

Florian Hackmann (BSc. Landschaftsökologie)

Zusammenfassung der Bachelorarbeit zum Thema:

Die Lachgasemissionen landwirtschaftlicher Nutzflächen – Ein Überblick über die Gewichtung relevanter Parameter



Betreuer u. 1. Gutachter: Herr Prof. Dr. Tillmann K. Buttschardt

2. Gutachter: Herr Prof. Dr. Norbert Hölzel

Institut für Landschaftsökologie
AG Angewandte Landschaftsökologie/Ökologische Planung
Westfälische Wilhelms-Universität Münster

Einleitung

Die Landwirtschaft prägt das System Erde wie kaum ein anderer menschlicher Einfluss.

Die landwirtschaftlich genutzte Fläche betrug in Deutschland im Jahr 2009 16.890.000 ha, das sind etwa 48,5 % der gesamten Landfläche (eigene Berechnung auf Grundlage der Daten des BMELV (2010) und der WELTBANK (2011)). Auf alle Treibhausgase (THG) bezogen liegt der Anteil der Landwirtschaft am Klimawandel im weltweiten Schnitt bei etwa 13,5 % und auf deutscher Ebene bei 11 % (DEUTSCHER BUNDESTAG 2006).

Lachgas (N_2O) trägt mittlerweile mit etwa 7,9 % zum globalen Klimawandel bei und steht damit auf dem dritten Platz der wichtigsten Treibhausgase hinter CO_2 und Methan (IPCC 2007). Neue Untersuchungen zeigen zudem, dass der Großteil des Ozonabbaus in der Stratosphäre auf N_2O zurückzuführen ist (RAVISHANKARA et al. 2009). Die Emission von Lachgas fördert daher nicht nur die Probleme der globalen Erwärmung, sondern erhöht auch den Anteil der krebserregenden UV-Strahlung, der an die Erdoberfläche gelangt.

Nach HIRSCHFELD et al. (2008) stammen etwa 60 % der Emissionen von Lachgas aus landwirtschaftlichen Quellen, v.a. den bewirtschafteten Böden. Besonders seit den 1960er Jahren kam es durch die deutliche Zunahme des Mineraldüngereinsatzes zu einem starken Anstieg der Stickstoffoxidemissionen (UMWELTBUNDESAMT 2011).

Die Höhe der Emissionen unterliegt dabei verschiedenen standort- und bewirtschaftungsspezifischen Faktoren. In dieser Arbeit sollen Parameter herausgearbeitet werden, welche die Emissionshöhe ausschlaggebend beeinflussen.

Ich orientiere mich an folgenden forschungsleitenden Fragen:

- 1) Welches sind die relevantesten Parameter, welche sind zu vernachlässigen oder von untergeordneter Bedeutung?
- 2) Lässt sich die Relevanz über Emissionsfaktoren quantifizieren?
- 3) Wie werden die Parameter durch standort- und bewirtschaftungsspezifische Faktoren beeinflusst?
- 4) Welche Wechselwirkungen bestehen zwischen den Parametern?

Diese Fragen sind bis heute Bestandteil vieler Untersuchungen gewesen, deswegen habe ich es mir zur Aufgabe gemacht, die bisherigen Ergebnisse zu sichten und sie neu zu ordnen.

Diese Bachelorarbeit ist eine Literaturstudie, in der als Quellen vor allem wissenschaftliche Artikel herangezogen wurden. Zudem habe ich Standardliteratur genutzt, um die wesentlichen standortspezifischen Einflussfaktoren zu klären (u.a. HEGE & PERETZKI 2006, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010).

Ergebnisse und Diskussion

Die Auswahl der relevanten Parameter

Lachgas (N_2O) entsteht im Boden als Nebenprodukt bei der mikrobiellen Umsetzung von Stickstoff v.a. durch die Nitrifikation und die Denitrifikation (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Es wird angenommen, dass die Denitrifikation den Großteil zur gesamten N_2O -Emission einer Fläche beiträgt (DOBBIE & SMITH 2001, JOHNSON et al. 2005, RUSER et al. 2006). Eine weitere Quelle stellt die Nitrifizierer-Denitrifikation dar (WRAGE et al. 2001, KOOL et al. 2011).

Die Lachgasemissionen landwirtschaftlicher Nutzflächen

Die Emissionshöhe ist von bodenspezifischen Parametern abhängig, welche wiederum von der Bewirtschaftungsweise beeinflusst werden.

