

ITADA

Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft



ITADA Arbeitsprogramm III Abschlussbericht zum Projekt 02

Fortschrittliche Technologien für die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln auf Schlagebene und im Gewinn

- Projektleitung:** Dr. Reinhold Vetter, IfuL, Müllheim D
Dr. Patrick Reidelstürz; Gisgeo, Emmendingen D
- Projektpartner:** Françoise Juncker-Schwing, ARVALIS - Institut du végétal, Sainte Croix-en-Plaine F
- Bericht:** Dr. Patrick Reidelstürz, Françoise Juncker-Schwing,
Jürgen Recknagel, IfuL Müllheim
- Projektlaufzeit:** Januar 2003 – Dezember 2005

Projekt gefördert durch die EU-Gemeinschaftsinitiative INTERREG III 'Oberrhein Mitte-Süd'

ITADA-Sekretariat: 2 allée de Herrlisheim, F-68000 COLMAR
Tel.: 00333 89229550 Fax: 00333 89229559 eMail: itada@wanadoo.fr
www.itada.org

ITADA

**Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique
Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landwirtschaft**

Das Arbeitsprogramm III des ITADA unterstand der Trägerschaft des
Conseil Régional d'Alsace und wurde kofinanziert durch:

Europäischer Regionalentwicklungsfonds (INTERREG Programm III Oberrhein Mitte-Süd)
Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden-Württemberg
Conseil Régional d'Alsace
Agence de l'Eau Rhin Meuse
Landwirtschaftliche Berufsverbände des Elsass
Schweizer Eidgenossenschaft
Kantone Aargau, Basel-Landschaft und Basel-Stadt

Projekt 02

**Fortschrittliche Technologien für die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln
auf Schlagebene und im Gewinn**

wurde durchgeführt von:

Projektverantwortlicher: Dr. Reinhold Vetter (IfuL)

Projektpartner: Dr. Patrick Reidelstürz, Gisgeo GmbH – Projektleitung,
Françoise Juncker-Schwing, Arvalis - Institut du Végétal

Institut für umweltgerechte Landwirtschaft, D-Müllheim (IfuL)
Gisgeo GmbH, D-Wittbrietzen und Emmendingen
Arvalis - Institut du Végétal, F-Sainte Croix-en-Plaine



INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	1
1.1	Fragestellung	1
1.2	Zielsetzung	2
1.3	Ausgangssituation	3
	(1) Aktueller Stand der Technik	3
	(2) Vorarbeiten	16
2	MATERIAL UND METHODEN	19
2.1	Versuche	19
2.1.1	Versuche im Elsass	19
2.1.1.1	Standortbeschreibung	21
	(1) Agronomische Variabilität	21
	(2) Satellitenbilder	21
	(3) Messung der Bodenleitfähigkeit	21
	(4) Geostatistische Untersuchung	23
2.1.1.2	Versuche im Jahr 2003	24
2.1.1.3	Versuche im Jahr 2004	27
2.1.2	Versuche in Baden-Württemberg	33
2.1.2.1	Standortbeschreibung	33
2.1.2.2	Untersuchungen zur Variabilität	35
	(1) Ertragskartierungen beim Mähdrusch	35
	(2) N _{min} -Analysen	39
	(3) Bodenuntersuchungen	39
	(4) Handernten	39
	(5) Schadinventur	40
	(6) Messung der elektromagnetischen Bodenleitfähigkeit	40
	(7) Untersuchungen zum Wasserhaltevermögen der Böden	43
2.1.2.3	Modulation der Stickstoffapplikation	45
	(1) Modulation der Stickstoffapplikation (Offline-Verfahren) im Jahr 2003	47
	(2) Bereitstellung einer <u>schlagübergreifend</u> aufbereiteten Stickstoffapplikationskarte nach dem Offline-Verfahren (gute fachliche Praxis) im Jahr 2004	60
	(3) Teilflächenspezifische Stickstoffapplikation unter Verwendung eines Wachstumsmodells (Apollo) im Jahr 2005	68
	(4) Einsatz eines verfügbaren Online-Verfahrens (Cropmeter) im Jahr 2004	76
	(5) Tests zum Potenzial von Fernerkundungsverfahren	78
2.1.2.4	Untersuchungen zur Optimierung der Modulation	89
	(1) Reduktion des Aufwandes bei der Ableitung der Applikationskarte im Kartieransatz (offline)	89
	(2) Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Mindestmengenvorgaben	93
2.2	Befragung zur Anwendung der Präzisionslandwirtschaft im Elsass und in Baden-Württemberg	98
2.2.1	Fragebogen	99
2.2.2	Durchführung der Umfrage	100
3.	ERGEBNISSE	102
3.1	Ergebnisse der Versuche im Elsass	103
3.1.1	Standorteigenschaften der beiden Parzellen im Elsass	103
	(1) Agronomische Variabilität	103
	(2) Satellitenbilder	107
	(3) Messung der Bodenleitfähigkeit	103
	(4) Geostatistische Untersuchung	111
	(5) Schlussfolgerungen	112
3.1.2	Ergebnisse zur Variation der Saatstärke (2003)	113
3.1.3	Ergebnisse zur Variation der Stickstoffdüngung (2004)	122
3.2	Ergebnisse der Versuche in Baden-Württemberg	129
3.2.1	Ergebnisse zur Variabilität	129
	(1) Ertragsverteilungen	129
	(2) Variabilität von N _{min}	132

	(3) Bodenleitfähigkeit	136
	(4) Wasserhaltevermögen	136
3.2.2	Ergebnisse zur Machbarkeit der Modulation	139
3.2.2.1	Praxistauglichkeit des Kartieransatzes	139
	(1) Komplikationen	139
	(2) Potenzial durch Ausweitung in Richtung einer Gewannebewirtschaftung	150
	(3) Potenzial durch Integration einer Wachstumssimulation	151
	(4) Potenzial durch Integration von Fernerkundungsdaten	154
	(5) Zusammenfassung der Lösungsansätze zur Überführung des Kartieransatzes in die Praxistauglichkeit	170
3.2.2.2	Praxistauglichkeit des Online-Ansatzes	172
	(1) Komplikationen	172
	(2) Potenzial des getesteten Online-Verfahrens	173
	(3) Potenzial durch Verwendung alternativer Online-Verfahren	
	(3) Zusammenfassung der Lösungsansätze zur Überführung des Online-Ansatzes in die Praxistauglichkeit	175
3.2.3	Ergebnisse zur Auswirkung der Modulation	178
	(1) Auswirkung auf N_{\min}	178
	(2) Auswirkung auf den Ertrag	186
	(3) Auswirkung auf die Höhe der Düngung	193
	(4) Stickstoffbilanz bei Modulation (Umweltverträglichkeit)	199
	(5) Wirtschaftlichkeit der Modulation	207
3.3	Ergebnisse der Befragung zur Anwendung der Präzisionslandwirtschaft im Elsass und in Baden	211
	(1) Beschreibender Teil: Die Betriebe	211
	(2) Art der Betriebe (Betriebstypen)	211
	(3) Flächenausstattung	213
	(4) Bodentypen und -Untersuchungen	216
	(5) Anteile der Kulturen	217
	(6) Homogenität der Schläge	218
	(7) Bewirtschaftung	219
	(8) Landwirtschaftsberatung	220
	(9) Düngung	221
	(10) EDV Ausstattung	222
	(11) Einstellung zu GPS	223
	(12) Informationsstand bezüglich Präzisionslandwirtschaft	223
	(13) Interesse an Präzisionslandwirtschaft	223
	(14) Motive für den Einsatz von Präzisionslandwirtschaft	223
	(15) Bereitschaft zu Investitionen in die Präzisionslandwirtschaft	225
	(16) Erfahrungen mit Präzisionslandwirtschaft	228
	(17) Vor- und Nachteile	228
	(18) Analytischer Teil: Beziehungen zwischen einzelnen Faktoren	230
4	DISKUSSION DER ERGEBNISSE	233
4.1	Diskussion der Ergebnisse der Versuche	233
	(1) Nützlichkeit der Ergebnisse	233
	(2) Praktikabilität der Ergebnisse	237
	(3) Validierung der Ergebnisse	238
4.2	Diskussion der Ergebnisse der Umfrage	241
5.	SCHLUSSFOLGERUNG	242
6.	ZUSAMMENFASSUNG	245
	SUMMARY	248
7.	VERZEICHNISSE	251
	(1) Literaturverzeichnis	251
	(2) Abbildungsverzeichnis	257
	(3) Tabellenverzeichnis	261
	(4) Abkürzungsverzeichnis	262
8.	ANHANG	265

1 EINLEITUNG

1.1 Fragestellung

Zeitpunkt, Intensität und Art des Betriebsmitteleinsatzes haben seit eh und je die Fragestellungen in der Landwirtschaft bestimmt.

Die Vielfalt der Möglichkeiten dieses Betriebsmitteleinsatzes hat eine ganz neue Dimension erlangt, seitdem der Einsatz geostationärer Satelliten sowohl die Ortung der Geoposition als auch die Navigation eines Arbeitsprozesses ermöglicht.

Die genaue Position landwirtschaftlicher Geräte kann mittels (Differential) Global Positioning System ((D)GPS) in Echtzeit bestimmt werden (LUDOWICY Chr., SCHWAIBERGER R. und LEITHOLD P. (2002); www.garmin.com; www.magellangps.com).

Hierdurch wird die Auflösung einer räumlich angepassten Bewirtschaftungsweise von einer pauschalen, zwischenschlagspezifischen Differenzierung auf das Niveau kleinräumiger, innerschlagspezifischer Unterschiede verbessert.

In Kombination mit moderner Sensortechnik führt dies zur Möglichkeit der kleinräumigen (online-) Erfassung einer Vielzahl von betrieblichen Parametern auf dem Schlag.

Hierzu gehören beispielsweise die kontinuierliche kleinräumig geocodierte Messung des Ertrages bei Drusch- und Hackfrüchten.

Daraus eröffnen sich schließlich Möglichkeiten der präzisen, kleinflächig differenzierten Applikation von Betriebsmitteln (Modulation). Technische Lösungen einer solchen teilflächen-spezifischen Bewirtschaftung werden beispielsweise für Bodenbearbeitung, Aussaat, Düngung und Pflanzenschutz angeboten (www.preagro.de/index.php3).

Eine solche *Präzisionslandwirtschaft* versucht die landwirtschaftlichen Bewirtschaftungsmaßnahmen an die Bedürfnisse der Pflanze anzupassen, indem die Umweltbedingungen weitgehend berücksichtigt werden. Dabei werden verschiedene Ziele verfolgt, wie beispielsweise

- die Optimierung der Produktionskosten durch Optimierung des Betriebsmitteleinsatzes
- die Steigerung des Kulturertrags Dank genauerer Kenntnis des Ertragspotentiales eines Schlages
- ein verbesserter Umweltschutz infolge verbesserter Betriebsmittelzumessung durch Präzisionslandwirtschaft
- Darüber hinaus werden Informationen als Grundlage für Entscheidungen und für die Dokumentation der Rückverfolgbarkeit gegeben, die von den Kunden verlangt werden.

Um Präzisionslandwirtschaft entsprechend dieser Ziele einsetzen zu können, sind drei Schritte erforderlich, nämlich:

- Aufzeigen und Beschreiben der intraparzellären Variabilität
- Berücksichtigung dieser Variabilität bei den Entscheidungen über die Modulation des Betriebsmitteleinsatzes und schließlich:
- die Umsetzung der Modulationsentscheidungen auf dem Schlag.

Im vorliegenden Bericht werden die Möglichkeiten einer solchen Präzisionslandwirtschaft zur Modulation der Betriebsmittel unter den besonders kleinstrukturierten Bedingungen des Oberrheins mit Hilfe fortschrittlicher Technologien überprüft.

1.2 Zielsetzung

Entsprechend des Projekttitels „*Fortschrittliche Technologien für die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln auf Schlagebene und im Gewinn*“ sind im Projekt zwei wesentliche Gesichtspunkte der Präzisionslandwirtschaft zu berücksichtigen. Es sind dies

- die fortschrittlichen Technologien und
- die Modulation der Betriebsmittel.

Per Definition meint *Technologie* alle „technischen Verfahren und Prozesse in einem Arbeitsgebiet“ (BÜNTING K.D., 1996).

Fortschrittlich kann einerseits im Sinne von „vorantreibend“ verstanden werden. Es sind daher Technologien zu berücksichtigen, die das Thema der Modulation weiter voranbringen.

Andererseits kann „fortschrittlich“ auch im Sinne von „modern“ oder „neuartig“ wahrgenommen werden. Aktuelle Technologieentwicklungen haben also Berücksichtigung zu finden.

Modulation wird definiert als die Fähigkeit, etwas „in seiner Intensität oder aber auch in der Art und Weise abzuwandeln, also zu verändern“. Es wird verstanden als die Fähigkeit, etwas „unterschiedlich stark zu betonen“ (BÜNTING K.D., 1996).

Die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln meint daher, die auszubringenden Applikationen an kleinflächige Unterschiede der Schläge anzupassen. Dabei werden die kleinsten homogenen Schlageinheiten als „Teilflächen“ bezeichnet und dementsprechend die Anpassung der Bewirtschaftungsmaßnahmen an diese kleinsten Teilflächen als „teilflächenspezifische Bewirtschaftung“.

Bei der Modulation der Betriebsmittel mit Hilfe fortschrittlicher Technologien soll im vorliegenden Projekt vor allem die Stickstoffapplikation im Mittelpunkt des Interesses stehen. Dabei soll es nicht nur um eine einzelschlagweise Betrachtung gehen, sondern auch um einen deduktiven Ansatz, bei dem der einzelne Schlag ausgehend vom übergeordneten Gewinn Berücksichtigung findet.

Neben der Überprüfung des Potenzials technischer Lösungsansätze soll auch die Haltung und Einstellung der Landwirte zum Thema ermittelt werden und gegebenenfalls nach Lösungsansätzen gesucht werden, um hier potenzielle Hindernisse zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel zu überwinden.

1.3 Ausgangssituation

(1) Aktueller Stand der Technik

Es ist festzustellen, dass im Bereich der **Präzisionslandwirtschaft** auf dem technischen Gebiet ein sehr dynamischer Prozess eingesetzt hat. Bestehende Geräte und Verfahren, aber auch neue Ansätze werden ständig weiter entwickelt und auch in Versuchen umgesetzt. Es gibt bisher kaum eine Technik, die sich wirklich etabliert hat. Immer neue Entwicklungen kommen auf den Markt. Das wirkt sich sicherlich auch auf die konkrete Umsetzung von Präzisionslandwirtschaft aus, weil eine ständige Fluktuation und Fortentwicklung eine Verunsicherung in Bezug auf Verfahrensauswahl oder gar Investitionsvorhaben mit sich bringen muss.

Entsprechend einer solch schnellen und dynamischen Entwicklung erscheinen auch ständig neue Publikationen über den aktuellen Stand. Aus der großen Vielfalt von Veröffentlichungen soll an dieser Stelle exemplarisch auf einige wenige Bezug genommen werden, um damit einen Eindruck des laufenden Entwicklungsprozesses wiederzuspiegeln.

Die Publikationen zur Entwicklung der Präzisionslandwirtschaft werden dabei durch folgende Themenbereiche geprägt:

- Allgemeine Informationen zu Präzisionslandwirtschaft
- Entwicklungen im Bereich der Applikationstechnik
- Entwicklungen im Bereich der Online-Sensoren
- Entwicklungen im Bereich von Fernerkundung und GIS

Über **allgemeine Informationen zur Präzisionslandwirtschaft** berichtet das WOCHENBLATT MAGAZIN (3/2004) ausführlich. Dabei wird empfohlen robuste GPS Empfänger einzusetzen. Unter anderem wird auch auf die Bedeutung des LBS/ISO BUS Systems und die Notwendigkeit genormter Schnittstellen eingegangen.

AGRA-EUROPE (17/2004) berichtet, dass durch das Wissenschaftszentrum Weihenstephan eine Initiative zur internationalen Standardisierung ins Leben gerufen wurde, mit dem Ziel, der Präzisionslandwirtschaft zum Durchbruch zu verhelfen. Um die Datenaustauschproblematik durch firmenspezifische Hard- und Software in den Griff zu bekommen, sind mehrere neue ISO-Normen geplant. Gute Voraussetzungen bestehen bereits durch die bestehende Standardisierung des Landwirtschaftlichen BUS-Systems (LBS) (DLG-Merkblatt 317).

RÖSCH C. und DUSSELDORP M. (2005) beurteilen, dass Satellitennavigation und computergesteuerte Regelungstechnik bereits ansatzweise genutzt werden oder sogar kurz vor der Anwendungsreife stehen. Demgegenüber beurteilt AGRA-EUROPE (10/2004), dass es bislang noch keine echten Fortschritte bei der Etablierung des Globalen Positionierung-Systems in der Präzisionslandwirtschaft gäbe. Entsprechend urteilen GANDORFER M. und HEIßENHUBER A. (2003), dass in vielen Fällen die Erwartungen in die teilflächenspezifische N-Düngung aus ökonomischer Sicht zur Zeit nicht erfüllt werden können.

Die BW AGRAR zitiert WERNER A. (2005) im Zusammenhang zu teilflächenspezifischer Düngung, dass sich die Informationstechnologie unabhängig von Schlaggröße und Standort nutzen lässt.

Am Beispiel der NEETZOWER AGRARHOF Peenetal GmbH wird deutlich, wie jung die Technologie des Ackerbaues mit GPS ist. Hier wird seit 1997 GPS-Technik eingesetzt. Der Betrieb gehört neben der KSG Agrar GmbH Kassow in Mecklenburg-Vorpommern zu den Vorreitern der Teilflächenbewirtschaftung (BAUERNZEITUNG, 2004).

Über Beachtenswertes bei der Entwicklung technischer Innovationen berichten KRAMER E. und VON HASELBERG C. (2004).

LANDTECHNIK (1/2004) rät, dass die Einführung von Präzisionsfarming Schritt für Schritt erfolgen sollte und ermutigt, dass mit teilflächenspezifischer Düngung bis zu 4 Dezitonnen Mehrertrag möglich sind. Die BAUERNZEITUNG (2002) beschreibt am Beispiel der KSG Agrar GmbH Kassow ebenfalls eine mögliche schrittweise Einführung einer teilflächenspezifischen Landbewirtschaftung. WEIGERT G. und WAGNER P. (2003) stellen praktische Entscheidungsregeln zur kleinräumigen N-Ausbringung vor. ZEDDIES J. (2004) betont die Notwendigkeit von Mindestflächen und erinnert daran, dass sich die Zahl der Betriebe in der nächsten Generation voraussichtlich um zwei Drittel reduzieren wird, während sich die durchschnittliche Betriebsgröße voraussichtlich verdreifachen wird. Er nennt den Bereich von 800 bis 1500ha in dem eine gute Auslastung von Großmaschinen erreicht wird. MOHN R. (2005,b) nennt unter Bezugnahme auf den PREAGRO-Abschlussbericht einen Schwellenwert von etwa 300ha, bei dem sich der Einsatz von Präzisionslandwirtschaft lohnen würde.

RECKLEBEN Y. (2003) berichtet über das Verbesserungspotenzial von Präzisionslandwirtschaft durch Integration der Qualitätserfassung, wobei Ertrags- und Proteinunterschiede im Mittelpunkt des Interesses stehen. Ebenso wird dargelegt, dass homogene Bestände, wie sie durch Präzisionslandwirtschaft bewirkt werden können, gewinnsteigernd wirken (DLZ 5/2004).

In den DLG Mitteilungen 11/2003 werden mögliche Methoden zur Erfassung von Boden- und Bestandesunterschieden diskutiert und in Bezug auf Kosten und Verfügbarkeit beurteilt. Dabei werden Ertragskartierung, (Reichs-)Bodenschätzung, Bodenbeprobungen, Hofbodenkarte, Digitales Geländemodell, Leitfähigkeitsmessungen, Pendel- und Hydro-N-Sensor, Unkrautkartierung und Bildverarbeitungen berücksichtigt.

Mit dem Potenzial von Bodenuntersuchungen und Grunddüngung zur Erfassung der teilflächenspezifischen Variabilität befassen sich KERSCHBERGER M., KERSCHBERGER E. und LEITHOLD P. (2004).

Die Bodenfeuchte als zusätzliche Messgröße für den präzisen Feldbau stellen JANTSCHKE C., KNAPPENBERGER T. und KÖLLER K. (2005) vor. In einem weiteren Artikel berichten JANTSCHKE C., SPREER W., MÜLLER C. und KÖLLER K. (2005) über Methoden zur Verbesserung des Messwertes der Bodenfeuchte.

Eine Möglichkeit, um gezielter düngen zu können, besteht auch durch die Pflanzenanalyse (LEHRKE U. und MÖLLER K., 2005).

Die Möglichkeiten digitaler Hof-Bodenkarten als Basis für Applikationskarten im präzisen Landbau stellen LAMP J., HERBST R., und REIMER G. vor. Ebenso beschreiben BOESS J. und BENNE I. (2003) die Möglichkeiten der Hofbodenkarte für eine satellitengesteuerte teilflächenspezifische Bewirtschaftung.

Das Potenzial gammaspektrometrischer Messungen zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung beschreibt SAUER J. (2003).

DOMSCH H., KAISER T., WITZKE K. und SACHSE H. (2003) beschreiben signifikante Korrelationen zwischen der Bodenleitfähigkeit (EC) und dem pH-Wert sowie dem K- und Mg-Gehalt. Insbesondere die Eignung für eine effektive Bodenbeprobung wird herausgestellt (DOMSCH, 2002).

Über die Chancen und Herausforderungen einer stufenlosen Variation der Saattiefe im Sinne von Präzisionsfarming berichten KNAPPENBERGER und KÖLLER (2005), während SOURELL

und AL-KARADSHEH (2005) auf das Potenzial einer teilflächenspezifischen Berechnung eingehen. Ausführlich wird das Thema abgehandelt bei AL-KARADSHEH.

AUERNHAMMER H. und ROTHMUND M. (2004) diskutieren verschiedene Datenaufzeichnungssysteme und stellen die kritische Frage nach den Nachteilen von zuviel Technikeinsatz. Dementsprechend wird der Nutzen günstiger PDA's in Kombination mit GPS-Technik vielfältig diskutiert, wobei Tenor ist, dass sich diese Lowcost-Lösung gut für die Flächenvermessung eignet (DLZ 5/2004), (WOCHENBLATT-MAGAZIN 3/2004).

Über den Nutzen von GPS-Technik in der Landwirtschaft überhaupt informiert ausführlich das DLG Merkblatt 316. Über die Eigenheiten, Probleme und über Beachtenswertes im Zusammenhang mit GPS dagegen informiert PALSTEK (2005). TRUNK K. (2003) beschreibt Erfahrungen mit GPS auf einem Großbetrieb, wobei positive Erfahrungen zur Nährstoff-Ertrag-Kosten-Optimierung herausgestellt werden.

Immer wieder ist auch die **Ertragserfassung beim Mähdrusch** im Gespräch. Unterschiedliche Ertragsmessgeräte wie die Volumenmessung beim QUANTIMETER von CLAAS und CERES 2 der Firma RDS oder die Massenermittlung wie DATAVISION FLOWCONTROL von MASSEY FERGUSON und DATAVISION II als FIELDSTAR von FENDT, YIELD MONITOR von AGLEADER, LH565 von LH AGRO, AFS von CASE und TCS von DEUTZ FAHR, GREENSTAR von JOHN DEERE, FIELDSTAR N-SET von AGCO/DRONNINGBORG werden erklärt und diskutiert (DLG Merkblatt 303, 2001)

RADEMACHER J. (2003) zeigt die Einflüsse auf die Genauigkeit der Online-Proteinmessung im Mähdrescher, wobei NIR-Spektroskopie zum Einsatz kommt. Weiter berichtet er über die Einflüsse einer angepassten Düngung auf den Ertrag und die Mähdrescherleistung (2004).

Die Firma CIS GmbH hat einen „ExpertFilter“ entwickelt, um stark fehlerhafte Messwerte beim Mähdrusch zu entfernen. FEIFFER A. (2003) schließlich analysiert das Einsparungspotenzial der Kosten beim Mähdrusch, während JUNG (2004) sich mit einem effektiven Flottenmanagement mit AGRO-COMBINE-Online befasst.

Neben diesem Teilgebiet wird auch das Einsparungspotenzial von **Gewannebewirtschaftung** diskutiert, wobei Konsens ist, dass durch die größere Fläche Arbeitszeit und Kosten eingespart werden können (LANDTECHNIK 3/2005), LANDPOST (2005). LATACZ-LOHMANN U. (2005) berichtet ebenfalls über Produktionskostensenkung durch Maschinenkooperation in Folge von Gewannebewirtschaftung.

Die Möglichkeiten zur Dokumentationspflicht durch Präzisionslandwirtschaft, die sich durch die EU-Verordnung seit Beginn 2005 ergeben, sind gleichermaßen Thema (DLZ 3/2005). MOHN R. (2005,a) berichtet ausführlich über die Vorteile der Gewannebewirtschaftung für Landwirtschaft und Umwelt am Beispiel „Riedhausen“. Beispielsweise betrüge das Einsparungspotenzial des Fahrweges an Feldrändern 25% und im Vorgewende 45%.

Speziell mit der **Entwicklung im Bereich der Applikationstechnik** befasst sich ebenfalls eine Vielzahl von Autoren. Auf die besonderen Anforderungen der Dynamik im Bereich teilflächenspezifischer Applikationstechniken gehen LANGNER, BÖTTGER und EHLERT (2003) ein. Es werden technische Umsetzungsprobleme geschildert und entsprechende Lösungsmöglichkeiten an verschiedenen Beispielen aufgezeigt.

TOP AGRAR (11/2004) berichtet über eine Anwendung von Präzisionslandwirtschaft zur Reduktion des Herbizid-Aufwandes, wobei auf die Möglichkeit der Herbizidmischung wie auch auf eine teilflächenspezifische Maßnahme mit Mehrfachspritze eingegangen wird.

Demgegenüber beschreibt ENGELKE B. (2002) die Regelungsmöglichkeiten der mechanischen Unkrautbekämpfung mit Hilfe unterschiedlicher Striegelintensität.

Auch im Bereich der Verbesserung der Düngestreuer besteht eine starke Dynamik. In TOP AGRAR (1/2004) werden die Grenzstreueinrichtungen von 5 gängigen Düngestreuern genau unter die Lupe genommen. Die unterschiedlichen Systeme werden beschrieben und bewertet. Es zeigen sich weitere Verbesserungen als Reaktion auf die Anforderungen der Düngeverordnung, welche aussagt, dass kein Dünger über die Grenze fallen darf und dass Auswaschung und Abschwemmung verhindert werden muss. Eine Beschreibung zur technischen Umsetzung dieser Anforderung findet sich bei CHAPPUIS A.. Grundlagen, Konzepte und technische Lösungen hierzu werden ausführlich im DLG Merkblatt 315 (1999) geschildert. Ebenfalls ausführlich beschäftigen sich WENZLAFF R. und RECKLEBEN Y. mit den Anforderungen und Möglichkeiten teilflächenspezifisch arbeitender Mineraldüngerstreuer, wobei auch auf die Umsetzung einer variablen Düngung in der Arbeitsbreite eingegangen wird. Von positiven Effekten teilflächenspezifischer Wirtschaftsdüngerausbringung berichten LEINKER M., KIELHORN A., LEHMANN B., und TRAUTZ D. (2003).

Mit der **automatisierten Spurführung** wird an vielen Stellen Werbung gemacht. Stichworte wie Stressfreiheit, Fahren in der Nacht und ohne Spurreißer verbunden mit den Vorteilen einer höheren Flächenleistung, einer gesteigerten Arbeitsqualität rund um die Uhr und einer spürbaren Kostensenkung/ha bestimmen beispielsweise die Werbung von FENDT und AGCO für den AUTO-GUIDE. BW AGRAR (43/2004) berichtet entsprechend auch über das automatische Lenksystem von JOHN DEERE „AutoTrac“. Auf das Marktangebot GPS gestützter automatischer Lenksysteme geht NOAK O. (2004) ein. Neben der Beschreibung der jeweiligen Funktionsweise wird dabei eine ausführliche Marktübersicht gegeben. Über einen aktuellen Stand berichten die DLG-MITTEILUNGEN (12/2004).

In BLW (2004) werden die gängigsten automatischen Lenksysteme für präzises und entspanntes Arbeiten verglichen. Dabei wird auf „Autotrak“ von JOHN DEERE, „E-Drive“ von CLAAS Agrocom und „Auto-Guide™“ von FENDT eingegangen. In BLW (19/2004) wird ebenfalls das große Angebot automatischer Lenksysteme behandelt. Neben den Besonderheiten der einzelnen Systeme werden dabei auch Vor- und Nachteile sowie mögliche Weiterentwicklungen diskutiert.

Neben den technischen Vorteilen macht SCHIEVELBEIN C. (2005) auf die negativen Nebeneffekte aufmerksam, wenn von Landwirten wie selbstverständlich erwartet wird, mit Hilfe präziser technischer Hilfsmittel auch rund um die Uhr zu arbeiten und der wohl verdiente Feierabend noch mehr zur „Feiernacht“ zu werden droht.

Mit der Anforderung zukünftiger Einsatzszenarien an **autonome Feldroboter** befassen sich KRAMER E. und SCHWARZ J. (2004). Am Beispiel der Unkrauterfassung wird ein konkretes Einsatzszenario näher beleuchtet, wobei der Aspekt der Sicherheit von entscheidender Bedeutung ist. Nach gegenwärtigem Stand der Technik wird darauf abgezielt, zunächst einmal mehrere autonome Feldroboter von einer Arbeitskraft überwachen zu lassen. Stichworte wie Einzelpflanzenbetreuung (phytotechnology) und selbstständiges Lernen autonomer Systeme spielen dabei eine große Rolle. Einsatzszenarien bestehen dort, wo Arbeitsgänge erspart werden können oder das Zeitfenster eines Arbeitsganges vergrößert werden kann.

EHLERT D. und LANGNER H.-R. (2004) stellen eine mobile Plattform (Field Scout) zur Informationsgewinnung vor.

Mit der Positionsgenauigkeit der Satellitensignale beim Einsatz von **CompactFlash GPS Empfängern** befasst sich KIELHORN A. (2004).

Besonders auch im Bereich der **Online-Sensorik** besteht eine starke Dynamik. RECKLEBEN Y. (2005) stellt sehr ausführlich aktuelle Sensorsysteme zur Bestandesführung zusammen. Für den Bereich des Bodens wird das Potenzial des EM 38 beschrieben. Im Bereich der Offline Systeme werden „Agro Sat“ und „Kemira“ und im Bereich der Online-Sensoren wird auf den „Crop-Meter“, den „Yara N-Sensor“ und auf „miniVeg N“ eingegangen. RECKLEBEN Y. und ILSensee E. (2005) vergleichen verschiedene Sensorsysteme für die N-Düngung. KERSCHBERGER M. und LETHOLD P. (2005) schließen sich dem an, indem sie darüber berichten, dass sich sensorgestützte Düngestrategien auszahlen.

Auf die Vor- und Nachteile des karten- oder sensorgestützten Ansatzes innerhalb der Präzisionslandwirtschaft geht SPANNER L. (2003) ein, wobei Informationen für eine Entscheidungshilfe zwischen beiden Verfahrensansätzen gegeben werden. Er kommt zum Schluss, dass eine Kombination beider Systeme empfehlenswert ist und dass die Wirtschaftlichkeit eines dieser Systeme sehr vom Einzelfall abhängig ist.

Mit N-Einsparungen, Ertrags- und Qualitätssteigerungen durch innovative Sensorsysteme zur Bestandesführung setzen sich RECKLEBEN Y. (2005) sowie SCHMID A. und MAIDL F.-X. auseinander.

Sensoren zur Erfassung der Verunkrautung und der Pflanzenmassedichte werden von EHLERT D. und LANGNER H.-R. (2004) beschrieben. LANGNER H.-R. und BÖTTGER H. (2004) informieren über eine bildgestützte Unkrauterkennerung, wobei sie insbesondere auf die informationstechnischen Anforderungen eingehen. SÖKEFELD M. und GERHARDS R. (2004) berichten ebenfalls über automatische Unkrautkartierung mit digitaler Bildverarbeitung mit dem Schwerpunkt der Erstellung von Unkrautverteilungskarten. GERHARDS R. (2005) berichtet schließlich über die Weiterentwicklung dieses Systems, bei dem durch die Automatisierung der Unkrauterkennerung Unkrautverteilungskarten mit Hilfe ökonomischer Schadensschwelen in Applikationskarten weiterverarbeitet werden, anhand derer die Herbizide selektiv und ortsgenau mit einer GPS gesteuerten Dreikammerspritze ausgebracht werden.

RUCKELSHAUSEN A., TRAUTZ D., KIELHORN A. und LINZ A. (2005) beschreiben eine Möglichkeit für sensorgeführtes **Hacken und Striegeln**.

Über die Möglichkeiten, den Bodenzustand in Echtzeit zu messen, informiert MACHÈ R. anhand des **MuCEP**-Verfahrens in Verbindung mit dem **Soil-Doctor**-System. Mit ersterem werden am Anbaugerät bei einer Überfahrt mit 10km/h die elektrische Leitfähigkeit des Bodens automatisch erfasst. Dabei wird eine fast 95%ige Korrelation zum Nitratgehalt im Boden festgestellt.

SCHUTTE B., HERRMANN L., SCHREIBER M. und KUTZBACH H.D. (2004) befassen sich mit der Kartierung des Kraftstoffverbrauchs als zusätzliche Informationsgrundlage für den präzisen Ackerbau.

EHLERT D., DAMMER K.H. und VÖLKER U (2004) sowie EHLERT D. (2004) und WOCHENBLATT-MAGAZIN (3/2004) beschreiben die Funktionsweise eines der wenigen auf dem Markt verfügbaren Online-Sensoren: **CROP-Meter (Pendelsensor)**. Dieser Sensor erfasst

über einen Pendel die Unterschiede der Biomasse innerhalb eines Pflanzenbestandes und hat im Jahr 2003 die Silbermedaille des Innovationspreises auf der Agritechnika erlangt. MAIER J. (2004) berichtet über Probleme des Einsatzes dieses Sensors im Mais.

