

9.2 Ökonomie (TP IV-1)

Teilprojektleiter: Prof. Dr. S. Dabbert
Bearbeiter: Dr. B. Kilian

9.2.1 Zusammenfassung

Die ökonomische Bewertung von teilflächenspezifischen Maßnahmen kann noch nicht auf etablierte Methodenpakete zurückgreifen. Daher wurde im vergangenen Projektjahr intensiv an der Methodenentwicklung für eine ökonomische Bewertung von teilflächenspezifischen Maßnahmen gearbeitet. Im vorliegenden Zwischenbericht werden daraus zwei methodisch unterschiedliche Ansätze zur Bewertung der durchgeführten teilflächenspezifischen N-Düngung vorgestellt und diskutiert. Ein Ansatz verwendet normierte Stickstoffertragsfunktionen zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Stickstoffertragsfunktionen und darauf aufbauend zur Bewertung der Maßnahmen.

Beim zweiten Ansatz wird in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt IV-4b (Lokaler N-Austrag) unter Verwendung des pflanzenbaulichen Simulationsmodelles HERMES eine Szenarioanalyse zur Identifizierung der ökonomisch optimalen, teilflächenspezifischen N-Düngung und zur Bewertung unterschiedlicher Informationsarten durchgeführt.

Die Bewertung nach der Methode der normierten Stickstoffertragsfunktionen ergab auf den Projektpflichtschlägen des Jahres 2001 ein ökonomisches Potential zur Steigerung des Deckungsbeitrages von im Schnitt ca. 25 €/ha durch eine teilflächenspezifische Stickstoffdüngung. Mithilfe einer Regressionsschätzung konnte gezeigt werden, dass das ökonomische Potential mit dem Variationskoeffizienten des Ertrages zunimmt.

Bei den ersten Ergebnissen der Szenarioanalyse mit Hilfe des Simulationsmodelles Hermes wurde für den Projektschlag „Autobahn“ (Beckum) durch eine teilflächenspezifische Düngung ein ökonomisches Steigerungspotential von bis zu 50 €/ha ermittelt. Entgegen den Erwartungen, wurden in diesen Berechnungen die höchsten Deckungsbeitragssteigerungen bei Verwendung der Reichsbodenschätzung als Informationsgrundlage zur Bestimmung der optimalen Düngung erzielt. Bei einer teilflächenspezifischen Düngungsempfehlung auf Basis von Einzelprofildaten ist das Steigerungspotential des Deckungsbeitrags nur um 5€/ha geringer, während bei der Verwendung von Hof-Bodenkarten die Differenz zur besten Variante in diesen Berechnungen bei 25 €/ha liegt.

Ergänzend zu der Bestimmung der möglichen Steigerung des Deckungsbeitrages durch eine teilflächenspezifische Düngung wurden die notwendigen Investitionskosten für die technologische Ausrüstung ermittelt. Die gesamten Investitionskosten wurden für unterschiedliche Betriebsgrößen berechnet und dann in jährlichen Kosten für den Gesamtbetrieb und in jährlichen Kosten je ha bei unterschiedlicher Flächenausstattung dargestellt. Legt man die hier berechneten Potentiale zur Steigerung des Deckungsbeitrages durch eine teilflächenspezifische Düngung zugrunde, so ist - ein optimales Teilflächenmanagement unterstellt - eine gewinnbringende Anwendung des precision agriculture in der N-Düngung ab einer Einsatzfläche von ca. 300 ha im Getreidebau möglich.

Wichtige zukünftige Aufgaben für das ökonomische Teilprojekt sind die Weiterentwicklung und breite Anwendung der hier vorgestellten Bewertungsansätze. Dabei wird das Ziel verfolgt, die inhaltlichen Ansätze aufeinander abzustimmen sowie die Übertragbarkeit zu gewährleisten. Die Verwendung weiterer Daten- bzw. Informationsquellen hinsichtlich ihrer ökonomischen Potentiale für ein teilflächenspezifisches Management ist zu untersuchen und zu bewerten. Dabei sind die Fernerkundung und digitale Geländemodelle sowie alternative

Möglichkeiten der teilflächenspezifischen N-Düngung wie der weiterentwickelte N-Sensor von besonderer Bedeutung.

Summary

Currently no established methods for an economic assessment of site-specific field treatments exist. Thus, this paper presents two approaches to assess site-specific nitrogen fertilization on project fields.

The first approach derive site-specific yield-response functions from standardised yield-response functions to conduct economic analysis. The results of this method show an increase of gross margin due to a site-specific nitrogen fertilization of 25 €/ha on average for the experimental fields. Furthermore it was demonstrated that the increase of gross margin is determined by yield variation and yield level.

The second approach use a plant-growth simulation model (HERMES), in cooperation with the project partner TP IV Kersebaum, to identify the optimal site-specific nitrogen application. Due to the complexity of the model only one experimental field could be analysed. The simulation results demonstrate a potential gross margin increase up to 50 €/ha for the investigated field. The results also show that the kind of information used to derive the site-specific fertilization recommendations has an impact on the economic success. The highest gross margin increase was achieved by using soil information of the "Reichsbodenschätzung", while information based on intensive soil sampling and the advanced information method of "Hof-Boden-Karten" lead to lower gross margin increases.

These potential increases of gross margin due to a site-specific fertilization were opposed to the average investment for precision farming of farms participating in "preagro". This leads to the conclusion that a profitable use of precision farming technology for a site-specific fertilization seems to be possible in farms exceeding 300 ha of cereals.

9.2.2 Bezug zum Verbundprojekt

Das ökonomische Teilprojekt ist wesentlich auf die Zusammenarbeit mit naturwissenschaftlichen Projekten angewiesen, da deren Daten die Grundlage für die ökonomische Bewertung sind. Neben einem Informationsaustausch mit den Teilprojektpartnern nimmt das ökonomische Teilprojekt auch regelmäßig an Treffen mit den Betriebsleitern teil. Dies ermöglicht ein Feedback über die Einschätzung der Betriebsleiter zu den ökonomischen Effekten der auf ihren Feldern durchgeführten Maßnahmen. Besonders intensiv wurde im vergangenen Projektjahr mit dem Teilprojekt IV-4b (Lokaler N-Austrag) zusammengearbeitet, um die in diesem Projekt weiterentwickelten Simulationsmodelle für die Bewertung von teilflächenspezifischen Maßnahmen und der Vorzüglichkeit verschiedener Informationsgrundlagen zu verwenden.

9.2.3 Einleitung und Problemstellung

Im Versuchsjahr 2000 wurde, entsprechend den Projektvereinbarungen, zur Darstellung und Bewertung der zu erwartenden Effekte, eine Teilung der Schläge in „betriebsüblich“ bewirtschaftete und nach den „pre agro-Algorithmen“ bewirtschaftete Schlaghälften vorgenommen. Die Ergebnisse der Schlagteilung aus 2000 werden in diesem Zwischenbericht nochmals aufgezeigt, da sich aus ihnen methodische Schlussfolgerungen für die ökonomische Bewertung ergeben. Tabelle 9.2-1 zeigt zum Teil sehr starke Unterschiede in den Deckungsbeiträgen auf den Schlaghälften. Da es sowohl Schläge mit positiven als auch negativen Differenz-

beiträgen gibt, ist keine Trenderaussage möglich. Mit einer durchschnittlichen Deckungsbeitragsdifferenz von 5 €/ha zwischen den beiden Schlaghälften trifft die hier dargestellte Auswahl gut das Gesamtergebnis. Es wurde versucht, die unterschiedlichen Ergebnisse mit Hilfe der zur Verfügung stehenden weiteren Informationen (z. B. Düngung, Hof-Bodenkarten, ECa-Analyse) zu erklären, jedoch konnten keine belastbaren Korrelationen dieser Informationen mit den Erträgen gefunden werden. Dies heißt, dass keine Aussagen zu den Ursachen der Ertrags- und Deckungsbeitragsdifferenzen gemacht werden konnten. Das verwendete Versuchsdesign genügte den Anforderungen für eine Bewertung von precision agriculture nicht. Es musste daher nach Methoden gesucht werden, die über den Ansatz des Vergleichs von Schlaghälften hinausgehen. Zwei unterschiedliche Modellansätze erscheinen vielversprechend; sie werden im Folgenden dargestellt.

Tab. 9.2 -1: Ökonomische Ergebnisse auf Projektschlägen bei teilflächenspezifischer Bewirtschaftung nach pre agro- und betriebsüblicher Bewirtschaftung

Tab. 9.2-1: Economic results of site-specific management strategies compared to conventional farming on experimental fields in preagro

Schlag	Kennwert	Einheit	pre agro			betriebsüblich	Differenz
			Ø	Min	Max	konstant	pre agro – bü
Autobahn	Ertrag	in dt/ha	86,8			80,4	6
	Aussaat	in kg/ha	138	126	146	180	-42
	Düngung	in kg/ha	212	171	220	196	16
	CCC (2. Gabe)	in ml/ha	241	150	300	200	41
	Deckungsbeitrag	in €/ha	872			788	84
Hagelsberg	Ertrag	in dt/ha	81,3			83,9	-3
	Aussaat	in kg/ha	157	151	174	180	-23
	Düngung	in kg/ha	186	178	191	196	-10
	CCC (2. Gabe)	in ml/ha	261	240	300	1000	-739
	Deckungsbeitrag	in €/ha	669			682	-13
Bullenstall	Ertrag	in dt/ha	67,5			75,4	-8
	Aussaat	in kg/ha	161	-	-	161	0
	Düngung	in kg/ha	173	135	195	185	-12
	CCC (2. Gabe)	in ml/ha	237	170	300	300	-63
	Deckungsbeitrag	in €/ha	791			896	-105
Erbsenacker	Ertrag	in dt/ha	93,1			94,0	-1
	Aussaat	in kg/ha	154	168	129	168	-14
	Düngung	in kg/ha	189	175	190	205	-16
	CCC (2. Gabe)	in ml/ha	260	200	300	200	60
	Deckungsbeitrag	in €/ha	1130			1135	-5
Feldscheide	Ertrag	in dt/ha	53,5			54,0	0
	Aussaat	in kg/ha	126	118	134	115	11
	Düngung	in kg/ha	205	193	207	207	-2
	CCC (2. Gabe)	in ml/ha	274	250	300	200	74
	Deckungsbeitrag	in €/ha	499			505	-6
Kassow 111	Ertrag	in dt/ha	80,3			80,0	0
	Aussaat	in kg/ha	146	137	151	165	-19
	Düngung	in kg/ha	133	119	163	146	-13
	CCC (2. Gabe)	in ml/ha	600			600	0
	Deckungsbeitrag	in €/ha	624			607	17
Durchschnittliche Deckungsbeitragsänderung in €/ha:							-5

