

Ökonomische Aspekte von Precision Farming – aktueller Stand und Perspektiven

Economic Aspects of Precision Farming Technologies – Current State and Future Perspectives

Markus GANDORFER, Andreas MEYER-AURICH und Martin KAPFER

Zusammenfassung

Dieser Beitrag zeigt, dass die teilflächenspezifische Applikation von Betriebsmitteln aufgrund des flachen Verlaufs der inputkostenfreien Leistung (Payoff-Funktion) im Bereich des Optimums meist nur geringe ökonomische Vorteile bietet. Durch die alleinige Anpassung des Betriebsmitteleinsatzes sind daher nur begrenzte ökonomische Effekte zu erwarten. Der Einsatz von Precision Farming wird vielmehr dann ökonomisch relevant, wenn dies dazu führt, dass die Payoff-Funktion auf ein höheres Niveau verschoben wird. Als Beispiele dafür werden die qualitätsdifferenzierte Ernte und Controlled-Traffic-Farming genannt.

Schlagnworte: Precision Farming, ökonomische Bewertung, Produktionsfunktion

Summary

The main conclusion of this paper is that economic benefits of site specific management of inputs are often limited by flat site-specific payoff functions in the area where the economic optimum can be found. Therefore, we conclude that future perspectives of precision farming are technologies which generate a new payoff function at a higher level rather than technologies which aim at improving management decisions about existing technologies. Examples for such

technologies might be quality specific harvesting or controlled traffic farming.

Keywords: Precision farming, economic evaluation, response function

1. Hintergrund

Precision-Farming wird seit längerer Zeit erforscht und teilweise in der Praxis eingesetzt. Die Teilflächenbewirtschaftung, z.B. die kleinräumige Anpassung der Betriebsmittelapplikation ist dabei sicherlich die bekannteste Form des Precision-Farming. Neben der Teilflächenbewirtschaftung zählen aber auch die automatische Dokumentation oder die Feldrobotik zum Precision-Farming. Parallelfahrssysteme, die unnötige Überlappungen bei Feldarbeiten weitgehend vermeiden, könnte man beispielsweise schon als Feldrobotik betrachten. Soll die Teilflächenbewirtschaftung in der Praxis angewendet werden, so sind zwei Schritte notwendig. In einem ersten Schritt muss die Standortheterogenität erfasst werden, dazu stehen verschiedene Sensoren, Methoden der Fernerkundung oder historische Informationen, wie z.B. in Deutschland die Reichsbodenschätzung zur Verfügung. Im zweiten Schritt müssen diese Informationen mit Hilfe von Entscheidungsregeln zur kleinräumigen Applikation der Betriebsmittel angewendet werden.

Während die Erfassung von Boden- und Pflanzenheterogenitätsparametern mittlerweile durch eine Reihe von Sensoren und Informationsgrundlagen möglich ist, bereitet die Aufarbeitung der Informationen zu Entscheidungsregeln größere Schwierigkeiten (REICHARDT und JÜRGENS, 2009). Dies liegt vor allem daran, dass sich die Forschung immer noch auf die Erfassung der Standortheterogenität konzentriert. Weitere Probleme bei der Praxiseinführung von Precision-Farming stellen die mangelhafte Kompatibilität verschiedener Komponenten, lange Lernphasen und der hohe Investitionsbedarf dar.

2. Aktueller Stand

Die Vorteilhaftigkeit des Einsatzes von Precision-Farming-Technologien hängt von einer Reihe von Faktoren ab, die von den Kosten der eingesetzten Technologien und möglichen Effizienz-

steigerungen durch Einsparung von Betriebsmitteln, Erhöhung der Schlagkraft bzw. Mehrerlösen aufgrund von Mehrerträgen bestimmt sind. Effizienzsteigerungen und damit verbundene Deckungsbeitragssteigerungen durch eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung wurden in Fallstudien und aufgrund experimenteller Versuche beschrieben (GANDORFER et al., 2006; GANDORFER, 2006; DABBERT und KILIAN, 2005; SCHNEIDER und WAGNER, 2008). Interessanterweise wurden in Fallstudien vielfach größere wirtschaftliche Effekte gefunden, als sie durch experimentelle Ansätze (z.B. auf Basis von Produktionsfunktionsanalysen oder Streifenversuchen) belegt werden konnten. Diese Diskrepanz lässt sich durch die Wahl des einheitlichen Referenzsystems begründen und zeigt, dass nicht nur die präzise Ausbringung von Betriebsmitteln, sondern auch die Änderung von Düngestrategien (ohne Investition in Technologien) Effizienzverbesserungen mit sich bringen können. Die Bedeutung dieser Effekte ist weitergehend in GANDORFER et al. (2006) untersucht worden.

