

19 **Ökonomie (TP IV-1)**

Teilprojektleiter: Prof. Dr. S. Dabbert

Bearbeiter: Dr. B. Kilian

19.1 **Zusammenfassung**

In dem vorliegenden Zwischenbericht des ökonomischen Teilprojektes wird eine methodische Vorgehensweise zur Entwicklung einer Stickstoffproduktionsfunktion auf der Basis von Boden- und Schlagdaten anhand von Daten für zwei Versuchsschläge in Süd-Minnesota vorgestellt. Die Methodik wurde anhand nicht projekteigener Versuchsflächen entwickelt, mit dem erklärten Ziel, die Methode, aufgrund ihrer hohen ökonomischen Aussagefähigkeit, auf projektinternen Flächen anzuwenden und standortangepasste relevante Ergebnisse zu erhalten.

In einem ersten Schritt wurde für ein möglichst kleinräumiges Raster die bestangepasste Stickstoffproduktionsfunktion als Referenzvariante geschätzt und anschließend zunächst mit den Ergebnissen einer Stickstoffproduktionsfunktion in Abhängigkeit vom Bodenstickstoffgehalt, Topographie sowie Remote-Sensing-Daten (die teilflächenspezifische Daten werden zur individuellen Bestimmung der Funktion für jede Teilfläche verwendet) und anschließend mit einer konstant gedüngten Variante nach Beratungsempfehlung verglichen.

Für beide Untersuchungsschläge konnte ein ökonomisches Potential für eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung von ca. 50 - 60 \$ · ha⁻¹ ermittelt werden, doch können von diesen mit Hilfe der in diesen Versuchen erhobenen teilflächenspezifischen Informationen nur 5 - 10 \$ · ha⁻¹ realisiert werden. Ein weiteres wichtiges Ergebnis war jedoch, dass bei einer optimalen teilflächenspezifischen Bewirtschaftung der Deckungsbeitrag gesteigert und die N-Bilanz deutlich verringert werden konnte und damit auf beiden Schlägen Ökonomie und Ökologie Hand in Hand gingen, also folglich eine win-win-solution vorlag. Die Ergebnisse zeigten, dass die ökologischen Vorteile im Wesentlichen darauf zurückzuführen sind, dass ertragsschwache Teilflächen wesentlich geringer gedüngt wurden, als ertragsstarke. Weiter ungeklärt blieben jedoch die Fragen der Gültigkeit der geschätzten Funktionen für folgende Jahre und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf weitere Kulturen.

Auf den untersuchten projekteigenen Versuchsschlägen konnte durch die teilflächenspezifischen Maßnahmen keine Verbesserung der Rentabilität gefunden werden. Aufgrund fehlender Datendichte war aber eine detaillierte Bestimmung der Gründe für die gefundenen Ergebnisse nicht möglich, und für die folgenden Versuchsjahre sollte das Versuchsdesign weiter verbessert werden.

Zukünftige Schwerpunkte des ökonomischen Teilprojektes sind in der weiteren Untersuchung und Entwicklung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen zu sehen, mit dem besonderen Ziel, neben der räumlichen Variabilität von Schlagparametern auch die zeitliche Variabilität zu integrieren. Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Entwicklung eines Vollkostenkonzeptes, damit neben Deckungsbeitragskarten zukünftig auch die Vollkostenkarten erstellt werden können, die für eine Investitionsentscheidung von Bedeutung sind.

19.2 Bezug zum Verbundprojekt

Wie bereits im ersten Zwischenbericht des Teilprojektes Ökonomie dargelegt wurde, ist es neben der Beantwortung der zentralen Fragestellung des Teil- und auch des Gesamtprojektes: "Kann durch precision agriculture die Rentabilität im Pflanzenbau erhöht werden", die Aufgabe, den beteiligten naturwissenschaftlich und pflanzenbaulich orientierten Teilprojekten ein Feedback über die ökonomischen Konsequenzen ihrer Managemententscheidungen zu geben, damit die entwickelten Algorithmen überprüft und gegebenenfalls weiterentwickelt werden können.

19.3 Einleitung und Problemstellung

In den bisher durchgeführten ökonomischen Untersuchungen von Projektversuchen war es nicht möglich, eine hinreichende Begründung für die erzielten ökonomischen Ergebnisse zu liefern. So konnten Ergebnisse gefunden werden, in denen z. B. durch eine teilflächenspezifische Düngung ein höherer Ertrag (bei unverändertem Aufwand) und damit auch höherer Deckungsbeitrag erreicht wurde, aber auch direkt gegenteilige Ergebnisse (bei einer teilflächenspezifisch angepassten Düngung ein unverändertes Ertragsniveau und durch höhere Kosten ein geringerer Deckungsbeitrag), ohne dass eine detaillierte Begründung dafür gegeben und damit keine weiteren Empfehlungen abgeleitet werden konnten. Im weiteren Verlauf des Verbundprojektes sollte die ökonomische Analyse tiefer gehen und weitergehende Erklärungen leisten. Ein möglicher Ansatz für die Beantwortung der aufgezeigten Probleme ist die Entwicklung von Produktionsfunktionen, die auf den spezifischen Feld- und Standorteigenschaften beruhen. Diese Produktionsfunktionen müssen in der Lage sein, auch kleinräumig variierende Faktoren zu integrieren, so dass für jede individuelle Teilfläche eine möglichst gute Schätzung der Ertrags-Aufwandsbeziehung gegeben ist. Neben der räumlichen Variabilität muss es auch das Ziel sein, wesentliche Faktoren der zeitlichen Variabilität zu erfassen und damit dynamisch-teilflächenspezifische Produktionsfunktionen zu entwickeln. Diese Funktionen sollten hinsichtlich der Übertragbarkeit in der Lage sein, für vergleichbare Standorte zumindest die relativen Ertragsunterschiede innerhalb eines Feldes zu erklären und nach einer standortspezifischen Anpassung auch relativ gut Informationen über absolute Unterschiede zu geben. Die Entwicklung solcher Produktionsfunktionen erfordert die enge Zusammenarbeit mit insbesondere den naturwissenschaftlichen und pflanzenbaulichen Teilprojekten, da neben der methodischen Vorgehensweise auch die praktische Evaluierung von maßgeblicher Bedeutung ist. Bei einer erfolgreichen Realisierung dieser Ziele ist die Entwicklung eines softwarebasierten Expertensystems denkbar, was wiederum die Integration der technikorientierten Teilprojekte erfordert. Teilflächenspezifische dynamische Produktionsfunktionen würden in jedem Fall ein hilfreiches Instrument zur erfolgreichen Anwendung von precision agriculture sein nicht nur für Landwirte, insbesondere für Lohnunternehmer und Dienstleister, da diese dadurch eine individuelle Kosten-Nutzen-Analyse für den Landwirt erstellen könnten.

