

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung DBG, K IV (Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenernährung)

**Titel der Tagung:**

Horizonte des Bodens

**Veranstalter:**

DBG

**Termin und Ort der Tagung:**

2.-7. September 2017, Göttingen

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

**Das Verbundprojekt StaPlaRes:**

**N-Stabilisierung und wurzelnahe Platzierung als innovative Technologien zur Optimierung der Ressourceneffizienz bei der Harnstoff-Düngung**

Thiel, E.<sup>1\*</sup>; Kreuter, T.<sup>1</sup>; Bischoff, J.<sup>2</sup>; Tauchnitz, N.<sup>2</sup>; Hülsbergen, K.J.<sup>3</sup>; Maidl, F.X.<sup>3</sup>; Vinzent, B.<sup>3</sup>; Christen, O.<sup>4</sup>; Koblenz, B.<sup>4</sup>; Eißner, F.<sup>4</sup>; Rauch, N.<sup>5</sup>; Schäfer, F.<sup>5</sup>; Augustin, J.<sup>6</sup>; Stichnothe, H.<sup>7</sup>; Mallast, J.<sup>7</sup>; Grunert, M.<sup>8</sup>; Schuster, C.<sup>1</sup>

Schlüsselworte: Harnstoff, N<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, Inhibitoren, Side-Dressing-Verfahren

**1 Einleitung**

Das F&E-Verbundvorhaben *StaPlaRes* (Projektförderung BMEL, Projektträgerschaft BLE) entwickelt, untersucht und bewertet neuartige Technologien im Rahmen der Harnstoff (HS)-Düngung mit dem Ziel größtmöglicher Ressourceneffizienz und Umweltschonung.

<sup>1</sup> SKW Stickstoffwerke Piesteritz GmbH, Landwirtschaftliche Anwendungsforschung  
[\\*enrico.thiel@skwp.de](mailto:enrico.thiel@skwp.de)

<sup>2</sup> Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, Dezernat Agrarökologie

<sup>3</sup> TU München, Lehrstuhl für ökologischen Landbau und Pflanzenbausysteme

<sup>4</sup> MLU Halle-Wittenberg, Institut für Agrar- und Ernährungswissenschaften

<sup>5</sup> Rauch Landmaschinenfabrik GmbH

<sup>6</sup> Leibniz-Zentrum für Agrarlandschaftsforschung e. V., Institut für Landschaftsbiogeochemie

<sup>7</sup> Johann Heinrich von Thünen-Institut, Institut für Agrartechnologie

<sup>8</sup> Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Referat Pflanzenbau

**2 Methodik**

Geprüft werden zwei innovative Düngeverfahren: (1) Stabilisierung: Die kombinierte N-Stabilisierung mit Urease- und Nitrifikationsinhibitor soll eine signifikante Minderung von N-Verlusten bewirken. Gleichzeitig können weitere agronomische Vorteile der N-Stabilisierung genutzt werden. (2) Injektion: Durch ein spezielles Side-Dressing-Verfahren, bei dem Harnstoff auch in stehende Bestände unter der Bodenoberfläche platziert werden kann, sollen NH<sub>3</sub>-Verluste gemindert werden. In Verbindung mit einem Striegel-Einsatz ergeben sich ggf. weitere agronomische Vorteileffekte.

Die genannten Effekte werden im Rahmen praxisnaher Feldversuche mit integrierten Gasmessungen (ca. dreiwöchige NH<sub>3</sub>-Messungen nach jeder Düngerapplikation; Methode: calibrated passive sampling, Pacholski et al. 2006; Pacholski, 2016; ganzjährige N<sub>2</sub>O-Messung; Methode: closed chamber, Hutchinson & Mosier, 1983) in der Fruchtfolge Winterraps → Winterweizen → Wintergerste an den Standorten Bernburg, Cunnersdorf und Roggenstein untersucht (Abb. 1, Abb. 2). Parallel erfolgt in den Feldversuchen eine kontinuierliche und zeitlich hochaufgelöste Erfassung von Wetter- und Bodenfeuchtedaten (Abb. 3).

