

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung DBG, K IV, AG Bodengase

**Titel der Tagung:**

Unsere Böden – Unser Leben

**Veranstalter:**

DBG

**Termin und Ort der Tagung:**

05. bis 10.09. 2015, München

**Berichte der DBG** (nicht begutachtete online-Publikation) <http://www.dbges.de>**Einsatz eines Nitrifikationsinhibitors (PIADIN®) bei Gülleapplikation nach dem Strip-Till-Prinzip: Laborversuch zum Effekt auf die  $\text{NO}_3^-$ -Bildung und  $\text{N}_2\text{O}$ -Freisetzung**Spott, O.<sup>1</sup>, Apelt, B.<sup>2</sup>, Thiel, E.<sup>1</sup>Schlüsselwörter:  $\text{N}_2\text{O}$ , Gülle, Nitrifikationsinhibitor**1 Einleitung**

Die Ausbringung organischer Dünger (Gülle, Gärreste etc.) birgt das Risiko von umweltrelevanten N-Verlusten. Im Blickpunkt stehen vor allem (i) Bodenversauerung und Eutrophierung durch Immission von güllebürtigem  $\text{NH}_3$ , (ii) Gewässereutrophierung durch auswaschungsgefährdetes  $\text{NO}_3^-$  sowie (iii) negative Klimaeffekte durch die Freisetzung des Treibhausgases  $\text{N}_2\text{O}$ .

Durch den Einsatz des Strip-Till-Verfahrens zur Unterflurausbringung von organischem Dünger kann der, im Wesentlichen auf Diffusion beruhende,  $\text{NH}_3$ -Verlust bereits deutlich reduziert werden. Der parallele Einsatz eines Nitrifikationsinhibitors (bspw. PIADIN®) könnte darüber hinaus, auf Basis der eintretenden Stabilisierung des eingetragenen Stickstoffs auf der Stufe des  $\text{NH}_4^+$ , zu einer Minderung der Verluste an  $\text{NO}_3^-$  als auch  $\text{N}_2\text{O}$  beitragen.

<sup>1</sup>SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Landwirtschaftliche Anwendungsforschung, Am Wieseneck 7, 04451 Cunnersdorf

<sup>2</sup>Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung – UFZ, Department Bodenphysik, Theodor-Lieser-Strasse 4, 06120 Halle/Saale

Die Kombination des Strip-Till-Verfahrens mit klassischen Methoden der inhibitor-gesteuerten Stickstoffstabilisierung wäre eine effektive Option zur Minderung aller umweltrelevanten N-Verluste im Bereich organischer Flüssigdüngerapplikation.

Ziel der vorliegende Arbeit war die experimentelle Untersuchung des „Effektes eines Nitrifikationsinhibitors (PIADIN®) auf die  $\text{NO}_3^-$ -Bildung sowie die Boden- $\text{N}_2\text{O}$ -Emission bei Gülleapplikation nach Strip-Till-Prinzip“ im Labormaßstab.

**2 Methodik**

**Experimenteller Ansatz** – Die Untersuchung erfolgte auf der Laborskala auf Basis von geschütteten Böden in der Dimension 75 cm Breite, 40 cm Höhe und 10 cm Tiefe. Die gewählte Breite entspricht möglichen Applikationsabständen des Strip-Till-Verfahrens zu Mais und repräsentiert bei mittlerer Gülleapplikation ein einzelnes Liniendepot (i.e. Güllestreifen) mit angenommener Wirkungsbreite von ca. 30 cm beidseitig des Depots.

Insgesamt wurden 3 Prüfglieder parallel und in 3-facher Wiederholung (Experiment I bis III) untersucht: 1) Kontrollboden ohne Gülledepot, 2) Boden mit Gülle-Liniendepot ohne PIADIN® und 3) Boden mit Gülle-Liniendepot und PIADIN®. Alle Prüfglieder wurden auf Feldkapazität vorgewässert und ca. 2 Wochen vorinkubiert. Im Anschluss erfolgte die mittige Applikation der Gülle (+PIADIN®) in den Prüfgliedern 2 und 3 (ca. 15 cm Tiefe). In den folgenden 4 Wochen wurde in allen Prüfgliedern i) die  $\text{N}_2\text{O}$ -Freisetzung an der Bodenoberfläche sowie ii) die  $\text{NO}_3^-$ -Konzentration in der Bodenlösung unterhalb der Applikationstiefe bestimmt. Während dieser Versuchszeit wurde einmal wöchentlich eine Beregnung durchgeführt. Ziel der Bewässerung war eine Stabilisierung des mittleren wassergefüllten Porenraumes im Bereich 60 bis 70 % WFPS, um optimale Bildungs- und Freisetzungsbedingungen für  $\text{N}_2\text{O}$  zu erzeugen.

