

Algorithmusbasierte Düngungsplanung und digitale Gebrauchstauglichkeit

Wirtschaftsdünger-Bewertung kann Verständnis für Optimierungsergebnisse erleichtern

Jan-Hendrik Buhk¹, Hans-Hennig Sundermeier¹ und Uwe Latacz-Lohmann¹

Abstract: Effizientes Nährstoffmanagement gehört nach dem Green Deal der EU zu den vordringlichen Handlungsfeldern der Gemeinsamen Agrarpolitik. Die derzeit für Entscheidungshilfen benutzten Methoden modellieren die individuelle einzelbetriebliche zeitliche, räumliche und ökonomische Allokationskomplexität nur unzureichend. Düngungsplanung mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung (MILP) ermittelt unter simultaner Berücksichtigung aller relevanten Bedingungen die betrieblich optimale Kombination aus Wirtschafts- und Handelsdüngeraufbringungsalternativen und eröffnet damit eine gebrauchstaugliche Digitalisierung von Routine-Entscheidungsprozessen für die Praxis.

Keywords: Düngungsplanung, Düngeverordnung, DüV, Lineare Programmierung, MILP, Gebrauchstauglichkeit

1 Einleitung

Der europäische Green Deal soll das Naturkapital der EU schützen und dabei u. a. ein faires, gesundes und umweltfreundliches Lebensmittelsystem entstehen lassen. Zu den in der Gemeinsamen Agrarpolitik zur Zielerreichung vereinbarten prioritären Handlungsfeldern gehört auch das Nährstoffmanagement mit dem Ziel, Nährstoffausträge von Wirtschaftsdüngern in die Umwelt zu reduzieren. Insbesondere in Regionen mit räumlich stark konzentrierter Tierhaltung belasten Stickstoff- und Phosphat-Austräge Grund- und Oberflächenwasser. Die Gemeinsame Agrarpolitik will im Zielbündel „Umweltschutz“ die Düngemittelmengen reduzieren und ihre Verwendung u. a. durch verbesserte Düngungsberatung – auch digital unterstützt – effizienter gestalten.

Da das Sachproblem schon seit geraumer Zeit besteht, sind eine Reihe von Entscheidungshilfen (decision support tools, DST) zur Düngungsplanung und – in besonders gefährdeten Gebieten – auch spezialisierte Beratungsorganisationen zum Gewässerschutz entstanden. Exemplarisch offenbaren die Reviews von Karmakar et al. [Ka07] für Nordamerika als auch von Nicholson et al. für die EU [Ni20] die Vielzahl der DST, die Vielfalt ihrer

¹ Institut für Agrarökonomie der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Wilhelm-Seelig-Platz 6/7, 24118 Kiel; jhbuhk@ae.uni-kiel.de; hhsundermeier@ae.uni-kiel.de; ulatacz@ae.uni-kiel.de

methodischen Ansätze (Tabellenkalkulation, (dynamische) Systemsimulation, Expertensysteme, ...) aber auch (bei [Ni20]) die jeweiligen Defizite der Gebrauchstauglichkeit.

Trotz gestiegenen gesellschaftlichen Drucks und Verschärfung ordnungsrechtlicher Regelungen (in Deutschland z. B. durch die Düngeverordnung 2017 und ihre Novelle 2020 sowie durch die Stoffstrombilanzverordnung) akzeptieren die Landwirte DST und Beratung zur Düngungsplanung nicht im erstrebten Maß (s. z. B. [Da18]). Offensichtlich verfehlen die in den vergangenen Jahrzehnten entwickelten bzw. derzeit verfügbaren Entscheidungshilfen zur Düngungsplanung deren ambitionierte Einsatzziele – insbesondere für Wirtschaftsdünger.

Schils et al. [Sc20] sehen im „fertilizer replacement value“ (FRV) den Ausgangspunkt für eine zutreffende Bewertung von Wirtschaftsdüngern („organic residue“) in Düngungsplanungen und definieren: „The fertilizer replacement value (FRV) of an organic residue – given crop type, soil type, application time, and application method – specifies how much standard mineral fertilizer – given formulation, application time, and application method – is needed for a similar crop response measured over a given period. The FRV is expressed as kilograms mineral fertilizer-nutrient per 100 kg manure-nutrient“ [Sc20, S. 205].

