|  |
| --- |
| Tagungsbeitrag zu: Jahrestagung der DBG - Kommission IV, AG Bodengase  Titel der Tagung: Unsere Böden, Unser Leben  Veranstalter: DBG, September 2015, München  Berichte der DBG (nicht begutachtete online Publikation)  http://www.dbges.de |

**Möglichkeiten zur Minderung der  
N2O-Freisetzung im Gemüsebau**

R. Ruser1, R. Schulz1, H. Pfab1, P. Seiz1, M. Armbruster2, F. Wiesler2 und T. Müller1

**Zusammenfassung**

Über einen Zeitraum von 5 Jahren wurde überprüft, welchen Einfluss verschiedene N-Manage­mentmaßnahmen auf die N2O-Freisetzung aus einer gemüsebaulich genutzten Parabraunerde am Standort Stuttgart-Hohenheim haben.

Durch Anwendung des kulturbegleitenden Nmin-Sollwertsystems (KNS) konnten im Vergleich mit einer an die praxisüblichen N-Mengen angelehnten Düngung sowohl die N-Salden als auch die N2O-Emissionen um durchschnittlich 38% vermindert werden. Eine weitere Reduktion der N-Düngung führte zu einer weiteren N2O-Min­derung, allerdings ergaben sich dadurch bei einzelnen Kulturen geringere Gemüseerträge.

Die Applikation von Stroh zur Nitrat-Immobilisierung im Herbst führte zu keiner signifikanten N2O-Minderung.

Die höchste Emissionsminderung konnte durch die Abfuhr der Erntereste im Herbst nach Brokkoli oder Blumenkohl erreicht werden. Die kumulativen N2O-Emissionen  
\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

1 Institut für Kulturpflanzenwissenschaften, FG. Düngung mit Bodenchemie, Universität Hohenheim (340i), Fruwirthstraße 20, 70599 Stuttgart, Email: reiner.ruser@uni-hohenheim.de

2 LUFA Speyer, Obere Langgasse 40, 67346 Speyer

bei Abfuhr der Erntereste unterschieden sich nicht von denen der ungedüngten Kontrollbehandlung.

Es konnte ein enger positiver Zusammenhang zwischen den Flächensalden und den N2O-Emissionen nachgewiesen werden. Ein Abbau der N-Überhänge führte so zu einer effektiven Minderung der N2O-Freisetzung im Gemüsebau.

Schlüsselworte: N2O, N-Düngung, Stroh­düngung, N-Managementmaßnahmen, Abfuhr Erntereste, Nitrifikationshemmer, N-Salden

**Hintergrund**

Lachgas (N2O) trägt zu ca. 7% zum an­thropo­genen Treibhauseffekt bei und ist am stra­tosphärischen Ozonabbau beteiligt (IPCC, 2007). Mehr als die Hälfte der an­thropogenen N2O-Emissionen stam­men aus landwirtschaftlich genutzten Bö­den. Dabei wird die N2O-Freisetzung aus Böden durch die N-Düngung über die maßgeb­lichen Prozesse der N2O-Bildung (Nitrifikation, Denitrifikation, Nitrifikanten-De­ni­tri­fikation) stimuliert. Vor allem N-Dünger­mengen, die deutlich über der N-Aufnahme von Pflanzenbeständen liegen, bergen das Risiko stark erhöhter N2O-Emissionen (McSwiney & Robertson, 2005).