**Boden(kästen)** – Die Durchführung der Experimente erfolgte in Bodenkästen

(opakes PVC, 75 cm x 40 cm x 10 cm, Abb. 1). Für eine optimale zentrale Drainage des Bodens, wurden am unteren Rand 2 Keile eingebaut und ein zentraler Ablauf installiert. Als Bodensubstrat wurde ein Boden-Sand-Gemisch (Verhältnis 5:2; pH 6,5 / S [69,3%], U [25,6%], T [5,1%] / N<sub>t</sub> 0,08% / C<sub>org</sub> 0,64%) der Bodencharge Cunnernsdorf 2012 (feingesiebt 2 mm, Ap-Horizont) und Quarzsand mit einer Körnung von 0,1 bis 0,3 mm verwendet. Die bodenphysikalischen Kenndaten der Experimente I bis III nach 2-wöchiger Vorinkubationsphase sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

**Tabelle 1.** Bodenphysikalische Kenndaten der Experimente I bis III (mWFPS = mittlerer wassergefüllter Porenraum, WG = Wassergehalt, TRD = Trockenrohdichte).

| Experiment | mWFPS [%] | WG [Gew.%] | TRD [g/cm <sup>3</sup> ] | Porosität [-] |
|------------|-----------|------------|--------------------------|---------------|
| I          | 47        | 18         | 1,34                     | 0,50          |
| II         | 67        | 22         | 1,43                     | 0,46          |
| III        | 60        | 22         | 1,34                     | 0,49          |

Zur Erfassung der Bodenfeuchte (volumetrischer Wassergehalt) während der Experimente wurde in jedes Prüfglied eine FDR-Sonde (ThetaProbe Typ ML2x, Delta-T Devices Ltd) in einem Abstand von 20 cm vom oberen Rand und 25 cm vom rechten Rand eingebaut. Für die Entnahme von Bodenlösungsproben wurden jeweils 3 Saugkerzen (Rhizon SMS, Rhizosphere Research Products B.V.) 25 cm vom oberen Rand und 3 Saugkerzen 35 cm vom oberen Rand installiert (Abb. 1, Nr. 1-6).

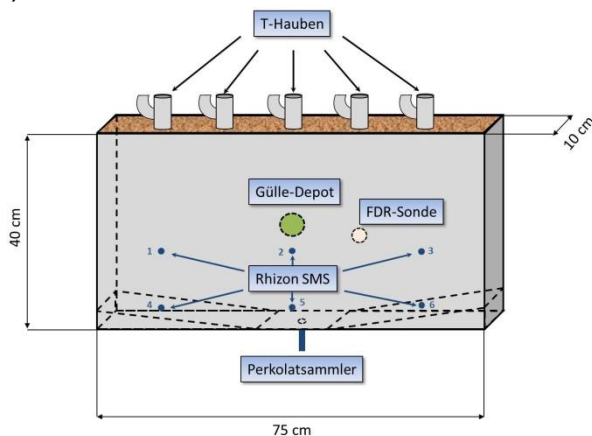


Abbildung 1. Schematische Darstellung des experimentellen Aufbaus.

Die horizontale Ausrichtung der Saugkerzen entsprach der Position der beiden äußeren Emissionshauben sowie der zentralen Haube.

