

**Tagungsbeitrag zu:**

Jahrestagung der DBG,  
Gemeinsame Posterausstellung der Kom-  
missionen IV und II

**Titel der Tagung:**

Unsere Böden – Unser Leben

**Veranstalter:**

DBG

**Termin und Ort der Tagung:**

05.-10.09.15, München

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

## ***In-situ*-Messung von Nitrat im Bo- den zur Erfassung der zeitlichen Dynamik und zur Düngesteuerung im Gemüsebau (NITROM)**

Wolf-Anno Bischoff<sup>1</sup>, Stephan Mayer<sup>1,2</sup>,  
Torsten Müller<sup>2</sup>

**Schlüsselworte**

NITROM, Nitrat-Online-Messsystem, Nitrat,  
Düngung, Nitratauswaschung, Nitratdynamik,  
Stickstoffverluste,  $N_{\min}$ , *in-situ*-Methode,  
Feldmethode, UV-Messung

**Einführung**

Stickstoff ist, besonders in Form von Nitrat,  
eines der wichtigsten Nährelemente für  
Pflanzen. Bei einem Überangebot kann das  
leicht lösliche Anion jedoch schnell ausge-  
waschen werden. Im intensiven Gemüsebau  
werden Auswaschungsraten von  
 $400 \text{ kg NO}_3\text{-N ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  oft überschritten (Ra-  
mos et al., 2002), was u.a. zu Problemen im  
Grundwasserschutz führt.

Feldmethoden für die Nitratbestimmung im  
Boden (z.B.  $N_{\min}$ -Methode) sind je nach Me-  
thode unpräzise (Kmecl et al., 2005), fehler-  
anfällig und/oder zeitaufwendig (Roth et al.,  
1991; Hartz et al., 1993). Oft liefern sie Er-  
gebnisse zeitverzögert, so dass auf den ak-

<sup>1</sup> Gutachterbüro TerraAquat,  
Schellingstr. 43, 72622 Nürtingen,  
e-mail: [w.bischoff@terraquat.com](mailto:w.bischoff@terraquat.com)

<sup>2</sup> Universität Hohenheim, Institut für Kultur-  
pflanzenwissenschaften, Fachgebiet: Dün-  
gung mit Bodenstoffhaushalt (340i), Fru-  
wirthstr. 20, 70593 Stuttgart

tuellen N-Bedarf einer Kultur nicht schnell  
genug reagiert werden kann und Mangel-  
erscheinungen an den Pflanzen sichtbar wer-  
den (Ehsani et al., 1999). Des Weiteren  
werden oft chemische und toxische Rea-  
genzien benötigt (Hartz, 1994). Auch ist die  
Nachweisgrenze gängiger Feldmethoden  
meist zu gering ( $< 100 \text{ mg L}^{-1}$ ).

Es existiert bisher noch keine Feldmethode  
zur *in-situ*-Bestimmung der Nitratkonzentra-  
tion in der Bodenlösung.

**Ziel: Entwicklung einer neuen Feldme-  
thode**

Mit einer neuen Methode soll die Nitratkon-  
zentration im Feld direkt in der Bodenlösung  
und ohne Einsatz von Reagenzien fortlau-  
fend bestimmt werden können. Auf Grund-  
lage dieser Daten soll ein vollautomatisches  
Fertigationssystem gesteuert werden. Somit  
kann zu jedem Zeitpunkt auf den Stickstoff-  
bedarf einer Kultur reagiert werden.

**Aufbau, Validierung und Messergebnisse**

Mit dem neu entwickelten *NITRat*-Online-  
Messsystem (NITROM) wird Nitrat *in-situ*  
in der Bodenlösung kontinuierlich spektralpho-  
tometrisch bestimmt.

Das NITROM besteht aus einer Messkom-  
ponente (Abbildung 1) und einer Dünge-  
steuerungskomponente (Abbildung 2).