9.2.4 Material und Methoden

Im Zwischenbericht 2001 des Verbundprojektes *pre agro* wurde ein Ansatz zur Schätzung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen vorgestellt, mit dessen Hilfe anschließend eine ökonomische Optimierung des N-Einsatzes auf der Teilfläche durchgeführt werden konnte. Anhand dieser geschätzten Stickstoffertragsfunktionen konnten grundsätzliche Zusammenhänge, wie die Steigerung des ökonomischen Potentials durch eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung in Abhängigkeit der Ertragsvariation, und die ökonomisch optimale Anpassung an Düngungsauflagen aufgezeigt werden. Eine Limitierung des dort verwendeten methodischen Ansatzes war jedoch, dass die gefundenen Stickstoffertragsfunktionen nur für die untersuchten Standorte und die betreffende Kultur (Körnermais) gültig waren und nicht auf andere Standorte bzw. Kulturen übertragen werden konnten. Noch problematischer ist die Tatsache, dass die Schätzung teilflächenindividueller Produktionsfunktionen ein hochauflösendes Versuchsdesign erfordert. Ein solches Design ist jedoch aufgrund seiner Komplexität und Kostenintensität nur schwer praktisch umzusetzen und konnte daher in *pre agro* nicht durchgeführt werden. Es war deshalb notwendig, einen weiteren, allgemeineren Ansatz zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Stickstoffertragsfunktionen zu entwickeln, der standort- und kulturübergreifend, zur ökonomischen Bewertung von teilflächenspezifischen Maßnahmen eingesetzt werden kann. Normierte Produktionsfunktionen sind ein solcher Ansatz.

Als zweiter methodischer Ansatz wurde in enger Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt IV-4b „Lokaler N-Austrag“, anhand des Simulationsmodelles Hermes eine Szenarioanalyse zur ökonomischen Bewertung einer teilflächenspezifischen Düngung auf der Basis verschiedener Informationsgrundlagen durchgeführt. Damit wurde versucht, zusätzlich zur Bewertung der teilflächenspezifischen Düngung, auch den ökonomischen Wert unterschiedlicher Informationen zu bestimmen.

9.2.4.1 Methodische Vorgehensweise zur Bestimmung teilflächenspezifischer Stickstoffertragsfunktionen anhand normierter Produktionsfunktionen

Individuell geschätzte Stickstoffertragsfunktionen auf Basis von Stickstoffsteigerungsversuchen besitzen nur für definierte Standort- und Klimabedingungen ihre Gültigkeit. Eine Übertragung dieser standortspezifischen Produktionsfunktionen auf andere Standorte ist daher nur sehr eingeschränkt möglich. Aus diesem Grund wurde ein Verfahren zur Schätzung von normierten Produktionsfunktionen, die sich auf beliebige Standorte adaptieren lassen, entwickelt. Bei diesem Verfahren werden in jeder Versuchsreihe der erzielte Maximalertrag und der dafür notwendige Stickstoffeinsatz jeweils gleich eins gesetzt. Alle anderen Versuchswerte werden relativ zum Maximalpunkt umgerechnet. Durch diese Transformation werden die Standorteinflüsse reduziert, da die Wirkung der Düngung relativ zum Maximalertrag ausgedrückt wird. Um diese relativen bzw. normierten Produktionsfunktionen wieder an die individuellen Standortbedingungen anzupassen und damit zu einer standortspezifischen Produktionsfunktion zu gelangen, ist die Kenntnis des Maximalertrages bei der dafür erforderlichen Düngung notwendig. Der methodische Ansatz (mit unterschiedlichen Nuancen) der Schätzung und Verwendung von normierten Produktionsfunktionen wurde nicht nur in verschiedenen Veröffentlichungen und Dissertationen verwendet (Finck und Haase, 1987; Kilian, 2000; Krayl, 1993; Weingarten, 1996), sondern ist auch die Grundlage des bundesweit anerkannten Agrarsektormodelles RAUMIS (Weingarten, 1996). Für weitere Informationen über die detaillierte Vorgehensweise dieser Methode sei auf die genannte Literatur verwiesen.

Dieser Ansatz soll nun gedanklich in der Form erweitert werden, dass die Teilflächen des Feldes als unterschiedliche Standorte definiert werden, für die die bereits geschätzte, normierte Produktionsfunktion in eine teilflächenspezifische Produktionsfunktion transformiert werden soll. Wie bereits erwähnt, ist zur eindeutigen Bestimmung der Produktionsfunktion für diesen Schritt jedoch die Kenntnis des Maximalertrages mit der dazugehörigen Stickstoffdüngung zwingend erforderlich. Wie kann man teilflächenspezifische Maximalerträge und die dazu notwendige Düngung bestimmen? Nur wenn man diese Frage beantworten kann, lässt sich die Methode anwenden. Ein Weg zur Lösung dieses Problems wird im Folgenden beschrieben.

In der Pflanzenernährung ist der durchschnittliche Stickstoffbedarf zur Realisierung des Ertragspotentials grundsätzlich bekannt, auch wenn dieser Wert, bedingt durch das Klima und weitere Einflussfaktoren, jährlichen Schwankungen unterliegt. Für Winterweizen wird häufig eine Faustzahl von 2,5 kg N je dt Ertragserwartung genannt, was z. B. bei einer Ertragserwartung von 80 dt/ha einer Düngung von 200 kg N/ha entspricht. Entsprechen diese 80 dt/ha dem Maximalertrag, so kann unter Verwendung einer normierten Produktionsfunktion eine standortspezifische Produktionsfunktion entwickelt werden.

Gegeben ist die normierte Stickstoffertragsfunktion für Winterweizen der Form:

$$Y(N) = a_r N^2 + b_r N + c_r \quad (1)$$

mit:

$$a_r = -0,440; \quad b_r = 0,880 \text{ und } c_r = 0,560$$

Aufgrund der Kenntnis des potentiellen Maximalertrages von 80 dt/ha (Y_{\max}) und der dafür notwendigen Stickstoffdüngung von 200 kg N/ha (N_{\max}), kann man nun die standortspezifische Produktionsfunktion durch Transformation der relativen Koeffizienten in absolute Koeffizienten anhand der folgenden Gleichungen (2) bestimmen (Kilian, 2000):

$$a_r \cdot \frac{Y_{\max}}{N_{\max}^2} = a_a \quad b_r \cdot \frac{Y_{\max}}{N_{\max}} = b_a \quad c_r \cdot Y_{\max} = c_a \quad (2)$$

Durch die Transformation kommt man folglich zu dem in Abbildung 9.2-1 gezeigten Verlauf der standortangepassten Produktionsfunktion.

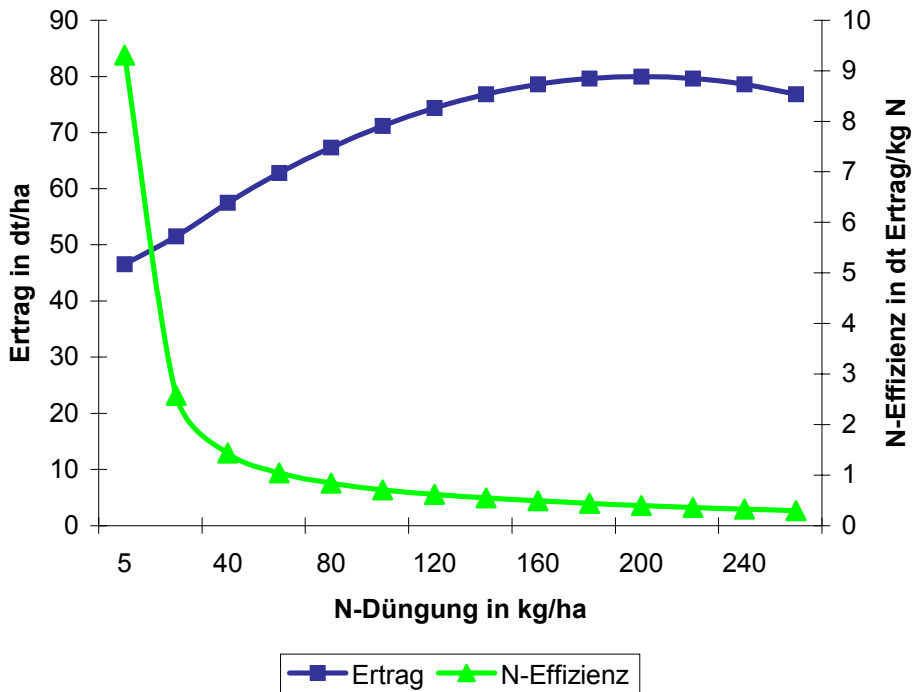


Abb. 9.2-1: Abhängigkeit des Ertrags und der N-Effizienz von der Düngungshöhe

Fig. 9.2-1: The impact of N-input on yield and N-efficiency

Der Richtwert für die N-Düngung zur Erreichung des Ertragspotentials von 2,5 kg N/dt Ertrag gibt aber auch Informationen über die erwartete Effizienz der Düngung, indem der Kehrwert dieses Betrages verwendet wird. Das heißt, im Ertragsmaximum wird eine N-Effizienz der Düngung von 0,4 dt Ertrag je kg N erwartet. Weicht das Ertrags- Aufwandsverhältnis stark von diesem Faktor ab, so kann davon ausgegangen werden, dass sich die Produktion nicht im Optimum befindet. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 1 anhand der zweiten Kurve („N-Effizienz“) dargestellt, die sich nach der folgenden Formel berechnet:

$$\frac{Y_i(N)}{N_i} \quad (3)$$

mit:

$$Y_i = \text{Ertrag bei einer Düngung in Höhe von } N_i \\ N_i = \text{N-Düngung beim Punkt } i.$$

