

„Weniger ist mehr“: Optimierte Düngemittelplanung bei simultaner Steigerung der Gewinnmarge kleiner und mittlerer landwirtschaftlicher Betriebe

Michael Wörle¹ und Tobias Gaugler²

Abstract: Die Europäische Kommission hat Deutschland angeklagt, gegen Verpflichtungen zum Schutz der Gewässer verstoßen zu haben. In der Folge ist im Jahr 2017 eine neue Düngeverordnung in Kraft getreten. Sie beinhaltet strengere Richtwerte in Bezug auf die Stickstoff- und Phosphatdüngung. Aufgrund der Komplexität der Verordnung stehen insbesondere Betriebe, die im Nebenerwerb bewirtschaftet werden, vor der Herausforderung, sich zeitintensiv in die Neuregelung einzuarbeiten. Zur deren Unterstützung wurde ein entscheidungsunterstützendes Programm entwickelt. Dieses ermittelt zunächst schlagspezifisch die (1) *gesetzlich* zulässige, maximale Düngemenge. Hierauf aufbauend wird (2) die *ökonomisch* optimale Düngemenge ermittelt, mit welcher sich (statt des oftmals üblichen Ziels einer Ertragssteigerung) der höchste Geldrohertrag erreichen lässt. Ferner wird heuristisch ermittelt, (3) welche marktseitig verfügbare Kombination von Düngemitteln mit *ökonomisch* minimalen Auszahlungen beschaffbar ist. Bei Testläufen auf sechs Betrieben mit im Durchschnitt 50 ha ergeben sich – bei Einhaltung der Düngeverordnung – im Rohertragsmaximum eine Düngemittel-Reduktion i.H.v. 5,1 % und eine weitere Reduktion um 3,9 % durch den Einsatz der Auswahl-Heuristik.

Keywords: Düngeverordnung, Düngeplanung, Optimierung, Gewinnmarge, Kostensenkung

1. Relevanz und Aktualität von Düngemittelplanung

Die Düngung von Pflanzen ist für Landwirte weltweit ein Thema von großer Bedeutung. So beschreiben Ladha et al. die grundlegende Rolle von Stickstoffdüngemitteln für die Getreideproduktion, welche für die Entwicklung der Weltbevölkerung grundlegend ist [La16]. Zhang und Zhang beschreiben vor diesem Hintergrund eine anhaltende Steigerung des weltweiten Düngemittelverbrauchs bis zum Jahr 2030 um 32,1 % im Vergleich zum Niveau von 2007 [ZZ07]. Aufgrund hoher Umweltemissionen von Stickstoff wurde Deutschland im April 2016 von der EU-Kommission angeklagt, gegen Verpflichtungen zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigungen durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen verstoßen zu haben [EK16]. Die in diesem Zusammenhang initiierte und im Juni 2017 in Kraft getretene Neufassung der Düngeverordnung [Bu17], deren Umfang sich von 19 auf 43 Seiten erhöht hat, bringt für den einzelnen Landwirt

¹ Universität Augsburg, cand. M.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen, Dorfstraße 12, 86492 Egling, michael-woerle@web.de

² Universität Augsburg, Institut für Materials Resource Management, Mathematisch-Naturwissenschaftlich-Technische Fakultät, Universitätsstraße 2, 86159 Augsburg, tobias.gaugler@mrm.uni-augsburg.de

komplexere Rahmenbedingungen und einen erhöhten Informations- und Dokumentationsbedarf mit sich. Dies stellt vor allem Betriebe im Nebenerwerb vor größere Herausforderungen, da die notwendige intensive Einarbeitung in die neuen gesetzlichen Regelungen aufgrund von Zeitmangel und fachlicher Komplexität oftmals nur erschwert möglich ist. Da in Deutschland derzeit ca. 52 % der Betriebe neben dem Hauptberuf geführt werden, ist die Entwicklung eines gesetzeskonformen und praktikablen Ansatzes zur Umsetzung der neuen Vorschriften auch für diese Betriebe von hoher Priorität [BM17].

