

Reduktion negativer Umwelteffekte mit Hilfe einer teilflächenspezifischen Phosphordüngung

Sören Schulte-Ostermann¹ und Peter Wagner¹

Abstract: In diesem Beitrag wird die Wirkung unterschiedlicher Phosphorversorgungsstufen im Boden und deren Sekundäreffekte auf andere Nährstoffe betrachtet. Die Analyse basiert auf langfristig gewonnenen Messdaten im Rahmen einer „On-Farm-Research“ Versuchsanstellung auf einem Praxisbetrieb in Mitteldeutschland. Mit Hilfe kleinräumiger Ertragsdaten und Nährstoffanalysen der Jahre 2015, 2016 und 2018 wird die ideale Nährstoffversorgung der Pflanzen betrachtet und die Notwendigkeit einer teilflächenspezifischen Düngung dargelegt. Die Etablierung technischer Innovationen ermöglicht es, trotz stetiger Verschärfung gesetzlicher Restriktionen die vorhandenen Ressourcen optimal einzusetzen und ebenso die Effizienz des Einsatzes anderer Nährstoffe (z. B. Stickstoff) zu verbessern.

Keywords: Phosphor, bedarfsorientierte Düngung, Ertragseffekt, Precision Farming, Stickstoff

1 Einleitung

Die Reduktion negativer Umwelteffekte, verursacht durch landwirtschaftliche Produktionsverfahren, ist regelmäßig Bestandteil öffentlicher Diskussionen. In diesem Zusammenhang werden auch die Phosphoreinträge in Oberflächengewässer hervorgehoben [Fu10].

Neben einer bedarfsorientierten Stickstoffapplikation ist ebenfalls eine bedarfsorientierte Applikation der übrigen Makronährstoffe notwendig, um auch zukünftig ein optimales Ertragsniveau zu erzielen und demgemäß die Nährstoffnutzungseffizienz zu erhöhen. Die in der landwirtschaftlichen Praxis häufig angewendeten Beprobungsraster von 3 bis 5 ha repräsentieren die tatsächlichen kleinräumig variablen Nährstoffgehalte im Boden nicht. In Abhängigkeit des Standortes führt dies zu einer Fehlapplikation und damit einhergehend zu einer ineffizienten Verwertung von Makronährstoffen. Die flächeneinheitliche Düngung beseitigt das Problem unterschiedlicher Nährstoffniveaus im Boden nicht, sie kann sogar die Heterogenität langfristig steigern und das Ertragspotenzial wird nicht ausgeschöpft [SW18].

Ziel dieses Beitrages ist eine Darstellung, in welchem Ausmaß eine angepasste P-Düngung Erträge optimieren und negative Umwelteffekte reduzieren kann. Zusätzlich sollen Sekundäreffekte zwischen den Makronährstoffen aufgezeigt werden.

¹ 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

2 Methode

Diese Ergebnisse basieren auf einer On-Farm-Research Versuchsanstellung auf einem 65-Hektar-Schlag des Lehr- und Versuchsgutes Görzig der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. Seit 2006 werden jährlich eine Vielzahl an Parametern (Ertrag, Makronährstoffe, Sensordaten, usw.) dokumentiert. Die Fläche ist in ein kleinräumiges Beprobungsraster von ca. 1/8 ha aufgeteilt. Die Arbeitsbreite der landwirtschaftlichen Maschinen des Praxisbetriebes determiniert die Parzellengröße von 36 m x 36 m (1.296 m²).

Stickstoff wird auf dem gesamten Schlag einheitlich appliziert. Im Jahr 2015 erfolgte die N-Düngung am 10.03. mit 92 kg N/ha, am 29.04. mit 76,4 kg N/ha jeweils mit Harnstoff sowie am 28.05. mit 43,2 kg N/ha aus Kalkammonsalpeter. Im Jahr 2016 erfolgte die N-Düngung mit 81,2 kg N/ha am 21.03. und am 19.04. mit 59,8 kg N/ha jeweils aus Harnstoff. In 2018 erfolgte die Startdüngung am 04.04. mit 87,15 kg/ha N und die zweite Gabe am 27.04. mit 56,26 kg N/ha aus Harnstoff.