**Gülle** – Bei der verwendeten Gülle handelt es sich um Biogasgülle (LVG Köllitsch), welche vor dem Fermenter entnommen wurde. Die Zielgröße der N-Düngermenge wurde mit 160 kg N / ha vordefiniert, was einer Applikationsmenge pro Bodenkiste (mit Gülledepot) von ca. 1,2 g N (46% NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N) bzw. 308 ml Gülle (= 40 m<sup>3</sup>/ha) entspricht. Um eine vergleichbare Applikation für alle 3 Wiederholungsexperimente zu gewährleisten, wurde die Gülle auf insgesamt 6 Gülleportionen (in 500 ml Messbecher) aufgeteilt. In drei Gülleportionen wurde anschließend jeweils 45 µL Nitrifikationsinhibitor (PIADIN®: Flüssigformulierung der Inhibitoren 1H-1,2,4-Triazol und 3-Methylpyrazol der SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH) appliziert (äquivalent zu 6 L ha<sup>-1</sup>). Alle 6 Gülleportionen wurden bis zum Einbau eingefroren gelagert. Die Ablage des Gülledepots erfolgte mittig (nach der Vorkonditionierung, ca. 2,5 Wochen) in einer Tiefe von ca. 15 cm in gefrorenem Zustand.

**N<sub>2</sub>O-Emissionsmessung** – Die Lachgasemission an der Bodenoberfläche wurde mittels offener (T-förmiger) Hauben (Abb. 1 und 2) automatisiert erfasst (steady-state-Verfahren mit online-Kopplung an GC-14B/Shimadzu). Jedes Prüfglied wurde mit insgesamt 5 Hauben (inneres Volumen ca. 0,26 L; Bodenoberfläche ca. 40 cm<sup>2</sup>; Trägergasstrom 18-22 ml min<sup>-1</sup> Laborluft) bestückt, wobei jeweils eine Haube in die Mitte, 2 Hauben jeweils 12,5 cm links und rechts der Mitte und weitere 2 Hauben jeweils 25 cm links und rechts der Mitte eingebaut wurden. Der Einbau erfolgte jeweils unmittelbar nach Abschluss der Gülleapplikation. Die mittlere N<sub>2</sub>O-Emissionen jedes Prüfglieds (Mittel aus 5 Haubenmessungen) wurde mit einem Rhythmus von ca. 1 ½ Stunden erfasst (ca. 6 min pro Haube).

**NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Analytik** – Für die Untersuchung der Boden-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Konzentration und -Verteilung in der Bodenlösung wurden zweimal pro

Woche Bodenlösungsproben mittels installierter Saugkerzen (Rhizon SMS 5 cm male luer, Porendurchmesser Membran 0,12 bis 0,18  $\mu\text{m}$ ) entnommen. Die Probenentnahme erfolgte in Vials (Glas, 20 ml mit Septum und Bördekkappe, Supelco, evakuiert auf <50 mbar) über Spritzenadeln, welche in das Septum eingestochen wurden (bis zu 4 Tage gesammelt). Aufgrund der geringen Porengröße der Rhizon-Membran (<0,2  $\mu\text{m}$ : Mikroorganismen werden herausgefiltriert), war eine Kühlung der aufgefangenen Bodenlösung während der Probenentnahme nicht erforderlich. Im Anschluss wurden die Bodenwasserproben bis zur  $\text{NO}_3^-$ -Analyse kühl gelagert (5 °C). Die Analyse der  $\text{NO}_3^-$ -Konzentration (Doppelbestimmung) erfolgte mittels der SPINMAS-Technik (Stange et al. 2007).

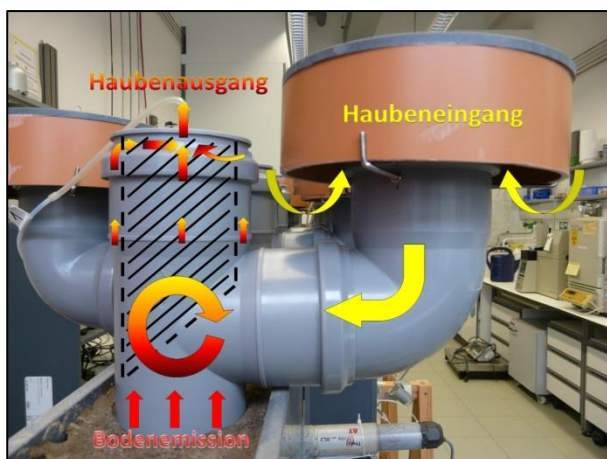


Abbildung 2. Schematische Darstellung zur Funktionsweise des verwendeten Haubentyps (schraffierte Fläche repräsentiert Innenzylinder zur Minderung des zentralen Haubenvolumens).

