

## Teilflächenspezifische Düngung als Reaktion auf wachsende gesellschaftliche Anforderungen und als Beitrag zur Entspannung des Widerspruches zwischen Ökonomie und Ökologie

Johannes Speckle<sup>1</sup>, Wolfgang Angermair<sup>1</sup>, Franziska Brohmeyer<sup>2</sup>, Lena Brüggemann<sup>2</sup>,  
Andreas Spicker<sup>3</sup> und Sebastian A. Pauli<sup>1</sup>

**Abstract:** Wachsender gesellschaftlicher Druck und gesetzliche Restriktionen sowie steigende ökonomische Anforderungen stellen für landwirtschaftliche Betriebe in Deutschland derzeit einen scheinbar nicht lösbaren Widerspruch dar. Ein Baustein, der zur Entspannung des Zielkonflikts zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit beitragen kann, ist die teilflächenspezifische Düngung. Der technologische Fortschritt in der Landtechnik, die Verbreitung hochverfügbarer Fernerkundungsdaten und Einbindung dieser in Pflanzenwachstumsmodelle und die Zusammenführung aller Teilsysteme in einem Farm-Management-System (FMIS) ermöglichen die Einführung der teilflächenspezifischen Düngung in der Praxis.

**Keywords:** Farm-Management-Systeme, Düngeverordnung, Teilflächenspezifische Düngung, Satellitenfernerkundung, Pflanzenwachstumsmodelle, Simulationsmodelle

### 1 Einleitung

Nach heutigem Kenntnisstand der Pflanzenernährung gibt es 16 Nährstoffe, unterteilt in Makro- und Mikronährstoffe, die für Pflanzen notwendig sind. Ist die Verfügbarkeit von einem Nährstoff eingeschränkt, treten Mangelsymptome auf. Ein Mangel an essentiellen Nährstoffen hat unmittelbare Auswirkung auf Wachstums- und Stoffwechselprozesse. Stickstoff ist essentiell für die Bildung von Aminosäuren und Nukleinsäuren. Somit ist Stickstoff ein wichtiger Baustein von Eiweißen, Enzymen und Chlorophyll. Vegetatives Wachstum, sowohl Längenwachstum als auch Biomassezuwachs, und enzymatisch katalysierte Reaktionen sind daher ohne Stickstoff nicht möglich. Neben Stickstoff nehmen auch Phosphor und Kalium eine essentielle Rolle in der Pflanzenernährung ein. Phosphor ist dabei vor allem beteiligt an der Bildung von Nukleinsäuren und als Baustein von Enzymen. Kalium ist funktionell entscheidend in vielen Stoffwechselfvorgängen (z. B.

---

<sup>1</sup> FarmFacts GmbH, Rennbahnstraße 9, D-84347 Pfarrkirchen, Johannes.Speckle@FarmFacts.de, sebastian.pauli@farmfacts.de, wolfgang.angermair@farmfacts.de

<sup>2</sup> VISTA Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH, Gabelsbergerstraße 51, D-80333 München, brohmeyer@vista-geo.de, brueggemann@vista-geo.de

<sup>3</sup> Betriebsleiter, andi.spicker@web.de

Osmose), für die Bildung und den Transport von Kohlehydraten und zur Aktivierung vieler Enzyme.

Eine Überversorgung vor allem mit Stickstoff und Phosphor kann jedoch zu erheblichen Auswirkungen auf Ökosysteme führen. Eine Nährstoffanreicherung in Oberflächengewässern (Eutrophierung) führt zu einem beschleunigten Algen- und Pflanzenwachstum an der Oberfläche dieser Gewässer und somit zu einer Verringerung der gesamten Biodiversität innerhalb des Gewässers. Die Verlagerung von Stickstoff in nicht durchwurzelbare Tiefen kann zur Verunreinigung von Grundwasser führen. Ein weiterer Verlustpfad von Stickstoff ist gasförmig als Lachgas ( $N_2O$ ). Lachgas hat in etwa die 300-fache Wirkung von Kohlenstoffdioxid ( $CO_2$ ) in der Atmosphäre. Die Landwirtschaft hat somit die Aufgabe, die Pflanzenernährung mit einer möglichst effizienten Düngung sicherzustellen, um negative Umwelteinflüsse zu minimieren.

