

Markus Gandorfer, Andreas Meyer-Aurich und Alois Heißenhuber

# Der Einsatz moderner Informationstechnologien im Pflanzenbau - ein Beispiel aus der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung

Um räumliche Variabilität von Standorteigenschaften gezielt zu steuern, können teilflächenspezifische Bewirtschaftungsmethoden angewendet werden. Der Einsatz moderner Informationstechnologien stellt diesbezüglich eine viel versprechende Möglichkeit dar. Die ökonomischen und ökologischen Vor- bzw. Nachteile dieser Bewirtschaftungsmethode gilt es zu analysieren.

## 1 Einführung

Seit den 90er Jahren werden neue Technologien der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (siehe Abbildung 1) erforscht und erprobt, um räumliche Variabilität von Standorteigenschaften und das daraus resultierende heterogene Pflanzenwachstum gezielt zu steuern. Diese Technologien ermöglichen die ortsgenaue Kartierung von Bodeninformati-

onen, Erträgen und Pflanzenparametern und die gezielte Umsetzung dieser Information in eine effizientere Bewirtschaftung. Aufgrund dieser Möglichkeiten wird angenommen, dass die teilflächenspezifische Bewirtschaftung Nährstoffeffizienz und Produktivität erhöht, und gleichzeitig Gefährdungspotentiale für Grund- und Oberflächengewässer vermindert werden (MULLA et al.,1992; ENGEL et al. 1999).

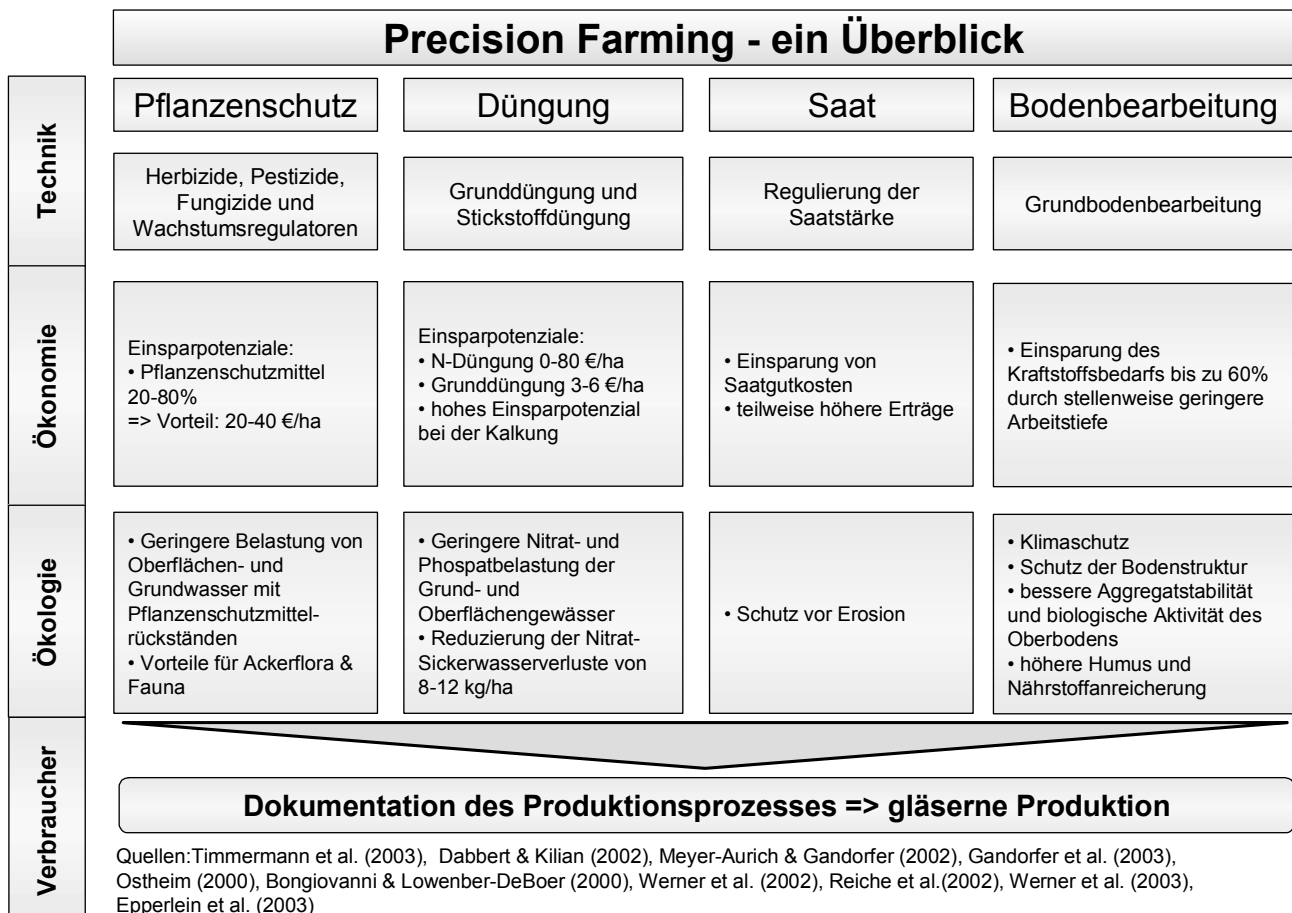


Abbildung 1: Überblick über Precision Farming Techniken (zusammengestellt nach mehreren Quellen)

Die Forschungsanstrengungen zur Entwicklung von Precision-Farming-Technologien (PF) erstrecken sich über die Entwicklung von Sensorsystemen zur Erfassung räumlicher Heterogenitäten von Bodeneigenschaften bzw. Pflanzenbeständen über die landtechnikgebundene Entwicklung automatisierter Technologien zur Erfassung von Erntemengen bis hin zur Entwicklung von Technologien zur teilflächenspezifischen Applikation von Düngern und Pflanzenschutzmitteln.