Da Gemüsekulturen in der vegetativen Wachstumsphase geerntet werden, benötigen sie bis zuletzt eine ausreichende N-Versorgung. Nicht zuletzt aus diesem Grund ist der Gemüsebau mit teils hohen N-Überhängen behaftet. In Zusammenhang mit der Novellierung der Düngeverordnung (DVO) werden deshalb die notwendige Höhe der N-Versorgung zur Ernte sowie die unvermeidlichen N-Überschüsse intensiv diskutiert. Die DVO (in ihrer aktuellen Fassung vom 27.2.2007) billigt einigen Gemüsekulturen, wie beispielsweise Blumenkohl oder Brokkoli als letzte Kultur einen Überschuss von bis zu 160 kg N ha-1 a-1 zu. Nett et al. (2011) konnten zeigen, dass nach der Ernte von Blumenkohl ca. 100 kg mineralischer N im Bodenprofil verbleiben und zudem ca. 200 kg N ha-1 über die Erntereste in den Boden rückgeführt werden. Nett (2015) schätzt, dass ca. 50-65% des in den Ernteresten gebundenen N noch vor Winter mineralisiert werden, und der Nmin-Pool des Bodens entsprechend erhöht wird (Persönliche Mitteilung).

Um die hohen N-Überschüsse und damit die Nitratauswaschung zu vermindern, wurde eine Vielzahl von N-Management­maß­nahmen getestet. So konnten Armbruster et al. (2007) auf einem sandigen Standort zeigen, dass die Nitratverlagerung durch angepasste N-Düngung oder durch Abfuhr der Erntereste nach Blumenkohl signifikant reduziert werden.

Die Wirkung solcher Maßnahmen auf die N2O-Freisetzung ist dagegen noch weitgehend unbekannt. Ziel dieser Arbeit war es deshalb, ausgewählte Maßnahmen zur Minderung der N-Überhänge im Gemüsebau auf ihre Eignung zur Reduktion der N2O-Emissionen zu überprüfen.

**Material und Methoden**

Die Messungen wurden auf dem „Heidfeldhof“, einem Versuchsgut der Universität Hohenheim, durchgeführt. Auf einer Parabraunerde aus Löß wurde ein Parzel­lenversuch (randomisierte Blockanlage in vierfacher Wiederholung) mit insgesamt 10 Behandlungen angelegt, von denen hier die Ergebnisse von 6 Behandlungen vorgestellt werden sollen. Die Messungen erstreckten sich insgesamt über fünf Jahre, wobei einige Maßnahmen über den gesamten Versuchszeitraum hin untersucht wurden, andere über 32 Monate (3 Vegetationsperioden). Die Anbaufolge der Gemüsekulturen ist in Abb. 1 gezeigt.

Versuchsvarianten:

1. ungedüngte Kontrollbehandlung
2. N-Düngung nach Faustzahlen
3. N-Düngung entsprechend dem kulturbegleitenden Nmin-Sollwertsystem („KNS“; Feller et al., 2007)
4. N-Düngung zum Pflanzen und ggf. zusätzliche Kopfdüngung nach Indikation durch Grünwert (SPAD-Wert) des Bestandes („SPAD“)
5. Strohdüngung (2 kg m-2). Daraus resultierte ein C/N-Verhält­nis von 35 (CStroh/Nmin + NStroh) („KNS +Stroh“)
6. Abfuhr der Erntereste („KNS –ER“

Die Spurengasmessungen wurden in wöchentlichem Rhythmus mit ge­schlos­senen Kammern durch­ge­führt und durch ereignisbe­zogene Zusatzmessungen ergänzt. Das Kammerdesign ist bei Flessa et al. (1995) näher beschrieben. Je Parzelle wurde eine Gassammelhaube eingesetzt. Die Gasprobenahme erfolgte mit Hilfe evakuierter Glas­vials, die Konzentrations­messungen wurden mittels GC (63NI-ECD) durchgeführt.

