

Vergleich unterschiedlicher Strategien für teilflächenspezifische und schlageinheitliche Düngung auf Basis von Messungen und Simulationsrechnungen

KURT CHRISTIAN KERSEBAUM, MÜNCHENBERG

HANNES ISAAK REUTER, MÜNCHENBERG

JÜRGEN SCHWARZ, POTSDAM

OLE WENDROTH, MÜNCHENBERG

Abstract

The effects of site specific nitrogen fertilisation were investigated in a field experiment applying different fertiliser strategies. A method based on soil sampling (N_{min}) combined with an optical crop sensor was compared with fertiliser recommendations calculated by the simulation model HERMES for uniform and site specific application. A reduction of nitrate leaching through the application of site specific fertilisation could be estimated for single grid cells compared to the uniform amendment. But on average this advantage could not be demonstrated due to the small area contribution of these zones. The model based recommendations were on average 40 kg N/ha less compared to the N_{min} /sensor method without any reduction in crop grain yield. This led to lower soil mineral nitrogen contents after harvest which means a lower risk of nitrate leaching during the following winter.

1 Einleitung und Problemstellung

Die Berücksichtigung der schlaginternen Variabilität von ertragsbeeinflussenden Faktoren und die hieraus entstehenden Möglichkeiten einer abgestuften, standortangepassten Bewirtschaftung verspricht neben ökonomischen Vorteilen auch einen ökologisch verträglicheren Einsatz von Agrochemikalien sowohl im Bereich der Düngung als auch im Pflanzenschutz. Aus Sicht der Landmaschinenindustrie ist das technische Problem, Nährstoffe ortsspezifisch zu dosieren, weitgehend gelöst. Insbesondere bei der Stickstoffdüngung werden positive Effekte hinsichtlich einer höheren Düngereffizienz erwartet.

In der Bundesrepublik werden derzeit verschiedene Methoden der Düngerbedarfsermittlung für Stickstoff in unterschiedlichem Maße eingesetzt. Bislang unklar ist jedoch, inwieweit die bislang in der Praxis üblichen Verfahren zur Stickstoffbedarfsermittlung in der Lage sind, mit vertretbarem Aufwand der Standortvariabilität und der N-Dynamik Rechnung zu tragen. Bei den meisten messpunktorientierten Verfahren (Bodenuntersuchung, Pflanzenanalyse) wurde die standörtliche Variabilität vor allem wegen des damit verbundenen hohen Arbeits- und Kostenaufwands bislang kaum berücksichtigt. Aussichtsreich ist dagegen die Anwendung von optischen Sensoren, die während der Überfahrt zur Düngung anhand der von Blättern reflektierten Strahlung Mangelzustände erkennen und in ortsspezifische Steuerimpulse für den Düngerstreuer umsetzen (LEITHOLD, 2000). Jedoch stellt auch dieses Verfahren lediglich einen momentanen Zustand dar. Durch die Wechselwirkung sehr unterschiedlicher Prozesse im System Boden-Pflanze ist von einer z. T. sehr schnellen Dynamik des verfügbaren Stickstoffs und zeitlich wenig stabilen räumlichen Verteilungsmustern auszugehen. Durch die Kopplung von prozessorientierten Simulationsmodellen mit Geographischen Informationssystemen erscheint es möglich, räumlich variable, aber zeitstabile Standorteigenschaften (z. B. Textur, Humusgehalt, Relief) in eine zeitliche Dynamik zu transferieren und damit die durch die unterschiedliche saisonale Gewichtung einzelner Prozesse sich verändernden räumlichen Muster des Mineralstickstoffangebots und des Pflanzenwachstums abzubilden. Nach entsprechender Validierung lassen sich durch eine derartige räumlich verteilte Simulation standortspezifisch die Wirkung unterschiedlicher Düngungsstrategien im Vergleich von schlageinheitlicher und teilschlagspezifischer Bewirtschaftung auf die Effizienz und den Austrag von

Stickstoff bestimmen. Darüber hinaus bietet sich die Nutzung des Modells zur Ableitung des Düngerbedarfs als eigenständiges Verfahren an. Zur Untersuchung verschiedener Verfahren der Düngerbedarfsermittlung und der Effekte von teilflächenspezifischer Düngung im Vergleich mit einheitlicher Düngung wurde ein entsprechender Düngungsversuch auf einem Betrieb der Südzucker AG in Sachsen angelegt.