Begleitend erfolgen Versuche zum verlustmindernden und ertragssteigernden Potenzial der innovativen Technologien sowie zur Klärung grundlegender Effekte der genannten Verfahren auf die N-Umsatzprozesse im Boden auf Labor- und Gewächshausebene.

Zentrales Ziel aller Maßnahmen ist die signifikante Erhöhung der N-Effizienz und eine deutliche Senkung der Dünger-N-Verluste. Die Bewertung der Verfahren erfolgt über die Berechnung flächenbezogener N-Verluststraten und dreijähriger N-Bilanzen sowie mittels Ökobilanzen. Aus den Ergebnissen werden umwelt- und ressourcenoptimierte Harnstoff-Düngungssysteme abgeleitet. Ein zeitnahe Transfer von Erkenntnissen

in die landwirtschaftliche Beratung und Anwendungspraxis wird angestrebt.

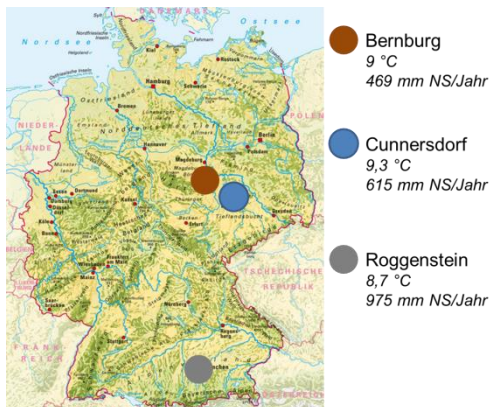


Abb. 1: Lage der Feldversuchsstandorte in Dt.



Abb. 2: Feldversuch am Standort Cunnersdorf



Abb. 3: Sensorensysteme zur kontinuierlichen Erfassung von Wetterdaten und Bodenfeuchtezuständen in den Feldversuchen

Zur Einschätzung der Stickstoff-Dynamik der Standorte wurden zur Versuchsanlage im April 2016 Bodenproben (Mischprobe

über gesamtes Areal aus 0-30 cm) gewonnen. Es wurden eine chemische und physikalische Grundanalytik vorgenommen sowie Standardlabortest zur Ureaseaktivität, zum Ammoniakverflüchtigungspotenzial und der  $N_{min}$ -Dynamik durchgeführt.

Die Böden der Versuchsstandorte wurden für die Bestimmung der Ureaseaktivität im Labor luftgetrocknet und feingesiebt. Die Bestimmung der Ureaseaktivität (Kandeler & Gerber, 1988) unter Modellbedingungen dient der Beurteilung von Böden in Bezug auf ihr Harnstoff-Hydrolyse-Vermögen. Dies ermöglicht Rückschlüsse hinsichtlich der Geschwindigkeit der Harnstoff-Umsetzung oder auch auf das Ammoniakemissionspotential nach Harnstoffdüngung. Die nach Harnstoffzugabe im Boden durch Hydrolyse gebildete Ammonium-N-Menge wird mittels Durchflussphotometrie bestimmt und dient als Maß für die Ureaseaktivität des Bodens.

In weiteren Modellversuchen wurden unter standardisierten Laborbedingungen, ohne den Einfluss von Pflanzen, Ergebnisse zur Wirkung von Harnstoff-Düngern mit/ohne Inhibitor auf die N-Umsatzdynamik im Boden (HS-N,  $NH_4$ -N,  $NO_3$ -N mittels KCl-Extraktion in 1-7 d Auflösung) und die  $NH_3$ -Emissionen ( $NH_3$ -N mittel  $H_2SO_4$ -Fallen in 1-7 d Auflösung) ermittelt.