Im Rahmen des Forschungsaufenthaltes an der University of Minnesota wurden vom Soil Department (Prof. Dr. G. Malzer) Daten aus einem mehrjährigen teilflächenspezifischen Stickstoffdüngungsversuch zur ökonomischen Auswertung dem Department for Applied Economics (Bearbeiter: T.M. Hurley und B. Kilian) zur Verfügung gestellt. Bei den zur Verfügung gestellten

Daten handelt es sich um die Versuchsergebnisse von zwei mit Körnermais bestellten Versuchsschlägen in Süd-Minnesota für das Jahr 1995. Die Zielstellung des Versuches beinhaltete die Frage, ob die Stickstoffdüngung zu Körnermais teilflächenspezifisch ex-ante ökonomisch, ökologisch und pflanzenbaulich optimiert werden kann, wenn ein dichtes Netz an Stickstoff-Bodenproben, topographischen und optischen Informationen vorliegt. Diese Daten erfüllen, aufgrund der hohen räumlichen Auflösung und der Datenbreite, die Voraussetzung für die Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen.

19.4 Material und Methoden

19.4.1 Versuchsaufbau und methodische Vorgehensweise zur Auswertung der Daten

Auf den zwei zur Auswertung bereitgestellten Schlägen (Schlag 1: Hanska, Schlag 2: Morgan) wurden vier verschiedene Methoden zur Bestimmung des pflanzenverfügbaren Stickstoffs in der Vegetationsperiode angewandt. Bei den Verfahren handelt es sich zum einen um die auch in Deutschland gebräuchlichen Verfahren der Untersuchung auf Nitrat- und Ammonium-Stickstoff in der Bodenzone von 0 - 60 cm. Zusätzlich wurden zwei chemische Verfahren zur Bestimmung des mineralisierbaren Stickstoffs angewendet: Die Extraktion von Stickstoff mit Hilfe einer heißen KCl-Lösung (hKCl) und zum anderen mit einer Phosphat-Bor-Pufferlösung (PB-N). Um neben dem Verfahren auch den am besten geeigneten Zeitpunkt der Bodenprobenahmen zu bestimmen, wurden diese Verfahren zu vier verschiedenen Zeitpunkten durchgeführt: Im Herbst, zum Saattermin, zum Auflaufen und beim Fahnenschieben. Weiter wurde für diese Zeitpunkte das verfügbare Bodenwasser bestimmt sowie im Herbst der gesamte C-Gehalt und der gesamte N-Gehalt des Bodens. Neben den Verfahren zur Bestimmung des potentiell verfügbaren Stickstoffs wurde versucht, den Einfluss von topographischen Elementen auf den Ertrag und damit auch auf die optimale Düngungshöhe zu ermitteln als auch die mögliche Verwendung von Reflexionswerten des unbedeckten Bodens für dieses Ziel. Folgende topographische Werte wurden mit Hilfe eines digitalen Geländemodells bestimmt: Hangneigung, Profilverlauf, Hangverlauf.

Zusätzlich zu diesen Verfahren wurden topographische Daten mit Hilfe eines digitalen Geländemodells bestimmt sowie optische (Remote-Sensing-Daten) Informationen erhoben.

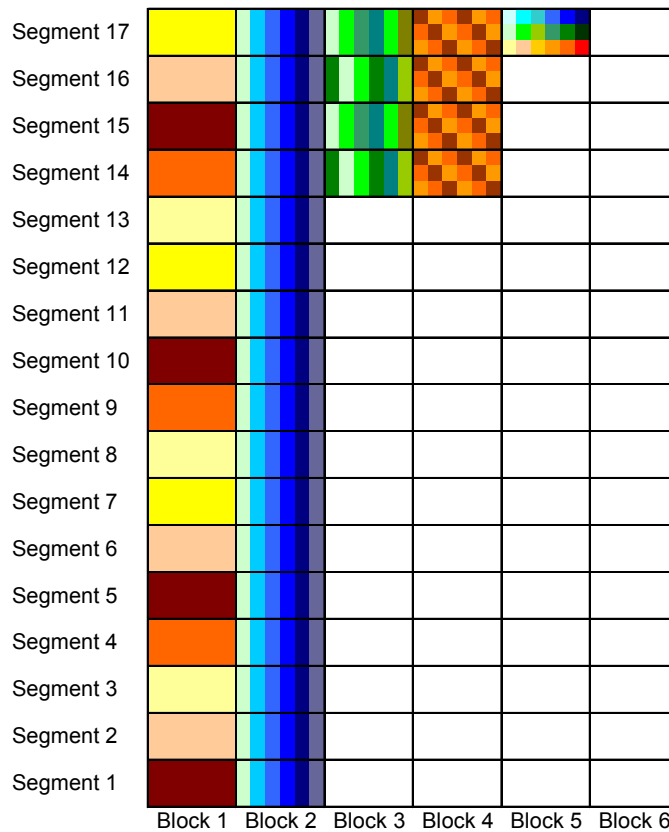


Abb. 19-1: Schematische Darstellung der Datenstruktur auf den Versuchsschlägen sowie des erzeugten Bearbeitungsrasters

Das Feld wurde unterteilt in 6 Blöcke, jeweils in Längsrichtung. Jeder Block ist 27,4 m breit und erstreckt sich über die gesamte Schlaglänge von 243 m. Innerhalb eines jeden Blockes wurde ein Stickstoffsteigerungsversuch mit 6 verschiedenen Stickstoffdüngenniveaus (0 kg, 60 kg, 90 kg, 120 kg, 150 kg und 180 kg N · ha⁻¹ (schematische Darstellung in Block 2 der Abbildung 19-1), in variierender Reihenfolge zur Vermeidung von gegenseitiger fester Beeinflussung in Streifen mit einer Breite von 4,6 m angelegt (schematische Darstellung in Block 3 der Abbildung 19-1). Die Blöcke wurden jeweils in 15,2 m lange (und nach wie vor 27,4 m breite) Segmente unterteilt, innerhalb derer die Bodenproben, als auch die topographischen und optischen (Remote-Sensing-) Daten erhoben wurden. Es lag damit ein Raster von 6 x 17 = 102 Segmente mit einem vollständigen Datensatz vor. Die Erträge wurden für jede Düngungsstufe innerhalb der Segmente (jeweils 6) erhoben, wodurch ein Ertragsdatenraster von 36 x 17 = 612 Datensätze zustande kam (ergibt sich aus 6 Blöcken x 6 Düngungsstufen x 17 Segmente, Darstellung in Block 3 der Abbildung 19-1).