Über die Chancen und Potenziale des ebenfalls verfügbaren Yara bzw. Hydro N-Sensors berichten KERSCHBERGER M. und HESS H. (2004), AGRI Con und HYDRO AGRI. TRAPHAN K. (2005) schildert Untersuchungsergebnisse zur bedarfsgerechten N-Düngung mit Hilfe dieses Yara N-Sensors (2005). Über die Funktionsweise wird auch in dlz (7/2005) und DLG-MITTEILUNGEN (7/2005) berichtet.

Ökonomische und ökologische Vorteile des Sensoreinsatzes im **Pflanzenschutz** diskutieren SCHWARZ J. und SCHLAUDERER R. (2004).

Über den Einsatz von **Radarsensoren** zur präzisen Bestandesführung berichten PAUL W. und SPECKMANN H. (2004) und über den Beitrag des Georadars zur teilflächenspezifischen Landwirtschaft informieren ZIEKUR R. und SCHURICHT R. (2002).

Auf **optoelektronische Sensorsysteme** zur Messung der Bestandesdichte gehen THÖSINK G., PRECKWINKEL J., LINZ A., RUCKELSHAUSEN A. sowie MARQUERING J. (2004) ein.

Über den aktuellen Stand des Projektes „Advanced Optoelektronic System“ (AOS) informiert BILLER (2004). Hierbei geht es um präzise Ausbringung von Pflanzenschutzmitteln mittels Sensortechnik, wobei über einen „spektralen Fingerabdruck“ mittels eines Multi-Sensor-Systems zwischen Unkräutern und Nutzpflanzen unterschieden wird.

Mit AVIS und GVIS als **hyperspektral abbildende Systeme** ist der **Übergang zur Fernerkundung** nahezu fließend. SCHMIDT T. und MAUSER W. informieren über die ökonomische und ökologische Optimierung der Pflanzenproduktion unter Zuhilfenahme dieser Systeme. Sie schließen die Lücke zwischen bodengestützten (terrestrischen) und luftgestützten (aerialen) Sensoren und zeichnen sich durch eine hohe spektrale Auflösung bis hin zum Bereich des nahen Infrarotes aus.

ZILLMAN E., LILIENTHAL H. SCHRAGE T. und SCHNUG E. (2004) beschreiben die Bedeutung von Radar-Fernerkundungs-Bilddaten für die landwirtschaftliche Praxis. Unterschiedliche Fruchtarten können eindeutig identifiziert werden. Darüber hinaus sind schlaginterne Variabilitäten erkennbar. Trotz vorhandener Schwierigkeiten mit der Interpretation der Radarrückstreuung bieten Radarsysteme wertvolle Informationen insbesondere auch dann, wenn aufgrund ungünstiger Witterung keine Informationen durch optische Aufnahmesysteme verfügbar sind.

Demgegenüber werden mit **LORIS® Maps** Schlagunterschiede während der Wachstumsphase kartiert, wobei ein Infrarot-Luftbild die Grundlage für die Kalkulation des teilflächenspezifischen Betriebsmitteleinsatzes liefert (www.kemira-growhow.de). Das Starterpaket von LORIS® Maps für 50ha (NIR-Luftbild, Biomassekarte, Zonenkarte, N-Streukarte, Fungizidkarte kostet 450 €. für Großbetriebe reduziert sich der Preis auf unter 7 €/ha schreibt LANDWIRTSCHAFT OHNE PFLUG (1/2005).

DOHMEN B., REH A. und HOPPE B. (2004) sowie AGROSAT (2005) berichten über eine praxisreife Minimalkostenvariante zum teilflächenspezifischen Applizieren. Dabei spielt eine **Dreizonenkarte** mit Hoch-, Mittel- und Niedrigertragszonen als visuelle Applikationskarte auf

der Basis von Fernerkundungs- bzw. Ertragskartierungen eine zentrale Rolle. Ersatzweise können auch die Daten der Reichsbodenschätzung herangezogen werden. Eine Anwendung des manuellen Verfahrens ist ab 2 €/ha und Jahr möglich.

AGROSAT (2005) stellt sein **Chlorophyllmonitoring** zur Schwachstellenanalyse vor, wobei der grüne Spektralbereich einer hochsensiblen digitalen Videokamera zur Kalibrierung verwendet wird. Die thematischen Karten sind 48h nach erfolgter Überfliegung per Internet abrufbar.

Einen ausführlichen Beitrag zum Thema der Erfassung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandsmerkmalen mit Hilfe der Fernerkundung gibt PANTEN K.. Über die Entwicklung eines bodengestützten Fernerkundungssystems für die Landwirtschaft mit dem als LASSIE bezeichneten Aufnahmesystem berichtet LILIENTHAL H..

Demgegenüber warnt allerdings die Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) vor Fehlern bei der Bemessung der Stickstoffdüngung. Nach derzeitigem Stand der Entwicklung würden stickstoffsensitive Sensoren zu große methodische Defizite aufweisen (BAUERNZEITUNG, 2005).

Neben diesen Einfachverfahren der Fernerkundung hat „Arvalis - Institut du Végétal“ in Zusammenarbeit mit EADS-Astrium und dem CETIOM seit 2002 auch ein professionelles Angebot unter der Bezeichnung *FARMSTAR* entwickelt. Während es für Winterweizen und Winterraps bereits eingeführt ist und 2005 auf einer Fläche von 180.000 ha (!) mit Schwerpunkt in Nord-, Zentral- und Westfrankreich zum Einsatz kam, befindet es sich für Mais noch in der Erprobung. Den Zugang zu diesem Angebot vermitteln über 15 Genossenschaften, drei Landwirtschaftskammern und zwei Landhändler. Das Verfahren arbeitet mit Satellitenfotos und Luftbildern, aus denen sich der Blattflächenindex und der Chlorophyllgehalt ermitteln und für jede beteiligte Parzelle im überflogenen Gebiet Vegetationskarten erstellen lassen. Die Interpretation der Daten erfolgt mit Hilfe von agronomischen Modellen mit dem Ziel, Beratungsempfehlungen zu erstellen. Für Winterweizen werden 5 Karten erstellt:

- zum Vegetationsbeginn nach Winterende, zur Feststellung des aufgenommenen Stickstoffs und für die Angabe der voraussichtlichen Stickstoff-Gesamtmenge
- zum Vegetationsbeginn nach Winterende eine Karte der Bestandesdichte und des Ertragspotentials
- zum Schossbeginn eine Einschätzung des Lagerisikos
- während des Schossens eine Karte des Entwicklungsstands und eine Aktualisierung des Ertragspotentials
- schließlich eine Karte mit der Düngungsempfehlung für die 3. Stickstoffgabe. Dieser Karte liegt eine Datei bei, mit der der Landwirt die modulierte Düngerausbringung auf seinem Schlag steuern kann.

Diese Beratungsempfehlungen werden den Landwirten über ihren Geschäftspartner zugeleitet. Bis jetzt wird die Modulation erst von wenigen Landwirten praktiziert.

Seit Januar 2005 hat CDER-Informatique de la Marne¹ sein Programm Agrimap+ in Zusammenarbeit mit John Deere und Arvalis - Institut du Végétal angepasst. Damit lassen sich die Farmstar-Dateien konvertieren und in die Bordelektronik des Schleppers übertragen, um dann die modulierte Düngerausbringung zu steuern.

¹ inzwischen übernommen vom Softwarehaus ISAGRI

Diese Art von Technologie, die ohne Probenahmen und Messungen auf dem Feld auskommt, wird sich wohl weiterentwickeln. Die Verwendung von Satellitenbildern erlaubt den Landwirten auch die Beurteilung der Vegetationsunterschiede auf ihren Feldern, was mit Bodenkarten nicht ohne weiteres möglich ist.

Nach BÖRNER G. (2004) unterstützt der Einsatz von **GIS-Werkzeugen** im Rahmen einer nachhaltigen Landwirtschaft nicht nur die Erfassung und Dokumentation von Umweltdaten, sondern auch ein effizientes Management der Flächen wie z.B. bei der Planung und dem Monitoring.

Beispielsweise wird bei der NEETZOWER AGRARHOF Peenetal GmbH mit ADAM (Alternatives Digitales Agrar-Managementsystem) ein vollständig eigen entwickeltes GIS-System eingesetzt, ohne das die weit fortgeschrittene Umsetzung der Präzisionslandwirtschaft in diesem Vorreiterbetrieb nicht denkbar wäre (BAUERNZEITUNG, 2004). Die Funktionalität dieses „Alternativen Digitalen Agrar-Managementsystems“ (ADAM) wird unter ETLéV übersichtlich dargestellt (ETLeV).

LÜCK E., EISENREICH M. und DOMSCH H. (2002) fassen innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft zusammen, wobei sowohl auf die Datenerfassungs- als auch auf die Verarbeitungsmethodik eingegangen wird.

Ausführlich informiert eine Schrift von KTBL (2004) über Defizite und Entwicklungspotenziale geografischer Informationssysteme in der Landwirtschaft und im ländlichen Raum. In einer KTBL/DAF-Tagung im Oktober 2004 wurden dementsprechend mögliche Anwendungsbereiche von GIS und Präzisionsfarming vorgetragen. Dabei wurde auf die Verfügbarkeit, aber auch auf Defizite bei der Nutzbarkeit von Geobasis- und Geofachdaten eingegangen (LANDTECHNIK 1/2005). Darüber hinaus ist zu erwähnen, dass seit Beginn 2005 der GIS-basierte Flächenantrag eingeführt ist, bei dem die Flächen aus orthorektifizierten Luftbildern abgeleitet werden (dlz 3/2004).

Da für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel insbesondere große Hoffnung auf **Online-Verfahren** gesetzt wird, und weil im vorliegenden Projekt ein Online-Sensor beispielhaft eingesetzt wurde, sollen im Folgenden einige dieser Sensoren kurz vorgestellt werden. Dabei erhebt die Auflistung aufgrund der intensiven Dynamik bei der Entwicklung des Sensoransatzes keinen Anspruch auf Vollständigkeit:

Allen Online-Sensoren zur Modulation der Betriebsmittel ist gemeinsam, dass sie die Ist-, Soll- sowie Applikationswerte der teilflächenspezifisch auszubringenden Betriebsmittel direkt während der Überfahrt erheben (also online). Aus diesem Grund wird eine externe GIS-Umgebung nicht unbedingt benötigt.

Bei einem Online-Verfahren erfolgt die Erstellung der Applikationskarte daher:

- zeitgleich mit der Anwendung (online)
- ohne Mehrarbeit an einem Schreibtisch PC im Büro
- automatisch ohne Zeitaufwand, wenn man von der Notwendigkeit einer Kalibrierung absieht

Beim **Hydro-N-Sensor** messen optische Sensoren die Reflexion des sichtbaren Lichtes über dem Pflanzenbestand. **Abbildung 1** zeigt die Integration von jeweils 2 Sensoren auf jeder Seite des Anbaugerätes auf dem Schlepperdach.



Abb. 1: Hydro-N-Sensor als Anbaugerät

Mit Hilfe der gemessenen Reflexion lassen sich Aussagen über den Zustand der Vegetation ableiten. Insbesondere werden dabei berücksichtigt:

- die Absorption im roten Wellenlängenbereich durch die Aktivität des Chlorophylls bei der Photosynthese (**Abb. 2**) und
- die Reflexion des Nahen Infrarotbereiches, aus der sich Aussagen über unterschiedliche Biomassen ableiten lassen. Die Reflexion ist hier in erster Linie von der Struktur der Pflanzenzelle abhängig (**Abb. 2**).

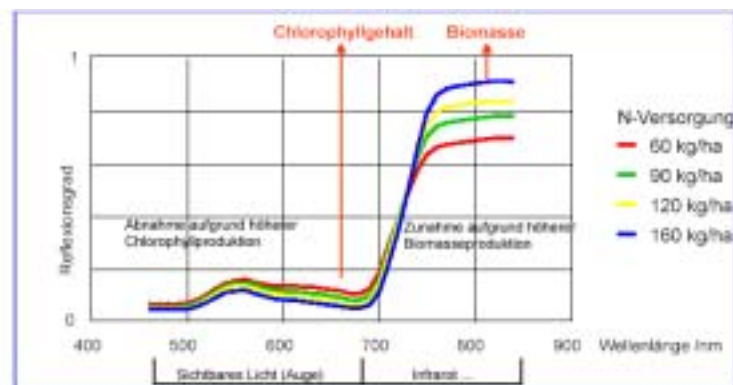


Abb. 2: Berücksichtigte Differenzierung des Reflexionsverhaltens bei unterschiedlicher N-Versorgung

Das System arbeitet auch unabhängig von GPS, da es die Maßnahmen vor Ort unmittelbar umsetzt. Unter Integration von GPS kann allerdings eine Applikationskarte online aufgezeichnet werden. Als Nachteil ist die Tatsache zu bezeichnen, dass der optische Sensor nur tagsüber einzusetzen ist und dass der Einfluss unterschiedlicher Beleuchtungsverhältnisse nicht abschließend diskutiert ist. In den letzten 8 Jahren wurden weltweit etwa über 100 Ertragsversuche durchgeführt, wobei im Mittel der Versuche ein sicherer Mehrertrag von 3% festgestellt wurde. Dabei konnten gleichzeitig Mittel von etwa 10% eingespart werden, was von der Intensität der Düngung und der Heterogenität des Bestandes abhängig war.

Zum heutigen Zeitpunkt sind in Deutschland circa 150 Geräte bei einer Düngefläche von etwa 300.000 ha im Einsatz. Weltweit gibt es etwa 350 Geräte.

Beim im Projekt eingebundenen Lohnunternehmen war bereits vor einigen Jahren ein erster Prototyp des Hydro-N-Sensors im Mais im Einsatz. Die damals erzielten Ergebnisse waren aber

nicht zufriedenstellend. Aus diesem Grund sollte im laufenden Vorhaben zunächst auf den Einsatz des Hydro-N-Sensors verzichtet werden. Mittlerweile ist ein Einsatz mit Geräten der neuesten Generation von Seiten des Lohnunternehmers aber denkbar (BINDER, 2004).

Bei der Bezeichnung „**RADAR**“ handelt es sich um die Abkürzung für „**RA**dio **D**etecting **A**nd **R**anging“. Im Grundsatz handelt es sich dabei um ein Nahbereichs-Fernerkundungsverfahren. Radarsensoren unterscheiden sich von anderen Online-Sensoren dadurch, dass es sich um *aktive* Sensoren handelt. Im Bereich des elektromagnetischen Spektrums von Radar werden Signale also aktiv abgestrahlt und deren Reflexion gemessen. Im Bereich landwirtschaftlicher Sensoren wird dabei ein Pulsradar mit äußerst geringer Strahlungsstärke eingesetzt, so dass keinerlei gesundheitliche Bedenken bestehen.

Das Verfahren eignet sich zur Abstandsmessung im Nahbereich, wie es auch aus der Verkehrsüberwachung bekannt ist. Unter landwirtschaftlichen Bedingungen ist die Möglichkeit interessant, die Durchlässigkeit der reflektierenden Kultur zu erfassen (Abb. 3). Darüber hinaus sind folgende Parameter messbar:

- Abstände
- Geschwindigkeit (über Dopplereffekt)
- Bodenfeuchte
- Bestandesdichte

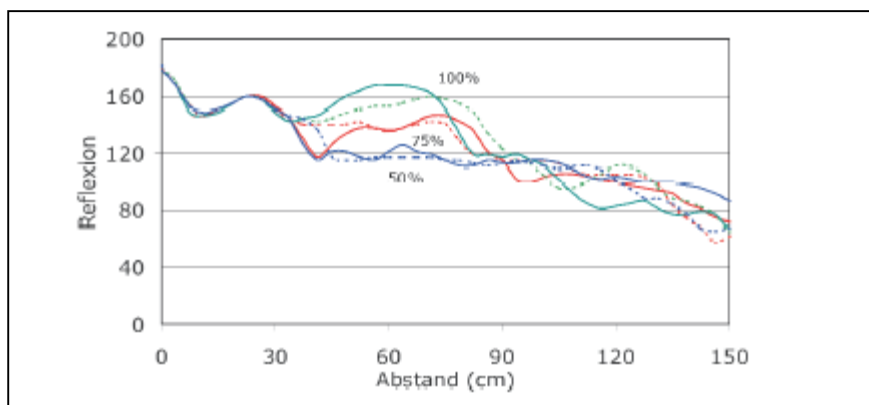


Abb. 3: Differenzierung der Radarreflexion bei unterschiedlichen Bestandesdichten

Der Sensor befindet sich zur Zeit noch in Entwicklung. Über einen kommerziellen Vertrieb ist noch nichts bekannt. Aufgrund mangelnder Verfügbarkeit kommt er deshalb für das laufende Projekt nicht in Frage. Es ist zu erwarten, dass mit Hilfe von Radar zukünftig weitere landwirtschaftlich interessante Parameter erfasst werden können und zwar:

- bei Verwendung von 2 Arbeitsfrequenzen: Bodenverdichtung
- bei Verwendung von 2 Arbeitsfrequenzen + Imaginäranteil der Rückstreuung: Düngeszustand des Bodens, Online-Düngeanpassung möglich

Seit Herbst 2003 ist ein **Pendelsensor** unter der Bezeichnung „Crop-Meter“ auf dem Markt. Er wurde von Agrartechnik Bornim (ATB) entwickelt und von der Firma „Müller Elektronik“ hergestellt. Er wird mittlerweile über die Firma „Agrocom“ vertrieben und hat auf der Agrartechnika 2004 eine Silbermedaille zum Thema fortschrittliche Innovation gewonnen. Der

Sensor hat sich im Getreide in vielen Untersuchungsreihen bewährt. Laufende Untersuchungen zum Einsatz im Mais lassen auch hier Potenzial erwarten, sind aber noch nicht abgeschlossen. Da Kontakte zu einem Mitentwickler des Sensors bestanden, war dieser Sensor für einen Test verfügbar. Daher war der Einsatz des Pendelsensors für den vorgesehenen Test auf den Untersuchungsflächen prädestiniert.

Das Gerät besteht aus einem einfachen Pendel, welches durch den Bestand gezogen wird. Der Ausschlag des Pendelwinkels ist dabei ein Maß für die Bestandesdichte und dient zur Steuerung der Düngeverteilung. Da Minimum- und Maximumwerte der Applikationsmenge vom Landwirt frei wählbar sind, ist der Sensor vor allem für die Modulation des Düngers entsprechend der teilflächenspezifischen Bestandesdichte verantwortlich. [Abbildung 4](#) skizziert das Funktionsprinzip, so dass an dieser Stelle auf eine weitere Beschreibung verzichtet werden soll.

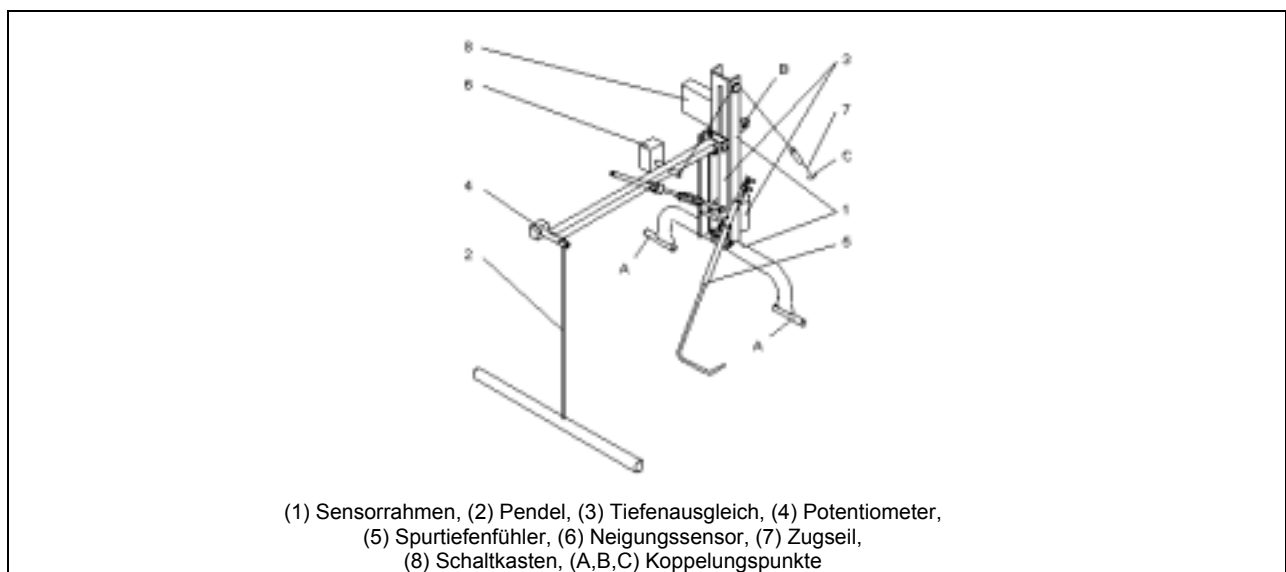


Abb. 4: Prinzipdarstellung des Pendelsensors

GVIS steht als Abkürzung für „Groundbased Visible Near Infrared Imaging Spectrometer“. Es handelt sich um einen Sensor, der in der Lage ist, hyperspektrale Datensätze zu erstellen, wobei der Bereich des elektromagnetischen Spektrums vom „Sichtbaren Licht“ bis zum „Nahen Infrarot“ berücksichtigt wird. Im Gegensatz zum AVIS (Airborne Visible Near Infrared Imaging Spectrometer) ist der Sensor nicht flugzeuggetragen. Er arbeitet stattdessen vom Boden aus. Im Falle der landwirtschaftlichen Anwendung wird er daher auf einem Traktor installiert. [Abbildung 5](#) stellt den Einsatz von GVIS und AVIS in der Praxis dar. [Tabelle 1](#) zeigt die technischen Daten. [Abbildung 6](#) zeigt unter Hervorhebung des elektromagnetischen Wellenlängenbereiches des sichtbaren Lichtes den für die Fernerkundung relevanten Spektralbereich. Ein Vergleich mit den technischen Daten macht deutlich, dass GVIS und AVIS wie auch bereits zuvor der Hydro-N-Sensor Teile des sichtbaren Lichtes und des „Nahen Infrarots“ verwenden. Die Besonderheit besteht hier in der *sehr hohen spektralen Auflösung*. GVIS und AVIS kommen insbesondere für Fragestellungen in den Bereichen Umweltmonitoring und Precision Farming in Frage. Die Erforschung des Reflexionsverhaltens von landwirtschaftlichen Nutzpflanzen unter verschiedenen Rahmenbedingungen wie beispielsweise unterschiedlicher Nährstoffversorgung innerhalb enger spektraler Wellenlängenbereiche befindet sich in vollem Gange (GRAEFF, S. 2003).



Abb. 5: GVIS und AVIS

Tab. 1: Technische Daten zu GVIS und AVIS

Technische Daten GVIS:	Technische Daten AVIS:
Wellenlängenbereich: 540 bis 1020 nm	Wellenlängenbereich: 550 bis 1035 nm
Kanäle: 120	Kanäle: 240
räuml. Auflösung: ca. 0.8 m	räuml. Auflösung: ca. 2,5 m (bei einer Flughöhe von 1000 m)
Spannweite: 12.7 m	Lagegenauigkeit durch DGPS und INS
Kapazität: 6 ha/h	

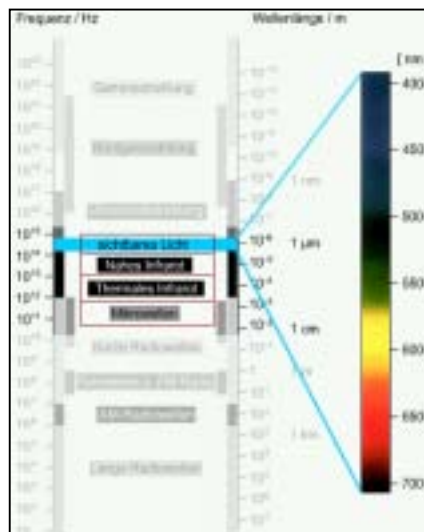


Abb. 6: Elektromagnetisches Spektrum unter Hervorhebung der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes

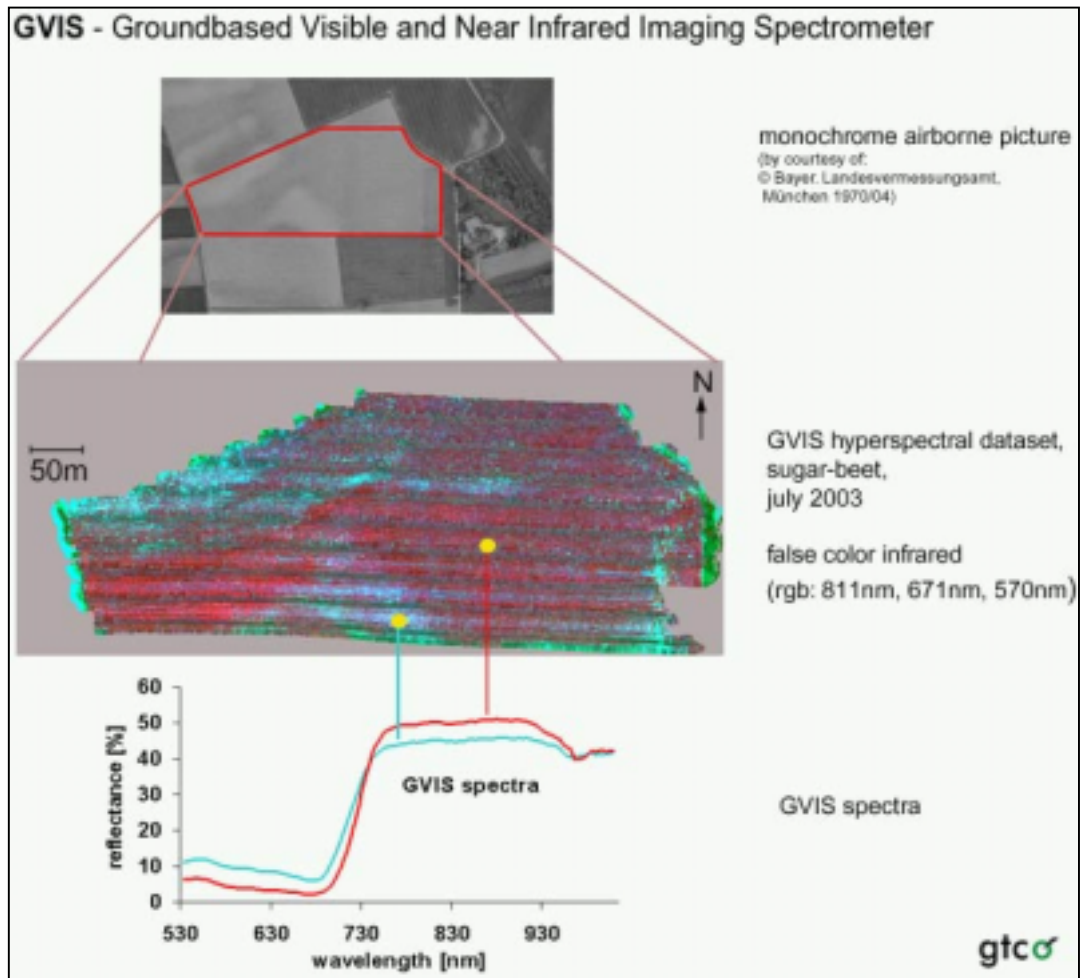


Abb. 7: Ein Anwendungsbeispiel von GVIS in Zuckerrübe

Aufgrund seiner hohen spektralen wie auch räumlichen Auflösung ist GVIS als bildgebendes Verfahren sehr gut in der Landwirtschaft geeignet. Ähnlich wie beim Satellitenbild kann aus der Kombination verschiedener Kanäle eine Vielzahl erwünschter Parameter abgeleitet werden (bspw. NDVI). Hieraus können Aussagen über Chlorophyll, Nitrat und Kohlenstoffgehalt abgeleitet werden. Auch ist die Identifikation und Kartierung von Schädlingsbefall möglich. [Abbildung 7](#) zeigt beispielhaft eine Anwendung in Zuckerrüben, bei der am Beispiel der Reflexion im Nahen Infrarot auf die räumliche Verteilung von Pflanzen mit unterschiedlicher Pflanzenmasse geschlossen werden kann.

Über GVIS ist nicht bekannt, ob der Sensor zum gegebenen Zeitpunkt kommerziell bereits verfügbar ist, weshalb er für den vorgesehenen Test im laufenden Berichtszeitraum nicht in Frage kommt.

(2) Vorarbeiten

Die vorliegende Arbeit baut auf einem voraus gegangenen Projekt auf, mit dem Titel: „*Nutzbarmachung von Verfahren der Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein; Analyse und Interpretation der Variabilität von Ackerflächen in der Rheinebene*“ (RÜHLING, 2001). Während sich dieses mit der Untersuchung und *Beschreibung der Variabilität* der landwirtschaftlichen Flächen unter den gegebenen Bedingungen auseinandersetzt, ist es Zielsetzung der vorliegenden Untersuchung, diese Variabilität durch die *modulierte Ausbringung* der Betriebsmittel zu berücksichtigen.

Um die Modulation umsetzen zu können, wurden sowohl im Elsass als auch auf der Deutschen Seite des Oberrheins die Untersuchungsflächen aus dem Vorgängerprojekt übernommen und weiter geführt.

Für diese Flächen liegen für einen längeren Zeitraum Ertragskartierungen und teilflächen-spezifische Daten aus Rasterbeprobungen vor.

Aus Untersuchungen zur teilflächenspezifischen Variabilität konnten Ertragsmuster aufgezeigt und Hinweise für das Ertragspotenzial der Schläge abgeleitet werden.

Mit unterschiedlichen kontinuierlichen und rasterorientierten Verfahren konnte die teilflächen-spezifische Variabilität und Standortheterogenität unterschiedlich gut abgebildet werden. Es wurde abgeleitet, dass Rasterbeprobungen mit etwa 6 Proben pro ha nötig sind, um Aussagen über die teilflächenspezifische Variabilität des Standortpotenzials zur Nährstoffversorgung machen zu können. Zur Erfassung relativ homogener Parameter wie Körnung, organische Substanz und pH-Wert werden etwa 4 Proben pro ha empfohlen.

Die Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit wird als schnell arbeitendes, effektives Werkzeug beschrieben. Die Interpretation und Korrelation der Daten in Bezug auf teilflächenspezifisch differenzierende Ausgangsparameter für die Modulation von Betriebsmitteln ist dabei nicht unbedingt möglich.

Die Notwendigkeit aufwändiger Datenfortschreibungen über Rasterbeprobungen und die Schwierigkeiten der Interpretation effektiver kontinuierlicher Verfahren lassen für die Umsetzung der Modulation im vorliegenden Projekt zunächst einen hohen Arbeitsaufwand erwarten.

Als grundsätzliches Ausgangsproblem stellt sich aber dar, dass bis zum heutigen Zeitpunkt zwar eine Fülle technischer Lösungsansätze gegeben ist. Es besteht aber keine Klarheit über die anzuwendende *Düngestrategie*. Insbesondere auch aus diesem Grund wurde im Projekt zunächst die erfolgreiche Durchführung des grundsätzlich aufwändigeren Kartierverfahrens anvisiert. Hierbei ist nämlich die *Umsetzbarkeit der anerkannten Düngestrategie nach der „Guten fachlichen Praxis“* teilflächenspezifisch denkbar.

Im Projekt wurde deshalb folgende *Vorgehensweise* eingeschlagen (Abb. 1, linke Seite):

- Überprüfung der technischen Umsetzbarkeit nach der „Guten fachlichen Praxis“ im Kartieransatz (Tauglichkeitsüberprüfung)
- Bei erfolgreicher Umsetzung: Optimierung dieses Verfahrens und parallel: Einsatz eines alternativen Verfahrens im Sensoransatz (Optimierungsphase)
- Aus den gemachten Erfahrungen sollen dann Schlussfolgerungen für einen optimierten Ansatz abgeleitet werden (Beurteilungsphase)

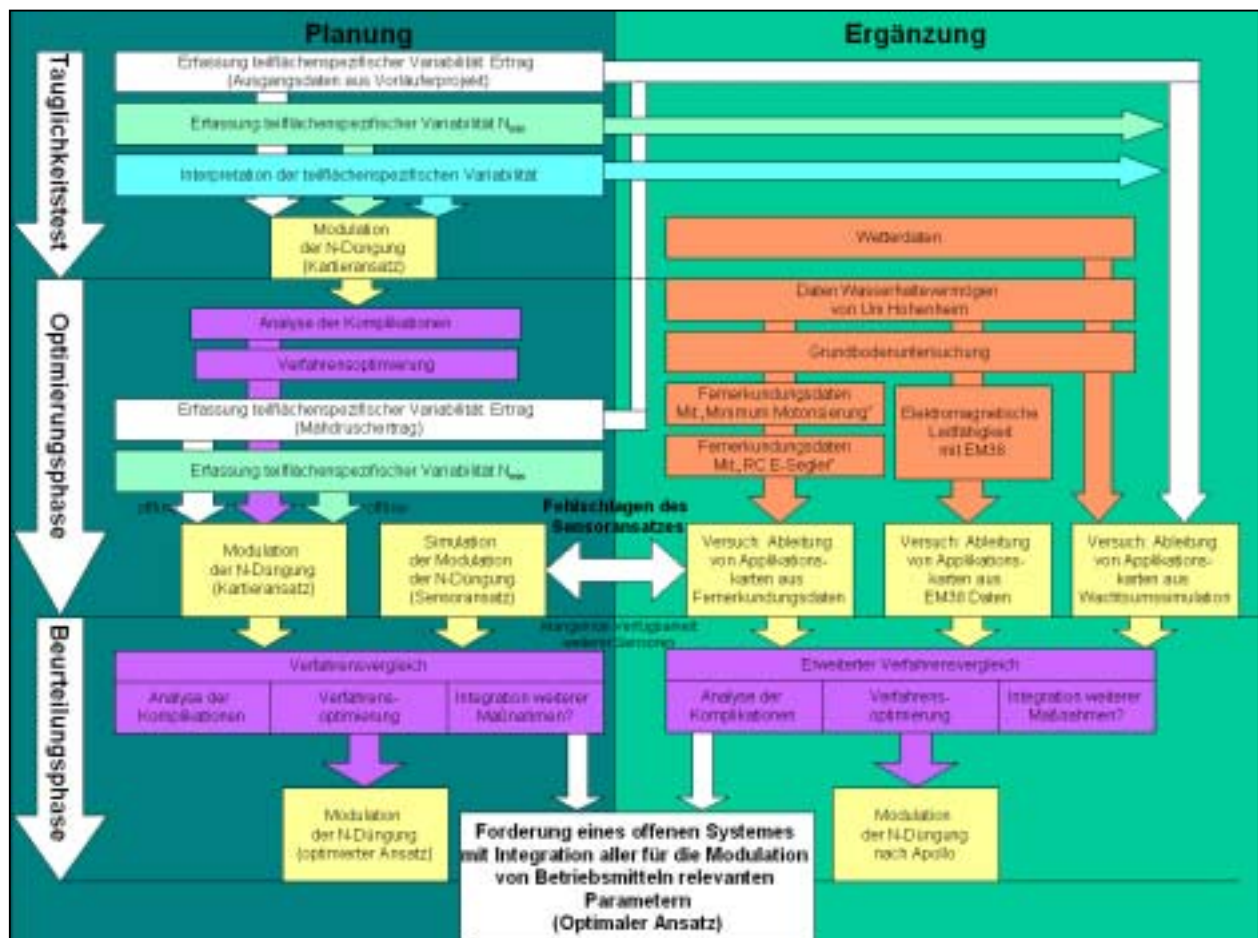


Abb.8: Ursprüngliche Projektplanung und spätere Ergänzungen

Da der Versuch zum Einsatz eines alternativen Verfahrens (online) nicht ohne Komplikationen stattfand, wurden schließlich über die ursprüngliche Projektplanung hinaus weitere Anstrengungen unternommen, um innerhalb dieser Optimierungsphase Erfahrungen zur Umsetzbarkeit alternativer Verfahren sammeln zu können: In der rechten Hälfte von [Abbildung 8](#) sind die ergänzend getesteten Verfahren aufgelistet, welche ursprünglich nicht Bestandteil des Projektes waren. Hierdurch war schließlich in der Beurteilungsphase des Projektes doch noch ein erweiterter Verfahrenvergleich möglich.

