

GPS – Möglichkeiten und Grenzen

Prof. Dr. Edmund Isensee

Vorträge anlässlich der RKL-Tagungen in
Bernburg-Strenzfeld 2003 und Neumünster 2004

Prof. Dr. Edmund Isensee ist Direktor des Institutes für Landwirtschaftliche
Verfahrenstechnik der Universität Kiel

Gliederung

1.	Einführung	1163
2.	Boden	1163
3.	Möglichkeiten zu teilflächenspezifischer Bewirtschaftung	1165
4.	N-Düngung	1168
5.	Düngung und Ertrag	1173
6.	Wirtschaftlichkeit	1175
7.	Fazit	1179

1. Einführung

Die Technik der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung – kurz „GPS“ (global positioning system) – ist seit Jahren:

- im Gespräch der Praxis
- im Angebot der Industrie
- im Forschungsprogramm der Institute

Die Erwartungen waren und sind vielfältig. Sie liegen in höherem Ertrag und weniger Betriebsmitteln, in ökonomischen und ökologischen Effekten. Die technischen Lösungen verlassen neuerdings die Vielfalt und nähern sich der Einheitlichkeit, seit Jahren vom Wunschbild einer – eingehaltenen – ISO-Norm geleitet.

Aber nicht nur das RKL fragt: was bringt GPS dem Praktiker?

Doch machen wir es nicht so einfach, es gilt auch: was muss der Praktiker in der Produktionstechnik und im Datenmanagement tun, damit es etwas bringt?

Bei allen Möglichkeiten, die sich bieten, möchte ich die N-Düngung und den Ertrag primär behandeln und die Punkte um Zusatzeffekte erweitern.

Das geschieht mit Blick auf die Literatur sowie die eigenen Arbeiten zur spezifischen Produktionstechnik auf praxismäßiger Basis führender Ackerbaubetriebe.

2. Boden

In der Heterogenität des Standorts liegen Ursache und Effekt der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Daher ist sie nach den Faktoren, die die Ertragsfähigkeit kennzeichnen, zu definieren (Abb. 1).

Reichsbodenschätzung
Beprobung
Bodenansprache
Erfahrung, Begehen
Zugkraft von Pflug / Grubber
Biomasse des Bestandes
Ertragskarte
EM - 38

**Meßwerte und Indikatoren zur
Heterogenität des Bodens**



Abbildung 1

Das kann die Beprobung des Bodens nach Textur und Typ am genauesten. Aber der Aufwand dafür generell und angesichts des notwendigen engen Rasters wäre untragbar. Die Punkte der Reichsbodenschätzung geben eine weiträumige Information. Der Landwirt kann seine eigenen Eindrücke mit anderen Daten verbinden. Daraus könnte man eine Bodenkarte in digitalisierter Form herstellen bzw. von fachkundiger Dienstleistung herstellen lassen, um sie mit dem betrieblichen GPS-System verwenden zu können. Vorleistungen dazu bieten die Landesämter, die als hoheitliche Aufgabe sich der Kartierung und Einordnung von Flächen widmen.

Andererseits empfiehlt sich die spezielle Erhebung von Kenndaten für den Betrieb. Einfach und schnell einsetzbar ist das EM 38 (Abb. 2). Eine Sendespule induziert ein primäres elektromagnetische Feld im Boden. Dies erzeugt ein schwaches sekundäres Feld, das eine Empfängerspule registriert. Das Verhältnis der beiden

ergibt die scheinbare elektrische Leitfähigkeit und eine Aussage zum Gehalt an Feinerde, Schluff sowie Wasser. Eine Bodeninventur kostet ca. 10 €/ha.

Unterschiede in den ermittelten Werten regen auch dazu an zu prüfen, ob der Boden die Ursache bildet oder andere Einflüsse, etwa die Versorgung mit Grundnährstoffen oder Wassermangel wirken.

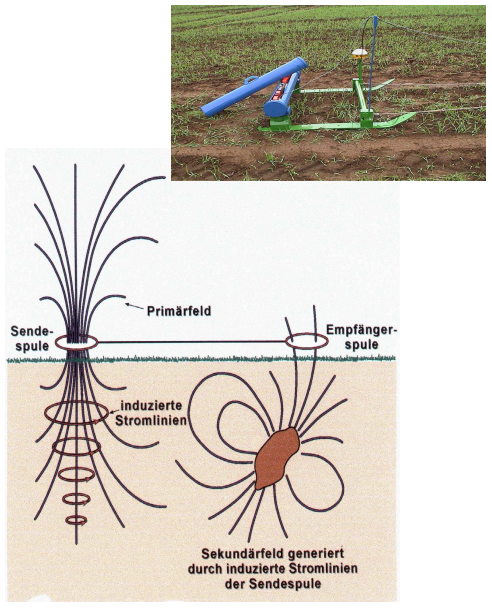


<ul style="list-style-type: none"> • Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit (TUM, ATB) • RELATIV-Messung von Ton bis Sand entlang eines Integrals von 0 - 120 cm Tiefe, Schwerpunkt bei 30 bis 70 cm • Sehr hohe Messdichte (ca. 100 Werte/ha) • Reproduzierbare Messwerte 		
	<h3>Messprinzip EM 38</h3>	

Abbildung 2

Als weitere Messgrößen nutzt man das komplexe Ergebnis der Wachstumsfaktoren des Bodens, also Daten des N-Sensors zur Biomasse und des Ertrages vom Mähdrescher.