In einem nächsten Schritt war es notwendig, die unterschiedlichen Raster der Boden- und Schlagdaten mit den Ergebnissen des N-Düngungsversuches in Übereinstimmung zu bringen. Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, die Boden- und Schlagdaten den 6-Düngungsstufen je Segment direkt zuzuordnen, in diesem Ansatz würde aber die räumliche Variabilität dieser Daten nicht berücksichtigt und ein hoher Aggregationsfehler in Kauf genommen. Zudem besitzen die Düngungsstufen unterschiedliche Entfernungen zum Mittelpunkt der Segmente und so kann angenommen werden, dass Düngungsstufen am Rand der Segmente mehr Übereinstimmung hinsichtlich Boden- und Schlagdaten mit ihren unmittelbaren Nachbarn im nächsten Segment haben

als mit der am anderen Ende liegenden N-Düngungsstufe. Um die räumliche Variabilität der Daten besser zu berücksichtigen, wurde zur Verschneidung und Auswertung der Daten ein Raster in Breite der Düngungsstreifen gewählt (4,6 x 4,6 m, Darstellung in Block 4 der Abbildung 19-1) und eine räumliche Interpolation der Daten mit dem statistischen Verfahren mit dem Programm Spatial Analyst (Extension für ARCVIEW® GIS) nach der Methode "Inverse Distance Weighted (IDW)" durchgeführt und dabei die 12 nächsten Nachbarzellen mit dem Faktor 2 berücksichtigt. Die Auswahl des genannten Rasters erscheint als gerechtfertigt, da ein größeres Raster zu einer Überlappung der Düngungs- und Ertragsdaten führen würde und damit zusätzliche "rein berechnete" Zellenwerte geschaffen würden. Zudem besteht für die Düngungsstufen keine Notwendigkeit der Berücksichtigung der räumlichen Variabilität, da die Düngungsmenge innerhalb der Streifen exakt eingehalten wurde. Die Auswahl eines quadratischen Rasters ist begründet in der Tatsache, dass Quadrate die geringsten Verzerrungen für räumliche Informationen aufweisen und daher die dafür notwendige Software lediglich über ein quadratisches Raster zur Berechnung der Zellen verfügt. Mit dieser methodischen Vorgehensweise wurde ein Raster für die Schläge von 36 Spalten und 56 Zellen geschaffen, was einer Anzahl von 2016 Einzelflächen und somit Datensätzen entspricht.

Für die Interpolation der Ertragskarten war, im Gegensatz zu den Boden- und Felddaten, ein weiterer Zwischenschritt notwendig, da in der vorliegenden Ertragskarte die Erträge neben der natürlichen Variation noch zusätzlich künstlich durch den Stickstoffsteigerungsversuch variiert wurden. Um lediglich den Einfluss der natürlichen Variation zu erhalten, wodurch dann die Erträge auf dem Gesamtfeld vergleichbar werden und damit eine Interpolation möglich wird, werden die Erträge innerhalb der Düngungsstreifen nach folgender Methode normiert:

$$Y_{ijnorm} = \frac{Y_{ij}}{Y_{jmax}}$$

mit: Y_{ijnorm} = normierter Ertrag des i-Segments im Block j

Y_{ij} = Absolutertrag des i-Segments im Block j

Y_{jmax} = Maximalertrag im Düngungsstreifen j

Durch diese Normierungsmethode schwankten die Erträge auf dem Gesamtschlag zwischen 0 und 1. Nach der Interpolation und der Anpassung an das 4,6 m x 4,6 m Raster werden die Relativerträge wieder in Absoluterträge umgewandelt, indem der Relativertrag (Y_{ijnorm}) nun mit dem zuvor berechneten Maximalertrag (Y_{jmax}) multipliziert wird. Die dadurch erzeugte Ertragskarte gibt den individuellen Einfluss der einzelnen Düngungsmaßnahmen als auch der natürlichen Einflussfaktoren wieder.

19.4.2 Schätzung teilflächenspezifischer Produktionsfunktionen

In diesem Abschnitt der Untersuchung sollen nun Stickstoff-Produktionsfunktionen für eine möglichst kleine räumliche Einheit geschätzt werden, um bestmöglichst die teilflächenspezifische Ertrags-Aufwandbeziehung abzubilden. Die Ergebnisse aus dieser Schätzung stellen somit für die Untersuchungsfläche die "tatsächlichen" Produktionsbedingungen dar und sollen damit

als Referenzvariante für die Schätzung von teilflächenspezifischen Stickstoff-Produktionsfunktionen auf der Basis der Boden- und Schlaginformationen dienen, die im anschließenden Abschnitt geschätzt werden.

19.4.2.1 Schätzung der "besten" teilflächenspezifischen Produktionsfunktion

Die kleinste räumliche Einheit, für die angemessen eine Produktionsfunktion geschätzt werden kann, ist ein Rechteck, mit der Rasterlänge von 4,6 m und erstreckt sich über alle N-Düngungsstufen (vgl. Abbildung 19-1 Block 5: jedes Band in der unterschiedlichen Farbenformation blau, grün und rot stellt ein solches Rechteck dar). Es wird daher für jeweils eine Fläche von 0,013 ha mit den sechs Düngungsstufen und den dazugehörigen Erträgen eine quadratische Produktionsfunktion der folgenden Form mit der Methode der kleinsten Quadrate geschätzt:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 N^2$$

mit: $Y = \text{Ertrag in dt} \cdot \text{ha}^{-1}$

$N = \text{Stickstoffaufwand in kg} \cdot \text{ha}^{-1}$

Es wurden somit für den gesamten Schlag 336 individuelle Produktionsfunktionen geschätzt. Durch den geringen Umfang der Beobachtungen je Schätzung sowie der weitgehend homogenen Boden- und Schlageinflussfaktoren konnte ein sehr hohes r^2 von 0,88 im Schnitt der Schätzungen erreicht werden der sich ein guter Zusammenhang zwischen Düngungshöhe und Ertragshöhe gezeigt werden und ist daher als Referenzvariante für die anschließende Schätzung gut eignet.

19.4.2.2 Schätzung einer teilflächenspezifischen Produktionsfunktion anhand Stickstoffbodenproben, topographischer und optischer Daten

Ziel des nächsten Schrittes ist es, eine Stickstoffproduktionsfunktion auf der Basis der Boden- und Schlaginformationen und damit für jede beliebige Teilfläche, für die die genannten Faktoren bekannt sind, zu schätzen. Das Grundmodell ist im Wesentlichen identisch mit dem zuvor beschriebenen Modell, der Unterschied liegt jedoch darin, dass die Funktionsparameter nun nicht unabhängig am besten zur Stickstoffdüngung angepasst werden, sondern dass diese Parameter durch die Boden- und Schlaginformationen definiert werden. Das Modell zur Schätzung dieser Produktionsfunktion kann wie folgt beschrieben werden:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_2 N^2$$

$$\text{mit: } \beta_0 = f(N - \text{Bodenproben, Topographie, Reflexion})$$

$$\beta_1 = f(N - \text{Bodenproben, Topographie, Reflexion})$$

$$\beta_2 = f(N - \text{Bodenproben, Topographie, Reflexion})$$

$$Y = \text{Ertrag}$$

$$N = \text{Stickstoffdüngung}$$

Dieses Modell wird zunächst mit allen verfügbaren Informationen bzw. Daten geschätzt werden und anschließend schrittweise getrennt nach Informations- bzw. Datengruppen geschätzt. Diese Vorgehensweise wird angewendet, da zum einen die Stickstoff-Bodenuntersuchungsmethoden im Prinzip gegenseitig miteinander konkurrieren und die Zahl der weiter benötigten Informationen aus Kostengründen möglichst gering gehalten werden sollte. Ziel ist es, die am besten geeignete N-Untersuchungsmethode bzw. Schlagdaten zur Schätzung der Produktionsfunktion zu identifizieren und den Datenerhebungsaufwand so gering wie möglich zu halten. (vgl. Tab. 19-1).