Die Integration eines **Wachstumsmodells** ergab sich dabei aus der Kooperation mit der Universität Hohenheim. Ebenso wurde die Erfassung der **elektromagnetischen Leitfähigkeit** dadurch ermöglicht, dass ein „EM 38“ von der Universität Hohenheim zur Verfügung gestellt wurde. Die Untersuchung mit diesem Gerät wurde als notwendig erachtet, weil die verfügbaren Daten aus dem Vorläuferprojekt zur elektrischen Leitfähigkeit mit „VERIS“ nicht zielführend waren. Die Integration von **Fernerkundungsdaten** schließlich war logische Schlussfolgerung einer umfassenden Betrachtung zur Untersuchung der Möglichkeiten zur Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln. Um den Projektrahmen nicht zu sprengen, wurde die Auswertung dabei auf die Verwendung von Lowcost-Plattformen beschränkt.

Aus dem gleichen Grund reduziert sich die Fragestellung nach der Umsetzbarkeit der Modulation von Betriebsmitteln am konkreten Beispiel auf die Stickstoffdüngung. Die geschilderten Ergänzungen wurden am Beispiel der deutschen Untersuchungsflächen durchgeführt.

Da auf den Versuchsflächen im Elsass keine Technik zur Modulation der Betriebsmittel zur Verfügung stand, wurde die Situation dort verwendet, um weitere Grundlagen zur Umsetzung teilflächenspezifischer Applikationen zu schaffen. So wurden weitergehende Versuche zur *Erfassung der Variabilität*, zum Potenzial des *Einsatzes von Satellitenbildern* und zum Nutzen der Untersuchungen zur *Bodenleitfähigkeit* gemacht, um schließlich mit einem *geostatistischen Ansatz* der Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln näher zu kommen.

2 MATERIAL UND METHODEN

Für die vorliegende Untersuchung werden im Folgenden die Versuchsflächen, sowie die zum Einsatz gekommenen Methoden beschrieben. Die verwendeten Methoden setzen sich aus Versuchen zur Erfassung der Variabilität zur Durchführung der Modulation und zur Optimierung der Verfahren zusammen.

Da sich die angewendeten Methoden zwischen Elsass und Baden-Württemberg insbesondere auch aufgrund unterschiedlicher Verfügbarkeit von Gerätschaften unterscheiden, werden sie an dieser Stelle getrennt beschrieben. Sie verfolgen aber durchweg das gemeinsame Ziel der Überprüfung der Umsetzung der Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln und werden auch gemeinsam diskutiert.

2.1 Versuche

2.1.1 Versuche im Elsass

Rekapitulation des Projektzieles

Die Bewirtschaftung der meisten landwirtschaftlichen Schläge geht davon aus, dass diese einheitlich sind. Diese Annahme stimmt jedoch nicht immer mit der Wirklichkeit überein. Wenn innerhalb eines Schlages eine räumlich strukturierte Variabilität existiert, dann bedeutet die Berücksichtigung dieser Variabilität bei der Bewirtschaftung dieses Schlages den Einstieg in die „Präzisionslandwirtschaft“ bzw. die „intraparzelläre Modulation“.

Die intraparzelläre Modulation von Bewirtschaftungsmaßnahmen erfolgt klassischerweise in drei Schritten.

Der erste Schritt besteht in der *präzisen Beschreibung der intraparzellären Variabilität*, in dem die Werte verschiedener agronomisch bedeutsamer Variablen (Nährstoffgehalte, Bodenart, pH-Wert, nutzbare Feldkapazität, ...) an einer großen Anzahl von Punkten ermittelt werden. Daraus werden Karten mit Zonen von einheitlicher Qualität erstellt. Dieser Schritt wurde im Rahmen des ersten Projektabschnitts 2000-2002 auf zwei Schlägen in Ebersheim bzw. Witternheim (s. Zwischenbericht) realisiert.

Im zweiten Schritt müssen die in der ersten Etappe gewonnenen *Informationen verarbeitet* werden. In der Regel werden dabei die sonst auf der Ebene des Gesamtschlages eingesetzten agronomischen Modelle auf Teilflächen angewandt. Ergebnis sind eine oder mehrere Empfehlungs- bzw. Ausbringungskarten.

Der dritte Schritt besteht in der *Umsetzung dieser Empfehlungskarten* mit Hilfe eines während der Arbeit verstellbaren Ausbringungsgeräts.

Damit die intraparzelläre Modulation verwirklicht werden kann, sind drei Grundbedingungen zu erfüllen:

- Der Schlag muss eine **ausreichend große Variabilität** aufweisen. Ist der Schlag relativ einheitlich, so macht es kaum Sinn, die Betriebsmittelausbringung intraparzellär zu differenzieren.

Diese Variabilität konnte im ersten Projektabschnitt aufgezeigt werden, sowohl was die stabilen Eigenschaften des Bodens angeht, als auch was die agronomischen Kriterien betrifft (Pflanzendaten über 3 Jahre, s. Zwischenbericht).

- Die festgestellten Unterschiede müssen in einem Bereich liegen, der **agronomisch "sensibel"** ist. Will man z.B. die Phosphatdüngung modulieren und der Phosphatgehalt liegt oberhalb einer die Düngung rechtfertigenden Schwelle, so kommt es nicht zu einer Modulation der Düngung, selbst wenn die Unterschiede groß sind.
- Die intraparzellären Unterschiede müssen **räumlich strukturiert sein** und Einheiten darstellen, die mit einer differenzierten Ausbringung kompatibel sind. Klassischerweise sagt man, eine räumliche Struktur sei gegeben, wenn zwei benachbarte Punkte sich ähnlicher sind als zwei entferntere Punkte. Die Existenz einer räumlichen Struktur auf einem Schlag und die Art dieser Struktur sind unabdingbare Voraussetzungen für eine intraparzelläre Modulation des Betriebsmitteleinsatzes.

Im ersten Schritt wird eine große Anzahl von geocodierten Messungen vorgenommen. Das ist relativ aufwändig, da eine große Anzahl von Proben gezogen werden muss, sowohl in Bezug auf den Boden, als auch in Bezug auf die Pflanzen, und zahlreiche Laboranalysen erforderlich sind. Im Rahmen der Versuchsarbeit wurde diese Etappe ergänzt durch eine agrarwissenschaftliche Interpretation der Korrelationen zwischen den Bodeneigenschaften und den Ertragsparametern der Pflanzen sowie durch eine geostatistische Untersuchung, um zu prüfen, ob die Variabilität räumlich strukturiert ist, und sich die Parzelle für die modulierte Ausbringung eignet.

Dies Ergänzung geschah einerseits, weil in den meisten Fällen die Modulation auf einem Schlag nicht kontinuierlich durchgeführt werden kann. Die eingesetzten Geräte haben eine bestimmte Arbeitsbreite, die nicht unterschritten werden kann. Darüber hinaus weisen sie auch eine bestimmte Reaktionszeit auf, also eine gewisse Zeitdauer, bis die Geräte auf eine Veränderung der Arbeitsbefehle reagieren.

Damit die Modulation effizient realisiert werden kann, ist eine Struktur mit genügend großen homogenen Zonen erforderlich. Außerdem ist die Beschreibung einer Variablen umso leichter möglich, wenn sie eine großflächige Struktur aufweist. Will man beispielsweise eine Karte der Phosphatgehalte eines Schlages erstellen und untersucht eine Bodenprobe von einem bestimmten Punkt, so sagt, bei Vorliegen einer räumlichen Struktur, der an diesem Punkt gemessene Wert auch etwas über die Werte in der Nachbarschaft aus, was seine Beschreibung erleichtert.

Zur Beachtung: Eine homogene Zone wird definiert als eine Teilregion eines Schlages mit einer relativ einheitlichen Kombination (Zusammenstellung, Verteilungsmuster von Werten) des untersuchten Faktors, so dass zu einer bestimmten Kultur eine einheitliche Ausbringungsmenge angezeigt ist.

Seit Beginn des vorliegenden Projektes ist die technologische Entwicklung weiter vorangeschritten. Derzeit geht der Trend hin zu „schnelleren“ Methoden der Datengewinnung zur Variabilität des Pflanzenwachstums auf der Grundlage von Fernerkundungsdaten (z.B. Farmstar), gerätegestützten „Online-Verfahren“ etc., die jedoch eine relativ aufwändige und teure Kalibrierung und Validierung erfordern.

Für Mais ist derzeit jedoch noch kein derartiges Verfahren für die modulierte Ausbringung von Betriebsmitteln verfügbar.

2.1.1.1 Standortbeschreibung

(1) Agronomische Variabilität

Im Verlauf des ersten Projektabschnitts 2000-2002 wurden an den beiden im Unterelsass gelegenen Schlägen (bei Witternheim und Ebersheim) im Zeitraum von drei Jahren Daten erhoben, die sowohl der Beschreibung des Bodens als auch der Kulturen dienen. Dabei konnte eine gewisse Heterogenität der Daten und eine Variabilität der Erträge innerhalb dieser Schläge aufgezeigt werden (s. Zwischenbericht, Witternheim s. Anhang).

Die Analyse der Gesamtvariabilität der gemessenen Größen erfolgte mit klassischen Methoden der Statistik: Angegeben werden Minimum, Maximum, Mittelwert, Standardabweichung und Variationskoeffizient. Ein weiteres Kriterium für die Variabilität von Daten ist der Abstand der Quantile 95% und 5% (Bereich, der von je 5 der Werte % über- und unterschritten wird). Dies ist ein guter Indikator für die Gesamtvariabilität des Schlages, da er die Variationsamplitude auf 90% der Parzellenfläche abdeckt. Er hat außerdem den Vorteil, dass er nicht von Extremwerten beeinflusst wird, die sicherlich empfindliche Konsequenzen für die Kulturen haben können, jedoch nur einen geringen Anteil der Fläche (10%) betreffen.

(2) Satellitenbilder

Für August 2003 war es möglich, für die Versuchspartellen im Elsass Bilder eines amerikanischen Satelliten (Terra Aster) zu erhalten und das Pflanzenwachstum mit den entsprechenden Bodenwerten zu vergleichen. Der Mais stand zu dieser Zeit in voller Vegetation. Wegen der relativ geringen Größe der Schläge und der groben Auflösung des Satelliten von 15 Metern lassen sich jedoch bedauerlicherweise keine klar differenzierten Zonen innerhalb der Parzellen ausmachen.

(3) Messung der Bodenleitfähigkeit

Im März 2002 wurde auf den beiden Schlägen in Witternheim und Ebersheim von der Firma *GEOCARTA* die elektrische Leitfähigkeit gemessen. Hierzu wurde ein ARP-Gerät verwendet, das auf einem, vor einigen Jahrzehnten vom CNRS entwickelten System beruht.

Die Messung des elektrischen Widerstands oder der elektrischen Induktion des Bodens wird in der Geophysik breit eingesetzt (Erkundung von Bodenschätzen, Archäologie, ...) und ist eine der technischen Möglichkeiten zur Abgrenzung von Zonen mit unterschiedlichen Bodeneigenschaften innerhalb eines Schlages.

Der elektrische Widerstand des Bodens hängt von den chemisch-physikalischen Bodeneigenschaften ab und zwar in der Hauptsache von der Tiefgründigkeit, der Bodenart, dem Chemismus (KAK, pH-Wert, ...) und der Feuchte.

Die Messung der Bodenleitfähigkeit ist also eine der Möglichkeiten zur Beschreibung der intrapartellären Variabilität. Mit dieser Messung lassen sich Zonen ausweisen, deren Tiefgründigkeit, Korngrößenzusammensetzung, Wassergehalt und Chemie denselben Widerstand ergeben.

Die für diese Kennzeichnung verwendete Methode besteht darin, mittels Elektroden einen elektrischen Strom in den Boden zu leiten und diesen durch drei paar hinter den ersteren platzierte Elektroden wieder aufzunehmen. Jedes Elektrodenpaar liefert unterschiedliche Informationen über den elektrischen Widerstand des Bodens.

Der elektrische Widerstand dieser Messungen (ausgedrückt in Ohm) liefert Informationen über drei Bodenschichten du zwar von 0-50 cm, 0-100 cm und von 0-200 cm Tiefe. Auf einer Karte weisen zwei Zonen derselben Farbe den selben elektrischen Widerstand auf, was nicht unbedingt heißen muss, dass es sich um denselben Bodentyp handelt.

Der Vorteil dieser Methode liegt auch darin, schon im Voraus eine Zonierung zu erhalten, anstatt erst im Nachhinein auf Grundlage einer großen Zahl von Proben und Messungen.

Die mit dem Verfahren abgeleiteten Widerstandskarten können bei der Verarbeitung von Daten zur Beurteilung der Bedeutung des Einflusses von Bodentypen im Verhältnis zum Einfluss eines moduliert ausgebrachten Betriebsmittels auf die Erträge oder einen Proteingehalt verwendet werden. So kann beispielsweise die Frage beantwortet werden, ob der gemessene Ertragsunterschied innerhalb eines Schlages zwischen den Bodenzonen (Standorteffekt) oder innerhalb einer Bodenzone (Effekt der Modulation des Betriebsmittels) größer ist.

Das auf den elsässischen Versuchsflächen eingesetzte elektrische Messsystem bestand aus einem leichten Allradfahrzeug (Quad) mit einem elektronischen System zur Widerstandsmessung und Kontrolle verschiedener Parameter (Widerstand und Position) in Echtzeit (Abb. 9). Zum Einsatz kam ein GPS-System „Ag114“ mit Differential-Korrektur-Signal (Racal), welches von einem mitgeführten PC gesteuert wurde. Dieser nahm auch die gewonnenen Widerstands- und Positionsdaten auf, prüfte und speicherte sie schließlich. Das Gesamtsystem unterliegt dem Patentschutz.



Abb. 9: Messung der elektrischen Leitfähigkeit unter Verwendung eines ARP-Gerätes (Entwicklung durch CNRS) am QUAD

(4) Geostatistische Untersuchung

Wie weiter oben bereits erwähnt, ist eine der Bedingungen für die intraparzelläre Modulation das Vorhandensein einer „räumlichen Struktur“ der intraparzellären Variabilität, welche davon zeugt, dass die Werte nicht zufällig verteilt sind und somit auch nicht auf einem Irrtum beruhen. Es müssen sich daher Zonen ausweisen lassen, die eine Modulation des Betriebsmitteleinsatzes zulassen. Dabei ist ein agronomischer Wert dann „räumlich strukturiert“, wenn zwei benachbarte Punkte ähnlichere Werte aufweisen als zwei weiter entfernte.

Die Beschreibung der räumlichen Struktur der auf den beiden Schlägen (Ebersheim und Witternheim) untersuchten Größen wurde vom statistischen Dienst des „Arvalis - Institut du Végétal“ mittels einer variographischen Analyse vorgenommen.

Die geostatistische Untersuchung erlaubt also die Klärung, ob diese Parzellen die notwendigen Bedingungen für die intraparzelläre Modulation erfüllen.

Die Beschreibung der Parzellen im ersten Projektabschnitt stützte sich auf Messungen in einem gleichmäßigen Raster von 10 Punkten pro Hektar.

In Bezug auf den Boden wurden folgende Parameter gemessen:

- der Gehalt an Ton, Schluff und Sand
- der Gehalt an organischer Substanz (%)
- der pH-Wert
- der Gehalt an P_2O_5
- der Gehalt an K_2O
- der Gehalt an MgO
- die Tiefgründigkeit des Bodens
- die nutzbare Feldkapazität
- der elektrische Widerstand

Dabei ist zu beachten, dass die Geostatistische Analyse im Laufe des Jahres 2004 erfolgte. Bei der Durchführung der Versuche des Jahres 2003 waren deren Ergebnisse noch nicht bekannt.

2.1.1.2 Versuche im Jahr 2003

Um die im Laufe der Jahre 2000-2002 auf den Versuchspartellen gewonnenen Daten nicht zu verlieren und die Ausrüstung des Mähreschers mit einem Ertragssensor zu nutzen, erschien es sinnvoll, im Jahr 2003 einen Versuch nach der „BRUNT-Methode“ (*Bâtir des Références en Utilisant les Nouvelles Technologies* - Erstellung von Referenzwerten unter Verwendung Neuer Technologien) durchzuführen.

Dabei wurde beschlossen im Sinne einer Modulationsmaßnahme die Saatstärke zu verändern, um nicht die Bodeneigenschaften und damit die intrapartelläre Variabilität zu verändern (wie beispielsweise durch eine Modulation der Stickstoffdüngung).

Die BRUNT-Methode:

Bei Versuchen nach der *BRUNT-Methode* (*Bâtir des Références en Utilisant les Nouvelles Technologies*) werden auf den Schlägen alternierende parallele Streifen unterschiedlicher Behandlung mehrfach wiederholt.

Diese Methode nutzt die intrapartelläre Variabilität. Für einen Saatstärkenvergleich, wie im Jahr 2003, ist es mit dieser Versuchsanlage von alternierenden Streifen beispielsweise möglich, den Mittelwert des Ertrags für jede der verschiedenen Zonen (hier z.B. 3 Bodenzonen) zu bekommen. Die eingesetzte Software (ArcView von ESRI) erlaubt die Generierung von mehreren Ertragskarten: Eine für die Saatstärke A, eine für die Saatstärke B und eine Differentialkarte A-B.

Für diese Art von Versuchen benötigt man den mit einem dGPS (differential Global Positioning System) verbundenen Ertragssensor im Mährescher, nicht jedoch Spezialmaschinen für die modulierte Ausbringung. [Abbildung 10](#) zeigt die Vorgehensweise bei dieser Methode schematisch. [Abbildung 11](#) zeigt die Rohdaten für die Ableitung der Ertragskarten der beiden unterschiedlichen Varianten für die Behandlungen.

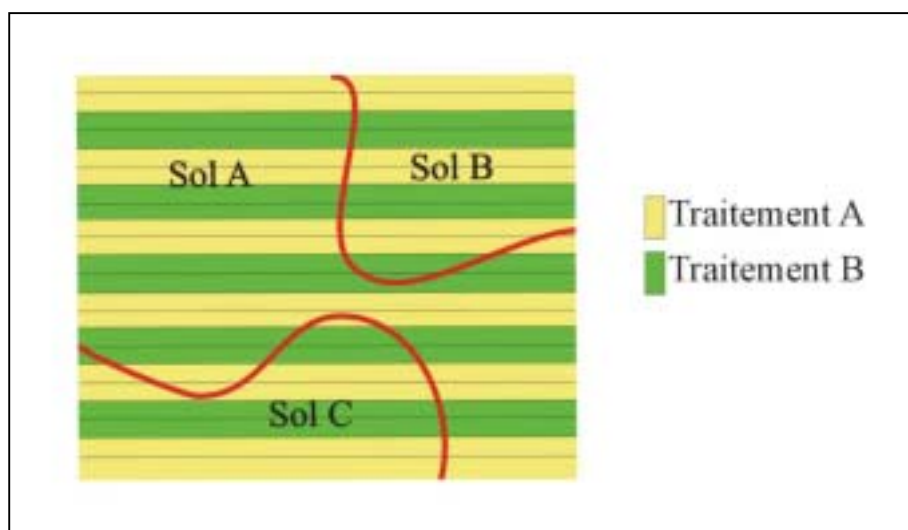


Abb. 10: Schematische Vorgehensweise bei Anwendung der Methode „BRUNT“

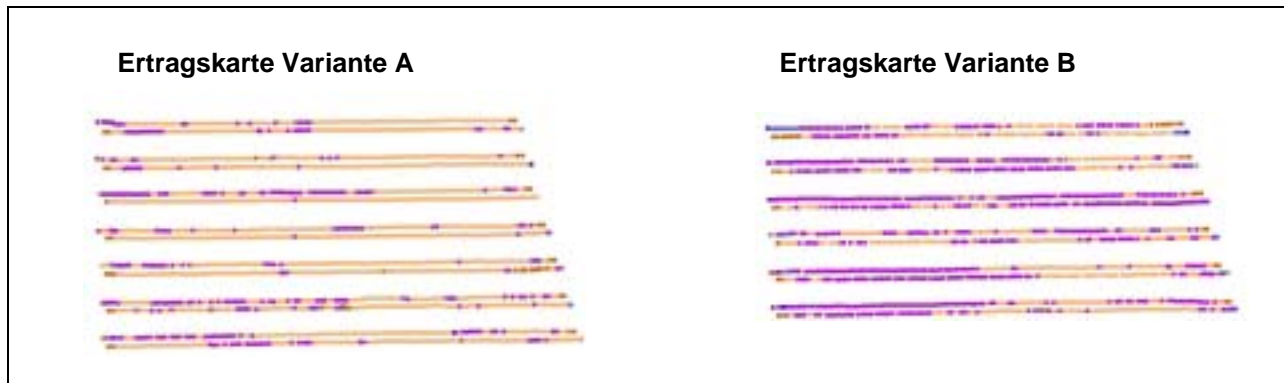


Abb. 11: Rohdaten für die Ableitung der Ertragskarten für die unterschiedlichen Varianten der Behandlungen

Die Datenverarbeitung erfolgt mit einer GIS-Software. Diese ist in der Lage, interpolierte Karten für Variante A bzw. Variante B zu erstellen (Abb. 12). Die Interpolation ermöglicht eine Vorstellung der Verteilung der Erträge, wenn die Gesamtfläche nach Variante A oder nach Variante B behandelt worden wäre. Die Karte der Unterschiede zwischen den beiden Varianten erlaubt die Darstellung von Zonen, in denen eine der beiden Varianten der anderen überlegen war. Im nachstehenden Beispiel wird deutlich, dass die Variante B der Variante A auf fast der gesamten Fläche überlegen war (Abb. 13).

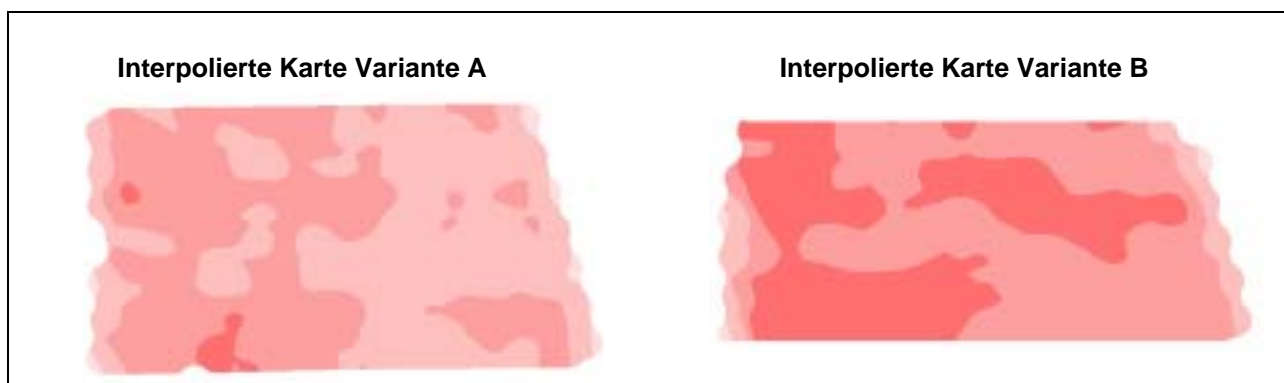


Abb. 12: Aus den Rohdaten abgeleitete Konturen für den Ertrag bei den unterschiedlichen Varianten der Behandlungen

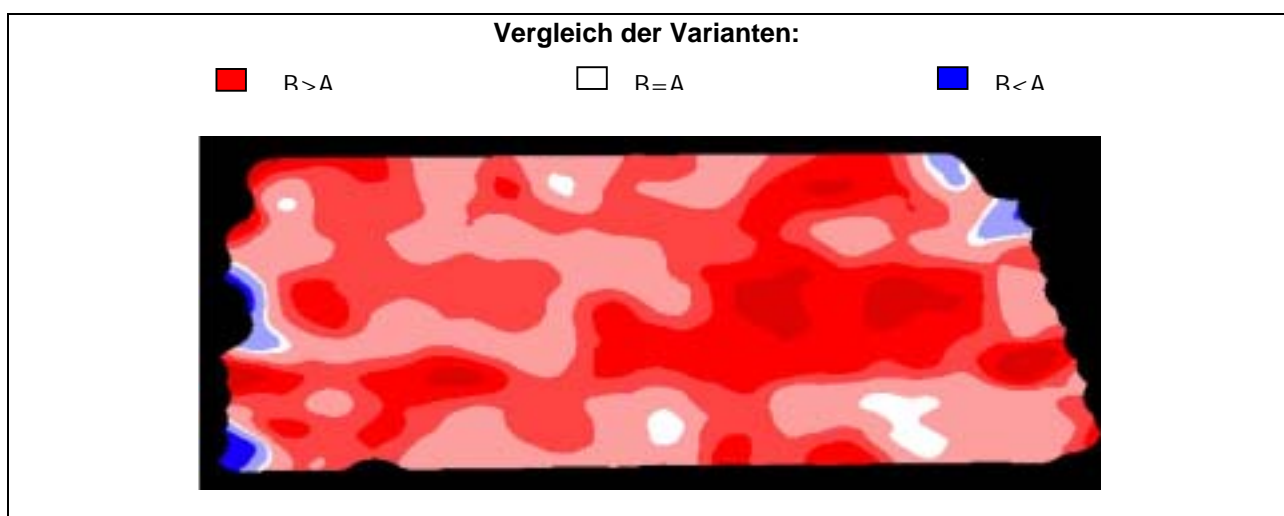


Abb. 13: Abgeleitete Differenzkarten zur Feststellung der Überlegenheit einer der beiden Varianten der Behandlungen

Im durchgeführten Versuch gab es drei Varianten der Behandlung, welche 3 verschiedene Saatstärken repräsentieren:.

- In Witternheim wurde der Versuch mit der mittelfrühen Sorte PR 38 F10 in drei Saatstärken durchgeführt, welche an diese Hybride angepasst sind:
 - 75.000 K./ha = Saatstärke 1
 - 85.000 K./ha = Saatstärke 2
 - 95.000 K./ha = Saatstärke 3
- Es wurde lediglich die Saatstärke variiert. Alle anderen Maßnahmen waren einheitlich. Die drei Saatstärken wurden dreifach wiederholt, in Streifen à 24 Saatzeilen ([Abb. 14](#)). Die Angabe der einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen befindet sich im Anhang.

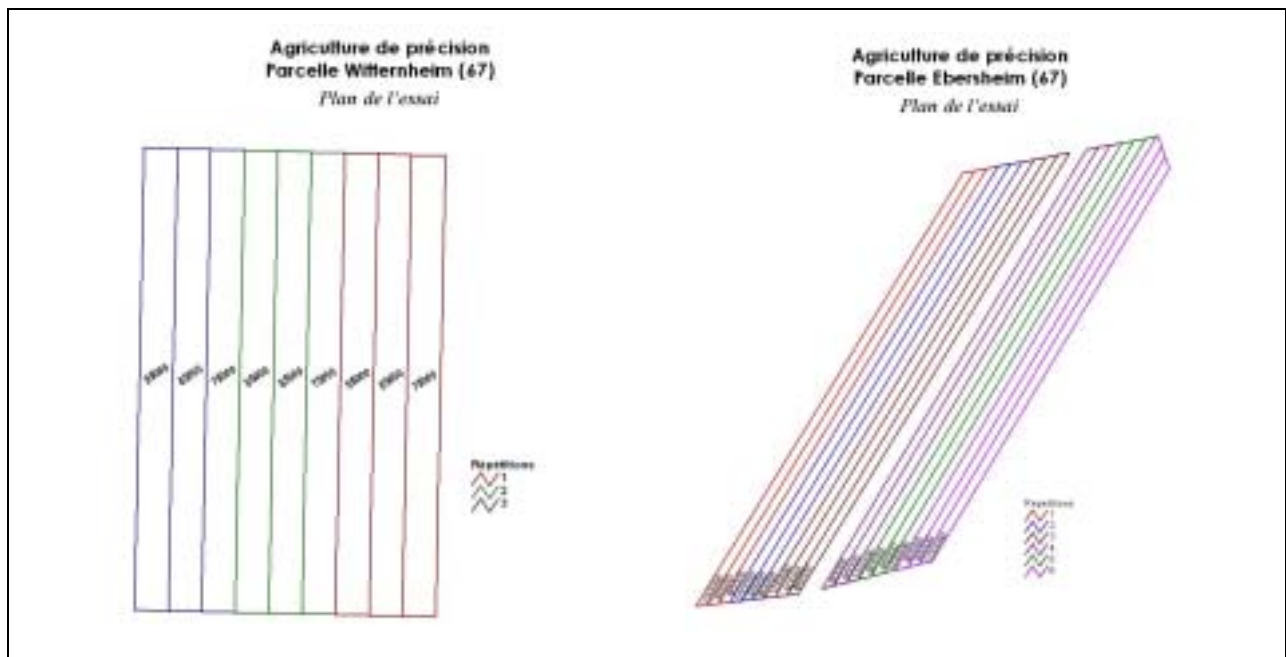


Abb. 14: Umsetzung des Versuchs zur Modulation der Saatstärke auf den Versuchsschlägen in Witternheim und Ebersheim (Versuchsplan für das Jahr 2003)

- In Ebersheim wurde der Versuch mit der mittelfrühen Sorte DK 312 in drei angepassten Saatstärken durchgeführt, welche für diese Hybride angepasst sind:
 - 80.000 K./ha = Saatstärke 1
 - 90.000 K./ha = Saatstärke 2
 - 100.000 K./ha = Saatstärke 3
- Es wurde lediglich die Saatstärke variiert. Alle anderen Maßnahmen waren einheitlich. Die drei Saatstärken wurden sechsfach wiederholt, in Streifen à 6 Saatzeilen. Die Angabe der einzelnen Bewirtschaftungsmaßnahmen befindet sich im Anhang.

2.1.1.3 Versuche im Jahr 2004

Die Ergebnisse der geostatistischen Untersuchung haben gezeigt, dass keine der beiden Parzellen eine ausreichende räumliche Struktur für die intraparzelläre Modulation aufwies (s. Ergebnisse). Um jedoch die ursprünglichen Ziele des Projektes, nämlich die Modulation der Stickstoffdüngung auf der Grundlage von Ertragskarten, weiter zu verfolgen, wurde ein Streifenversuch mit unterschiedlicher Stickstoffdüngung nach der BRUNT-Methode angelegt. Nachdem die räumliche Struktur als Voraussetzung für die Modulation der Betriebsmittel nicht gegeben war, stellte sich die Frage, ob die Variabilität durch eine ungenügende Stickstoffversorgung im Vergleich zu einer nicht ertragsbegrenzenden Stickstoffdüngung gesteigert werden kann.

Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass dieser Versuch stattfand, als die Ergebnisse der geostatistischen Analyse von den in der ersten Projektphase gewonnenen Daten zu Beginn des Versuchsjahres 2003 noch nicht vorlagen.

In Frankreich wird die Stickstoffdüngung mit der Bilanzmethode berechnet. Die im Elsass verwendete Methode, die auch Grundlage für die Düngungsempfehlungen an die Landwirte im Rahmen von Ferti-Mieux-Aktionen ist, beruht auf folgender Gleichung (Abb. 15):

$$\text{Ordnungsgemä\ss e D\ddot{u}ngung } X = (\text{Ertragsziel [dt/ha]} * 2,3 \text{ kg/dt}) + 20 \text{ kg/ha (nicht verf\ddot{u}gbarer Stickstoff)} - \text{Bodennachlieferung}$$

Abb. 15: Berechnungsformel zur Düngung im Elsass

Diese Methode ist wesentlich eleganter und weniger aufwändig als die in Baden-Württemberg verwendete, bei der die Berechnung der Stickstoffdüngung auf einer Messung des Bodennitratgehalts im 6-Blatt-Stadium des Mais aufbaut.

Dank einer großen Anzahl von Referenzwerten für die verschiedenen Bodentypen des Elsass, welche von der ARAA und den Landwirtschaftskammern ermittelt wurden, wurden regionale Tabellen für die Mindestnachlieferung an Stickstoff aus dem Boden erstellt.

Für die Parzelle von *Witternheim* mit einem mehr oder weniger kiesigen braunen Riedboden ist demnach mit einer Bodennachlieferung von mindestens 100 kg N/ha zu rechnen. Da die Parzelle beregnet wird und sich der Boden recht schnell erwärmt, wird angenommen, dass der gedüngte Stickstoff überall gleich gut wirkt.

Bei der Parzelle von *Ebersheim* handelt es sich um einen tiefgründigen braunen Riedboden, bei dem mit 105 kg N/ha gerechnet wird. Nachdem der Boden relativ homogen ist und die Parzelle beregnet wird, rechnet man auch dort mit einer gleichmäßigen Wirkung der Düngung in allen Teilen des Schlages.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass ohne N_{\min} -Untersuchungen von diesen Schlägen keine Kenntnis von deren räumlicher Struktur vorliegt.