Um Auswirkungen der Versorgung mit anderen Nährstoffen auf den Ertrag zu vermindern, werden ausschließlich Versuchspartellen für die Auswertung mit einem für diesen Standort optimalen pH-Wert von 6,3-7,0 (Gehaltsklasse „C“ nach LL19) gewählt. In diesem pH-Bereich ist die allgemeine Nährstoffverfügbarkeit für die Pflanze optimiert. Für diesen Beitrag werden die Ertrags- und Nährstoffmessungen der Jahre 2015 (Winterweizen) mit n = 178, 2016 (Wintergerste) mit n = 281 und 2018 (Winterweizen) mit n = 269 auswertbare Partellen analysiert. Die Randflächen werden bei der Auswertung nicht berücksichtigt.

3 Ergebnisse

Die folgenden Säulendiagramme stellen die durchschnittlichen Erträge der Rasterpartellen der Jahre 2015, 2016 und 2018 unterteilt nach den Phosphorgehaltsklassen dar (LL19). Die P-Gehaltsklasseneinteilung ist der ersten Spalte der Tab. 1 zu entnehmen. Die unterversorgten Partellen werden in Gehaltsklasse (GK) „A“ und „B“, die übersorgten Partellen in der GK „D“ und „E“ eingeteilt. Das Optimum der Nährstoffversorgung ist in GK „C“ erreicht. In jeder Säule wird die Anzahl (n) der ausgewerteten Partellen ausgewiesen. Der Variationskoeffizient (VK) des Ertrages wird bezogen auf die jeweilige Gehaltsklasse

berechnet und oberhalb der Säulen dargestellt (VK = Standardabweichung / Mittelwert). Auf der Ordinate wird der Ertrag der jeweiligen Kultur in dt/ha abgebildet.

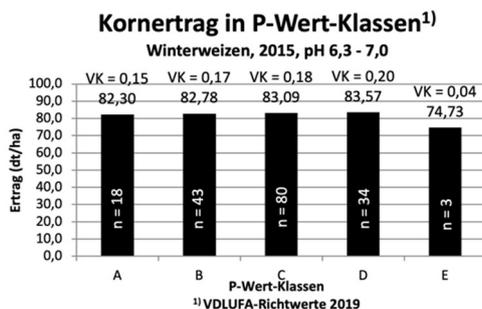


Abb. 1: Ertragswirkung untersch. P-Versorgungsstufen im Boden – Winterweizen 2015

Die Abb. 1 demonstriert die Auswertung des Jahres 2015. In den unterversorgten 18 Parzellen „A“ wird der Weizen ertrag mit 82,30 dt/ha dokumentiert ($18 \times 0,1296 \text{ m}^2 = 2,33 \text{ ha}$ Versuchsfläche). Mit einem höheren Phosphorgehalt im Boden steigt der Ertrag auf 82,78 dt/ha in GK „B“. Das höchste Ertragsniveau wird in der Gehaltsklasse „D“ erzielt. Im höchsten Phosphorversorgungsgrad (GK „E“) ist der niedrigste Ertrag von 74,73 dt/ha ermittelt worden, jedoch basiert dies auf der geringen Stichprobe von 3 Parzellen (0,38 ha). Bei der Auswertung werden Variationskoeffizienten von z. B. 0,15 (GK: A) und 0,20 (GK: D) ausgewiesen.