2 Methodik

2.1 Modell

Das bei der vorliegenden Studie eingesetzte Simulationsmodell HERMES (KERSEBAUM, 1995) simuliert auf der Basis von Boden-, Bewirtschaftungs- und täglichen Witterungsdaten die im System Boden/Pflanze ablaufenden Prozesse des Wasserhaushalts, der Mineralisation von Stickstoff, der Denitrifikation, des Nitrattransports mit dem Bodenwasser sowie Wachstum und N-Aufnahme der Pflanzen. Es ist in den vergangenen Jahren bereits zur Berechnung von Stickstoffdüngempfehlungen für ganze Schläge verwendet worden (KERSEBAUM & BEBLIK, 2001). Eine detaillierte Beschreibung des Modells und seiner Aussagefähigkeit findet sich in den oben genannten Quellen.

2.2 Standortcharakterisierung

2.2.1 Bodenuntersuchungen

Der Schlag "Sportkomplex" liegt in einer hügeligen Landschaft bei Lüttewitz/Sachsen in einem Ackerbaubetrieb der Südzucker AG. Er wird bereits seit 1997 im Rahmen eines von der Industrie (Südzucker, AGROCOM, Amazone) und der DFG geförderten Forschungsprojektes untersucht. Die Bodenvariabilität des ca. 30 ha großen Schlages ist durch die geringen Texturunterschiede der äolischen Lößauflage gering. Dagegen ist das Gelände stark hügelig, so daß innerhalb der Schläges Höhenunterschiede von bis zu 30 m auftreten. Trotz des relativ homogenen Bodensubstrates zeigt der Schlag eine deutliche Variabilität der Erträge.

Die stabilen Bodencharakteristika (Textur, C_{org}) wurden an 64 Punkten (Doppelraster) des insgesamt 225 Punkte umfassenden Standardrasters bestimmt. Die Tongehalte zeigen eine Spannbreite von lediglich 10%, was bei der Dominanz des Schluffanteils nur zu geringen Effekten bei der Ableitung der Bodenwasserhaushaltskenngrößen führt.

Zu Beginn (August 97) und jeweils nach der Ernte 1998 und 1999 wurden die N_{min} -Gehalte an allen 225 Rasterpunkten bestimmt, während zu mehreren Zwischenterminen lediglich ausgewählte Punkte des Standardrasters untersucht wurden. Diese Messungen dienten zusammen mit der jährlichen Ertragskartierung einer ersten Validierung des Modells, bevor es für die Anbauperiode 1999/2000 für den Vergleich unterschiedlicher Düngungsempfehlungsmethoden genutzt wurde.

2.2.2 Reliefanalyse

Erste Berechnungen mit dem Modell HERMES für den Schlag Sportkomplex auf der Basis der Bodenuntersuchungsergebnisse zeigten aufgrund der relativ homogenen Bodenverhältnisse zwar im Mittel eine gute Übereinstimmung zwischen gemessenen und simulierten Erträgen, konnten die beobachtete Ertragsvariabilität jedoch kaum erklären. Daher wurde auf der Basis einer Laserscanbefliegung ein hochauflösendes Geländemodell erstellt und mit Hilfe von Reliefanalysewerkzeugen (Tapes-G, GALLANT & WILSON, 1996) ein räumliches Muster für den topographischen Wetnessindex sowie für die Sonneneinstrahlung (relativ zur Messung der automatischen Wetterstation) erstellt. Details zur Berechnung der Strahlungsvariabilität sind bei REUTER ET AL. (2001) dargestellt. Diese beiden Größen wurden im Modell verwendet, um einerseits die unterschiedliche Photosynthese sowie die an einigen Stellen durch Vernässung hervorgerufene Wachstumshemmung abzubilden.