2. Stand des Wissens und aktuelle Anwendungsgrenzen

Der Aktualität der Novelle der Düngeverordnung geschuldet bedarf es bis dato einer umfassenden wissenschaftlichen Aufarbeitung ihrer Implikationen. Demgegenüber bestehen aktuelle Angebote wie Next Düngeplanung (Ne18) oder Yara Plan (Ya18), die sich primär für größere landwirtschaftliche Betriebe eignen. Im Bereich der Digitalisierung liegen viele Neuentwicklungen mit Bezug zur Düngung vor. Vor allem die Sensorik an den landwirtschaftlichen Geräten ist auf immer mehr Betrieben im Einsatz. Diese können einerseits mechanisch arbeiten und dabei die Auslenkung eines Pendels bei der Bestandsüberfahrt erfassen. Eine andere Möglichkeit besteht in der indirekten Messung, bei der mittels optischer Sensoren auf den Ernährungszustand der Pflanze geschlossen werden kann. Jedoch erscheint diese Technologie erst ab einer Mindesteinsatzfläche von ca. 300 ha rentabel [Re14]. Vor diesem Hintergrund ist es Ziel dieses Beitrags, Landwirten mit kleiner oder mittlerer Betriebsgröße die Einhaltung der Düngeverordnung zu erleichtern [WG17]. Zugleich sollen Wege zu Ermittlung einer ökonomisch optimalen Düngemenge aufgezeigt werden.

3. Methodisches Vorgehen

Im Rahmen einer Anforderungsanalyse gilt es zunächst abzuklären, welche rechtlichen Vorgaben aus der – als Fließtext vorliegenden – neuen Düngeverordnung zu extrahieren sind [Bu17]. Ziel dieses Schrittes ist die Operationalisierung der gesetzlichen Anforderungen in formalen, mathematisch abbildbaren Zusammenhängen. Hierzu lassen sich 14 Variablen identifizieren, um den spezifischen Düngebedarf während der Vegetation zu berechnen [WD18]. So kann ein Kalkulationsschema abgeleitet werden, welches alle gesetzlichen Vorgaben incl. Nebenbedingungen (wie die Maximalmenge für organische Dünger) berücksichtigt und in ein Programm implementiert werden kann. Neben diesen gesetzlichen Restriktionen ist der Landwirt bei der Düngung mit weiteren Einflussgrößen und Rahmenbedingungen konfrontiert. Diese beziehen sich insbesondere auf die Bodenart, die Nährstoffversorgung der Böden, die Auswahl an Düngemitteln sowie das Zeitmanagement. Auch diese sind softwareseitig zu berücksichtigen. Die weitere Programmstruktur setzt sich aus den folgenden drei Komponenten zusammen.

In Schritt 1 erfolgt eine Düngebedarfsermittlung auf Basis von Daten, welche vom Landwirt bereitgestellt werden. Hierauf aufbauend ermittelt die Software vollautomatisch die schlagspezifischen, *gesetzlich* maximal erlaubten Düngemengen pro Hektar [WD18] des jeweiligen Betriebes für N, P, K, S und Mg.

In Schritt 2 wird die ökonomisch optimale Düngemenge ermittelt, mit welcher sich der höchste Geldrohertrag erzielen lässt. Wir zielen damit bewusst nicht auf eine (mengenbezogene Ernte-) Ertragsmaximierung ab. Stattdessen wählen wir eine geeignete monetäre Zielgröße, mit welcher der aus einer zusätzlichen Dünger-Gabe resultierende Mehrertrag abzüglich der damit verbundenen Mehrausgaben für den Kauf des Düngers ermittelt und maximiert werden kann. Um dies zu erreichen, erfolgt zunächst eine fruchtartbasierte Analyse, die abprüft, inwiefern die im ersten Schritt ermittelten, gesetzlichen Maximal-Düngemengen unter Berücksichtigung von aktuellen Düngerpreisen und Ausbringkosten reduziert werden können. Ziel hierbei ist es, den höchsten korrigierten Geldrohertrag (KGR) für jede Frucht zu bestimmen. Dieser maximiert nicht den Ertrag, sondern orientiert sich am größtmöglich erzielbaren Deckungsbeitrag für den Landwirt [He05]: Ausgehend von den Untersuchungen von Boguslawski (BOGU) und Schneider wurde dort auf Basis von 54 Versuchsergebnissen des Landesbetrieb Landwirtschaft Hessen (LLH) aus den Jahren 1996 bis 2009 der Einfluss der Stickstoffdüngung auf den Ertrag von Pflanzen ermittelt (Ertragskurven). Unter Berücksichtigung der jeweiligen Stickstoffpreise sowie der aktuellen Erzeugerpreise kann die ökonomisch beste Menge formal ermittelt werden.