Mit dem Beginn des Einsatzes von PA-Technologien sind auch Studien zur Analyse der ökonomischen Vorteilhaftigkeit von PA-Technologien durchgeführt worden. Aus einer Reihe von Fallstudien ergaben sich ökonomische Vorteile von teilflächenspezifischer Bewirtschaftung in der Größenordnung von 10-100 Euro/ha (z.B.: JÜRSCHIK, 1999; WOLLRING et al., 1999; WOLLRING und REUSCH, 1999). LAMBERT und LOWENBERG-DEBOER (2000) haben 108 Studien zur Wirtschaftlichkeitsanalyse von Teilflächenbewirtschaftung in den USA untersucht: in 63% der Fälle waren wirtschaftliche Gewinne durch Teilflächenbewirtschaftung festgestellt worden, 11 % lieferten wirtschaftliche Verluste. In 27% der Fälle waren die Ergebnisse nicht eindeutig. Auch in Deutschland haben verschiedene Untersuchungen gezeigt, dass die teilflächenspezifische Bewirtschaftung nicht immer positive ökonomische Effekte hervorruft (DADDERT und KILIAN, 2002; GANDORFER et al., 2003).

Die genauere Auseinandersetzung mit den ökonomischen Wirkungen von teilflächenspezifischer Bewirtschaftung hat gezeigt, dass die ökonomische Analyse des Einsatzes von PA-Technologien mit einigen methodischen Schwierigkeiten verbunden ist. Die Schwierigkeiten sind mit der begrenzten Möglichkeit zur Verallgemeinerung von einzelnen Versuchsergebnissen und der Definition der Referenzbewirtschaftung verbunden.

Klassischerweise wird für die Analyse von ökonomischen Wirkungen teilflächenspezifischer Bewirtschaftung ein Vergleich zwischen einheitlicher und teilflächenspezifischer Bewirtschaftung vorgenommen. Um systematische Fehlerquellen auszuschließen, ist eine randomisierte Auswahl der Flächen für die eine bzw. andere Bewirtschaftungsform notwendig. Aus pragmatischen Gründen ist dies allerdings nicht immer möglich, stattdessen wurden zum Beispiel Praxisschläge geteilt, die je zur Hälfte mit PF bzw. konventionell bewirtschaftet wurden (DABBERT und KILIAN, 2002). In anderen Ansätzen wurden Bearbeitungstreifen jeweils mit einer Variante bewirtschaftet (MAIDL et al., 2000). Durch die randomisierte Zuweisung der Bewirtschaftungsvarianten auf die Bearbeitungstreifen sind systematische Fehler durch die Auswahl der Flächen verringert. Aufgrund der räumlichen Nähe der Untersuchungspartellen können hier allerdings räumliche Autokorrelationen das Untersuchungsergebnis verzerren. BONGIOVANNI und LOWENBERG-DEBOER (2001) haben ein statistisches Verfahren vorgestellt, mit dem diese Verzerrungsursache identifiziert und gegebenenfalls herausgerechnet werden kann.

Ein weiteres Problem stellt die für den Vergleich notwendige Referenzbewirtschaftung dar. Vielfach wird eine ökonomisch optimierte teilflächenspezifische Bewirtschaftung mit einer ökonomisch optimierten einheitlichen Bewirtschaftung verglichen. Für die Beurteilung des ökonomischen Optimums des Einsatzes von Betriebsmitteln ist die Kenntnis

der Produktionsfunktionen eine entscheidende Voraussetzung. Diese sind ex ante allerdings nur mit großen Unsicherheiten vorherzusagen. Selbst bei sehr guter Informationsgrundlage ist für die Bestimmung des ökonomischen Optimums eine Annahme über die Produktionsfunktion notwendig, die je nach Funktionsform zu erheblichen Abweichungen des optimalen Einsatzniveaus führt. CERRATO und BLACKMER (1990) haben zum Beispiel für diesen Zweck mehrjährige Versuchsdaten mit zehn unterschiedlichen Stickstoffgaben zu Mais analysiert und je nach unterstellter Funktion optimale Einsatzmengen zwischen 128 und 379 kg N/ha festgestellt.

Viele der derzeitigen Forschungsaktivitäten konzentrieren sich daher auf die teilflächenspezifische Analyse von Produktionsfunktionen (DABBERT und KILIAN, 2002; HURLEY et al., 2003; GODWIN et al., 2003; BULLOCK et al., 2003).

## 2 Material und Methoden

In Anlehnung an LOWENBERG-DEBOER und SWINTON (1997) ist es sinnvoll, die Berechnung der Rentabilität von teilflächenspezifischer Bewirtschaftung mehrstufig durchzuführen (siehe Abbildung 2). Demnach sollte zunächst geprüft werden, inwiefern durch die teilflächenspezifische Bewirtschaftung bei einer Teilkostenbetrachtung durch die Einsparung von Betriebsmitteln mit den Auswirkungen auf den Ertrag ein höherer Deckungsbeitrag erzielt werden kann als durch flächeneinheitliche Bewirtschaftung.

