

Tagungsbeitrag zu:

Jahrestagung der DBG,
AG Bodengase,
Kommission III: Bodenbiologie und
Bodenökologie

Titel der Tagung:

Horizonte des Bodens

Veranstalter:

DBG

Termin und Ort der Tagung:

02.-07.09.17, Göttingen

Berichte der DBG (nicht begutachtete
online Publikation), <http://www.dbges.de>

Einfluss des Leguminosenanteils und früher Abfuhr des Pflanzenaufwuchses von Greening- Mischungen auf die N₂O- Winteremissionen einer Ackerfläche

Ivan Guzman-Bustamante^{1*}, Alice Puig Rodriguez¹,
Perik Seiz¹, Sabine Zarnik², Andreas Butz², Torsten
Müller¹ und Reiner Ruser¹

Schlüsselworte

N₂O-Emission, N₂O-Winteremission,
Greening, Zwischenfrucht, Leguminosen,
Biomasseabfuhr.

Einführung

Seit dem 1. Januar 2015 müssen landwirtschaftliche Betriebe (>15 ha) 5% des Ackerlandes als „ökologische Vorrangfläche“ bereitstellen. Mit dieser sog. „Greening“-Maßnahme der aktuellen EU-Agrarpolitik soll die Landwirtschaft einen größeren Beitrag zum Klima- und Umweltschutz leisten.

Für Ackerland werden „Greening“-Saatgutmischungen angeboten, welche sich stark in ihrer Zusammenstellung und damit in

¹Universität Hohenheim, Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, Fg. Düngung und Bodenhaushalt (340i), Fröwirthstr. 20, 70599 Stuttgart
*e-mail: Ivan.Guzman@uni-hohenheim.de

²Landwirtschaftliches Technologiezentrum Augustenberg, Karlsruhe

ihrer Eigenschaft wie z.B. Menge und Zeitpunkt von Nährstoffaufnahme unterscheiden. Mit diesen Zwischenfruchtmischungen (mind. zwei Arten, jeweils max. 60% einer Art.) sollen Schwarzbrache-Zeiträume und damit ein Verlust von Pflanzennährstoffen vermieden werden. Des Weiteren werden Leguminosen als Beimischung, in variablen Anteilen, explizit empfohlen.

Die Aussaat muss zwischen dem 15. Juli und dem 1. Oktober des jeweiligen Jahres erfolgen und der Aufwuchs muss bis mind. 15. Februar im Folgejahr erhalten bleiben. Erst danach darf die oberirdische Biomasse eingearbeitet oder zu Nutzungszwecken entfernt werden.

Die an der Bildung des klimarelevanten Spurengases Lachgas (N₂O) in Böden beteiligten Mikroorganismen, benötigen mineralischen N als Substrat, deshalb wird die N₂O-Freisetzung generell durch die N-Düngung bzw. durch ein erhöhtes Angebot an mineralischem N in Böden wie z.B. nach Mineralisierung N-reicher organischer Substanz erhöht (*Stehfest and Bouwman, 2006*).

In Jahren oder auf Standorten mit ausgeprägten Frost/Tau-Zyklen können in Deutschland ca. 50% der annualen N₂O-Emission im Winterhalbjahr freigesetzt werden (*Flessa et al., 1995; Jungkunst et al., 2006; Kaiser and Ruser, 2000*). In einigen Untersuchungen konnte ein Zusammenhang zwischen den Nitratgehalten des Oberbodens (*Ruser et al., 2001*) oder dem C/N-Verhältnis von Ernterückständen (*Kaiser et al., 1998*) und den Emissionen im Winter festgestellt werden. Aus diesem Grund empfehlen *Ruser et al. (2001)* sowie *Flessa et al. (2014)* das Potential von Zwischenfrüchten auf die N₂O-Minderung im Winter hin näher zu untersuchen. Bisher gibt es jedoch keine Untersuchungen zum Einfluss von

Greening-Mischungen und deren Management auf die N₂O-Freisetzung.