Diese rein agronomische Ermittlung von naturalertragsneutralen Nährstoff-Wirkungsäquivalenten der Wirtschaftsdünger basiert zwar auf dem Gleichwertigkeitsprinzip der jeweiligen Nährstofffraktionen; sie abstrahiert jedoch von den individuellen, situationsspezifischen betrieblichen Gegebenheiten zu den verschiedenen Entscheidungszeitpunkten im Düngejahr (z. B. kann ein Wirtschaftsdünger gar nicht oder nicht in der entsprechenden Menge verfügbar sein) und insbesondere von der intrinsisch ökonomischen Motivation der Entscheidungsträger. Bei gegebenem Anbauprogramm, unterstellten Ertragserwartungen und durch Bodenproben fundierten Versorgungszuständen der einzelnen Flächen bzw. Bewirtschaftungseinheiten sind Beschaffung und Aufbringung der Handelsdünger zur Schließung der Nährstoffdefizite relativ einfach planbar. Die Handelsdüngerbeschaffung ist von weiteren betrieblichen Managementkomplexen weitgehend unabhängig. Lediglich bei ihrer Aufbringung sind Transportentfernungen, Aufbringmengen und Verfahrenstechnik in den Aufbringungskosten zu differenzieren.

2 Entscheidungsalternativen aus betrieblicher Sicht

Wirtschaftsdünger aus der Tierhaltung bzw. aus dem Betrieb von Biogasanlagen (Gärückstände) sind mit dem laufenden Stoffstrommanagement der jeweiligen Herkunftsprozesse eng verflochten und davon losgelöst nicht disponibel. Abbildung 1 zeigt dieses Beziehungsgeflecht in einem vereinfachten Schema. An anderer Stelle [BS19] haben wir bereits unsere Auffassung dargelegt, dass die Düngungsplanung (zu welchem Zeitpunkt sind auf welchem Schlag welche Mengen an Wirtschafts- und/oder Handelsdünger aufzubringen) vornehmlich als zeitliches und räumliches Allokationsproblem anzusehen und daher

als mathematische Lösungsmethode die Lineare Programmierung (LP) vorzugsweise einzusetzen sei. Terminologie, Inhalt und Anordnung der Modellkonstituenten erfolgen in Abbildung 1 vor diesem Hintergrund (Aufbau einer LP-Matrix).