Über eine oder mehrere Saugkerzen wird  
Bodenlösung angesaugt und in die Messzel-  
le geleitet (Abbildung 1). Durch die Messung  
der Absorption unterschiedlicher Wellenlän-  
gen im UV-Bereich wird die Nitratkonzentra-  
tion quantifiziert. Mögliche Interferenzen  
(z.B. durch DOC) werden anhand von Refe-  
renzwellenlängen eliminiert. Die Daten der  
Absorptionmessung werden kabellos auf  
einen zentralen Server übertragen, in dem  
die Auswertung und Berechnung der Nitrat-  
konzentration stattfindet. Die aktuellen Nit-  
ratkonzentrationen werden dort mit einer  
Datenbank abgeglichen, in der der N-Bedarf  
von Gemüsekulturen zu unterschiedlichen  
Entwicklungsstadien hinterlegt ist. Auf  
Grundlage dieser Daten kann die Dünge-  
komponente (Abbildung 2) gesteuert wer-  
den, die in ein bestehendes Bewässerungs-  
system (Tröpfchenbewässerung) integriert  
werden kann.

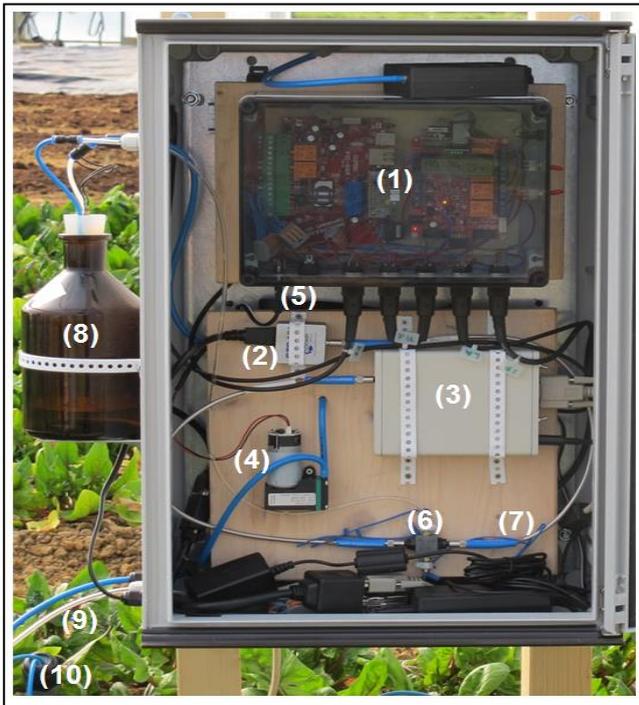


Abbildung 1: Messkomponente im Detail: Mikrocontroller (1), Spektrometer (2), Xenonlichtquelle (3), Minivakuumpumpe (4), Drucksensor (5, hinter Holzbrett), Messzelle (6), Lichtleitfasern (7), Sammelflasche mit Füllstandsmelder (8), Schlauch zur Saugkerze (9), Saugkerze (10)

Zum Überprüfen der Kalibrierung wurde in einem Gewächshausversuch die Nitratkonzentration in der entnommenen Bodenlösung einerseits mit dem NITROM quantifiziert („Prognosewerte“ in Abbildung 3). Hierzu wurde eine Multiple Lineare Regression (MLR) durchgeführt. Als Referenzmessung wurde die Nitratkonzentration mit einem AutoAnalyzer 3 (Seal Analytical) bestimmt („Beobachtete Werte“). Abbildung 3 zeigt, dass der Fehler der Kalibrierdaten mit 17 % nur wenig kleiner ist als derjenige der Validierung mit 20 bzw. 31 %.

In einem mehrmonatigen Gewächshausversuch wurde Paprika in einer Parzelle herkömmlich mit dem Dosatron gedüngt, in einer anderen Parzelle erfolgte die Düngung anhand der mit dem NITROM gemessenen Nitratkonzentrationen (Abbildung 4). Durch die kontinuierliche Überwachung der Nitratkonzentration in der Bodenlösung konnte der Düngeaufwand von 125 auf 80 kg N ha<sup>-1</sup> reduziert werden.

Abbildung 5 zeigt ein mehrwöchiges Messintervall mit dem NITROM mit halbstündiger Auflösung in Spinat. Die gemessenen Kon-

zentrationen wurden in Vorräte umgerechnet. Deutlich zu erkennen ist die zeitlich versetzte Zunahme der Nitratvorräte nach den einzelnen Düngungen.