Von Körnerleguminosen ist bekannt, dass sie über die Rhizodeposition vergleichsweise große N-Mengen in den Boden abgeben (Wichern et al., 2008). Dadurch kann es im Vergleich mit „Nicht-Leguminosen“ schon während des Anbauzeitraums zu einer Erhöhung der N₂O-Emissionen kommen (Rochette and Janzen, 2005).

Basierend auf einem höheren N-Eintrag durch eine legume Zwischenfrucht (Askegaard and Eriksen, 2007), bei gleichzeitig geringerem C/N-Verhältnis der Biomasse (Leguminosen C/N: ≈10 versus z.B. Gelbsenf C/N: ≈25) stellten Pimentel et al. (2015) einen Anstieg der N₂O-Verluste durch Anbau und Einarbeitung einer legumen Zwischenfrucht fest.

Bei Abfuhr von oberirdischer Biomasse wird sowohl die C- als auch die N-Verfügbarkeit aufgrund der fehlenden Produkte aus der Mineralisation der Biomasse vermindert. Dies gilt insbesondere, wenn es sich dabei um frisches Pflanzenmaterial mit niedrigem C/N-Verhältnis handelt. Aus dem Gemüsebau ist bereits bekannt, dass die Abfuhr von frischen, N-reichen Ernteresten, im Vergleich zur Einarbeitung zu einer signifikanten N₂O-Minderung führt (De Rosa et al., 2016; Seiz et al., 2016).

Hauptziel des Feldversuches war deshalb die Quantifizierung von winterlichen N₂O-Emissionen und möglicher Nitratauswaschung in Abhängigkeit von (1) Winterbegrünung, (2) Leguminosenanteil der Begrünung und (3) der Biomasse-Abfuhr.

Material und Methoden

Der Feldversuch wurde 2014 vom LTZ Augustenberg in Ettlingen, südlich von Karlsruhe, angelegt (16 Behandlungen, n=4). Der Versuch wurde konventionell bewirtschaftet. Die Ansaat der Zwischen-

früchte erfolgte am 11.08.2015, Folgefrucht war Mais. Boden- und Standortcharakteristika sind in Tab. 1 aufgelistet.

Tab. 1: Boden- und Standortcharakterisierung des untersuchten Standorts (A_p Horizont, 0-30 cm).

Bodenart	sL-uL
Bodentyp	Parabraunerde
C_{org}	0,86 %
N_t	0,096 %
pH-Wert	5,8
Mittlere Jahrestemperatur	10,1°C
Mittlerer Jahresniederschlag	742 mm

In Rahmen dieser Studie wurden ausgewählte Behandlungen beprobt. Das Versuchsdesign war eine Split-Plot-Anlage mit folgenden Varianten:

- (1) Schwarzbrache
- (2) Gelbsenf ohne Abfuhr
- (3) Gelbsenf mit Abfuhr der oberirdischen Biomasse
- (4) eine „Greening“-Mischung mit 55% Leguminosenanteil ohne Abfuhr
- (5) Mischung (4) mit Abfuhr
- (6) eine „Greening“-Mischung mit 95% Leguminosenanteil ohne Abfuhr
- (7) Mischung (6) mit Abfuhr.

Am 16.11.2015 erfolgte die Abfuhr des oberirdischen Aufwuchses in den jeweiligen Subvarianten. Eine Zusammenstellung der Saatmischungen ist in Tab. 2 angegeben.

Tab. 2: Zusammensetzung der Saatmischungen in Gewichts%.