Bei einem sehr großen Verhältnis von Y/N ($Y/N \geq 0,8$) ist der Faktoreinsatz deutlich suboptimal und eine Erhöhung des Faktoreinsatzes führt zu deutlichen Mehrerträgen, während bei einem sehr kleinen Verhältnis von Y/N ($Y/N \leq 0,3$) von einem überhöhten und damit ebenfalls nicht optimalen Faktoreinsatz ausgegangen werden kann. Als weitere Veranschaulichung dieses Zusammenhangs kann auch der N-Bilanzsaldo eines Feldes, oder auch von Teilflächen gesehen werden. Bei einem deutlich überhöhten Bilanzsaldo ist das Verhältnis Y/N relativ klein und der N-Aufwand sollte verringert werden, während bei deutlich negati-

ven Bilanzsalden Y/N relativ groß ist und eine weitere Düngungsgabe zu Ertragssteigerungen führen würde.

Für die Bestimmung einer teilflächenspezifischen Produktionsfunktion soll daher zunächst für Winterweizen zur Erreichung des Maximalertrages ein spezifischer N-Einsatz von 2,5 kg N/dt und damit ein N-Effizienzfaktor von 0,4 dt/kg N bei diesem Maximalertrag festgesetzt werden. Die erzielte N-Effizienz auf der Teilfläche wird zu diesem Wert in Beziehung gesetzt. Daraus lässt sich ableiten, ob eine unter- bzw. überoptimale Düngung vorliegt. Mit Hilfe der gegebenen normierten Produktionsfunktion kann dann die teilflächenspezifische Produktionsfunktion nach folgender Methode bestimmt werden:

Im ersten Schritt wird die tatsächlich erzielte N-Effizienz (Index a für absolut) auf der Teilfläche i berechnet und in Bezug zu der normierten Produktionsfunktion gesetzt.

$$\frac{Y_{ai}}{N_{ai}} = \frac{Y_{ri}(N)}{N_{ri}} \quad (4)$$

Zur vereinfachenden Darstellung soll dabei der Bruch $\frac{Y_{ai}}{N_{ai}}$ als N-Effizienzfaktor mit E_N ab-

gekürzt und anschließend die bekannte Gleichung für $Y_r(N)$ eingesetzt werden. Dann lautet die oben dargestellte Gleichung:

$$E_N = \frac{Y_{ir}(N)}{N_{ir}} \quad \text{bzw.} \quad (5)$$

$$E_N = \frac{a_r N_{ir}^2 + b_r N_{ir} + c_r}{N_{ir}}$$

Diese Gleichung kann durch Multiplikation von N_{ir} in die folgende Gleichung umgeformt werden:

$$E_N N_{ir} = a_r N_{ir}^2 + b_r N_{ir} + c_r$$

Durch die Subtraktion von $E_N N_{ir}$ wird der linke Term gleich Null

$$0 = a_r N_{ir}^2 + (b_r - E_N) N_{ir} + c_r$$

und kann nun nach dem relativen Stickstoffeinsatz N_{ir1} bzw. N_{ir2} aufgelöst werden. Durch die Verwendung einer quadratischen Produktionsfunktion ergibt sich dabei immer ein positiver und ein negativer Wert für N_{ir} . Da aber ein negativer N-Einsatz nicht möglich ist, wird für die weiteren Berechnungen der positive Wert N_{ir} verwendet. Dieser relative Stickstoffeinsatz wird in die normierte Produktionsfunktion eingesetzt und der daraus resultierende relative Ertrag Y_{ir} berechnet.

$$\frac{Y_{ir}}{Y_{\max r}} = \frac{Y_{ia}}{Y_{\max a}} \quad \text{bzw.} \quad Y_{\max a} = Y_{ia} \frac{Y_{\max r}}{Y_{ir}} \quad (6)$$

Damit ist der teilflächenspezifische Maximalertrag $Y_{\max a}$ und die dazugehörige Düngung $N_{\max a}$ definiert. Durch Einsetzen in die Gleichungen (2) kann nun die teilflächenspezifische Produktionsfunktion berechnet werden. Der optimale N-Einsatz wird im Folgenden unter Berücksichtigung der Produkt- und Faktorpreisverhältnisse nach der folgenden Gleichung bestimmt:

$$\frac{\delta Y}{\delta N} = \frac{p_N}{p_P} \quad (7)$$

mit:

p_n = Preis pro kg N (€/kg N)
 p_p = Preis pro Produktionseinheit (€/dt).

9.2.4.2 Korrekturfaktoren zur verbesserten Anpassung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen an das Ertragsniveau und die Fruchtfolge

Einen besonderen Einfluss auf den Verlauf der teilflächenspezifischen Produktionsfunktion hat die Festlegung des notwendigen Stickstoffbedarfs in kg N/dt Ertrag zur Realisierung des möglichen Ertragspotentials (im vorangegangenen Beispiel mit 2,5 kg N/dt festgesetzt). Die wichtigsten N-Bedarfsfaktoren werden dabei bereits modellendogen berücksichtigt: Der Einfluss der Ertragshöhe und der Qualität sowie der Einfluss der Vorfrucht.

Wird ein Feld gleichmäßig mit derselben Intensität bewirtschaftet, so sind die Unterschiede im Ertrag auf Heterogenitäten des Bodens zurückzuführen, die sowohl auf natürliche (Bodenart, Tiefgründigkeit etc.) wie auch bewirtschaftungsspezifische Ursachen (z. B. Vorgehende, Fahrspuren) zurückgeführt werden können. Beide Ursachen bewirken jedoch häufig eine eingeschränkte Nährstoffverfügbarkeit, so dass ein höherer spezifischer Faktoreinsatz notwendig wird (Werner, 1995; Sturm et al., 1994). Diese Einflussfaktoren werden daher auch gezielt im Düngemodul (TP III-4, Düngung) berücksichtigt (vgl. Tab. 9.2-2) und in das ökonomische Modell in Form einer linearen Gleichung, die mit Hilfe einer Regression geschätzt wurde, übernommen.

Tab. 9.2-2: Spezifischer N-Bedarf in Abhängigkeit des Ertragsziels

Tab. 9.2-2: *Specific N-demand in relation to yield expectations*

Ertragsziel in dt/ha	Ø Düngungs- empfehlung in kg/ha	spezifischer N-Einsatz in kg/dt	Ø Düngungs- empfehlung in kg/ha	spezifischer N-Einsatz in kg/dt
	Proteingehalt > 12 %		Proteingehalt < 12 %	
50	140	2,8	120	2,4
60	170	2,8	150	2,5
80	210	2,6	180	2,3
100	230	2,3	200	2,0

Quelle: Wenkel (2001), verändert

Die Gleichung für den spezifischen N-Faktoreinsatz bei einem Proteingehalt < 12 % lautet:
 Spezifischer N-Faktor = 2,945 - 0,0091 * Ertragsziel (in dt/ha).

Differierende Qualitäten werden durch einen ertragsunabhängigen Korrekturfaktor berücksichtigt. Zur Berücksichtigung der Einflüsse unterschiedlicher Vorfrüchte werden, in Anlehnung an die Düngesystematik des Landes Baden-Württemberg (LAP, 1998), ebenfalls ertragsunabhängige Korrekturfaktoren, spezifisch für unterschiedliche Vorfrüchte, verwendet (vgl. Tab. 9.2-3).

Tab. 9.2-3: Korrekturfaktoren für einzelne Vorfrüchte

Tab. 9.2-3: Correction factor for the N-demand for different previous crops

Vorfrucht	Korrekturfaktor
Getreide und Silomais	0
Kartoffeln, Körnermais, einjährige Stilllegung ohne Leguminosen	0,1
Raps, Senf	0,2
Zuckerrüben (Blatt verbleibt auf dem Feld)	0,3
Körnerleguminosen	0,4

Quelle: LAP (1998), verändert

Die nach dieser Methodik bestimmten teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen unterscheiden sich hinsichtlich des Ertragniveaus, des spezifischen N-Bedarfs und damit des N-Einsatzniveaus deutlich und erfüllen somit die wichtige Bedingung einer hohen Flexibilität, um die Heterogenitäten innerhalb der Schläge zu erfassen. Die Abbildung 9.2-2 zeigt den Verlauf für drei ausgewählte Produktionsfunktionen von Teilflächen für den Projektschlag „Autobahn“ (Beckum). Eine Überprüfung auf die Konsistenz der hier getroffenen Annahmen und eine Bewertung der ökonomischen Konsequenzen wird für diesen Projektschlag im nachfolgenden Abschnitt durchgeführt.

