

## Teilflächenspezifische Phosphordüngung: Beitrag zur Verbesserung der Phosphoreffizienz?

Sören Schulte-Ostermann<sup>1</sup> und Peter Wagner<sup>1</sup>

**Abstract:** Die Endlichkeit der primären Phosphorressourcen und stetig wachsende Anforderungen an die Düngungsstrategien seitens der Umwelt fordern eine Verbesserung des Faktoreinsatzes von Phosphor. Das zur Düngebedarfsermittlung verbreitete Bodenprobenentnahmeraster – z. B. 3 ha oder 5 ha – und die Anwendung von Durchschnittserträgen zur Phosphor-Entzugsermittlung können fälschlicherweise eine Homogenität im Nährstoffbedarf der Pflanzen unterstellen. Auf Grundlage kleinräumig gewonnener Erprobungsergebnisse einer Praxisfläche in Mitteldeutschland werden der Düngebedarf und die Ertragsmessungen der konstanten einer teilflächenspezifischen Düngungsstrategie gegenübergestellt. Das Ergebnis demonstriert, dass eine bedarfsorientierte Düngung zu einer Verbesserung der Phosphoreffizienz beitragen kann.

**Keywords:** Phosphoreffizienz, bedarfsorientierte Düngung, Ertragseffekt, Precision Farming

### 1 Einleitung

Die Novellierung der Düngeverordnung im Jahr 2017 restringiert die Stickstoff- sowie Phosphorausbringung und erhöht die Anforderungen an die Landwirte. Umwelteinflüsse von Nährstoffüberschüssen aus der Pflanzenproduktion und die Endlichkeit der Phosphorressourcen fordern verbesserte Düngungsstrategien in der landwirtschaftlichen Praxis [BM17; BG13]. Auch die bundesweite Absenkung der Phosphorgehaltsklassen im Jahr 2018 der VDLUFA zur Düngebedarfsermittlung können die Relevanz einer bedarfsorientierten Grunddüngung erhöhen, um hohe Erträge auch zukünftig sicherzustellen. Die in der landwirtschaftlichen Praxis angewendeten Probenentnahmeraster von z. B. 3 ha bis 5 ha können fälschlicherweise eine Flächenhomogenität unterstellen, die die wahren Nährstoffgehalte im Boden nicht abbildet. Die Anwendung durchschnittlicher Pflanzenentzüge zur Düngebedarfsermittlung fördern die Entwicklung dieses Prozesses. Durch eine fehlende Berücksichtigung kleinräumiger Bodenbeprobungsanalysen und Pflanzenentzüge in der Düngungsstrategie kann sogar die Heterogenität gesteigert werden. Außerdem wird das Ertragspotenzial des Standortes durch Unter- oder Überdüngung nicht ausgenutzt oder die Umwelt unnötig belastet. Aktuelle Technologien bei der Ertragskartierung oder Bodensensoren können die Grundlage für die Planung einer bedarfsorientierten Grunddüngungsstrategie darstellen und die praxisübliche flächeneinheitliche Nährstoffapplikation substituieren. Es liegt auf der Hand, dass Lösungskonzepte etabliert werden müssen, um Nährstoffüberschüsse zu verringern und die Nährstoffeffizienz langfristig zu

---

<sup>1</sup> MLU Halle-Wittenberg, Professur für landwirtschaftliche Betriebslehre, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Str. 4, 06120 Halle (Saale), soeren.schulte-ostermann@landw.uni-halle.de / peter.wagner@landw.uni-halle.de

verbessern. Mit Hilfe detaillierter Flächeninformationen kann eine optimale teilflächenspezifische Düngestrategie in den Praxisbetrieb integriert werden, die langfristig auch auf heterogenen Standorten den idealen Nährstoffbedarf der Pflanzen berücksichtigt.

## 2 Methode

Der Versuchsbeginn erfolgte im Jahr 2006 auf einem 65-Hektar-Schlag des Lehr- und Versuchsgutes Görzig der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Die Fläche ist in ein kleinräumiges Beprobungsraster von 1/8 ha aufgeteilt. Die Arbeitsbreite der landwirtschaftlichen Maschinen des Praxisbetriebes determiniert die Parzellengröße von 36 m x 36 m (1.296 m<sup>2</sup>), siehe Abb. 1.