Tab. 19-1: R²-Ergebnisse zur Schätzung einer Produktionsfunktion für unterschiedliche Datengruppen auf den Schlägen Hanska und Morgan / Minnesota

	Hanska	Morgan
Gesamt Informationen/Daten	0,83	0,81
Topographische Daten	0,47	0,56
Remote-Sensing-Daten	0,69	0,57
Remote-Sensing-Daten (ohne Gesamt N)	0,65	0,52
hKCl	0,63	0,57
PB-N	0,53	0,59
NO ₃	0,54	0,63
NH ₄	0,62	0,60
N (anorganisch)	0,54	0,64
Wasser	0,50	0,55

Wie aus Tabelle 19-1 ersichtlich ist, kann auf beiden Untersuchungsschlägen bei Verwendung aller verfügbaren Informationen ein r² für die Schätzung der Produktionsfunktion erreicht werden in annähernd der selben Höhe wie in der Referenzschätzung. Da in dieser Schätzung jedoch 90 Faktoren berücksichtigt werden, ist ein hoher r²-Wert ziemlich wahrscheinlich, wobei viele dieser Faktoren statistisch nicht signifikant sind. Betrachtet man die Güte der Regressionsschätzungen für die einzelnen Datengruppen, so fällt zunächst auf, dass die r² ziemlich unterschiedlich ausfallen. Während der Versuchsschlag Hanska gute Ergebnisse mit Remote-Sensing-Daten liefert, sind diese für den Schlag Morgan vergleichsweise schlecht. Für beide Schläge gemeinsam gilt, dass die Ergebnisse zwischen den Gruppen wiederum relativ wenig variieren (max. Differenz = 0,21), dass die Unterschiede zwischen den Stickstoffuntersuchungsmethoden noch geringer sind und der Wassergehalt des Bodens verhältnismäßig schlechte Ergebnisse liefert.

In den Untersuchungen für die Ergebnisse in Tabelle 19-1 wurden bei den N-Untersuchungsmethoden für die Bewertung die Untersuchungsergebnisse aus allen Zeitpunkten (Herbst, Saat-

termin, Auflaufen und Fahnenstieben) berücksichtigt. In der nächsten Auswertungsreihe wurde nun versucht, neben der besten Kombination aus einer Stickstoffprobenmethode und einer Datengruppe der Schlaginformationen (topographisch oder Remote-Sensing) auch den besten Zeitpunkt für die Stickstoffbodenprobe zu identifizieren (vgl. Tab. 19-2).

Tab. 19-2: Ergebnis der Untersuchung auf die beste Kombination von Boden- und Felddaten, sowie deren Erhebungszeitpunkt

Hanska: Gesamt – Informationen						0,83
	INN	NH ₄	NO ₃	PB-N	hKCl	
Topographie + vor Saattermin	0,55	0,63	0,52	0,58	0,62	
Topographie + nach Saattermin	0,54	0,53	0,57	0,55	0,62	
Remote-Sensing + vor Saattermin	0,69	0,69	0,66	0,68	0,69	
Remote-Sensing + nach Saattermin	0,68	0,70	0,69	0,71	0,72	
Morgan: Gesamt – Informationen						0,81
	INN	NH ₄	NO ₃	PB-N	hKCl	
Topographie + vor Saattermin	0,68	0,66	0,63	0,62	0,61	
Topographie + nach Saattermin	0,65	0,60	0,64	0,61	0,64	
Remote-Sensing + vor Saattermin	0,64	0,62	0,62	0,62	0,57	
Remote-Sensing + nach Saattermin	0,66	0,56	0,64	0,59	0,59	

Die Ergebnisse in Tabelle 19-2 spiegeln in mancher Hinsicht die Ergebnisse aus Tabelle 19-1 wider. So sind Remote-Sensing- (oder optische-) Daten auf dem Untersuchungsschlag Hanska generell besser geeignet für die Schätzung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktion im Vergleich zu den topographischen Daten, während auf dem Schlag Morgan topographische Daten die bessere Eignung besitzen. Hinsichtlich des Termins für Stickstoff-Bodenproben zeigen die Ergebnisse, dass tendenziell Erhebungszeitpunkte bei NO₃ und hKCl in der Vegetationsperiode bzw. während des Pflanzenwachstums den Proben vor der Vegetationsperiode vorzuziehen sind, während insbesondere für NH₄ das Gegenteil zutrifft. Nennenswert verschieden sind auch die Ergebnisse für die einzelnen N-Untersuchungsmethoden. Auf dem Standort Hanska besitzt relativ deutlich die hKCl-Methode die beste Eignung, während auf dem Standort Morgan die Untersuchung auf den anorganischen Stickstoffanteil im Boden Erfolg verspricht.

Als die am besten geeigneten Daten und Methoden zur Schätzung teilflächenspezifischer N-Produktionsfunktionen konnte somit für den Standort Hanska eine Kombination aus Remote-Sensing-Daten in Verbindung mit einer N-Bodenuntersuchung nach der hKCl-Methode in der Vegetationsperiode identifiziert werden. Für den Standort Morgan besteht die beste Kombination aus topographischen Daten in Verbindung mit der Bestimmung des anorganischen Stickstoffs im Boden vor der Vegetationsperiode. Für diese beiden Kombinationen sollen nun der (aus ökonomischer Sicht) optimale Ertrag, der Deckungsbeitrag bzw. Gewinn und die N-Bilanz berechnet werden und mit den Ergebnissen der "besten" teilflächenspezifischen Schätzung als auch mit einer konstanten Düngung nach den Empfehlungen der regionalen Pflanzenbauberatung hinsichtlich der ökonomischen und ökologischen Konsequenzen verglichen werden.