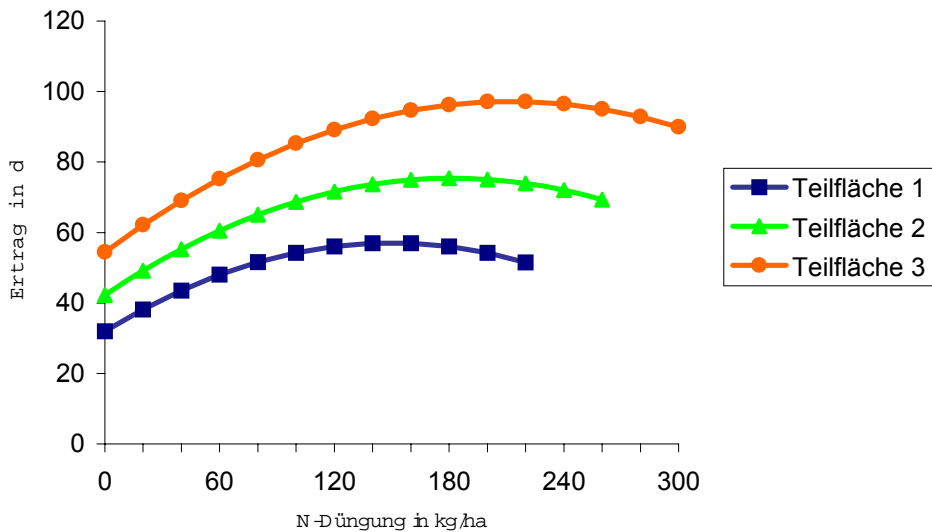


Abb. 9.2-2: Verlauf der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen in Abhängigkeit des Ertragspotentials auf dem Projektschlag „Autobahn“ (Beckum)

Fig.9.2-2: Site specific yield response curves on the experimental field „Autobahn“

9.2.5 Ergebnisse

9.2.5.1 Ergebnisse der Produktionsfunktionsanalyse

Die im vorhergehenden Abschnitt erläuterte Methodik zur Bestimmung von teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen wurde im nächsten Schritt auf Projektpflichtschlägen zur ökonomischen Analyse der teilflächenspezifischen N-Düngung und deren inhaltlicher Prüfung angewendet. Besonders detailliert untersucht wurden dabei die Projektschläge „Autobahn“ (Betrieb Lüdeke, Beckum) und „An der Lehmriede“ (Betrieb Träger-Farny, Groß Twülpstedt). Auf beiden Projektschlägen wurde, über den Vergleich der Schlaghälften *pre agro* und betriebsüblich hinaus, jede Managementunits der *pre agro*-Schlaghälfte individuell untersucht und bewertet. Wichtig bleibt noch festzuhalten, dass bei der Produktionsfunktionsanalyse der gesamte Schlag in 25 m x 25 m Raster eingeteilt und hinsichtlich des ökonomischen Ergebnisses optimiert wurde. Ziel der Produktionsfunktionsanalyse ist es zum einen, die Frage zu beantworten, welches ökonomische Potential grundsätzlich auf dem Schlag vorhanden ist und zum anderen zu prüfen, inwieweit dieses auf den *pre agro*-Teilflächen realisiert werden konnte. Außerdem soll die Frage beantwortet werden, ob die Ertragsdifferenzen bzw. Deckungsbeitragsdifferenzen zwischen den Varianten „betriebsüblich“ und „*pre agro*“ durch Standortunterschiede oder durch Managementmaßnahmen bedingt sind.

9.2.5.1.1 Projektschlag „Autobahn“ (Beckum)

Für den Projektschlag „Autobahn“ konnte neben dem Jahr 2000, in welchem der Schlag Pflichtschlag war und mit Winterweizen bestellt wurde, auch noch das Jahr 2001, in dem Wintergerste angebaut wurde, ausgewertet werden. In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Auswertung dargestellt. Dabei sind in der linken Hälfte (Variante *pre agro* 2000 und 2001) die Ergebnisse entsprechend den tatsächlich ausgebrachten Düngermengen und Erträgen der Ertragskartierung dargestellt, während auf der rechten Hälfte die für die jeweiligen Flächen optimierten Aufwandmengen und Erträge anhand der errechneten Produktionsfunktionen aufgeführt sind. Neben dem Ertrag und der Düngung wird noch der Variationskoeffizient (Vk) des Ertrages als Maßstab für die Heterogenität des Schlages und ein reduzierter Deckungsbeitrag als Maßstab für das ökonomische Potential ausgewiesen.

Im Jahr 2000 wurde auf dem „*pre agro*“-Teilschlag im Vergleich zum betriebsüblichen Teilschlag ein um 74 €/ha höherer Deckungsbeitrag erzielt. Die Deckungsbeitragsdifferenz zwischen den einzelnen Teilflächen beträgt dabei bis über 100 €/ha. Zwar ist die Düngung auf der *pre agro*-Variante ebenfalls höher, doch vergleicht man die Managementunit 2 mit dem betriebsüblichen Teilschlag, so ist die Düngung praktisch identisch (Differenz beträgt lediglich 4 kg N/ha), der Ertrag differiert jedoch um über 8 dt/ha, der Deckungsbeitrag um ca. 100 €/ha. Dies legt den Schluss nahe, dass im Wesentlichen natürliche Unterschiede die tatsächliche Ursache der Ertragsdifferenzen sind.

Die Ergebnisse der Produktionsfunktionsanalyse, wie der berechnete optimale Ertrag und Deckungsbeitrag, weichen nur geringfügig von den tatsächlichen Werten ab. Die Erträge bleiben beinahe identisch, lediglich die Düngungsmengen werden, insbesondere auf der Managementunit 3, reduziert. Dies trifft erstaunlicherweise auch für die betriebsübliche Variante zu, so dass auch hier durch die Optimierung lediglich eine Deckungsbeitragssteigerung von 13 €/ha möglich erscheint. Die Ursache für diese geringen Differenzen ist in dem vergleichsweise geringen Variationskoeffizienten des Ertrages auf dem gesamten Schlag ($\leq 16\%$) und der darauf gut angepassten Düngung zu sehen.

Tab. 9.2-4: Ergebnisse der Produktionsfunktionsanalyse für den Projektschlag „Autobahn“ (Beckum)

Tab. 9.2-4: *Site-specific yield-response-curve analysis for the experimental field "Autobahn"*

	Ertrag Y	VK Y³	N-Dünger	DB⁴	Ertrag Y	VK Y³	N-Dünger	DB⁴	DB-D⁵
	in dt/ha	in %	in kg/ha	In €/ha	in dt/ha	in %	in kg/ha	in €/ha	in €/ha
Winterweizen	<i>pre agro</i> 2000				Produktionsfunktionsanalyse 2000				
MU 1 ¹	81,0	16	171	945	81,4	16	170	952	7
MU 2	88,7	11	200	1030	88,5	11	180	1037	7
MU 3	87,1	10	220	998	87,2	9	179	1020	42
□ MU	86,8	11	212	999	86,9	10	178	1017	18
Betrieb ²	80,4	14	196	925	80,3	13	169	938	13
Wintergerste	<i>pre agro</i> 2001				Produktionsfunktionsanalyse 2001				
MU 1	76,3	31	190	720	77,7	24	154	754	34
MU 2	79,6	20	210	746	80,6	16	160	782	36
MU 3	82,4	13	185	788	82,2	12	162	798	10
MU 4	77,4	23	160	747	78,2	20	156	759	12
MU 5	71,9	32	215	661	74,9	24	151	726	65
□ MU	78,8	22	187	748	79,6	18	158	772	24
Betrieb	74,1	32	215	684	77,0	34	153	747	63

¹: MU = Managementunit

²: Betrieb = betriebsüblich

³: VK Y = Variationskoeffizient des Ertrages

⁴: DB = Deckungsbeitrag

⁵: DB-D = Deckungsbeitragsdifferenz

In 2001 wurde die Versuchsanlage umstrukturiert, indem der Teilschlag „*pre agro*“ in 5 anstatt der bisherigen 3 Managementunits unterteilt wurde. Zusätzlich wurde die Düngestrategie verändert, indem Managementunits mit einem geringeren Ertragsniveau verhältnismäßig höher gedüngt wurden als Managementunits mit einem höheren Ertragsniveau (vgl. Teilfläche 5 zu Teilfläche 3). Dieses Düngekonzept wurde auch für den betriebsüblich bewirtschafteten Teilschlag übernommen, wodurch die N-Düngung im Vergleich zum Vorjahr deutlich gesteigert wurde und nun über dem durchschnittlichen Düngeneiveau des „*pre agro*“-Teilschlages liegt.

Im Hinblick auf den Deckungsbeitrag war diese Düngestrategie jedoch nicht erfolgreich. Betrachtet man die Deckungsbeiträge des betriebsüblichen und des „*pre agro*“-Teilschlages im Jahr 2000 und in 2001, so hat sich zwar die absolute Differenz von 74 €/ha auf 64 €/ha verringert, die relative Differenz hat sich jedoch vergrößert, da das Deckungsbeitragsniveau insgesamt gleichfalls deutlich gesunken ist. Zudem hat der Variationskoeffizient deutlich zugenommen.

Bei der Optimierung durch die Produktionsfunktionsanalyse können für das Jahr 2001 deutlich größere ökonomische Potentiale identifiziert werden. Ein wesentlicher Grund dafür ist der im Vergleich zum Vorjahr stark gestiegene Variationskoeffizient des Ertrages, der zu einer deutlich differenzierteren Düngung führte. Die hohen Steigerungspotentiale des Deckungsbeitrages auf der Teilfläche 5, wie auch auf der betriebsüblichen Fläche von über 50 €/ha, resultieren aus einer verringerten Düngung und höheren Erträgen, da bei einem deutlich überhöhten Düngereinsatz Ertragseinbußen angenommen werden können. Das auffal-

lend geringe Düngeniveau nach der ökonomischen Optimierung ist, neben der Vermeidung der Überdüngung, zusätzlich auch auf den geringeren Verkaufserlös für Wintergerste im Vergleich zu Winterweizen zurückzuführen.