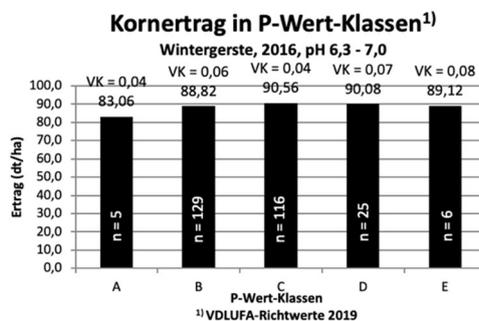


Abb. 2: Ertragswirkung untersch. P-Versorgungsstufen im Boden – Wintergerste 2016

Im Versuchsjahr 2016 (Abb. 2) werden 281 Rasterparzellen ausgewertet (Vgl. 2015 – 178). Auch in diesem Versuchsjahr werden die niedrigsten Erträge in Höhe von 83,06 dt/ha (0,65 ha) in den mit Phosphor schlecht versorgten Versuchspartellen erzielt, sukzessive steigen die Erträge mit einem höheren Phosphorgehalt im Boden auf 88,82 dt/ha (16,72 ha) in GK „B“ und erreichen den höchsten Ertrag in GK „C“ mit 90,56 dt/ha. Die Variationskoeffizienten variieren zwischen 0,04 bis 0,08. Der VK ist damit im Vgl. zu 2015 erheblich niedriger.

Im letzten betrachteten Versuchsjahr 2018 wird, ebenso wie 2015, der dokumentierte Weizenenertrag den Phosphorgehalten zugeordnet. Auch in diesem Diagramm ist ein Anstieg der Erträge von 55,30 dt/ha in GK „B“ auf bis zu 58,38 dt/ha in GK „E“ festgestellt worden. Der Variationskoeffizient ist mit 0,06 bis maximal 0,13 ausgewiesen.

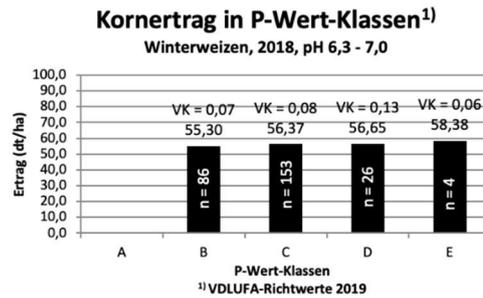


Abb. 3: Ertragswirkung untersch. P-Versorgungsstufen im Boden – Winterweizen 2018

Die Heterogenität der unterschiedlichen P-Gehaltsklassen wird im Jahr 2018 in der folgenden Abb. 4 georeferenziert dargestellt.

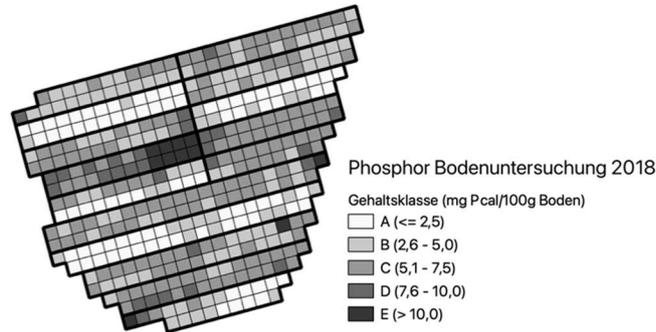


Abb. 4: Verteilung der Phosphorgehaltsklassen 2018 auf dem Versuchsschlag

Tabelle 1 stellt den im Vergleich zur Versorgungsstufe C entgangenen Erlös auf Grund von Ertragseffekten dar. Die erste Spalte beinhaltet die Phosphorgehaltsklassen von „A“ – unterversorgt bis „E“ – überversorgt. Die Anzahl (n) erklärt den analysierten Flächenumfang (n x 0,1296 ha). In dieser Darstellung wird angenommen, dass der maximale Ertrag in Gehaltsklasse „C“ erreicht wird. In der dritten Spalte wird eine Abweichung des Ertrages in GK „A“ von dem optimalen Niveau in „C“ von -0,79 dt/ha kalkulatorisch ermittelt. In GK „B“ tritt ein negativer Ertragseffekt von -0,32 dt/ha 2015 auf. In Gehaltsklasse „D“ wird sogar ein Ertragszuwachs im Vergleich zu „C“ von 0,48 dt/ha generiert. Jedoch konnte auch ein Ertragsrückgang in GK „E“ aufgezeigt werden (n = 3). Die vierte Spalte beinhaltet den akkumulierten Minderertrag für die jeweiligen Versuchspartellen. In der Literatur konnte kein Ertragsrückgang durch zu hohe Phosphorgehalte im Boden identifiziert werden, deshalb wird in den hoch versorgten Partellen kein Ertragsrückgang