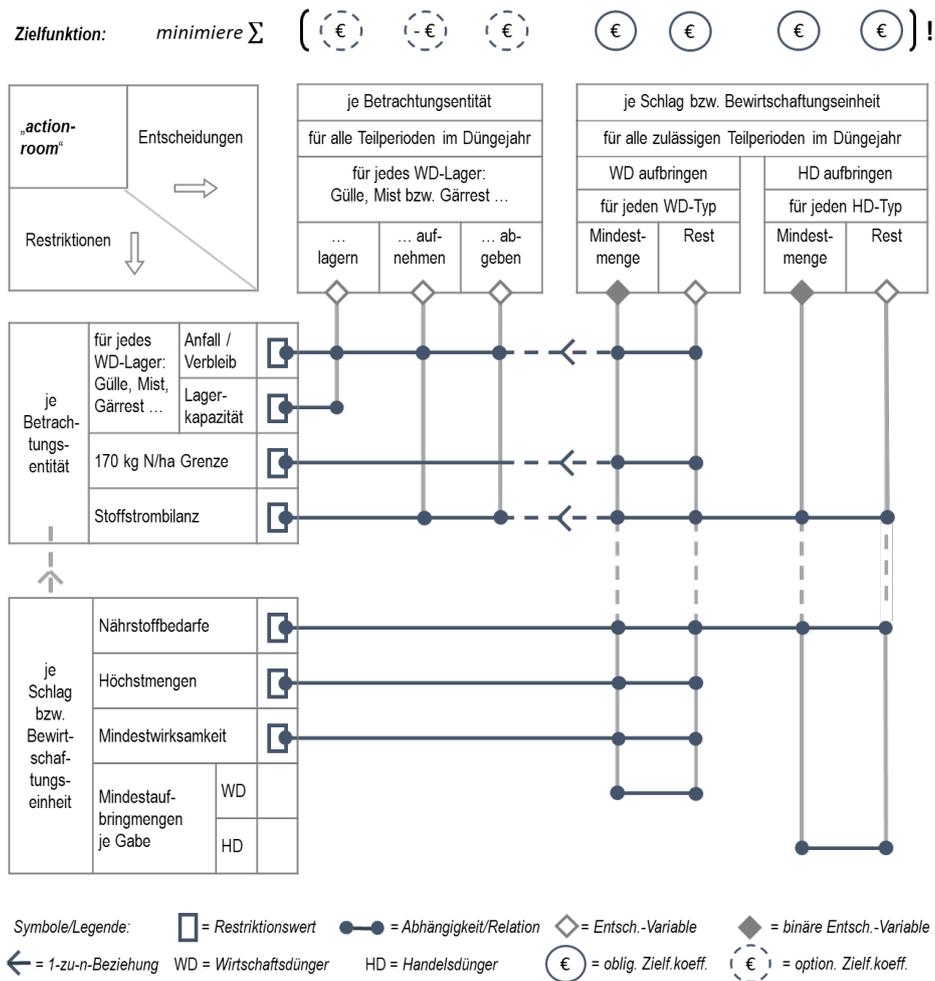


Abb. 1: Architektur der Entscheidungshilfe zur Düngungsplanung mit MILP

Die übergeordnete Zielfunktion verkörpert hier symbolisch die ökonomische Motivation des Entscheidungsträgers: Ermittle die Kombination von Düngungsmaßnahmen, die alle

Restriktionen (Anforderungen und Beschränkungen) zu minimalen Kosten befriedigt.

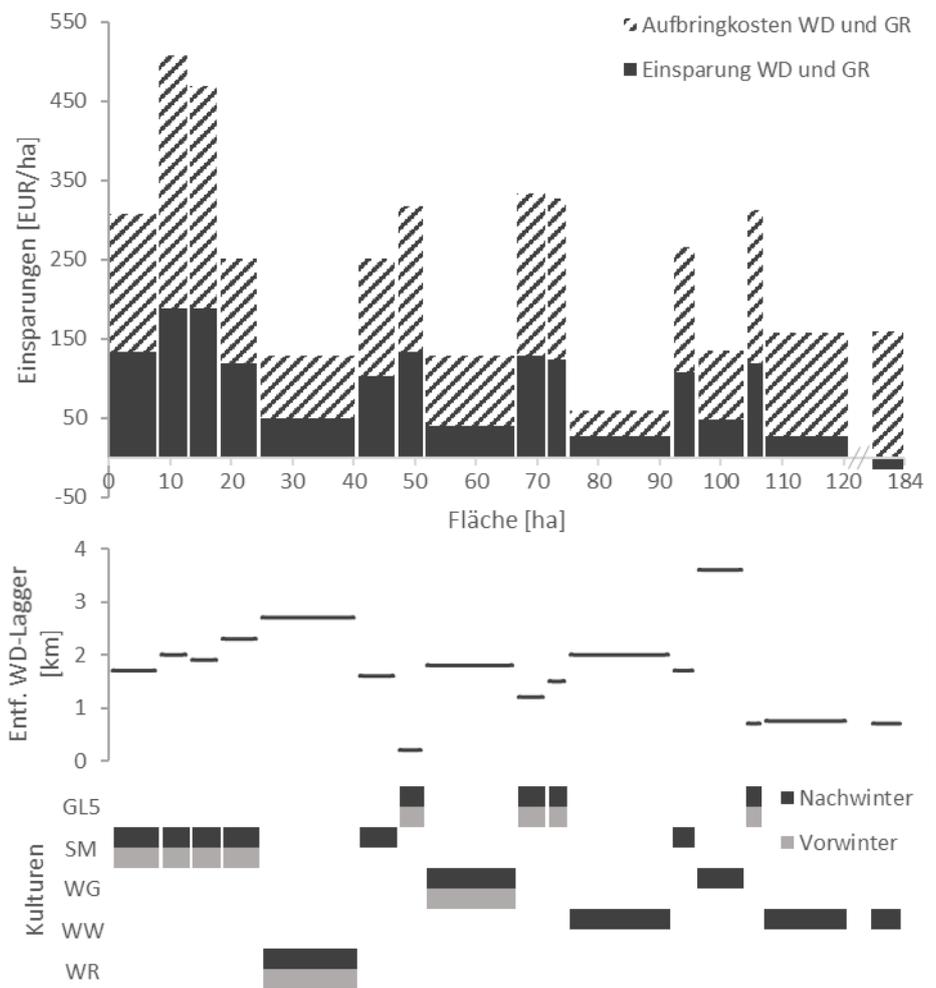
Jede Entscheidungsalternative zur Aufbringung von Wirtschaftsdünger ist mit den betrieblichen Prozesskomplexen des Anfalls, des Verbleibs, der Lagerung und damit auch der Lagerkapazitäten verbunden. Jede einzelne Wirtschaftsdüngeraufbringungsalternative kann auf den Einzelschlägen (den agronomischen Komplexen bestehend aus den zeitlich und mengenmäßig differenzierten Nährstoffbedarfen, Höchstmengenbeschränkungen und Mindestwirksamkeitsannahmen) Handelsdünger substituieren. Die wesentlichen pflanzenbaulichen und agrotechnischen Differenzierungsaspekte aller Parzellen können – soweit sie zu Beginn des Düngejahrs bekannt sind – zeitlich differenziert einfließen. Mindestmengen bei den Aufbringprozessen und degressive Aufbringungskosten lassen sich mit binären Entscheidungsvariablen abbilden. Die Methode der Linearen Programmierung (LP) ist daher um „Gemischt-Ganzzahligkeit“ (mixed integer) zu erweitern zu MILP.