Für das Jahr 2010 hat die Bundesregierung in der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2002 einen Stickstoffüberschuss der Landwirtschaft von 80 Kilogramm pro Hektar und Jahr ( $kg/ha*a$ ) im 3-Jahres-Mittel als Zielwert festgelegt. Laut Umweltbundesamt ist der Stickstoffüberschuss zwischen 1993 und 2015 von  $111 kg/ha*a$  um 15 % auf  $94 kg/ha*a$  im 5-Jahres-Mittel zurückgegangen. In der Fortschreibung der Deutschen Nachhaltigkeitsstrategie 2016 wurde der Zielwert für das Jahr 2030 nochmals auf  $70 kg/ha*a$  reduziert [Um19]. Die Novellierung der Düngeverordnung 2017 (DüV) zielt genau in diese Richtung. Die DüV gibt den Betrieben in Deutschland sehr klare Regeln zur Ermittlung des Stickstoff- und Phosphorbedarfes vor, die sich wesentlich an einem realistischen Durchschnittsertrag und Nährstoffbedarfswerten orientieren. Die Verteilung der Nährstoffe und Düngemittel innerhalb eines Schläges ist dabei jedoch nicht geregelt [Ve17]. Die von der EU geforderte erneute Anpassung der Düngeverordnung zeigt, dass die bisher gewählten Methoden offenbar als nicht ausreichend angesehen werden [Pr19]. Diese Arbeit stellt das Prinzip der teilflächenspezifischen Düngung vor und zeigt die Möglichkeiten auf, mit Hilfe dieser ökologische und ökonomische Ziele der Düngung zu vereinbaren.

## 2 Material und Methoden

### 2.1 Stickstoffbedarfsermittlung

In dieser Arbeit wurde für mehrere Schläge ( $n=11$ , 102 ha) in Deutschland vor der ersten Stickstoffgabe im Frühjahr eine Düngbedarfsermittlung nach DüV und landesspezifischen Ergänzungen im FMIS NEXT Farming LIVE gerechnet. Der realistische Zieldertrag, Nmin-Wert, Bodenart, Vorfrucht, organische Düngung des Vorjahres und Humusgehalt wurden vom Landwirt schlagspezifisch vorgegeben. Die relevanten Berechnungsparameter (Stickstoffbedarf bei Referenzertrag, Zu- und Abschläge) sind nach Vorgabe der landesrechtlich zuständigen Stellen – meist die

Landwirtschaftskammern, Landesämter – in den Datenbanken der Softwaresysteme hinterlegt. Somit ist sichergestellt, dass der Landwirt die Anforderungen nach DüV innerhalb seines FMIS erfüllen kann und keine doppelten Eingaben in ein Portal der Landesbehörden benötigt werden. Im Projekt wurden 3 Schläge in Niedersachsen (63 ha) und 8 Schläge in Bayern (39 ha) mit den Ernteprodukten Silomais (n=3, 63 ha), Winterweizen (n=2, 12 ha), Körnermais (n=2, 13 ha) und Zuckerrübe (n=4, 14 ha) gerechnet.

## 2.2 Langjährige Satellitendaten

Zur Erkennung der Heterogenität der Biomasseaufwüchses innerhalb der Schläge wurde die TF-Basiskarte und die darauf aufbauenden TF-Ertragspotenzialkarte von VISTA verwendet. Für die TF-Basiskarte werden mit Hilfe von Satellitendaten (Sentinel-2) langjährig beständige Aufwuchsmuster identifiziert und deren Biomasseunterschiede zueinander berechnet [TA19]. Aufbauend darauf kann mit dem Pflanzenwachstumsmodell PROMET das langjährige Ertragspotenzial in t/ha berechnet werden [HBM15].