in der Auswertung berücksichtigt (Mind. Y = 0,00). Letztendlich wird über die gesamte Versuchsfläche ein Mindererlös bei einem Weizenpreis von 17 €/dt mit 2,66 €/ha bestimmt. Ebenso werden 12,70 ha der ausgewerteten 23,07 ha Gesamtfläche nicht optimal mit Phosphor versorgt. Bei der Wintergerste (2016) konnten sogar erheblich höhere Ertragseffekte dokumentiert werden. Der Mindererlös wird mit 14,02 €/ha ausgewiesen. Dies wird im Wesentlichen durch die hohen Ertragsverluste in GK „B“ von -29,18 dt/ha (Bezug auf Gesamtfläche in GK: B) determiniert.

P Klasse (mg Pcal/100g Boden)	Winterweizen 2015			Wintergerste 2016			Winterweizen 2018		
	n	Abw. v. GK:C (dt/ha)	Mind. Y (dt)	n	Abw. v. GK:C (dt/ha)	Mind. Y (dt)	n	Abw. v. GK:C (dt/ha)	Mind. Y (dt)
A (<= 2,5)	18	-0,79	-1,85	5	-7,50	-4,86	0	0,00	0,00
B (2,6 - 5,0)	43	-0,32	-1,76	129	-1,75	-29,18	86	-1,06	-11,86
C (5,1 - 7,5)	80	0,00	0,00	116	0,00	0,00	153	0,00	0,00
D (7,6 - 10,0)	34	0,48	0,00	25	-0,48	0,00	26	0,29	0,00
E (> 10,0)	3	-8,36	0,00	6	-1,45	0,00	4	2,01	0,00
Ø Mindererlös Gesamtfläche (€/ha)*		-2,66			-14,02			-5,78	
Gesamtfläche (ha)		23,07			36,42			34,86	
Fehlerhaft behandelte Fläche (ha)		12,70			21,38			15,03	

*Verkaufspreis: Winterweizen 17,00 €/dt, Wintergerste 14,50 €/dt

Tab. 1: Fehlbehandlung und Mindererlös in Abhängigkeit der Kultur

4 Diskussion

Durch die zurzeit recht geringen Fallzahlen in den Nährstoffklassen sind die Ergebnisse statistisch nicht absicherbar und damit nur bedingt aussagekräftig; sie geben aber doch deutliche Hinweise auf die Reaktion der Kornerträge auf die Nährstoffversorgung. Die Versuchsergebnisse deuten auf einen geringeren Ertrag bei einer Unterversorgung mit Phosphor hin. Der geringe Ertragsabfall in hohen Versorgungsstufen im Jahr 2015 und 2016 wird vermutlich auf andere Ursachen auf dem Standort zurückzuführen sein und erfordert weitere Analysen. Bezugnehmend auf die Literatur ist der Ertragsrückgang bei einer suboptimalen Versorgungsstufe nicht ausschließlich auf Phosphor zurückzuführen. Interaktionen zwischen den Makronährstoffen generieren eine Vielzahl an Sekundäreffekten. In diesem Kontext demonstrieren Versuchsergebnisse des Sächsischen Landesamtes für Landwirtschaft, dass eine Verbesserung der Phosphorgehalte im Boden die N-Verwertung der Pflanzen steigert [Gr14]. Durch eine ausbalancierte Grundnährstoffversorgung lässt sich die Stickstoffverwertung verbessern und ein vergleichbares oder sogar höheres Ertragsniveau erzielen [Gr14]. Darüber hinaus benennt das Umweltbundesamt den Einsatz von Präventionsmaßnahmen im Rahmen des Düngemanagements als besonders wichtig, um negative Effekte auf das Grundwasser durch eine suboptimale Düngung zu vermindern. Denn ein angepasstes Düngemanagement generiert geringe gesellschaftliche Kosten, um nachhaltig auch das Grundwasser zu schützen [Oe17]. Die Berücksichtigung unterschiedlicher P-Nährstoffniveaus im Boden (Abb. 4) ist in diesem Kontext erforderlich, um langfristig Erträge zu optimieren und negative Umwelteffekte durch eine suboptimale P-

Verteilung zu vermeiden. Denn die teilflächenspezifische Düngung homogenisiert die Nährstoffniveaus im Boden und überversorgte Flächen werden nicht mehr vorhanden sein.