3 Verwertung und Bewertung von Wirtschaftsdünger

Mit dem dargestellten Ansatz lassen sich Wirtschaftsdünger und Gärrückstände zeitlich im Düngejahr und räumlich auf den Einzelschlägen optimal kombinieren und situationspezifisch bewerten. Die Simultaneität im Optimierungsprozess stellt dabei die bestmögliche Verwertung der Wirtschaftsdünger sicher und verhindert gleichzeitig eine Überschätzung des Wirtschaftsdüngerwertes dieser, wie sie bei einer Bewertung über die Nährstoffgehalte durch ungenutzte Nährstoffe entstehen könnte. Die in Abbildung 2 als Ersparnispotenzial dargestellten Wirtschaftsdüngerwerte gehen aus einem Vergleich der realen Entscheidungssituation eines Betriebes mit einer fiktiven, in welcher ausschließlich Handelsdünger die Bedarfswerte befriedigen können, hervor. Dieses Vorgehen behebt die oben dargestellten Abbildungsdefizite des FRV.

Gesamtbetrieblich erzielte der Wirtschaftsdüngereinsatz im aus [BS19] und [BSL20] bekannten Beispielbetrieb bei Einhaltung der DüV 2020 eine Ersparnis von 17.368 Euro, welche dem Wert der Wirtschaftsdünger und Gärrückstände insgesamt entspricht. Der schlagspezifische Beitrag geht aus Abbildung 2 hervor: Die größte Einsparung von ca. 1.040 Euro ($8 \text{ ha} \times 130 \text{ Euro/ha}$) trägt ein zum Silomaisanbau genutzter Schlag in 1,7 km Entfernung zur Lagerstätte bei. Dabei reduzieren die Aufbringungskosten das Gesamtersparnispotenzial (Einsparung + Aufbringungskosten) stark. Auf kleineren Schlägen sind die Aufbringungskosten im Vergleich höher, dennoch können hier hohe Einsparungen erzielt werden. Silomais – teilweise nach Zwischen- oder Zweitfrüchten – und Winterraps sind die Kulturen, welche in diesem Betrieb den Wirtschaftsdünger am besten verwerten. Eine Wirtschaftsdüngeraufbringung im Spätsommer und Herbst scheint hohen Ersparnissen trotz der schlechteren Stickstoffverwertung nicht entgegenzuwirken. Dies kann ebenfalls an den knappen Lagerkapazitäten liegen, die eine Aufbringung im Vorwinter unumgänglich machen. Auf dem letzten Schlag in Abbildung 2 kommt es sogar zu einer negativen Einsparung durch eine Wirtschaftsdüngung, d.h. zu zusätzlichen Kosten: Die Aufbringungskosten der Wirtschaftsdünger sind höher als deren Ersparnis aus den

substituierten Nährstoffen. Damit ist der Wert der Wirtschaftsdünger auf diesem Schlag negativ. Eine Aufbringung ist dennoch einer Weiterlagerung oder Abgabe vorzuziehen.