In Schritt 3 kommt eine neu entwickelte Heuristik zur Anwendung, um die *ökonomisch* günstigste Düngerkombination für die in den ersten beiden Schritten berechneten Düngemengen (N, P, K, S und Mg) zu ermitteln. Die Heuristik vergleicht bis zu 200 verschiedene in der Praxis verwendete Düngeansätze und übernimmt die jeweils finanziell günstigste Alternative in einen finalen Düngevorschlag.

Abbildung 1 verdeutlicht die zuvor beschriebenen drei Schritte des Programms, wobei diese Darstellungsform zusätzlich wiedergibt, welche Prozessschritte seitens des Landwirts getätigt werden, welche Schritte ein mit dem Programm vertrauter Berater übernehmen kann und welche Schritte bzw. Berechnungen durch das Softwareprogramm ausgeführt werden. Die Ziffern 1 bis 4 beziehen sich hierbei auf die Düngebedarfsermittlung (Schritt 1). Die programmseitig umgesetzte Ziffer 5 entspricht der N-Mengen-Reduzierung (Schritt 2) und Ziffer 6 der ebenfalls softwareseitig implementierten Heuristik (Schritt 3).

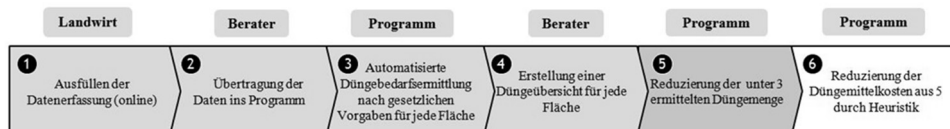


Abb. 1: Prozessuale Sicht mit Unterscheidung zwischen den Akteuren Landwirt, Berater und Programm

4. Ergebnisse und Umsetzungsperspektiven

Den Zielen des Beitrages entsprechend ermöglicht es das Programm, die gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich der vorgeschriebenen Düngebedarfsermittlung und der Dokumentation vollständig zu erfüllen. Zudem fokussiert das Programm eine Maximierung des Deckungsbeitrags des Landwirts. Um die Wirksamkeit des Programms zu untersuchen, wird eine Versuchsserie mit sechs verschiedenen Betrieben durchgeführt, die ca. 300 ha umfasst. Bei der Ermittlung der ökonomisch optimierten Düngemenge, die für Weizen, Gerste, Raps und Zuckerrüben durchgeführt wird, zeigt sich, dass im untersuchten Referenzjahr 2018 für Weizen (minus 22 kg N/ha) und Zuckerrüben (minus 29 kg N/ha) eine deutliche Reduzierung der N-Düngung im Vergleich zur gesetzlich erlaubten Düngemenge – bei einer gleichzeitig maximalen Gewinnmarge – erreicht wird. Da bei den Testbetrieben bekannt ist, welche Düngemengen bzw. Düngemittel ohne Zuhilfenahme des Programms zum Einsatz gekommen wären, ist eine direkte Vergleichbarkeit gegeben und die Quantifizierung des Verbesserungspotenzials möglich. Findet zudem die Heuristik zur Auswahl der ökonomisch vorteilhaftesten Dünger-Kombination Anwendung, können wir die in Abbildung 3 dargestellten Ergebnisse der Versuchsserie reporten.