Für die Gefäßversuche im Gewächshaus wurde von allen drei Standorten Oberboden aus 0-30 cm Tiefe gewonnen und standardisiert aufbereitet (Abb. 4). Die Ansätze der Gefäßversuche beginnen im Frühjahr 2018. Im Jahr 2017 wurden Vortests zur optimalen Versuchsführung beim Einschlitzen der Harnstoff-Granalien in den Boden im Gefäßversuch erfolgreich durchgeführt (Abb. 5). Für die Durchführung der Gefäßversuche steht eine Vegetationshalle (Abb. 6) mit Klimasteuerung zur Verfügung, in welcher die Düngeverfahren unter definierten Nitrat- und Ammoniakverlustbedingungen in verschiedenen Kulturen geprüft werden können.



Abb. 4: Standardisierte Aufbereitung der Oberböden für die Verwendung in Gefäßversuchen



Abb. 5: Vorversuche zum Einbringen von Düngergranalien in den Boden im Gefäßversuch



Abb. 6: Vegetationshalle mit Klimasteuerung am Standort Cunnersdorf

### 3 Ergebnisse

Aus den Abb. 7 bis Abb. 11 wird ersichtlich, dass der Boden des Versuchsfeldes in Cunnersdorf den höchsten Sandanteil besitzt, wohingegen der Boden in Bernburg den höchsten Schluff- und Tonanteil aufweist.

Die  $C_{org}$ -Gehalte (Abb. 8) der Böden der Standorte Roggenstein und Bernburg liegen deutlich über dem  $C_{org}$ -Gehalt in Cunnersdorf. Der Standort Bernburg besitzt den höchsten pH-Wert (Abb. 9) und auch die höchste effektive Kationenaustauschkapazität (Abb. 10).

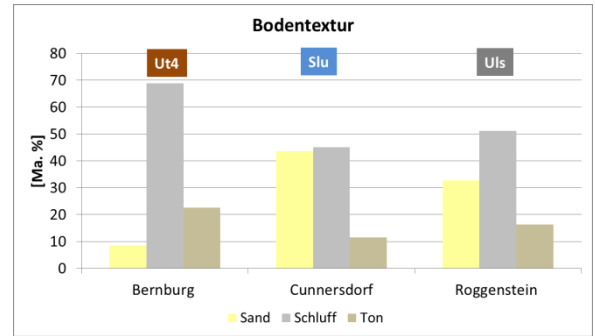


Abb. 7: Bodentextur (0-30 cm) der drei Versuchsstandorte

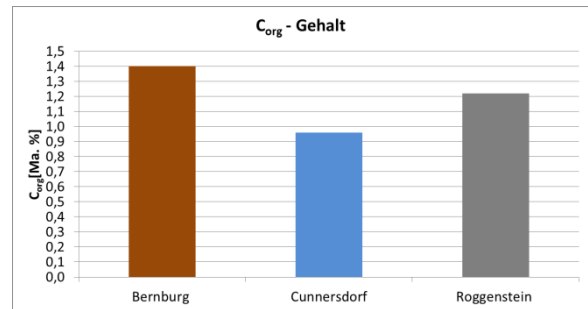


Abb. 8:  $C_{org}$ -Gehalt (0-30 cm) der drei Versuchsstandorte

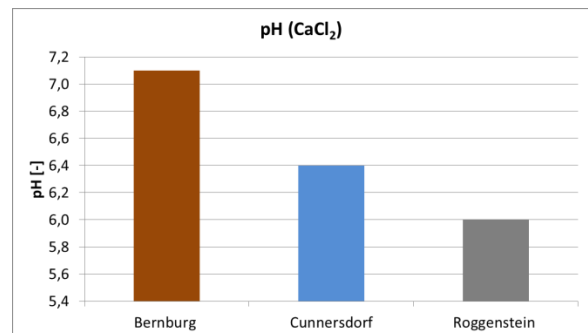


Abb. 9: pH-Wert (0,01 M CaCl<sub>2</sub>) Boden (0-30 cm) der drei Versuchsstandorte