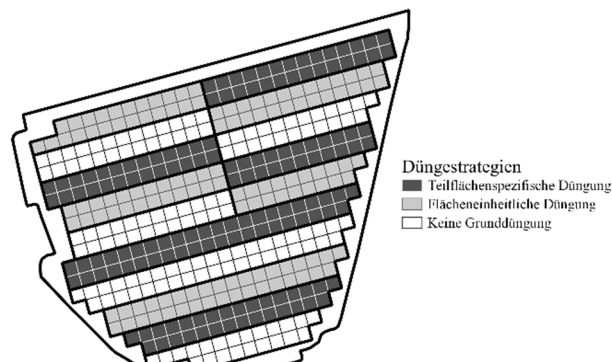


Abb. 1: Versuchsaufbau – n = 412 Parzellen

Der Versuchsschlag gliedert sich in drei Grunddüngungsvarianten – teilflächenspezifische/variable Düngung (VD: n = 149), konstante/flächeneinheitliche Düngung (KD: n = 128) und eine unbehandelte Variante (ND: n = 135). Stickstoff wird bei den drei Strategien einheitlich appliziert. Die Randflächen werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Das gesamte Feld wurde in den Jahren 2006, 2011, 2017 und 2018 kleinräumig analysiert (Phosphor-, Kaliumgehalte und pH-Werte). In diesem Beitrag dient die Bodenuntersuchung aus dem Jahr 2011 der Düngedarfsermittlung einer viergliedrigen Fruchtfolge (Ertragsannahmen zur Entzugsberechnung: WW – 80 dt/ha, WW – 80 dt/ha, WG – 80 dt/ha, WR – 45 dt/ha) für den betrachteten Zeitraum von 2012 bis 2015. Der errechnete Phosphorbedarf wird jährlich nach der Ernte auf den Pflanzenbestand appliziert. Aus einer kontinuierlichen Funktion wird für den Versuchsschlag der Phosphorbedarf in Abhängigkeit des P-Gehaltes im Boden und aus den durchschnittlichen Pflanzenentzügen berechnet (118,94 kg/ha P nach [LL19]). Dieses Verfahren richtet sich nach der Klasseneinteilung der VDLUFA, berücksichtigt jedoch in Stufen von „0,1 mg CAL-P/100 g Boden“ die vorgefunden Phosphorgehalte des Standortes.

Die Düngebedarfsermittlung bei der VD erfolgt über die kleinräumigen Beprobungsergebnisse jeder einzelnen Parzelle ( $n = 149$ ) und den durchschnittlichen Entzügen. In den Ergebnissen werden auch die Düngermengen unter Berücksichtigung der kleinräumigen Beprobungsergebnisse und der kleinräumigen Pflanzenentzüge vergleichend dargestellt (Tab. 1). Bei dem konstanten Verfahren wird der Düngebedarf durch den Mittelwert der Bodengehalte aller konstanten Parzellen ( $n = 128$ ) und aus den durchschnittlichen Pflanzenentzügen berechnet.

Die Erntedaten werden für die Jahre 2012 (Winterweizen), 2014 (Winterraps) und 2015 (Winterweizen) verwendet. Die georeferenzierte Volumenstrommessung von Claas dokumentiert kleinräumig die Ertragsdaten. Fehlerhafte Messwerte sind durch ein eigens an der Universität Halle entwickeltes Vorgehen identifiziert und der Datenpool auf Grundlage der tatsächliche Rückwiegung des landwirtschaftlichen Betriebes kalibriert. Das Jahr 2013 bietet keine auswertbaren kleinräumigen Messwerte. In diesem Jahr werden die gleichen Entzüge für die gesamte Fläche auf Basis der betrieblichen Rückwiegung eingesetzt. Die Ertragsdaten dienen der Berechnung der parzellenindividuellen jährlichen Pflanzenentzüge und werden der tatsächlich zugeführten Phosphordüngermenge in dem jeweiligen Jahr gegenübergestellt.