3. Möglichkeiten zu teilflächenspezifischer Bewirtschaftung

Das Verfahren beruht auf der Heterogenität des Bodens nach Art, Struktur und Wasserhaushalt und damit der Ertragsfähigkeit, die spezifisch zu fördern und zu nutzen ist (Abb. 3). Die daraus zu erwartenden Vorteile sind als Anhaltswert genannt. Nicht alle treffen gemeinsam zu, bei einigen lohnen die zusätzlichen Investitionen (noch) nicht. Einige Verfahren sind in der Praxis bewährt.

Prozeßstufe	Maßnahme	Denkbarer Vorteil €/ha
Bodenbearbeitung	Tiefe von Pflug oder Grubber regeln	~ 5
Aussaat	Sätiefe, Saatmenge anpassen	~ 5
P-K- und pH-Status	Aufdüngen	0 – 10 +
Pflanzenentwicklung	N-Gabe anpassen	bis 15 +
Krankheit, Unkraut Halmstabilisator	Indikatoren für spezif. Befall bzw. Mittelbedarf	bis 10
Ernte	Ertragssteigerung Feuchteverringern, Qualitätsverbesserung	10 – 30 +
Mähdrusch	Durchsatz/Geschwindigkeit verbessern	15 +
Verfahren zur teilflächenspezifischen Produktionstechnik		

Abbildung 3

Das beginnt mit der **Bodenbearbeitung**, zu der Voßhenrich (FAL) und Fa. Amazone Konzepte vorgestellt haben und setzt sich fort mit der spezifischen Aussaat – beides, um Betriebsmittel zu sparen. Dazu gehören Werte und Programm, auf welcher Teilfläche flacher gearbeitet oder weniger gesät werden kann. Lehmboden muss weniger gelockert werden als Sand. Also senkt die reduzierte Intensität vor allem die Dieselskosten. Auf schwachen Stellen kann man **Saatgut** sparen. Die Drillmaschine muss aber in der Tiefen- und Längsablage besser werden. Das vor allem bei steigendem Preis für Saatgut. In beiden Fällen liest man von bis 20% Einsparung,

also 5 – 10 €/ha, der dann die Kosten für die zusätzliche Investition zur Ansteuerung der Geräte gegenüberstehen (z.B. 2.000 € für den Jobrechner und 4.000 € für die Tiefensteuerung).

Noch aber mangelt es an bewährten Algorithmen, die nach der Vorgabe „Boden“ die Maschine steuern. Und somit fehlt es an ausreichend zuverlässigen Daten, ob in der Komplexität des praktischen Anbaus (z.B. Saatbettgestaltung) die erstrebten Effekte auftreten.

Die Versorgung mit **Grunddünger** muss die Beprobung klären, angepasst an erkennbare Teilflächen. Das kostet zunächst mehr, kann sich aber lohnen, da auf gut versorgten Flächen Dünger zu sparen ist. Die spätere P-K-Düngung kann auf dem Entzug basieren, der auf Grund der Ertragskarte zu kalkulieren ist.

Zur spezifischen **Unkrautbekämpfung** bestehen Ansätze zur online-Sensorik:

- den Bedeckungsgrad über die Reflexion der grünen gegenüber der Bodenfarbe zu erfassen mit dem Grün-Sensor für 2.000 bis 5.000 €. Die Festkosten daraus von 400 bis 1.000 € setzen über 100 ha derart behandelte Fläche voraus.
- die einzelnen Pflanzen oder doch Gruppen, also Gräser gegenüber zweikeimblättrigen Pflanzen, nach ihrer äußeren Form zu quantifizieren – mit der Kamera für 15.000 – 20.000 €.

Diese Systeme befriedigen am ehesten auf ansonsten unbewachsener Fläche, wenn also die Kulturpflanze nicht „stört“. Dazu reicht ggf. die Fahrgasse.

Ein anderer Ansatz arbeitet nicht online, sondern nach vorheriger Kartierung wird im Büro die Applikationskarte erstellt. Dieser Vorgehensweise kommt entgegen, dass Unkrautnester sich oft über Jahre halten. Aber der Zeitaufwand für die manuelle Datenaufnahme und Speicherung der GPS-Position im PALM-Rechner (500 – 1.500 €) erreicht 0,5 bis 2,5 AKh/ha.

Zur spezifischen Gabe von Wirkstoffen z.B. **Fungiziden** für den Getreidehalm muss in Versuchen eine genügende Korrelation zur Bestandsdichte nachgewiesen werden. Denn es steht die These: viel Biomasse braucht viel stabilisierende Mittel oder viel Fungizide, da sie mehr vom Pilzbefall gefährdet ist. Die online Werte für den Bestand liefern auf optoelektronischer Basis der bekannte N-Sensor oder als mechanische Lösung der Pendelsensor.