Die erste Stufe der Bewertung kann mit Hilfe teilflächenspezifischer Produktionsfunktionen durchgeführt werden. Bei diesem Ansatz wird mit Hilfe von Regressionsfunktionen die Input- Outputbeziehung für die Teilflächen eines Schlages dargestellt. Bei gegebenen Faktor- und Produktpreisen kann für jede dieser Teilflächen sowie für den Gesamtschlag das optimale Einsatzniveau eines Betriebsmittels bestimmt werden. Davon ausgehend, dass bei beiden Bewirtschaftungsformen (einheitlich und teilflächenspezifisch) genau im ex post bestimmten Optimum gedüngt wird, kann mit dieser Methode das Potenzial der Teilflächenbewirtschaftung ermittelt werden. Das Potenzial der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung ergibt sich aus der Differenz der teilflächenspezifisch optimierten stickstoffkostenfreien Leistung und der optimierten stickstoffkostenfreien Leistung für den Gesamtschlag. Die stickstoffkostenfreie Leistung bei teilflächenspezifischer Düngung kann wie in Gleichung 1 allgemein beschrieben berechnet werden.

$$SfL = \sum_{i=1}^n \omega_i (p_w [a_i + b_i N_i + c_i N_i^2] - p_N N_i)$$

Gleichung 1

mit

SfL = Stickstoffkostenfreie Leistung

$p_w$  = Winterweizenpreis (€/dt)

$i$  = Ertragszone

$N_i$  =  $N_{opt}$  (für jede Teilfläche)

$p_N$  = Stickstoffpreis (€ kg-1)

$\omega_i$  = % Anteil der Ertragszone an der Gesamtfläche.

a, b, c = Regressionskoeffizienten der teilflächenspezifischen Produktionsfunktion

$$Nopt = \left( \frac{p_N}{p_W} - b \right) \cdot 0,5c^{-1}$$

Gleichung 2

mit

$p_N$  = Stickstoffpreis (€ kg<sup>-1</sup>)

$p_W$  = Erzeugerpreis Winterweizen (€/dt)

b, c = Regressionskoeffizienten der Produktionsfunktionen

Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass das Ergebnis nicht von der Wahl der Referenzbewirtschaftung abhängig ist. Ein Nachteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass eine Entscheidung für einen bestimmten Funktionstypen (quadratisch, linear limitational usw.) getroffen werden muss, der das ökonomisch optimale Einsatzniveau erheblich beeinflusst. Ein weiterer Nachteil ist die aufwendige Versuchsanlage, da in jeder Teilfläche eines Schlages unterschiedliche Intensitätsstufen des jeweiligen zu untersuchenden Betriebsmitteleinsatzes durchgeführt werden. Der hier beschriebene zweite Ansatz wird in dieser Arbeit weiter verfolgt.

Können im ersten Schritt der Bewertung Potenziale zur Steigerung des Deckungsbeitrages ermittelt werden, ist als nächstes zu untersuchen, ob mit dem Mehrerlös durch die teilflächenspezifische Bewirtschaftung auch die für diese Technologien notwendigen Investitionen abgedeckt werden können. Die ökonomische Vorteilhaftigkeit ist abhängig davon, in welche Technologien für die teilflächenspezifische Bewirtschaftung investiert wird.

Wenn die Investitionskosten nicht durch die Mehrerlöse aufgrund der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung gedeckt werden, ist der Frage nachzugehen, ob alternativ zur Anschaffung neuer Technologien Dienstleistungen durch überbetrieblichen Maschineneinsatz kostengünstiger eingesetzt werden können. Als dritte ökonomische Teilanalyse kann eine Risikoanalyse folgen, bei der die Auswirkungen der Technologie auf Ertragschwankungen und das Unternehmen untersucht werden sollen.

Wenn aus der ökonomischen Analyse kein wirtschaftliches Potenzial der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung abgeleitet werden kann, ist zu prüfen, ob umweltrelevante Effekte den Einsatz der Technologie rechtfertigen können. Diese sollten dann den Kosten die durch die teilflächenspezifische Düngung entstehen gegenübergestellt werden, um zu untersuchen, inwieweit aus Umweltgesichtspunkten eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung sinnvoll erscheint.

### 3 Versuchsbeschreibung

Im Rahmen der DFG-Forschergruppe IKB (Informationssystem kleinräumige Bestandesführung) wurde mit teilflächenspezifischen Düngesteigerungsversuchen versucht, das theoretische Potenzial der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung herzuleiten. Der Versuchsschlag „Sieberfeld“ (5 ha) liegt im tertiären Hügelland und ist durch zwei sehr unter-