Deutscher Name (Art)	Gelbsenf Lucida (Saaten Union)	TG 1 Humus (Freudenberger) (55% Leg)	Erbse-Sonnenblume-Sommerwicke (LTZ-Mischung) (95% Leg)
Gelbsenf (<i>Sinapis alba</i>)	100		
Alexandrinerklee (<i>Trifolium alexandrinum</i>)		15	

Deutscher Name (Art)	Gelbsenf Lucida (Saaten Union)	TG 1 Humus (Freudenberger) (55% Leg)	Erbse-Sonnenblume-Sommerwicke (LTZ-Mischung) (95% Leg)
Körner/Futtererbse (<i>Pisum sativum</i>)		15	79
Serradella (<i>Ornithopus sativus</i>)		15	
Sommerwicke (<i>Vicia sativa</i>)		20	16
Sonnenblumen (<i>Heliathus annus</i>)			5
Buchweizen (<i>Fagopyrum esculentum</i>)		20	
Phacelia (<i>Phacelia tanacetifolia</i>)		15	

Zwischen dem 17.11.15 und 02.06.16 wurden Gas- und Bodenbeprobungen wöchentlich durchgeführt und durch zusätzlichen Probenahmen nach Ereignissen, die i.d.R. eine Erhöhung der N₂O-Flüsse mit sich bringen (z.B. bei Frost/Tau-Ereignissen, nach N-Düngung, nach Bodenbearbeitung) ergänzt. Die Gasprobenahme im Feld erfolgte mit der „closed chamber“ Methode (Hutchinson and Mosier, 1981), die dazu verwendeten Hauben wurden detailliert bei Flessa et al. (1995) beschrieben. Zur Ermittlung der N₂O-Konzentrationen wurde ein Gaschromatograph (GC 456, Bruker Daltonic) mit einem ⁶³Ni-Elektroneneinfangdetektor (ECD) eingesetzt. Die Flussberechnung erfolgte mit Hilfe eines R-basierten Skripts (Fuß, 2016; Leiber-Sauheitl et al., 2014).

Neben den Spurengasproben wurden Bodenproben in 0-30 cm Tiefe entnommen und über die vier replikaten Plots gepoolt. Mit Hilfe dieser Proben wurden die N_{min}- und DOC-Gehalte sowie die Feuchtegehalte ermittelt, sie dienten der Parametrisierung der N₂O-Flüsse. Parzellenscharfe Bodenprobenahmen fanden alle 4 Wochen statt. Am vier Terminen (Abb. 5) wurden Tiefen-

beprobungen zur Abschätzung der Nitratverlagerung durchgeführt. An drei Terminen (Abb. 2) wurden Pflanzenschnitte zur Ermittlung der Frisch- und Trockenmasse, sowie des C- und N-Gehalts durchgeführt.

Ergebnisse und Diskussion

Während der kurzen Frost/Tauphase Mitte Januar zeigten sich erhöhte N₂O-Flussraten von bis zu 100 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ in der Variante mit 95% Leguminosen; die ebenfalls erhöhten Flüsse der restlichen Behandlungen schwankten zwischen 30 und 75 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ (Abb. 1). Dabei waren die mittleren N₂O-Flüsse der Behandlungen ohne Abfuhr jeweils höher als in den korrespondierenden Behandlungen mit Abfuhr der Biomasse.