In diesen Anwendungen stecken je nach Anteil betroffener Flächen beachtliche Einspar-Potentiale. Die Angaben reichen bis 90%, realistischer wären 20 - 30%, also etwa 10 €/ha. Dann müssen die Systeme mit Blick auf Zeitpunkt, Wirkstoff ggf. in Mischung, Kultur und EC-Stadium sowie technische Zuverlässigkeit praxistauglich

sein. Im allgemeinen beträgt in Marktfruchtbetrieben der Aufwand für Pflanzenschutz 150 €/ha, darunter verschiedenartige Mittel und Kulturen.

4. N-Düngung

Die Höhe der N-Gabe korreliert mit der Ertragserwartung, diese wiederum mit dem Ertragspotential des Bodens. Dessen Heterogenität führt ja zur teilflächenspezifischen Düngung. Die Bedeutung sei beispielhaft an der Grafik erläutert (Abb. 4). Die optimale Düngung des guten Bodens wird zu viel für den weniger guten. Die optimale Gabe für den schlechteren Boden vermeidet den Ertragsrückgang, reicht aber nicht für den guten.

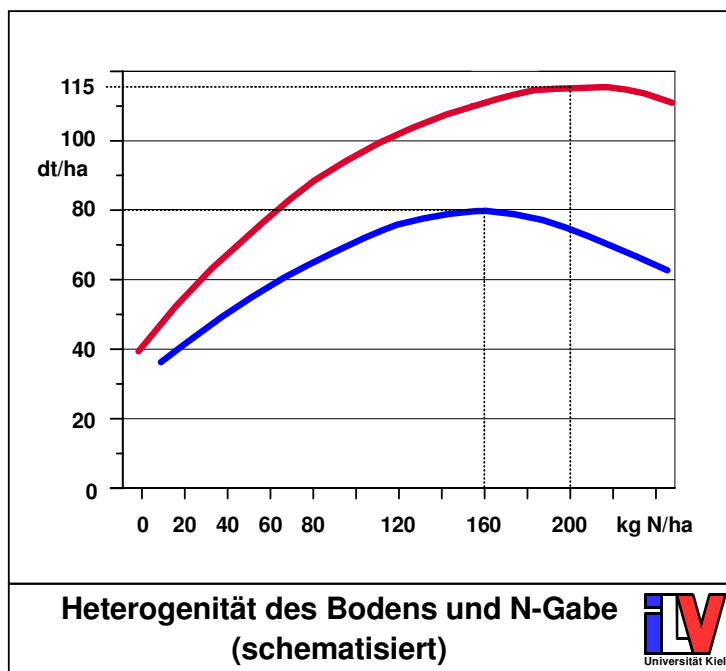


Abbildung 4

Spezifisch angepasste Düngung lässt also eine Einsparung an Dünger und eine Erhöhung des Ertrags erwarten.

Wie aber ist die Teilflächen-Gabe zu bestimmen? Dafür gibt es generell eine Vielfalt von Methoden (Abb. 5):

- Anhaltswerte für Kulturart und Region
- Modelle, in denen gegebene Daten der Fläche und der Witterung zu einer Empfehlung verrechnet werden

- die online-Sensorik
- die Erfahrung und Einschätzung des Praktikers

Richtwerte und Modelle beruhen auf gegebenen Daten, erfassen nicht die aktuellen Werte vor Ort.


<ol style="list-style-type: none"> 1. Richtwerte nach Standort, Sorte und Vegetation 2. Richtwerte nach 1, differenziert nach aktuellem Bestand und Wetter 3. N_{\min} - Methode mit Blick auf Gesamtgabe 4. Pflanzenanalyse (Hydro-N-Tester) für aktuellen Nitratgehalt 5. Modelle auf Basis von Informationen zu Boden, Witterung und Produktionstechnik, aktualisiert durch Daten zu Bestand und Bodenfeuchte sowie Prognose 6. Optische Sensoren zu Chlorophyllgehalt als Maß für die N-Versorgung; on line -Messung und Steuerung des Streuers
<p>Prinzipien zur Bemessung der N - Gabe</p>


Abbildung 5

Dazu gehört:

- a) wie hat sich der Bestand entwickelt?
 - Wirkung des bisher angebotenen Stickstoffs, ob N_{\min} oder N_1 bzw. N_2
- b) was ist aktuell zum Düngetermin zu erwarten?
 - angestrebter Ertrag
 - gegebene Bodenfeuchte
 - erwartete/erhoffte Witterung
- c) welchen Eindruck vermittelt der Bestand?
 - Intensität der Farbe
 - Wüchsigkeit
 - Bestandsdichte

Dieser Zustand fasst die Wirkung mehrerer Wachstumsparameter zusammen, zu erkennen und zu quantifizieren

- mit dem Auge des Praktikers
- mit dem N-Tester, der im einzelnen Blatt das Grün des Chlorophylls als Transmission misst

Eine solche Einschätzung ist erfahrungsgemäß mit Unsicherheiten behaftet. Denn hohe biologische Aktivität im Boden, der hohe Gehalt an organischer Substanz und gebundenem Stickstoff bis 10.000 kg N/ha sagt noch nichts darüber, wie viel mineralisiert wird (40 – 200 kg N/ha).