Im Folgenden soll nun für verschiedene Anwendungen der Teilflächenbewirtschaftung die ökonomische Vorteilhaftigkeit im Vergleich zur konventionellen flächeneinheitlichen Bewirtschaftung dargestellt werden. Die Bewertung erfolgt dabei anhand der inputkostenfreien Leistung. Diese ergibt sich aus der Differenz des Erlöses und den Inputkosten des Betriebsmittels, das teilflächenspezifisch variiert wird. Die Differenz (Δ) der inputkostenfreien Leistungen von teilflächenspezifischer und einheitlicher Bewirtschaftung gibt auf Teilkostenbasis Auskunft über die ökonomischen Vorteile der Teilflächenbewirtschaftung. Genügt diese Differenz, um die zusätzlichen Kosten für die Investition in die notwendige Technik zu decken, so liefert sie einen Gewinnbeitrag.

Bezüglich der Düngung liegen aktuelle Ergebnisse von SCHNEIDER und WAGNER (2008) vor, die die teilflächenspezifische Stickstoffdüngung auf Basis eines Sensor-Ansatzes sowie eines Mapping-Ansatzes zu Winterweizen und Winterrapen untersucht haben. Die Ergebnisse zeigen dabei, dass es mit dem untersuchten Mapping-Ansatz nicht gelungen ist, eine positive Δ stickstoffkostenfreie Leistung im Vergleich zur einheitlichen Düngung zu erzielen. Im Durchschnitt von sechs Versuchen lag diese mit dem Mapping-Ansatz bei -11,- €/ha. Mit Hilfe des ebenfalls untersuchten Sensor-Ansatzes konnte dagegen im Durchschnitt der vier Versuche eine um 16,- €/ha (+1,- bis 34,- €/ha)

höhere stickstoffkostenfreie Leistung als mit einheitlicher Düngung erzielt werden. Von diesen 16,- €/ha müssen die zusätzlichen Kosten für den Sensor-Ansatz bestritten werden. Diese liegen bei einer Einsatzfläche von 100 ha im Bereich von ca. 65,- €/ha, bei hoher Flächenauslastung kann natürlich eine enorme Kostendegression beobachtet werden, so dass sie bei 1.000 ha Einsatzfläche nur noch ca. 6,50 €/ha betragen (vgl. SCHNEIDER und WAGNER, 2008). D.h., der Sensor-Ansatz liefert in diesem Bereich einen, wenn auch begrenzten, Gewinnbeitrag. Diese Ergebnisse decken sich weitgehend mit denen von GANDORFER (2006), wo ebenfalls die Wirtschaftlichkeit verschiedener Ansätze der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung untersucht wurde. Ähnliche Ergebnisse wie bei der Stickstoffdüngung konnten auch zur teilflächenspezifischen Aussaat gewonnen werden. Hier liegt die Δ saatgutkostenkostenfreie Leistung zwischen -36,- und +23,- €/ha (vgl. SCHNEIDER und WAGNER, 2008). Tabelle 1 zeigt weiterhin Versuchsergebnisse zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation. Auch hier liegen die Δ inputkostenfreien Leistungen in ähnlichen Größenordnungen wie bei der Stickstoffdüngung.