Wie in der ersten Projektphase ersichtlich wurde (s. Zwischenbericht),

- korreliert der Ertrag nicht mit den Variablen der Bodeneigenschaften,
- wiederholt sich die im einen Jahr festgestellte Variabilität nicht im nächsten Jahr (Ertragskarten nicht reproduzierbar von einem Jahr zum anderen) und
- gibt es keine Korrelation zwischen dem Ertrag und der Stickstoffaufnahme der Pflanzen bei einer nicht ertragsbegrenzenden Stickstoffversorgung.

Aufgrund dieser Feststellung wurde beschlossen, eine **mehrfährige Ertragskarte** auf Grundlage der drei Jahre der ersten Projektphase (2000, 2001 und 2002) zu erstellen (Abb. 16 und Abb. 17). Diese neue Karte erlaubt die Darstellung von Zonen, in denen der Ertrag immer hoch, niedrig oder mittelmäßig ist, so dass die Stickstoffdüngung daran angepasst werden kann.

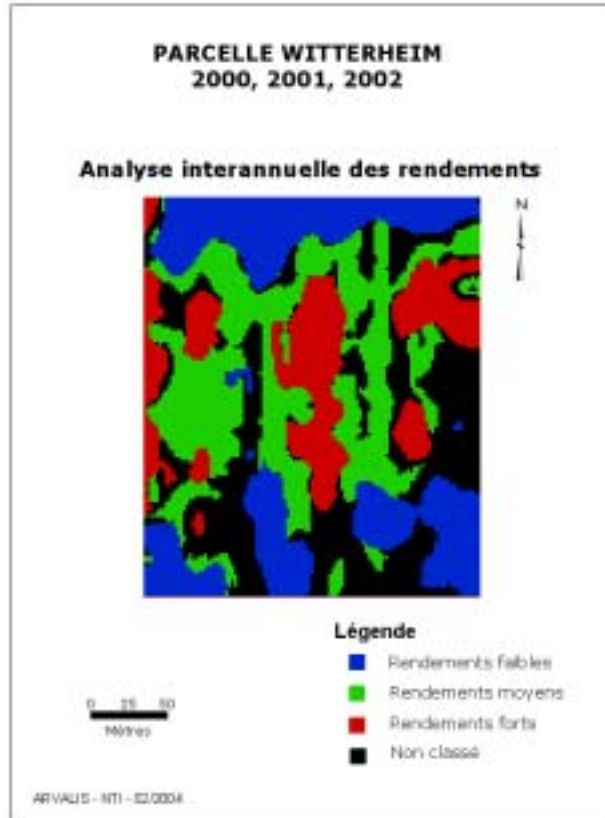


Abb. 16: Mehrjährige Ertragskarte von Witterheim

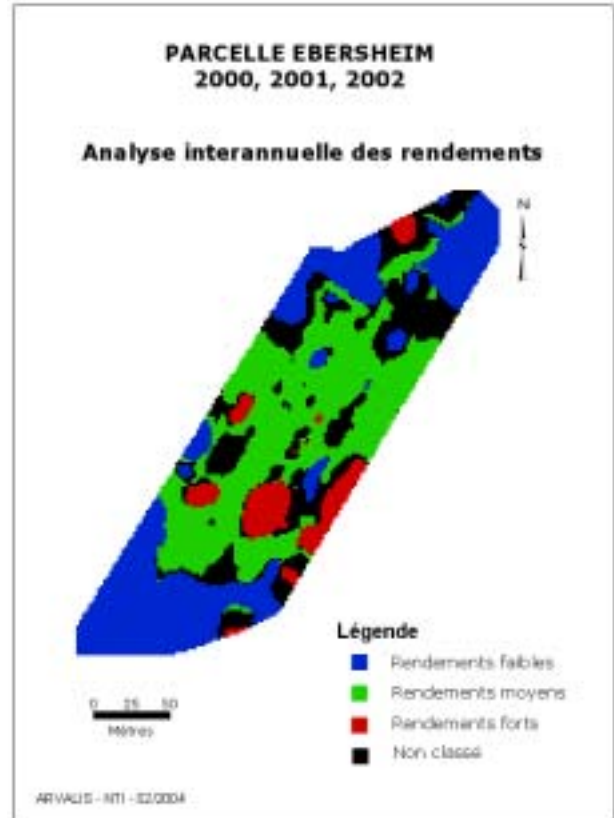


Abb. 17: Mehrjährige Ertragskarte von Ebersheim

In **Witternheim** ergibt die mehrjährige Auswertung der Erträge zwei Zonen geringeren Ertrags im nördlichen und südlichen Bereich der Parzelle (Abb. 16). Diese Bereiche decken sich jedoch nicht mit dem Vorgewende bzw. dem Anfahren und Abbremsen des Mähreschers, da die Versuchsparzelle lediglich einen Teil in der Mitte eines größeren Feldes ausmacht. Auf dem Rest der Parzelle lassen sich keine ausreichend homogenen Zonen ausweisen. Die Ertragsunterschiede sind mit etwa 10-15 dt/ha relativ gering.

Für den Versuch wurde folgende Entscheidungsregel festgelegt: In einem BRUNT-Streifenversuch werden die 3 folgenden Varianten verglichen. Dabei entspricht ein Streifen der Arbeitsbreite des Düngerstreuers von 12m:

- Ordnungsgemäße Menge X über die Gesamtlänge eines Streifens,
- Ordnungsgemäße Menge X -50 kg N/ha über die Gesamtlänge eines Streifens,
- Ordnungsgemäße Menge X -50 kg N/ha in dem zur Zone niedrigen Ertrags gehörigen Bereich des Streifens und Menge X im Rest des Streifens, welcher zur Zone 'Median' gehört (stellt die modulierte Variante dar),

- Eine 'ungedüngte Kontrolle', um die Stickstofflieferung des Bodens zu überprüfen in einem Streifen mit halber Breite und ohne Wiederholung (s. Plan)

Hinweis: Die „ungedüngte Kontrolle“ ist nicht wirklich ungedüngt, da der Landwirt vor der Saat 650 kg/ha eines NPK-Düngers 8/10/20 ausgebracht hat, was 52 kg N/ha entspricht. Es handelt sich also in Wirklichkeit um eine Variante „50 kg N“.

Der Unterschied zwischen den Varianten der Stickstoffdüngung besteht ab der 2. Gabe, zum 6-8-Blatt-Stadium des Mais.

Verfahren zur Berechnung der ordnungsgemäßen Stickstoffdüngung X:

Wie bereits vorstehend erwähnt, wird davon ausgegangen, dass der gedüngte Stickstoff überall gleich gut wirkt. Im übrigen ist die Stickstoffausnutzung umso besser, je näher der Ausbringungstermin an die Phase des höchsten Bedarfs der Kultur rückt. In unserem Versuch wurde die größte Stickstoffmenge im 6-Blatt-Stadium des Mais verabreicht. Die Pflanzen nützen den zugeführten Stickstoff jedoch nicht vollständig aus. Der Ausnutzungsgrad hängt vom Entwicklungsstadium der Kultur ab, weshalb ein Koeffizient der offensichtlichen Düngerausnutzung (CAU) ermittelt wird:

Zwischen der Saat und dem 2-3-Blatt-Stadium wird dieser bei Mais auf 60% geschätzt, danach auf 80%. Für die Berechnung der Düngung X wurde anstelle der vorstehend beschriebenen Methode „Elsass“ die **Bilanzmethode von Arvalis** (Abb. 18) eingesetzt, welche die Koeffizienten der offensichtlichen Düngerausnutzung sowie die Tatsache, dass der Stickstoffbedarf in Abhängigkeit vom Ertragsniveau gemäß nachstehender [Tabelle 2](#) variiert, berücksichtigt.

Gleichung: Ordnungsgemäße Düngung X = [(Ertragsziel*c) – Bodennachlieferung] / CAU
--

Abb. 18: Bilanzmethode von Arvalis

Tab. 2: Variierung des Stickstoffbedarfes in Abhängigkeit vom Ertragsniveau (Quelle: Faustzahlen – AGPM Technique 2001)

Körnermais			
Ertragsziel (dt/ha)	< 100	100 - 120	> 120
Stickstoffbedarf (kg/dt) (c)	2,2	2,1	2,0

Das Ertragsziel wurde auf 120 dt/ha festgelegt, was auf diesem Schlag einem durchaus realistischen Ertrag entspricht. Es entspricht damit auch dem Mittelwert der Erträge der Versuchspartellen in den drei Versuchsjahren 2000-2002.

Für dieses Ertragsziel ergibt sich folglich ein Stickstoffbedarf von insgesamt $120 \cdot 2 = 240$ kg N/ha. Gemäß der ARAA-Nachlieferungstabelle wird die Bodennachlieferung des Schlages auf 100 kg N/ha geschätzt (Wert des ersten Quintils). Zu düngen sind demnach 140 kg N/ha.

Mit dem vor der Saat ausgebrachten Mehrnährstoffdünger hat der Landwirt schon 52 kg N/ha ausgebracht, von denen der Mais bei einem CAU von 60% 31 kg/ha tatsächlich nutzen kann.

Danach müssen noch $140 - 31 = 109$ kg mineralisch gedüngt werden. Deren Ausnutzungsgrad beläuft sich auf 80% (CAU im 6-Blatt-Stadium), also rund 140 kg N/ha in der 2. Gabe.

Die ordnungsgemäße Gesamtdüngung X beläuft sich also auf $140 + 50 = 190$ kg N/ha.

Die Variante X - 50 beläuft sich demnach auf 140 kg N/ha, davon 90 kg zur 2. Gabe.

Da in der Vegetationszeit mit Harnstoff (46% N-Gehalt) gedüngt wird, beträgt die Düngermenge $X = 300 \text{ kg/ha}$ Harnstoff und $X - 50 = 200 \text{ kg/ha}$ Harnstoff.

Der Harnstoff wurde am 08. Juni 2004 mit einem pneumatischen Düngerstreuer (für 15 Maisreihen) ausgebracht. Aufgrund der Breite der Versuchsparzelle konnte jede Variante 5 Mal wiederholt werden. Ein Streifen von 8 Maisreihen wurde nicht mit Harnstoff gedüngt und bildet die 'Kontrolle 50 N' (Abb. 19).

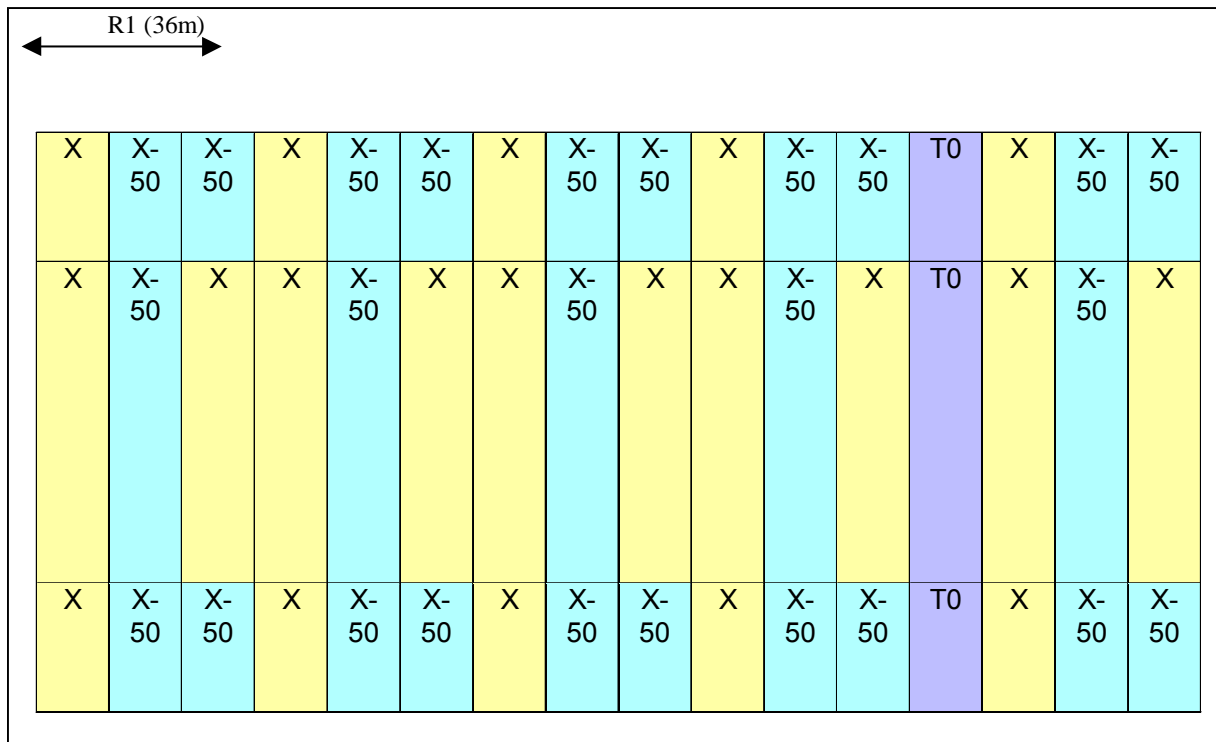


Abb. 19: Schematischer Plan der Versuchsparzelle Witternheim

In **Ebersheim** erlaubt die Analyse der Ertragskarten der verschiedenen Jahre keine klare Unterscheidung von homogenen Zonen. Dennoch lassen sich am Rande der Parzelle Zonen niedrigen Ertrags feststellen, die in diesem Fall auf das Anfahren und Anhalten des Mähdreschers zurückzuführen sind, wo die Ertragsmessungen ungenau werden. Außerdem handelt es sich um die Vorgewende, wo der Boden meist stärker verdichtet ist.

Aus Sicht des Medians der Parzelle lassen sich keine Ertragsunterschiede erkennen. Trotz dieser relativen Einheitlichkeit wurde entschieden, die Stickstoffdüngung zu variieren, um eine noch bessere Genauigkeit in der Anbautechnik zu bekommen, wenigstens was eines der wichtigsten Betriebsmittel angeht. Da die anderen Produktionsfaktoren (Wasser, Bodenstruktur, ...) den Ertrag nicht begrenzen, erschien es interessant, die Stickstoffdüngung zu verfeinern, also denjenigen Faktor, der sich am einfachsten regulieren lässt.

Ausgehend von einem Ertragsziel von 120 dt/ha , was dem Potential dieses Schlages vollkommen gerecht wird, wurden in einem Streifenversuch nach der BRUNT-Methode folgende Düngungsvarianten angelegt:

- X,
- X - 50 und
- X + 30.

Hinzu kam eine „ungedüngte Kontrolle“, die wiederum nicht wirklich ungedüngt war, da der Landwirt vor der Saat eine Startdüngung ausbrachte.

Da die Parzelle eine zu große Mikro-Heterogenität aufwies, d.h. zu kleine Zonen zeigte, die methodische Probleme verursachen, konnte die Modulation nicht weiter getrieben werden.

Verfahren zur Berechnung der ordnungsgemäßen Stickstoffdüngung X:

Für das Ertragsziel von 120 dt/ha beläuft sich der Gesamtbedarf an Stickstoff auf:

$$120 \text{ dt/ha} * 2 \text{ kg N/dt} = 240 \text{ kg N/ha.}$$

Davon abzuziehen ist die Bodennachlieferung, die auf diesem Schlag auf 105 kg N/ha geschätzt wird (Wert des 1. Quintils), so dass noch 135 kg N/ha gedüngt werden müssen.

Mit der Startdüngung von 150 kg/ha NP 18/46 hat der Landwirt zur Saat bereits 27 kg N/ha ausgebracht, von denen bei einem CAU von 60% beim Mais 16 kg N wirksam werden. Es werden daher im 6-Blatt-Stadium noch $135 - 16 = 119$ kg N/ha benötigt. Bei einem Düngerausnutzungskoeffizient von 80% sind also noch rund 150 kg N/ha zu düngen.

Die ordnungsgemäße N-Düngermenge X beläuft sich also auf $150 + 27 =$ rund 180 kg N/ha. In der Variante X - 50 sind es dann 130 kg N/ha, d.h. im 6-Blatt-Stadium sind noch 100 kg N/ha zu düngen. In der Variante X + 30 = 210 kg N/ha sind im 6-Blatt-Stadium dann noch 180 kg N/ha zu düngen.

Bei der zweiten Gabe im 6-Blatt-Stadium wird mit Harnstoff (46% N) gedüngt. Es sind dann also bei X = 330 kg/ha, bei X - 50 = 220 kg/ha und bei X + 30 = 390 kg/ha Harnstoff auszubringen.

Die Harnstoffdüngung erfolgte am 09. Juni 2004 mit einem pneumatischen Düngerstreuer von 12m Arbeitsbreite (15 Maisreihen). Aufgrund der Breite der Versuchsparzelle und dem Platzbedarf des Trommelregners konnte jede Variante nur zwei Mal wiederholt werden. Ein Streifen mit 8 Maisreihen erhielt keinen Harnstoff und bildet die „Kontrolle 30N“ ([Abbildung 20](#)):

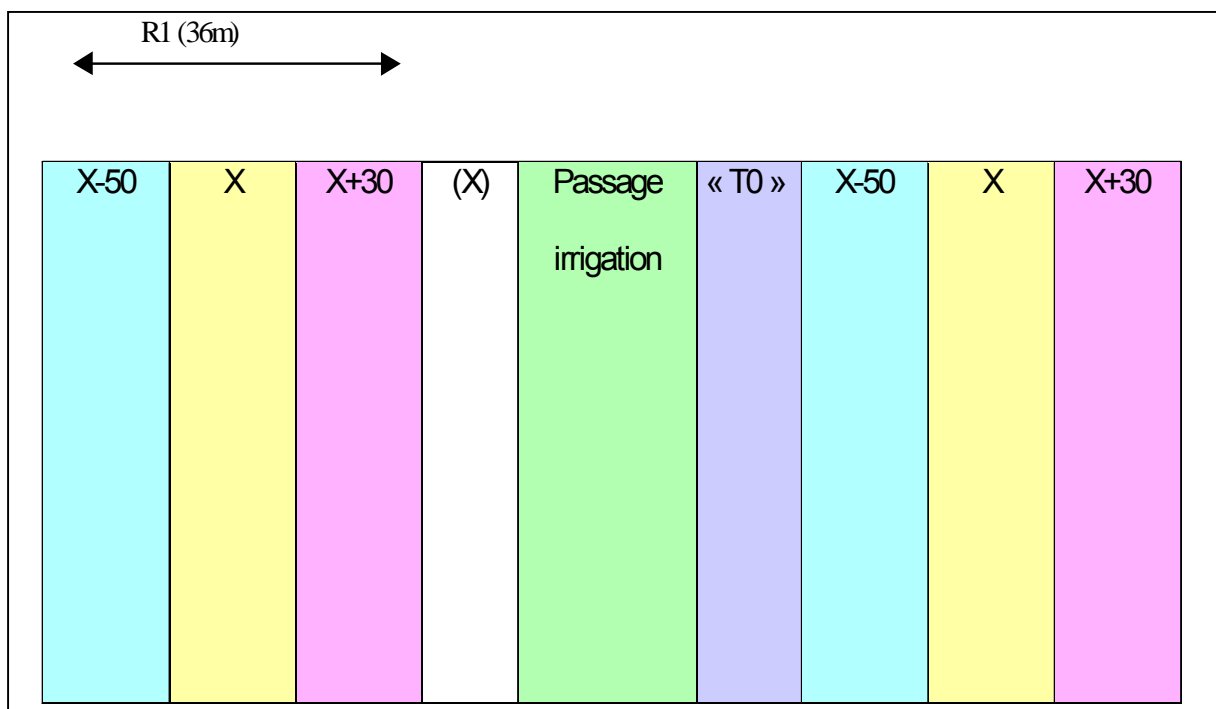


Abb. 20: Schematischer Plan der Versuchsparzelle Ebersheim

Während der Maisblüte wurde an beiden Versuchsstandorten in den verschiedenen geprüften Modalitäten mit Hilfe eines Norsk-Hydro N-Testers der *Stickstoffernährungsstatus* der Pflanzen ermittelt.

Diese Methode beruht auf der Messung des Chlorophyllgehalts der Blätter, welcher wiederum vom Stickstoffernährungszustand der Pflanze abhängig ist, und gibt somit Auskunft über die Deckung des Stickstoffbedarfs der Pflanzen. Die Messung erfolgt mit einer Pinzette/Klammer an 30 aufeinander folgenden Blättern (Fahnenblatt des blühenden Kolbens) jeweils einer Behandlungsvariante. Der dabei ermittelte Wert ist mit dem einer absichtlich überdüngten Pflanze im Bestand zu vergleichen. Das Verhältnis zwischen den im Bestand der einzelnen Modalitäten und dem an der „überdüngten“ Pflanze gemessenen Wert ermöglicht die Berechnung des „N-Tester-Indexes“, der gut korreliert ist mit dem Produktionsindex und der noch zu verabreichenden Stickstoffdüngung. Eine weitere N-Düngung ist gerechtfertigt, wenn der „N-Tester-Index“ den Wert 0,98 nicht erreicht.

Da diese Messung in einem Entwicklungsstadium erfolgt, in dem normalerweise keine Stickstoffdüngung in einem Maisbestand mehr ausgebracht werden kann (wenn man von der Applikation mit „Fertigation“ über die Beregnung absieht), dient diese Diagnose mehr der Aufdeckung von Nährstoffmangel.

In den Versuchspartellen gab es keine überdüngten Vergleichspflanzen. Der „N-Tester-Index“ wurde deshalb im Vergleich mit dem am höchsten gemessenen Einzelwert berechnet.

Nach der Ernte wurden in den verschiedenen Varianten die *Nitratgehalte des Bodens* gemessen, um zu sehen, wie gut die Düngung mit dem ertragsabhängigen Bedarf der Pflanzen übereingestimmt hat bzw. ob Überschüsse vorliegen, die eine Gefahr für die Umwelt darstellen.

Die Bodenbeprobungen erfolgten in drei Horizonten und zwar: 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm.

In Ebersheim erfolgte die Beprobung am 12.10.2004, kurz nach der Ernte (06.10.2004), jedoch nach 71 mm Niederschlag.

In Witternheim erfolgte die Ernte erst am 28.10.2004. Nachdem es den ganzen Oktober über viel geregnet hat (176,2 mm) und der Boden der Parzelle Witternheim auswaschungsgefährdet ist, wurde entschieden, auf eine Messung der Bodennitratgehalte zu verzichten, da zu vermuten war, dass der größte Teil bereits ausgewaschen war.

2.1.2 Versuche in Baden-Württemberg

2.1.2.1 Standortbeschreibung

Für die Durchführung des Projektes wurden die Untersuchungsflächen aus dem Vorläuferprojekt übernommen, weil hier aus den vergangenen Jahren etliche teilflächenspezifisch erfasste Ertragsdaten sowie Ergebnisse ortsbezogener Probenahmen vorliegen. Diese Daten wurden ausführlich zusammengetragen und intensiv untersucht (RÜHLING 2001). Ebenso konnte auf Erfahrungen zurück gegriffen werden, die in einigen weiteren Vorarbeiten gesammelt werden konnten (BACH, H. und RÜHLING, I., 2001; MAIER, J. 2003).

Bei den im Projekt fortgeführten Versuchsflächen handelt es um drei Untersuchungsschläge, die sich unmittelbar nebeneinander befinden und unterschiedlichen Eigentümern gehören. Aussaat und Grunddüngung werden von den Landwirten in Eigenregie ausgeführt. Stickstoffdüngung und Ernte werden an ein Lohnunternehmen vergeben, dem auch eine der Untersuchungsflächen gehört.



Abb. 21: Lage der Untersuchungsflächen im Rheintal



Abb. 22: Lage der Untersuchungsflächen vor Weisweil

Alle drei Schläge liegen im Dienstbezirk Emmendingen nördlich vom Kaiserstuhl bei Weisweil (Abb. 21 und 22) in einer für den Oberrhein typischen kleinparzellierten Flur.

Typisch für diese Region ist ein überdurchschnittlich hoher Anteil des Nebenerwerbes im Vergleich zum restlichen Bundesland Baden-Württemberg. Damit geht eine durchschnittliche Flurstücks- bzw. Schlaggröße von unter 1 ha einher.

Der Maisanteil auf den Flächen ist sehr hoch, was mit der hohen Ertragssicherheit des Maises zu tun hat. So wird auf etwa 75 % der Flächen in der Region Körnermais angebaut (STÖCKLIN 1998 und nach RÜHLING, 2001). Daneben finden sich Getreide und Sonderkulturen (Gemüse, Tabak, Baumschule). Es findet keine systematische Beregnung statt, wie sie entlang des Rheines und im Süden der elsässischen Ebene zu finden ist.

Abbildung 23 zeigt die Lage der einzelnen Schläge auf der deutschen Seite mit den im weiteren verwendeten Bezeichnungen I-01, I-02 und I-03, ihrer jeweiligen Parzellengröße sowie der Lage der vielfältig verwendeten Stichproben-Rasterpunkte.

Die Schläge selbst befinden sich auf den ebenen bis flachwelligen, mit Schwemmlöss bedeckten Niederterrassen nördlich des Kaiserstuhles (SCHULER, 1991).

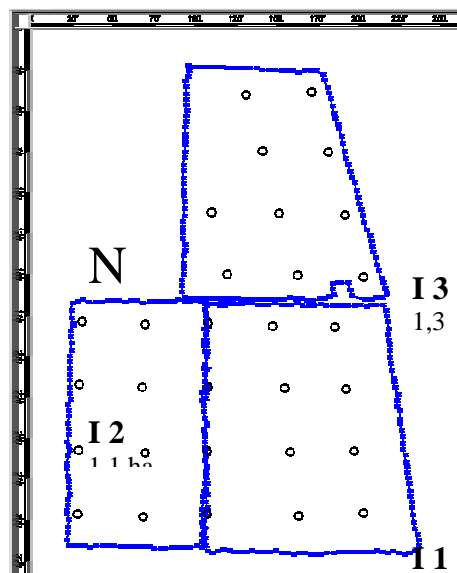


Abb. 23: Untersuchungsflächen auf der deutschen Rheinseite

Die hier ursprünglich vorliegenden Böden sind durch jahrhundertelange Nutzung stark verändert. So finden sich vor allem Parabraunerden, die mit Pararendzinen vergesellschaftet sind. Die Parabraunerden der mittleren und nördlichen Kernsanierungszone sind mit Ackerzahlen zwischen 80 und 100 äußerst fruchtbar. Sie bestehen aus 4 bis 8 dm mächtigem Lehm auf kalkreichem Schluff über kalkreichem sandigem Kies.

Im südlichen Bereich der näheren Region bei Weisweil sind sie stärker mit Auenböden und Gleyen durchsetzt. Hier liegen die Ackerzahlen zwischen 60 und 80 (GLA, 1990).

Die Auenböden und Auengleye selbst bestehen aus 4 bis 6 dm schwach kiesigem Schluff oder Lehm über Kies. Die Grundwasserstände liegen hier bei 9 bis 13 dm unter Flur oder tiefer. Es finden sich außerdem Gleye mit Lehm (3 bis 6 dm) auf Schluff über Sand und Kies (nach RÜHLING, 2001).

Am Oberrhein beträgt die mittlere jährliche Niederschlagssumme etwa 700 mm (1984 – 1993) (ROHMANN und RÖDELSPERGER, 1994 nach RÜHLING, 2001). Das Grundwasser liegt im Mittel 4 m tief. Die mittlere Jahrestemperatur beträgt 10°C.

2.1.2.2 Untersuchungen zur Variabilität

(1) Ertragskartierungen beim Mähdrusch

Im Projektzeitraum 2003 bis 2005 wurden alle drei Versuchsflächen vom Lohnunternehmer unter Verwendung GPS basierter Ertragskartierung gedroschen. Da die Versuchsflächen aus Vorgängerprojekten fortgeführt werden konnten, stehen darüber hinaus zusätzlich vollständige Ertragskartierungen für alle 3 Schläge für die Jahre 2000, 2001 und 2002 zur Verfügung.

Anhand dieser Ertragskartierungen

- wird die eigentliche **Datenerfassung** als Instrument zur Erfassung der Variabilität beschrieben und beurteilt
- werden die **Möglichkeiten der Verarbeitung dieser Daten** gezeigt
- wird ein Vergleich der **Erträge mit der zugrundegelegten Ertragserwartung** aufgezeigt
- wird ein Vergleich der **Ertragsdifferenz nach unterschiedlichen Behandlungen** vorgestellt und
- werden die **Ertragsverteilungen** selbst miteinander verglichen.

Datenerfassung

Bei der eigentlichen **Datenerfassung zur Ertragskartierung** werden Mähdrescher verwendet, welche mit Ertragssensoren ausgestattet sind, die in Verbindung mit einem GPS Empfänger den laufenden Ertrag punktuell aufzeichnen. Je nach Hersteller unterscheidet sich dabei die Art der Datenerfassung (Volumenmesssysteme, Kraft-/Impulsmesssysteme und andere indirekte Messsysteme, vgl. LUDOWICY C., SCHWAIBERGER R. und LEITHOLD P. (2002)).

Am Beispiel des Mähdruschs vom 12.09.2003 wurde deutlich, dass der Einsatz fortschrittlicher Technologien nicht immer unproblematisch ist:

Der Lohnunternehmer war zum Zeitpunkt der Ernte mit 8 Mähdreschern ausgestattet, wobei alle Maschinen mit Technik für GPS-Empfang ausgerüstet waren. Von diesen 8 Maschinen waren 7 mit je einem ACT Bordcomputer bestückt. Dieses Bordsystem fand auch bei der Stickstoffausbringung am 4.Juni 2003 Verwendung. In einem weiteren Mähdrescher befand sich ein Bordcomputer des Systems CEBIS.

Für den Mähdrusch auf den Versuchsflächen verwendete der Lohnunternehmer dann denjenigen CLAAS LEXION 480, welcher mit CEBIS ausgestattet war.

Da die Information über den zu verwendenden Bordcomputer bei der Vorbereitung des Maschinenauftrages untergegangen war, wurde der Datenträger (PCMCIA Karte) für den Bordcomputer des Mähdreschers nicht für „CEBIS“, sondern fälschlicherweise für den „ACT“ vorbereitet. Aus diesem Grund war er vom verwendeten Bordcomputer CEBIS nicht lesbar. Der Fehler konnte vor Ort unter Zeitdruck nicht ermittelt werden.

Das führte dazu, dass der Datenträger erneut vorbereitet werden musste. Da hierzu das Büro des Lohnunternehmers aufgesucht werden musste, war dies mit hohen Zeitverlusten verknüpft. Ergänzend kamen außerdem Datenverluste beim Lohnunternehmer hinzu:

In der Eile des Geschehens wurden von Seiten des Lohnunternehmens versehentlich betriebsinterne Ertragsdaten überschrieben, die sich noch als Rohdaten auf einer PCMCIA Karte befanden, ohne dass diese zuvor gesichert gewesen wären.

Möglichkeiten der Datenverarbeitung

Nach erfolgreichem Einlesen der extern vorbereiteten Rohdaten-Leerdateien konnten die Daten des Mähdrusches schließlich online erfasst, auf einer PCMCIA Karte gesichert und am Büro-PC importiert werden. [Abb. 24](#) zeigt die Rohdatensätze (ohne Normierung auf Lagerfeuchte) der drei Versuchsschläge, nachdem sie auf ein einheitliches Pixelraster umgerechnet wurden.

Legende 'Standard Ertrag' [t/ha]:	
■ Bis 8,60	■ 11,40 - 12,10
■ 8,60 - 9,30	■ 12,10 - 12,80
■ 9,30 - 10,00	■ 12,80 - 13,50
■ 10,00 - 10,70	■ 13,50 - 14,20
■ 10,70 - 11,40	■ Über 14,20

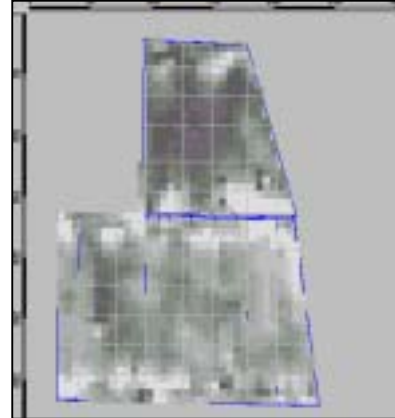


Abb. 24: Rohdaten des Mähdruschs 2003 auf gleichmäßige Pixelbreite (6m Schnittbreite)

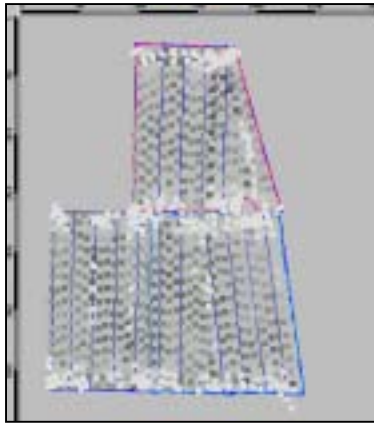


Abb. 25: Rohdaten in Prozent, bezogen auf den einzelnen Schlag

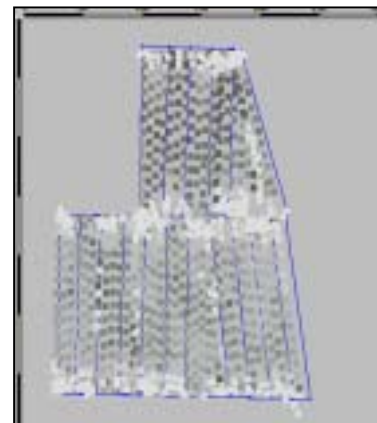


Abb. 26: Rohdaten in Prozent, bezogen auf alle Schläge

Deutlich ist entlang des Weges zwischen den Schlägen I-01, I-02 und I-03 die Problematik des Vorgewendes zu erkennen: Hier symbolisieren helle Pixel deutlich geringere Ertragswerte. Die [Abbildungen 25 und 26](#) zeigen prozentuale Verteilungen der Rohdaten. Die [Abbildungen 27 und 28](#)

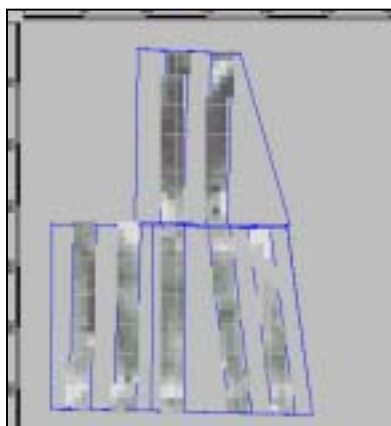


Abb. 27: Rohdaten des Ertrages 2003, moduliert behandelt

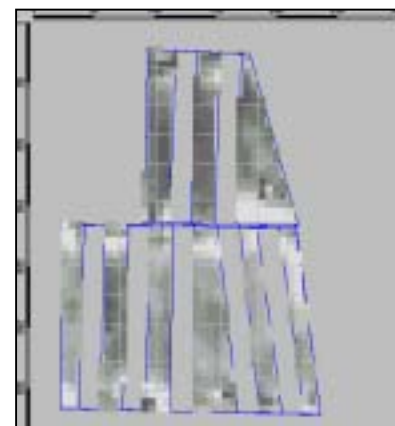


Abb. 28: Rohdaten des Ertrages 2003 herkömmlich behandelt

28 zeigen die Möglichkeit, diese Rohdaten nach unterschiedlichen Behandlungen zu trennen. Die linke Abbildung zeigt den Rohertrag moduliert behandelter Versuchsstreifen, die rechte Abbildung die Ertragsrohdaten der nach guter fachlicher Praxis pauschal gedüngten Flächen. Die Legende ist identisch zu derjenigen der [Abbildung 24](#).