Nach Analyse einiger grundlegender Berichte und Untersuchungen (IFA & FAO 2001, STEHFEST & BOUWMAN 2006, UMWELTBUNDESAMT 2010) habe ich mich für die genauere Betrachtung der folgenden Parameter entschieden:

- **Der N_{\min} -Gehalt:** Der Gehalt an verfügbarem Stickstoff im Boden (v.a. NH_4^+ u. NO_3^-) [Anteil pro m^3 -Boden o. Zufuhr in kg/ha].
- **Der C_{org} -Gehalt:** Der Gehalt an organischem Kohlenstoff [Anteil pro m^3 -Boden o. Zufuhr in kg/ha].
- **Der WGPR-Anteil:** Der Anteil des wassergefüllten Porenraumes [%].
- **T_{Boden} :** Die Bodentemperatur [°C].
- **pH_{Boden} :** Der pH-Wert des Bodens.

Bei einer Änderung dieser Parameter ergibt sich auch eine Änderung in der Höhe der Lachgasemissionen. Welcher Art und wie stark diese Änderung ist, soll in der Arbeit geklärt werden.

Zudem behandle ich Bewirtschaftungsparameter, die die Bodenparameter beeinflussen. Dazu zählen:

- Die Düngermenge.
- Die Düngerart.
- Die Art der Feldfrucht.
- Meliorationsmassnahmen (z.B. die Be- und Entwässerung oder die Einarbeitung von Zwischenfrüchten)

Desweiteren werden die Bodenparameter von klimatischen und geomorphologischen Standorteigenschaften beeinflusst.

Die Gewichtung der Parameter

Wie sich herausgestellt hat, ist eine Abschätzung, welcher Parameter stärker wirkt als ein anderer nicht immer einfach. Es bestehen komplexe Wechselbeziehungen zwischen den verschiedenen Faktoren und ein in suboptimaler Ausprägung vorliegender Parameter kann die Rate eines Umsetzungsprozesses beeinflussen.

SMITH et al. (1998) weisen in ihrer Untersuchung darauf hin, dass zu unterschiedlichen Zeiten unterschiedliche Parameter die Emissionen kontrollieren: „If the mineral N is very low, increases in temperature or WFPS [Anmerkung: Water-Filled Pore Space] may not result in increased emissions; at low temperatures increases with mineral N content may be small.“ (SMITH et al. 1998, S.127). Genauso wenig werde eine starke Düngung bei großer Trockenheit eine deutliche Emissionssteigerung verursachen. Dieses wird dadurch deutlich, dass eine besonders starke positive Korrelation zwischen den Emissionen und dem Nitratgehalt des Bodens dann zustande kam, wenn der WGPR-Anteil bei über 70 % gehalten wurde.

Zudem muss die twl. starke räumliche und zeitliche Variabilität der N_2O -Emissionen berücksichtigt werden. (z.B. LEICK 2003, RUSER et al. 2006, FURON et al. 2008).

Die Gewichtung der Parameter wird deswegen qualitativ vorgenommen, d.h. ohne die Angabe von Emissionsfaktoren. Hierzu führe ich einen Sensibilitätskala ein, deren Werte von 1 bis 3 reichen.

Die Lachgasemissionen landwirtschaftlicher Nutzflächen

Je höher der Sensibilitätswert eines Parameters ist, desto größer ist sein Einfluss auf die N_2O -Emissionen des Bodens.

Die Gewichtung des N_{min} -Gehaltes

Stickstoff (N) ist der Ausgangsstoff, aus dem Lachgas gebildet wird. Deshalb steigen mit zunehmendem N_{min} -Gehalt die Emissionen an. Vor allem, wenn die Menge an aufgebrachtem Stickstoff den von Pflanzen benötigten Betrag überschreitet, kann es zu hohen Auswaschungsverlusten und hohen gasförmigen Emissionen kommen (GRANT et al. 2006, HEGE & PERETZKI 2006).

Deshalb wird der **Sensibilitätswert des N_{min} -Gehaltes bei 3** angesetzt.