2.3 Düngungsstrategien

Der Schlag wurde entsprechend der Arbeitsbreite der Ausbringungsgeräte in ein Raster von 54 x 54 m unterteilt. Von den 8 entstehenden Streifen wurden 4 Streifen teilschlagspezifisch nach Empfehlung des Modells HERMES gedüngt (Variante "ortsspezifisch"). N_{\min} -Messungen wurden lediglich für den Start des Modells im Sommer 1999 verwendet. Details zur Ableitung der Düngung durch das Modell sind bei KERSEBAUM & BEBLIK (2001) dargestellt. Auf den verbleibenden 4 Streifen wurden in einer randomisierten Blockanlage die Vergleichsvarianten etabliert. Hierzu gehörte eine nicht gedüngte Variante ("Null" = 4 Zellen), je 8 Parzellen mit einer über den Schlag gemittelten einheitlichen Düngung nach HERMES (Variante "HERMES") sowie eine weitere Variante, die gegenüber der HERMES-Variante 30% mehr Stickstoff erhielt (Variante "HERMES +30%"). Auf weiteren Rasterzellen wurde eine sogenannte "konventionelle" Variante eingerichtet, für die die erste N-Düngung schlageinheitlich nach N_{\min} -Sollwert durchgeführt wurde. Eine zweite und dritte Gabe erfolgte teilschlagspezifisch mit Hilfe des Hydro-N-Sensors (LEITHOLD, 2000). Die Anordnung der Varianten und die Höhe der Gesamt-N-Düngung zu Winterweizen sind in Abb. 1 dargestellt. Eine detaillierte Darstellung der Versuchsanlage findet sich bei SCHWARZ ET AL. (2001).

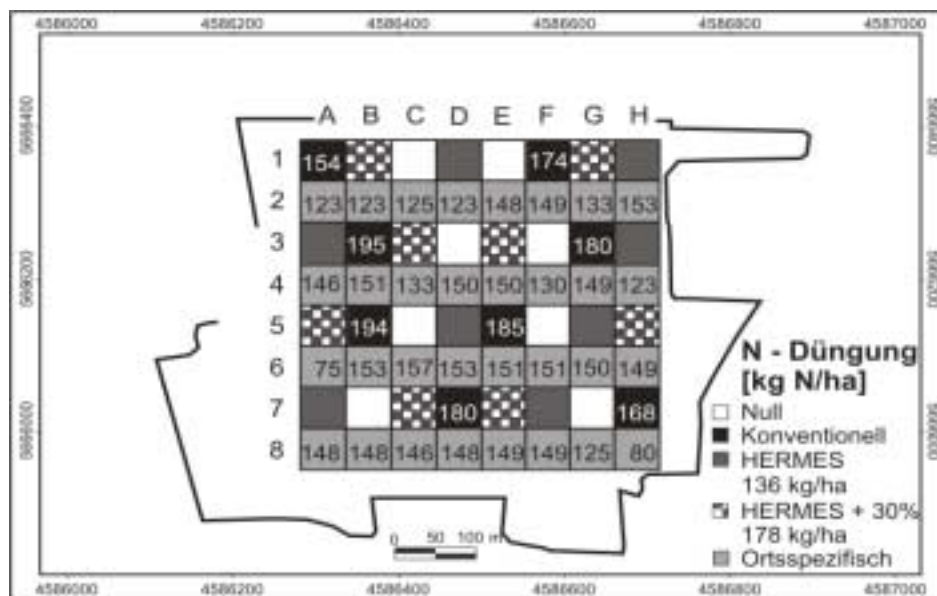


Abb. 1: Anlage der Düngevarianten auf Schlag Sportkomplex/Lüttewitz mit Angaben zur Gesamthöhe der Stickstoffdüngung zu Winterweizen.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Düngungsversuchs sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Es zeigt sich, daß es Unterschiede bei den residualen N_{\min} -Mengen nach der Ernte in Abhängigkeit vom Düngeraufwand gibt (Tab. 1). Diese Unterschiede im Düngeraufwand führen jedoch mit Ausnahme der Nullparzellen zu keinen signifikanten Ertragsunterschieden. Die beiden Varianten HERMES und "HERMES ortsspezifisch" zeigen aufgrund des um ca. 40 kg N/ha geringeren Düngeraufwands im Mittel niedrigere Rest- N_{\min} -Mengen.

Da die Flächenausstattung der Varianten in Bezug auf die Bodeneigenschaften unterschiedlich ist, ist ein solcher Vergleich zunächst wenig aussagefähig. Erst das Simulationsszenario schafft die Voraussetzungen die Ergebnisse für identische Flächen zu vergleichen, indem die jeweils andere Bewirtschaftungsweise virtuell auf die jeweils anderen Parzellen projiziert werden.