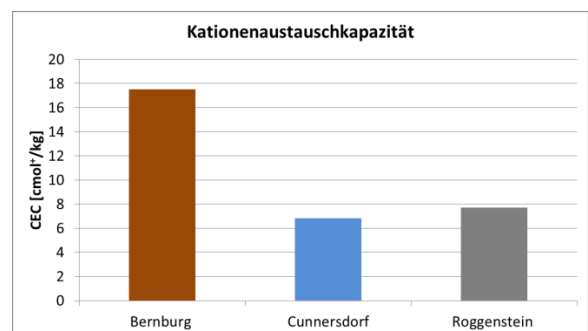


Abb. 10: effektive Kationenaustauschkapazität der Böden (0-30 cm) der drei Versuchsstandorte

Aus den bislang aufgeführten Bodenparametern lässt sich im Hinblick auf das Ammoniakverlustpotenzial folgende Rangfolge für die drei Standorte ableiten: Cunnersdorf > Bernburg/Roggenstein.

Der Boden vom Standort Cunnersdorf wies zum Zeitpunkt der Versuchsanlage im April

2016 auch eine höhere Ureaseaktivität als die anderen Standorte auf (Abb. 11). Allerdings weisen eigene Messreihen mit 15 verschiedenen Böden darauf hin, dass die Ureaseaktivität, die auch in ein und demselben Boden variabel sein kann, kein sicheres Kriterium für das Ammoniakverlustpotenzial eines Standortes darstellt.

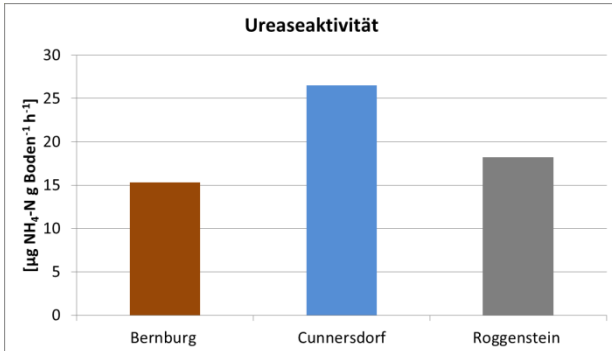


Abb. 11: Ureaseaktivität der Böden (0-30 cm) der drei Versuchsstandorte

Das detektierte NH<sub>3</sub>-Verlustpotenzial resultiert i. W. aus den Standortparametern (Abb. 7 bis Abb.11), insbesondere der Kationenaustauschkapazität.

Im Ammoniakverflüchtigungstest, einem Potenzialtest unter Modellbedingungen, können sowohl das Potenzial eines Standortes, Ammoniakverluste nach HS-Düngung zu generieren, als auch die Verlustminderung durch einen UI-Einsatz geprüft und quantifiziert werden (Hucke et al. 2010).

Das Ergebnis dieser Prüfung für die Böden der Standorte Cunnersdorf, Bernburg und Roggenstein ist Abb. 12 zu entnehmen. Die zuvor getroffene Aussage zur Rangfolge der Standorte im Hinblick auf ihr Ammoniakverlustpotenzial nach HS-Düngung konnten durch die Ergebnisse des Ammoniakverflüchtigungstest bestätigt werden. Nach 168 h (ab HS-Applikation) stetiger und extremer Verlustbedingungen wurden folgende kumulative N-Verluste registriert: Cunnersdorf 20 %, Bernburg 4 %, Roggenstein 13 % (Abb. 12 a).