WD = Wirtschaftsdünger, GR = Gärrückstand, Entf. = Entfernung, GL5 = Grünland (5 Schnitte), SM = Silomais, WG = Wintergerste, WW = Winterweizen, WR = Winterraps

Abb. 2: Ersparnispotenzial durch Wirtschaftsdünger und Gärrückstände bei zeitlich und räumlich optimaler Düngeraufbringung im Vergleich zu optimaler Handelsdüngung – Schläge absteigend geschichtet nach Ersparnis (dunkle Rechtecke), ergänzt um Schlagentfernung zur Lagerstätte und jeweilige Fruchtart sowie Aufbringungszeitraum (Auszug für 16 von insgesamt 30 Schlägen)

4 Fazit

Entscheidungshilfen sind gemäß DIN EN ISO 9241-11 gebrauchstauglich, wenn sie in ihrem Nutzungskontext die gesetzten Ziele effektiv, effizient und für den Nutzer zufriedenstellend erreichen. Die vorgestellte, MILP-basierte Entscheidungshilfe zur Düngungsplanung erscheint für die landwirtschaftliche Praxis in folgenden Aspekten besonders gebrauchstauglich: Sie modelliert im einzelbetrieblichen Nutzungskontext die zentrale Aufgabenstellung: Wann (im Düngejahr) sind wo (auf welchem Schlag) welche Mengen an Wirtschaftsdünger und/oder Handelsdünger aufzubringen, um die schlag- bzw. fruchtart- sowie vegetationspezifischen Nährstoffbedarfe wirtschaftlich effizient (kostenminimal bei gegebener Ertragsersparnis) zu befriedigen? Sie berücksichtigt dabei effektiv und simultan alle Substitutionsmöglichkeiten von Handels- und Wirtschaftsdüngern (fertilizer replacement), deren Beschaffungskosten bzw. Abnahmevergütungen sowie deren mengen-, verfahrens- und entfernungsabhängigen Aufbringungskosten. Die vorentscheidungsfreie Abbildung des vollständigen Alternativenraums im Düngejahr (insbesondere die Verflechtung zu Anfall, Lagerung und Lagerkapazitäten der Wirtschaftsdünger einschließlich der operationalen und wirtschaftlichen Eigenschaften der Aufbringungslogistik) sowie die Ermittlung der Optimalkombination durch den MILP-Algorithmus führen stets zur bestmöglichen Nährstoffverwertungseffizienz des Wirtschaftsdüngeranfalls.

Literaturverzeichnis

- [BS19] Buhk, J.-H.; Sundermeier, H.-H.: Düngungsplanung mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung: bedarfsgerecht, betriebsspezifisch, kostenminimal und verordnungskonform. In (Meyer-Aurich, A. et al., Hrsg.): Referate der 39. GIL-Jahrestagung in Wien, 18.-19. Februar 2019: Digitalisierung für landwirtschaftliche Betriebe in kleinstrukturierten Regionen – ein Widerspruch in sich? Lecture Notes in Informatics (GI Lecture Notes) 287, S. 31-36, 2019.
- [BSL20] Buhk, J.-H.; Sundermeier, H.-H.; Latacz-Lohmann, U.: Nitratrichtlinie und kostenminimale Wirtschaftsdüngerallokation in Abhängigkeit von der Lagerkapazität – Fallstudie für ein Düngejahr mit gemischt-ganzzahliger Linearer Programmierung. *Austrian Journal of Agricultural Economics and Rural Studies*, 29, S. 105-112, 2020.
- [Da18] Daxini, A. et al.: Which factors influence farmer's intentions to adopt nutrient management planning? *Journal of Environmental Management*, 224, S. 350-360, 2018.
- [Ni20] Nicholson, F. et al.: How can Decision Support Tools Help Reduce Nitrate and Pesticide Pollution from Agriculture? A Literature Review and Practical Insights from the EU FAIRWAY Project. *Water* 2020, 12, 768, 2020.
- [Ka07] Karmakar, S. et al.: Integrated decision support system (DSS) for manure management: A review and perspective. *Computers and Electronics in Agriculture* 57, S. 190-201, 2007.
- [Sc20] Schils, René et al.: Fertilizer Replacement Value: Linking Organic Residues to Mineral Fertilizers. In (Meers, E. et al., Hrsg.): *Biorefinery of Inorganics: Recovering Mineral Nutrients from Biomass and Organic Waste*. John Wiley & Sons, 2020.