### 3 Ergebnisse

Gehaltsklasse mg CAL-P/100 g Boden	Variable Düngungsvariante				Konstante Düngungsvariante	
	Fläche ha	Düngermenge kg/ha		Differenz	Fläche ha	Düngermenge kg/ha einheitl. Boden entzug***
		teilfl. Boden einheitl. Entzug*	teilfl. Boden entzug**			
A $\leq 2,4$	0,00	-	-	-	0,13	173,64
B 2,5 - 4,8	12,57	215,41	240,40	24,99	9,72	173,64
C 4,9 - 7,2	5,31	159,36	179,87	20,50	5,05	173,64
D 7,3 - 10,4	1,17	101,08	112,88	11,80	0,91	173,64
E $\geq 10,5$	0,26	0,00	0,00	0,00	0,78	173,64
	$\emptyset$ kg / ha	190,19	212,82	22,62	$\emptyset$ kg / ha	173,64

\* Düngerbedarf auf Basis teilflächenspezifischer Bodenuntersuchung und einheitlichem Pflanzenentzug

\*\* Düngerbedarf auf Basis teilflächenspezifischer Bodenuntersuchung und teilflächenspezifischem Pflanzenentzug

\*\*\* Düngerbedarf auf Basis einheitlicher Bodenuntersuchung und einheitlichem Pflanzenentzug

Tab. 1: Vergleich des Düngebedarfs nach Variante

Tabelle 1 veranschaulicht den Düngebedarf (kg/ha) in Abhängigkeit der VDLUFA-Bodengehaltsklasse, differenziert nach der teilflächenspezifischen und der flächeneinheitlichen Düngungsvariante. Das Ausgangsniveau der Nährstoffe im Boden kann sich somit zwischen den Varianten unterscheiden, siehe Spalte „Fläche“. In der Gehaltsklasse „B“ der VD werden 12,57 ha Versuchsfläche mit einem Planungsbedarf von 215,41 kg/ha Phosphor für die viergliedrige Fruchtfolge ausgewiesen (Düngermenge/Jahr = 53,88 kg/ha). Unter Berücksichtigung des teilflächenspezifischen Ertragsniveaus ist ein höherer Phosphorbedarf von 240,41 kg/ha sinnvoll. Dies entspricht einen Mehraufwand von 25 kg/ha im Vergleich zur einheitlichen Entzugsberechnung bei der VD.

Die in der unteren Zeile abgebildeten durchschnittlichen Messwerte sind gewichtet nach der jeweiligen Anzahl (n) der Teilflächen. Innerhalb der VD wird ein durchschnittlicher Düngerbedarf von 190,19 kg/ha errechnet, jedoch ist unter der Berücksichtigung des kleinräumigen Pflanzenentzuges eine Düngermenge von 212,82 kg/ha notwendig.

Bei der konstanten Düngungsvariante ist der berechnete Mittelwert aller Parzellen 5,25 mg CAL-P/100 g Boden (vgl. VD = 4,94). Die Einordnung erfolgt somit für die konstante Variante in die Gehaltsklasse (GK) „C“. Jede Parzelle hat damit einen kalkulatorischen Düngbedarf von 173,64 kg/ha. Im Vergleich mit der VD werden bei der KD Teilflächen unter- oder übersorgt mit Phosphor.

Gehaltsklasse mg CAL-P/100 g Boden	Variable Düngungsvariante					Konstante Düngungsvariante			
	Fläche ha	Effizienz* (Jahr)			Fläche ha	Effizienz* (Jahr)			
		2012	2014	2015		2012	2014	2015	
A <= 2,4	0,00	-	-	-	0,13	0,40	0,71	0,37	
B 2,5 - 4,8	12,57	0,49	0,93	0,61	9,72	0,41	0,73	0,53	
C 4,9 - 7,2	5,31	0,38	0,68	0,49	5,05	0,42	0,75	0,54	
D 7,3 - 10,4	1,17	0,26	0,56	0,33	0,91	0,39	0,74	0,44	
E >= 10,5	0,26	0,00	0,00	0,00	0,78	0,46	0,85	0,56	

\*(Phosphor in kg/ha) / (Ertrag in dt/ha)