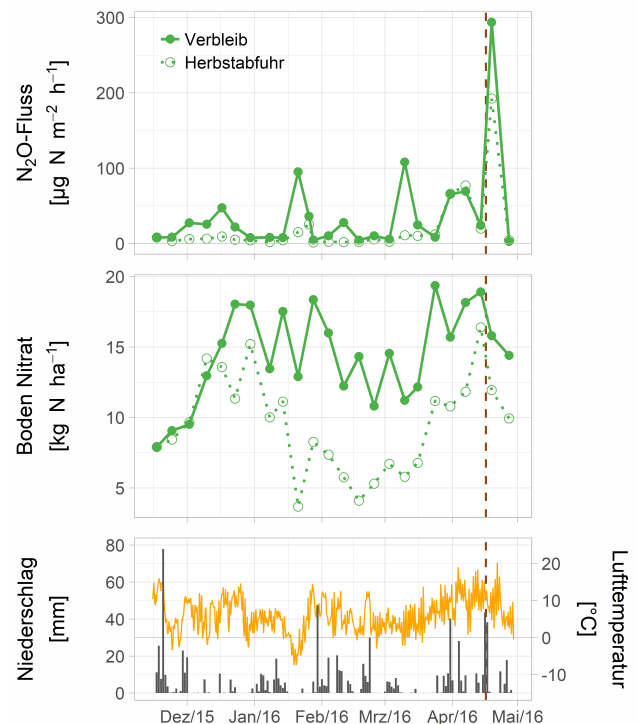


Abb. 1: Mittlere N₂O-Flussraten (n = 4) und Nitratgehalte (0-30 cm) in der Behandlung mit 95% Leguminosenanteil, sowie Lufttemperatur und Tagesniederschlag. Die gestrichelte Linie kennzeichnet eine Bodenbearbeitung.

In diesem Zeitraum waren sowohl die Nitrat- als auch die Ammoniumgehalte im Oberboden in den Abfuhrbehandlungen geringer als in den Varianten ohne Abfuhr; für Behandlungen mit 95% Leguminosen war diese Differenz statistisch signifikant

(Daten nicht dargestellt). Die Nitratgehalte des Oberbodens korrelierten signifikant mit den N₂O-Flüssen (Spearman's Korrelationskoeff. 0,39, p<0,001). Der DOC-Gehalt hatte kein Einfluss auf die N₂O Freisetzung.

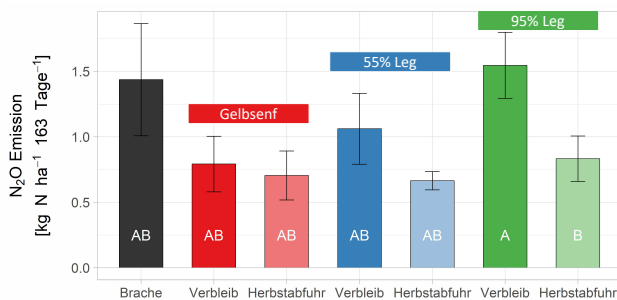


Abb. 2: Mittlere kumulative N₂O-Emission (± Standardfehler, n=4, 163 Tage). Balken mit unterschiedlichen Buchstaben unterscheiden sich signifikant voneinander (LSD α=0.05).

Die höchsten N₂O-Flussraten des gesamten Untersuchungszeitraums wurden nach vorangegangener Grundbodenbearbeitung Anfang April mit bis zu 410 µg N₂O-N m⁻² h⁻¹ in der Brache gemessen. In den Varianten mit Leguminosen waren die mittleren N₂O-Flüsse abermals größer als auf den Abfuhrplots.

Eine Erhöhung der N₂O-Flüsse nach Bodenbearbeitung ist in der Literatur häufig beschrieben (Chatskikh and Olesen, 2007; Mutegi et al., 2010). Sie wird vor allem auf eine intensive Mineralisation von Ernteresten und organischer Substanz zurückgeführt. Die damit verbundene starke O₂-Zehrung führt zu einer Ausbildung anaerober Bedingungen und begünstigt so die Denitrifikation.

Durch Anbau einer Winterzwischenfrucht wurden gegenüber der Schwarzbrache sehr unterschiedliche Wirkungen hinsichtlich der kumulativen N₂O Emission festgestellt. So konnte durch den Anbau von Gelbsenf eine, wenn auch statistisch nicht signifikante (p=0,10), N₂O-Minderung von 45%

erzielt werden, für die Mischung mit 55% Leguminosen wurde eine Minderung von 26% erreicht. Im Gegensatz dazu war die N₂O-Emission in der Behandlung mit 95% Leguminosen gleich groß wie auf der Schwarzbrache (Abb. 2).