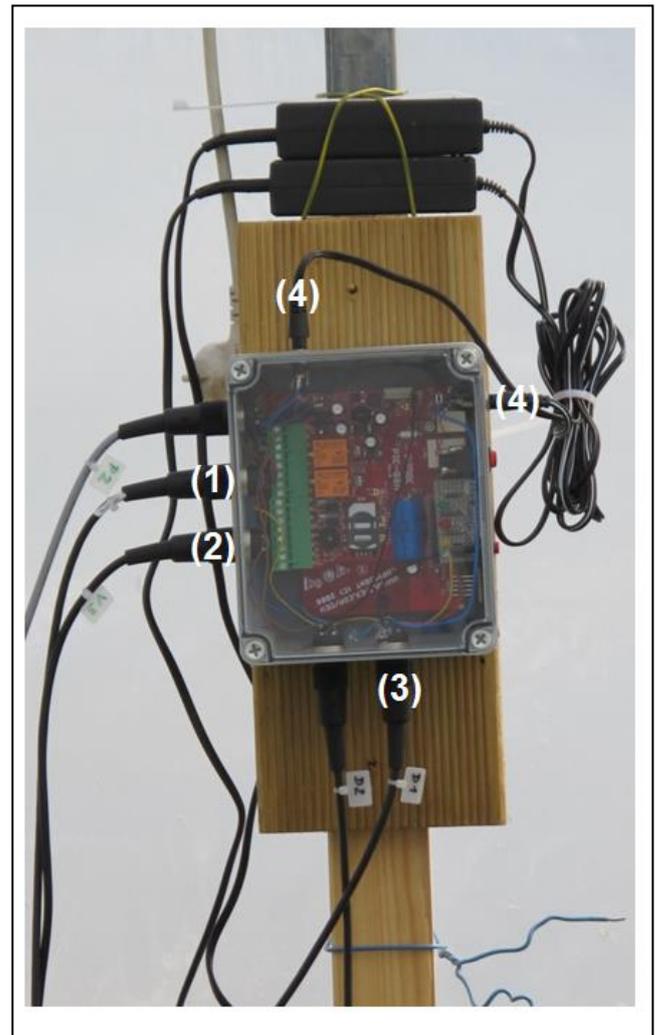


Abbildung 2: Mikrocontroller der Düngekomponente im Detail: Anschlüsse für Ventile (1), Durchflusssensoren (2), Düngepumpe (3) und 12 V-Netzstecker (4)

## Fazit

Der Prototyp des NITROM wurde in verschiedenen Labor-, Gewächshaus- und Freilandversuchen erfolgreich eingesetzt. Eine Kalibrierung mit einem Multiwellenlängenansatz und die anschließende Validierung waren erfolgreich. Die Messungen können auch über lange Zeitintervalle mit einer hohen zeitlichen Auflösung, z.B. halbstündig, durchgeführt werden. Durch den Einsatz des NITROM konnte in einem Gewächshausversuch die Düngemenge in Paprika von 125 auf 80 kg N ha<sup>-1</sup> deutlich reduziert werden, so dass diese neue vollautomatische Methode sich eignet, die N-Überschüsse im intensiven Gemüsebau deutlich zu reduzieren.