Die Gewichtung des C_{org} -Gehaltes

Die Mikroorganismen im Boden benötigen Kohlenstoff (C) und Stickstoff (N) zum Zellaufbau sowie für die Umwandlung und Verfügbarmachung von Stoffen. Denitrifizierer nutzen Kohlenstoff z.B. als Elektronendonator bei der Denitrifikation (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). Durch Untersuchungen von WEVER et al. (2002), Li et al. (2005) und STEHFEST & BOUWMAN (2006) bestätigt sich der hohe Einfluss des C_{org} -Gehaltes auf die Lachgasemissionen.

Sein **Sensibilitätswert wird bei 3** festgelegt.

Die Gewichtung des WGPR-Anteiles

Der Anteil des wassergefüllten Porenraumes (WGPR-Anteil) beeinflusst maßgeblich, ob die Umsetzung von Stickstoff in einem Bodenbereich über die Nitrifikation oder die Denitrifikation als hauptsächlichen Umsetzungsprozess verläuft. Da bei der Denitrifikation deutlich höhere Mengen an Lachgas entstehen, ist dieser Parameter deshalb von besonderer Wichtigkeit für die Höhe der Lachgasemissionen. Nun liegt die Feldkapazität vieler Böden nach SCHAUFLEER et al. (2010) zwar bei 60 % WGPR, allerdings kann es in den unterschiedlichen Poren des Bodens zur Ausprägung anaerober Mikroräume kommen (BATEMAN & BAGGS 2005). BATEMAN & BAGGS (2005) nennen diese als Hauptquelle hoher Lachgasproduktion. Zudem kommt es bei hohen C_{org} -Gehalten auch unterhalb eines WGPR-Anteils von 60-70 % zu hohen Denitrifikationsraten (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). RUSER et al. (2006) fanden, in Übereinstimmung mit anderen Untersuchungen, eine Grenze im Anteil des wassergefüllten Porenraumes, ab welcher es zu einem besonders starken Emissionsanstieg kommt (DOBBIE & SMITH 2001, BATEMAN & BAGGS 2005). Sie setzen diese Grenze bei einem Anteil des wassergefüllten Porenraumes, der zwischen 60 und 70 % liegt und weisen darauf hin, dass die höchsten Emissionen bei WGPR-Anteilen über 70 % auftraten und ein Produkt der Denitrifikation waren.

Es ergibt sich damit der höchste **Sensibilitätswert von 3** für den WGPR-Anteil.

Die Gewichtung der Bodentemperatur (T_{Boden})

SCHAUFLEER et al. (2010) verglichen den Einfluss von Bodentemperatur (5-20°C) und WGPR-Anteil (20-80 %) auf die N_2O -Emissionen. Sie fanden eine höhere Sensibilität gegenüber dem WGPR-Anteil. Die positive Korrelation mit T_{Boden} war nur signifikant, wenn sie getrennt von der Bodenfeuchte betrachtet wurde, da deren stärkerer Effekt den schwächeren der Temperatur überlagerte. Auch der in gemäßigten Breiten im Winterhalbjahr zu beobachtende Emissionssprung durch Frost- und Tau-Zyklen hängt weniger mit der Temperaturänderung sondern vielmehr mit der Freigabe gespeicherten Lachgases und einer Änderung im Anteil des wassergefüllten Porenraumes zusammen (FURON et al. 2008, SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2010). In der Gesamtbetrachtung der Lachgasemissionen von

landwirtschaftlichen Nutzflächen ist die Bodentemperatur daher weniger relevant als z.B. der Wassergehalt des Bodens.

Deshalb wird der Sensibilitätswert eine Stufe geringer angesetzt und liegt damit **bei 2**.

Die Gewichtung des pH-Wertes

Die Rolle des pH-Wertes bleibt ungeklärt. Eine eindeutige Korrelation kann nicht angegeben werden, da Widersprüche zwischen den Studien auftreten. Die Festlegung eines „optimalen“ pH-Bereiches für die Entstehung von Lachgas im Boden scheint schwierig, die mikrobielle Gemeinschaft reagiert schnell auf Änderungen des pH-Wertes und passt sich diesen an. Im Gelände muss davon ausgegangen werden, dass die Bedingungen vor Ort die optimalsten für die Bodenbakterien sind (ŠIMEK & COOPER 2002). Setzt man entnommene Bodenproben pH-Änderungen im Labor aus, kann sich die Zusammensetzung der mikrobiellen Gemeinschaft ändern. Die Auswirkungen des pH-Wertes kann ich deswegen nicht abschließend abschätzen, ich denke aber, dass er für die Bewertung der N₂O-Emissionen eine untergeordnete Rolle spielt. Dem pH-Wert wird deshalb **kein Sensibilitätswert zugeordnet**.