Tab. 1: Versuchsergebnisse zur teilflächenspezifischen Herbizidapplikation bei Mais

Strategie	Δ herbizidkostenfreie Leistung zur einheitlichen Variante €/ha
Teilflächenbewirtschaftung, feste Schadschwelle	17,2
Teilflächenbewirtschaftung, ökonomisch angepasste Schadschwelle	20,1

Quelle: WEIS et al., 2008

Woran liegt es nun, dass die Δ inputkostenfreien Leistungen im Vergleich zur einheitlichen Bewirtschaftung häufig auf einem solch niedrigen Niveau liegen? Hierfür gibt es vielfältige Gründe zu denen die Standortheterogenität der Versuchsfelder oder das Input- und Faktorpreisniveau zählen. Teilweise mag es, wie eingangs erläutert, auch an den (fehlenden) Entscheidungsregeln liegen. Aber der Hauptgrund ist nicht in diesen Faktoren zu suchen, sondern liegt in der Tatsache begründet, dass der Verlauf der inputkostenfreien

Leistung in Abhängigkeit der Inputintensität (Payoff-Funktion) im Pflanzenbau im Bereich des Optimums häufig sehr flach ist. Dieses Problem hat PANNELL (2006) ausführlich erläutert und kommt daher zu dem Schluss, dass es zu abnehmenden Grenzgewinnen durch steigende Präzision bei der Bestimmung von Betriebsmittelinputs kommt, was letztlich die ökonomischen Potenziale von Technologien zur Teilschlagbewirtschaftung begrenzt. Dieser Sachverhalt wird besonders aus den Versuchsergebnissen, die in Tabelle 1 dargestellt sind, deutlich. Ausgehend von einer einheitlichen Herbizidapplikation kann mit einer teilflächenspezifischen Applikation mit festen Schadschwellen eine Steigerung der Δ herbizidkostenkostenfreien Leistung um 17,20 €/ha erzielt werden. Wird die Precision-Farming-Strategie jetzt von festen Schadschwellen auf ökonomisch optimierte Schadschwellen ausgeweitet, so beträgt der Grenznutzen dieser zusätzlichen Information nur noch 2,90 €/ha (20,10 €/ha - 17,20 €/ha). Abbildung 1 zeigt die 95% Vertrauensintervalle für die optimalen speziellen Intensitäten der Stickstoffdüngung in einer Hoch- und Niederertragszone eines Versuchsfeldes bei Winterweizen.

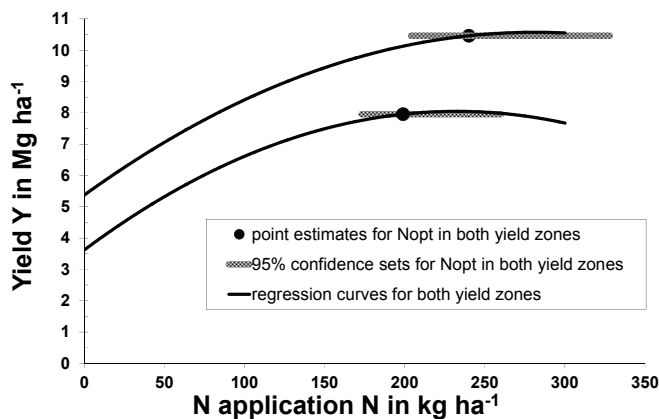


Abb. 1: Vertrauensintervalle für die ökonomisch optimale N-Düngung
 Quelle: verändert nach BACHMAIER und GANDORFER, 2007

Obwohl eine relativ große Standortheterogenität zu beobachten ist, der durchschnittliche Abstand der Produktionsfunktionen beträgt immerhin 20 dt/ha, wird deutlich, dass die Vertrauensintervalle relativ

groß sind und sich überlappen. Demnach unterscheidet sich die optimale Stickstoffintensität beider Teilflächen mit großer Wahrscheinlichkeit nicht. Deshalb erscheint es aus ökonomischer Sicht nicht notwendig zu sein, die Stickstoffdüngung teilflächenspezifisch anzupassen. Dies bedeutet auch, dass die mit der automatischen Ertragsmessung beim Mähdrusch generierten Ertragskarten und die daraus abgeleitete Standortheterogenität nicht ohne weiteres als zuverlässiger Schätzer für den ökonomisch sinnvollen Einsatz von Precision-Farming-Technologien dienen kann.