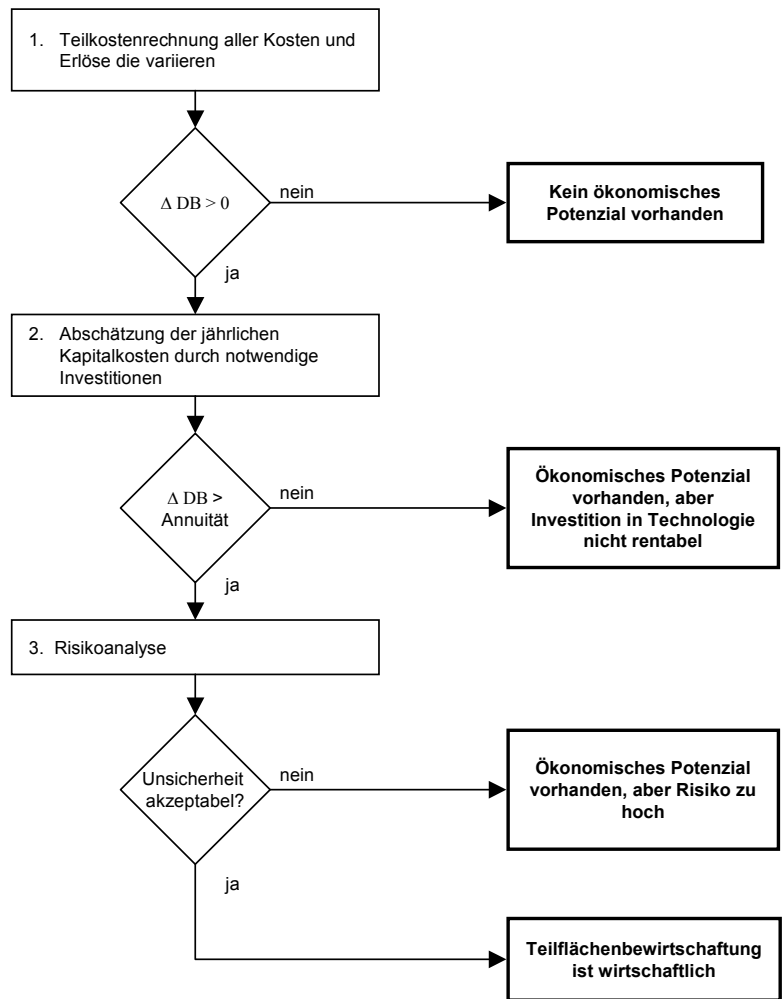


Abbildung 2: Flussschema für eine ökonomische Bewertung der Teilflächenbewirtschaftung (Quelle: eigene Darstellung in Anlehnung an LOWENBERG-DEBOER & SWINTON (1997))

schiedliche Ertragszonen gekennzeichnet. Innerhalb des Schlages wurden in zwei ausgeprägten Ertragszonen Stickstoffsteigerungsversuche zur Ableitung teilflächenspezifischer Produktionsfunktionen angelegt (siehe Abbildung 3). Im Jahr 2001/2002 wurde zu diesem Zweck auf diesem Schlag ein einfaktorierter Stickstoffsteigerungsversuch mit 11 N-Stufen (0, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 220, 240 und 260 N kg/ha) vierfach wiederholt zu Winterweizen durchgeführt.

### 4 Ergebnisse

Im folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der ökonomischen Bewertung (erste Stufe, siehe Abbildung 2) einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung am Versuchsschlag „Sieberfeld“ vorgestellt. Die Prüfung der ersten Stufe (siehe Abschnitt: Material und Methoden) erfolgt mit Hilfe der Analyse teilflächenspezifischer Produktionsfunktionen.

Die Ergebnisse des Stickstoffsteigerungsversuchs im Jahr 2002 und die geschätzten Produktionsfunktionen bei Vorgabe eines quadratischen Funktionsverlaufes sind in Abbildung 4 dargestellt. Die Analyse der georeferenzierten Parzellenerträ-

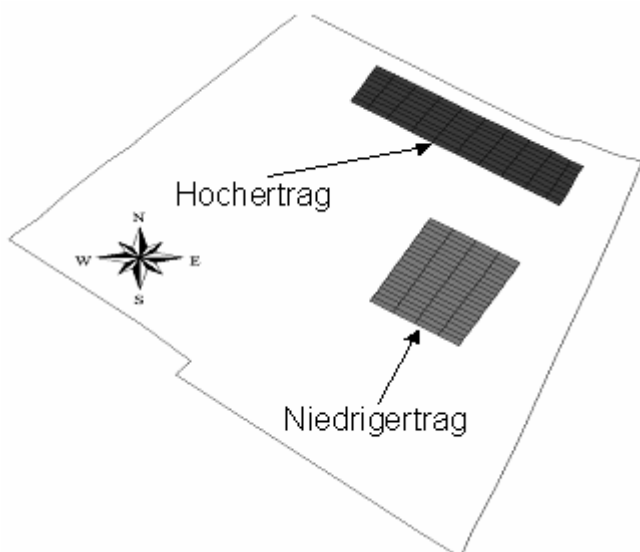


Abbildung 3: Versuchsanlage des Stickstoffsteigerungsversuchs zu Winterweizen am Versuchsfeld „Sieblerfeld“, 2001/2002.

ge mit Space.Stat® ergibt, dass die Ertragswirkung der Stickstoffdüngung in den Kleinparzellen, bedingt durch den geringen Abstand der Versuchsparzellen zueinander nicht autokorreliert ist (Lagrange Multiplier (error)  $p < 0,235$ ).

Heteroskedastizität kann abgelehnt werden (Breusch-Pagan Test;  $p < 0,07$ ). In Tabelle 1 sind die mit PRISM 3.03® berechneten Koeffizienten der quadratischen Regressionsanalyse aufgelistet. Die 95% Konfidenzintervalle der Parameter

Tabelle 1: Parameter der quadratischen Regressionsgleichung (Stickstoffproduktionsfunktion), Versuchsschlag „Sieblerfeld“ 2001/2002