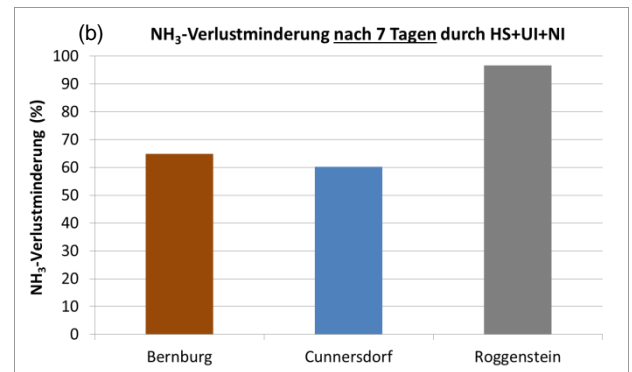
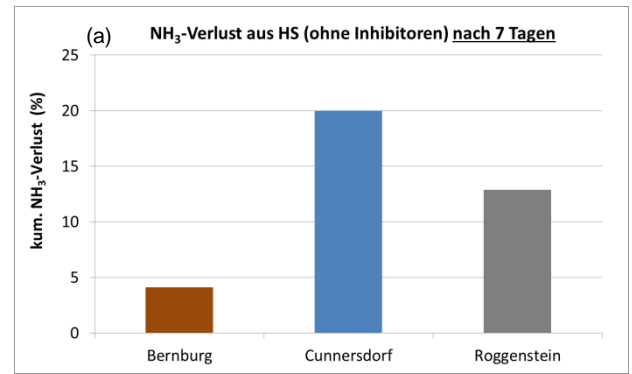


Abb. 12 NH<sub>3</sub>-Freisetzungspotenzial nach HS-Düngung aus den Böden Cunnersdorf, Bernburg und Roggenstein im Ammoniakverflüchtigungstest (Laufzeit 7 Tage ab Düngeranwendung) und NH<sub>3</sub>-Verlustminderung bei Einsatz von UI+NI (Prüfglied HS+UI+NI)

Durch den UI+NI-Einsatz konnte die Ammoniakfreisetzung aus den Böden Cunnersdorf und Bernburg um 60 bis 70 % und aus dem Roggensteiner Boden um mehr als 95 % reduziert werden (Abb. 12 b).

Im Bodenmodelltest wurden die Ammoniumdynamik (Abb. 13 a, 14 a, 15 a) und die Nitratdynamik (Abb. 13 b, 14 b, 15 b) im Boden erfasst sowie die t<sub>50</sub>-Werte (d.h. 50 % des eingesetzten HS-N liegen als NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N vor) errechnet.

Der Boden vom StaPlaRes-Versuchsfeld am Standort Cunnersdorf wies neben der höchsten Ureaseaktivität auch den geringsten t<sub>50</sub>-Wert auf. Für den Standort Cunnersdorf sind deshalb die schnellsten N-Umsatzraten zu erwarten. Aufgrund der geringeren Ureaseaktivität zeigten die Standorte Bernburg und Roggenstein anfängliche Verzögerungen in der NH<sub>4</sub>-Bildung (Abb. 13 a und Abb. 15 a im Vgl zu Abb. 14 a) beim Inhibitoreinsatz (UI) unter Modellbedingungen. Die ermittelten t<sub>50</sub>-Werte lagen beim reinen Harnstoffeinsatz für den Standort Cunnersdorf bei 6,3 d, für

Bernburg bei 8,5 d und für Roggenstein bei 10,5 d. Der native  $\text{NH}_4^+$ -Gehalt war in allen drei Böden erwartungsgemäß sehr gering. Der native  $\text{NO}_3^-$ -Gehalt lag in allen drei Böden auf einem einheitlichen Niveau (ca. 4 mg N/100 g Boden).