Für den Schlag „Autobahn“ kann somit festgehalten werden, dass die vorgefundenen Ertrags- und Deckungsbeitragsdifferenzen zwischen den Managementunits von *pre agro* und dem betriebsüblichen Teilschlag durch natürliche Faktoren bedingt sind und auch mit einem optimierten teilflächenspezifischen Management nicht egalisiert werden können. Im Jahr 2000 war, bedingt durch die hohe Homogenität des Ertrages auf dem Gesamtschlag, das teilflächenspezifische Optimierungspotential mit ca. 15 €/ha insgesamt gering. In 2001 lag auf dem Gesamtschlag das Düngeniveau über dem ökonomischen Optimum, so dass neben der weiter optimierten teilflächenspezifischen Düngung allein durch eine Verringerung der Düngungsintensität eine Steigerung des Deckungsbeitrages erreicht werden konnte. Das Deckungsbeitragssteigerungspotential beträgt nach der hier angewandten Schätzung für beide Faktoren ca. 30 €/ha.

9.2.5.1.2 Projektschlag „An der Lehmriede“ (Groß Twülpstedt)

Auf dem Projektschlag „An der Lehmriede“ wurde im Versuchsjahr 2001 keine Unterteilung in „betriebsüblich“ und „*pre agro*“ vorgenommen, sondern lediglich der Schlag in Managementunits eingeteilt. Ziel der Untersuchungen war es zu prüfen, ob die getroffene Einteilung der Managementunits gerechtfertigt ist und welches Optimierungspotential durch eine weiter differenzierte, teilflächenspezifische Düngung besteht. In einer letzten Vergleichsrechnung wurde, nach der Bestimmung der teilflächenspezifischen Produktionsfunktionen, eine konstante Düngung über den Schlag gelegt, um den zusätzlichen ökonomischen Effekt durch eine teilflächenspezifische Düngung zu isolieren und den Erfolg von *pre agro* durch die Einteilung von Managementunits zu überprüfen (vgl. Tab. 9.2-5).

Tab. 9.2-5: Ergebnisse der Produktionsfunktionsanalyse für den Projektschlag Lehmriede (Groß Twülpstedt)

Tab. 9.2-5: Site-specific yield-response-curve analysis for the experimental field "Lehmriede"

Fläche	Ertrag Y	VK Y	N-Dünger	N-bil ³	Ertrag Y	N-Dünger	N-bil ³	DB-Diff ⁴
	in dt/ha	in %	in kg/ha	in kg/ha	in dt/ha	in kg/ha	in kg/ha	
	<i>pre agro</i>				Produktionsfunktion			
MU 1	80,0	43	175	15	84,0	181	13	47
MU 2	106,7	18	175	-38	111,5	226	3	36
MU 3	106,0	11	185	-27	108,9	223	5	18
MU 4	78,5	16	155	-2	80,7	183	22	14
MU 5	97,6	11	185	-10	99,4	211	12	9
MU 6	94,8	26	200	10	96,5	203	10	20
MU 7	93,8	30	200	12	95,8	201	9	24
Schlag ¹	95,3	24	182	-9	98,1	206	10	22
Konstant ²	96,6	25	205	12	98,1	206	10	18

¹: Auswertung für den Gesamtschlag

²: Auswertung für den Gesamtschlag bei einer konstanten Düngung

³: Stickstoffbilanzsaldo

⁴: Deckungsbeitragsdifferenz zwischen den realen und den optimierten Ergebnissen

Für den Gesamtschlag wird, im Vergleich zur durchgeführten teilflächenspezifischen Düngung, anhand der Produktionsfunktionsanalyse ein weiteres Optimierungspotential von 22 €/ha identifiziert. Bei der Betrachtung der einzelnen Ergebnisse innerhalb der Managementunits kann eine große Differenz hinsichtlich des Optimierungspotentials von 9 €/ha (MU 5) bis 47 €/ha gefunden werden. Die Ursache für diese Schwankungen ist in den gleichfalls stark unterschiedlichen Ertragsvariationskoeffizienten begründet. So ist auf der MU 1 ein Ertragsvariationskoeffizient von 43 % vorhanden, während auf der MU 5 die Variation der Erträge lediglich 11 % beträgt. Eine Schlussfolgerung aus diesem Ergebnis ist auch, dass die Einteilung in Managementunits auf dem Schlag unterschiedlich erfolgreich war. Während die Managementunits 3, 4 und 5 mit einem Variationskoeffizienten von unter 20 % als hinreichend homogen betrachtet werden können, trifft diese Aussage nicht für die Managementunits 1 und 7 zu, da in beiden Fällen der Variationskoeffizient des Ertrages bei oder über 30 % liegt.

Bei einer weiteren Berechnung für den Schlag „Lehmriede“ wurde versucht zu bestimmen, welche Deckungsbeitragssteigerung durch eine teilflächenspezifische N-Düngung im Vergleich zu einer optimierten konstanten Düngung auf dem Feld erzielt werden kann. Das Ergebnis ist in der letzten Zeile der Tabelle 9.2-5 dargestellt. Nach diesen Berechnungen ist der Effekt durch die Differenzierung der Düngung auf 18 €/ha zu beziffern. Die konstante Düngung führt zu einer Vergrößerung des Variationskoeffizienten und damit der Heterogenität dieses Schlages, was den Schluss zulässt, dass die Einteilung der Managementunits besser war als die Verwendung des Gesamtschlages. Lediglich das Düngenniveau war (auf Basis dieser Berechnungen) leicht unteroptimal.

Insbesondere diese letzte Frage bezüglich des möglichen ökonomischen Potentials durch eine teilflächenspezifische Düngung ist im Rahmen dieser Untersuchung von besonderem Interesse. Daher wurde diese Methodik auf möglichst vielen der Projektpflichtschläge angewendet.

9.2.5.1.3 Anwendung der Produktionsfunktionsanalyse für die Pflichtschläge 2001

Um die Frage nach dem ökonomischen Potential stark verallgemeinernd beantworten zu können, wurde die Methodik der Produktionsfunktionsanalyse auf alle Projektpflichtschläge 2001, deren Daten zu diesem Zeitpunkt bereits vollständig vorlagen, angewandt. Die folgende Tabelle 9.2-6 zeigt die Ergebnisse für die einzelnen Projektschläge.

Für diese Untersuchung wurden folgende Varianten berechnet: Die Variante „*pre agro*“ stellt die realen Ergebnisse auf der Basis von Ertragskartierung und Ausbringungskarten dar. Die Variante „TF optimiert“ zeigt die daraus abgeleitete, optimale teilflächenspezifische Düngung auf Basis der verwendeten Produktionsfunktionen. Als weitere Varianten wurden, nachdem die Produktionsfunktion für jede Teilfläche bestimmt wurde, optional eine konstante Düngung anhand des durchschnittlichen Ertragspotentials sowie eine optimierte konstante Düngung, die bei Kenntnis der Produktionsfunktionen zum höchsten Deckungsbeitrag für eine einheitliche Düngung führt, untersucht.

Tab. 9.2-6: Ökonomisches Timingpotential durch eine teilflächenspezifische N-Düngung auf den Pflichtschlägen 2001

Tab. 9.2-6: *Economic benefits of a site-specific N-fertilization in 2001*

Schlag	Variante	Ertrag Y	VK Y	Düngung	DB	DB-Diff. zu optimiert
		in dt/ha	in %	in kg/ha	in €/ha	In €/ha
Am Berge	<i>pre agro</i>	72,6	0,25	154	846	-23
	TF optimiert	75,1	0,24	172	870	0
	konstant	73,5	0,27	175	849	-21
	konstant opt.	73,2	0,26	165	850	-20
Tühlig	<i>pre agro</i>	99,4	0,22	144	1194	-58
	TF optimiert	106,3	0,22	203	1252	0
	konstant	104,2	0,27	200	1227	-25
	konstant opt.	104,0	0,26	195	1227	-24
An der Lehmriede	<i>pre agro</i>	95,3	0,24	181	1123	-22
	TF optimiert	98,1	0,23	206	1146	0
	konstant	96,9	0,26	215	1126	-20
	konstant opt.	96,4	0,25	200	1128	-18
Kiesberg	<i>pre agro</i>	73,1	0,22	169	833	-33
	TF optimiert	74,3	0,21	159	866	0
	konstant	74,1	0,20	175	856	-10
	konstant opt.	73,8	0,20	160	859	-7
Göhrenbreite	<i>pre agro</i>	75,5	0,12	130	896	-9
	TF optimiert	76,8	0,13	146	906	0
	konstant	75,6	0,12	130	898	-8
	konstant opt.	76,5	0,13	145	902	-4
Erbsenacker 2001	<i>pre agro</i>	76,6	0,17	184	883	-9
	TF optimiert	76,9	0,15	176	892	0
	konstant	76,5	0,16	180	884	-7
	konstant opt.	76,4	0,16	175	885	-7
Erbsenacker 2000	<i>pre agro</i>	109,3	0,11	198	1293	-4
	TF optimiert	109,8	0,11	204	1297	0
	konstant	110,0	0,12	220	1291	-6
	konstant opt.	109,7	0,11	205	1294	-3
Gesamt	<i>pre agro</i>	86,0	0,19	166	1010	-22
	TF optimiert	88,2	0,18	181	1033	0
	konstant	87,3	0,20	185	1019	-14
	konstant opt.	87,1	0,20	178	1021	-12

Betrachtet man zuerst die zusammenfassende Darstellung der Ergebnisse im untersten Ergebnisblock der Tabelle 9.2-6, so ergibt sich, über alle Standorte, durch eine teilflächenspezifische Düngung ein Deckungsbeitragssteigerungspotential von 12 €/ha (entspricht der Differenz der Varianten TF optimiert und konstant optimiert). Wie aber auch bei der Betrachtung der einzelnen Managementunits des Schlags „Lehmriede“, können auch hier deutliche Differenzen zwischen den Schlägen gefunden werden. So besteht z. B. auf dem Schlag „Erbsenacker“, der für 2 Jahre evaluiert werden konnte, praktisch kein oder nur ein sehr geringes ökonomisches Potential von ca. 5 €/ha im Schnitt der Jahre. Die Schläge „Tühlig“ und „Am Berge“ hingegen weisen ein Potential von 20 €/ha und höher auf. Betrachtet man die Variationskoeffizienten der einzelnen Schläge, so kann gezeigt werden, dass der Schlag „Erbsenacker“ in beiden Jahren mit einem Variationskoeffizienten von ca. 14 % sehr homogene Ertragsstrukturen besitzt, während „Tühlig“ und „Am Berge“ mit ca. 27 % deutlich heterogenere Erträge aufweisen. Es wurde daher versucht, den quantitativen Zusammenhang zwischen dem Variationskoeffizienten des Ertrages und dem ökonomischen Potential anhand einer Regressionsgleichung zu schätzen und in einem Schaubild vereinfachend darzustellen (vgl. Abb. 9.2-3). Mit einem R^2 von knapp über 0,9 ist die Schätzung, die neben dem Variationskoeffizienten auch die Ertragshöhe berücksichtigt, sehr gut. Das hierbei gefundene Ergebnis wurde mit dem Ergebnis für Körnermais aus dem im vergangenen Zwischenbericht 2001 dargestellten Exaktversuch verglichen. Im Grundsatz konnten übereinstimmende Ergebnisse gefunden werden. Dass die Gerade für Körnermais eine größere Steigung besitzt (d. h. ein höheres ökonomisches Potential aufweist), ist auf die höheren Grenzerträge des Stickstoffesatzes in diesem Exaktversuch zurückzuführen.