Parameter der Regressionsgleichung $Y_{\text{(Korntrag)}} = A + BN + CN^2$ N: Stickstoffdünger [kg/ha]	Hohertrag	Niedrigertrag
A	53.75	36.22
B	0.3696	0.3809
C	-0.0006570	-0.0008198
95% Konfidenzintervalle		
A	48.02 - 59.48	28.81 - 43.63
B	0.2849 - 0.4544	0.2713 - 0.4906
C	-0.0009536- 0.0003605	-0.001203 0.0004362
R <sup>2</sup>	0.86	0.74

der Regressionsgleichungen besitzen eine sehr große Spannweite. Die Bestimmtheitsmaße sind für beide Standorte sehr gut, wobei das Modell für den Hohertrag in beiden Versuchsjahren eine höhere Güte besitzt als das für den Niedrig-

ertrag. SpaceStat® bietet außerdem die Möglichkeit, die Parameter des Regressionsmodells für Hoch- und Niedrigertrag mit Hilfe des Chow-Wald Tests auf strukturelle Unterschiede zu testen. Die Unterschiede können mit einer höchst signifikanten Irrtumswahrscheinlichkeit von  $p < 0,00001$  bestätigt werden, d.h. die Reaktion des Winterweizenbestandes ist im Hoch- und Niedrigertrag unterschiedlich. Aus Abbildung 4 wird zudem deutlich, dass innerhalb einer N-Stufe und eines Ertragsbereiches die Streuung der Erträge sehr groß ist. Somit handelt es sich nicht um homogene Ertragszonen im engeren Sinn. Aus diesem Grund können die von WAGNER (1999) im Falle von Precision Farming vorgeschlagenen linear limitationalen Produktionsfunktionen für sehr homogene Teilschläge hier nicht angewendet werden.

Ökonomische Potenziale der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung werden durch einen Vergleich der optimierten stickstoffkostenfreien Leistung (€/ha) bei einheitlicher und variabler Düngung ermittelt (siehe oben). Für einen Modellschlag, der aus zwei Ertragszonen besteht, die so wie die oben beschriebenen Ertragszonen des Versuchsfeldes „Sieblerfeld“ reagieren und die jeweils 50% Anteil an der Gesamtfläche besitzen, würde das ökonomische Potenzial einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung 3,4 €/ha betragen. Aufgrund des deutlich unterschiedlichen Ertragspotenzials in den beiden Ertragszonen (ca. 20 dt/ha Differenz) wäre vielleicht ein höheres Potenzial zu erwarten. Die Ursache für das geringe ökonomische Potenzial kann dadurch erklärt werden, dass die Steigungen der beiden Funktionen sehr ähnlich sind, d.h. dass in beiden Ertragszonen durch eine Steigerung der Stickstoffdüngung annähernd derselbe Grenzertrag erzielt werden kann. Abbildung 5 verdeutlicht den Sachverhalt anhand der Erlösfunktion in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung. Ausgehend von einer einheitlichen Düngung, die in

einem Bereich zwischen 200 und 240 N kg/ha liegt, kann gezeigt werden, dass eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung keinen großen Effekt haben kann. Denn wäre z.B. einheitlich 220 N kg/ha gedüngt worden, dann hätte dies im Hoch- und Niedrigertrag nur zu Verlusten im Bereich von wenigen €/ha geführt (ausgehend von einer ökonomisch optimierten Düngung bei Precision Farming), da beide Leistungsfunktionen in diesem Bereich einen sehr flachen Verlauf aufweisen. Da aber in der Praxis nicht davon ausgegangen werden kann, dass mit PF das ökonomische Optimum exakt erreicht werden kann, muss auch hier mit gewissen Einbußen gerechnet werden, welche dann die Verluste durch einheitliche Düngung relativieren.

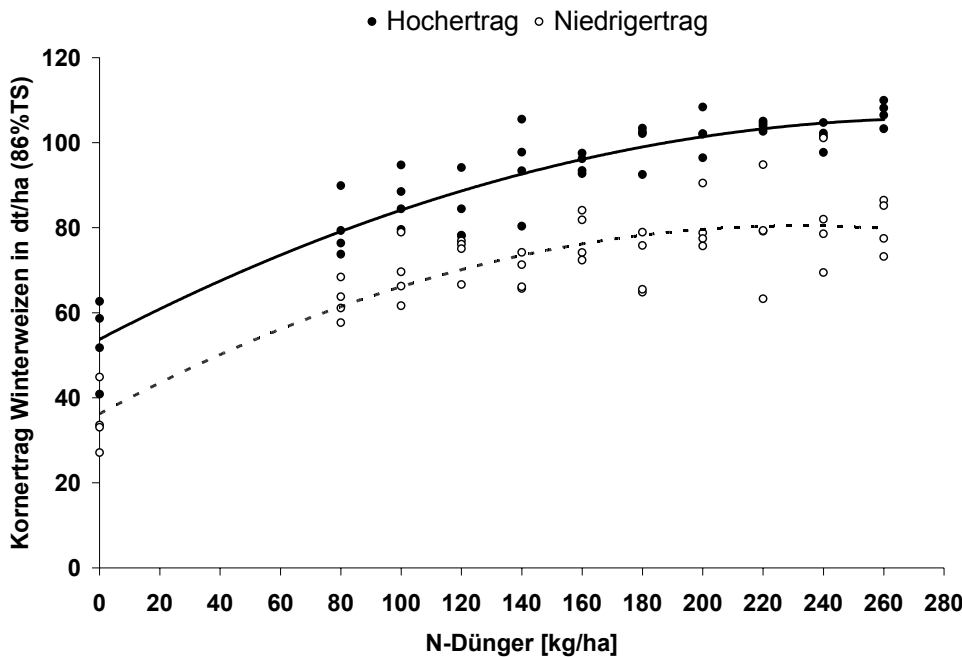


Abbildung 4: Kornertrag von Winterweizen in Abhängigkeit der Stickstoffdüngergabe am Versuchsfeld „Sieblerfeld“, 2001/2002

## 5 Diskussion

Die dargestellten Ergebnisse zeigen, dass das ökonomische Potenzial teilflächenspezifischer Düngung begrenzt ist. Dies ist in Übereinstimmung mit verschiedenen Untersuchungen, die geringe ökonomische Potenziale bestätigen (SWINTON und LOWENBERG-DEBOER, 1998; DABBERT und KILIAN, 2002; GODWIN et al. 2003).