Der Einfluss von Bewirtschaftungsparametern auf die N₂O-Emissionen

Bewirtschaftungsparameter sind die Parameter, die maßgeblich vom Landwirt beeinflusst werden. Signifikant sind die N-Applikationsrate, der Düngertyp und die Art der Feldfrucht (STEHFEST & BOUWMAN 2006). Der folgende Abschnitt stellt den Einfluss der Bewirtschaftungsparameter zusammenfassend dar:

Die Applikation von Düngemitteln erhöht die Lachgasemissionen von landwirtschaftlichen Nutzflächen. Je mehr Stickstoffdünger aufgebracht wird, desto höher sind die Emissionen (BOUWMAN et al. 2002, DING et al. 2010, LU et al. 2010). Dabei wird nach einer Ausbringung von Wirtschaftsdüngern (siehe Exkurs) deutlich mehr Lachgas frei als nach einer Ausbringung von Mineraldüngern (LEICK 2003, JONES et al. 2007). Zwischen verschiedenen Arten mineralischer Dünger besteht dagegen kein signifikanter Unterschied (LEICK 2003, VELTHOF et al. 2003, STEHFEST & BOUWMAN 2006). Werden Düngemittel allerdings mit Nitrifikationshemmstoffen kombiniert, so lässt sich eine deutliche Senkung der N₂O-Emissionen erreichen (LEICK 2003, ZAMAN et al. 2008).

Exkurs: Übersicht Düngemittel

Nach HEGE & PERETZKI (2006) kann bei **Mineraldüngern** zwischen **Ein- und Mehrnährstoffdüngern** unterschieden werden:

Einnährstoffdünger sind z.B. Stickstoff-(N), Phosphat- (P), Kali- (K) oder Kalkdünger.

Mehrnährstoffdünger sind z.B. NP-, NPK- oder PK-Dünger.

Wirtschaftsdünger sind Nebenerzeugnisse aus der landwirtschaftlichen Produktion, wie z.B. tierische Ausscheidungen, Gülle, Jauche oder Stallmist.

Die Art der angebauten Nutzpflanze kann die Höhe der Lachgasemissionen beeinflussen (STEHFEST & BOUWMAN 2006). Beim Vergleich des Anbaus von Mais, Soja und Wintergerste in Monokultur wurden erhöhte Emissionen von Maisfeldern gefunden (DRURY et al. 2008). Dabei spielt die nach der Ernte im Boden verbleibende Menge an Pflanzenresten und der Zeitpunkt der Düngung eine wichtige Rolle. Zudem weist der Anbau von Leguminosen (Erbsen, Sojabohnen, Luzerne) erhöhte N₂O-Emissionen auf, was mit ihrer Fähigkeit zur Stickstofffixierung zusammenhängt.

Überblick über die Einflüsse auf die Bodenparameter und die N₂O-Emission

Tabelle 1 fasst die Einflüsse der Bewirtschaftungsparameter auf die Bodenparameter zusammen.

Die Lachgasemissionen landwirtschaftlicher Nutzflächen

Eine positive Korrelation steigert, über die Erhöhung des Gehaltes eines Bodenparameters, die Lachgasemissionen, eine negative führt zu einer Emissionssenkung. Eine Ausnahme bilden hier – aus den oben genannten Gründen – die Einflüssen auf den pH-Wert des Bodens. Bei einigen Faktoren oder Parametern kann zudem keine allgemeine Aussage über die Korrelation gemacht werden, da diese von der jeweiligen Ausprägung des Faktors abhängig ist. So liegen z.B. die N_{\min} -Gehalte in verschiedenen Bodentypen und bei verschiedenen Bodenarten unterschiedlich hoch.