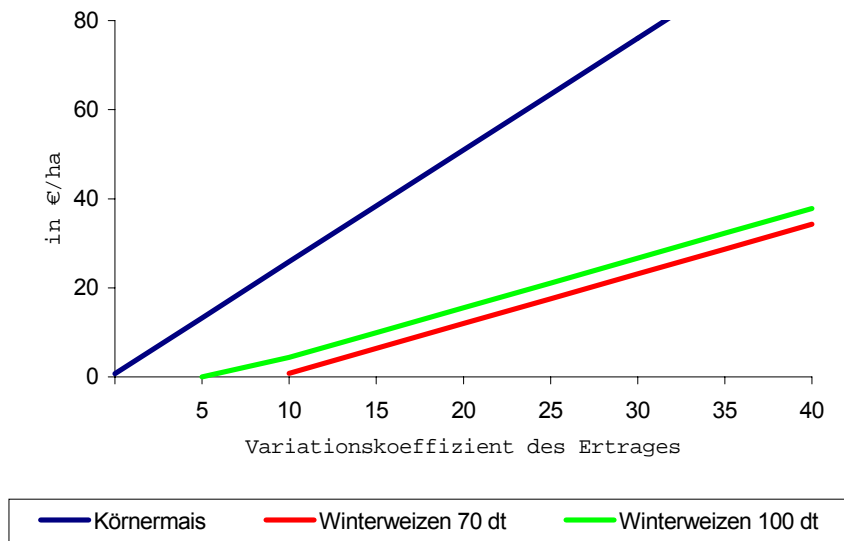


Abb. 9.2-3: Potential zur Steigerung des Deckungsbeitrages in Abhängigkeit des Variationskoeffizienten des Ertrages

Fig. 9.2-3: Gross margin increase due to yield variation

Ein weiteres Ergebnis aus der Produktionsfunktionsanalyse ist außerdem, dass die Ausweisung von Managementunits nach der bisherigen Methodik zu ökonomisch vergleichbaren Ergebnissen wie bei einer dem mittleren Ertragsniveau angepassten Düngung führt. Schließ-

lich konnte gezeigt werden, dass die am mittleren Ertragsniveau orientierte Düngung derjenigen einer optimierten konstanten Düngung (Differenz beträgt über alle Standorte nur 2 €/ha) sehr nahe kommt.

9.2.5.2 Diskussion der Ergebnisse und weitere Möglichkeiten der Produktionsfunktionsanalyse

Die Produktionsfunktionsanalyse hat über alle Schläge konsistente und nachvollziehbare Ergebnisse gebracht. Es wurden allerdings noch nicht alle Möglichkeiten der methodischen Verfeinerung, wie z. B. die Berücksichtigung der N_{\min} -Werte oder ein hoher Anteil an organischer Düngung, ausgeschöpft. Ein Vorteil der Produktionsfunktionsanalyse ist die Tatsache, dass sie problemlos auf weitere Kulturarten erweitert werden kann. Für alle mit größerem Anbauumfang vorhandenen Kulturen liegen bereits geschätzte, normierte Funktionen vor, so dass eine Bewertung umgehend möglich wäre. Die Produktionsfunktionsanalyse leicht automatisiert werden und ist daher dazu geeignet, als mögliches Modul in eine ARC-View®-Anwendung (vergleichbar dem Aussaatmodul) integriert zu werden.

Ein Nachteil dieser Methodik besteht darin, dass für einzelne Schläge die normierten Produktionsfunktionen das Ertrags-/Aufwandsverhältnis möglicherweise nicht hinreichend genau abbilden und dass dadurch ein ökonomisches Potential berechnet wird, das mit Fehlern behaftet sein kann.

9.2.5.3 Ökonomische Ergebnisse des Simulationsmodells Hermes

Das Teilprojekt IV-4b (Lokaler N-Austrag) verwendet zur Simulation des Pflanzenwachstums und der Stickstoffdynamik das Modell HERMES. Mit diesem Modell können, anhand der Informationen aus den Rasterbeprobungspunkten auf den Pflichtschlägen und weiterer Eingangsparameter, wie z. B. Witterung und Erträge des Vorjahres, der optimale N-Einsatz und der daraus resultierende Ertrag simuliert werden (die methodischen Grundlagen sowie die exakte Vorgehensweise werden im Zwischenbericht des TP IV-4b dargestellt).

Dieses Modell bietet im Vergleich zur Produktionsfunktionsanalyse den Vorteil, dass es in der Lage ist, die Ertragseffekte für unterschiedliche Ansätze zur Einteilung der Managementunits und die daraus resultierende Düngung zu simulieren. D. h., es können unterschiedliche Arten und Qualitäten von Informationen hinsichtlich ihrer ökonomischen Leistungen bewertet werden. In einem ersten Simulationslauf wurden für den Projektschlag „Autobahn“ die folgenden Varianten hinsichtlich potentieller Ertragseffekte und damit auch ökonomischer Effekte untersucht:

- Düngung entsprechend der realen Bewirtschaftung (halb betriebsüblich, halb nach „*pre agro*“-Algorithmus).
- Die ganze Fläche wird nach dem *pre agro*-Algorithmus gedüngt.
- Die ganze Fläche wird entsprechend der betriebsüblichen Variante gedüngt.
- Düngung nach Modellempfehlung auf Basis der Reichsbodenschätzung (für Bodeneinheiten gemittelte C_{org} , Wasser- und N_{\min} -Gehalte vom Vorjahr)
 - Einheitliche Düngung aus dem unteren Bereich dieser Variante
 - Einheitliche Düngung aus dem oberen Bereich dieser Variante
- Düngung nach Modellempfehlung auf Basis der Hof-Bodenkarte (für Bodeneinheiten gemittelte C_{org} , Wasser- und N_{\min} -Gehalte vom Vorjahr)
 - Einheitliche Düngung aus dem unteren Bereich dieser Variante
 - Einheitliche Düngung aus dem oberen Bereich dieser Variante.

- Düngung nach Modellempfehlung auf Basis von Einzelprofildaten der Rasterpunkte
 - Einheitliche Düngung aus dem unteren Bereich dieser Variante
 - Einheitliche Düngung aus dem oberen Bereich dieser Variante.

Neben der tatsächlichen Bewirtschaftung und der Bewertung der beiden Szenarien einer einheitlichen Bewirtschaftung nach dem „*pre agro*“-Algorithmus und einer betriebsüblichen Bewirtschaftung war die Frage von Interesse, welche Deckungsbeitragssteigerung durch die Hof-Bodenkarten im Vergleich zu den inhaltlich einfacheren Reichsbodenschätzungskarten erreicht werden kann. Die Variante „Düngung nach Modellempfehlung“ gilt als die am besten angepasste teilflächenspezifische Informationsgrundlage, so dass hier das höchste Optimierungspotential erwartet wird. Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen sind in der Tabelle 9.2-7 dargestellt.

Tab. 9.2-7: Simulationsergebnisse einer N-Düngung auf der Basis unterschiedlicher *Bodenbewertungskonzete*

Tab. 9.2-7: *Evaluation of soil information to determine N-demand by using simulation models*

	N-Düngung			Ertrag Y in dt/ha	VK Y in %	DB in €/ha	N-Bilanz in kg/ha
	Ø Aufwand		Max				
	Min	Max					
	in kg/ha						
Real	195	155	215	72,2	8	971	43
<i>pre agro</i>	202	155	215	71,9	7	963	51
betriebsüblich	185	185	185	71,9	7	971	34
Düngung nach Modellempfehlung auf Basis Reichsbodenschätzung							
optimal	109	65	187	72,1	8	1014	-43
unterer Bereich	65			71,2	9	1023	-85
oberer Bereich	183			72,2	8	978	31
Düngung nach Modellempfehlung auf Basis Hof-Bodenkarte							
optimal	148	0	170	71,7	10	988	-3
unterer Bereich	147			72,2	8	996	-5
oberer Bereich	170			72,2	8	984	18
Düngung nach Modellempfehlung auf Basis Einzelprofildaten der Rasterpunkte							
optimal	127	31	192	72,2	8	1006	-24
unterer Bereich	83			72,4	8	1032	-69
oberer Bereich	180			72,2	8	979	28