Die ökonomische Vorteilhaftigkeit teilflächenspezifischer Bewirtschaftung ist weniger abhängig vom teilflächenspezifischen Ertragspotenzial, als von der unterschiedlichen Ertragswirkung des Düngers. Auch bei großen Unterschieden im Ertragspotenzial ergibt sich bei ähnlichem Verlauf der Produktionsfunktionen kein deutlicher Effekt für die Wirtschaftlichkeit der teilflächenspezifischen Düngung. Bei Winterweizen zeigen die Funktionen in den Teilflächen meist relativ gleiches Steigungs- und Krümmungsverhalten, deshalb ist aus ökonomischen Gesichtspunkten bei dieser Kultur der Einsatz der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung als kritisch zu betrachten. Insbesondere bei geringer Auslastung von Technologien zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung ist daher die Rentabilität in Frage zu stellen. Vielfach werden Break- Even Analysen durchgeführt, um die Rentabilitätsschwelle verschiedener Technologien zu kennzeichnen (GODWIN et al., 2003; DABBERT und KILIAN, 2002).

Alternativ zu dem hier vorgestellten Ansatz zur Prüfung ökonomischer Potenzi-

ale teilflächenspezifischer Bewirtschaftung können Streifenversuche zum direkten Vergleich zwischen einheitlicher und teilflächenspezifischer Bewirtschaftung durchgeführt werden (MAIDL et al., 2000). Bei dieser Vorgehensweise ergeben sich jedoch bereits bei der Bestimmung der Referenzbewirtschaftung erhebliche Probleme, da diese das Ergebnis entscheidend beeinflusst. Des Weiteren ergeben sich Schwachpunkte in der Versuchsanlage, da meist aus Aufwandsgründen keine vollständige Randomisierung vorgenommen werden kann. Zur Durchführung solcher Streifenversuche bietet sich dann der Einsatz von Precision-Farming-Techniken (On-Farm-Research) an, um

diese schnell und kostengünstig auf vielen Standorten durchführen zu können.

Es bleibt jetzt zu prüfen, ob diese Ergebnisse auf andere Kulturen und Standorte übertragbar sind und welchen Einfluss andere Parameter wie z.B. die Feldkapazität auf die Produktionsfunktionen ausüben. Denn der Schlüssel zum Verständnis der Ökonomik der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung liegt in der genauen Kenntnis kleinräumiger Produktionsfunktionen. Erst wenn diese hinreichend bekannt sind, kann das Potenzial von Precision Farming für verschiedene Schläge abgeschätzt werden.

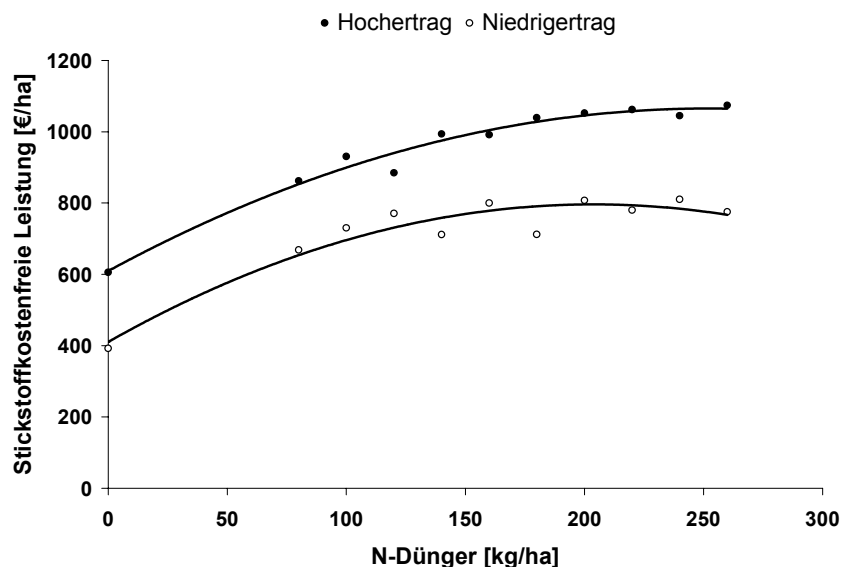


Abbildung 5: Stickstoffkostenfreie Leistung in Abhängigkeit von der Stickstoffdüngung

