufkommen organischer Dünger verursacht werden. Es gibt keine Datengrundlagen die eine quantitative Evaluierung der Regionalisierung erlauben würde. Allerdings wurden durch Corazza et al. (2011) mittels atmosphärischer Transportmodelle und gemessener atmosphärischer Lachgaskonzentrationen regionalspezifische Lachgasemissionen berechnet, deren Verteilungsmuster den MODE Regionalisierungen ähneln (Folie 14). Auch hier zeigt sich ein Gradient zunehmender N₂O Emissionen von Nordost nach West. Die „hotspots“ liegen im Nordwesten, Südwesten und in der Region der Lössbörden. Die durch Corazza modellierte Verteilung der Lachgasflüsse schließt Lachgasemissionen aus anderen Ökosystemen (Wäldern, Mooren) mit ein (Unsicherheit: ±34 %).

Szenarien unter Verwendung der RAUMIS-MODE Kopplung zeigen, dass die im Rahmen der Baseline zu erwartenden Landnutzungsänderung insbesondere im Südwesten Deutschlands höhere Lachgasemissionen verursacht (Folie 15). Die Verwendung von MODE führt im Zeitraum 2007-2011 zu stärkeren Emissionsanstiegen (ca. 8%) als die Anwendung des IPCC Ansatzes (3.3%).

Diskussion und Ausblick

Die Ergebnisse weisen auf die hohe räumliche Variabilität von Lachgasemissionspotentialen hin. Die Berücksichtigung dieser räumlichen Variabilität bei der Entwicklung von Minderungsstrategien ist ein wesentlicher Aspekt um die Effizienz dieser Strategien zu erhöhen.

Eine wirksame Maßnahme zur Reduktion direkter Lachgasemissionen ist die Verringerung von N Bilanzüberschüssen (Flessa et al. 2012). Diese Überschüsse haben negativen Auswirkungen auf Klimaschutz und Gewässerschutz. Es ist anzunehmen, dass

die hier ausgewiesenen Standorte mit geringem Emissionspotential im Gegenzug höhere Risiken bezüglich N Auswaschung und N Verluste durch indirekte Lachgasemissionen aufweisen, was die Bedeutung multifaktorieller Bewertungskriterien bei der Einordnung von Managementstrategien hervorhebt.

Die hier getesteten Methoden werden in ähnlicher Weise für die Modellierung der THG Emissionen organischer Böden entwickelt.

Kontakt: Dr. Rene Dechow (rene.dechow@ti.bund.de)

Referenzen

Corazza M., Bergamaschi P., Vermeulen A. T., Aalto T., Haszpra L., Meinhardt F., O'Doherty S., Thompson R., Moncrieff J., Popa E., Steinbacher M., Jordan A., Dlugokencky E., Brühl C., Krol M. and Dentener F. (2011). Inverse modelling of European N₂O emissions: assimilating observations from different networks. *Atmos. Chem. Phys.* 11: 2381-2398. <http://dx.doi.org/10.5194/acp-11-2381-2011>.

Freibauer et al. (2003) Controls and models for estimating direct nitrous oxide emissions from temperate and sub-boreal agricultural mineral soils in Europe. *Biogeochemistry* (2003) 63, 93-115.

IPCC (1996) in: Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.

IPCC (2006) in: Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K.(Eds.), 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, IGES, Japan.

Jungkunst H.F., Freibauer A., Neufeldt H., Bareth G. (2006) Nitrous oxide emissions from agricultural land use in Germany- a synthesis of available annual field data. *J. plant Nutr. Soil Sci.* (2006), 169, 341-351

Roelandt C, Van Wesemael B, Rounsevell M (2005) Estimating annual N₂O emissions from agricultural soils in temperate climates. *Global Change Biology* (2005) 11, 1701-1711.