## 2.3 Teilflächenspezifische Stickstoffdüngung

Beim Mapping-Ansatz erfolgt die Variation der Betriebsmittelverteilung anhand historischer Aufzeichnungen, etwa Ertragskartierung mit dem Mähdrescher oder der Auswertung optischer Informationen aus Drohnen- und Satellitenaufnahmen. Ein Werkzeug dafür ist der von FarmFacts und VISTA seit 2017 entwickelte N-Manager, der bereits 2018 und 2019 in Pilotbetrieben eingesetzt wurde. Der ermittelte schlagspezifische Stickstoffdüngbedarf wurde auf Grundlage des Ertragspotenzials aus Fernerkundungsdaten innerhalb des Feldes variiert. Das Ertragspotenzial wird mit Hilfe von Satellitendaten (Sentinel-2) und dem Pflanzenwachstumsmodell PROMET bestimmt und identifiziert gleichzeitig langjährige Aufwuchsmuster innerhalb eines Feldes [BM16]. Diese Information ermöglicht die Verteilung der Stickstoffmenge innerhalb des Feldes, wodurch in Niedrigertragszonen Stickstoff eingespart werden kann, Hohertragszonen aber dennoch ausreichend versorgt werden. Die Erstellung einer Applikationskarte zur Variation des gesamten Stickstoffbedarfes ist in der Praxis nicht sinnvoll. Es wird ein System benötigt, welches nicht variable Stickstoffgaben berücksichtigt (z. B. Gülle). Mit dem N-Manager können somit auch Applikationskarten für einzelne Düngegaben gerechnet werden und nicht variable Gaben korrekt berücksichtigt werden. Für Fruchtarten, bei denen der Stickstoffdüngbedarf sehr früh in der Vegetationsperiode mit einer Stickstoffgabe gedeckt wird, erfolgt die Erstellung der N-Applikationskarten rein mit dem N-Manager. Auch für Fruchtarten, bei denen die Stickstoffdüngung zur Steuerung des Aufwuchses in mehreren Gaben erfolgt (z. B. Weizen), kann mit dem N-Manager die Applikationskarte für die erste Stickstoffkarte erstellt werden. N-Manager liefert einen Satz an Stickstoffbedarfskarten für die jeweiligen Einzelgaben. Die Stickstoffbedarfskarten können im FMIS mit den Nährstoffgehalten der Düngemittel

verrechnet werden und somit eine Dünger-Applikationskarte in den Formaten ISOXML oder Shape lesbar für die gängigen Bordcomputer erstellt werden. Mit N-Manager PRO wird für Fruchtarten, bei denen die Stickstoffdüngung zur Steuerung des Aufwuchses in mehreren Gaben erfolgt (z. B. Weizen), zusätzlich zu N-Manager im Vegetationsverlauf die aktuelle Stickstoffaufnahme in kg/ha aus Satellitendaten bestimmt. Auf Grundlage der aktuellen Entwicklung der Pflanzen wird der Stickstoffbedarf für jede Stickstoffgabe angepasst und räumlich variiert. Tage ohne Satellitenaufnahme oder Zeiträume mit Wolkenbedeckung können mit Hilfe des Pflanzenwachstumsmodells PROMET überbrückt werden. Mit der Simulation können zudem Tage ohne neue Satellitendaten überbrückt werden. Mit der Simulation können damit auch Perioden, in denen aufgrund von Verschattung durch z. B. Wolken keine Satellitenauswertung möglich ist, überbrückt werden. So kann mit N-Manager PRO für jede Stickstoffgabe eine teilflächenspezifische (10 x 10 m) Stickstoffbedarfskarte geliefert werden [Bo19].

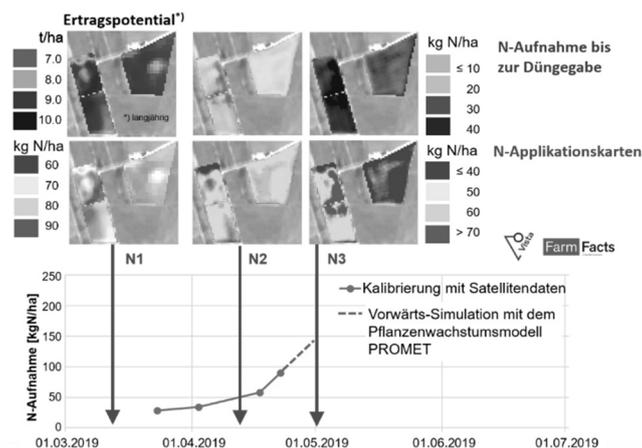


Abb. 1: Simulation der N-Aufnahme und resultierende N-Bedarfskarte mit N-Manager PRO

## 2.4 Zonierung der Schläge anhand beständiger Aufwuchsmuster

Für die vorliegende Studie wurde mit Hilfe der TF-Basiskarte die Zonierung innerhalb der Schläge vorgenommen. Die Ergebnisse einer homogenen Düngedarfsermittlung wurden dann den jeweiligen Ergebnissen aus der zonenspezifischen Betrachtung im N-Manager gegenübergestellt. Hierfür wurden Zonen mit einem N-Bedarfswert mit einer maximalen Abweichung von 10 % gegenüber dem Flächenmittel als bedarfsdeckend angenommen. Für Zonen mit N-Bedarfswerten unterhalb des durchschnittlichen N-Bedarfes nach DüV wurde eine reduzierte N-Menge nach N-Manager empfohlen. Für Zonen mit N-Bedarfswerten über dem durchschnittlichen N-Bedarf nach DüV wurde mit N-Manager eine überdurchschnittliche N-Menge empfohlen. Im Durchschnitt ergibt sich der N-Düngebedarf nach DüV.