	Gesamtausgaben für Düngemittel ohne Programm	Gesamtausgaben für Düngemittel nach "BOGU"	Gesamtausgaben für Düngemittel nach "BOGU" und "Heuristik"	Kosteneinsparung durch "BOGU"	Kosteneinsparung durch "Heuristik"
Betrieb 1	7.761 €	7.674 €	7.674 €	-1,1%	0,0%
Betrieb 2	22.941 €	22.086 €	20.898 €	-3,7%	-5,4%
Betrieb 3	6.927 €	5.931 €	5.651 €	-14,4%	-4,7%
Betrieb 4	11.563 €	11.542 €	11.085 €	-0,2%	-4,0%
Betrieb 5	5.013 €	5.013 €	4.640 €	0,0%	-7,4%
Betrieb 6	34.390 €	30.470 €	29.949 €	-11,4%	-1,7%

Tab. 1: Absolute und relative Kosteneinsparung durch die Optimierung des Deckungsbeitrags (Vorgehen nach Heyn [He05] in Anlehnung an Boguslawski: „BOGU“) und dem Einsatz der Düngerauswahl-Heuristik

Eine weiter ausdifferenzierte Betrachtung der N-reduzierten Düngemengen, die sich aus der als ökonomisch optimal ermittelten Düngemenge ergeben, ist in Tabelle 2 wiedergegeben. Sofern dort keine Daten aufgeführt sind, wird die Frucht in diesem Betrieb nicht angebaut. Bei Betrieb 5 handelt es sich um einen reinen Grünlandbetrieb. In Abhängigkeit von der jeweiligen Bodenart, der erfolgten organischen Düngung, den angebauten Vorfrüchten sowie der Ertragserwartung können die N-Düngemengen für Weizen stets reduziert werden. Auch bei Zuckerrüben ist dies möglich. Für Gerste und Raps liegt die ökonomisch optimale Düngemenge im Versuch stets über der gesetzlich erlaubten, maximalen Düngemenge, weswegen hier keine Einsparungen erzielbar sind. Die Höhe der Einsparungen hängt neben der möglichen N-Reduzierung auch von der Anbaufläche der jeweiligen Kulturen im Betrieb ab.

		N-Düngung in kgN/ha			
		Weizen	Gerste	Raps	Zuckerrüben
Betrieb 1	Betriebsvariante	178	137	-	-
	N-reduziert	164	137	-	-
Betrieb 2	Betriebsvariante	189	-	-	-
	N-reduziert	166	-	-	-
Betrieb 3	Betriebsvariante	184	-	-	115
	N-reduziert	168	-	-	60
Betrieb 4	Betriebsvariante	184	137	178	-
	N-reduziert	164	137	178	-
Betrieb 5	Betriebsvariante	-	-	-	-
	N-reduziert	-	-	-	-
Betrieb 6	Betriebsvariante	178	-	-	123
	N-reduziert	166	-	-	60

Tab. 2: Düngemenge nach deckungsbeitragsoptimierter N-Reduzierung (je Betrieb)

Die ebenfalls detaillierter dargestellten Ergebnisse des Einsatzes der Düngerauswahl-Heuristik sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Es zeigt sich, dass Betrieb 1 auch ohne Programm-Unterstützung so gedüngt hätte, wie es die Programm-Heuristik vorsieht. Bei den anderen Betrieben lassen sich durch Austausch von Düngern oder Änderungen der Düngungsreihenfolge Einsparungen erzielen.

		Verwendete Düngemittel			
		N-Dünger	P-Dünger	K-Dünger	Mittlere Anzahl Überfahrten
Betrieb 1	Betriebsvariante	Harnstoff, Alzon	DAP	Korn-Kali 40	4
	Nach Heuristik	Harnstoff, Alzon	DAP	Korn-Kali 40	4
Betrieb 2	Betriebsvariante	NPK, Harnstoff	DAP	Korn-Kali 40	3
	Nach Heuristik	Harnstoff, Alzon, ASS	DAP	Korn-Kali 40	4
Betrieb 3	Betriebsvariante	KAS	NP 12/27	Korn-Kali 60	4
	Nach Heuristik	Harnstoff, ASS	DAP	Korn-Kali 40	4
Betrieb 4	Betriebsvariante	NPK	DAP		3
	Nach Heuristik	KAS, ASS	DAP	Korn-Kali 40	4
Betrieb 5	Betriebsvariante	NPK, Harnstoff	NP 12/27	Korn-Kali 40	4
	Nach Heuristik	Harnstoff, ASS	DAP	Korn-Kali 40	4
Betrieb 6	Betriebsvariante	Alzon, NPK	DAP	Korn-Kali 40	4
	Nach Heuristik	Harnstoff, KAS, ASS	DAP	Korn-Kali 40	5

Tab. 3: Änderung der verwendeten Dünger durch Anwendung der Heuristik (je Betrieb)

Diese Ergebnisse zusammenfassend können durch die N-Mengenreduzierung (vgl. Tabelle 2) im Mittel ca. 5,1 % und durch die Kostenreduzierung mittels Heuristik (vgl. Tabelle 3) zusätzlich ca. 3,9 % der Düngerkosten eingespart werden.