Durch die Abfuhr des oberirdischen Aufwuchses wurde bei allen Varianten eine Minderung der mittleren N₂O-Emission gemessen. Bei Gelbsenf war diese Minderung nur minimal, bei 55% Leguminosenanteil war eine deutliche Tendenz erkennbar und bei 95% Leguminosen war die N₂O-Reduktion um 46% statistisch signifikant (Abb. 2). Diese Differenz erklärt sich durch die höheren N-Aufnahmen im Aufwuchs. In Variante ‚95% Leguminosen‘ wurden 179 kg N ha⁻¹ in die oberirdische Biomasse aufgenommen, bei Gelbsenf dagegen nur 17 kg N ha⁻¹ und in der Variante mit 55% Leguminosen waren es 40 kg ha⁻¹ (Abb. 3). Die Herbstabfuhr konnte die N_{min}-Gehalte mindern und dadurch das Substratangebot für die N₂O-bildenden Mikroorganismen verringern (Abb. 4).

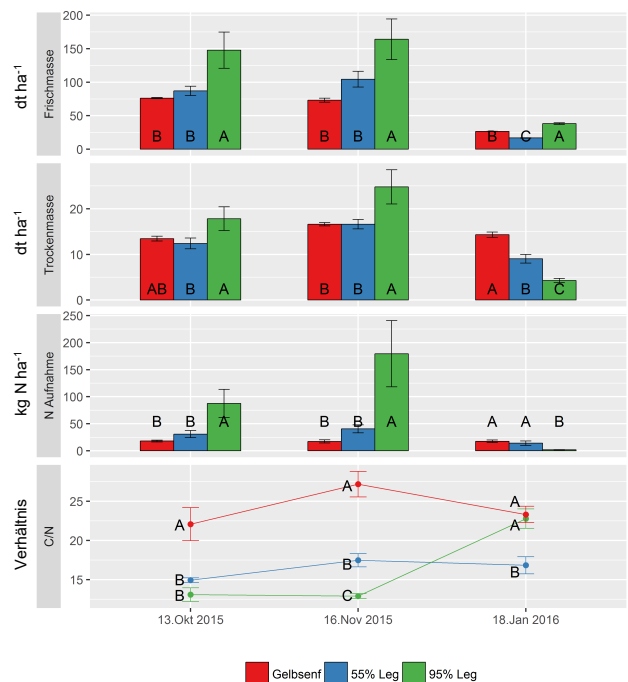


Abb. 3: Mittlere Frischmasse, mittlere Trockenmasse, mittlere N-Aufnahme und mittleres C/N-Verhältnis (jeweils, n=4) des oberirdischen Aufwuchses in Abhängigkeit von Art der Zwischenfrucht. Großbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede bei p<0,05 (LSD-Test) an.

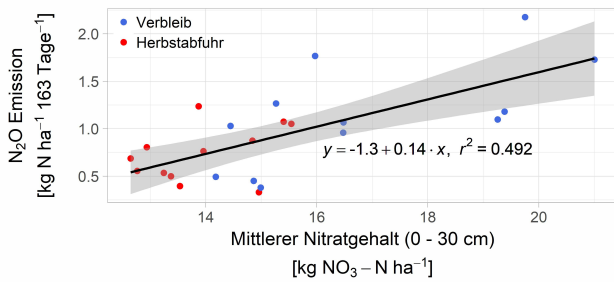


Abb. 4: Zusammenhang zwischen den Nitratgehalten des Oberbodens (Mittelwert über die gesamte Versuchsdauer, 163 Tage) und der kumulativen N₂O-Emission.

Biomasse-Abfuhr (Grünschnittnutzung für Biogasgewinnung) in Kombination mit anschließender Gärrest-Rückführung auf dieselbe Fläche führte zu einer Minderung der N₂O-Emission um 38% (Möller and Stinner, 2009). Ebenso konnte durch das vorwinterliche Entfernen von Ernterückständen im Gemüsebau eine signifikante Reduktion der N₂O-Emissionen über Winter erreicht werden (De Rosa et al., 2016; Seiz et al., 2016). Das C/N-Verhältnis der Ernterückstände von Brokkoli und Blumenkohl war mit ≈ 10 ähnlich dem der Leguminosen auf dem Ettlinger Standort (Abb. 3).