### 3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

**$\text{NO}_3^-$ -Bildung** – Es konnte gezeigt werden, dass in allen 3 Experimenten die Zugabe des Nitrifikationsinhibitors (PIADIN®) zur applizierten Gülle zu einer deutlichen Verzögerung der aus dem Dünger-N resultierenden  $\text{NO}_3^-$ -Bildung sowie zur Reduzierung der Boden- $\text{NO}_3^-$ -Konzentration im Bereich des Gülledepots innerhalb des gesamten Beobachtungszeitraums von 29 d geführt hat. Während sich die  $\text{NO}_3^-$ -Konzentration im Bereich des unbehandelten Gülledepots (5 cm unterhalb) mehr als verzehnfacht hat, konnte im Bereich eines PIADIN®-

behandelten Gülledepots nur eine leichter Anstieg der mittleren  $\text{NO}_3^-$ -Konzentration um das 2,5-fache detektiert werden (Abb. 3). In keinem der durchgeführten Experimente, weder mit noch ohne PIADIN®-Behandlung, konnte außerhalb des unmittelbaren Umfeldes des Gülledepots (>5 cm Abstand) ein Düngereffekt bezüglich der Boden- $\text{NO}_3^-$ -Konzentration nachgewiesen werden. Die Ursache hierfür liegt in den generell schlechten Verlagerungsbedingungen (hohe Packungsdichte, keine Aggregatstrukturen, keine Makroporen, Perkolatvolumen im Mittel nur ca. 10 % des Bewässerungsvolumens).

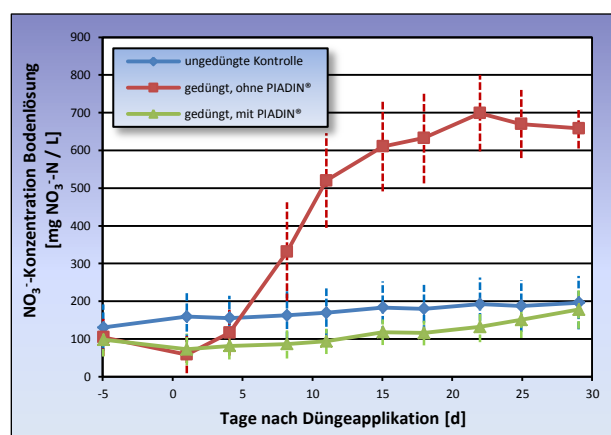


Abbildung 3. Entwicklung der Boden- $\text{NO}_3^-$ -Konzentration 5 cm unterhalb des Gülledepots (Abb. 1, Position 2) mit und ohne PIADIN® sowie in gleicher Bodentiefe (-25 cm) des Kontrollbodens (Mittelung über alle drei Experimente; Tag 0 = markiert Gülleeinbau).

Demnach kann geschlossen werden, dass im Fall von unbehandelter Gülle und guten Verlagerungsbedingungen signifikante  $\text{NO}_3^-$ -Austräge und damit hohe Dünger-N-Verluste zu erwarten sind. Beim Einsatz von PIADIN®-behandelter Gülle kann aufgrund der im Umfeld des Gülledepots mehrere Wochen anhaltenden Inhibition der  $\text{NO}_3^-$ -Bildung von einer signifikanten Minderung der  $\text{NO}_3^-$ -Austräge sowie damit verbundener Dünger-N-Verluste ausgegangen werden.

**$\text{N}_2\text{O}$ -Verluste** – Es konnte gezeigt werden, dass in 2 von 3 Fällen (Experiment I und III) die Zugabe des Nitrifikationsinhibitors (PIADIN®) zur applizierten Gülle zu einer deutlichen Minderung der Boden- $\text{N}_2\text{O}$ -Emission im Vergleich zur unbehandelten Gülle geführt hat. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass in allen 3