Tab. 2: Effizienz nach VDLUFA Gehaltsklasse und Erntejahr

Tabelle 2 demonstriert das Verhältnis von Ertrag zur applizierten Düngermenge (laut Düngepflan). Exemplarisch werden die Ergebnisse anhand der variablen Variante erläutert. Die in GK „C“ genannte Menge von 39,84 kg/ha/Jahr Phosphor (159,36 kg/ha bei vier Kulturen – Tabelle 1) wird ausgebracht. Der Quotient aus dem Faktorinput (Phosphor) und dem Output (Ertrag i.H.v. 105,53 dt/ha) beim Winterweizen 2012 weist einen Wert von 0,38 (P 39,84 kg/ha / Ertrag 105,52 dt/ha) aus. Im Vergleich ergibt sich bei der KD ein Wert von 0,42 (P 43,41 kg/ha / Ertrag 103,95 dt/ha). Je niedriger der Wert ist, desto besser ist die Ausnutzung des Produktionsfaktors (P). Dies bedeutet, dass im Jahr 2012 die Effizienz durch eine bedarfsorientierte Düngung in der Gehaltsklasse „C“ im Vgl. gesteigert werden konnte. Die höhere Effizienz innerhalb der VD basiert auf einer geringeren P-Düngermenge. In der konstanten Düngungsvariante befindet sich ein hoher Anteil unterversorgter Parzellen, z. B. GK „B“ von 9,72 ha. Dies führt zu einem niedrigeren durchschnittlichen Bodengehalt aller Parzellen, wodurch auch in GK „C“ auf Grund des Düngalgorithmus mehr P zugeführt wird. Ebenso wird eine Verbesserung des Faktoreinsatzes Phosphor in den Gehaltsklassen „D“ und „E“ dokumentiert. Dies ist durch den verringerten Düngereinsatz in den gut versorgten Teilflächen begründet. Es wird darauf hingewiesen, dass das Ergebnis auf einem kleinen Stichprobenumfang basiert.

Im Zeitverlauf, nach Beginn der Versuchsanstellung 2006, konnten insbesondere in der VD Veränderungen in den Bodengehalten dokumentiert werden. Die Effekte bzw. der Variationskoeffizient der Nährstoffbodengehalte getrennt nach Düngungsstrategien werden

in Tabelle 3 dargestellt. Eine Reduktion bei der VD von 0,41 (2006) zu 0,28 (2018) impliziert eine Annäherung der gemessenen Bodengehalte im Zeitverlauf. Im Vergleich steigert eine unterlassene Düngung die Heterogenität der Nährstoffgehalte im Boden.

Variante	2006	2011	2017	2018
Variable Düngung	0,41	0,40	0,31	0,28
Konstante Düngung	0,54	0,61	0,44	0,54
Unbehandelt	0,44	0,55	0,53	0,68

Tab. 3: Variationskoeffizienten nach Düngevarianten

Dieser Prozess lässt vermuten, dass in Abhängigkeit des Standortes die Relevanz einer bedarfsorientierten Düngung wächst, um negative Effekte (z. B. Ertragsminderungen) durch eine Über- oder Unterversorgung mit Nährstoffen auf ein tolerierbares Maß zu beschränken.

## 4 Diskussion

Von 1990 bis 2002 wurde die Phosphoreffizienz auf landwirtschaftlichen Flächen in Deutschland stetig gesteigert. In Abhängigkeit von der Region wird seit 2004 deutschlandweit mehr Phosphor durch das Erntegut abgeführt als durch die Düngapplikation zugeführt [FB10; Me15]. Trotz dieses Trends sind keine negativen Ertragseffekte dokumentiert. Aus diesem Grund wurden auf Basis langfristig durchgeführter Versuchsanstellungen der VDLUFA im Jahr 2018 die Phosphorgehaltsklassen abgesenkt [VD18]. Mit diesen neuen Rahmenbedingungen wird zukünftig deutlich weniger Phosphor appliziert werden können und die P-Gehalte im Boden voraussichtlich reduziert. Phosphor ist elementar für das Wachstum der Pflanzen und beeinflusst z. B. die Stickstoffaufnahme und andere Prozesse in der Pflanze [Lo04]. In diesem Kontext kann eine bedarfsorientierte Grunddüngung an Bedeutung gewinnen. Denn zurzeit erfolgt die Düngbedarfsermittlung auf den landwirtschaftlichen Betrieben mit durchschnittlich ermittelten Phosphorpflanzenentzügen. Berücksichtigung finden Hoch- und Niedrigertragszonen bei diesem Vorgehen nicht. Die Notwendigkeit einer bedarfsorientierten Düngapplikation liegt auf der Hand, denn das Ertragsniveau determiniert die benötigten Nährstoffmengen (vgl. Tab. 1). Hohe Erträge werden durch solide Nährstoffversorgungen sichergestellt und müssten auch langfristig erhalten bleiben. Hingegen kann auf Teilflächen mit geringem Ertragsniveau auftreten, dass durch überschüssige Düngermengen eine Anreicherung der nicht benötigten Nährstoffmenge stattfindet (vgl. Tabelle 3). Erhöhte Düngekosten und negative Umwelteffekte sind perspektivisch zu erwarten. Bei dem in dieser Analyse angewendeten Verfahren ist weiterhin die Erfassung der Ertragsdaten kritisch zu beurteilen, denn die Ertragsmessungen durch die Mährescher und die anschließende Ertragsdatenaufbereitung kann fehlerbehaftet sein. [No07].