Diese genannten Methoden müssten durch Begehen der einzelnen, offensichtlich unterschiedlichen Teilflächen, erkennbar an der Ertrags- oder Bodenkarte, durchgeführt werden.

Das erfordert viel Zeit und Geduld. Man wird sich damit begnügen, repräsentative Teilflächen zu bonitieren und danach die Applikationskarte für den ganzen Schlag erstellen. Der Zeitbedarf des Beraters (50 €/ha) wird mit 0,75 h je 30 ha und Gabe angesetzt, also bei 3 Gaben mit knapp 4 €/ha.

Diese Tätigkeit ersetzt moderne Sensortechnik während der Fahrt. Der Praktiker muss das Niveau der Messwerte ermitteln und ihnen die N-Gabe zuordnen, die nach seiner oben genannten Kenntnis richtig erscheint. Also: diese fachliche Aufgabe bleibt, der Sensor steuert daraufhin die Gabe für die heterogenen Teilflächen.

Inzwischen werden 3 Systeme angeboten (Abb. 6):

Das mechanische Konzept misst die Bestandsdichte über den Biege widerstand der Pflanzenmasse. Der Pendel-Sensor wird von Fa. Müller-Electronic und Agrocom als „**crop meter**“ für 6.000 € angeboten. Er muss vorn am Schlepper exakt in der Höhe geführt werden. Die Biegemomente reichen gewiss erst bei ausreichendem Bestand gegen Ende des Schossens.

Die optoelektronischen Systeme sind anspruchsvoller und teurer (20.000 €). Sie orientieren sich eher am physiologischen Zustand der Pflanze.

Der **Fluoreszenz-Sensor** (Fa. Fritzmeier) schickt Laser-Strahlen in die Blätter, deren Stoffwechsel darauf je nach Zustand, also Chlorophyllgehalt, reagiert. Der Sensor erfasst nur eine schmale Stichprobe. Folglich werden mehrere Sensoren eingesetzt, die wiederum sehr präzise in Höhe der Pflanzen zuführen sind. Deshalb erscheint die Anwendung bei der bodennahen Einstellung zu N₂ kritisch, ebenso in der N₃, wenn Blatt und Ähre gemeinsam erfasst werden.

	<p>Mechanisch („Crop - Meter“) mind. Aufwuchshöhe (EC 39) exakte Tiefe nötig Geschwindigkeitseinfluß</p>
	<p>Laser („MiniVeg N“) Einzelblattanalyse unabhängig von Tageslicht, exakte Tiefe</p>
	<p>Reflexion („Hydro-N-Sensor“) Bewährtes und sicheres System Sichere Kompatibilität großes „Messfenster“ EC 29 Kalibrierungen für versch. Fruchtarten Tageslicht erforderlich</p>
Sensor - Systeme zur N - Düngung	
	

Abbildung 6

Die Fluoreszenz ist auch ein Indikator für die Vitalität der Pflanze, sie kann also auf Belastungen durch Krankheit deuten und könnte künftig im Pflanzenschutz Bedeutung erlangen.

Der **Reflexions-Sensor** misst vom Kabinendach herab eine große Fläche von 2 mal 25 m² . Er gibt die Intensität der grünen Farbe sowie die Biomasse wieder – beide bedeutsam für die Bemessung der N-Gabe.

Mit diesem von Hydro agri und Agricon angebotenen System liegen umfassende Kalibrierungen zu Messwert und N-Gabe für einzelne Kulturen vor. Es ist mit über 300 Stück in der Praxis großer Betriebe verbreitet und in der technischen Ausführung bewährt. Die Einschränkung, dass das System nicht in Dunkelheit funktioniert, heben die Konkurrenten hervor.

Für die praktische Anwendung dagegen ist bedeutsam, dass mit dem System – neben der pflanzenbaulichen Einführung – die Kalibrierung geboten wird. Der Sensor erfüllt zwei Aufgaben: er „sieht“ die Intensität des grünen Chlorophylls als Indikator für die Nährstoffversorgung sowie Bewuchs und Pflanzendichte, also die Biomasse.

Beide Faktoren gehen in die Kalibrierung ein, beide berücksichtigt der Landwirt, wenn er sich für das N-Niveau entscheidet.

Zunächst gilt, dass die hellgrünen Teilflächen mehr N erhalten als die dunklen (Abb. 7). Die Steigerung der Gabe von dunkel zu hell ist vom Hersteller nach seinen Erfahrungen im System gespeichert, seit langem für die Getreidearten, inzwischen auch für Raps und Mais, weitere Kulturen befinden sich in Vorbereitung.