19.5 Ergebnisse

19.5.1 Ökonomische Ergebnisse der Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen

Im vorangegangenen Kapitel wurde die methodische Vorgehensweise zur Schätzung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen dargelegt. Für die ökonomische Auswertung wurden anhand der geschätzten "besten" teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen der optimale Ertrag, Deckungsbeitrag sowie die dazugehörige Düngung und N-Bilanz, unter Verwendung von ortsspezifischen Produkt- und Faktorpreisen je Teilfläche (0,013 ha) berechnet. Zum Vergleich der Güte der Schätzung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen auf der Basis der Boden- und Schlagdaten wurden diese Funktionen gleichfalls für diese Teilflächen berechnet und die ökonomisch optimale N-Düngung je Teilfläche bestimmt. Diese optimale N-Düngung wurde dann anschließend wiederum in die "beste" Produktionsfunktion eingesetzt, da diese als beste Beschreibung der realen Bedingungen gilt, und anschließend Ertrag, Deckungsbeitrag und N-Bilanz berechnet. Dahinter steht der Gedanke, dass je mehr die berechnete optimale Düngungsmenge in Abhängigkeit der Boden- und Schlagdaten denen der "besten" Produktionsfunktion entspricht, um so mehr sind auch die ökonomischen Erträge beider Ansätze identisch. Im Idealfall sind beide Düngungsmengen und folglich beide Produktionsfunktionen sowie das ökonomische Ergebnis identisch. Als letzte Vergleichsvariante wurde die nach der fachlichen Beratung empfohlene Düngungsmenge (es wurde als Ertragsersparnis der obere Quantilwert der optimalen Erträge verwendet) in die "beste" Produktionsfunktion eingesetzt und gleichfalls der Ertrag, der Deckungsbeitrag und die N-Bilanz berechnet. Die Ergebnisse für die Untersuchungsstandorte sind in den Tabellen 19-3 und 19-4 aufgeführt.

Für den Untersuchungsstandort Hanska ergibt sich als bestmöglicher Deckungsbeitrag ein Wert von ca. $540 \text{ DM} \cdot \text{ha}^{-1}$ und liegt damit rund $25 \text{ DM} \cdot \text{ha}^{-1}$ über dem Deckungsbeitrag für die Variante der Schlagdaten und ca. $35 \text{ DM} \cdot \text{ha}^{-1}$ über dem der konstant gedüngten Variante. Da die zusätzlichen variablen und fixen Kosten für die Erhebung der Boden- und Schlagdaten nicht erhoben werden konnten, entsprechen die $35 \text{ DM} \cdot \text{ha}^{-1}$ dem maximalen Investitionspotential pro Hektar. Wie aber weiter gezeigt werden kann, können von diesen $35 \text{ DM} \cdot \text{ha}^{-1}$ im vorliegenden Fall nur ca. $10 \text{ DM} \cdot \text{ha}^{-1}$ mit den zugrunde liegenden Informationen realisiert werden.

Betrachtet man die weiteren Ergebnisse, so kann beobachtet werden, dass der Deckungsbeitragsanstieg im Wesentlichen auf eine Einsparung an Düngemitteln zurückzuführen ist, die durch eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung um $40 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ reduziert werden können, wobei die gesamte Spannweite der möglichen Aufwandmengen realisiert wird (von 0 bis $180 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). Zwar sinkt der Ertrag durch die verringerte Düngungshöhe, jedoch werden die Ertragsrückgänge durch die eingesparten Düngungskosten jeweils überkompensiert. Ein weiterer positiver Effekt (der sich leider einer ökonomischen Bewertung mit den vorhandenen Möglichkeiten entzieht) ist die deutlich verringerte N-Bilanz auf dem Schlag.

Tab. 19-3: Ökonomische und ökologische Effekte der Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen am Standort Hanska

	Optimal ¹	Schlagdaten ²	Konstant ³
Ertrag in dt/ha			
Durchschnitt	85,31	81,15	88,97
Std. Abweichung	11,34	11,53	9,38
Max	106,61	106,60	108,31
Min	40,28	48,21	50,53
Düngung in kg · ha ⁻¹			
Durchschnitt	87,15	81,30	130,00
Std. Abweichung	51,85	26,77	0,00
Max	180,00	180,00	130,00
Min	0,00	0,00	130,00
Deckungsbeitrag in \$ · ha ⁻¹			
Durchschnitt	542,49	518,42	507,74
Std. Abweichung	73,10	92,47	73,87
Max	719,93	688,02	660,03
Min	235,49	142,46	205,14
N-Bilanz in kg · ha ⁻¹			
Durchschnitt	-40,82	-40,43	-3,49
Std. Abweichung	43,37	29,22	14,41
Max	63,55	102,02	54,20
Min	-137,15	-89,27	-48,07

1) Optimal = Ergebnisse auf der Basis der "besten" Produktionsfunktion

2) Schlagdaten = Ergebnisse auf der Basis der Produktionsfunktionen in Abhängigkeit der Boden- und Schlagdaten

3) Konstant = Ergebnisse auf der Basis einer konstanten Düngung nach fachlicher Beratung

Die Ergebnisse für den Untersuchungsstandort Morgan stimmen gut mit den Ergebnissen für den Standort Hanska überein. Auch auf diesem Schlag wird die Düngung reduziert (es wird gleichfalls das gesamte Spektrum der möglichen Düngung ausgeschöpft), der Ertrag geht dadurch geringfügig zurück und wiederum wird der Erlösrückgang aufgrund geringerer Erträge durch die verringerten Düngungskosten überkompensiert. Folglich ist auch der Saldo der N-Bilanz deutlich negativer, was aus ökologischer Sicht als Vorteil zu sehen ist, als auf der konstant gedüngten Fläche. Unterschiede zum vorangegangenen Schlag finden sich zum einen in dem geringeren Potential zur Steigerung des Deckungsbeitrages und der noch geringeren Möglichkeit, dieses Potential mit den vorhandenen Boden- und Schlaginformationen auszuschöpfen. Es besteht lediglich eine Deckungsbeitragsdifferenz von 4 DM · ha⁻¹, die genügen muss, die Investitionskosten für die Erhebung der notwendigen Daten als auch für die teilflächenspezifische Applikation zu decken - dies dürfte bei den augenblicklichen Preisverhältnissen als ausgeschlossen gelten. Eine Erklärung für das geringere ökonomische Potential auf dem Standort Morgan ist auf die geringere Güte der Schätzung der Produktionsfunktionen in Abhängigkeit von Boden- und Schlagdaten zurückzuführen. Die Differenz der r² ist mit 0,04 relativ gering, jedoch, wie in weiteren Berechnungen gezeigt werden konnte, beträgt der Deckungsbeitragsrückgang je einem verringerten r²-Wert von 0,01 ca. 1,5 \$ · ha⁻¹ und ist damit für eine Investitionsentscheidung nicht vernachlässigbar. Eine wesentliche Schlussfolgerung aus diesem Ergebnis ist, dass für eine ökonomisch erfolgreiche Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen Daten mit

sehr hoher Erklärungskraft/Güte vorliegen müssen, die eine Schätzung mit einem r^2 von mindestens 0,7 ermöglichen. Andernfalls ist die Wahrscheinlichkeit von Fehl-Umverteilungen der Düngemittel relativ hoch und die konstant gedüngte Variante erreicht, insbesondere aufgrund der geringeren Verfahrenskosten, höhere Deckungsbeiträge.