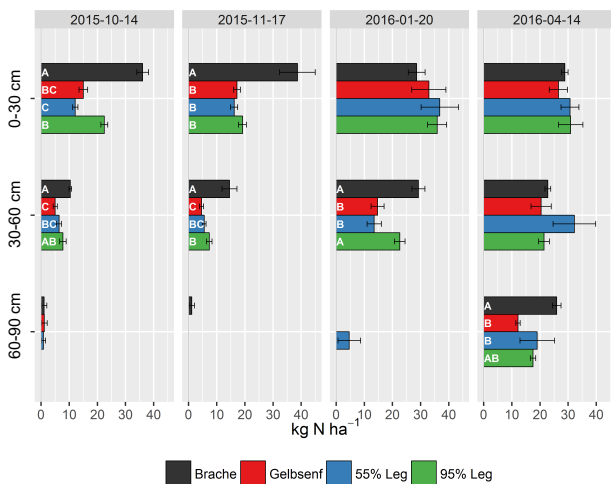


Abb. 5: Mittlere N_{min}-Gehalte der Behandlungen ohne Abfuhr (n=4, 0-90 cm Tiefe) in Abhängigkeit der Winterbegrünung und des Leguminosenanteils. Fehlerbalken zeigen den Standardfehler. Großbuchstaben zeigen statistisch signifikante Unterschiede bei $p < 0,05$ (LSD-Test) innerhalb einer Tiefe und Datum an.

Unmittelbar vor Beginn der Spurengasmessungen zeigte die Schwarzbrache mit

ca. 48 kg N ha⁻¹ die höchsten N_{min}-Werte über die gesamte Beprobungstiefe (Abb. 5). Etwa $\frac{3}{4}$ des mineralischen N fanden sich dabei in den obersten 30 cm, in 60-90 cm Tiefe waren die Gehalte sehr gering. Die höheren N_{min}-Gehalte sind mit der fehlenden Pflanzenaufnahme der Schwarzbrache zu erklären. Einen Monat später (17.11.2016) ergab sich dasselbe Bild, die N_{min}-Gehalte hatten sich bis dahin nicht verändert.

Zum 20.01.2016 fand eine Angleichung der N_{min}-Werte im A_p-Horizont (0-30 cm) aller Varianten statt. Diese betragen zwischen 28 kg (Brache) und 37 kg N ha⁻¹ (95% Leg). In der Tiefe 30-60 cm wurde verglichen mit den Untersuchungen des Vorjahres eine Zunahme der N_{min}-Gehalte ermittelt. In dieser Tiefe ergaben sich für die Brache bzw. die Behandlung mit 95% Leguminosenanteil höhere Gehalte als unter Gelbsenf bzw. der Behandlung mit 55% Leguminosen.

Zum 14.04.16 kam in allen Behandlungen zu einer Verlagerung des mineralischen N in die unterste Beprobungsschicht. In den drei Monaten zwischen den beiden letzten Tiefenbeprobungen fielen 336 mm Niederschlag bzw. 45% des gesamten Jahresniederschlags der zur Verlagerung des mineralischen N geführt haben dürfte.

Schlussfolgerung

Eine frühe Abfuhr des Greeningaufwuchses (vor Winter) sowie die Verwendung von Saatmischungen mit „moderaten“ Leguminosenanteilen haben das Potential, die N₂O-Freisetzung über Winter zu senken. Mit einer Senkung des Leguminosenanteils wird die Gefahr einer Nitratverlagerung reduziert.

Aufgrund der großen Variabilität der N₂O-Freisetzung zwischen einzelnen Jahren sind weitere (mehrjährige) Messungen zur Abschätzung des Minderungspotentials nötig.

Danksagung

Dieses Projekt wurde durch das Thünen-Institut für Klimaschutz (Braunschweig) finanziert.