Experimenten bei Einsatz des Nitrifikationsinhibitors die Boden-N<sub>2</sub>O-Emission mit der des ungedüngten Kontrollbodens vergleichbar war bzw. noch hinter dieser zurückblieb. Über einen Untersuchungszeitraum von 28 Tagen nach Gülleapplikation erreichten die kumulativen N<sub>2</sub>O-Verluste (Mittel aller drei Experimente) in der nicht inhibierten Gülle-Variante 359 %, in der inhibierte Variante dagegen nur 77% der kumulativen N<sub>2</sub>O-Verluste des ungedüngten Kontrollbodens (Tab. 2). Dementsprechend kann geschlussfolgert werden, dass in mindestens zwei von drei Experimenten dungebedingte N-Verluste in Form von N<sub>2</sub>O aufgrund des Einsatzes von PIADIN® für einen Zeitraum von mind. 4 bis 5 Wochen nach Gülleapplikation vollständig verhindert werden konnten, wobei die hier ermittelten gasförmigen N-Verluste ohne Inhibitor 0,3 bis 0,5 % Dünger-N entsprachen.

Die Ursache für die geringen Unterschiede der kumulativen N<sub>2</sub>O-Verluste im Experiment II (Tab. 2) liegen sehr wahrscheinlich in den höheren Wassergehalten sowie der höheren Packungsdichte des verwendeten Bodens (Tab. 1). Prinzipiell wird die N<sub>2</sub>O-Bildung via Denitrifikation von NO<sub>3</sub><sup>-</sup> zwar durch zunehmende Wassergehalte gefördert (Zunahme anaerober Bereiche), da aber zeitgleich die Gasdurchlässigkeit stark abnimmt, kann eine Freisetzung des im Boden gebildeten N<sub>2</sub>O in die Atmosphäre verzögert (bspw. durch extrem geringe Diffusionsgeschwindigkeit im Bodenwasser) oder auch komplett verhindert werden (bspw. durch Abbau von N<sub>2</sub>O zu N<sub>2</sub> durch vollständige Denitrifikation).

Da in allen drei Experimenten bei fehlender Inhibierung durch PIADIN® eine starke Bildung von NO<sub>3</sub><sup>-</sup> im Bereich des Gülledepots eindeutig nachgewiesen werden konnte (Abb. 3), kann davon ausgegangen werden, dass die geringen N<sub>2</sub>O-Verluste der nicht-inhibierten Variante im Experiment II auf der Limitierung der N<sub>2</sub>O-Freisetzung (aufgrund hoher Wassergehalte und hoher Bodendichte), jedoch nicht auf fehlender NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-Bildung (basierend auf Dünger-N) beruhen. Daraus folgt, dass der Einsatz von PIADIN®-behandelter Gülle, unabhängig von der Qualität der N<sub>2</sub>O-Verlustbedingungen, zu einer deutlichen Minderung gasförmige N-Verluste in Form von N<sub>2</sub>O beitragen kann.

#### 4 Referenzen

Stange CF, Spott O, Apelt B, Russow, R. Automated and rapid online determination of <sup>15</sup>N abundance and concentration of ammonium, nitrite, or nitrate in aqueous samples by the SPINMAS technique. *Isotopes in Environmental and Health Studies* 43 (3), 2007, p.227-236.

Tabelle 2. Kumulative N<sub>2</sub>O-Verluste in den Experimenten I bis III im Vergleichszeitraum bis 28 Tage nach Gülleapplikation (\*entspricht X-% des kumulativen N<sub>2</sub>O-Verlustes der Kontrolle).

| Experiment | Kontrolle<br>[g N <sub>2</sub> O-N / ha 28d] | -PIADIN®<br>[g N <sub>2</sub> O-N / ha 28d] | +PIADIN®<br>[g N <sub>2</sub> O-N / ha 28d] | -PIADIN®<br>[%]* | +PIADIN®<br>[%]* |
|------------|--|---|---|------------------|------------------|
| I          | 160  | 632   | 132   | 395              | 82               |
| II         | 196  | 197   | 157   | 101              | 80               |
| III        | 136  | 938   | 92  | 689              | 68               |
| $\bar{x}$  | <b>164</b>                                   | <b>589</b>                                  | <b>127</b>                                  | <b>359</b>       | <b>77</b>        |
| $\sigma$   | <b>±25</b>                                   | <b>±304</b>                                 | <b>±27</b>                                  | <b>±24</b>       | <b>±7</b>        |