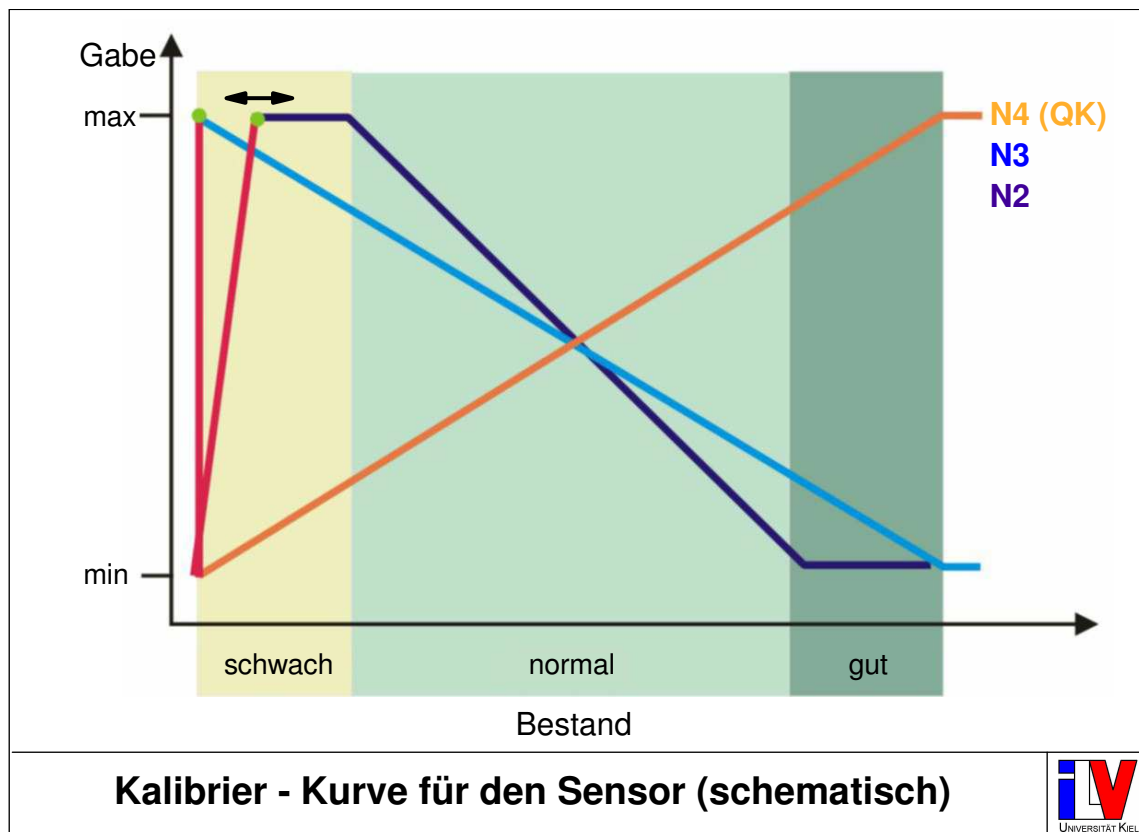


Abbildung 7

Zur letzten Gabe wird die Einstellung umgekehrt: die gut erscheinenden Bereiche erhalten als Qualitätskalibrierung (QK) mehr N, um die Proteinbildung zu fördern.

Zusätzlich wird die Biomasse bewertet. Wo wenig wächst, also wenig Grünmasse reflektiert, wählt der Landwirt die Grenze, bis zu der gar nicht gestreut wird. Auf der anderen Seite kann er als Höchstwert festlegen, dass ein sehr dichter Bestand, z.B. in anmooriger Senke, nicht noch zusätzlich Dünger erhält und Gefahr läuft, ins Lager zu gehen. Also: der Praktiker kann die Besonderheiten von Schlag und Bestand eingeben – dann aber passt das System die Gabe automatisch den vielfältigen

Unterschieden an – genauer als es das menschliche Auge sehen kann. So können nach Erfahrungen von Praktikern Mangelerscheinungen 2 – 3 Tage früher erkannt werden.

5. Düngung und Ertrag

Als Effekt der teilflächenspezifischen Düngung werden in der Literatur Einsparungen zu Stickstoff bis 60 kg N/ha genannt und Ertragssteigerungen von 1 – 4 dt/ha.

Hervorzuheben sind die mehrjährigen Ergebnisse von:

- ATB: 1 – 5 dt/ha Mehrertrag, 14%, also bei 210 kg N/ha 30 kg N/ha Einsparung
- Hydro: 1,0 bis 3,5%, im Mittel 2,1%, also 1,6 dt/ha Mehrertrag bei gleicher N-Gabe
- Agricon: 3 – 4%, also etwa 3 dt/ha Mehrertrag bei gleicher N-Gabe, weitere Nebenwirkungen.

Daraus wäre ein positiver Effekt von 20 – 30 €/ha abzuleiten.