Zusammenfassend kann die in der Praxis übliche konstante Düngungsstrategie durch Informationsverluste zu einer suboptimalen P-Verteilung führen, siehe Spalte „Fläche“ in Tabelle 1. Eine Über- oder Unterversorgung der jeweiligen kleinräumigen Teilbereiche ist das Ergebnis. In dem betrachteten Zeitraum wird durch die variable Düngung eine Verbesserung der Phosphoreffizienz erzielt. Teilflächen in den unterversorgten Gehaltsklassen „A“ und „B“ müssen bei einer Effizienzbetrachtung nicht berücksichtigt werden, da man langfristig die Nährstoffgehalte im Boden anhebt und diese Düngermehraufwendungen nicht mehr notwendig sind.

Mehraufwendungen bei unterversorgten Teilflächen sind durch steigende Erträge zu rechtfertigen. Ertragseffekte von durchschnittlich 13,41 €/ha bei Wintergerste, 17,92 €/ha bei Winterraps und 18,04 €/ha bei Winterweizen durch Erreichen der idealen Phosphorversorgung (Abweichung von GK: C) sind auf der gleichen Versuchsfläche bereits identifiziert [SW17]. Die kleinräumigen Pflanzentzüge und vor allem die kleinräumigen Nährstoffgehalte im Boden müssen zukünftig präziser in die Düngebedarfsermittlung einfließen. Langfristig werden so Erträge gesichert und negative Umwelteffekte fortlaufend reduziert.

#### Literaturverzeichnis

- [BG13] BGR: Phosphat – Mineralischer Rohstoff und unverzichtbarer Nährstoff für die Ernährungssicherheit weltweit, 2013.
- [BM17] BMEL: *Novelle der Düngeverordnung: Düngen nach guter fachlicher Praxis*. [Online] Verfügbar auf: [https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/\\_Texte/Duengung.html](https://www.bmel.de/DE/Landwirtschaft/Pflanzenbau/Ackerbau/_Texte/Duengung.html) (Accessed 29 June 2017), 2017.
- [FB10] Frede, H.-G.; Bach, M.: Phosphor in der deutschen Landwirtschaft – Bilanzen und Effizienzen. Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e. V. und des Bundesarbeitskreises Düngung (20. - 21.04.2010), 2010.
- [LL19] LLG Sachsen-Anhalt: Hinweise zur Phosphor -Düngebedarfsermittlung, 2019.
- [Lo04] Lorenz, F.: Wenn P und K fehlen. So ändern sich Ertrag, Düngebedarf, Nährstoffausnutzung und Bodenvorräte, 2004.
- [Mo15] Montag, D.; Everding, W.; Malms, S.; Pinnekamp, J.; Reinhard, J.; Fehrenbach, H.; Arnold, U.; Trimborn, M.; Goldbach, H.; Klett, W.; Lammers, T.: Bewertung konkreter Maßnahmen einer weitergehenden Phosphorrückgewinnung aus relevanten Stoffströmen sowie zum effizienten Phosphoreinsatz. *Umweltbundesamt*. 98228, 2015.
- [No07] Noack, P.O.: Ertragskartierung im Getreidebau. KTBL, 2007.
- [SW17] Schulte-Ostermann, S.; Wagner, P.: Ökonomische Effekte einer bedarfsgerechten Grunddüngung. *Digitale Marktplätze und Plattformen*. LNI 2018. S 227-230.
- [VD18] VDLUFA: Standpunkt - Phosphordüngung nach Bodenuntersuchung und Pflanzenbedarf, 2018.