## 6 Literatur

- BONGIOVANNI, R., LOWENBERG-DEBOER, J. (2000): Economics of variable rate lime in Indiana. *Precision Agriculture*, 2, 55-70.
- BONGIOVANNI, R., LOWENBERG-DEBOER, J. (2001): Precision Agriculture: Economics of Nitrogen Management in Corn Using Site-specific Crop Response Estimates from a Spatial Regression Model. Selected Paper auf American Agricultural Economics Association (AAEA) Tagung in Chicago vom 5.-8.8.2001.
- BULLOCK, D.S., LOWENBERG-DEBOER, J., SWINTON, S.M. (2003): Adding value to spatially managed inputs by understanding site-specific yield response. *Agricultural Economics* 27, 233-245.
- CERRATO, M. E., BLACKMER, A. M. (1990): Comparison of Models for describing corn yield Response to Nitrogen Fertilizer. *Agronom. J.*, 82, 138-143.
- DABBERT, S., KILIAN, B. (2001): Ökonomie. Zwischenbericht des TP IV-1 im pre agro Verbundprojekt. In Werner, A. & Jarfe, A.: Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau, Zwischenbericht 2001, ZALF, Münchenberg.
- DABBERT, S., KILIAN, B. (2002): Ökonomie. In KTBL (Hrsg.): Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 38, S.423-446.
- ENGEL, R. E., LONG, D. S., CARLSON, G. R., MEIER, C. (1999): Method for Precision Nitrogen Management in Spring Wheat: I Fundamental Relationships. *Precision Agriculture*, 1, 327-338.
- ENGLISH, B.C., MAHAJANASHETTI, S.B., ROBERTS, R.K. (1999): Economic and Environmental Benefits of Variable Rate Application of Nitrogen to Corn Fields: Role of Variability and Weather. Paper presented at American Agricultural Economics Association Meeting, Nashville, 8.-11.8.1999.
- EPPERLEIN, J., METZ, R. (2003): Strukturschonende Bodenbearbeitung. In: Naturschutz in der Agrarwirtschaft - Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Projektes. Hrsg.: Flade, Plachter, Henne, Anders.
- GANDORFER, M., MEYER-AURICH, A., HEIBENHUBER, A., (2003) An economic assessment of site-specific and homogenous nitrate fertilization management in consideration of environmental restriction. In Werner, A., Jarfe, A.: Programme book of the joint conference of ECPA-ECPLF, 407-408.
- GANDORFER, M., BACHMEIER, M., MEYER-AURICH, A., HEIBENHUBER, A. (2003): Precision Farming- ein innovativer Ansatz zur Verminderung des ökonomischen und ökologischen Risikos- eine Simulationsstudie. In: Budde, H-J; Müller R, A.E. und U. Birkner (Hrsg.): Referate der 24. GIL - Jahrestagung in Göttingen 2003. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft, Band 16, Göttingen 2003, S.36-40.
- GODWIN, R., RICHARDS, T., WOOD, G., WELSH, J., KNIGHT, S. (2003): An Economic Analysis of the Potential for Precision Farming in UK Cereal Production. *Biosystems Engineering* 84. S. 533-545.
- HURLEY, T., MALZER, G.L., KILIAN, B. (2003): Estimating site-specific nitrogen crop response functions: a conceptual framework and geostatistical model. Paper zur Jahrestagung der American Agricultural Economics Association 27.-30. Juli 2003 in Montreal, Canada. Veröffentlicht unter <http://agecon.lib.umn.edu/>.
- JÜRSCHIK, P. (1999): Teilflächenspezifische Düngung – Grundlagen, Konzepte, technische Lösungen. DLG Merkblatt 315, Frankfurt am Main.
- LAMBERT, D., LOWENBERG-DEBOER, J. (2000): Precision Agriculture Profitability Review. Staff Paper. Site Specific Management Center, Purdue University, West Lafayette, Indiana. 154 S.
- LOWENBERG-DEBOER, J., SWINTON, S. M. (1997): Economics of site –specific management in agronomic crops. In Pierce, F.J., Sadler, E.J. (Hrsg.): The state of site-specific management for agriculture. ASA, CSSA, SSSA, Madison, USA. S. 369-396.
- LÜTTIGEN, R. (1996): Realisierung des Raum-Zeit-Bezugs von Daten zur Umsetzung teilflächenspezifischer Bewirtschaftungsmaßnahmen im Pflanzenbau. Dissertation. Hrsg.: Koch, W. Verlag: W. und S. Koch, Stuttgart.
- MAIDL, F.X., SCHÄCHTL, J., HUBER, G. (2000): Ergebnisse von Streifenversuchen zur Untersuchung unterschiedlicher N-Düngungsstrategien im Precision Farming. Berichte der Gesellschaft für Informatik in der Land-, Forst- und Ernährungswirtschaft 13, 123-126.
- MEYER-AURICH, A., LOWENBERG-DEBOER, J. (2001): Application of spatial econometrics on strip trials in Germany to identify optimal site specific input rates. Poster auf American Agricultural Economics Association(AAEA)Tagung in Chicago vom 5.-8.8.2001.
- MEYER-AURICH, A., GANDORFER, M. (2002): Ökonomisch/ökologische Bewertung von Precision Farming im Vergleich mit herkömmlichen Produktionsverfahren. Beitrag zum Statusseminar des FAM vom 27.-28.11.2002. Veröffentlichung im Tagungsband.
- MULLA, D.J., BHATTI, A.U., HAMMOND, M.W., BENSON, J.A. (1992): A comparison of winter wheat yield and quality under uniform versus spatially variable fertilizer management. *Agric. Ecosys. Environ.* 38:301-311.
- OSTHEIM, K-W. (2000): Prüfung der ökologischen Vorzüglichkeit einer GPS-gestützten teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung. Landwirtschaftsverlag GmbH, Münster-Hiltrup.
- REICHE, E.-W., RINKER, A.; WINDHORST, W., KERSEBAUM, K.-C., LORENZ, K., PLACHTER, H., JANSSEN, B. (2002): Untersuchungen zu möglichen ökologischen Auswirkungen teilschlagspezifischer Pflanzenbaumaßnahmen - ausführliche Zusammenfassungen der Teilprojekte von pre agro mit Schwerpunkt Umweltleistungen. In: Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. Tagungsband Precision Agriculture Tage 13.-15. März in Bonn. KTBL-Sonderveröffentlichung 038. Hrsg.: Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V. (KTBL), Darmstadt, S. 365-369.
- SWINTON, S., LOWENBERG-DEBOER, J. (1998): Evaluating the Profitability of Site-Specific Farming. *Journal of Production Agriculture*, 11, 439-446.