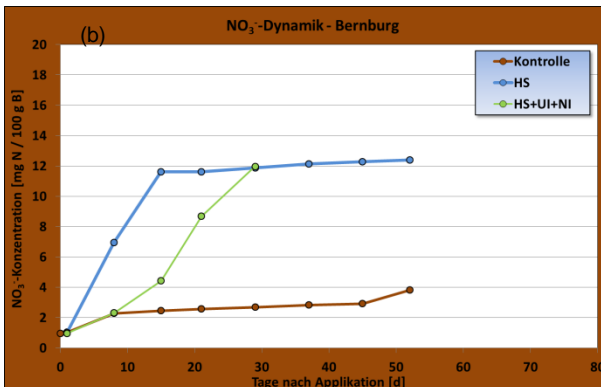
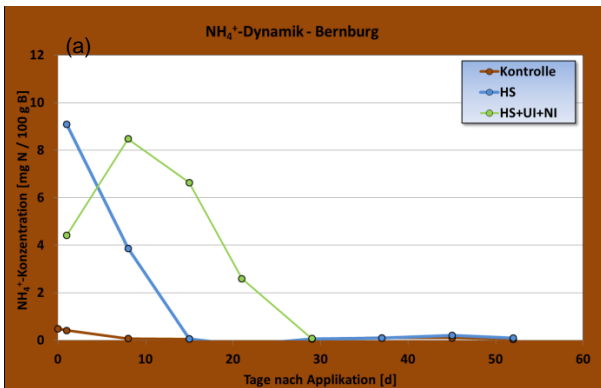


Abb. 13 a-b:  $\text{NH}_4^+$ -Dynamik (a) und  $\text{NO}_3^-$ -Dynamik (b) des Bodens vom Standort Bernburg unter Standardbedingungen (Labor) nach Düngerzugabe

Der eingesetzte Nitrifikationsinhibitor im Prüfprodukt HS+UI+NI zeigte an allen drei Standorten eine gute Wirkung hinsichtlich der Verzögerung des Umsatzes zu Nitrat. Die ermittelten  $t_{50}$ -Werte lagen beim Einsatz dieses Prüfproduktes für den Standort Cunnersdorf bei 18,8 d, für Bernburg bei 19,4 d und für Roggenstein bei 33 d.

Im Hinblick auf die jeweilige N-Grundumsatzgeschwindigkeit konnte durch den eingesetzten Nitrifikationsinhibitor auf dem Standort Bernburg die geringste und am Standort Roggenstein die höchste Verzögerungswirkung erreicht werden.

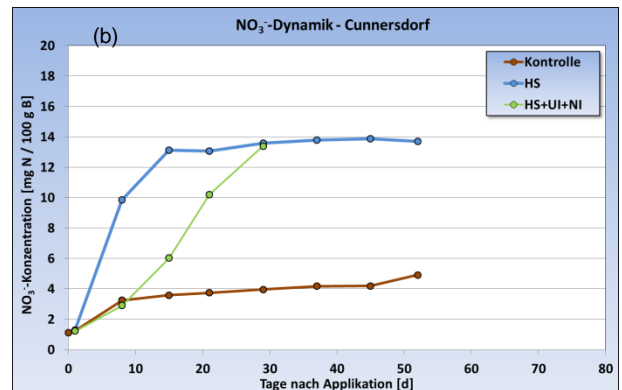
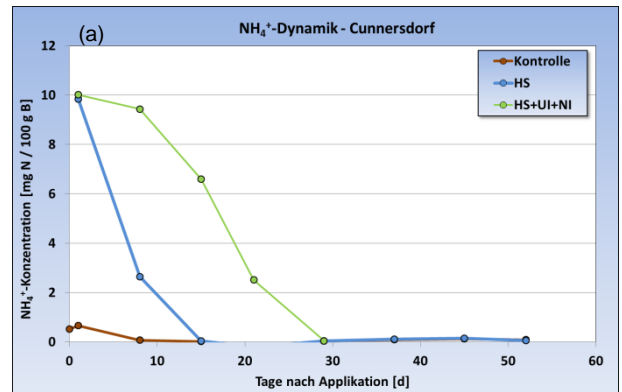


Abb. 14 a-b:  $\text{NH}_4^+$ -Dynamik (a) und  $\text{NO}_3^-$ -Dynamik (b) des Bodens vom Standort Cunnersdorf unter Standardbedingungen (Labor) nach Düngerzugabe