### 3 Ergebnisse und Diskussion

Die Einteilung der Schläge (n=11, 102 ha) in teilflächenspezifische Zonen und die Gegenüberstellung zum Bedarfsmittelwert nach DüV zeigt, dass es in 33 % der Teilflächen bei einer angenommenen einheitlichen, konstanten Düngung nach den Vorgaben der Düngeverordnung zu einer Überversorgung von Niedrigertragszonen kommt. Auf ca. 42 % der Teilflächen führt eine konstante Düngung zu einer Unterversorgung von Zonen überdurchschnittlicher Erträge. Die Gefahr von Nährstoffverlusten bleibt in den Niedrigertragszonen somit weiterhin bestehen. In Hohertragszonen kann dagegen bei konstanter Düngung des Düngebedarfes nach DüV der volle Ertrag nicht ernährt werden. Es besteht die Gefahr, dass zunächst der in Humus gebundene Stickstoff abgebaut wird und langfristig ein Verlust an Ertrag und Qualität stattfindet. Auswertungen belegen, dass es selbst innerhalb sehr kleiner Flächen eine große Variabilität des Ertragspotenzials und damit des Düngebedarfes geben kann [RR19]. Basis eines nachhaltigen Düngeystems ist daher die Kenntnis über die kleinräumige Heterogenität des Bodens, der Verlagerung von Nährstoffen und der Aufwüchse innerhalb eines Schlags. Der Zielkonflikt zwischen ökologischer und ökonomischer Nachhaltigkeit lässt sich durch Einsatz von Daten aus der Fern- und Naherkundung in Verbindung mit intelligenten Technologien der Prozessierung dieser Daten und anschließender Umsetzung auf dem Acker besser lösen als mit pauschalen Abschlüssen in sogenannten roten Gebieten.

<b>Unter DüV N-Bedarf [%]</b>	<b>DüV N-Bedarf gedeckt [%]</b>	<b>über DüV N-Bedarf [%]</b>	<b>Schlaggröße [ha]</b>
33	18	48	2
39	30	32	11
40	23	37	8
32	22	47	3
44	26	31	3
36	22	42	4
25	29	46	5
34	44	22	3
22	28	50	31
24	23	53	8
32	17	51	24

Tab. 1: Aufteilung der Flächenanteile in N-Manager

## 4 Fazit

Das Prinzip der teilflächenspezifischen Düngung wurde innerhalb der FarmFacts und VISTA in den Jahren 2018 und 2019 bereits von verschiedenen Pilotbetrieben in Deutschland erfolgreich angewandt. In der weiteren Entwicklung werden die Algorithmen derzeit in die Softwareprodukte der FarmFacts eingebunden. Somit kann der Anwender diese Funktion in Zukunft direkt aus seinem FMIS ansprechen. Derzeit ist in der Praxis eine erhebliche Unsicherheit gegenüber Systemen zur teilflächenspezifischen Düngung und deren DüV-Konformität erkennbar. In der fachlichen Diskussion mit Praktikern ist die Notwendigkeit der teilflächenspezifischen Düngung weitestgehend Konsens. Um eine breite Akzeptanz und Etablierung dieser Technologie in der Ausbildung und Praxis herzustellen, sollte eine Prüfung und Gegenüberstellung dieses Ansatzes an wissenschaftlichen Versuchsanstalten durchgeführt werden.

### Literaturverzeichnis

- [HBM15] Hank, T.; Bach, H.; Mauser, W. (2015): Using a Remote Sensing-Supported Hydro-Agroecological Model for Field-Scale Simulation of Heterogeneous Crop Growth and Yield: Application for Wheat in Central Europe, *Remote Sensing*, 7 (4), 3934-3965, Basel (Switzerland), 2015.
- [Bo19] Bosch, J.: Stickstoff-Düngung in Zeiten der Düngeverordnung. In: *Getreidemagazin* 05/2019 (ISSN: 2191-5172), S. 62-64, 2019.
- [Ve17] Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen (Düngeverordnung - DüV), 2017.
- [Bu19] Pressemitteilung Nr. 161 vom 25.07.2019; Nitratrichtlinie: Deutschland erhält Mahnschreiben; Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft.
- [Um19] Umweltbundesamt, <https://www.umweltbundesamt.de>, Stand 04.11.2019.
- [Ta19] Talkingfields, <http://www.talkingfields.de>, Stand 06.11.2019.
- [RR19] Reckleben, Y.; Ramm, S.: Sensor- und satellitengestützte Stickstoffdüngung – Ein Weg zu mehr N-Effizienz? In: *Getreidemagazin* 01/2019 (ISSN: 2191-5172), 2019.