Tab. 19-4: Ökonomische und ökologische Effekte der Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen am Standort Morgan

	Optimal	Schlagdaten	Konstant
		Ertrag in dt · ha ⁻¹	
Durchschnitt	97,73	98,24	101,30
Std. Abweichung	15,68	14,69	11,75
Max	127,67	129,11	122,18
Min	54,94	61,18	70,53
		Düngung in kg · ha ⁻¹	
Durchschnitt	114,82	135,23	154,00
Std. Abweichung	61,59	27,58	0,00
Max	180,00	180,00	154,00
Min	0,00	0,00	154,00
		Deckungsbeitrag in \$ · ha ⁻¹	
Durchschnitt	599,24	573,00	569,31
Std. Abweichung	94,02	97,32	92,50
Max	797,77	754,97	733,70
Min	340,44	310,28	327,02
		N-Bilanz in kg · ha ⁻¹	
Durchschnitt	-31,77	-12,13	2,05
Std. Abweichung	49,52	22,99	17,62
Max	64,30	54,63	48,20
Min	-151,98	-118,75	-29,27

19.5.2 Umweltrelevante Ergebnisse der Anwendung von geschätzten teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen

Wie den Ergebnissen aus Tabellen 19-3 und 19-4 entnommen werden kann, variiert die teilflächenspezifische Düngung in hohem Maße und umfasst in allen Fällen das gesamte zugelassene Spektrum (0 - 180 kg N · ha⁻¹) und es taucht die Frage nach der optimalen Verteilung auf. Als ein erster Indikator könnte das N-Saldo der Düngebilanz Auskunft geben, der sich in allen untersuchten Varianten signifikant verbessert, doch könnte dies auch auf eine Kompensation von stark überdüngten durch stark "abgeschöpfte" Teilflächen ergeben. Es wurde daher für beide Standorte untersucht, welcher Zusammenhang zwischen Ertragshöhe und Düngungshöhe zwischen den Teilflächen besteht; ob ertragsschwache Standorte aufgedüngt und ertragsstarke ausgezehrt werden oder umgekehrt.

Für die untersuchten Standorte lässt sich anhand der Ergebnisse in Tabelle 19-5 deutlich zeigen, dass auf Teilflächen mit hohem Ertragspotential, insbesondere in der "besten" Variante, wesentlich stärker gedüngt wurde, als auf Flächen mit geringem Ertragspotential (120 kg N · ha⁻¹ auf den Hohertragsflächen im Vergleich zu 21 kg N · ha⁻¹ auf den Niedrigertragsflächen). Je besser

die Produktionsfunktionen auf Basis der Boden- und Schlagdaten diesem Ziel nahe kommen, um so besser ist auch ihr ökonomisches Ergebnis. Dies hat den weiteren Vorteil, dass auf Flächen mit relativ geringem Ertrag der Düngerüberschuss deutlich reduziert wird. Auf diesen Untersuchungsstandorten gehen folglich ökologische und ökonomische Ziele eindeutig Hand in Hand und es liegt eine win-win-solution vor.

Tab. 19-5: Untersuchung auf Zusammenhang zwischen Ertrags- und Düngungshöhe der Teilflächen

	Max Erträge¹ in dt · ha ⁻¹	Düngung in kg · ha ⁻¹	Min Erträge² in dt · ha ⁻¹	Düngung in kg · ha ⁻¹
Hanska				
Optimal	103,54	121,99	62,09	20,89
Schlagdaten	100,13	96,96	55,95	70,07
Morgan				
Optimal	122,56	176,65	67,58	24,05
Schlagdaten	115,24	136,28	74,88	135,18

1) 10% der Teilflächen mit den höchsten Erträgen

2) 10% der Teilflächen mit den niedrigsten Erträgen

19.5.3 Ergebnisse projektinterner Versuche

Ein Schwerpunkt der projektinternen Versuche war die Untersuchung der Effekte des Einsatzes eines N-Sensor auf den Ertrag, den Düngemittelaufwand, die N-Bilanz und auf den Deckungsbeitrag bzw. Gewinn. Nachdem bereits im vorangegangenen Zwischenbericht die Auswertung der zu diesem Thema veröffentlichten Literatur wie auch erste Gedanken zur Wirtschaftlichkeit dargelegt wurden, kann in diesem Bericht nun ein vollständig ausgewerteter Datensatz für einen projekteigenen Versuch beschrieben werden (vgl. Tab. 19-6).

Für die Untersuchung der genannten Fragestellung wurden die Fahrgassen des Schlags 20_3ABG in abwechselnder Reihenfolge mit dem N-Sensor und mit konstanten Aufwandmengen gedüngt. Im Gegensatz zu den bekannten Veröffentlichungen, konnten für diesen Schlag keine pflanzenbaulichen Unterschiede zwischen den sensorgedüngten Fahrgassen und den konstant gedüngten Fahrgassen gefunden werden. Bei einer im Durchschnitt unveränderten Düngung, von 82 kg N · ha⁻¹ zur 2. und 3. Gabe (die erste Stickstoffgabe wurde auf der Gesamtfläche konstant durchgeführt), beträgt die Ertragsdifferenz lediglich 0,05 t · ha⁻¹ und dies zu Ungunsten der sensorgedüngten Flächen. Zwar gelingt es durch den N-Sensor, den Minimalertrag von knapp 11 dt · ha⁻¹ auf 16 dt · ha⁻¹ anzuheben, insgesamt ist jedoch die Standardabweichung auf dem konstant gedüngten Teil sogar geringer. Dies führt dann auch zu einem nur unwesentlich veränderten Deckungsbeitrag, lediglich aufgrund der höheren variablen Kosten für die teilflächenspezifische Düngung und Management sinkt der Deckungsbeitrag um ca. 40 DM · ha⁻¹ (von 1.974 DM · ha⁻¹ auf 1.936 DM · ha⁻¹). Bei der Suche nach Erklärungen für dieses Verhalten wurde die ECa-Analyse für die Auswertung herangezogen, jedoch konnte kein nennenswerter Unterschied in den Bodenverhältnissen gefunden werden. Die Differenz in der elektrischen Leitfähigkeit liegt lediglich bei 1,33 Punkten (in einer Skala von 0 - 100) und auch die Varianz der Bodenverhältnisse ist annähernd identisch.