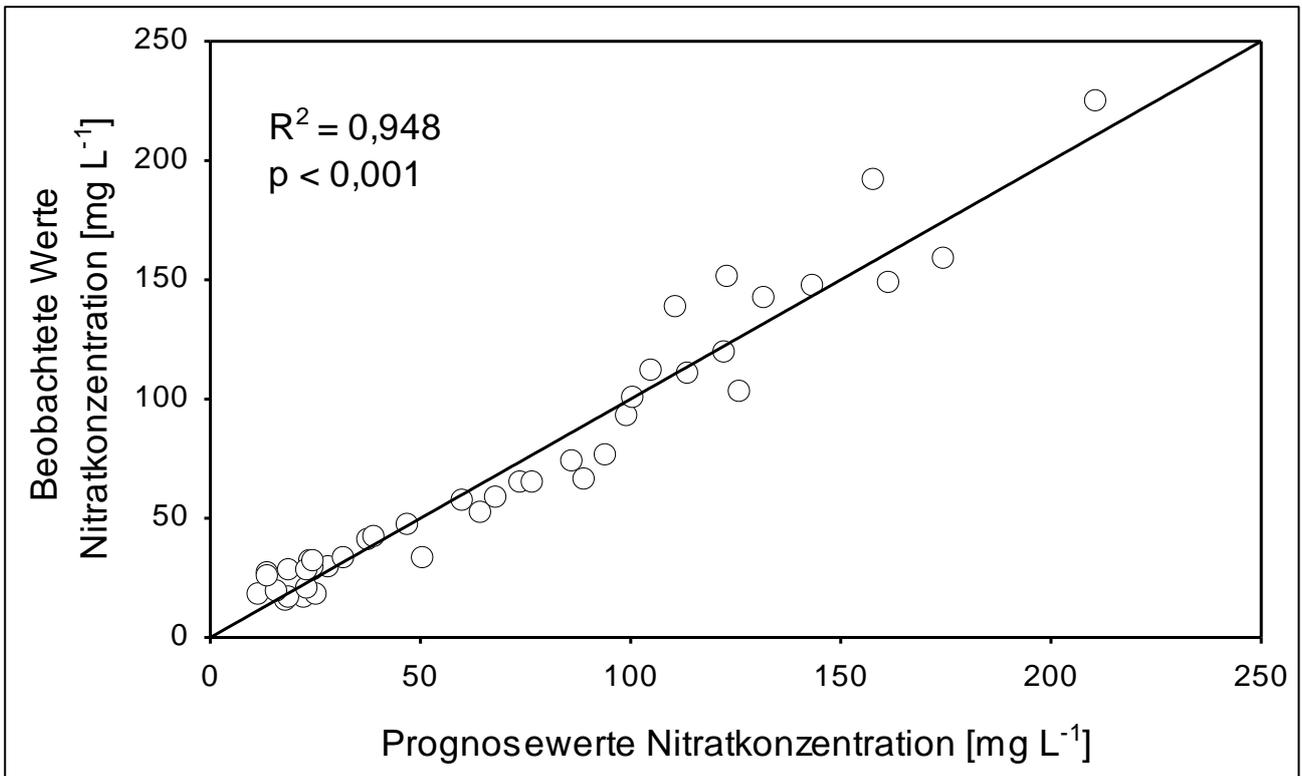


Abbildung 3: Multiple Lineare Regression: Plot der Prognosewerte gegen beobachtete Werte der Nitratkonzentration mit den Daten eines Gewächshausversuchs ( $n = 43$ ); Fehler der Kalibrierung: 17 % ( $n = 30$ ); Fehler der Validierung 20 % ( $n=12$ ) / 31 % ( $n=13$ )