Literatur

- Askegaard, M., Eriksen, J. (2007): Growth of legume and nonlegume catch crops and residual-N effects in spring barley on coarse sand. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 170, 773–780.
- Chatskikh, D., Olesen, J.E. (2007): Soil tillage enhanced CO₂ and N₂O emissions from loamy sand soil under spring barley. *Soil Tillage Res.* 97, 5–18.
- De Rosa, D., Rowlings, D.W., Biala, J., Scheer, C., Basso, B., McGree, J., Grace, P.R. (2016): Effect of organic and mineral N fertilizers on N₂O emissions from an intensive vegetable rotation. *Biol. Fertil. Soils* 52, 895–908.
- Flessa, H., Dörsch, P., Beese, F. (1995): Seasonal variation of N₂O and CH₄ fluxes in differently managed arable soils in southern Germany. *J. Geophys. Res.* 100, 23115–23.
- Flessa, H., Greef, J., Dittert, K., Ruser, R., Osterburg, B., Poddey, E., Wulf, S., Pacholski, A. (2014): Minderung von Stickstoff-Emissionen aus der Landwirtschaft: Empfehlungen für die Praxis und aktuelle Fragen an die Wissenschaft, Forschung Themenheft 1/2014. Berlin.
- Fuß, R. (2016): R-Package gasfluxes [WWW Document]. URL <https://bitbucket.org/ecoRoland/gasfluxes> (accessed 9.30.16).
- Hutchinson, G., Mosier, A. (1981): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, 311–316.
- 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.* 169, 341–351.
- Kaiser, E.A., Kohrs, K., Kücke, M., Schnug, E., Heinemeyer, O., Munch, J.C. (1998): Nitrous oxide release from arable soil: Importance of N-fertilization, crops and temporal variation. *Soil Biol. Biochem.* 30, 1553–1563.
- Kaiser, E.A., Ruser, R. (2000): Nitrous oxide emissions from arable soils in Germany - An evaluation of six long-term field experiments. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 163, 249–259.
- Leiber-Sauheitl, K., Fuß, R., Voigt, C., Freibauer, A. (2014): High CO₂ fluxes from grassland on histic gleysol along soil carbon and drainage gradients. *Biogeosciences* 11, 749–761.
- Möller, K., Stinner, W. (2009): Effects of different manuring systems with and without biogas digestion on soil mineral nitrogen content and on gaseous nitrogen losses (ammonia, nitrous oxides). *Eur. J. Agron.* 30, 1–16.
- Mutegi, J.K., Munkholm, L.J., Petersen, B.M., Hansen, E.M., Petersen, S.O. (2010): Nitrous oxide emissions and controls as influenced by tillage and crop residue management strategy. *Soil Biol. Biochem.* 42, 1701–1711.
- Pimentel, L.G., Weiler, D.A., Pedroso, G.M., Bayer, C. (2015): Soil N₂O emissions following cover-crop residues application under two soil moisture conditions. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 178, 631–640.
- Rochette, P., Janzen, H.H. (2005): Towards a Revised Coefficient for Estimating N₂O Emissions from Legumes. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 73, 171–179.
- Ruser, R., Flessa, H., Schilling, R., Beese, F., Munch, J.C. (2001): Effect of crop-specific field management and N fertilization on N₂O emissions from a fine-loamy soil. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 59, 177-191–191.
- Seiz, P., Guzman-Bustamante, I., Schulz, R., Müller, T., Ruser, R. (2016): Effect of crop residue removal and straw addition on nitrous oxide emissions from a vegetable cropped soil in South Germany. *Agric. Ecosyst. Environ.* submitted.
- Stehfest, E., Bouwman, L.F. (2006): N₂O and NO emission from agricultural fields and soils under natural vegetation: summarizing available measurement data and modeling of global annual emissions. *Nutr. Cycl. Agroecosystems* 74, 207–228.
- Wichern, F., Eberhardt, E., Mayer, J., Joergensen, R.G., Müller, T. (2008): Nitrogen rhizodeposition in agricultural crops: Methods, estimates and future prospects. *Soil Biol. Biochem.* 40, 30–48.