Berechnet man aus diesen pixelweisen Rohdaten eine Konturenkarte, so ergibt sich eine flächige Wiedergabe der Ernteverteilung ([Abb. 29](#)). Auch für diese Konturenkarte sind die unterschiedlichen Behandlungen trennbar ([Abb. 30 und Abb. 31](#)), wodurch auch Auswertungen nach unterschiedlichen Behandlungen möglich sind.

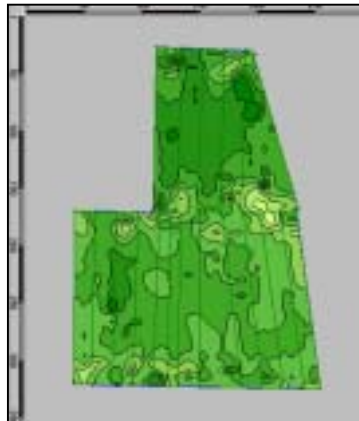


Abb. 29: Konturenkarte 2003 Mähdruschertrag aus unkorrigierten Rohdaten

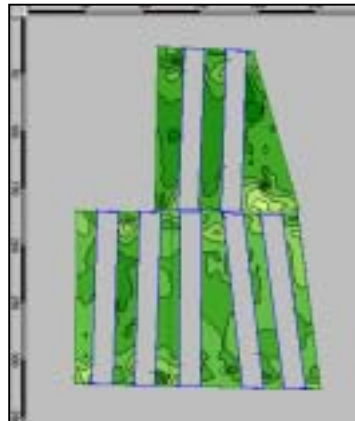


Abb. 30: getrennt nach pauschaler Behandlung

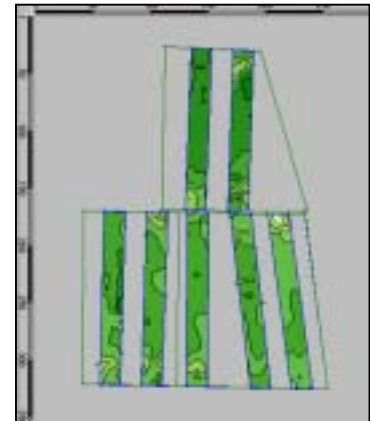
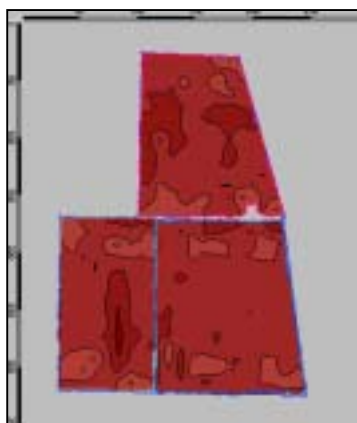


Abb. 31: getrennt nach modulierter Behandlung

Vergleich der Erträge mit der zugrundegelegten Ertragserwartung

Da in jedem Untersuchungsjahr für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel die Verteilungen der Ertragserwartungen abgeleitet wurden, ist ein Vergleich mit der Verteilung des schließlich erfassten Ertrages naheliegend. Am Beispiel des Jahres 2003 soll dies exemplarisch gezeigt werden. [Abb. 32](#) zeigt die Verteilung der Ertragserwartung, wie sie zur Berechnung der teilflächenspezifischen N-Applikation im Jahr 2003 Berücksichtigung fand. Ihre Verteilung wurde unter Berücksichtigung der drei letztjährigen Ertragsverteilungen abgeleitet und auf das Niveau des zu erwartenden durchschnittlichen Zielertrages angehoben. Die Ergebnisse der Untersuchung finden sich unter Kapitel 3.1.2.



Durchschnittlicher Wert:
11,88 t/ha
Gesamtmenge: 11,88 t/ha *
4,5864 ha = 54,47 t

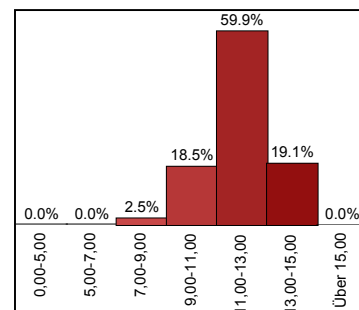


Abb. 32: Für die Düngung zugrunde gelegte Ertragserwartung

Um die **Unterschiede der Verteilung zwischen Ertrag und Ertragserwartung** als Konturenkarte flächig darstellen zu können, wurden die Rohdaten jeweils für Ertrag und Ertragserwartung auf ein identisches Raster von 10 mal 10m² umgerechnet. Dadurch ergibt sich eine pixelweise Vergleichbarkeit der Werte, so dass für jeden einzelnen Flächenrasterpunkt die Differenz ausgerechnet werden kann (Abb. 33).

Aus diesem Teilergebnis kann dann wiederum eine flächige Konturenkarte abgeleitet werden (Differenzkarte), welche die Verteilungsunterschiede darstellt.

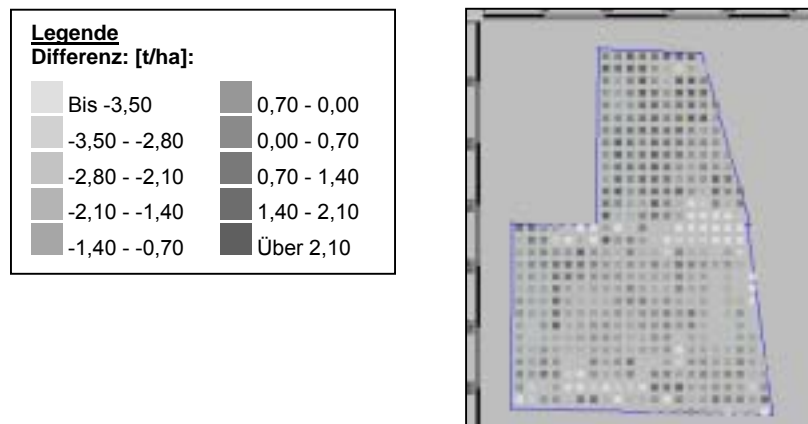


Abb. 33: Rohdaten zur Differenz zwischen Ertrag und Ertragserwartung (grau = identisch, hell = geringer, dunkel = höher)

Vergleich der Ertragsdifferenz nach unterschiedlichen Behandlungen

Die zuvor berechnete Ertragsdifferenz wurde nach Behandlungen getrennt. Beide Datensätze wurden miteinander verglichen.

Darüber hinaus wurde die berechnete Ertragsdifferenz nach Schlägen getrennt und die Werte ebenfalls miteinander verglichen. Die Ergebnisse finden sich in Kapitel 3.1.2.

Vergleich der Ertragsverteilungen untereinander

Da die Ertragserwartung aus der Ertragsverteilung der letzten Jahre ermittelt wird und damit indirekt von mehr oder weniger von der Ähnlichkeit der Verteilungen der jeweiligen Jahre ausgegangen wird, ist es sinnvoll diese indirekte Annahme zu überprüfen. Sollte das nicht der Fall sein, so ist zu hinterfragen, welchen Sinn es macht, die Verteilung der Ertragserwartung für ein bestimmtes Jahr aus den letztjährigen Ertragsverteilungen zu ermitteln. Aus diesem Grund wurden die Ertragsverteilungen auf den Untersuchungsflächen miteinander verglichen. Hierzu wurden die Rohdaten der jeweiligen Verteilungen auf ein identisches Pixelraster umgerechnet. Durch Gegenüberstellung jeweils identischer Pixelwerte konnten die Verteilungen jeweils auf Korrelationen überprüft werden. Die Ergebnisse sagen aus, ob Ähnlichkeiten der flächigen Verteilung vorhanden sind. Sie finden sich in Kapitel 3.1.2.

(2) N_{\min} -Analysen

Bei der Berechnung der N-Applikation fließt N_{\min} als ein wesentlicher Parameter ein. Er wurde deshalb an den Rasterpunkten der Versuchsanlage jeweils kurz vor der Stickstoffdüngung und zu Kontrollzwecken unmittelbar nach der Ernte erfasst. Im vorliegenden Projekt wurde die Verteilung von N_{\min}

- zwischen Frühjahrsbeprobungen verschiedener Jahre
- zwischen Herbstbeprobungen verschiedener Jahre
- zwischen Frühjahrs- und Herbstbeprobungen und
- zwischen zeitnahen Beprobungen unterschiedlicher Probenehmer untersucht.

Hierzu wurden die Verteilungen miteinander korreliert. Daneben wurden Verteilungskarten interpoliert und optisch beurteilt. Die Ergebnisse finden sich unter Kapitel 3.1.2.

(3) Bodenuntersuchungen

Um weitere relevante Parameter für die Umsetzbarkeit der Modulation der Betriebsmittel zu berücksichtigen, wurden ergänzende Untersuchungen zum Parameter Boden durchgeführt. Es waren dies:

- Die Art der Körnungsfraction an den Rasterpunkten. Aufgrund bestehender Kooperation wurden die von der Uni Hohenheim erhobenen Daten zur Verfügung gestellt.
- die im Projekt erhobenen Daten aus der Grundbodenuntersuchung, im Einzelnen die Verteilungen des pH-Wertes, Phosphors (P_2O_5) Kaliums (K_2O_5) und Magnesiums (MgO).

Die Daten wurden als flächenhafte Konturenkarten aufgearbeitet und visuell beurteilt. Die Verteilungen wurden miteinander verglichen, indem sie auf Korrelationen überprüft wurden. Die Ergebnisse der Untersuchungen finden sich unter Kapitel 3.1.2.

(4) Handernten

Im Zusammenhang mit der Überprüfung der Umsetzbarkeit der Modulation der Betriebsmittel wurden weitere Parameter zur Erfassung der Variabilität der Schläge untersucht. Hierzu wurden an den definierten Rasterpunkten in den Jahren 2003 und 2004 Handernten durchgeführt. Dabei wurden folgende Parameter erfasst (Tab. 3).

Tab. 3: Erfassung von Pflanzendaten an den Rasterpunkten im Jahr 2003

Inventur	Datum	Parameter
Zerstörungsfreie Erfassung von Pflanzenparametern (Kapitel 1.2)	09.09.2003 07.10.2004	- Pflanzen/m ² - Pflanzenlänge an 5 Pflanzen - Anzahl Kolben/Pflanze - Kornreihen/Kolben - Körner/Kornreihe - Körner/Kolben
Handernte (Kapitel 1.2)	11.09.2003 07.10.2004	- Pflanzen/m ² - Pflanzenlänge an 5 Pflanzen - Anzahl Kolben/Pflanze - Kornreihen/Kolben - Körner/Kornreihe - Körner/Kolben - Frischgewicht getrennt nach Korn und Stroh - Trockensubstanz getrennt nach Korn und Stroh - N, P, K getrennt nach Korn und Stroh

Die Daten wurden zu flächenhaften Konturenkarten aufgearbeitet und visuell beurteilt. Die einzelnen Verteilungen wurden miteinander korreliert, um weitere Aussagen über die Zusammenhänge der Variabilität auf den Schlägen abzuleiten. Die für die Fragestellung des Projektes relevanten Ergebnisse sind unter Kapitel 3.1.2 zusammengefasst.

(5) Schadinventur

Zur weiteren Feststellung der Variabilität wurden in den Jahren 2003 und 2004 Schadinventuren auf den Untersuchungsflächen durchgeführt. Dabei fanden Anzahl und Verteilung von

- Maiszünsler
- Beulenbrand
- Ackerwinde
- Lagerbildung und
- sonstigen Pilzen Berücksichtigung.

Die Daten wurden als flächige Konturenkarten aufgearbeitet und visuell beurteilt. Diverse Korrelationen zur Verteilung anderer Parameter wurden überprüft.

(6) Messung der elektromagnetischen Bodenleitfähigkeit mit EM38

Nach DOMSCH und WARTENBERG (2000) ist die geokodiert gemessene elektrische Leitfähigkeit des Bodens (EL) ein kontinuierliches Messverfahren mit großer Flächenleistung zur Ermittlung von Bodenunterschieden. Es kann mit hoher Geschwindigkeit und somit mit geringen Kosten durchgeführt werden.

Dabei ist die EL positiv abhängig vom Tonmineral-, Wasser- und Salzgehalt des Bodens bei Feldkapazität sowie der Temperatur. Eine Untersuchung mit einer EM38-Sonde (Geonics Limited, Ontario) hat allerdings keine Beziehung der EL zum Salzgehalt in der Bodenlösung ermitteln können, aber zur nFK (SCHMIDHALTER und ZINTEL 1999). Von den mineralischen Bestandteilen hat Ton die größte Leitfähigkeit, gefolgt von Schluff und Sand. Daher können mittels EL wechselnde Bodenarten und ihre Verteilungsmuster in der jeweils untersuchten Schicht identifiziert werden (DOMSCH, LÜCK und EISEREICH 1999). Beispielsweise können so körnungsbedingte Verdichtungen durch höhere Tongehalte in bestimmten Schichten durch Einlagerung aufgezeigt werden. Als Folge der Beziehung der EL mit der Korngrößenverteilung kann auf die Wasserkapazität des Bodens geschlossen werden. Mit dem Tongehalt steigt die Wasserkapazität bei Feldkapazität² des Bodens bis zu einer bestimmten Korngrößenverteilung (SCHEFFER et al. 1984).

Bereits im Vorläuferprojekt wurde die elektrische Leitfähigkeit des Bodens auf den Versuchsflächen geokodiert gemessen. Dabei wurde das Verfahren „VERIS“ angewendet. Beim Gerät „Veris 3100“ besteht die Messanordnung aus ‚Scheibensech-Elektroden‘, die wenige Zentimeter in den Boden eindringen (Abb. 34). Die Abschwächung des durch den Boden geleiteten Stroms wird per Spannungsabfall gemessen (elektromagnetische Induktion). Das elektrische Feld kann dabei einige Dezimeter tief in den Boden eindringen. Mit der Zugmaschine wird das Sech durch den Boden gezogen, wodurch die kontinuierliche Messung

² Bei Feldkapazität ist der Boden soweit mit Wasser gesättigt, dass er es gegen die Schwerkraft noch halten kann.

in [mS/m] erfolgt. Mittels der auf dem Sensor angebrachten GPS-Antenne und dem GPS-Empfänger auf dem Zugfahrzeug (ACT) wird zu jedem Messwert die Position ermittelt und aufgezeichnet. Auf den Versuchsflächen wurde mit dem Gerät am 10.03.2001 die elektrische Leitfähigkeit mit *einem* Messwert pro Sekunde in zwei Schichten 0-30 cm und 0-90 cm simultan erfasst. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von etwa 10 km/h entspricht das einer Messdichte von etwa einem Messwert alle 2 bis 3 Meter entsprechend ca. 860 bis 960 Werten pro ha (Abb. 35). Das ergibt eine Flächenleistung von ca. 4 ha pro Stunde ohne Rüstzeiten.



Abb. 34: GPS-gestützte Messung der elektrischen Bodenleitfähigkeit mit „Veris 3100“

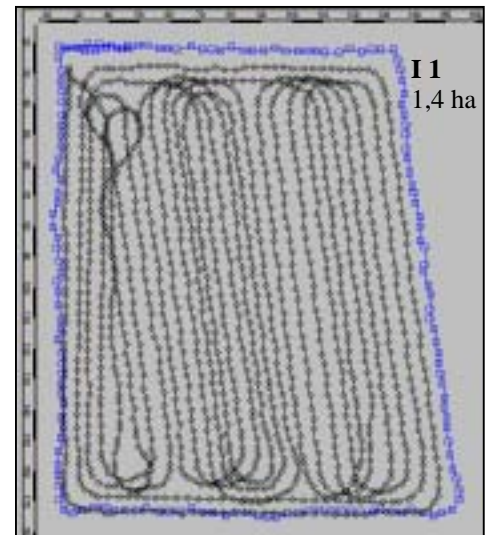


Abb. 35: Erhebungsdichte der elektrischen Bodenleitfähigkeit mit 1389 Messpunkten am Beispiel I-01

Diese Daten für die elektrische Leitfähigkeit nach VERIS wurden im Vorläuferprojekt auf Korrelationen zu anderen Variabilitätsparametern überprüft, wobei aber keine wesentlichen Zusammenhänge festgestellt werden konnten. Da es allerdings für die Modulation von Betriebsmitteln von herausragender Bedeutung wäre, durch ein einfaches Verfahren kleinste Teilflächen identischer Merkmalsausprägungen ausweisen zu können, war es angebracht, die Erfassung der Bodenleitfähigkeit mit einem anderen Sensor zu wiederholen. Aufgrund der guten kooperativen Beziehungen zur Uni Hohenheim konnte im Rahmen eines parallel auf den Flächen laufenden Projektes für diesen Zweck ein „EM38“ zur Verfügung gestellt werden.

Das Leitfähigkeitsmessgerät EM38 kombiniert mit einem DGPS Empfänger ist ein kostengünstiges Werkzeug, um hoch aufgelöste Karten der elektrischen Leitfähigkeit zu erstellen. In diesen Karten können Teilflächen unterschiedlichen mittleren Tongehalts in den Bodenprofilen erkannt werden. Dies kann genutzt werden, um die Bodenaufnahme landwirtschaftlicher Flächen effektiver durchzuführen. Außerdem lassen sich detaillierte Informationen über die Heterogenität des Bodeninventars gewinnen, die erste Entscheidungen über eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung ermöglichen.

DOMSCH, H. (2002) („Kartierung der elektrischen Leitfähigkeit und ihr Beitrag zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung“, in Zeitschrift für angewandte Geologie 3/02, Hrsg. Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den staatlichen geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland).



Abb. 36: GPS-gestützte Messung der elektromagnetischen Leitfähigkeit mit „EM 38“

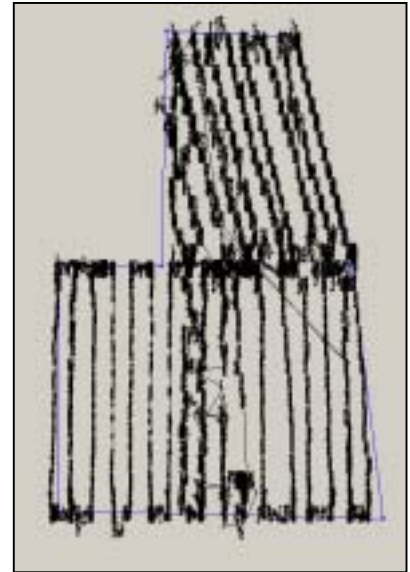
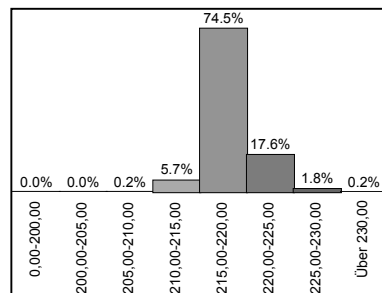


Abb. 37: Erhebungsdichte der elektromagnetischen Leitfähigkeit (alle Schläge)

Die Versuchsflächen wurden am 29.03.05 mit dem „EM38“ gemessen. Das Gerät befand sich hierzu in einem Holzschlitten, der mit ausreichend Abstand von einem Geländewagen mehr oder weniger gleichmäßig über die Versuchsflächen gezogen wurde (Abb. 36). Abbildung 37 zeigt hierzu die Rohdaten aus denen das Muster der Befahrung hervorgeht. Neben den Werten der elektrischen Leitfähigkeit wurden gleichzeitig die per GPS ermittelten Höhenwerte mit aufgezeichnet. Aus diesen Rohdaten wurden flächige Konturenkarten interpoliert (Abbildung 38 und 39).



Durchschnittlicher Wert: 218,47

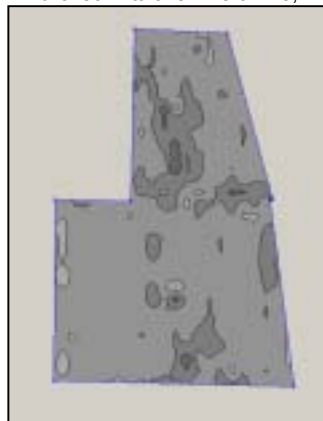
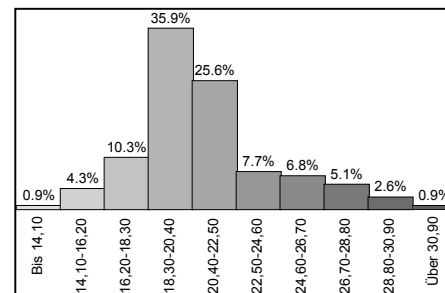


Abb. 38: Höhenverteilung aus der EM38 Messung



Durchschnittlicher Wert: 21,03 mS



Abb. 39: Verteilung des elektromagnetischen Widerstandes

Aus diesen Verteilungskarten wurden die Messwerte schließlich für ein einheitliches Bezugssystem abgegriffen, so dass Korrelationstests mit anderen Parametern der Variabilität durchgeführt werden konnten. Im Einzelnen waren dies Korrelationstests mit den Verteilungen von:

- N_{\min} vom Herbst 2005,
- N_{\min} vom Frühjahr 2005,
- dem Ertrag 2004,
- der Abreife vom 03.09.2004, vom 24.09.2004 und vom 06.10.2004,
- den Gehalten von C und N in Korn und Stroh,
- den Verteilungen von Sand, Schluff und Ton jeweils aus der oberen Bodenschicht (0-30 cm),
- den Verteilungen der Elektrischen Leitfähigkeit von „VERIS“ sowie
- exemplarisch die Verteilung der Reflexionen der Kanäle R, G und B einer Lowcost-Befliegung vom 07.07.04

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen in Bezug auf die Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln sind in Kapitel 3.1.2 dargestellt.

(7) Untersuchungen zum Wasserhaltevermögen der Böden

Im Zusammenhang mit dem parallel laufenden Forschungsprojekt der Uni Hohenheim wurden Bodenfeuchtemessungen (TDR) an den „Rasterpunkten“ des Schlages I-03 eingesetzt. Für die Untersuchungen im vorliegenden Projekt wurden die Messergebnisse dieser Sensoren freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Sie wurden verwendet, um bestehende teilflächenspezifische Daten auf Korrelationen zur Verteilung des Wasserhaltevermögens der Böden zu überprüfen. Bei den verfügbaren Daten zum Wasserhaltevermögen der Böden handelt es sich um Messwerte vom 26. und 27.07.2005. [Abbildung 40](#) zeigt die Rohdaten.

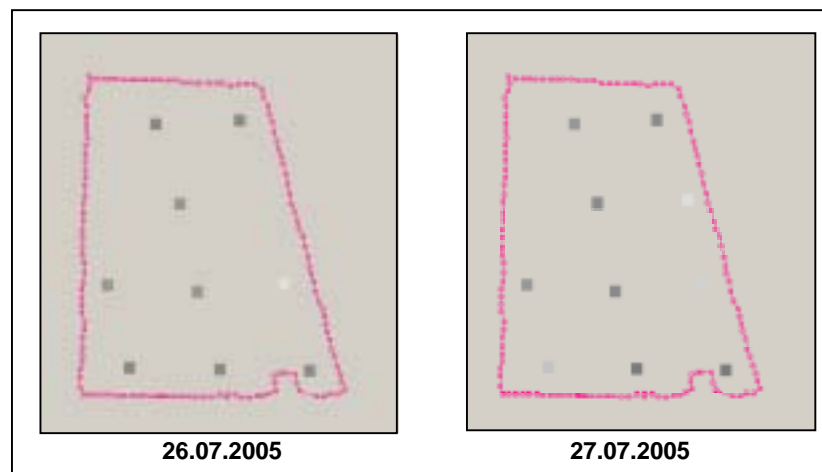


Abb. 40: Rohdaten zur Verteilung der Bodenfeuchte

Die Sensoren wurden von Seiten der Uni Hohenheim derart installiert, dass Messwerte für die Bodenfeuchte [%] in den drei Tiefenbereichen 0-30 cm, 30-60 cm und 60-90 cm erfasst wurden.

Die Messwerte wurden mit den Verteilungen wesentlicher, anderer Parametern aus dem laufenden Projekt auf Korrelation überprüft. Als Parameter für die Korrelationstests wurden herangezogen:

- Die drei terrestrischen Abreifeinventuren aus dem Jahr 2004
- Die beiden aeralen Abreifeinventuren aus dem Jahr 2004 (Luftbild mit Einfachverfahren)
- Die Reflexionsparameter der Befliegung vom 13.09.2004 für Schlag I-03
- Die Reflexionsparameter der Befliegung vom 05.10.2004 für Schlag I-03
- Die Reflexionsparameter der Befliegung vom 13.10.2004 für Schlag I-03
- Die Verteilung von N_{\min} vom 02.06.2004
- Die Verteilung von N_{\min} vom 23.07.2004
- Die Verteilung von N_{\min} vom 19.11.2004
- Die Verteilung von N_{\min} vom 29.03.2005
- Die Verteilungen der Körnungsfractionen Ton, Sand und Schluff (07.05.2004)
- Die Ertragsverteilung 2004
- Die Werte aus der Pflanzenanalyse 2004 (Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt jeweils für Korn und Pflanze)
- Die Werte aus der Grundbodenuntersuchung vom 19.11.2004:
pH-Wert , Phosphor (P_2O_5), Kalium (K_2O) und Magnesium (MgO).

2.1.2.3 Modulation der Stickstoffapplikation

Man kann die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel in drei grundsätzliche Vorgehensweisen unterteilen. Es handelt sich dabei um

- den Kartieransatz (mapping approach)
- den Sensoransatz (realtime sensor approach)
- den Sensoransatz mit Kartenüberlagerung.

Bei dem auch als „Offline-Verfahren“ bezeichneten **Kartieransatz (mapping approach)** wird die teilflächenspezifische Applikation (Modulation) über eine Applikationskarte vorgegeben. Diese wird extern in einer GIS-Umgebung berechnet, wobei die einzelnen Teilflächen abgeleitet (Delinierung) und Ist- sowie Sollwerte berücksichtigt werden.

Der auch als Online-Verfahren bezeichnete **Sensoransatz (realtime sensor approach)** zeichnet sich dadurch aus, dass die teilflächenspezifische N-Düngung während der Überfahrt mittels angebaute Sensoren (online) ermittelt wird. Eine externe GIS-Umgebung wird daher nicht benötigt. Ist-, Soll- und Applikationswerte werden online ermittelt.

Beim **Sensoransatz mit Kartenüberlagerung** handelt es sich um eine Kombination dieser beiden Verfahren. Die teilflächenspezifische N-Düngung wird dabei über vorbereitete Karten in Kombination mit angebaute Sensoren während der Überfahrt ermittelt.

Relevante Parameter werden also bereits vorab in einer GIS-Umgebung berücksichtigt. Während der Überfahrt fließen für die Berechnung der endgültigen Applikation zusätzlich online erfasste Werte mit ein. [Tabelle 4](#) zeigt die wesentlichen Unterschiede der Vorgehensweisen.

Tab. 4: Wesentliche Unterschiede der verschiedenen Verfahren zur Umsetzung der Modulation

Kartieransatz (mapping approach)	Sensoransatz (realtime sensor approach)	Sensoransatz mit Kartenüberlagerung
Offline-Verfahren	Online-Verfahren	Kombination aus Offline- und Online-Verfahren
Vorbereitung		
- mit großem zeitlichem Vorlauf - an einem Schreibtisch PC - zeitaufwändig	- zeitgleich mit Anwendung - ohne Mehrarbeit an einem PC - lediglich Zeit für Kalibrierung	- mit zeitlichem Vorlauf - an einem Schreibtisch PC - zeitaufwändig
Verwendung		
- Grundnährstoffdüngung - Spurenelementdüngung - Startgabe zur N-Düngung - Pflanzenschutz	- Informationsgewinnung - bei variablen Boden- und Pflanzeigenschaften - bei Unkrautbekämpfung - Startgabe zur N-Düngung	- Grundnährstoffdüngung - Spurenelementdüngung - Startgabe zur N-Düngung - Pflanzenschutz
Bedeutsamkeit der Methode		
- bei Berücksichtigung einer Vielzahl komplexer Parameter	- bedeutsam, sobald ein Online- Verfahren für eine Anwendung sicher funktioniert; - zur Zeit Pflanzenschutz und N-Düngung	- bei Berücksichtigung einer Vielzahl komplexer Parameter
- wenn Online-Sensoren nicht erfolgsversprechend sind - wenn mehrere Parameter gleichzeitig berücksichtigt werden müssen		- wenn mehrere Parameter gleichzeitig berücksichtigt werden müssen und dabei ein Parameter ganz aktuell sein muss

Um eine Modulation der Betriebsmittel umsetzen zu können, muss die eingesetzte Technik in der Lage sein, auf die zuvor ermittelte Variabilität auf dem Schlag zu reagieren. Das bedeutet, dass anhand der Technik die Applikationsinformation erfasst (oder auch gelesen) und teilflächenspezifisch ausgebracht werden muss. Für die hierdurch entstehenden Anforderungen an die Technik ist zur Zeit eine internationale Standardisierung im Entstehen (CLAAS, 2003).

Ohne dass an dieser Stelle auf alle Details eingegangen werden soll, können die technischen Voraussetzungen an die Maschinen folgendermaßen zusammengefasst werden: es sind dies:

- die Möglichkeit der Lagebestimmung mittels dGPS
- die Ausstattung mit einem Bordrechner für die Verarbeitung der Applikationskarte oder der online abzuleitenden Parameter, sowie
- die Verwendung eines kompatiblen rechnergestützten Anbaugerätes.

(1) Modulation der Stickstoffapplikation (Offline-Verfahren) im Jahr 2003

Im Versuchsjahr 2003 bestand das Projektziel darin, den Betriebsmitteleinsatz (N-Applikation) unter Berücksichtigung der räumlichen Variabilität mit den gegebenen Möglichkeiten beispielhaft zu modulieren. Nach erfolgreichem Abschluss dieser Maßnahme sollen weitere alternative Verfahren getestet, sowie die Möglichkeiten der überbetrieblichen Modulation überprüft werden (interparzelläre Modulation, Gewannebewirtschaftung).

Bei der Versuchsanlage wurde auf die Möglichkeit geachtet, eine erfolgreich durchgeführte Modulationsmaßnahme vergleichen und verifizieren zu können. Hierzu wurden Versuchstreifen unterschiedlicher Behandlungen angelegt. Es konnte umgesetzt werden, dass die gleiche Maissorte (Peso) auf allen drei Schlägen zur Verwendung kam. Da die Aussaat von den Landwirten selbst und nicht vom Lohnunternehmer (LU) koordiniert durchgeführt werden konnte, fand diese zu unterschiedlichen Terminen statt.

Über die bisher bestehenden Daten hinaus wurde die Verteilung von N_{\min} über eine Rasterpunktbeprobung erhoben. Zusätzlich bestand Zugriff auf eine Vielzahl weiterer aktueller Pflanzen- und Bodendaten der Versuchsschläge, weil die für das Vorhaben heran gezogenen Schläge zugleich auch als Untersuchungsflächen für ein Forschungsprojekt an der agrarwissenschaftlichen Fakultät der Universität Hohenheim dienen (Titel: „*Untersuchung und Modellierung des Optimierungspotenzials angepasster N-Düngestrategien bei nachwachsenden Rohstoffen im Hinblick auf N-Emissionen und Nährstoffausträge*“). Koordinierende Kontakte, Informations- und Datenaustausch erwiesen sich dabei für beide Seiten als sehr vorteilhaft. Außer einer zweiten N_{\min} -Beprobung an den Rasterpunkten des vorliegenden Projektes fanden alle Erhebungen für dieses Dissertationsprojekt der Uni Hohenheim im Jahr 2003 an eigenen Stichprobepunkten statt. Hierfür wurden Transsekte definiert, wobei es sich um quer durch die Schläge gelegte Stichprobelinien mit Aufnahmepunkten im Abstand von 10 Metern handelt.

Abb. 41 zeigt die Lage der einzelnen Stichprobepunkte. Die im Weiteren als Rasterpunkte bezeichneten Erhebungspunkte mit direktem Bezug zum vorliegenden Projekt sind dabei als große Quadrate in einem offenen Polygonzug, die Stichprobepunkte auf den Transsekten als kleine Quadrate auf einem geschlossenen Polygonzug dargestellt. Die Linien quer durch die drei Schläge zeigen die Applikationsgrenzen.

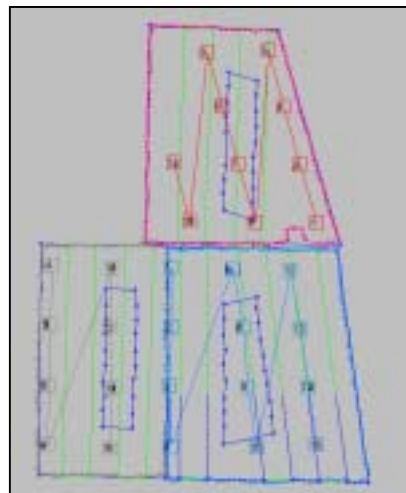


Abb. 41: Stichprobepunkte, Transsekte und Applikationsgrenzen

Um eine Modulation der Betriebsmittel umsetzen zu können, muss die eingesetzte Technik in der Lage sein, auf die zuvor zu ermittelnde Variabilität zu reagieren. Für das im Jahr 2003 eingesetzte Verfahren des Kartieransatzes bedeutet das, dass die abzuleitende Information der N-Applikation gelesen und teilflächenspezifisch ausgebracht werden kann. Für die hierdurch entstehenden Anforderungen an die Technik ist zur Zeit eine internationale Standardisierung im Entstehen (CLAAS, 2003).