Quelle: Kersebaum, 2001 und eigene Berechnungen
DB = Deckungsbeitrag

Ein erster Punkt, der bei diesen Simulationsergebnissen im Unterschied zu den Ergebnissen der Produktionsfunktionsanalyse auffällt, ist, dass in allen Varianten nur sehr geringe bis keine Ertragseffekte auftreten. Im Unterschied zu den zuvor verwendeten quadratischen Funktionen wird in diesem Modell ein linear-limitationales Wachstumsmodell verwendet, welches bei einer über dem Optimum liegenden Düngung keine Ertragseinbußen unterstellt. Es kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass das Stickstoffangebot aus dem Boden - bis auf wenige Ausnahmen -, bei einer Düngung unterhalb des Optimums, nicht der ertragslimitierende Faktor ist. Das beste ökonomische Ergebnis wurde bei einer Düngung auf Basis der Reichsbodenschätzung erzielt (1.014 €/ha bei optimal), da bei dieser Informationsgrund-

lage das Stickstoffangebot auf den Teilflächen am besten geschätzt wurde und daraus die geringsten notwendigen Düngungsmengen ermittelt wurden. Nur geringfügig abweichend davon ist das Ergebnis der Düngung auf der Grundlage der Einzelprofildaten mit 1.006 €/ha. Zu einem um 25 €/ha geringeren Deckungsbeitrag im Vergleich zum besten Ergebnis führt die Düngung auf Grundlage der Hof-Bodenkarten. Dieses Ergebnis wurde in dieser Form nicht erwartet, da die Hof-Bodenkarten eine inhaltliche Weiterentwicklung der Reichsbodenschätzung darstellen und daher eine verbesserte Abschätzung der notwendigen Düngungsmengen möglich sein sollte. Eine Investition in Hof-Boden-Karten mit ca. 5 €/ha (bei einer Abschreibung über 10 Jahre) wäre für den untersuchten Schlag gegenüber den günstigeren Reichsbodenschätzungskarten (ca. 1 – 2,5 €/ha) nach diesen Ergebnissen nicht gerechtfertigt.

Nochmals um 25 – 30 €/ha geringer sind die Deckungsbeiträge der Varianten, Düngung entsprechend der „betriebsüblichen“ Menge (971 €/ha) und dem „*pre agro*“-Algorithmus mit 963 €/ha. Nach den Berechnungen von Kersebaum besteht daher für den Schlag „Autobahn“ ein ökonomisches Optimierungspotential von bis zu 50 €/ha.

Da das Modell Hermes kein Optimierungsmodell ist, d. h. die gefundene Lösung nicht automatisch garantiert, das ökonomische Optimum zu erhalten, wurden noch Differenzvarianten zur jeweiligen Optimalstrategie (nach den pflanzenbaulichen Kriterien des Modelles Hermes) errechnet. Dabei schnitten die weiter reduzierten Düngemengen in allen Varianten ökonomisch nochmals besser ab, da die Ertragswirkung in allen Fällen geringer war als die Möglichkeit, N-Dünger einzusparen. Aufgrund der Tatsache, dass es sich nicht um ein Optimierungsmodell im klassischen ökonomischen Sinne handelt, wurde noch ein weiterer Simulationsdurchlauf durchgeführt, in dem schrittweise die Düngungsmenge, ausgehend von der Optimalvariante auf Basis der Einzelprofildaten, um jeweils 10 % reduziert wurde (vgl. Tab. 9.2 -8).

Tab. 9.2-8: Ökonomische Effekte einer schrittweisen Reduzierung der Düngungsempfehlung auf der Basis von Einzelprofildaten

Tab. 9.2-8: *Economic impacts of a step-wise reduction of N-input based on individual sampling spots*

Variante	N-Düngung			Ertrag Y in dt/ha	VK Y in %	DB in €/ha	N-Bilanz in kg/ha	N _{min} in kg/ha
	Ø Aufwand in kg/ha	Min	Max					
optimal	127	31	192	72,2	8	1006	-24	30
-10%	115	28	173	72,2	8	1012	-37	28
-20%	102	25	154	72,2	8	1018	-50	27
-30%	89	22	134	72,1	8	1024	-62	26
-40%	76	19	115	71,9	8	1028	-75	25
-50%	64	16	96	71,1	9	1022	-86	26
-60%	51	12	77	69,4	10	1003	-95	25
-70%	38	9	58	66,7	12	970	-102	25
-80%	25	6	38	63,3	15	926	-108	25
-90%	13	3	19	59,4	19	874	-112	25
-100%	0	0	0	55,2	24	819	-116	25

Quelle: Kersebaum 2001 und eigene Berechnungen

Entsprechend den Ergebnissen in Tabelle 9.2-7 kann die N-Düngung zur Erreichung des ökonomischen Optimums um ca. 40 % im Vergleich zur modelldefinierten Optimalstrategie weiter reduziert werden. Dadurch kann der Deckungsbeitrag um weitere 22 €/ha gesteigert werden, und die Deckungsbeitragsdifferenz zu den Varianten „betriebsüblich“ und „*pre agro*“ steigt damit auf bis zu 65 €/ha an. Es gilt hierbei allerdings zu beachten, dass dabei ein erheblich negativer Bilanzsaldo entsteht und deshalb nur von einem eher kurzfristigen Optimierungspotential ausgegangen werden kann.

9.2.5.4 Vergleichende Darstellung der beiden Ansätze zur Bewertung teilflächenspezifischer Maßnahmen

Bei den beiden vorgestellten Ansätzen, der Bewertung einer teilflächenspezifischen Düngung anhand einer Produktionsfunktionsanalyse und anhand eines Simulationsmodelles für das Pflanzenwachstum, handelt es sich methodisch um grundsätzlich verschiedene Ansätze. Während es sich bei der Produktionsfunktionsanalyse um ein stark abstrahierendes, ex-post analytisches Modell handelt, betrachtet das Simulationsmodell den Wachstumsverlauf der Pflanze und berücksichtigt explizit die dafür bestimmenden Faktoren. Dadurch ist es auch geeignet, ex-ante Analysen und damit eine Düngeplanung durchzuführen. Die ökonomischen Ergebnisse aus den beiden Modellen weisen demzufolge entsprechende Unterschiede auf.

Einer der wichtigsten Unterschiede ist, dass das Modell Hermes auch bei sehr homogenen Ertragsstrukturen (der Variationskoeffizient betrug lediglich ca. 8 %) ein ökonomisches Potential von bis zu ca. 50 €/ha ausweist, während bei der Produktionsfunktionsanalyse bei einer solch geringen Heterogenität praktisch kein ökonomisches Potential vorhanden ist. Ein weiterer Unterschied liegt in der notwendigen Qualität der benötigten Daten. Die Produktionsfunktionsanalyse benötigt als Input lediglich Daten, die dem an precision agriculture interessierten Landwirt in der Regel bereits vorliegen (Ertragskartierung und Düngungsaufwand). Dieser ist somit schnell in der Lage, eine erste Abschätzung für seine individuellen Verhältnisse durchzuführen. Das Simulationsmodell stellt sowohl an den Dateninput als auch an den Modellanwender erheblich höhere Ansprüche. Es ist allerdings auch in der Lage, unterschiedliche Informationsqualitäten (z. B. Reichsbodenschätzung versus Hof-Bodenkarten) und Informationsarten zu bewerten.

Beiden Modellen ist gemein, dass die Höhe des ökonomischen Optimierungspotentials durch eine teilflächenspezifische N-Düngung im Bereich von ≤ 50 €/ha liegt. Weiterhin kommen beide Modelle zum Ergebnis, dass keine Deckungsbeitragsdifferenz zwischen der betriebsüblich und der nach dem „*pre agro*“-Algorithmus gedüngten Variante existiert. Für beide Modelle trifft aber auch zu, dass sie bisher nur auf vergleichsweise wenigen Schlägen, in wenigen fortlaufenden Jahren und Kulturen eingesetzt wurden, wodurch die Verallgemeinerbarkeit der Ergebnisse stark eingeschränkt ist. Die Überprüfung der inhaltlichen Aussagen beider Modellansätze sollte auf der Basis entsprechender Düngungsversuche erfolgen.

9.2.5.5 Investitionskosten für precision agriculture und Break-Even Point

Die in den vorherigen Abschnitten gefundenen ökonomischen Potentiale wurden „nur“ auf der Ebene des Deckungsbeitrages berechnet bzw. die davon abgeleiteten fixen Kosten finden Berücksichtigung. Nur wenn die durch teilflächenspezifische Bewirtschaftung erreichten höheren Deckungsbeiträge die aus den Investitionskosten abgeleiteten jährlichen Fixkosten übersteigen, lohnt sich der Einsatz der Technologien. In der nachfolgenden Tabelle 9.2-9

wurden die Investitionskosten, die für die einzelnen technischen Komponenten im Verbundprojekt *pre agro* bezahlt wurden, aufgelistet.

Tab. 9.2-9: Investitionskosten für precision agriculture

Tab. 9.2 -9: Investments for precision farming

Einsatzgebiet		Preise in € o. MwSt	Preise in € mit MwSt
Erntetechnik	Ertragskartierung mit Ertragsmessgerät, Terminal, DGPS-Mobilsystem, Software, Montage und Einweisung	12.755 – 15.306	14.796 – 17.755
Schlepper	Dockingstation für Schlepper und zwei-ten DGPS-Empfänger	5867 – 7653	6806 - 8878
Saat-, Dünge- bzw. Pflanzenschutztechnik, jeweils		2.551 – 5.102	2.959 – 5.918
Signal-Lizenz		0 – 765	0 – 888
PC		2.551	2.959
Schulung und Installation		0 – 1.020	0 – 1.184
Summe Investitionskosten		26.276 – 31.378	30.480 – 36.398
Mittelwert der Investitionskosten		28.571	33.143
Abschreibung	5 Jahre	5714	6629
Reparaturkosten	1 % des Anschaffungswertes	286	331
Zins	6 %	857	994
Summe der jährlichen Kosten		6857	7954

Quelle: KTBL 2000 und eigene Erhebung

Das Angebot für Technik zur Realisierung von precision agriculture wurde in den vergangenen Jahren kontinuierlich erweitert. So bieten mittlerweile alle Mähdrescherhersteller die Option einer GPS unterstützten Ertragskartierung ab Werk an. Die Investitionskosten für die Ertragskartierung liegen herstellerübergreifend (inkl. Empfänger, der produktspezifischen Software, Terminal und Einweisung) bei ca. 12.755 – 15.306 €. Hinzu kommen die Kosten für das GPS-Referenzsignal mit bis zu 765 € und, soweit nicht bereits vorhanden, die notwendigen Investitionen an Hard- und Software für die Auswertung und Darstellung der Ertragskarten auf dem Betrieb, die hier mit ca. 2.550 € angenommen wurden. Soll jedoch der Gedanke des precision agriculture konsequent weiter fortgeführt werden und sollen über die Datengewinnung zu den Teilflächen hinaus auch teilflächenspezifische Anwendungen realisiert werden, so sind weitere Investitionen erforderlich. Die Kosten für die Ausbringungstechnologie von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln (Dockingstation am Schlepper, Jobrechner für die Ausbringungsgeräte und die notwendige Steuerungselektronik) und die dafür notwendige Software sind mit ca. 12.755 – 15.306 € zu veranschlagen.