Die in diesem Beitrag betrachteten Kulturen (Winterweizen, Wintergerste) demonstrieren einen Trend, dass ein optimaler P-Gehalt im Boden zu einem höheren Ertrag führt. Jedoch scheinen Abweichungen zwischen den Kulturen zu bestehen. In der Literatur werden z.B. Leguminosen genannt, deren Anbau in den letzten Jahren stark in Deutschland gestiegen ist [St20]. Die Stickstoffbindung der Knöllchenbakterien ist durch ein Phosphordefizit erheblich verringert, womit sogar der für die Folgekultur verfügbare Stickstoff im Boden limitiert sein kann [Ca08]. Die Wechselwirkungen zwischen den Makronährstoffen (z.B. P, K und N) können darüber hinaus auch die Biomasseentwicklung der Wurzel und der Wurzellänge restringieren [Du18]. Eine einseitige Betrachtung der „klassischen“ Makronährstoffe bzw. Stickstoff ist in Anbetracht wachsender Umweltprobleme nicht zielführend. Die Versuchsergebnisse, sowie Literatur, deuten darauf hin, dass die Interaktion von Phosphor mit anderen Nährstoffen (z.B. Stickstoff) in Zukunft noch weiter untersucht werden sollte.

Die Autoren danken dem BMBF und dem PTJ für die Finanzierung des Projektes.

Literaturverzeichnis

- [Ch08] Chaudhary, M.I.; Adu-Gyamfi, J.J.; Saneoka, H.; Nguyen, N.T.; Suwa, R.; Kanai, S.; El-Shemy, H.A.; Lightfoot, D.A.; Fujita, K.: The effect of phosphorus deficiency on nutrient uptake, nitrogen fixation and photosynthetic rate in mashbean, mungbean and soybean. *Acta Physiologiae Plantarum*. 30 (4), S. 537–544, 2008.
- [Du18] Duncan, E.G.; O’Sullivan, C.A.; Roper, M.M.; Palta, J.; Whisson, K.; Peoples, M.B.: Yield and nitrogen use efficiency of wheat increased with root length and biomass due to nitrogen, phosphorus, and potassium interactions. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 181 (3), S. 364–373, 2018.
- [Fu10] Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Götz, T. Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS, S. 108ff. 2010.
- [Gr14] Grunert, M.: Verbesserung der Stickstoff- und Phosphoreffizienz im Pflanzenbau nach Schliepake, in Fachinformationsveranstaltung Düngung, 2014.
- [Oe17] Oelmann, M.; Czichy, C.; Scheele, U.; Zaun, S.; Dördelmann, O.; Harms, E.; Penning, M.; Kaupe, M.; Bergmann, A.; Steenpaß, C.: Quantifizierung der landwirtschaftlich verursachten Kosten zur Sicherung der Trinkwasserbereitstellung. 43 (1), 2017.
- [St20] Statistisches Bundesamt: Ackerland nach Hauptnutzungsarten und Kulturarten, 2020.
- [SW18] Schulte-Ostermann, S.; Wagner, P.: Ökonomische Effekte einer bedarfsgerechten Grunddüngung. *Informatik in der Land und-, Forst- und Ernährungswirtschaft*. 38. Digitale Marktplätze und Plattformen, S. 227–230, 2018.
- [LL19] LLG: Richtwertsammlung Düngerecht. Landesanstalt für Landwirtschaft und Gartenbau Sachsen-Anhalt, 2019.