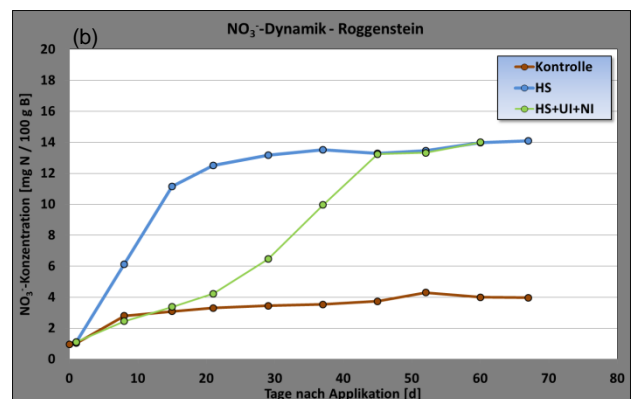
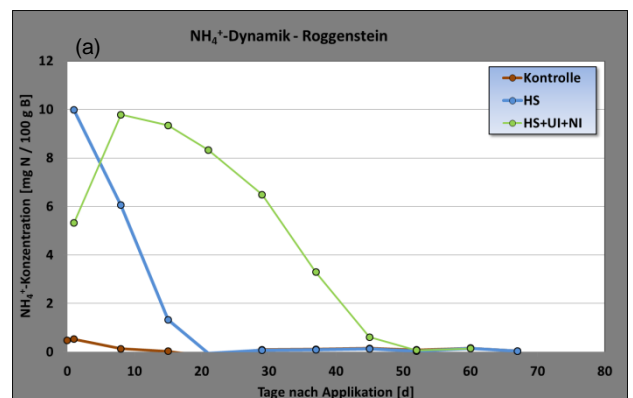


Abb. 15 a-b:  $\text{NH}_4^+$ -Dynamik (a) und  $\text{NO}_3^-$ -Dynamik (b) des Bodens vom Standort Roggenstein unter Standardbedingungen (Labor) nach Düngerzugabe

#### 4 Zusammenfassung

Im ersten Projektjahr konzentrierten sich die Arbeiten im F&E-Verbund StaPlaRes gemäß Vorhabenbeschreibung auf die Planung und praktische Umsetzung der beiden Innovationen (N-Stabilisierung mit Urease- und Nitrifikationsinhibitoren und Platzierung in stehende Bestände) sowie auf die Etablierung der Fruchtfolgeversuche und Durchführung des dort geplanten umfangreichen Untersuchungsprogramms. Alle Arbeiten konnten wie geplant durchgeführt werden.

Die bodenkundliche Charakterisierung der drei Standorte sowie die Einschätzung standortspezifischer N-Verlustpotenziale sind für die im Projekt aufgeworfenen Fragen essentiell. Sie bilden zum einen die Basis für Prozessanalysen, vermitteln zum anderen aber auch Bausteine für die Düngungsberatung und damit für die angestrebte Optimierung der Harnstoff-Anwendung in der landwirtschaftlichen Praxis.

#### 5 Referenzen

- Hucke, A.; Niclas, H. J.; Wozniak, H., Michel, H. J.; Schuster, C. (2010): N-phenylphosphoric acid triamides, method for the production thereof and their use as agents for regulating or inhibiting enzymatic urea hydrolysis. Patent US 7855189 B2 (reg. 2005).
- Hutchinson, G. L.; Mosier, A. R. (1983): Improved soil cover method for field measurement of nitrous oxide fluxes. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45, p. 311-316.
- Kandeler, E.; Gerber, H. (1988): Short-term assay of soil urease activity using colorimetric determination of ammonium. *Biol. Fert. Soils*, p. 68-72.
- Pacholski, A.; Cai, GX.; Nieder, R.; Richter, J.; Fan, XH.; Zhu, ZL.; Roelcke, M. (2006): Calibration of a simple method for determining ammonia volatilization in the field-comparative measurements in Henan Province, China. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 74, p. 259-273.
- Pacholski, A (2016) Calibrated Passive Sampling - Multi-plot field measurements of NH<sub>3</sub> emissions with a combination of dynamic tube method