Tab. 1: Wirkung verschiedener Faktoren auf die Bodenparameter. + : positive Korrelation; - : negative Korrelation; +/- : Korrelation abhängig von der Ausprägung des Faktors; ? : Korrelation unklar; (+) : positive Korrelation bei Flüssigdüngung

Faktoren/Parameter	N_{\min} -Gehalt	C_{org} -Gehalt	WGPR-Anteil	T_{BODEN}	pH_{Boden}
Klima					
Arid			-	+	+
Humid			+	-	-
Frost-/Tau-Zyklen		?	+		
Höhe über NN	+/-	+/-	+/-	-	
Relief					
Exposition	+/-	+/-	+/-	+/-	
Inklination	+/-	+/-	-	+	
Boden					
- art	+/-	+/-	+/-	+/-	
- typ	+/-	+/-	+/-	+/-	
Gehalt an org. Substanz	+	+	+	+	
Albedo d. Oberfläche					+/-
Bewirtschaftung					
Anbau von Feldfrüchten					-
Düngermenge	+	+		+/-	+/-
Düngerart	+	+	(+)		+/-
Anbau v. Zwischenfrüchten	-	+	-		
Bewässerung	-	+	+		
Entwässerung	+	-	-		
Kalkung					+
Befahren mit Landmaschinen			+		
Einarbeitung v.					
pflanzl. Resten mit engem C/N	+	+			
pflanzl. Resten mit weitem C/N	-	+			

Literaturverzeichnis

BATEMAN, E.J. & E.M. BAGGS (2005):

Contributions of nitrification and denitrification to N₂O emissions from soils at different water-filled pore space. In: *Biology and Fertility of Soils* 41, S. 379-388

BMELV (BUNDESMINISTERIUM FÜR ERNÄHRUNG, LANDWIRTSCHAFT UND VERBRAUCHERSCHUTZ) (Hrsg.) (2010):

Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland 2010. Bremerhaven

DEUTSCHER BUNDESTAG (2006):

Antwort der Bundesregierung auf die kleine Anfrage der Abgeordneten Bärbel Höhn, Hans-Josef Fell, Cornelia Behm, Ulrike Höfken und der Fraktion Bündnis 90/Die Grünen.

BT-Drucksache 16/5346. Berlin

DING, W., K. YAGI, Z. CAI & H. FENGXIANG (2010):

Impact of Long-Term Application of Fertilizers on N₂O and NO Production Potential in an Intensively Cultivated Sandy Loam Soil. In: *Water, Air, & Soil Pollution* 212, S. 141-153

DOBBIE, K. E. & K.A. SMITH (2001):

The effects of temperature, waterfilled pore space and land use on N₂O emissions from an imperfectly drained gleysol. In: *European Journal of Soil Science* 52, S. 667-673

DRURY, C. F., X. M. YOUNG, W. D. REYNOLDS & N. B. MC LAUGHLIN (2008):

Nitrous oxide and carbon dioxide emissions from monoculture and rotational cropping of corn, soybean and winter wheat. In: *Canadian Journal of Soil Science* 88 (2), S. 163-174

FURON, A. C., C. WAGNER-RIDDLE, C. R. SMITH & J. S. WARLAND (2008):

Wavelet analysis of wintertime and spring thaw CO₂ and N₂O fluxes from agricultural fields. In: *Agricultural and Forest Meteorology* 148, S. 1305-1317

GRANT, R.F., E. PATTEY, T.W. GOODDARD, L. M. KRYZANOWSKI & H. PUURVEEN (2006):

Modeling the Effects of Fertilizer Application Rate on Nitrous Oxide Emissions. In: *Soil Science Society of America Journal* 70, S. 235-248

HEGE, U. & F. PERETZKI (2006):

Pflanzenernährung und Düngung. In: *Die Landwirtschaft – Lehrbuch für Landwirtschaftsschulen. Teil: Pflanzliche Erzeugung. 12.Auflage. München*

HIRSCHFELD, J., J. WEIß, M. PREIDL & T. KORBUN (2008):

Klimawirkungen der Landwirtschaft in Deutschland. Schriftenreihe des Instituts für ökologische Wirtschaftsforschung (IÖW) 186/08. Berlin

IFA (INTERNATIONAL FERTILIZER INDUSTRY ASSOCIATION) & FAO (FOOD AND AGRICULTURE ORGANISATION OF THE UNITED NATIONS) (2001):

Global estimates of gaseous emissions of NH₃, NO and N₂O from agricultural land. Rom

Die Lachgasemissionen landwirtschaftlicher Nutzflächen

IPCC (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE) (Hrsg.) (2007):

Climate Change 2007 – Synthesis Report. Online unter: http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/syr/ar4_syr.pdf (abgerufen am 03.08.2011)

JOHNSON, J. M. F., D. C. REICOSKY, R. R. ALLMARAS, T. J. SAUER, R. T. VENTEREA & C. J. DELL (2005):