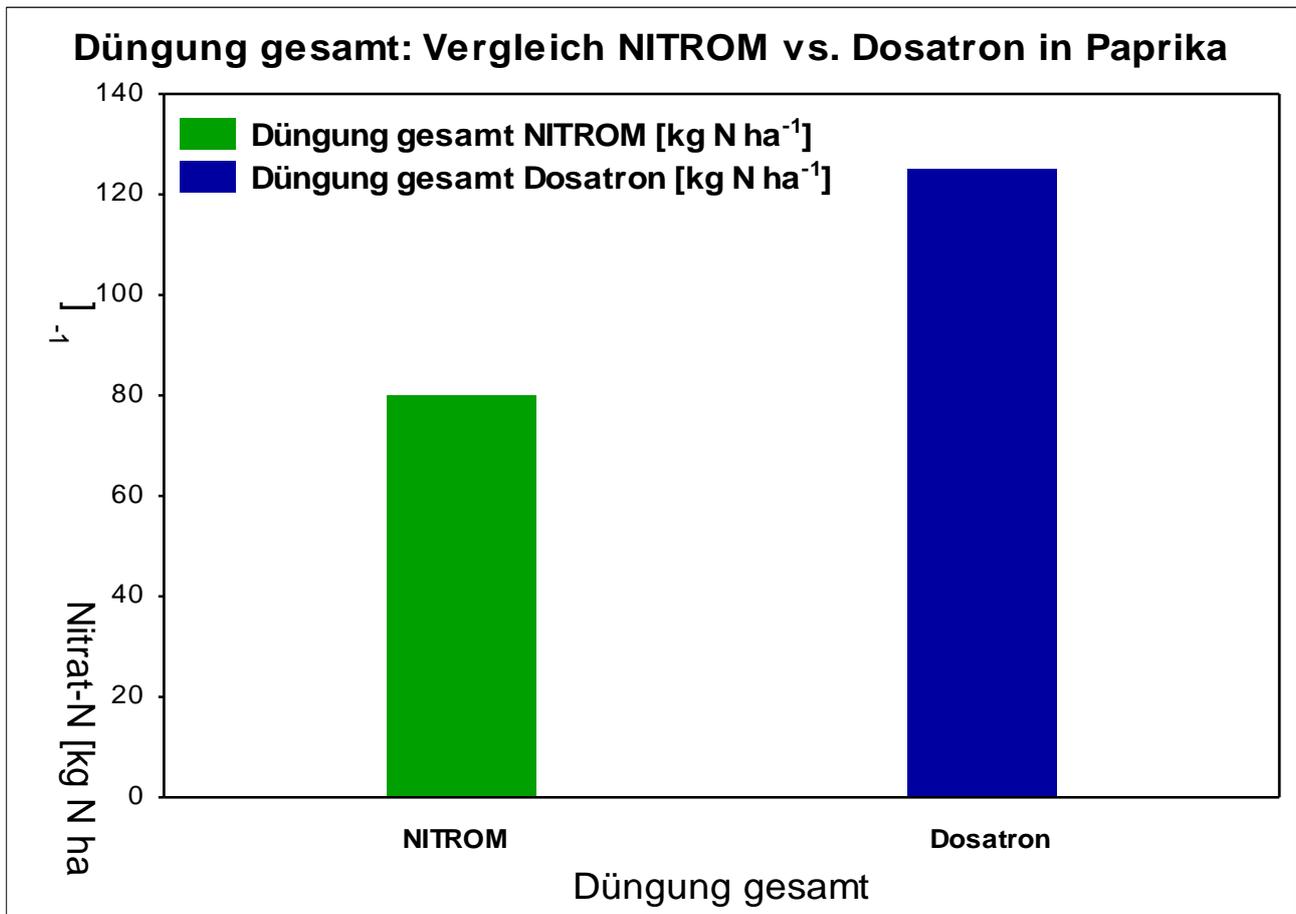


Abbildung 4: Düngeersparung in Gewächshausversuch

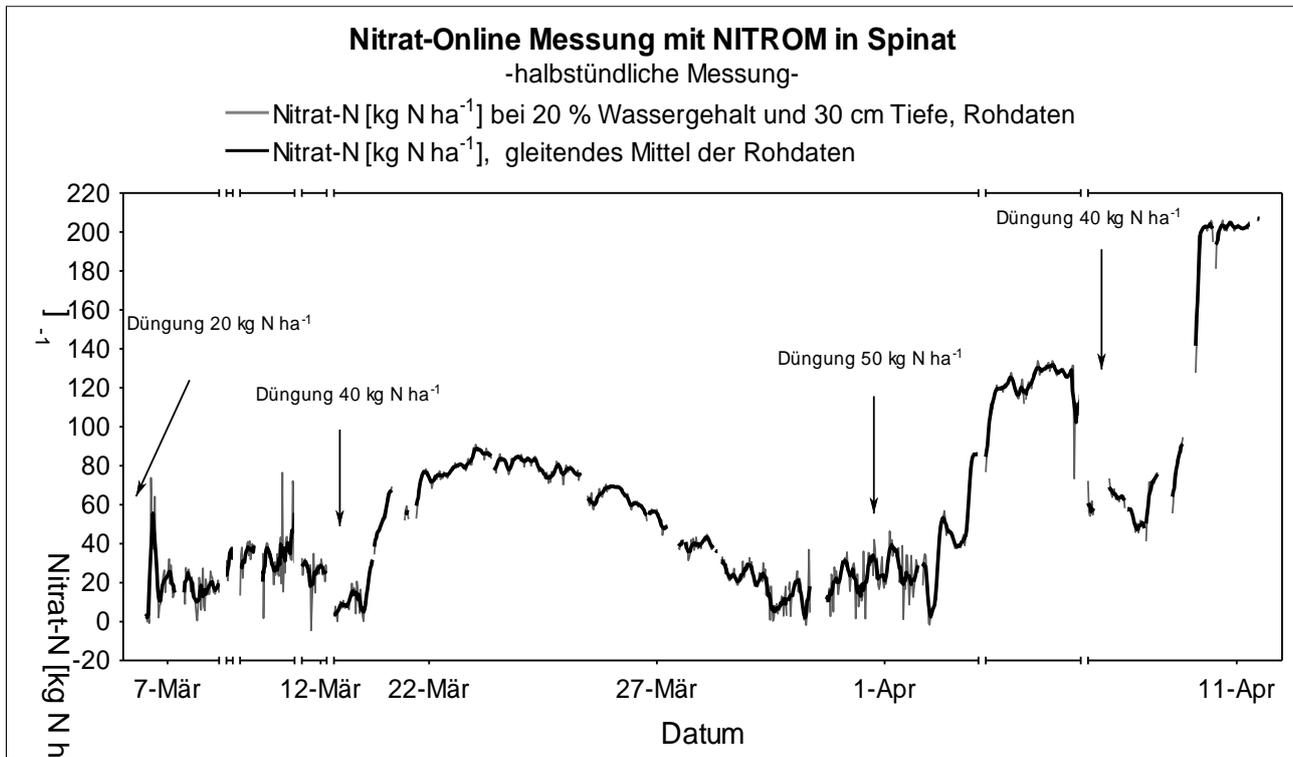


Abbildung 5: Dauermessung über einen Monat mit 4 Düngegaben, Konzentrationen in Vorräte umgerechnet

### Ausblick

Während beim bisher verwendeten NITROM die Datenübertragung via Kabel erfolgte, wird im Nachfolger (NITROM II) eine Datenfernübertragung über GPRS umgesetzt.

Bisher wird die Referenzwellenlänge lediglich genutzt, um Interferenzen durch gelösten organischen Kohlenstoff (DOC) zu eliminieren. Künftig soll auch eine Quantifizierung der DOC-Konzentrationen in der Bodenlösung möglich sein.

### Dank

Wir danken der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) für die finanzielle Unterstützung dieses Projektes (Förderkennzeichen: 28293-34).

Das NITROM ist als Gebrauchsmuster unter der Nummer 20 2015 000 747 geschützt (N-Düngesteuerung mittels in-situ Nitratmessung, Bedarfsberechnung und N-Dosiereinheit).

### Literatur

Ehsani, M. R., S. K. Upadhyaya, D. Slaughter, S. Shafii, M. Pelletier (1999): A NIR Technique for Rapid Determination of Soil Mineral Nitrogen. *Precision Agriculture* 1(2): 217-234.

Hartz, T. K. (1994): A quick test procedure for soil nitrate-nitrogen. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 25(5-6): 511-515.

Hartz, T. K., R. F. Smith, M. LeStrange, K. F. Schulbach (1993): On-farm monitoring of soil and crop nitrogen status by nitrate-selective electrode. *Communications in Soil Science and Plant Analysis* 24(19-20): 2607-2615.

Kmecl, V., J. Sušin, L. Zupančič-Kralj (2005): Validation of analytical methods used for determination of nitrate in soil. *Accreditation and Quality Assurance* 10(4): 172-176.

Ramos, C., A. Agut, A. L. Lidón (2002): Nitrate leaching in important crops of the Valencian Community region (Spain). *Environmental Pollution* 118(2): 215-223.

Roth, G. W., D. B. Beegle, R. H. Fox, J. D. Toth, W. P. Piekielek (1991): Development of a quicktest kit method to measure soil nitrate. *Communications in Soil Science & Plant Analysis* 22(3-4): 191-200.