Diese Daten möchte ich erweitern um die Ergebnisse, die wir im Institut über mehrere Jahre gewonnen haben. Verschiedene Strategien zur N-Düngung stehen nebeneinander:

- der Berater, der Boden und Hangneigung einbezieht, in Abb. 8 als Relief bezeichnet
- das Rechenmodell von Schoop, basierend auf den Bodenpunkten für die Bodenart (N prog)
- der Reflexions-Sensor, hier aber noch ein Prototyp als Versuchsgerät, wie es im Institut entwickelt wurde und mit verschiedenartiger Kalibrierung.

Diese Varianten wurden großflächig mit 2 x 24 m oder 2 x 16 m Arbeitsbreite angelegt im Vergleich zu der betriebsüblichen Düngung.

Die Ergebnisse von 49 Schlägen von 1996 – 2002 in Abb. 8 sind als Relativzahl aufgetragen gegenüber den entsprechenden Betriebsdaten (=100%).

Aus der Lage lässt sich jeweils ablesen, ob eine Variante im Vergleich zum Betrieb einen höheren oder niedrigeren Ertrag erreichte bzw. mehr oder weniger Dünger einsetzte.

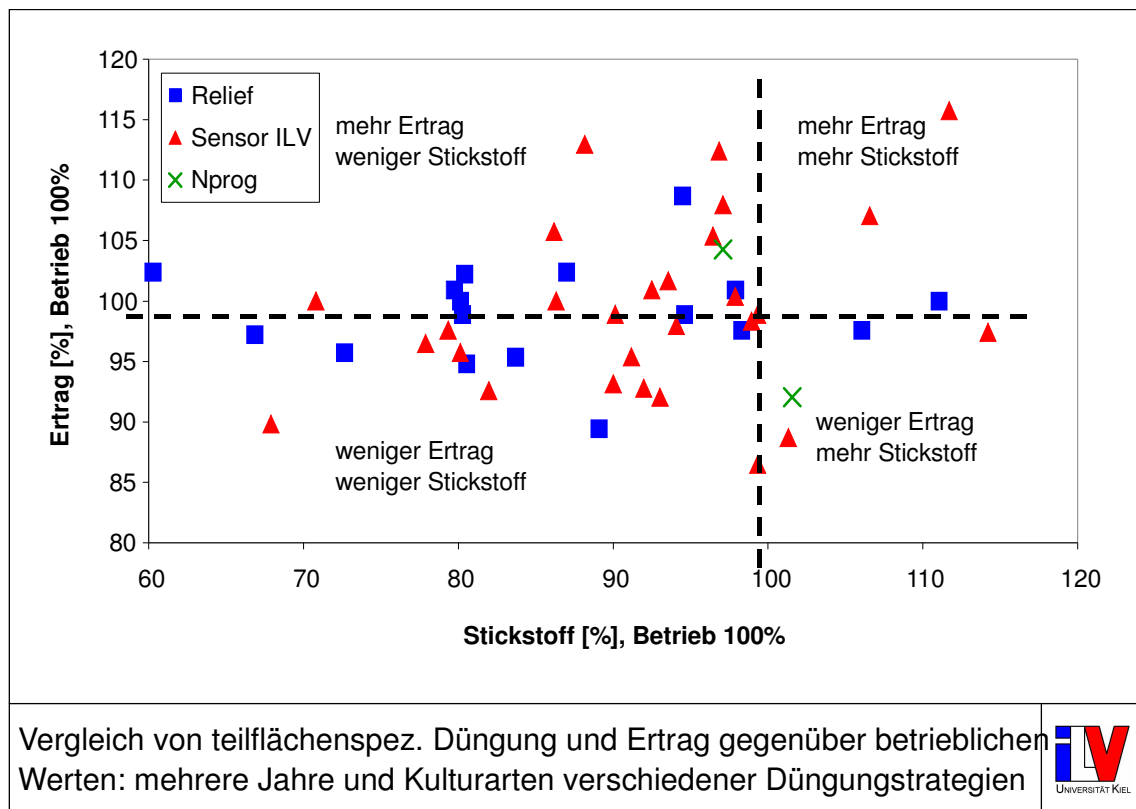


Abbildung 8

Allgemein lässt sich der Darstellung entnehmen, dass meistens die Düngestrategien mit weniger Stickstoff als der Betrieb ähnliche Erträge erzielen. Die Sensorvarianten erreichten höhere Ertragsabweichungen vom Betrieb als die Reliefvarianten – sowohl nach oben als auch nach unten. Bei allen drei Varianten kam es auch zu „Ausreißern“, d.h. mit mehr Stickstoff wurde ein geringerer Ertrag als vom Betrieb erwirtschaftet und umgekehrt.

Also: das Spektrum ist sehr weit, man kann positive Effekte erzielen, aber nicht immer. Vermutlich ist das höhere Ertragspotential der guten Teilflächen nicht hinreichend ausgeschöpft. Das mag an dem ortsüblichen, vom Betriebsleiter vorgegebenen N-Niveau liegen, das aus seiner Sicht als Mittel über den ganzen Schlag gilt, also für den guten Boden zu gering ausfällt.