Welche Schlussfolgerung kann somit aus dem aktuellen Stand der Forschung abgeleitet werden? Teilflächenbewirtschaftung ist somit häufig der Versuch, mit mehr Information (jedoch häufig ohne Entscheidungsregel) auf einer zum Zeitpunkt der Betriebsmittelapplikation unbekanntem dafür aber flachen Payoff-Funktion, teilflächenspezifische optimale speziellen Intensitäten zu identifizieren und entsprechend Betriebsmittel auszubringen.

3. Perspektiven von Precision Farming

Wo können nun die Perspektiven von Precision Farming liegen? Zum einen darin, die eingangs beschriebenen Probleme wie mangelnde Kompatibilität und Beschreibung der Technikkomponenten und fehlende Entscheidungsregeln zu lösen. Zum anderen darin, die zusätzlichen Kosten für die Technik zu senken. Dies wird allerdings nichts daran ändern, dass die Leistungsseite der Teilflächenbewirtschaftung aufgrund des flachen Verlaufs der Funktion der inputkostenfreien Leistung begrenzt ist. Durch alleinige Anpassung des Betriebsmitteleinsatzes sind nur begrenzte ökonomische Effekte zu erwarten. Der Einsatz von Precision Farming wird vielmehr dann ökonomisch relevant, wenn dies dazu führt, dass die Payoff-Funktion auf ein höheres Niveau verschoben wird. Dies kann entweder durch ein Verschieben der naturalen Produktionsfunktion oder von der Preisseite her geschehen. Zwei Beispiele sollen dies verdeutlichen:

(1) Durch den Einsatz von Parallelfahrssystemen, die meist aufgrund der reduzierten Überlappung und der damit verbundenen Reduzierung der Betriebsmittelkosten sowie der Erhöhung der Schlagkraft für sich wirtschaftlich sind (FRANK et al. 2008), ist es möglich ein Bewirtschaftungssystem namens Controlled-Traffic-

Farming zu etablieren. Dabei werden bei jedem Arbeitsgang und über die Jahre hinweg immer dieselben Fahrspuren verwendet (HOLPP und ANKEN 2008). Dies bedeutet, dass der Anteil des befahrenen Bodens und damit die ertragsreduzierende Bodenverdichtung stark vermindert werden. Dies führt letztlich auf unbefahrenen Teilen des Feldes zu einem Verschieben der Produktionsfunktion auf ein höheres Niveau und bietet damit per se größere ökonomische Vorteile.

(2) Durch den Einsatz von Betriebsmitteln wird nicht nur die Menge (Ertrag) sondern vielfach auch die Qualität und, wenn Qualitätsprämien vorhanden sind, damit auch der Erlös bestimmt. In diesen Fällen springt die Erlösfunktion bei Erreichen bestimmter Schwellenwerte auf ein anderes Niveau, was einen gezielten Einsatz von Betriebsmitteln rechtfertigen kann, auch wenn technikbedingt erhöhte Kosten damit verbunden sind (MEYER-AURICH et al. 2010). In diesem Zusammenhang scheinen auch derzeit noch im Forschungsstadium befindliche Ansätze zur qualitätsdifferenzierten Getreideernte aus ökonomischer Sicht erfolgsversprechend (vgl. RISIUS et al. 2008). Hierdurch wird es möglich, unterschiedliche Qualitätsstufen z.B. bei der Sommergerste, die innerhalb eines Feldes auftreten können, voneinander zu trennen und mit Preisvorteilen entsprechend zu vermarkten. Dies wäre eine Möglichkeit, die Erlösfunktion „preisseitig“ durch eine innovative Precision-Farming-Technologie auf ein höheres Niveau zu verschieben.

Die Herausforderung für die Zukunft besteht nun darin, analog zu den beiden angesprochenen Beispielen, Precision-Farming-Technologien zu identifizieren und zu entwickeln, die ein höheres ökonomisches Potenzial aufweisen als die Eingangs angesprochenen klassischen Anwendungen der Teilflächenbewirtschaftung. Dies wäre besonders wegen der häufig mit dem Einsatz von Precision-Farming-Technologien einhergehenden ökologischen Vorteile begrüßenswert.