Zur Mitarbeit im vorliegenden Projekt wurde bereits im Vorfeld ein Lohnunternehmen gewonnen, welches neben fachlichen Kenntnissen auf dem Gebiet der Präzisionslandwirtschaft und persönlicher Motivation zur Mitarbeit auch über entsprechend ausgestattete Technik verfügt. Für das vorliegende Vorhaben standen im Jahr 2003 einer von acht Mähdreschern LEXION der Firma CLAAS (vgl. www.claas.de) zur Verfügung, mit denen Ertragskartierungen durchgeführt werden können. Daneben gehört ein moderner Düngestreuer BOGBALLE MR3 (Tab. 5) zur Ausstattung, welcher über eine Datenschnittstelle zum Bordcomputer ACT verfügt. Letzterer kommt auch im LEXION zur Anwendung. Schließlich exportiert die Software „Agromap basic“ (Agrocom) lesbare Daten für den ACT (Tab. 6).

Tab. 5: Technische Daten zum Düngestreuer Bogballe MR 3

Daten:	
Streubreite	: 12-36 Meter
Inhalt	: 1.500 – 2.800 Liter
Streumenge	: 0,35-400 kg/min.
Gewicht	: min. 430 kg
Tankmaße	: max. 140x250 cm

Tab. 6: Technische Daten zum ACT (www.ccgis-agrar.de)

agrocom.© 2000 Agrocom GmbH & Co. Agrarsystem KG	
ACT: mobiles, computergestütztes Informations-, Registrierungs-, Steuerungs- und Überwachungssystem für Landmaschinen AGROCOM Computer Terminal ACT	
-	Industrie-PC (486er)
-	Erweitertes DOS-Betriebssystem
-	Varianten (ACT 2-40 und ACT 2-60)
-	Programmspeicher: 4 MB (2-40) bzw. 10 MB (2-60)
-	6,5 Zoll Aktiv-Display
-	PCMCIA-Kartenleser
-	Externer Streifendrucker (optional)
-	Internes DGPS (optional)
-	Externes DGPS (optional)
-	Datenkommunikation (optional)
-	Multifunktionalität

„Der Düngestreuer Bogballe M3 base ist modular aufgebaut und kann in 650 Liter-Schritten an die Betriebsbedingungen von 1500 bis 2800 Liter angepasst werden. Die Oberfläche des M3 base wird mit der extrem stoß- und korrosionsfesten "FlexiCoat" Pulverbeschichtung geschützt. Alle Schrauben, Streuscheiben, Dosierschieber und die Behälterböden sind aus Edelstahl. Der M3 base ist ein sehr flexibler Streuer mit allen Möglichkeiten. Der M3base-Streuer verfügt über das Trend Streusystem mit der BOGBALLE-Vierfachüberlappung. Dies ermöglicht den Wechsel zwischen der normalen Streuung im Feld und der Grenzstreuung durch die Drehrichtungsänderung der Streuscheiben ohne einen Streuflügel- oder Scheibenwechsel. Es ist möglich, das elektronische Bedien- und Dosiersystem 'Calibrator Unit' für eine 100%ig wegabhängige Düngung zu benutzen.“

(www.bogballe.com)

Abbildung 42 zeigt die Rolle der abzuleitenden N-Applikationskarte im gewählten Verfahren (2003) der teilflächenspezifischen Stickstoffausbringung im Kartieransatz (offline). Wie erwähnt wird die Applikationskarte offline an einem Büro-PC erstellt und dem Bordrechner zugänglich gemacht. Mit Hilfe des GPS-Empfängers auf der Zugmaschine wird die Geoposition ermittelt und aus der Applikationskarte der zugehörige Applikationswert erfasst, der schließlich dem Steuerrechner des Düngestreuers zugänglich gemacht wird.

Für die konkrete Umsetzung ergeben sich die für die Erstellung der Applikationskarte erforderlichen Informationen aus den Parametern, welche zur Berechnung der N-Düngemenge nach „guter fachlicher Praxis“ benötigt werden, wobei die Werte innerschlagspezifisch differenziert vorliegen müssen. Für die Versuchsschläge erfolgt die Berechnung des N-Bedarfes nach der Formel „N-Bedarf 3.3“ (LEL Schwäbisch Gmünd, LAP Forchheim mit IfuL Müllheim, 2001).

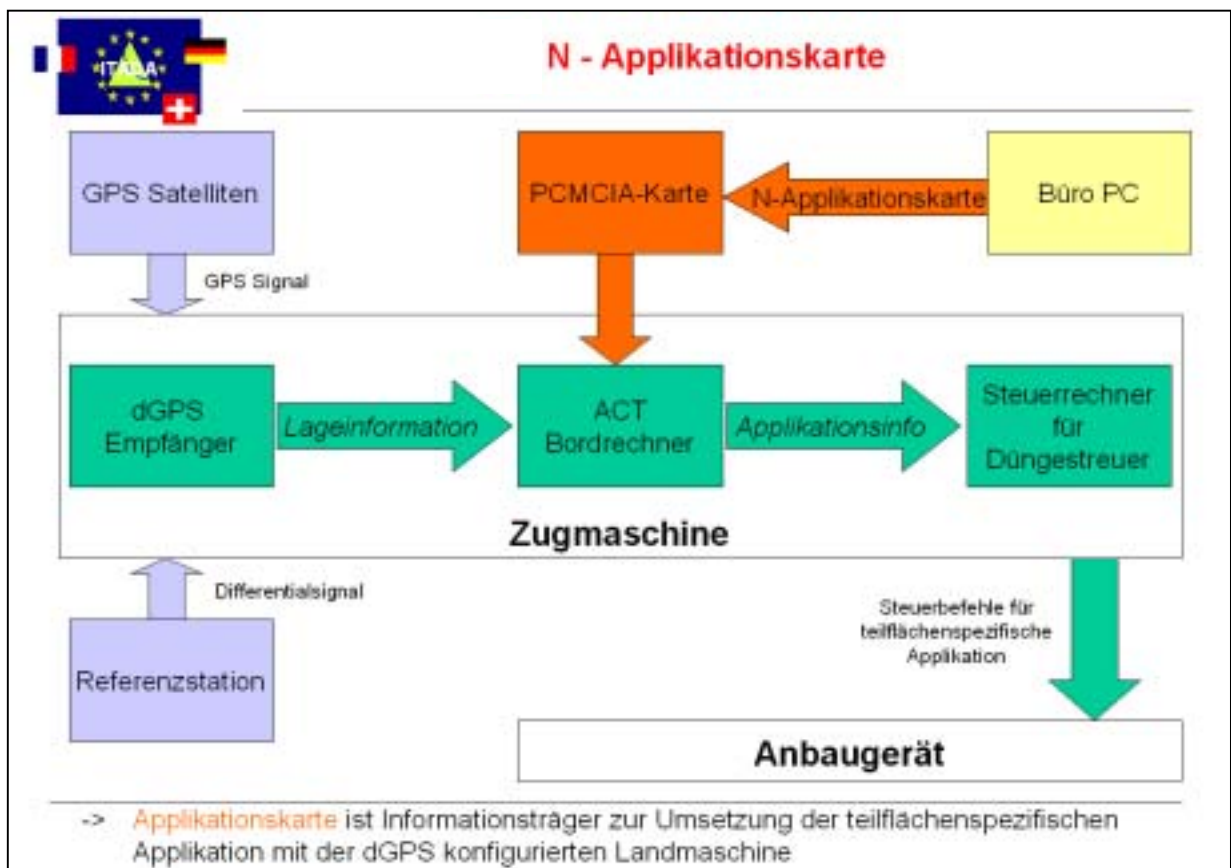


Abb. 42: Rolle der offline ermittelten N-Applikationskarte im Datenfluss des im Jahr 2003 gewählten Verfahrens

Tab. 7 listet die einzelnen Bearbeitungsschritte mit den entsprechenden Parametern im wesentlichen auf und gibt Aufschluss über die Art der Informationsbeschaffung und ob die Werte schlagspezifisch differenziert oder pauschal für den gesamten Schlag vorliegen.

Tab. 7: In die Düngermengenberechnung einfließende Parameter

Parameter	Teilflächen-spezifikation	Informationsbeschaffung
Ertragserwartung [dt/ha]	teilflächenspezifisch differenziert	Vorgabewert durch LU als mittlere Ertragserwartung, über Mittelung der Ertragskarten der letzten 2 Jahre teilflächenspezifisch differenziert
Faktor für Entzugswert [kg N / dt Ertrag]	Faktor	Vorgabewert aus Formel in Abhängigkeit von schlagspezifischen Parametern
N-Entzug	teilflächenspezifisch differenziert	berechnet sich aus Ertragserwartung und Faktor für Entzugswert
Zuschlag für nicht erntbare Restpflanze	schlagweise pauschal	Vorgabewert aus Berechnungsformel
→ Stickstoffbedarf	teilflächenspezifisch differenziert	Berechnungsergebnis
Gegebene Unterfußdüngung (Abzug)	schlagweise pauschal	Ausbringung durch Eigentümer bzw. LU
N-min Bodenvorrat im Frühjahr (Abzug)	teilflächenspezifisch differenziert	Interpolierte Karte aus N-min-Bodenproben an gleichmäßig verteilten repräsentativen Stichprobepunkten
N-Lieferung des Bodens (verschiedene Parameter) (Abzug)	teilflächenspezifisch differenziert	Teilweise Vorgabewerte aber immer in Abhängigkeit von teilflächenspezifisch differenzierter Ertragserwartung
→ N-Düngung nach guter fachlicher Praxis	teilflächenspezifisch differenziert	Berechnungsergebnis
Abzüge - N-Düngung nach MEKA, - Organische Düngung	schlagweise pauschal, (für vorliegende Versuchsfelder nicht zutreffend)	Ausbringung durch Eigentümer bzw. LU
→ Mineralischer N-Düngebedarf	teilflächenspezifisch differenziert	Berechnungsergebnis
→ Anteilige Umrechnung für verwendeten Dünger		

Abbildung 43 zeigt die Vorgehensweise innerhalb des Verfahrens schematisch. Konkret wurde zur Umsetzung des Kartierverfahrens so vorgegangen, dass mit Hilfe der Software „Agromap Basic“ von „Agrocom“ die **Ertragskarten** der Jahre 2000 und 2001 zu einer **Ertragserwartungskarte** zusammengeführt wurden, wobei die Variabilität auf dem Schlag gemittelt und der Gesamtdurchschnitt auf den zu erwartenden Zielertrag von 120 dt/ha angepasst wurde. Im Ergebnis ergibt sich für jeden Schlag eine Ertragserwartungskarte mit dem durchschnittlichen Zielertrag von 120 dt/ha bei variabler Verteilung der Ertragserwartung, welche sich am realen Ertrag der letzten Jahre orientiert. Mit der gleichen Software wurden für jeden Versuchsschlag die N_{\min} -Ergebnisse der Rasterpunkt-Beprobung zu **N_{\min} -Verteilungskarten** interpoliert.

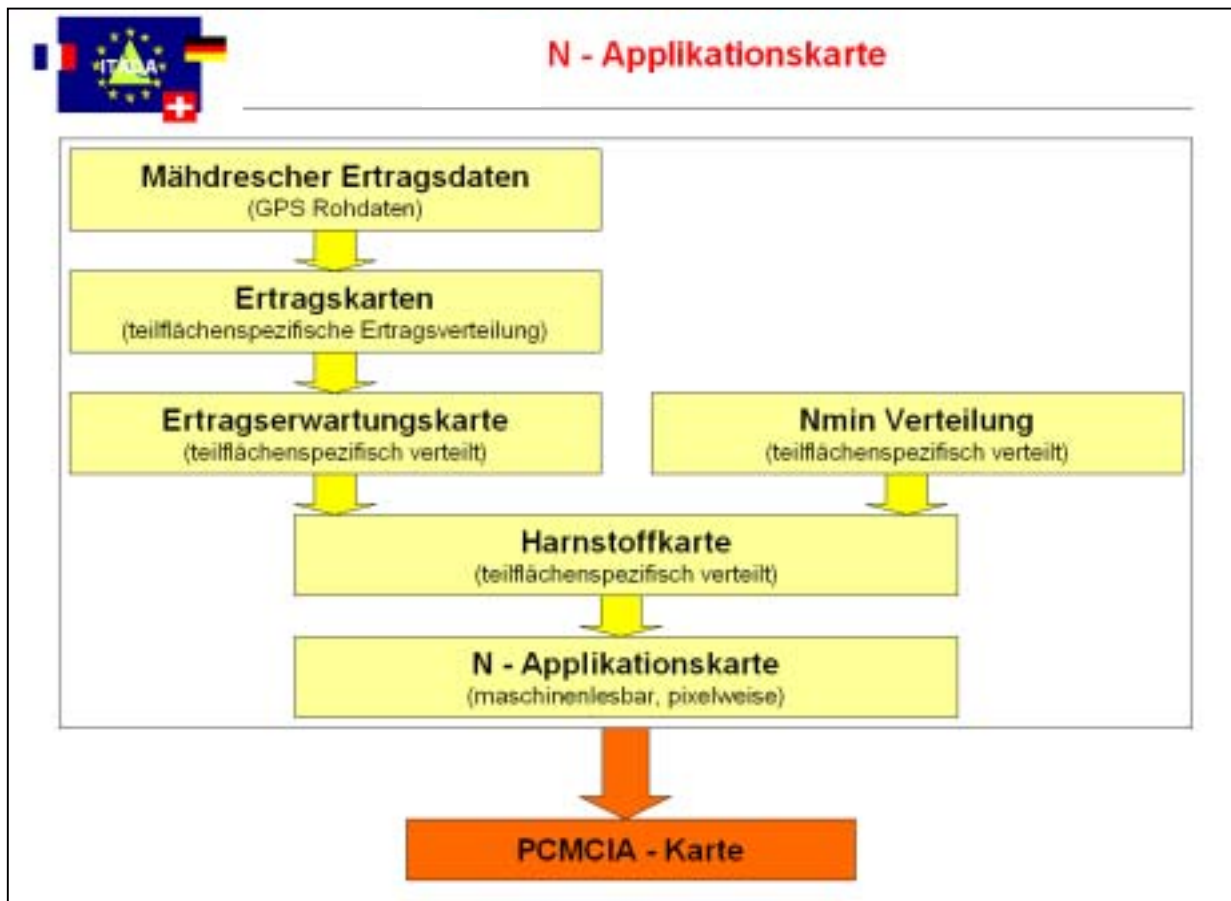


Abb. 43: Datenfluss bei der Herleitung der N-Applikationskarte

Konkret wurde nun zur Umsetzung des Kartierverfahrens so vorgegangen, dass mit Hilfe der Software „Agromap Basic“ von Agrocom die **Ertragskarten** der Jahre 2000 und 2001 zu einer **Ertragserwartungskarte** zusammengeführt wurden, wobei die Variabilität auf dem Schlag gemittelt und der Gesamtdurchschnitt auf den zu erwartenden Zielertrag von 120 dt/ha angepasst wurde. Im Ergebnis ergibt sich für jeden Schlag eine Ertragserwartungskarte mit dem durchschnittlichen Zielertrag von 120 dt/ha bei variabler Verteilung der Ertragserwartung, welche sich am realen Ertrag der letzten Jahre orientiert. Mit der gleichen Software wurden für jeden Versuchsschlag die N_{\min} -Ergebnisse der Rasterpunkt-Beprobung zu **N_{\min} -Verteilungskarten** interpoliert.

Durch Import dieser Karten in die Software „Agromap professionell“ auf „arcview“ (agrocom) wurden die Daten dann zu Rasterkarten konvertiert, für die eine Rastergröße von 10 Metern zugrunde gelegt wurde. Die bestehenden rasterbezogenen ASCII Daten für den Zielertrag (x, y, Zielertrag) und N_{\min} (x, y, N_{\min}) wurden schließlich in eine Tabellenkalkulation (Excel) importiert, in welcher die oben erwähnte Berechnungsformel zur guten fachlichen Praxis implementiert wurde (Tab. 7).

Im Ergebnis entstand eine ASCII – Datei, in welcher der N-Düngebedarf pixelweise im 10 Meter-Raster aufgelistet ist (x, y, N-Düngebedarf). Diese Daten wurden wiederum in die „Agromap-Basic“-Arbeitsumgebung importiert und zu einer flächigen Konturenkarte umgerechnet (**Harnstoffkarte**). Aus diesen Daten konnte schließlich ein maschinenlesbarer Auftrag geschrieben werden (**N-Applikationskarte**). In dieser N-Applikationskarte wird die

Applikation von Stickstoff für kleinste homogene Teilflächen der Schläge nach der guten fachlichen Praxis dargestellt.

Etwas komplexer wurde der gesamte Prozess schließlich dadurch, dass innerhalb der Schläge nach Versuchsstreifen mit teilflächenspezifischer Modulation und mit herkömmlicher pauschaler Düngung unterschieden wurde.

Die entsprechenden Berechnungen (modulierte Ausbringung und pauschale Ausbringung) wurden daher schließlich den jeweiligen Versuchsstreifen zugeordnet.

Im Folgenden werden die im durchgeführten Verfahren bestehenden Zwischenschritte im Einzelnen beschrieben. Es handelt sich dabei um

- die Erstellung der Ertragskarten der Jahre 2000 und 2001
- die hieraus abgeleitete Ertragserwartungskarte und
- die aus der Rasterpunkt-Beprobung interpolierte N_{\min} -Verteilungskarte
- die aus der Verrechnung von Ertragskarte und N_{\min} -Verteilungskarte abgeleitete Harnstoffkarte und die
- maschinenlesbar umgerechnete Applikationskarte.

Ertragskarten

Ertragskarten werden aus Rohdaten abgeleitet, die vom Mähdrescher während des Mähdruschs erfasst werden. [Abbildung 44](#) zeigt beispielhaft die Visualisierung von Menge und Position der erfassten Mähdruschwerte. Dabei repräsentiert ein Rohdatenpixel eine bestimmte Fläche, die sich aus der Schnittbreite (6m) und der zurückgelegten Fahrstrecke ergibt. Am Beispiel des Schlages I-02 existieren bei einer Fläche von 1,249 ha 277 Messwerte. Damit repräsentiert ein Messwert etwa eine Fläche von 44 Quadratmetern. Bei einer Schnittbreite von 6m bedeutet das die Erfassung eines Ertragswertes nach jeweils etwa 7,5 m Fahrstrecke.

Deutlich zu sehen sind auch die Differenzierungen innerhalb der Schläge. Dabei fallen die geringen Werte im Wendebereich des Mähdreschers (Vorgewende) auf. Diese Beobachtung ist typisch und wird neben der dortigen Verdichtung des Bodens auch mit der Anlaufverzögerung der Ertragsmessung begründet. Letztere hat ihre Ursache darin, dass der Korndurchsatz nach dem Wenden zunächst wieder anlaufen muss, so dass auf den ersten Metern zu geringe Erträge erfasst werden. Umgekehrt können aber auch nach dem letzten Schnitt Restkörner im System etwas verzögert erfasst werden. In [Abbildung 44](#) ist diese Auswirkung deutlich im südwestlichen Grenzbereich zu erkennen, wo auch ausserhalb der Schläge immer noch einige Ertragswerte erscheinen. Ein weiterer Messfehler kann dadurch auftreten, dass sich im Randbereich die Schnittbreite verändert, weil durch ein schräg verlaufendes Ankommen immer weniger Pflanzreihen erfasst werden (Schnittkeil) (LUDOWICY, SCHWAIBERGER und LEITHOLD, 2002). Allerdings wird dieser Fehler beim flächigen Interpolieren der Werte eliminiert.

Unabhängig von solchen potentiellen Fehlern haben Untersuchungen ergeben, dass die Messgenauigkeit verschiedener Systeme sehr ähnlich ist. Die Messfehler der unterschiedlichen Sensoren liegen bei $\pm 3,5$ bis $\pm 4\%$ (DEMMELE, 1999 nach LUDOWICY, SCHWAIBERGER und LEITHOLD, 2002).

Aus solchen, in [Abbildung 44](#) visualisierten GPS-Rohdaten, werden **Ertragskarten** interpoliert, wozu man bevorzugt die Methode „Kriging“ verwendet. Die [Abbildungen 45 und 46](#) zeigen die aus den Rohdaten mit dem Kriging-Verfahren ermittelten Ertragskarten, die für die Ableitung der vorliegenden teilflächenspezifischen N-Applikation herangezogen wurden.

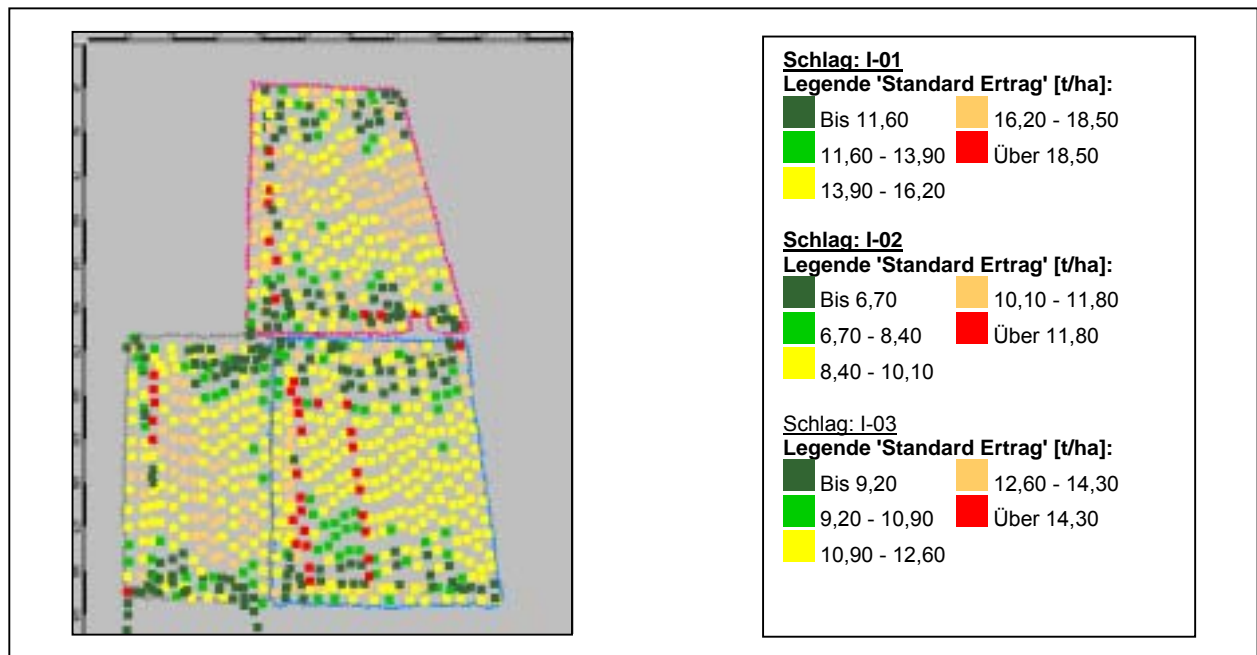


Abb. 44: GPS Ertrags – Rohdaten

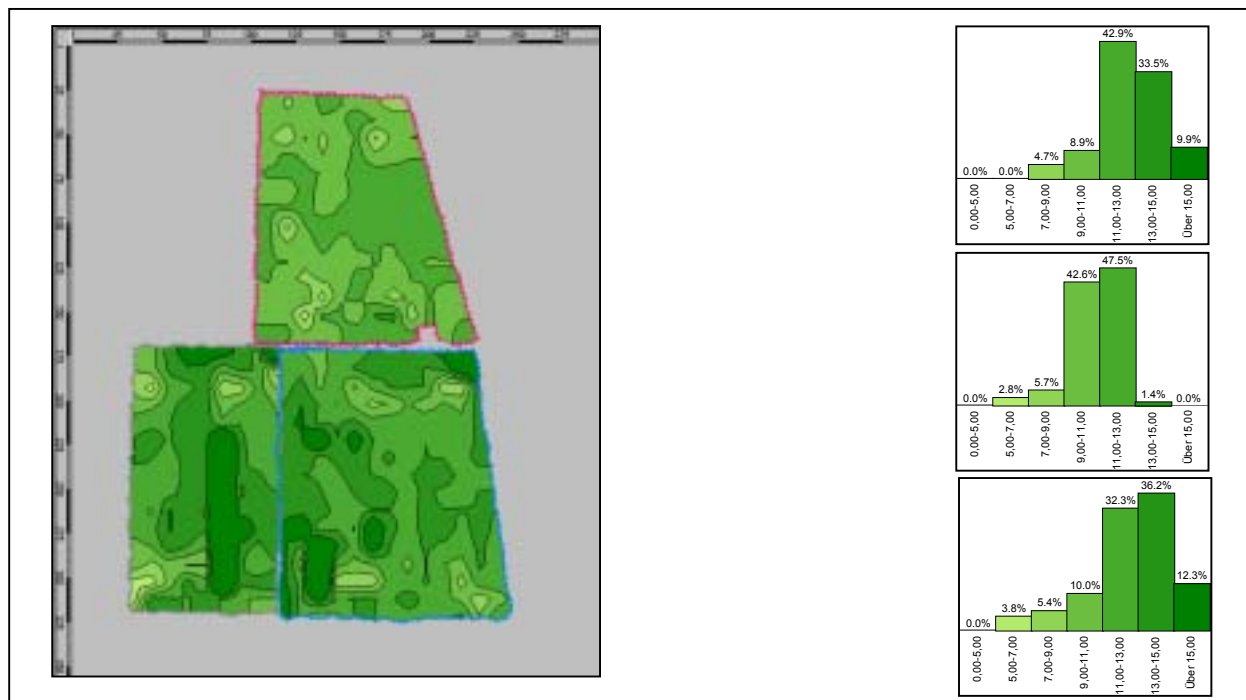


Abb. 45: Maisertragskarte des Jahres 2000

„Das Kriging ist eine sehr flexible Interpolationsmethode und bei nahezu allen Datensätzen anwendbar. Kriging gilt allgemein als bevorzugte Interpolationsmethode. [...] Hier wird der Wert der Rasterzelle durch ein gewichtetes Mittel der benachbarten gemessenen Werte geschätzt. Die Gewichte werden in dem verwendeten geostatistischen Modell so optimiert, dass die Schätzfunktion im Mittel den wahren Wert schätzt und keinen systematischen Fehler macht. Grundlage der Schätzfunktion ist dabei ein geostatistisches Modell (intrinsisch stationärer stochastischer Prozess) und das Variogramm, das den räumlichen Zusammenhang des Prozesses beschreibt. [...]. Theoretisch erbringt die Kriging-Interpolationsmethode die der Realität am nächsten kommenden Ergebnisse. In der Praxis gilt jedoch, dass die Qualität der mit dem Kriging-Verfahren erstellten Feldkarten (insbesondere Ertragskarten) auch mit Hilfe des Inverse-Distanz-Verfahrens (unter Anwendung richtiger Parameter) erreicht werden kann, sofern die Beprobungsdichte groß ist“ (LUDOWICY, SCHWAIBERGER und LEITHOLD, 2002).



Abb. 46: Maiseintragskarte des Jahres 2001

Ertragserwartungskarte

Indem die Ertragskarten aus den Jahren 2000 und 2001 zusammengeführt und an einen mittleren Zielertrag von 120 dt angepasst wurde, entsteht eine Karte für die Ertragserwartung der zu erwartenden Ernte. Durch die Zusammenführung der Daten mehrerer Jahrgänge soll eine repräsentative Verteilung des Ertrages gewährleistet werden. Es wurden allerdings nur 2 Jahrgänge der Ertragsverteilung berücksichtigt, weil im Jahr 1999 einer der Versuchsschläge mit Weizen bepflanzt war. Um der Homogenität, der sich aus drei Schlägen zusammensetzenden

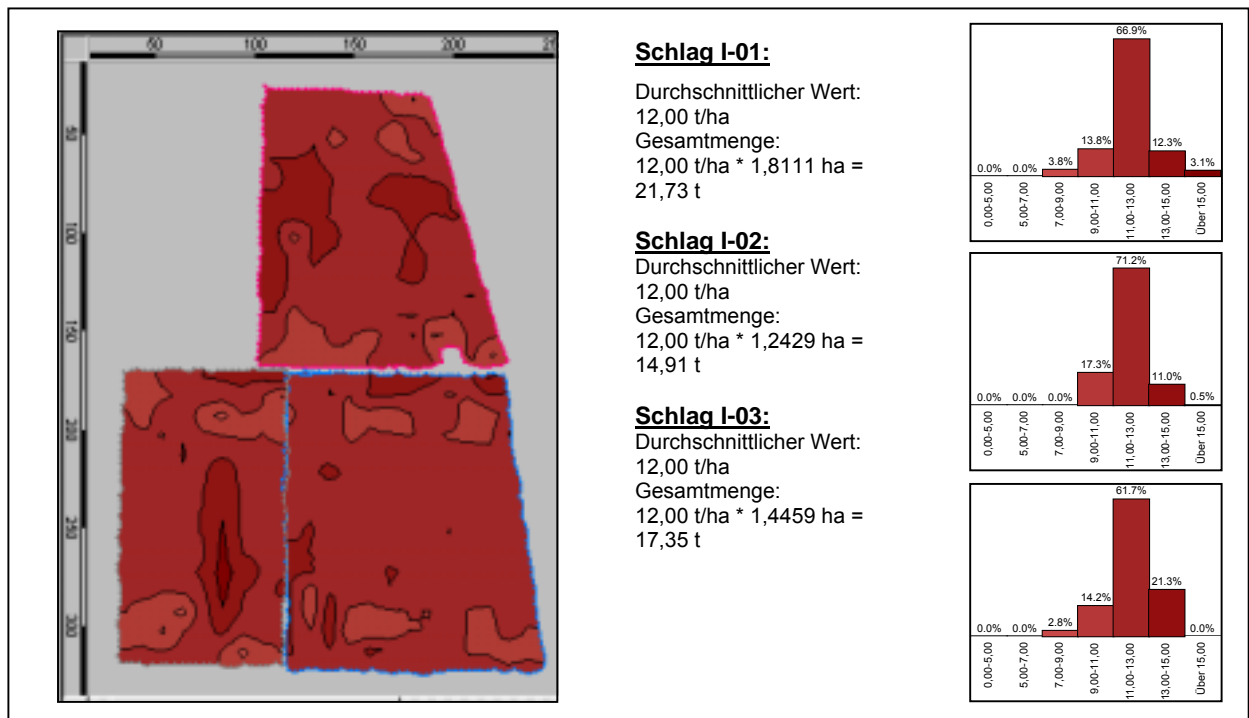


Abb. 47: Karte der Ertragserwartung für das Jahr 2003

Versuchsfläche willen, wurde auf die Einbeziehung der mit Mais bepflanzten Schläge des Jahres 1999 verzichtet. Die Daten der Ertragsverteilung des Jahres 2002 waren aufgrund der innerbetrieblichen Situation des Lohnunternehmens zu spät verfügbar, weshalb auch diese keine Berücksichtigung finden konnten. Des Weiteren hat im Jahr 2002 auf den Flächen ein gestaffelter Düngeversuch stattgefunden (MAIER, 2003), so dass zu diskutieren bleibt, in wie weit eine hieraus resultierende Ertragskarte den potentiellen Zielertrag der Fläche mit beeinflussen sollte oder nicht. **Abbildung 47** zeigt die resultierende Klassenverteilung des erwarteten Zielertrages auf den einzelnen Schlägen. Die räumliche Verteilung der Ertragserwartung (**Abb. 47**) erklärt sich durch den Vergleich zwischen **Abb. 45** und **46**.

N_{min}-Verteilungskarte

Um den mineralischen Stickstoff-Düngebedarf nach der „guten fachlichen Praxis“ teilflächenspezifisch zu berechnen, benötigt man neben dem Zielertrag insbesondere die Variabilität der Verfügbarkeit des mineralischen Stickstoffes im Boden. Für eine innerschlagspezifisch differenzierte Applikation muss diese Information in ihrer flächigen Verteilung vorliegen. Aus diesem Grund fand am 17.05.2003 an den Rasterpunkten der Versuchsanlage eine Bodenbeprobung statt. Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, wurden dazu an jedem Rasterpunkt 6 Proben entnommen, die zu *einem* Wert gemittelt wurden. Dabei wurden innerhalb eines Abstandes von einem Meter jeweils drei Proben vor und drei Proben nach dem Rasterpunkt entnommen. Der Mais befand sich zu diesem Zeitpunkt im 2-3 Blatt-Stadium. Die Analyse der Proben auf N_{min} und Wasser konnte von der Staatlichen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalt Augustenberg zeitnah am 23.05.2003 abgeschlossen werden.