Das zeigen einige Auswertungen, bei denen wir die unterschiedlichen N-Gaben vergleichbarer Teilflächen zu einem N-Steigerungsversuch zusammengefasst haben.

Darauf deuten auch Ergebnisse von Versuchen, die wir in den letzten Jahren unter anderen Schwerpunkten durchgeführt haben, nämlich mit Blick auf den

Proteingehalt. Dazu haben wir ein Messsystem in den Mähdrescher integriert, das während des Dreschens den Eiweißgehalt des Getreides online misst.

Als erstes Ergebnis fällt auf, dass die sensorgesteuerte Düngung den Proteingehalt erhöht und die Streubreite der Werte reduziert. Im Extrem ging die Standardabweichung von 2%-Punkten auf die Hälfte zurück, sie liegt aber auch insgesamt niedriger.

Die Qualität lässt sich mit einer betonten Spätdüngung beeinflussen. Hier wurden die guten, also dunkelgrünen Bestände zu N₃ und N₄ kräftig und spät bis zur Blüte gedüngt bei ausreichender Wasserversorgung

Damit lässt sich der Ertrag bei einem Niveau um 100 dt/ha um mehrere dt/ha steigern. Der Proteingehalt erhöhte sich um 0,2 bis 1% – im Gegensatz zu dem erwarteten „Verdünnungs“effekt. Das Verhalten der Sorte mag mitwirken, ob sie also mehr ertrags- oder qualitätsbetont angelegt ist. Bedeutsam aber erscheint, dass hier die Heterogenität von Boden und Bestand zu nutzen ist, um Ertrag und Qualität zu steigern. Diesen Effekten ist noch näher nachzugehen, um verallgemeinerungsfähige Aussagen zu erhalten.

6. Wirtschaftlichkeit

Die Beurteilung der Teilflächenbewirtschaftung umfasst mehrere Wirkungsbereiche des Systems:

- die generellen Möglichkeiten, die Bewirtschaftung rationeller und kontrolliert zu gestalten
- den Einfluss auf Ertrag und Qualität
- den Effekt auf die N- und Grunddüngung
- die Kosten für Investition und Betrieb
- die Abwägung von Kosten und Nutzen
-

Investition und Kosten

Die Vorteile der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung werden mit Aufwand an Zeit und Technik erkaufte. Dies wird für Betriebe mit 300 ha und 1000 ha Getreidefläche dargestellt (Abb. 9).

Es beginnt mit den Grunddaten zum Schlag, also der Aufarbeitung von Informationen zu Boden und Teilflächen durch den Betriebsleiter. Den Kern des Systems bildet die Ausstattung des Mähdreschers. Dafür werden vorbereitende Einführung, die

Kalibrierung des Systems sowie die täglichen Arbeiten mit Zeit und Stundenkosten (15 €/h) angesetzt und schließlich die Auswertung mit Interpretation durch den Berater. Insgesamt ergeben sich daraus Kosten von 3 €/ha.

Tätigkeiten	€/Jahr für	
	300 ha	1.000 ha 2 Mährescher
Einführung in Technik und Bedienung (4 h)	60	120
Kalibrieren: Schnittbreite, Leerlauf		
Weg-Messung (2 h)	30	60
Kontrollwiegungen: 4 Bunkerinhalte, also 2 je Frucht	150	300
Eingabe der Schlagdaten und Speichern/Sichern auf PCMCIA (0,35 h/Tag)	120	420
Wartung (alle 3 Tage, bei schlechten Druschbedingungen häufiger)	40	120
Datensicherung auf PC, Erstellung von Ertragskarten (15 Min./Schlag, ø 30 ha)	40	120
Interpretation (1 h/schlag, 50 €/h)	500	1.700
Insgesamt €/Jahr	940	2.840
€/ha	3,1	2,8
Dauer und Kosten für Tätigkeiten zur Ertragsmessung		

Abbildung 9

Dieser zeitliche Aufwand bleibt häufig unbeachtet, schafft aber doch den fachlichen Fortschritt in der Produktionstechnik.

Dennoch: der Investitionsbedarf und die daraus resultierenden Kosten tragen zu Entscheidung und zur Kosten-Nutzen-Überlegung bei. Sie werden für 2 Betriebsgrößen und die Abschreibungszeit des Mähreschers dargestellt (Abb. 10).

Für die Düngung sind die spezifischen Mehr-Investitionen angesetzt. Man kann davon ausgehen, dass der Betrieb bereits über hohes technisches Niveau, also

ISOBUS, verfügt. Die Kosten aus dieser Investition erscheinen wenig bedeutsam gegenüber denen, die mit 4 €/ha für das Begehen der Teilflächen angesetzt sind.

Als Alternative steht der Sensor, der die N-Gabe automatisch steuert. Die beiden optoelektronischen Systeme sind im Preis gleich, ob in der Leistung bleibt derzeit offen. Bei der hohen, angemessenen Getreidefläche entstehen also Kosten von 6,1 €/ha.