- TIMMERMANN, C., GERHARDS R., KÜHBAUCH, W. (2003): The Economic Impact of Site-Specific Weed Control. Precision Agriculture, 4,249-260,2003.
- WAGNER, P. (1999): Produktionsfunktionen und Precision Farming. In: Zukunftsorientierte Betriebswirtschaft und Informationstechnologien in der Agrarwirtschaft. Gießener Schriften zur Agrar- und Ernährungswirtschaft, Heft 29. Frankfurt, S.39-66.
- WERNER, A., ROTH, R., KÜHN, J., VOBHENRICH, H.-H., SOMMER, C., WENKEL, K.O., BROZIO, S., GEBBERS, R., DAMMER, K.-H., EHLERT, D.(2002): Integrierte Boden- und Bestandesführung. In KTBL (Hrsg.): Precision Agriculture – Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis. KTBL-Sonderveröffentlichung 38, S.221-222.
- WERNER, A., ROTH, R., MÜLLER, A. (2003): Naturschutz in der Landwirtschaft durch Satellitennavigation. In: Naturschutz in der Agrarwirtschaft - Ergebnisse des Schorfheide-Chorin-Projektes. Hrsg.: Flade, Plachter, Henne, Anders.
- WOLLRING, J., REUSCH, S., LINK, A. (1999): Teilflächenspezifische Düngung: Planung, Bedarfsermittlung, Ausbringung und Nutzen. Agrocom Seminar: Precision Farming auf dem Weg in die Praxis. S. 50-54.
- WOLLRING, J., REUSCH, S. (1999): Stickstoff variabel düngen – Sensor mißt Versorgung der Pflanzen. In dlz agrarmagazin, Sonderheft 10, BLV-Verlag, München, S. 30-34.

## Kurzfassung

*Die ökonomischen und ökologischen Vorteile teilflächenspezifischer Bewirtschaftungsmethoden weisen eine sehr große Spanne auf (siehe Abbildung 1).*

*Die Ergebnisse der durchgeführten Potenzialanalyse zeigen, dass bei teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung des betrachteten Modellschlages nur mit einem Potenzial von 3,4 €/ha zu rechnen ist, obwohl der Schlag eine große Ertragsheterogenität aufweist. Aus der Produktionsfunktionsanalyse kann abgeleitet werden, dass nur ein signifikanter Unterschied bei den Steigungen der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen zu größeren ökonomischen Potenzialen führen kann. Denn nur dann führt eine einheitliche Bewirtschaftung zu Unter- oder Überversorgungen mit Inputfaktoren in den einzelnen Teilflächen eines Schlages, die dann entweder in Ertragseinbußen (bei einer Unterversorgung) oder in einer Verschwendung von Betriebsmitteln (bei einer Überversorgung) resultieren.*

*Aufgrund der getätigten Aussagen soll nicht der Eindruck entstehen, dass Precision Farming in seiner Gesamtheit keine ökonomischen Vorteile bietet. Es ist davon auszugehen, dass der Gesamtvorteil aller Teiltechniken größer ist, als die Summe der Einzelvorteile. Aus der Sicht des Verbrauchers und des Handels liegt der größte Vorteil dieser neuen Informationstechnologie darin, den pflanzenbaulichen Produktionsprozess exakt und kostengünstig zu dokumentieren. Hierzu fehlen aber bislang in sich geschlossene Konzepte.*

**Stichworte:** Precision Farming, ökonomische Bewertung, teilflächenspezifische Produktionsfunktionen, teilflächenspezifische Stickstoffdüngung.

## Summary

*The economical and ecological advantages of site-specific management methods span a very large range (see figure 1). The results of the accomplished potential analysis show that during site-specific fertilization the treated model impact is only on a potential of 3,4 €/ha, although the field effects a large yield heterogeneity. From the production function analysis it can be derived that only a significant difference in the increase of site-specific production functions can to larger economic potentials. Because only then the uniform management leads to under or over supplying with input factors in the individual patches of a field, which result then either in profit cuts (with undersupply) or in a dissipation of resources (with oversupply).*

*Due to the given statements the impression should not be that Precision Farming in its whole does not offer economic advantages. It is to be assumed that the total advantage of all partial techniques is larger, than the sum of the single advantages. From the view of the consumer and the retail the largest advantage of this new information technology is to document the plant-structural production process accurately and economically. For this however closed concepts are missing so far.*

**Keywords:** Precision Farming, economic evaluation, site-specific production functions, site-specific fertilization.

## Danksagung

Diese Arbeit entstand im Rahmen des Teilprojekts 13 (ökonomisch-ökologische Bewertung von Precision Farming) der DFG finanzierten Forschergruppe IKB- (Informationssystem kleinräumige Bestandesführung) Dürnast.

Wir danken den beiden anonymen Gutachtern für ihre wichtigen Hinweise, die zum Gelingen der Arbeit wesentlich beigetragen haben.

## Autoren

**Markus Gandorfer** ist Doktorand am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, der TU München / Freising-Weihenstephan.

**Dr. Andreas Meyer-Aurich** ist post doc am Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues, der TU München / Freising-Weihenstephan.

**Prof. Dr. Alois Heißenhuber** ist Ordinarius des Lehrstuhls für Wirtschaftslehre des Landbaues, der TU München / Freising-Weihenstephan.

Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues  
Alte Akademie 14  
85350 Freising-Weihenstephan  
Tel: +49 (0)8161-71-3567  
Fax: +49 (0)8161-71-4426  
E-Mail: markus.gandorfer@wzw.tum.de