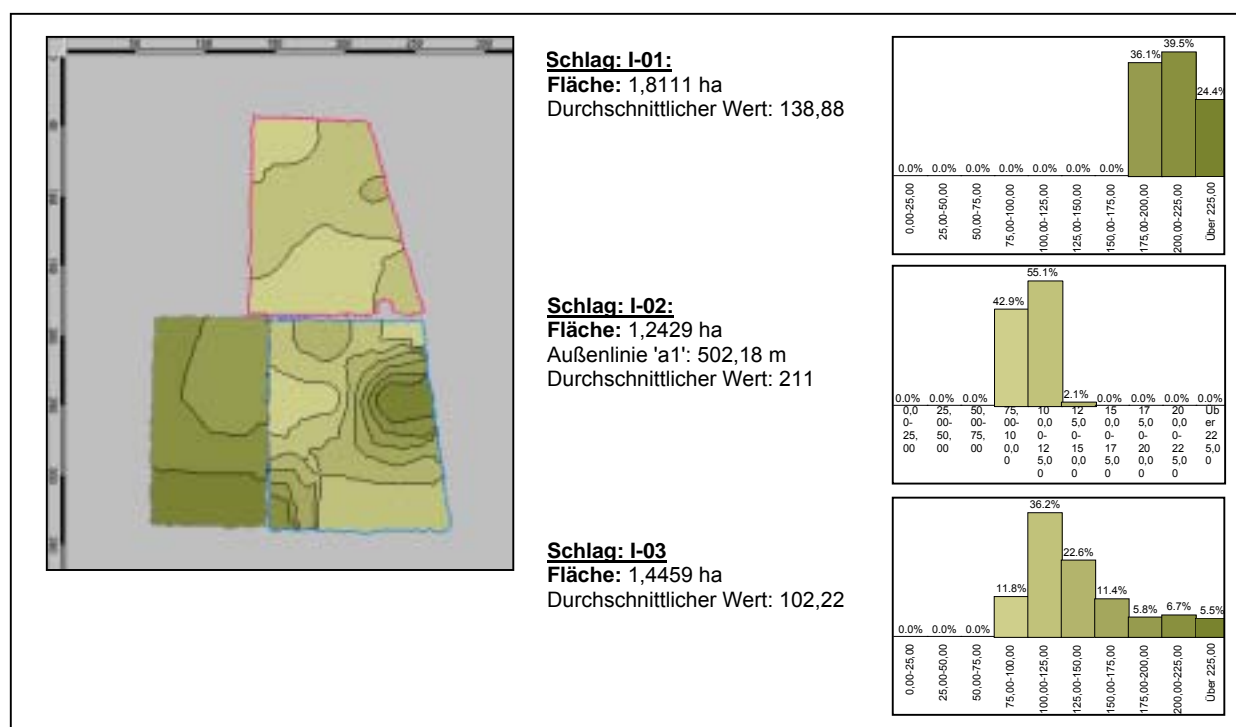


Abb. 48: Verteilung der gemessenen N_{min}-Werte auf den Versuchsflächen für das Jahr 2003

Die Untersuchungsergebnisse lassen sich schließlich im ASCII-Format (X,Y, N_{min}) als Rohdatenfile aufarbeiten, woraus in der verwendeten Software „Agromap Basic“ schließlich eine N_{min}-Verteilungskarte interpoliert werden konnte (Abb. 34). Hierzu wurde wiederum die Methode „Kriging“ verwendet. Abb. 48 zeigt die Klassenverteilung der N_{min}-Werte auf den einzelnen Schlägen. Es ist deutlich zu erkennen, dass der mineralische Stickstoff im Schlag I-02 (südwestlich) überdurchschnittlich hoch verfügbar ist (dunkler Farbton), während die Verfügbarkeit in Schlag I-03 (nördlich) relativ gering ist. Die Klassenverteilung auf I-01 (südöstlich) ist hingegen mit einer größeren Varianz ausgestattet und in der durchschnittlichen Höhe ausgewogen, weist dabei aber eine ungleichmäßige räumliche Verteilung auf.

Harnstoffkarte

Die räumliche Verteilung der Ertragserwartung und des verfügbaren mineralischen Stickstoffes im Boden gehen als Parameter in die oben erläuterte Berechnungsformel zur Ermittlung des mineralischen Stickstoff-Düngebedarfes ein (Tab. 7, S. 50). Abbildung 49 zeigt einen Auszug aus dem Tabellenblatt, in dem die Stickstoff-Düngung nach der „guten fachlichen Praxis“ pixelweise berechnet wurde. Bei dieser Berechnung muss das Düngemittel selbst, genau genommen der Anteil des Stickstoffes im anzuwendenden Dünger, berücksichtigt werden. Entsprechend wurde die Verwendung von Harnstoff in gekörnter Form mit 46% N-Anteil auf den Versuchsflächen bei der Berechnung eingearbeitet. Schließlich kann aus den diesbezüglich modifizierten Rohdaten wiederum mit Hilfe der „Kriging“-Methode eine teilflächenspezifisch differenzierte Harnstoffkarte interpoliert werden.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1			N _{min}	U _{ns} Erw	d _{ns}	Erw/N	Ertrag	Zuschlag	Unterdüngung	Abzug N _{min}	Abzug	Abzug	N-Düngung j.	Harnstoff (46%N)	Harnstoff-G	
2								recht erlösens	gegeben		N Lieferang	Ertragsste	N-Düngung j.	Harnstoff (46%N)	Harnstoff-G	
3								Reserve			des Bodens	Verfucht	Praxis			
4	1048	1900999	E007	6779766	111,00	11,22	112,20	245,64	266,04	266,04	155,64	155,64	95,64	95,64	209,26	10
5	1048	1900900	E007	6779769	111,00	11,45	114,50	251,90	271,90	271,90	160,90	160,90	100,90	100,90	219,26	10
6	1048	1899001	E007	6779813	107,00	10,62	106,30	233,64	253,64	253,64	146,62	146,62	86,62	86,62	199,21	10
7	1048	1899302	E007	6779836	101,14	11,34	113,40	249,46	269,46	269,46	166,34	166,34	109,34	109,34	235,53	10
8	1048	1897403	E007	6779959	95,27	11,96	119,00	263,56	283,56	283,56	188,29	188,29	128,29	128,29	276,90	10
9	1048	1898603	E007	6779880	89,56	12,47	124,70	274,34	294,34	294,34	204,70	204,70	144,70	144,70	314,75	10
10	1048	1896604	E007	6779905	91,24	12,61	126,10	277,42	297,42	297,42	206,18	206,18	146,18	146,18	317,80	10
11	1048	1894705	E007	6779928	95,32	12,52	125,20	275,44	295,44	295,44	200,12	200,12	140,12	140,12	304,62	10
12	1048	1893806	E007	6779951	99,40	12,77	127,70	280,94	300,94	300,94	201,64	201,64	141,64	141,64	307,71	10
13	1048	1892907	E007	6779975	103,30	13,32	133,30	289,04	313,04	313,04	209,74	209,74	149,74	149,74	325,53	10
14	1048	1893008	E007	6779998	126,62	13,26	132,60	291,72	311,72	311,72	185,10	185,10	125,10	125,10	271,57	10
15	1048	1891909	E007	6790021	156,64	13,04	130,40	286,08	306,08	306,08	150,24	150,24	90,24	90,24	196,16	10
16	1048	1890210	E007	6790044	186,66	13,24	132,40	291,20	311,20	311,20	124,43	124,43	64,43	64,43	140,07	10
17	1048	1888311	E007	6790067	212,64	13,09	130,90	287,98	307,98	307,98	96,34	96,34	36,34	36,34	76,63	10
18	1048	1886412	E007	6790090	219,00	13,16	131,60	289,52	309,52	309,52	90,52	90,52	30,52	30,52	66,26	10
19	1048	1884513	E007	6790113	219,00	12,53	126,30	275,66	295,66	295,66	76,66	76,66	16,66	16,66	36,22	10

Abb. 49: Tabellenblatt zur Ermittlung des teilflächenspezifischen mineralischen Stickstoffdüngesbedarfes

Diese berechnete Modulation wurde innerhalb der Modulations-Teststreifen umgesetzt, während für die herkömmlich zu behandelnden Teststreifen der Mittelwert des auf der Gesamtfläche auszubringenden Harnstoffes zugrunde gelegt wurde, so dass diese nach der „guten fachlichen Praxis“ schlagspezifisch pauschal behandelt wurden.

Abbildung 50 zeigt die abgeleitete Harnstoffkarte und die an die Versuchsanordnung angepasste Variante nach der Umsetzung für die unterschiedlichen Behandlungen (Harnstoffkarte), während Abbildung 51 hierzu die Klassenverteilungen der zu applizierenden Menge zeigt.

Auf den pauschal behandelten Teilflächen ist deutlich erkennbar, dass die Düngemenge für die einzelnen Schläge unterschiedlich ausfällt. Deutlich ist die geringe Gabe auf Schlag I-02 (südwestlich) zu sehen, der mit sehr hohen N_{min}-Werten beprobt wurde.

Dies trifft auch auf die moduliert zu behandelnden Versuchsstreifen zu, wobei kleinste Teilflächen berücksichtigt werden. Auffallend ist auch die breite Streuung der Ausbringungsmenge auf Schlag I-01 (südöstlich), was vor allem in der entsprechenden statistischen Verteilung der N_{min} -Werte begründet ist. Die Schläge I-02 (südwestlich) und I-03 (nördlich) unterscheiden sich extrem in der berechneten Applikationsmenge. Dabei ist die innerschlagspezifische Streuung sehr gering (Abb. 51).

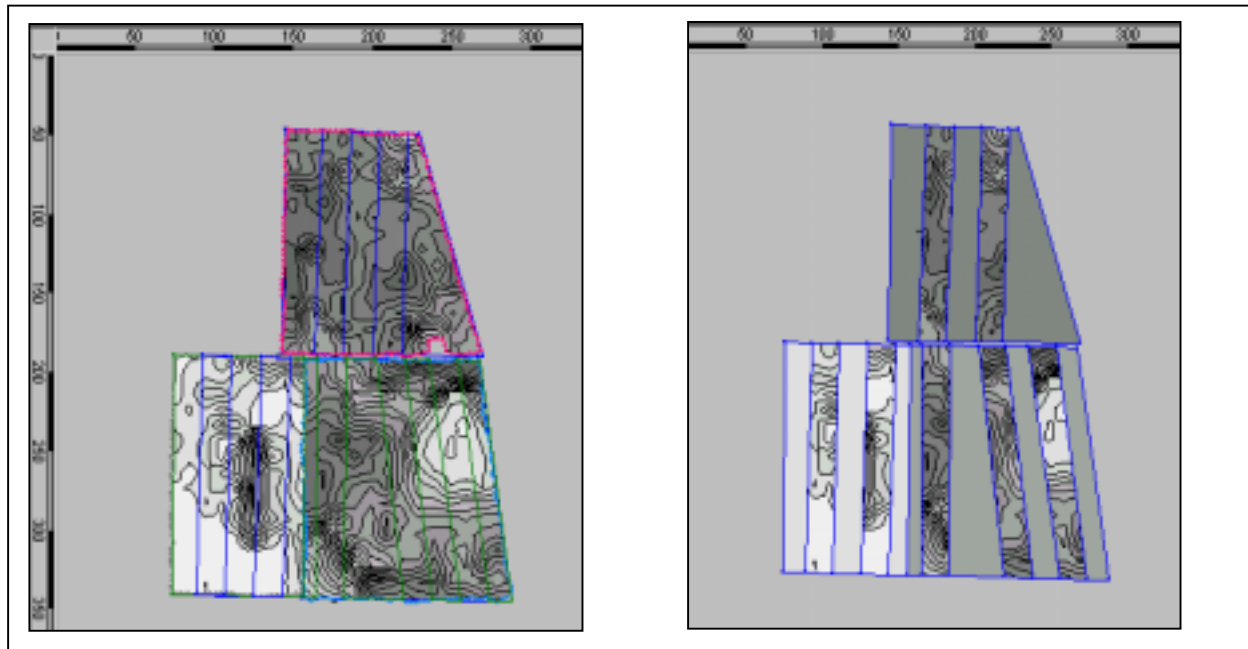


Abb. 50: Umsetzung der Harnstoffkarte für die Versuchsanlage 2003

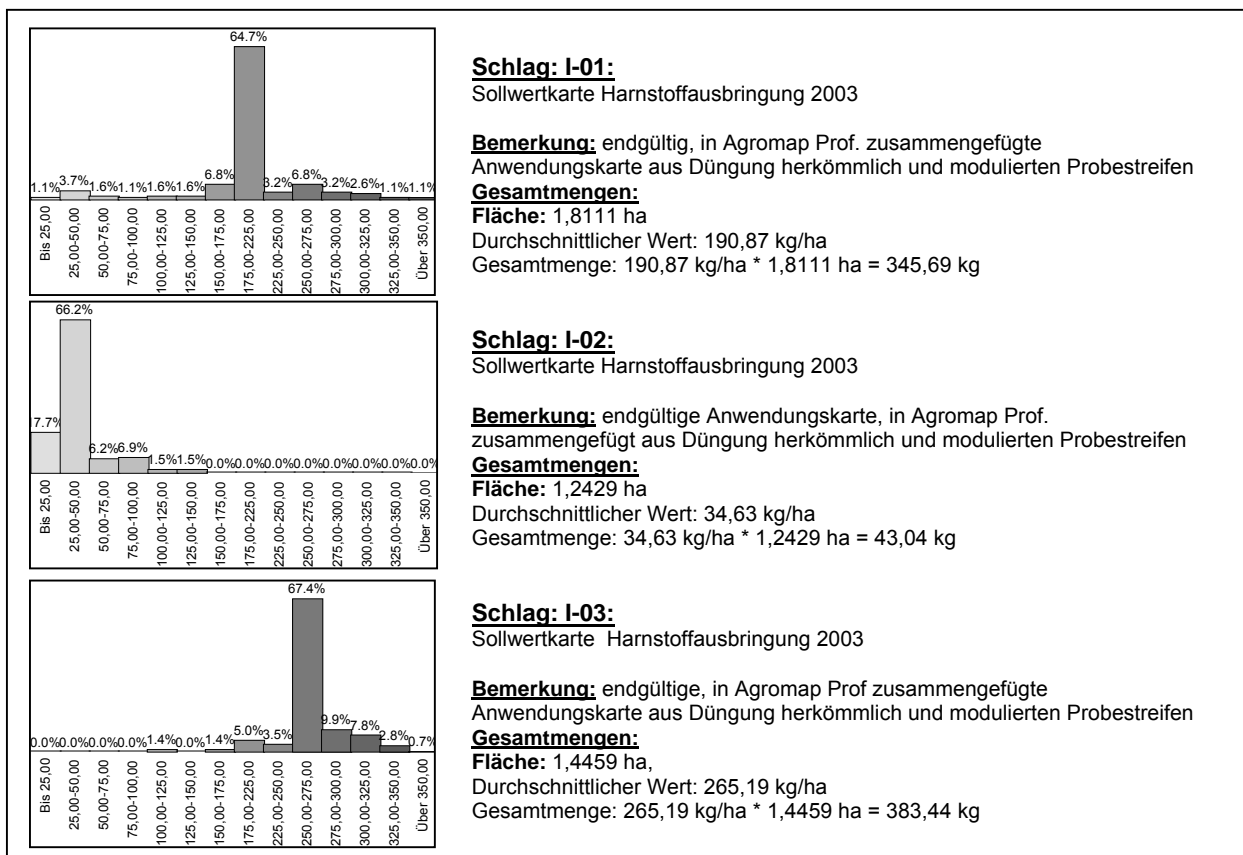


Abb. 51: Klassenverteilung des auf der Versuchsanlage auszubringenden Harnstoffes

Applikationskarte

Die berechnete, kleinräumig interpolierte Harnstoffkarte kann in dieser Form von einem computergesteuerten Düngestreuer nicht umgesetzt werden. In einem weiteren Schritt wird die Harnstoffkarte deshalb in eine systemlesbare Applikationskarte umgerechnet.

Diese unterscheidet sich von der Harnstoffkarte in erster Linie dadurch, dass die Daten pixelweise, d.h. rasterförmig aufgearbeitet werden. Optimalerweise entspricht dabei die Pixelbreite der eingestellten Ausbringungsbreite des Düngestreuers. Eine kleinräumigere Differenzierung der Applikationskarte macht normalerweise keinen Sinn, weil diese bei der Ausbringung durch die entsprechende Streubreite keine Berücksichtigung findet. Besser ist es daher, den errechneten teilflächenspezifischen N-Bedarf auf die Bezugsfläche dieses Applikationspixels zu mitteln, um nicht zufällig angesprochene kleinflächige Extremwerte auf die gesamte Breite des Ausbringungspixels zu übertragen.

Allerdings macht es nur Sinn, die Größe des Applikationspixels an die Breite des Düngestreuers anzupassen, wenn auch sichergestellt werden kann, dass das Trägerfahrzeug sich genau entlang der Pixelreihe mittig bewegt, was beispielsweise mit Hilfe eines automatischen Navigationssystems möglich ist.

Da diese Option im vorliegenden Fall nicht zum Einsatz kam, besteht durch die nicht mittig auf das Applikationspixel ausgerichtete Bewegung des Schleppers im Überlappungsbereich zu den Nachbarpixeln eine gegenüber der teilflächenspezifisch berechneten Applikationsmenge abweichende Ausbringung. Ohne Navigationshilfe ist dieses Problem nicht zu beheben. Durch die sorgfältige Vorbereitung der Versuchsstreifen (Lage) wurde diesem Problem bereits im Vorfeld so gut wie möglich begegnet. [Abb. 52](#) zeigt die verwendete N-Applikationskarte.



Abb. 52: Maschinenlesbare Applikationskarte für die Modulation von Harnstoff unter Berücksichtigung der Versuchsanordnung. (Pixelgröße 10 m, ein heller Wert bedeutet eine geringe, ein dunkler Wert eine intensive Applikation)

Durchführung der Düngung

Unter Verwendung der oben abgeleiteten maschinenlesbaren Applikationskarte für Harnstoff (Abb. 52) wurden die Versuchsschläge am 4. Juni 2003 gedüngt.

Die Maispflanzen befanden sich zu diesem Zeitpunkt in folgenden Wachstumsstadien:

- Schlag I-01: 9 Blatt Stadium
- Schlag I-02: 8 Blatt Stadium
- Schlag I-03: 12 Blatt-Stadium

Mittels PCMCIA-Karte konnte die Applikationskarte dem Bordcomputer des Trägerfahrzeuges übergeben und der Düngeversuch erfolgreich durchgeführt werden.

Dabei wird die genaue Position über das DGPS der landwirtschaftlichen Zugmaschine erfasst und mit der Lage auf der Applikationskarte abgeglichen. Der dort für diese Position zugrunde liegende Applikationswert wird nun abgegriffen und der Steuerung des Düngestreuers übergeben. Auf diese Weise wird der in der Applikationskarte vorgesehene Wert ortsgenau ausgebracht.

Eine visuelle Kontrolle der am Display des Steuerrechners (für den Bogballe Düngestreuer) sichtbaren Applikationsmenge mit dem im Bordrechner des Trägerfahrzeuges (ACT) durch die Applikationskarte vorgegebenen Menge bestätigte, genauso wie die Kontrolle des mechanischen Schiebers zur Steuerung der Ausbringungsmenge am Anbaugerät selbst, die korrekte Umsetzung der Düngung. Abb. 53 wurde bei der Durchführung des teilflächenspezifischen Düngeversuches aufgenommen. Gut erkennbar ist die DGPS-Antenne auf dem Dach des landwirtschaftlichen Trägerfahrzeuges. Die Ergebnisse dieses Versuches für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel sind in Kapitel 3.1.2 zusammengefasst.



Abb. 53: Durchführung des Düngeversuches

(2) Bereitstellung einer schlagübergreifend aufbereiteten Stickstoffapplikationskarte nach dem Offline-Verfahren (gute fachliche Praxis) im Jahr 2004

Im Versuchsjahr 2004 sollte die Stickstoffdüngung wiederum im Offline-Verfahren moduliert durchgeführt werden, weil sich die grundsätzliche Umsetzbarkeit mit diesem Ansatz im Versuchsjahr zuvor bestätigen ließ und weil insbesondere die anerkannte Düngestrategie nach der „guten fachlichen Praxis“ umsetzbar ist. Zur Verbesserung und Weiterentwicklung des Verfahrens sollten alle drei Teilflächen appliziert werden, indem die Applikationskarte im Sinne der Verwendbarkeit für eine potenzielle spätere Gewannebewirtschaftung schlagübergreifend bereitgestellt werden sollte. Die schlagweise Aufarbeitung der Applikationskarte im Versuchsjahr 2003 führte zu erhöhtem Aufwand bei der Erstellung und der Durchführung der Düngung. Des Weiteren traten durch den Wechsel zwischen den schlagspezifischen Düngejobs die Komplikationen auf. Es soll überprüft werden, ob durch eine schlagübergreifende Bereitstellung der Applikationskarte der vorbereitende Aufwand reduziert und technische Komplikationen vermieden werden können.

Des Weiteren ist eine erfolgreiche Umsetzung dieses Ansatzes die Voraussetzung für eine schlagübergreifende oder gar überbetriebliche Durchführung der Modulation von Betriebsmitteln im Sinne einer Gewannebewirtschaftung. Hierdurch könnte der ansonsten aufwändige Kartieransatz in einer kleinflächig strukturierten Landwirtschaft effizienter werden und Berechtigung finden. Im Folgenden wird die Bereitstellung einer solchen schlagübergreifenden Applikationskarte im Versuchsjahr 2004 sowie die Durchführung der entsprechenden Stickstoffdüngung beschrieben.

Verdichtung des Beprobungsnetzes

Für höhere Genauigkeiten bei der Verifikation des Erfolges der Maßnahme wurde es als sinnvoll erachtet, für die Untersuchungen im Jahr 2004 das Beprobungsnetz trotz des bisher hohen vorbereitenden Aufwandes zu verdichten. Es sollte sicher gestellt werden, dass alle relevanten Parameter wirklich repräsentativ erfasst werden. [Abbildung 54](#) zeigt das verdichtete Beprobungsnetz für das Untersuchungsjahr 2004. In gleichmäßigen Abständen wurden die bisherigen Rasterpunkte (gelb) mit sogenannten Zwischenpunkten (weiss) ergänzt.

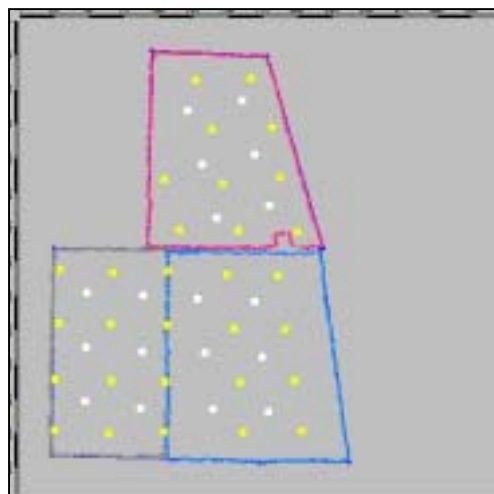


Abb. 54: Verdichtung des Beprobungsnetzes

Berücksichtigte N_{min} -Verteilung

Zur Berechnung der N-Applikationskarte wurde die N_{min} -Verteilung herangezogen, die aus der Probenahme vom 02.06.2004 abgeleitet wurde. In [Abbildung 55](#) wird deutlich, dass die Verteilung nicht wie im Jahr 2003 einzelschlagweise, sondern schlagübergreifend aufbereitet wurde.

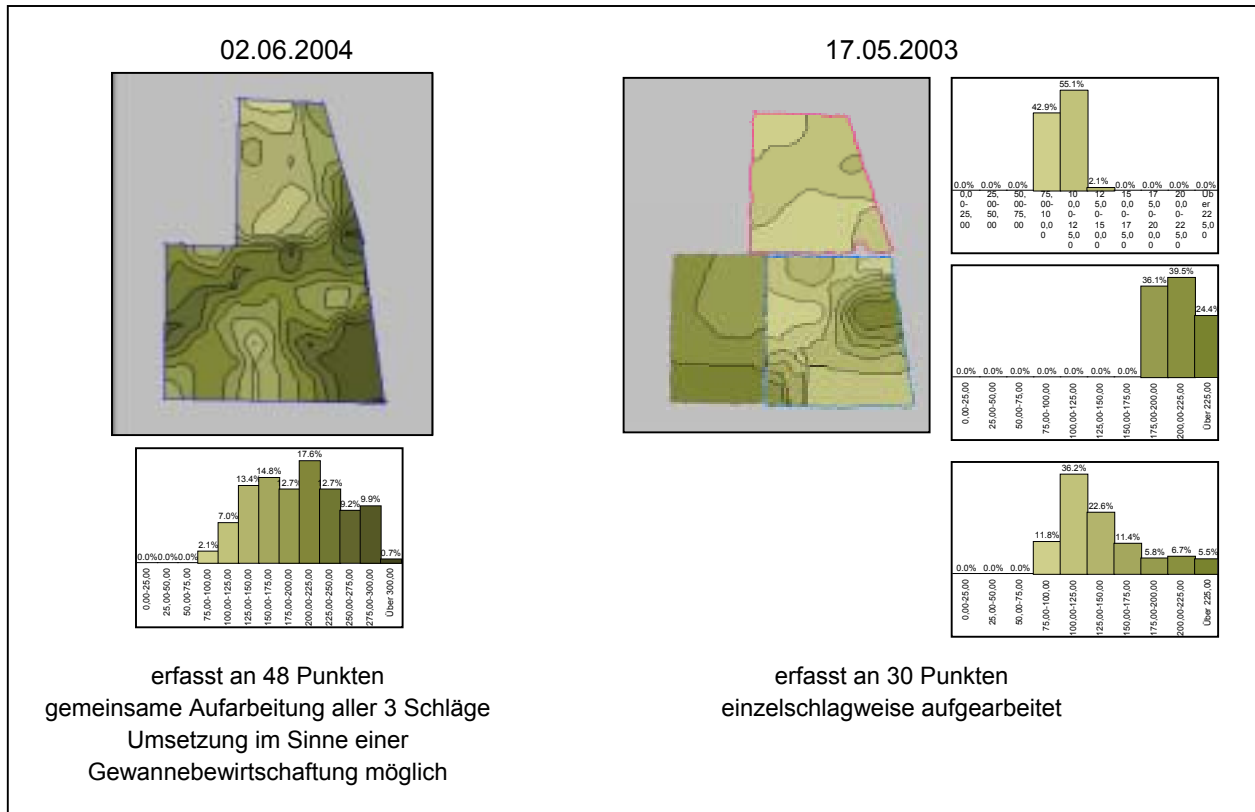


Abb. 55: Schlagübergreifende Aufbereitung der N_{min} -Verteilung im Versuchsjahr 2004

Berücksichtigte Verteilung der Ertragserwartung

Zur Berechnung der Stickstoff-Applikation ist neben der teilflächenspezifischen N_{min} -Verteilung wiederum die Information über die Verteilung der Ertragserwartung eingeflossen. Zur Ableitung der teilflächenspezifischen Verteilung der Ertragserwartung konnten im Versuchsjahr 2004 die Maisertragsverteilungen der letzten 4 Jahre herangezogen werden. Im Einzelnen waren das die Ertragskartierungen aus den Jahren 2000, 2001, 2002 und 2003 ([Abb. 56](#)). Nach Mittelung der Maisertragsverteilungen aller 4 Jahre wurden die Werte auf ein durchschnittliches Ertragsniveau von 120 dt/ha angehoben. [Abbildung 57](#) zeigt die resultierende teilflächenspezifische Verteilungskarte der Ertragserwartung.

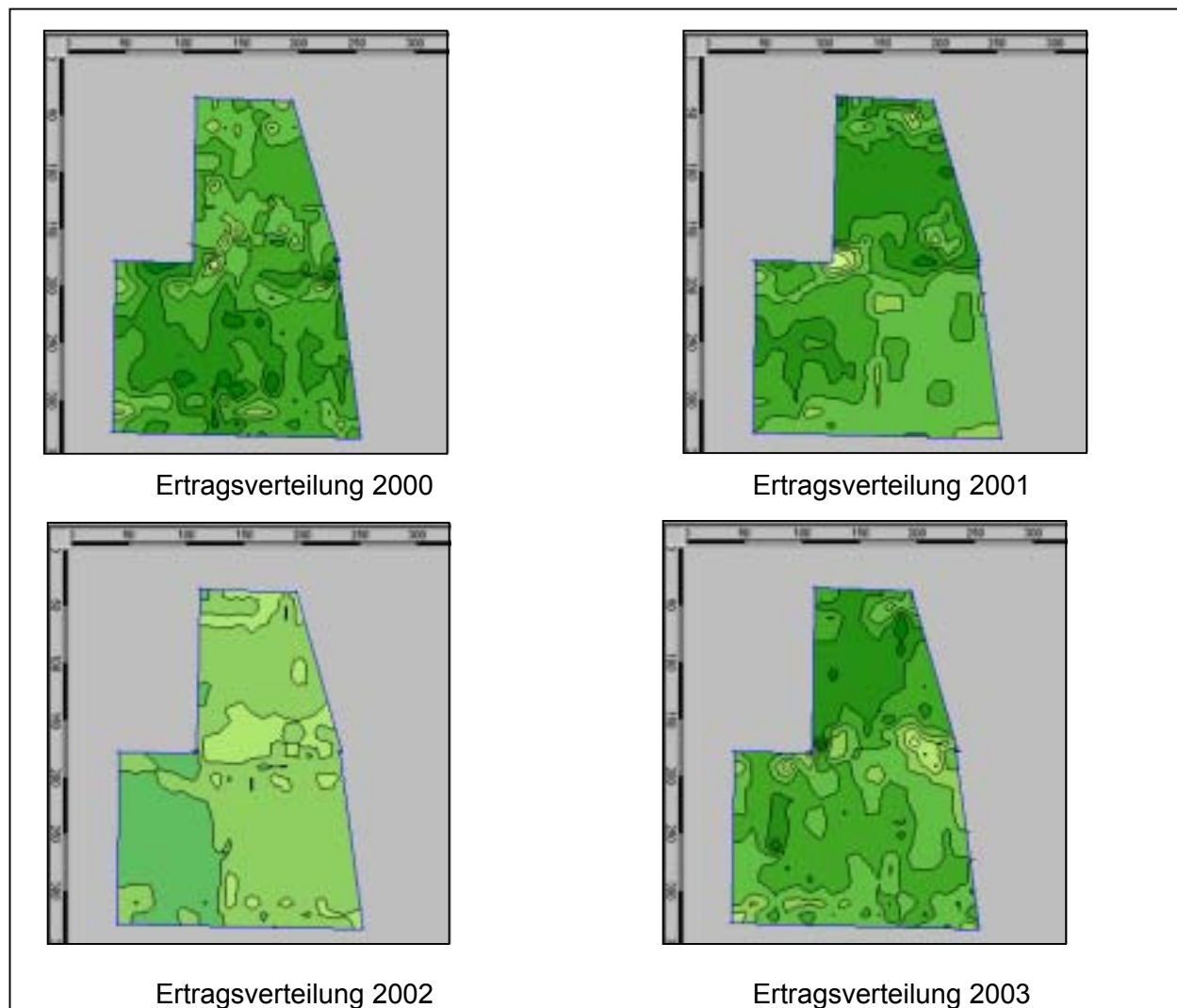


Abb. 56: Für die Verteilung der Ertragserwartung berücksichtigte Ertragsverteilungen

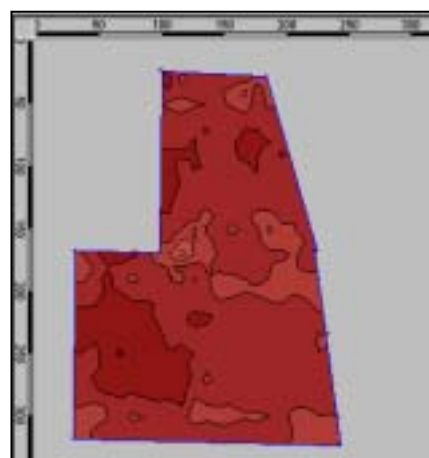
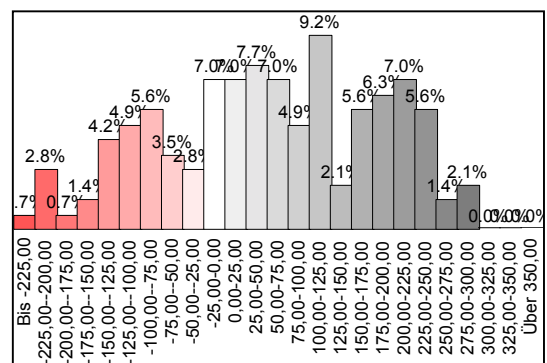
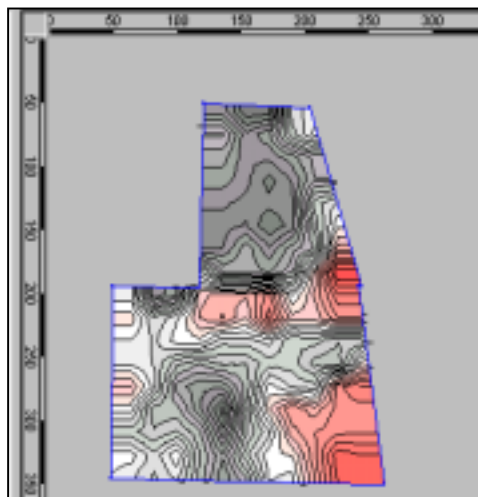


Abb. 57: Bei der Berechnung der N-Applikationskarte zugrundegelegte Ertragserwartungskarte

Abgeleitete Harnstoffkarte

Wie bereits im Jahr 2003 wurden die Stickstoffapplikationskarten aus den beschriebenen Eingangsparametern „N_{min}-Verteilung“ und „Verteilung der Ertragserswartung“ abgeleitet. Da als Düngemittel Harnstoff mit 46% Stickstoffanteil verwendet wurde, ergibt sich im Ergebnis eine Stickstoff-Applikationskarte als „Harnstoffkarte“. Die Ableitung und Berechnung dieser Karte wurde wie im letzten Jahr durchgeführt und ist unter Kapitel 2.1.2.3 (1) beschrieben. Im Gegensatz zur Beschreibung dort wurden allerdings im Jahr 2004 die Daten aller Schläge in einer einzigen Datei zusammengefasst. Nach dieser Vorgehensweise ist die schlagübergreifende Anwendung der Applikationskarte im Sinne einer potentiellen Gewannebewirtschaftung denkbar.



Durchschnittlicher Wert: 53,83 kg/ha
Gesamtmenge: 53,83 kg/ha * 4,5930 ha = 247,22 kg

Abb. 58: Harnstoffapplikationskarte (für die beiden unteren Schläge unter Berücksichtigung von N_{min} nach bereits erfolgter Düngung)

Abbildung 58 zeigt die Harnstoffkarte, wie sie sich aus der Berechnung nach der „guten fachlichen Praxis“ ergibt. Die Vorgabe des Lohnunternehmers bezüglich einer Minimumapplikation ist hierbei noch nicht berücksichtigt. Es handelt sich also um Applikationswerte, wie sie sich nach gegebenem N_{min} und gewünschtem Zielertrag aus der Berechnung nach guter fachlicher Praxis ergeben. In Abbildung 58 ist im rechten Teil die Klassenverteilung dazu dargestellt.

Eine nähere Betrachtung dieser Karte offenbart in den Schlägen I-01 und I-02 (südlich) Bereiche negativer Werte (Rottöne), was bedeutet, dass sich zum Erhebungszeitpunkt von N_{min} bereits zu viel verfügbarer Stickstoff im Boden befunden hat.