Literatur

- BACHMAIER, M. und GANDORFER, M. (2007): Computing and Analyzing Confidence Intervals for the Economically Optimum Nitrogen Rate with Respect to Prices, Nitrogen Rate Trial Design and Modeling. E-Journal of Informatics in Agriculture, 2, S. 1-22. (<http://www.ezai.org>, Mai 2011)
- DABBERT, S. und KILIAN, B. (2002): Ökonomie. In: KTBL (Hrsg.): Precision Agriculture - Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 38. Darmstadt, S. 423-446.
- FRANK, H., GANDORFER, M. und NOACK, P. O (2008): Ökonomische Bewertung von Parallelfahrssystemen. In: Müller, R. A. E., Sundermeier, H.-H., Theuvsen, L., Schütze, S. und Morgenstern, M. (Hrsg.): Unternehmens-IT: Führungsinstrument oder Verwaltungsbürde. Referate der 28. GIL Jahrestagung, 10.-11. März 2008. Kiel.
- GANDORFER, M. (2006): Bewertung von Precision Farming - dargestellt am Beispiel der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung. Dissertation an der TU München. München.
- GANDORFER, M., MEYER-AURICH, A. und HEIßENHUBER, A. (2006): Einzelbetrieblicher Nutzen von Precision-Farming-Technologien - ausgewählte Fallstudien. In: Rentenbank (Hrsg.): Organisatorische und technologische Innovationen in der Landwirtschaft. Schriftenreihe der Rentenbank, Band 21. Frankfurt am Main, S. 141-169.
- HOLPP, M. und ANKEN, T. (2008): Ackerbau wie auf Schienen. DLG Mitteilungen 7/2008, S. 48-50.
- MEYER-AURICH, A., WEERSINK, A., GANDORFER, M. und WAGNER, P. (2010): Optimal site-specific fertilization and harvesting strategies with respect to crop yield and quality response to nitrogen. Agricultural Systems 103, S. 478-485.
- PANNELL, D. J. (2006). Flat-earth economics: The far-reaching consequences of flat payoff functions in economic decision making. Review of Agricultural Economics 28, 4, S. 553-566.
- RISIUS, H., HAHN, J. und KORTE, H. (2008): Trennung des Erntegutes nach Qualitätseigenschaften während des Mähdruschs. Neue Landwirtschaft 52, 11, S. 52-54.
- REICHARDT, M. und JÜRGENS, C. (2009): Adoption and future perspective of precision farming in Germany: results of several surveys among different agricultural target groups. Precision Agriculture 10, S. 73-94.
- SCHNEIDER, M. und WAGNER, P. (2008): Ökonomische Effekte der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung auf betrieblicher Ebene. In: Werner, A. Dreger, F. und Schwarz, J. (Hrsg.): Informationsgeleitete Pflanzenproduktion mit Precision Farming als zentrale inhaltliche und technische Voraussetzung für eine nachhaltige Entwicklung der landwirtschaftlichen Landnutzung - *preagro II*. Abschlussbericht. (www.preagro.de/Veroeff/preagro_Abschlussbericht_2008.pdf, Juni 2011).

WEIS, M., GUTJAHR, C., AYALY, V.R., GERHARDS, R., RITTER, C. und SCHLÖDERLE, F.
(2008): Precision Farming for weed Management: techniques. Gesunde Pflanzen
60, S. 171-181.

Anschrift der Verfasser

Dr. Markus Gandorfer
Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues
Technische Universität München
Alte Akademie 14, 85350 Freising-Weihenstephan, Deutschland
Tel.: +49 8161 713567
eMail: markus.gandorfer@tum.de

Dr. Andreas Meyer-Aurich
Abteilung Technikbewertung und Stoffkreisläufe
Leibniz-Institut für Agrartechnik Potsdam-Bornim e.V.
Max-Eyth-Allee 100, 14469 Potsdam, Deutschland
Tel.: +49 0331 5699222
eMail: ameyer@atb-potsdam.de

Dr. Martin Kapfer
Institut für Agrar- und Forstökonomik
Universität für Bodenkultur Wien
Feistmantelstrasse 4, 1180 Wien, Österreich
Tel.: +43 1476543555
eMail: martin.kapfer@boku.ac.at