Tab. 19-6: Pflanzenbauliche und ökonomische Effekte des N-Sensors

	ECa-Analyse ¹	Ertrag	2. N-Gabe	3. N-Gabe	N-Bilanz	Deckungsbeitrag
		t · ha ⁻¹	kg N · ha ⁻¹	kg N · ha ⁻¹	kg N · ha ⁻¹	DM · ha ⁻¹
konventionell gedüngter Schlagteil						
Durchschnitt	54,86	7,55	24,00	58,00	-69,14	1.974,06
Std – Abweichung	6,24	1,09	0,00	0,00	26,07	306,90
Max	76,66	10,84	24,00	58,00	85,81	2.970,83
Min	43,05	1,09	24,00	58,00	-148,26	191,58
teilflächenspezifisch gedüngter Schlagteil						
Durchschnitt	56,19	7,50	23,61	58,46	-67,84	1.936,92
Std – Abweichung	7,46	1,19	7,64	5,41	32,17	341,70
Max	79,19	10,85	80,11	70,00	96,95	2.972,69
Min	35,26	1,63	16,00	40,11	-166,83	193,34

1) ECa-Analysis = apparent Electric Conductivity – Analyse der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit des Bodens

Quelle: Agri Con 2000, 1999 und eigene Ergebnisse

Mit Hilfe einer Korrelationsanalyse wurde in einem nächsten Schritt untersucht, welche Zusammenhänge zwischen den einzelnen Aufwands- und Ertragsparametern bestehen. Wie Tabelle 19-7 entnommen werden kann, besteht nicht nur der höchste, sondern auch generell ein hoher Zusammenhang zwischen der Bodenanalyse mit Hilfe der elektrischen Leitfähigkeit und dem Ertrag. Erstaunlich hingegen ist, wie gering die Korrelation zwischen der teilflächenspezifischen Düngung und dem Ertrag ist. So besteht zwischen der 2. N-Gabe und dem Ertrag praktisch gar kein Zusammenhang und zwischen der 3. N-Gabe und dem Ertrag, wenn, dann ein negativer, d. h., dass Flächen mit geringer Ertragshöhe zur 3. N-Gabe stärker gedüngt wurden, als Flächen mit hohem Ertrag.

Tab. 19-7: Korrelationsanalyse der relevanten Schlagparameter (ECa: s. Tab. 19-6)

	ECa-Boden	Ertrag	2. N-Gabe	3. N-Gabe	Deckungsbeitrag
konventionell					
ECa-Boden	1.00				
Ertrag	0.62	1.00			
2. N-Gabe	keine	keine	1.00		
3. N-Gabe	keine	keine	keine	1.00	
Deckungsbeitrag	0.60	0.97	keine	keine	1.00
teilflächenspezifisch					
ECa-Boden	1.00				
Ertrag	0.59	1.00			
2. N-Gabe	0.27	-0.03	1.00		
3. N-Gabe	-0.30	-0.29	0.33	1.00	
Deckungsbeitrag	0.57	0.97	-0.05	-0.29	1.00

Wie gut die Übereinstimmung zwischen der Ertragshöhe und den Werten der elektrischen Leitfähigkeit ist, kann auch der folgenden Abbildung 19-2 entnommen werden. Weiter festzuhalten bleibt auch, dass selbst durch die teilflächenspezifische Düngung, die Korrelation zwischen ECa-Werten und dem Ertrag nur geringfügig von 0,62 auf 0,59 verringert und damit die gegensteuernde Düngung deutlich überlagert wird. An dieser Stelle taucht nun die Frage auf, ob es nicht sinnvoller wäre, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Bodenuntersuchung die teilflächenspezifische Düngung durchzuführen. Es wurde versucht, dieser Frage nachzugehen, doch ist hierfür ein Stickstoffsteigerungsversuch, vergleichbar dem dargelegten Versuch in den vorangegangenen Abschnitten, erforderlich. Als Ergebnis aus dem hier ausgewerteten Versuch kann daher nur festgehalten werden, dass es im Erntejahr 2000 nicht gelungen ist, mit dem N-Sensor ökonomische und ökologische Ziele auf dem Schlag 20_3ABG zu erreichen. Eine weitergehende Untersuchung und damit übertragbare Ergebnisse über die pflanzenbaulichen Gründe, die optimale Düngestrategie, wie auch zur Methodik des N-Sensors lassen die Daten aus diesem Versuch nicht zu.

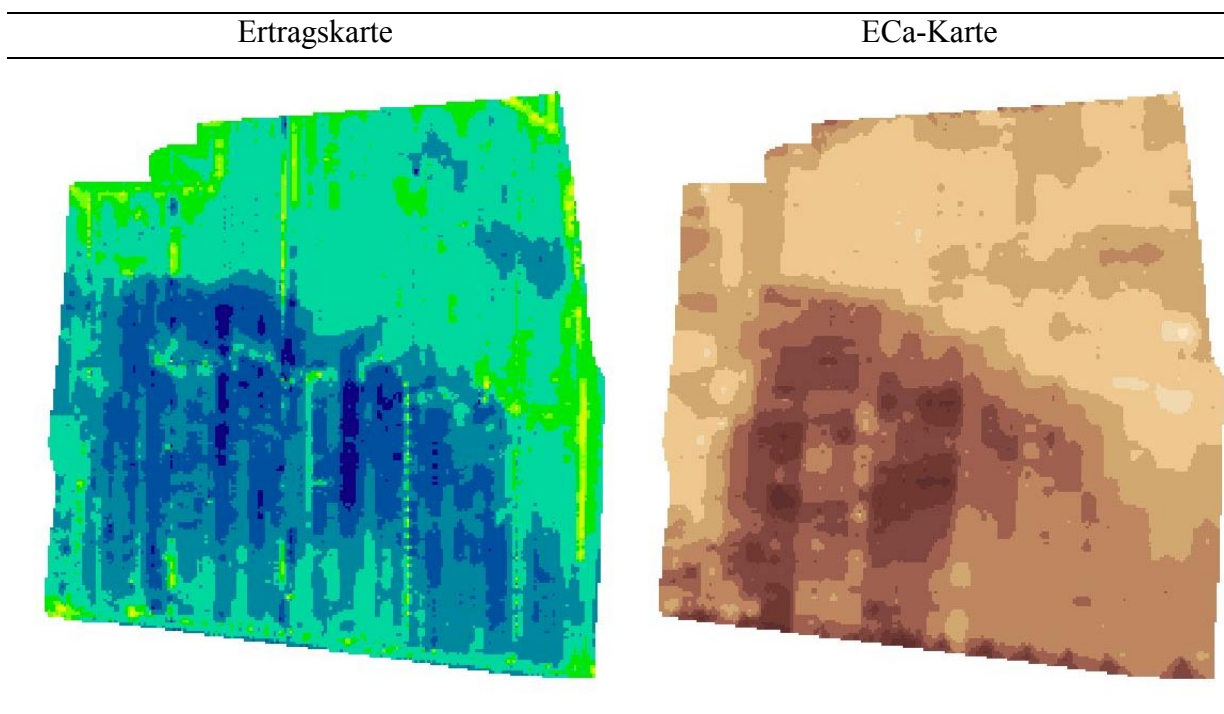


Abb. 19-2: Vergleich der Ertrags- und ECa-Karte vom Schlag 20_3ABG
Quelle: Agri Con 2000