Transferiert man die einheitliche Bewirtschaftung (Szenario "HERMES" und "HERMES + 30%") auf die "ortsspezifisch" und "konventionell" gedüngten Parzellen, zeigt sich, daß bei

gleichem mittleren Düngungsniveau im Mittel kaum Unterschiede zwischen den einheitlichen und variablen Varianten erkennbar sind. Lediglich bei Betrachtung einzelner Rasterzellen, in denen aufgrund von ungünstigen Standorteigenschaften das Pflanzenwachstum gehemmt ist (z. B. im Bereich der Senke) können Effekte im Hinblick auf die Verminderung der N-Austräge aufgezeigt werden. Aufgrund des geringen Flächenanteils wird dies in den Mittelwerten nicht deutlich. Es zeigt jedoch das grundsätzliche Potential, welches in einer ortsspezifischen Bewirtschaftung liegt. Zur Nutzung dieses Potentials ist es jedoch notwendig, sich bei der Nährstoffversorgung der Schwelle zum Ertragsrückgang möglichst eng anzunähern um ökologische Effekte zu realisieren. Zur weiteren Prüfung wird der Versuch in ähnlicher Konstellation im Jahr 2002 wiederholt.

Tab. 1: Gemessene und simulierte Erträge, N_{\min} -Gehalte und Nitratauswaschungsmengen für den Schlag Sportkomplex für unterschiedlich gedüngte Varianten.

Strategie (mittl. N-Düngung)	reale Bewirtschaftung					Szenario HERMES		Szenario HERMES+30%	
	Ertrag TM (t ha ⁻¹)		N_{\min} (kg N ha ⁻¹) 0 - 90 cm		N Austrag (kg N ha ⁻¹)	Ertrag TM (t ha ⁻¹)	N Austrag (kg N ha ⁻¹)	Ertrag TM (t ha ⁻¹)	N Austrag (kg N ha ⁻¹)
	Mess	Sim	Mess	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Null	4.6	5.2	39	17	0	6.2	2.8	6.2	5.4
Konventionell (179 kg N ha ⁻¹)	6.9	6.7	60	73	5.8	6.6	2.9	6.6	5.9
HERMES (136 kg N ha ⁻¹)	6.8	6.6	48	36	4.0			6.6	7.5
HERMES+30% (178 kg N ha ⁻¹)	7.0	6.5	65	67	9.0	6.4	5.1		
Ortsspezifisch (139 kg N ha ⁻¹)	6.8	6.5	44	44	5.3	6.7	5.3	6.7	9.0

4 Literatur

- GALLANT, J. C. & J. P. WILSON (1996): TAPESG: A terrain analysis program for the environmental sciences. *Computers and Geosciences* **22**: 713-722.
- KERSEBAUM, K. C. (1995): Application of a simple management model to simulate water and nitrogen dynamics. *Ecological Modelling* **81**, 145 - 156.
- KERSEBAUM, K.C., & A. J. BEBLIK (2001): Performance of a nitrogen dynamics model applied to evaluate agricultural management practices. In: SHAFFER, M. J., L. MA & S. HANSEN (EDS.): *Modeling carbon and nitrogen dynamics for soil management*. Lewis Publishers, Boca Raton, 549 - 569.
- LEITHOLD, P. (2000): Der Hydro N Sensor bestimmt den Stickstoffbedarf von Getreide. *Neue Landwirtschaft* **1**, 56 - 57.
- REUTER, H. I., WENDROTH, O., KERSEBAUM, K. C., SCHWARZ, J. (2001) Solar radiation modelling for precision farming - a feasible approach for better understanding variability of crop production. In: GRENIER, G. & S. BLACKMORE [EDS.]: *Proc. 3rd European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, 845 - 850.
- SCHWARZ, J., K. C. KERSEBAUM, H. I. REUTER, O. WENDROTH & P. JÜRSCHIK (2001): Site specific fertiliser application with regard to soil and plant parameters. In: GRENIER, G. & S. BLACKMORE [EDS.]: *Proc. 3rd European Conference on Precision Agriculture*, Montpellier, 713-718.

Danksagung: Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft sowie den Firmen Südzucker AG, Amazone und Agrocom für ihre Förderung und Unterstützung.