**Ergebnisse und Diskussion**

Hohe N2O-Flüsse traten nach Düngungs­maßnahmen in Verbindung mit hohen Bodenwassergehalten, nach dem Einbringen frischer organischer Substanz nach der Ernte im Spätherbst sowie während Tauens im Winter­halbjahr auf (Abb. 1). Die höchsten N2O-Flussraten wurden mit nahezu 15.000 µg N2O-N m-2 h-1 anfangs Winter nach Ernte von Brokkoli in der Behandlung „Düngung nach Faustzahlen“ gemessen. In dieser Behandlung wurde in jedem Versuchsjahr die höchste Düngermenge ausgebracht (Tab. 1). Mit wenigen Ausnahmen traten in dieser Behandlung auch die jeweils höchsten N2O-Flüsse aus. Im Gegensatz dazu wurden in der ungedüngten Behandlung die geringsten N2O-Emissionen gemessen.

**Tab. 1:** Mittlere kumulative N2O-Emissionen, N-Düngung sowie N-Saldo (n = 4) über einen Zeitraum von 32 Monaten (Juli 2011 – Februar 2014) in Abhängigkeit der N-Managementmaßnahme.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Behandlung** | **N-Düngung** | **N-Saldo** | **N2O-Emission** |
|  | --------------- kg N ha-1 --------------- | | |
| Kontrolle | 0 | -41 | 14,6a |
| Faustzahlen | 1395 | +961 | 91,4d |
| KNS | 875 | +520 | 56,5c |
| SPAD | 590 | +271 | 29,7b |
| KNS +Stroh | 830 | +527 | 37,6b,c |
| KNS -ER | 960 | -108 | 16,1a |

Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den N2O-Emissionen sind durch unterschiedliche Buchstaben gekennzeichnet (p<0,05, Student-Newman-Keuls Test).

Über den gesamten Versuchszeitraum von fünf Jahren bewegten sich die Emissionen der ungedüngten Kontrollbehandlung auf einem im Vergleich zu nicht gemüsebaulichen Kulturen hohen Niveau. Sie variierten zwischen ca. 2 und 7,5 kg N2O-N ha-1 a-1 (nicht dargestellt) und lagen damit deutlich über den Emissionen aus gut versorgten Getreidebeständen auf vergleichbaren Standorten (Kaiser & Ruser, 2000). Gründe für die hohen Emissionen könnten die häufigen Bodenbearbeitungsmaßnahmen sowie die großen Mengen an Ernteresten nach Blumenkohl und Brokkoli vor Winter sein, wodurch das Substratangebot für die N2O-Bildung erhöht wurde. Aufgrund von Beregnung dürften zudem anaerobe Bedingungen und damit die Voraussetzungen für die Denitrifikation stimuliert worden sein.

Mit steigenden N-Düngermengen erhöhten sich die N2O-Flussraten und die kumulativen N2O-Emissionen (Tab. 1). Dieser Zusammenhang konnte bereits von Pfab et al. (2011) gezeigt werden. Sie erklärten dies mit der mit der Düngermenge ansteigenden Nmin-Verfügbarkeit im Oberboden während Phasen intensiver N2O-Freisetzung.

Im Vergleich mit der KNS-Behandlung erbrachte die Strohapplikation lediglich eine geringe Reduktion der N-Düngermenge (45 kg ha-1 über 3 Jahre), der N-Saldo wurde dadurch nicht verbessert (Tab. 1). Die Emissionen waren zwar geringer, dies konnte statistisch jedoch nicht abgesichert werden.



**Abb. 1:** Mittlere N2O-Flussraten (n = 4) in Abhängigkeit der N-Düngung über den Versuchszeitraum. Die Pfeile kennzeichnen Termine der N-Düngergaben. KS = Kopfsalat, BK = Blumenkohl, M = Mangold, ES = Eissalat, BR = Brokkoli