19.6 Schlussfolgerungen und Diskussion

Als wichtigstes Ergebnis kann hier festgehalten werden, dass es mit der dargelegten Methode zur Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen gelungen ist, einen methodischen Ansatz zu entwickeln, der in verschiedener Hinsicht wertvolle Ergebnisse liefert. Mit Hilfe dieser Produktionsfunktion ist es zum einen möglich, die ökonomisch optimale Stickstoffeinsatzmenge in Verbindung mit dem optimalen Ertrag für die einzelnen Teilflächen und damit auch den max. Gewinn zu ermitteln. Weiter konnte analysiert werden, in welcher Weise die optimale

Anpassung der Düngungsstrategie erfolgt, das heißt, die Frage beantwortet wird, ob Teilflächen mit geringem Ertrag erhöhte Düngungsmengen rechtfertigen oder entsprechend gering gedüngt werden sollten. Für die untersuchten Standorte, mit der vorhandenen Kulturart und den örtlichen Preisverhältnissen, konnte zudem das letztlich realisierbare ökonomische Potential, das mit einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung theoretisch erreicht werden kann, aufgezeigt werden und ein Rückschluss auf die Mindestanforderungen an die Datengüte gezogen werden. Neben den ökonomischen Kennwerten erlauben diese Produktionsfunktionen auch weitergehende Rückschlüsse über die ökologischen Konsequenzen des Produktionsmanagements.

Trotz dieser bereits erreichten Fortschritte bleiben mit den bisher verfügbaren Daten noch wichtige Fragen unbeantwortet. Nicht geklärt werden konnte zum einen, warum selbst bei den im Vergleich zu Deutschland sehr homogenen naturräumlichen Bedingungen der Untersuchungsstandorte die Eignung der einzelnen Datengruppen (topographische Daten versus Remote-Sensing-Daten) als auch der N-Bodenuntersuchungsmethoden nennenswert verschieden waren und damit eine gemeinsame teilflächenspezifische Produktionsfunktion in Abhängigkeit von Boden- und Schlagdaten zu deutlich schlechteren Ergebnissen für die einzelnen Schläge geführt hätten. Gleichfalls ist zu berücksichtigen, dass die durchgeführten Berechnungen lediglich für eine Kulturart, in einem Jahr durchgeführt wurden und damit die Frage noch offen ist, inwiefern selbst die schlagspezifischen Funktionen die Ertragsverhältnisse in den folgenden Jahren hinreichend beschreiben und welche Zusammenhänge zwischen einzelnen Kulturarten bestehen. Mit dem beschriebenen Ansatz besteht jedoch grundsätzlich die Möglichkeit, die kurzfristigen Produktionsfunktionen zu langfristigen Produktionsfunktionen zu erweitern, die neben jahreszeitlichen Einflüssen auch kulturartbedingte Unterschiede berücksichtigen, so dass ein wertvolles Werkzeug zur Entscheidungsunterstützung geschaffen werden kann.

Eine wichtige Konsequenz aus diesen Ergebnissen ist gleichfalls, dass die zukünftigen Projektversuche den Anforderungen für die Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsversuchen gerecht werden. Das dargestellte Ergebnis zum N-Sensor lässt keine weiteren Rückschlüsse zu, weder ob die angewendete Methode korrekt war, noch ob überhaupt eine teilflächenspezifische Düngung zu höheren Erträgen (bei einer durchschnittlichen unveränderten Düngungshöhe) führen kann. Daher sollten auf den künftigen Hauptuntersuchungsschlägen auch Intensitätsversuche (nicht nur für Stickstoff) angelegt werden, die neben einfaktoriellen Untersuchungen durchaus auch mehrere Faktoren berücksichtigen können.

19.7 Ausblick

Zukünftige Schwerpunkte des ökonomischen Teilprojektes sind in der weiteren Untersuchung und Entwicklung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen zu sehen, mit dem besonderen Ziel, neben der räumlichen Variabilität von Schlagparametern auch die zeitliche Variabilität zu integrieren. Eine wichtige Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass neben den bereits vielfach vorhandenen ECa-Bodenkarten, die für einige Schläge ein sehr hilfreiches Instrument zur Ableitung eines teilflächenspezifischen Managements zu sein versprechen, weitere hochaufgelöste Boden- und Schlaginformationen erhoben und zur Verfügung gestellt werden. Da derzeit noch keine mehrjährig hochaufgelösten breit angelegten Datensätze in *pre agro* vorhanden sind,

wird versucht, die methodischen Grundlagen anhand eines weiterentwickelten mehrfaktoriellen (N- und P-Düngung) und mehrjährigen Versuches zu entwickeln und dynamische teilflächen-spezifische Produktionsfunktionen zu schätzen und auszuwerten. Die entwickelte Methode dient als Grundlage für die Schätzung von Funktionen für projekteigene Versuchsschläge.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Entwicklung eines Vollkostenkonzeptes entsprechend den Empfehlungen des Projektbeirates. Ziel ist es, in den weiteren ökonomischen Auswertungen, neben den Deckungsbeitragskarten, auch Gewinnkarten (auf Grundlage der Vollkosten) zu erstellen und auf die unterschiedliche ökonomische Bedeutung der Auswertung (z. B. Entscheidungskriterien für weitere Investitionen) gezielt einzugehen.

Neben der fachlichen Arbeit ist es auch wieder im kommenden Jahr ein wichtiges Ziel, an Konferenzen, Fachtagungen und Workshops teilzunehmen und wissenschaftliche Beiträge zu publizieren. So konnte bereits für die 3. Europäische Konferenz für precision agriculture erfolgreich ein Vortrag mit ausgearbeitetem wissenschaftlichem Beitrag eingereicht werden (Kilian et al. 2001).

19.8 Literatur

AGRI CON (2000): Versuche zum N-Sensor. - Unveröffentlicht, Jahna.

DIKICI, H. (2000): Seasonal Nitrogen Availability: A Site-Specific Approach., - Thesis submitted to the faculty of the graduate school of the University of Minnesota, St. Paul, USA.

KILIAN, B., HURLEY T.M. AND MALZER G. (2001): Economic aspects of precision agriculture: an economic assessment of different site-specific N-fertilization approaches - Schriftlicher Beitrag für die "3rd European Conference on Precision Agriculture", Montpellier, Juni 2000.

MALZER, G. (2000): Variable rate application of nitrogen - several experiments. Soil Department, University of Minnesota, St. Paul, USA (unpublished).

19.9 Adressen

Prof. Dr. S. Dabbert

Dr. B. Kilian

Universität Hohenheim

Institut für Landwirtschaftliche Betriebslehre 410 A

Schloß, Osthof-Süd

70593 Stuttgart

Tel: 0711/4592-541

0711/4592-560

Fax: 0711/4592-555

E-Mail: dabbert@uni-hohenheim.de

kilian@uni-hohenheim.de