Investition für 8 Jahre (€)	300 ha	1 000 ha
Schlepper mit ISO Bus (Nachrüst. 1 000 € + Lohn)	--	--
Basis Terminal Top mit Zubehör	3 000	
Streuer - Mehrpreis (GPS-Ready 7 700 €)	1 100	
GPS - Empfänger (plus 500 € / J. Lizenz)	8 100	4 000
Kosten (20 % A) € / ha	7,1	[2,1]
Zeit für Begehen (3x 0,75h / 30 ha x 50 € / h)	4	4
N - Sensor (Laser)	13,3	20 000 4
Kosten des technischen und fachlichen Aufwands für die teilflächenspezifische N-Düngung		

Abbildung 10

Für den Mähdrescher ist der Mehrpreis von 12.000 € für die Ertragskartierung eingesetzt, der GPS-Empfänger ist bereits der Düngung zugeordnet. Die einfache Ertragsmessung (6.000 €) gibt nicht die Verteilung über die Fläche wieder (Abb. 11).

Die Kosten werden auf eine geringe und – für 2 Maschinen – höhere Auslastung bezogen, um dem Spektrum einzel- oder überbetrieblichen Einsatzes gerecht zu werden.

Den Mehrkosten für den Mähdrescher werden die für spezielle Tätigkeiten aus Abbildung 10 hinzugerechnet. Addieren wir dazu die Kosten der teilflächenspezifischen Düngung, so ergeben sich Gesamtkosten des Systems von 22 bzw. 14 €/ha. Darin steckt ein beachtlicher Anteil für notwendige Tätigkeiten, ist also fachlich begründet. **Das Gesamtniveau der Kosten entspricht in etwa einen Mehrertrag von 2 dt/ha, mit dem knapp zu rechnen ist.**


Investition für 8 Jahre (€)	300 ha	1 000 ha
Ertragsmessung (6 000 €) Ertragskartierung Software - Schulung	12 000	24 000
	500	
Kosten (20 % A) € / ha	8,3	4,9
Kosten für Tätigkeiten	3,1	2,8
MD - Kosten	11,4	7,7
Kosten des Düngens	11,1	6,1
Kosten der teilflächenspezifischen Düngung und Ernte		

Abbildung 11

Die Ertragswirkung wird von weiteren Faktoren erweitert. Die Versuche mit Proteinmessung im Mähdrescher brachten neue Erkenntnisse zur Qualität. Die Düngung mit dem N-Sensor erhöht den Proteingehalt um 0,2 bis 1%. Die Gehalte variieren über den Schlag weniger stark, die Streuung sinkt um 0,2 bis 1%-Punkt.

Der gesamte Bestand wird offenbar gleichmäßiger, wie Feiffer consult in großflächig angelegten Messungen bestätigt. Danach schafft der Mähdrescher 15% mehr: Das entspricht also 10 – 15 €/ha Ersparnis.

Die Kosten des Systems müssen also vom Nutzen wettgemacht werden. Die Wirkung auf Ertrag und Einsparung an Dünger reicht dazu, erscheint aber ausbaufähig.

Der Nutzen wird durch weitere Vorzüge gesteigert. Generell erlaubt die präzise Kenntnis der Eigenheiten der Betriebsflächen Konsequenzen für die Anbautechnik oder die Einschätzung der Schläge. Auffällige Teilflächen werden analysiert. Besteht die Möglichkeit, die Schwächen auf Grund von Nährstoffmangel, Bodenverdichtung oder Staunässe zu meliorieren, so steigt insgesamt der Wert der Fläche. Im andern Fall liegt es nahe, derartige Teile zur Stilllegung oder sogar im Biotop-Verbund zusammenzulegen.

Ein weiteres Beispiel bildet der Randeffect an Wald, Knick oder Vorgewende, wo das Ausmaß der Ertragsminderung dazu veranlasst, Betriebsmittel zu sparen.

Die genaue Kartierung der Flächen passt zu den Anforderungen, Anträge bei Ämtern zu stellen. Im Interesse des betrieblichen Ablaufs liegt, wichtige Daten der Schläge, z.B. Dränage, Grenzsteine, kritische Stellen im GPS zu dokumentieren. Dann kann der Fahrer gewarnt werden, bevor die Maschine in Gefahr gerät oder zu Bruch wird. Derartige Daten nutzen vor allem, wenn im Rahmen des strukturellen Wandels Flächen den Besitzer wechseln oder überbetrieblich bewirtschaftet werden.

7. Fazit

Die teilflächenspezifische Produktionstechnik passt alle Maßnahmen, vor allem die N-Düngung, den Gegebenheiten, also wechselnden Böden und Pflanzenbeständen, an. Moderne Sensortechnik hat sich dazu bewährt. Die verbesserte Kenntnis der Flächen erlaubt eine intensivere, angepasste Wirtschaftsweise mit steter Möglichkeit, Maßnahmen und Erfolg zu prüfen. Damit kann der gute Betrieb noch besser werden.

Die spezifischen Kosten des Systems lohnen dank der direkten Vorteile im Ertrag und der Betriebsmitteleinsparungen.