Die effektivste N2O-Minderung konnte durch Abfuhr der Erntereste von Blumenkohl oder Brokkoli im Herbst erreicht werden. Durch die Abfuhr von Nährstoffen wurde zwar die Menge an benötigtem N-Dünger gegenüber der Variante „KNS“ erhöht, allerdings war der N-Saldo negativ und die Emissionen um 77% vermindert und unterschieden sich nicht von den Emissionen der ungedüngten Kontrollbehandlung. In dieser Behandlung waren die Nmin-Gehalte zwar niedriger als bei KNS, lagen allerdings noch auf einem relativ hohen Niveau. Dies belegt die wichtige Bedeutung der organischen Substanz für die N2O-Freisetzung auf diesem Standort. Zum einen benötigt die Denitrifikation Elektronen als Reduktionsäquivalente aus der organischen Substanz. Zudem kann es beim Umsatz der organischen Substanz zu einer starken Sauerstoffzehrung kommen, sodass eine erhöhte N2O-Bildung während der Denitrifikation stattfindet (Flessa & Beese, 1995). Dies ist vor allem bei hohen Wassergehalten, wie sie im Herbst/Winter auftreten der Fall, weil die O2-Diffusion in den Boden und damit die Belüftung entsprechend vermindert ist.



**Abb. 2:** Mittlere kumulative N2O-Emissionen (n = 4 ± Standardfehler) in Abhängigkeit des N-Saldos (32 Monate Versuchszeitraum).

In Abbildung 2 sind die über den Messzeitraum von 32 Monaten kumulierten N2O-Emissionen gegen die N-Salden der untersuchten Maßnahmen aufgetragen. Durch die Salden konnten ca. 90% der Variabilität der N2O-Emissionen erklärt werden. Eine Verminderung der N-Überschüsse ist somit eine wichtige Maßnahme zur N2O-Reduktion im Gemüsebau.

**Schlussfolgerungen**

Die höchste Minderung der N2O-Emissionen wurde durch Abfuhr der N- und C-reichen Erntereste von Blumenkohl und Brokkoli im Spätherbst erreicht. Das ermittelte Minderungspotential von nahezu 80% ist sehr hoch und sollte überprüft werden. In Versuchen über einen längeren Zeitraum sollten auch mögliche Auswirkungen einer solchen Maßnahme wie die Abnahme des Humusgehalts untersucht werden.

**Literatur**

Armbruster, M., Laun, N., Wiesler, F., 2007: **Nitratauswaschung in der intensiven Gemüseproduktion – Möglichkeiten zur wirksamen Verringerung der Gewässerbelastung entsprechend den Forderungen der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie.** Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch. 110, 335-336

Feller, C., Fink, M., Laber, H., Maync, A., Paschold, P.-J., Scharpf, H.C., Schlaghecken, J., Strohmeyer, K., Weier U., Ziegler, J., 2007: Düngung im Gemüsebau – Datenbasis für eine erfolgreiche Düngung im Freilandgemüsebau. In M. Fink (Hsgb.): 2. Auflage, Schriftenreihe des IGZ, Großbeeren und Erfurt

Flessa H., Beese, F., 1995: Effects of sugarbeet residues on soil redox potential and nitrous oxide emissions. Soil Sci. Soc. Am. J. 59, 1044-1051

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, 23115-23124

IPCC, 2007. Climate Change 2007. Synthesis Report. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Core Writing Team, Pachauri, R.K., Reisinger, A., (Eds.), Geneva, Switzerland

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, 249-260

McSwiney, C.P., Robertson, G.P., 2005: Nonlinear response of N2O flux to incremental fertilizer addition in a continuous maize (Zea mays L.) cropping system. Global Change Biol. 11, 1712-1719

Nett, L., Feller, C., George, E., Fink, M., 2011: Effect of winter catch crops on nitrogen surplus in intensive vegetable crop rotations. Nutr. Cycl. Agroecosyst. 91, 327-337

Pfab, H., Palmer, I., Buegger, F., Fiedler, S., Müller, T., Ruser, R., 2011: N2O fluxes from a Haplic Luvisol under intensive production of lettuce and cauliflower as affected by different N-fertilization strategies. J. Plant Nutr. Soil Sci. 174, 545-553

**Danksagung**

Diese Studien wurden von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt sowie von der Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung finanziert.