5. Schlussfolgerungen

Mithilfe unseres Ansatzes, der gesetzliche Vorgaben und ökonomisches Vorgehen verbindet, legen wir dar, dass eine Reduzierung der Düngemenge und damit verbunden eine Kosteneinsparung erreicht werden kann. Wenngleich diese ersten Ergebnisse

vielversprechend erscheinen, gilt es zu berücksichtigen, dass auf Basis von sechs Testbetrieben mit durchschnittlich 50 ha keine repräsentativen Resultate ermittelt werden konnten. Es sind weitere Praxisversuche und Sensitivitätsanalysen notwendig, um gesicherte Aussagen über die Einsatz- und Einsparungsmöglichkeiten des Programms treffen zu können. Des Weiteren erscheint die Berechnung des Einsparpotenzials bei der N-Reduzierung ausbaufähig, wenn Praxisversuchsreihen für weitere Früchte im Programm hinterlegt werden. Aufgrund der räumlichen Nähe der aktuell untersuchten Betriebe kann bisher keine Aussage darüber getroffen werden, in welchem Umfang die Ergebnisse von der geografischen Lage und verschiedenen Bodenarten beeinflusst werden. Wenngleich diese Einflussfaktoren durch Einbeziehung der Versuchsreihe des LLH Hessen, der diese über mehrere Jahre an verschiedenen Standorten durchgeführt hat [He05], teilweise berücksichtigt werden konnten, erscheint eine Erweiterung der bisherigen Versuchsreihe geboten.

Literaturverzeichnis

- [BM17] BMLE (2017): Daten und Fakten. Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft. Hg. v. Bundesministerium für Landwirtschaft und Ernährung.
- [Bu17] Bundesministerium der Justiz und für Verbraucherschutz (2017): Verordnung über die Anwendung von Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln nach den Grundsätzen der guten fachlichen Praxis beim Düngen.
- [EK16] Europäische Kommission: Nitratbelastung in Gewässern: EU-Kommission verklagt Deutschland, https://ec.europa.eu/germany/news/nitratbelastung-gew%C3%A4ssern-eu-kommission-verklagt-deutschland_de, 01.11.2018.
- [He05] Heyn, J. (2005): Die Anwendung der Ertragskurvenberechnung nach Boguslawski und Schneider bei der Auswertung aktueller N-Steigerungsversuchsserien. In: Archives of Agronomy and Soil Science, 51 (5), S. 487-499.
- [La16] Ladha, J.K.; Tirol-Padre, A.; Reddy, C.K.; Cassman, K.G.; Verma, Sudhir; Powlson, D.S. et al. (2016): Global nitrogen budgets in cereals. In: Scientific Reports 6, 19355.
- [Ne18] Next Düngeplanung OFFICE <https://www.nextfarming.de/produkte/next-farming-office/next-duengeplanung-office/>, 13.12.2018.
- [Re14] Reckleben, Y. (2014): Sensoren für die Stickstoffdüngung-Erfahrungen in 12 Jahren praktischem Einsatz. In: Journal für Kulturpflanzen 66(2), S. 42-47.
- [WD18] Wendland, M.; Diepolder, M.; Offenberger, K.; Raschbacher, S. (2018): Leitfaden für die Düngung von Acker- und Grünland. Hg. von: LFL Bayern, Freising.
- [WG17] Wörle, M.; Gaugler, T. (2017): IT-gestützte Optimierung der Düngeplanung in kleinen und mittleren landwirtschaftlichen Betrieben. In: GI-Edition Lecture Notes in Informatics, S. 169-172.
- [Ya18] Yara Plan: <https://www.365farmnet.com/produkt/bausteine/pflanze/yara-duengeplanung/>, 13.12.2018.
- [ZZ07] Zhang, W.J.; Zhang, X.Y. (2007): A forecast analysis on fertilizers consumption worldwide. In: Environmental Monitoring and Assessment 133 (1-3).