Greenhouse gas contributions and mitigation potential of agriculture in the central USA. In: *Soil & Tillage Research* 83, S. 73-94

JONES, S. K., R. M. REES, U. M. SKIBA & B. C. BALL (2007):

Influence of organic and mineral N fertiliser on N₂O fluxes from a temperate grassland. In: *Agriculture, Ecosystems and Environment* 121, S. 74-83

KOOL, D. M., J. DOLFING, N. WRAGE & J. W. VAN GROENIGEN (2011):

Nitrifier denitrification as a distinct and significant source of nitrous oxide from soil. In: *Soil Biology and Biochemistry* 43, S. 174-178

LI, C., S. FROLKING & K. BUTTERBACH-BAHL (2005):

Carbon Sequestration in Arable Soils is Likely to Increase Nitrous Oxide Emissions, Offsetting Reductions in Climate Radiative Forcing. In: *Climate Change* 72 (3), S. 321-338

LU, M., Y. YANG, Y. LUO, C. FANG, X. ZHOU, J. CHEN, X. YANG & B. LI (2011):

Responses of ecosystem nitrogen cycle to nitrogen addition: a meta-analysis. In: *New Phytologist* 189, S. 1040-1050

RAVISHANKARA, A.R., J.S. DANIEL & R.W. PORTMANN (2009):

Nitrous Oxide (N₂O): The Dominant Ozone-Depleting Substance Emitted in the 21st Century. In: *Science* 326, S. 123-125

RUSER, R., H. FLESSAB, R. RUSSOW, G. SCHMIDT, F. BUEGGERA & J.C. MUNCH (2006):

Emission of N₂O, N₂ and CO₂ from soil fertilized with nitrate: effect of compaction, soil moisture and rewetting. In: *Soil Biology & Biochemistry* 38 (2), S. 263-274

SCHAUFLER, G., B. KITZLER, A. SCHINDLBACHER, U. SKIBA, M.A. SUTTON & S. ZECHMEISTER-BOLTENSTERN (2010):

Greenhouse gas emissions from European soils under different land use: effects of soil moisture and temperature. In: *European Journal of Soil Science* 61, S. 683-696

SCHEFFER, F. & P. SCHACHTSCHABEL (2010):

Lehrbuch der Bodenkunde. 16. Auflage. Heidelberg

ŠIMEK, M. & J.E. COOPER (2002):

The influence of soil pH on denitrification: progress towards the understanding of this interaction over the last 50 years. In: *European Journal of Soil Science* 53, S. 345-354

SMITH, K. A., I. P. MCTAGGERT, K. E. DOBBIE & F. CONEN (1998):

Emissions of N₂O from Scottish agricultural soils, as a function of fertilizer N. In: *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 52, S. 123-130

Stehfest, E. & L. Bouwman (2006):

Die Lachgasemissionen landwirtschaftlicher Nutzflächen

N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. In: Nutrient Cycling in Agroecosystems 74, S. 207-228

UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.) (2011):

Stickstoff – Zuviel des Guten? Überlastung des Stickstoffkreislaufs zum Nutzen von Umwelt und Mensch wirksam reduzieren. Dessau-Roßlau

VELTHOF, G. L., P. J. KUIKMAN & O. OENEMA (2003):

Nitrous oxide emission from animal manures applied to soil under controlled conditions. In: Biology and Fertility of Soils 37, S. 221-230

WELTBANK (2011):

Übersicht über die Landfläche aller Länder. Online unter:
<http://data.worldbank.org/indicator/AG.LND.TOTL.K2> (abgerufen am: 14.06.2011)

WEVER, H. DE, S. MUSSEN & R. MERCKX (2002):

Dynamics of trace gas production following compost and NO₃⁻ amendments to soil at different initial TOC/ NO₃⁻ ratios. In: Soil Biology & Biochemistry 34, S. 1583-1591

WRAGE, N., G.L. VELTHOF, M.L. VAN BEUSICHEM & O. OENEMA (2001):

Role of Nitrifier Denitrification in the production of nitrous oxide. In: Soil Biology and Biochemistry 33, S. 1723-1732

ZAMAN, M., M. L. NGUYEN, J. D. BLENNERHASSET & B. F. QUINN (2007):

Reducing NH₃, N₂O and NO₃⁻ -N losses from a pasture soil with urease or nitrification inhibitors and elemental S-amended nitrogenous fertilizers. In: Biology and Fertility of Soils 44, S. 693-705