Um diese Kosten mit dem Potential zur Steigerung des Deckungsbeitrages zu verbinden und damit zu einer Gewinnrechnung zu kommen, werden in der folgenden Abbildung 9.2-4 die Investitionskosten in Kosten je ha umgerechnet und mit dem Deckungsbeitragssteigerungspotential verglichen. Für diese Rechnung wird unterstellt, dass die in Tabelle 9.2-9 aufgeführte Ausstattung bis zu 400 ha ausreicht. Für größere Betriebe bis 800 ha wird eine weitere Ertragskartierung unterstellt. Bei ca. 1.000 ha erreichen die jährlichen Kosten je ha ein Mi-

nimum, da bei einer größeren Flächenausstattung wieder Investitionen für die teilflächenspezifische Applikation anfallen.

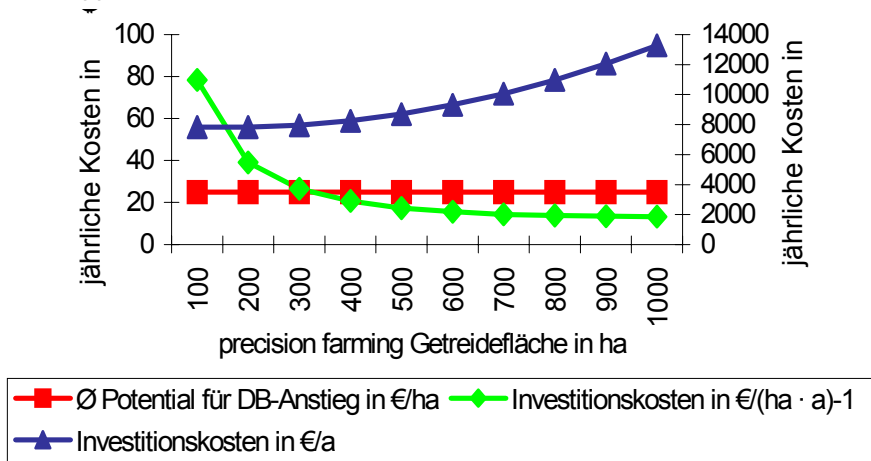


Abb. 9.2-4: Jährliche Investitionskosten für precision agriculture und Break-Even-Point

Fig. 9.2-4: Annual costs of precision farming equipment and Break-Even-Point

Nach den hier zugrunde gelegten Annahmen (der Deckungsbeitrag kann durch eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung um 25 €/ha gesteigert werden) und Ergebnissen wird der Break-Even-Point bei einer teilflächenspezifisch bewirtschafteten Getreidefläche von 300 ha erreicht. Der Bezug auf die Getreidefläche ist notwendig, da für weitere Kulturen eine andere technische Ausstattung notwendig ist, die zu einem veränderten Investitionsvolumen führt. Zudem konnten für weitere Kulturen noch keine Untersuchungen hinsichtlich des ökonomischen Potentials durchgeführt werden. Dass die vorliegenden Ergebnisse keine allgemeine Empfehlung sein können, zeigen die Untersuchungen der vorhergehenden Abschnitte, in denen deutliche Differenzen in Bezug auf eine mögliche Steigerung des Deckungsbeitrages für unterschiedliche Standorte gezeigt werden konnten.

9.2.6 Diskussion und Ausblick

Der wesentliche Fortschritt der vorgestellten Arbeiten ist darin zu sehen, dass nun Methoden vorliegen, die von ihrer Struktur her in der Lage sind, eine teilflächenspezifische Düngung zu bewerten. Bei der Produktionsfunktionsanalyse wird das ökonomische Potential im Wesentlichen durch die Höhe des Variationskoeffizienten bestimmt, während die optimale Düngungsstrategie beim Simulationsmodell Hermes sich aus der Differenz des Stickstoffentzuges der Pflanzen und dem Mineralisierungspotential der Teilflächen im Verlauf der Vegetationsperiode ergibt. Die beiden Ansätze kommen daher zu unterschiedlichen Ergebnissen in der Form, dass sich z. B. bei Berechnungen durch das Simulationsmodell auch bei homogenen Ertragsstrukturen ein Potential zur Steigerung des Deckungsbeitrages ergibt, während dies bei der Produktionsfunktionsanalyse nicht der Fall ist.

Ein Schwerpunkt der weiteren Arbeiten wird daher sein, die Szenarioanalyse anhand des Simulationsmodelles Hermes für möglichst viele weitere Projektpflichtschläge durchzuführen, um zum einen die beiden dargestellten Bewertungsmethoden inhaltlich zusammenzu-

führen, und zum anderen die Aussagen zur Bewertung der Informationsqualitäten und -arten zu konsolidieren. Neben der breiteren Anwendung der beiden Methoden ist aber auch für deren Überprüfung die Durchführung von speziell angepassten Feldversuchen notwendig. Gelingt die inhaltliche Zusammenführung, so wäre mit der Methode der Produktionsfunktionsanalyse ein einfach zu handhabendes Instrument gegeben, mit dem die ökonomische Bewertung leicht automatisiert werden kann und das die Möglichkeit bietet, als ein weiteres Modul von *pre agro* programmiert zu werden.

Gegenwärtig noch in der Auswertung befinden sich Projektversuche für eine teilflächenspezifische N-Düngung mit dem weiterentwickelten N-Sensor (der Ausbringungsalgorithmus wurde im Vergleich zur ersten Version weiter verbessert). Grundsätzlich besitzt eine teilflächenspezifische N-Düngung mit dem N-Sensor den Vorteil, dass die dafür notwendigen Investitionskosten geringer sind und keine Vorinformationen benötigt werden.

Notwendig erscheint es aber auch darauf hinzuweisen, dass die in diesem Zwischenbericht ausgewiesenen ökonomischen Potentiale sich nur auf eine teilflächenspezifische N-Düngung beziehen und damit nur einen Teil der möglichen Anwendungen für *precision agriculture* berücksichtigen. Weitere Anwendungen aber, wie z. B. ein teilflächenspezifischer Pflanzenschutz (insbesondere bei der Herbizidbekämpfung), lassen ein höheres Gewinnsteigerungspotential erwarten (vgl. Krohmann et al., 2001), werden jedoch aufgrund noch fehlender praxisreifer Technologien im Verbundprojekt noch nicht angewendet.

9.2.7 Literatur

- Finck, H.-F.; Haase, K. (1987): Nitratbelastung des Grundwassers, ökonomische Beurteilung von Alternativen. In: Schriftenreihe des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Reihe A, Heft 347. Münster-Hiltrup
- Kersebaum, K.-Chr. (2001): Lokaler N-Austrag (TP IV-4b). Zwischenbericht 2001 des Verbundprojektes *preagro*, Müncheberg.
- Kilian, B. (2000): Betriebswirtschaftliche Beurteilung von Maßnahmen für einen flächendeckenden Gewässerschutz in der Landwirtschaft. Agrarwirtschaft, Sonderheft 165, Bergen/Dumme
- Krayl, E. (1993): Strategien zur Vermeidung der Stickstoffverluste aus der Landwirtschaft. Landwirtschaft und Umwelt, Schriften zur Umweltökonomik, Band 8. Kiel.
- Krohmann, P.; Timmermann, C.; Gerhards, R.; Kühbauch, W. (2001): Variation of weed populations in a crop rotation and in continuous maize – implications for the definition of weed patches. In: Grenier, G.; Blackmore, S. (Hrsg.), 3rd European Conference on Precision Agriculture (2), Montpellier.
- KTBL (Kuratorium für Technik und Bauwesen in der Landwirtschaft e.V.) (2000): KTBL-Taschenbuch Landwirtschaft 01, Münster-Hiltrup
- LAP (Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim) (1998): Beratungsgrundlagen für die Düngung im Ackerbau und auf Grünland, Forchheim
- Sturm H., Buchner, A.; Zerulle, W. (1994): Gezielter Düngen. Verlagsunion Agrar, Frankfurt am Main
- Weingarten, P. (1996): Grundwasserschutz und Landwirtschaft: eine quantitative Analyse von Vorsorgestrategien zum Schutz des Grundwassers vor Nitratreinträgen. Landwirtschaft und Umwelt, Schriften zur Umweltökonomik, Band 13. Kiel
- Wenkel, K.-O. (2001): Düngung (TP III-4). Zwischenbericht 2001 des Verbundprojektes *pre agro*, Müncheberg
- Werner, A. (1995): Nährstoffbilanz als Instrument der Düngeberatung. In: Bundesarbeitskreis Düngung (Hrsg.): Nährstoffbilanz im Blickfeld von Landwirtschaft und Umwelt. Tagung des Verbandes der Landwirtschaftskammern e.V. und des Bundesarbeitskreises Düngung (BAD) am 29. und 30. März 1995 in Würzburg: 111-128.