Es stellte sich schließlich heraus, dass die Eigentümer der Schläge I-01 und I-02 aufgrund von Unklarheiten und Missverständnissen die Stickstoffapplikation außerplanmäßig durchgeführt haben, indem kurz vor Probenahme von N_{min} jeweils mit einem Pauschalwert flächig undifferenziert (pauschal) gedüngt wurde. Aus diesem Grund konnte die vorgesehene Modulation auf diesen beiden Teilflächen nicht durchgeführt werden.

Obwohl die Applikationskarte also für alle Schläge vorbereitet war, musste Schlag I-03 schließlich separat behandelt werden. Durch diese außerplanmäßige Entwicklung des Versuchsablaufes war es letztlich möglich, die in Eigenregie durchgeführten Düngemaßnahmen auf den Schlägen I-01 und I-02 (beide südlich) als echte Praktikeranwendung unter teilflächenspezifischer Betrachtungsweise zu beurteilen.

Aus diesem Grund wurde Schlag I-03 schließlich als einziger Versuchsschlag moduliert gedüngt. Im Folgenden wird die theoretisch vorgesehene und tatsächliche durchgeführte Stickstoffdüngung für den Schlag I-03 gegenübergestellt. [Abbildung 59](#) zeigt die berechnete Harnstoffkarte isoliert für Schlag I-03.

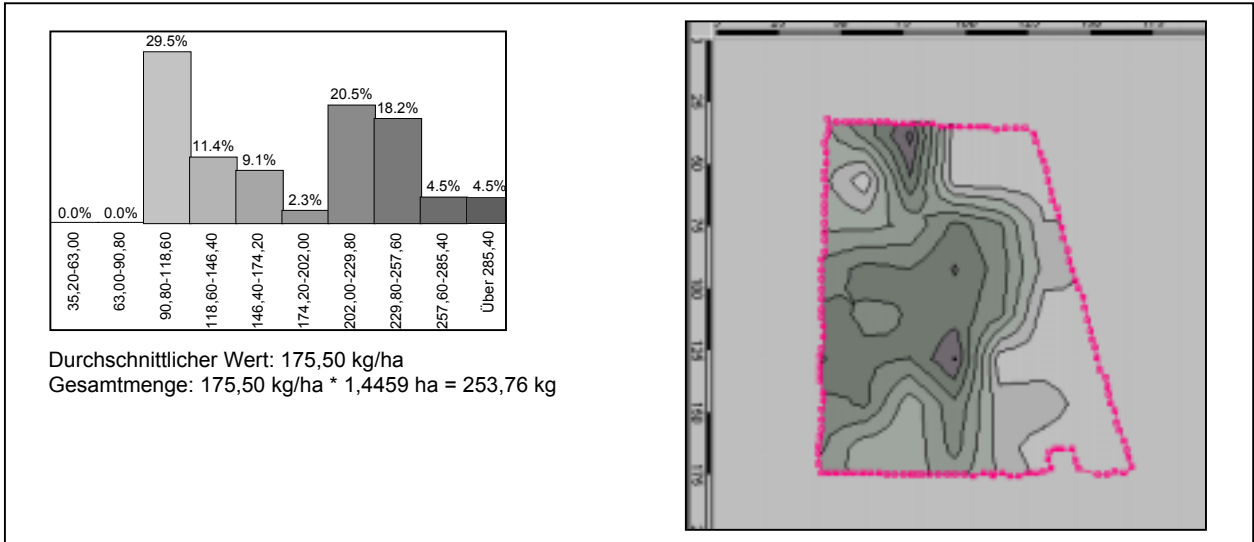


Abb. 59: Für die Modulation auf I-03 abgeleitete Harnstoffkarte (Teilausschnitt Schlag I-03)

Wie bereits im Jahr zuvor wurde diese Harnstoffkarte für die vorgesehene Versuchsanlage in Versuchsstreifen aufgeteilt, wobei jeweils die teilflächenspezifische Modulation und der pauschale Mittelwert aus der Berechnung nach der guten fachlichen Praxis berücksichtigt wurden ([Abbildungen 60 und 61](#)).

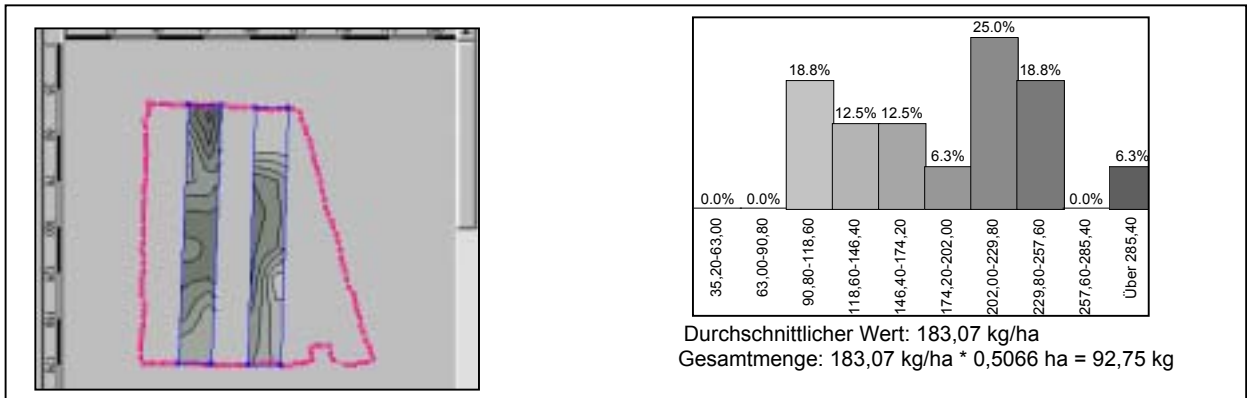


Abb. 60: Teilflächenspezifische Harnstoffkarte nur in Versuchsstreifen

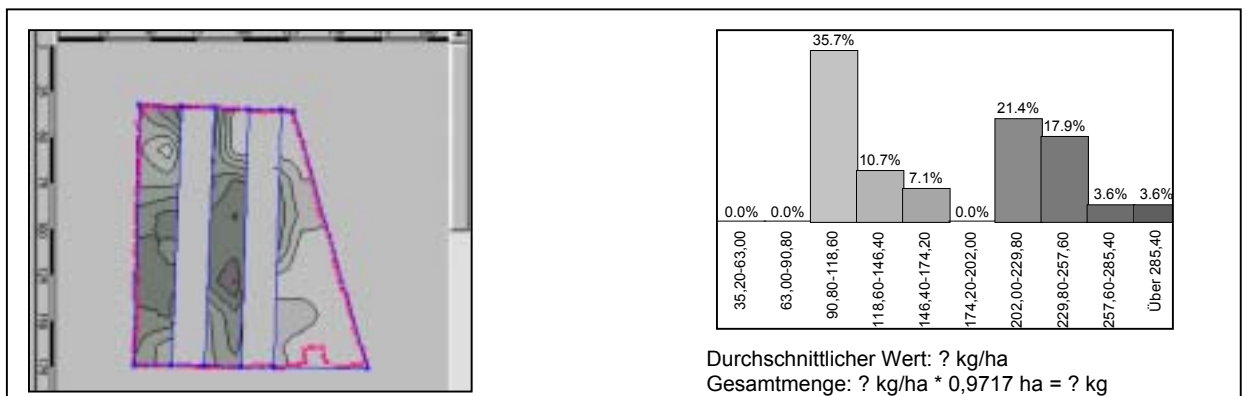


Abb. 61: Theoretisch modulierte Düngung im herkömmlich behandelten Streifen

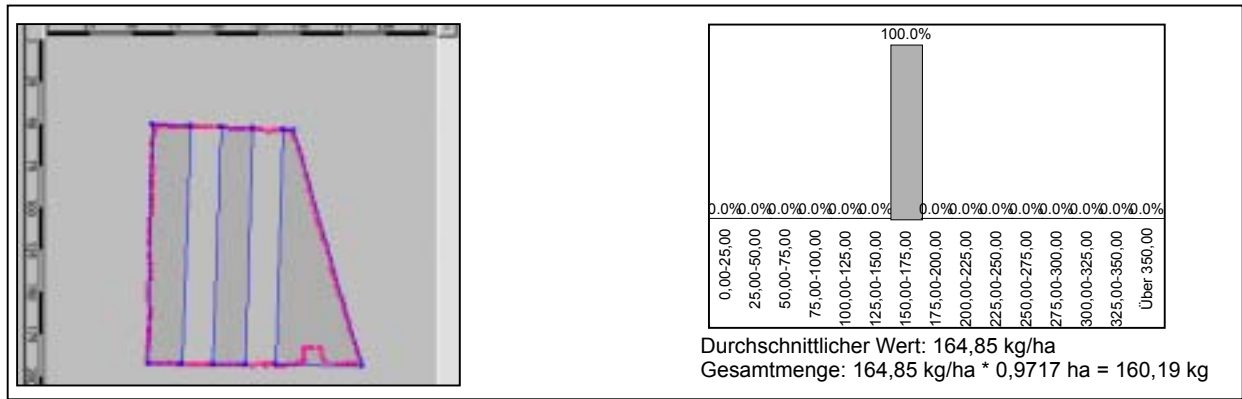


Abb. 62: Dünung pauschal nach Mittelwert im herkömmlich behandelten Streifen

Abbildung 62 zeigt den Austausch der teilflächenspezifisch berechneten Daten mit dem Mittelwert für die herkömmlich zu behandelnden Versuchsstreifen. Abbildung 63 zeigt beide zu einer Harnstoffkarte zusammengeführten Behandelungen und Abbildung 64 die zugehörigen Klassenverteilungen.

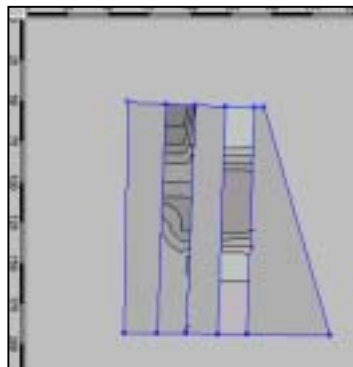


Abb. 63: Zusammenfügung beider Behandelungen zu einer Harnstoffkarte entsprechend der Versuchsanlage

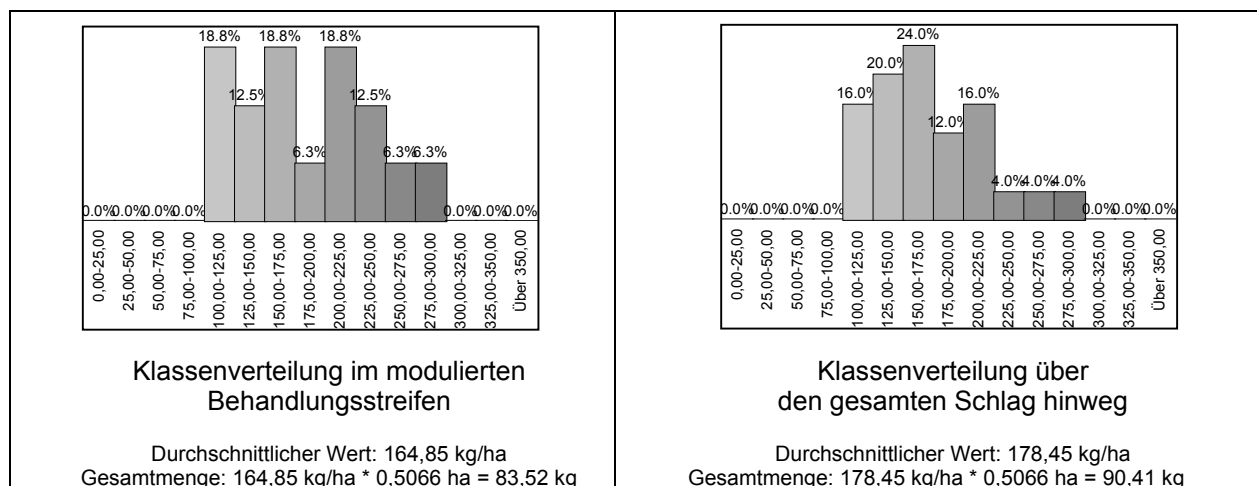


Abb. 64: Klassenverteilungen

Aus dieser Harnstoffkarte wurde schließlich die maschinenlesbare Applikationskarte abgeleitet. Hierzu wurden im Versuchsjahr 2004 aufgrund der umgesetzten Versuchsanlage mit 18 m breiten Versuchsstreifen Applikationspixel von 18 m mal 18 m ausgewählt (Abb. 65).

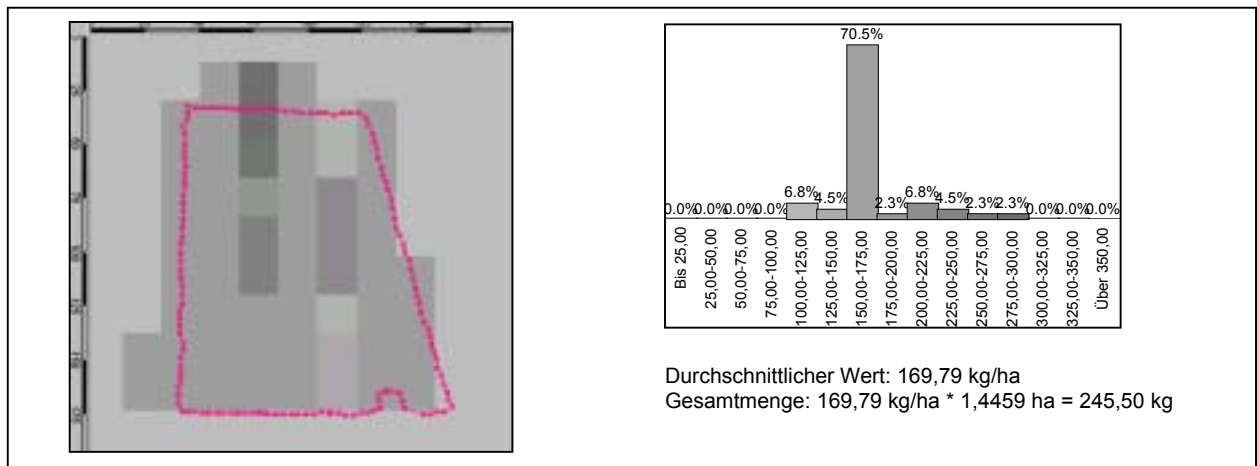


Abb. 65: In Schlag I-03 verwendete Applikationskarte

Technische Umsetzung

Wie im Jahr zuvor wurde zur Umsetzung der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung die berechnete maschinenlesbare Stickstoff-Applikationskarte über eine PCMCIA-Karte am Bordcomputer des Trägerfahrzeuges eingelesen. Über einen GPS-Empfänger erhält dieser Bordcomputer die aktuellen Lageinformationen, wodurch der berechnete Applikationswert für die augenblickliche Position erkannt und vom Steuerrechner des Düngestreuers übernommen werden kann. Auf diese Weise wird der in der Applikationskarte vorgesehene Wert ortsspezifisch ausgebracht.

Die Korrektheit der technischen Umsetzung der Applikation kann einerseits durch einen Vergleich der am Display des Steuerrechners sichtbaren Applikationsmenge mit dem im Bordrechner des Trägerfahrzeuges (ACT) durch die Applikationskarte vorgegebenen Menge und andererseits durch die Kontrolle der Einstellung des mechanischen Schiebers zur Steuerung der Ausbringungsmenge am Anbaugerät selbst überprüft werden.

Durch diese Kontrollen ist während der Applikation ein nicht ordnungsgemäßes Ansteuern des Düngestreuers auffällig geworden. Dies hat dazu geführt, dass die erste Umfahrung des Schlages I-03 ebenfalls mit einem Pauschalwert gedüngt wurde. Nachdem der Fehler schließlich behoben werden konnte, wurde der Rest des Schlages unter Zuhilfenahme der berechneten Applikationskarte appliziert, wobei zuvor eine Mindestmengenvorgabe des Lohnunternehmers (100kg Harnstoff/ha) Berücksichtigung gefunden hat. [Abbildung 66](#) zeigt die resultierende tatsächliche Düngung des Schlages I-03.

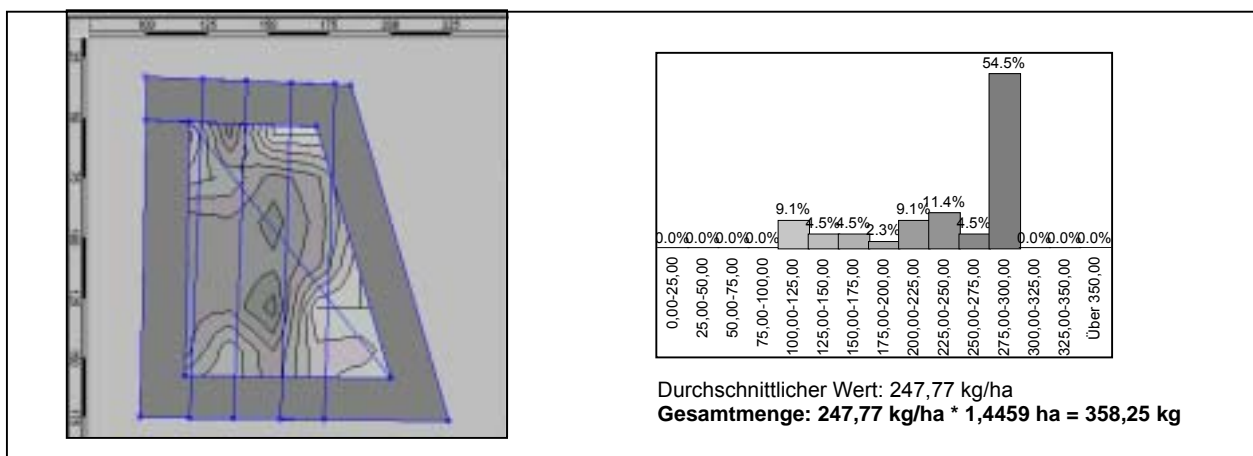


Abb. 66: Teilflächenspezifische Harnstoffkarte mit eingefügter zusätzlicher Düngevariante

Abbildung 67 zeigt anhand der Klassenverteilungen der entsprechenden Harnstoffkarten nochmals die Unterschiede zwischen geplanter und tatsächlich durchgeführter Applikation auf Schlag I-03. Die Variante mit ergänzter umlaufender außerplanmäßiger Düngung wird durch das hohe Applikationsniveau dieser Teilfläche deutlich.

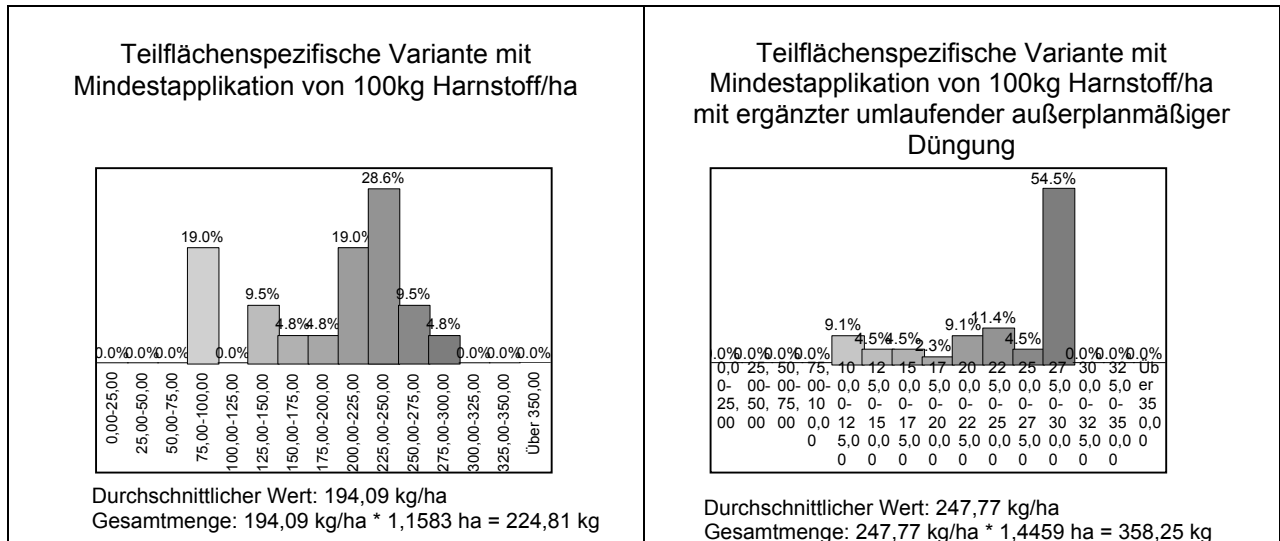


Abb. 67: Verteilungen der Klassenhäufigkeiten der betroffenen Harnstoffkarten

Als Ergebnis dieses Versuches wird die Bedeutung der durchgeführten Maßnahmen für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein in Kapitel 3.1.2 dargelegt.

(3) Teilflächenspezifische Stickstoffapplikation unter Verwendung eines Wachstumsmodells (Apollo) im Jahr 2005

In den Versuchsjahren 2003 und 2004 konnte die grundsätzliche Umsetzbarkeit der Modulation der Betriebsmittel mit Hilfe des Kartieransatzes unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen bestätigt werden. Neben vielen Komplikationen haben aber insbesondere der hohe Vorbereitungsaufwand, die Vielzahl von benötigten N_{\min} -Beprobungen und die zeitliche Festlegung der vorbereitenden Tätigkeiten in großer Zeitnähe zur Modulationsmaßnahme dazu geführt, nach alternativen Verfahren bzw. nach Verbesserungen zu suchen.

Das Versuchsjahr 2004 war dementsprechend geprägt durch Versuche zur Ermittlung des Potenzials alternativer Methoden und Datenerfassungen im Bereich der Online-Sensoren und der Fernerkundung.

Aufgrund mangelnder Tauglichkeit bzw. mangelnder Verfügbarkeit von Onlinesensoren wurde das Augenmerk für die Modulation der Betriebsmittel im Jahr 2005 erneut auf den Kartieransatz gelegt. Allerdings wurde nach Wegen gesucht, die festgestellten Nachteile weitgehend zu minimieren. Durch die bisherige Kooperation mit der Uni Hohenheim auf den Versuchsschlägen wurde schließlich hierzu ein gemeinsamer Weg gefunden, der eine vollkommene Umstellung des Verfahrens bedeutet. Für das Jahr 2005 wurde die Berechnung der Applikationskarte daher nicht mehr nach „guter fachlicher Praxis“ fortgeführt. Unter Hilfestellung durch die Uni Hohenheim wurde ein wissenschaftliches Wachstumsmodell in den Prozess der Applikationskartenerstellung integriert.

Da in diesem Modell eine Vielzahl von Parametern aus zurückliegenden Jahren berücksichtigt wird, entfällt dabei der Nachteil der erforderlichen zeitnahen Erfassung. Als vorteilhaft wirken sich dabei ein reduzierter Erhebungsaufwand der Eingangsparameter und die zeitliche Entkoppelung der Applikationskarte aus. Diese Vorteile greifen allerdings erst, wenn die Eingangsparameter zur Wachstumsmodellierung einmalig erhoben worden sind.

Das wissenschaftliche Wachstumsmodell

Beim **Modell APOLLO** (Application of Precision Agriculture for Field Management Optimization) handelt es sich um ein Pflanzenwachstumsmodell. Die berechnete Simulation basiert auf den „CERES“ und „CROPGRO“-Algorithmen. Das Modell simuliert auf einer täglichen Basis den Effekt von:

- Klima,
- Boden,
- Bodenwasser,
- Genotyp, sowie die
- Boden- und Pflanzenstickstoffdynamik

auf das Pflanzenwachstum und den Ertrag.

In das Modell fließen Informationen ein über:

- das Klima (Temperatur, Niederschlag, Solarstrahlung,...),
- die Bodeneigenschaften (Textur, Nährstoffgehalt,...)
- die Kulturart, Sorteneigenschaften und mindestens dreijährige Ertragsdaten und
- das Management der Schläge (Aussaat, Düngung, Ernte,...)

Anhand von historischen Ertragsdaten kann so das Ertragspotential auf dem Schlag errechnet und das Modell kalibriert werden. Hierzu werden auch Bodeneigenschaften, wie das Vorkommen von Pflugsohlen, die Durchwurzelbarkeit des Bodens und die Wasserverfügbarkeit herangezogen. Unter Verwendung unterschiedlicher Szenarien werden die simulierten mit den realen Ertragsdaten möglichst homogen angeglichen.

Als Ergebnis einer solchen Kalibrierung erhält man schließlich eine Graphik, welche Auskunft darüber gibt, wie gut das Modell das Ertragspotential eines Schlages simulieren kann. Dazu wird der tatsächlich gemessene Kornertrag mit dem simulierten Kornertrag über mehrere Jahre hinweg verglichen (Abb. 68).

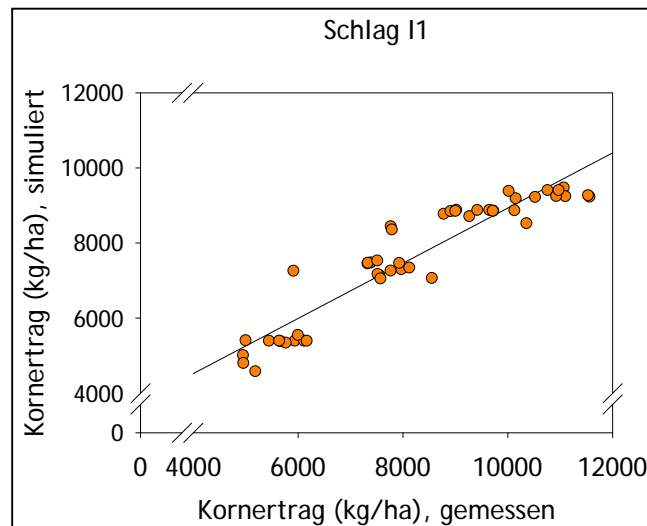


Abb. 68: Ergebnis der Kalibrierung des Wachstumsmodells

Mit Hilfe dieser Kalibrierung wurden auf den Versuchsschlägen Teilflächen mit unterschiedlichem Ertragspotential ermittelt. Dieses Ertragspotential dient als Grundlage für die Berechnung der Düngeempfehlung.

Um die Aussage des Modells abzusichern, wurde das Ertragspotential über einen langfristigen Zeitraum untersucht. Dazu werden Wetterdaten aus den letzten 30 Jahren des Landkreises Emmendingen herangezogen (Wetterstation Emmendingen-Mundingen, Deutscher Wetterdienst).

Die Berechnung der optimalen Stickstoffdüngung erfolgt dabei nach ökonomischen Gesichtspunkten, d.h. sie erfolgt unter der Annahme des Stickstoffpreises und des Erlöses für Mais. Um eine Ertragssicherheit zu gewährleisten, sollen aber im Minimum 80 kg N/ha ausgebracht werden (Kurzbeschreibung nach LINK, J. 2005). Die Berechnung der Stickstoffapplikationswerte nach diesem Wachstumsmodell wurden vollständig an der Uni Hohenheim durchgeführt und dem vorliegenden Projekt zur Verfügung gestellt. Im Gegenzug sorgten die Projektmitarbeiter für die technische Umsetzung der Applikationsmaßnahme.

Vorgaben für die Applikationskarte nach Apollo

Für diesen Versuch wurde auch im Jahr 2005 die bisherige Versuchsanordnung beibehalten, so dass auf den drei Versuchsschlägen wiederum Versuchsstreifen einheitlicher und teilflächenspezifischer Stickstoffdüngung eingerichtet wurden:

Abbildung 69 zeigt die Anordnung der Versuchsstreifen, wobei die Streifen teilflächenspezifischer Maßnahmen eingefärbt dargestellt sind. Diese Anordnung ist identisch zu

derjenigen der beiden Versuchsjahre zuvor. Neu ist die Unterteilung in weitere Unterparzellen, welche als kleinste Teilflächen jeweils eine einheitliche Behandlung erfahren. Die Versuchsstreifen haben wie in den Jahren zuvor eine Breite von 18 m.

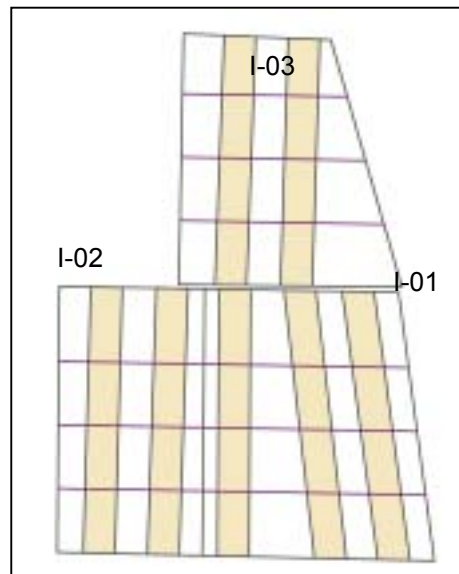


Abb. 69: Anordnung der Versuchsstreifen (teilflächenspezifische Maßnahme eingefärbt)

Während die teilflächenspezifische Düngung, anders als in den bisherigen Jahren, über das Modell Apollo ermittelt wird, dienen die einheitlich gedüngten Flächen als Kontrollflächen zu den teilflächenspezifisch gedüngten Flächen.

Dabei sollte folgende Düngestrategie ([Abb. 70](#)) umgesetzt werden:

- Die **erste** Düngergabe war mit der Aussaat zu kombinieren. Auf dem gesamten Schlag sollte eine einheitliche Starterdüngung von ca. 30-40 kg N/ha erfolgen.
- Die **zweite** Düngergabe erfolgte zum Vierblattstadium.

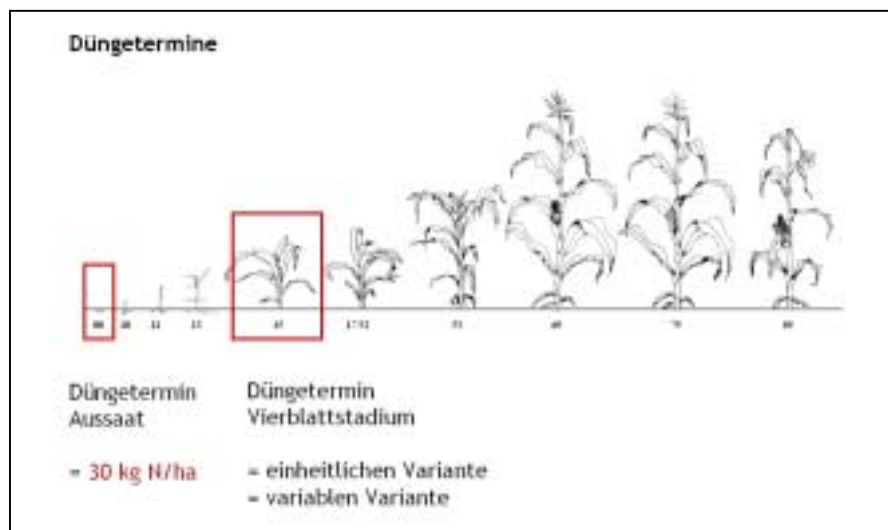


Abb. 70: Düngetermine entsprechend der Versuchsanlage im Jahr 2005

Die Berechnung der Düngermenge auf den **einheitlich** zu düngenden Flächen erfolgte dabei nach „guter fachlicher Praxis“ unter Berücksichtigung der N_{\min} -Werte aus dem Frühjahr. Die

Berechnung der Düngemenge für die **teilflächenspezifisch** angepassten Flächen erfolgte mit Hilfe des Wachstumsmodells „APOLLO“.

Dabei wurden von Seiten der Uni Hohenheim 30 unterschiedliche Düngegaben (zwischen 0-300 kg N/ha) unter Berücksichtigung von langjährigen Wetterdaten simuliert und hinsichtlich Ertrag und Reststickstoff im Boden analysiert. Die Ermittlung der optimierten N-Düngung in jeder kleinsten Teilfläche erfolgte dann nach der Formel in [Abbildung 71](#):

$$NR_{n,t} = Y_{n,t} * P_M - N_{n,t} * P_N + CP_{n,t}$$

$NR_{n,t}$	= Nettoertrag (€/ha) in Grid n und Jahr t
$Y_{n,t}$	= Maisertrag (kg/ha) in Grid n und Jahr t,
P_C	= Kosten für Mais (€/kg),
$N_{n,t}$	= N-Düngermenge (kg N/ha) in Grid n und Jahr t,
P_N	= Kosten für N-Dünger (€/kg)
$CP_{n,t}$	= Ausgleichszahlung im Wasserschutzgebiet (165 €/ha) in Grid n und Jahr t.

Abb. 71: Berechnungsformel der optimalen Düngung auf den kleinsten Teilflächen

Unter Berücksichtigung dieses Wachstumsmodells ergeben sich dann die in [Abbildung 72](#) gezeigten teilflächenspezifischen Düngevarianten: Deutlich zu sehen ist die einheitliche Kontrollvariante von 97 kg N/ha auf allen Versuchsflächen. Innerhalb der Versuchsstreifen variieren die Düngemengen auf den kleinsten Teilflächen zwischen 80 und 120 kg N/ha.

Die über die modulierte Ausbringung der Betriebsmittel hinausgehende weitere Betreuung der Versuchsflächen wird aufgrund der zeitlichen Begrenzung des vorliegenden Projektes von Seiten der Uni Hohenheim aus weitergeführt.

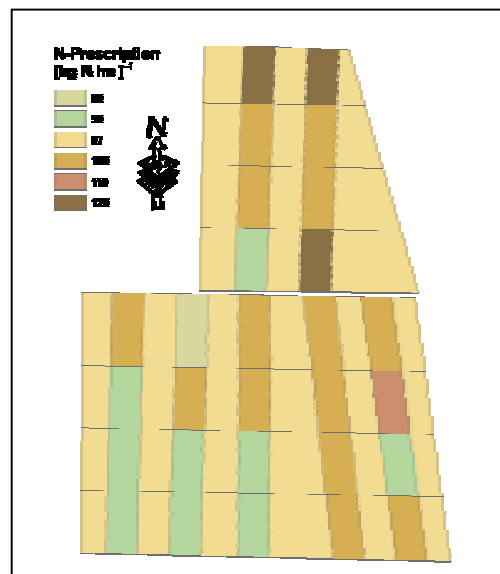


Abb. 72: Versuchsanlage nach „Apollo“ mit modulierten und nicht modulierten Behandlungstreifen

Hierbei ist ein Vergleich der einheitlichen und der teilflächenspezifisch angepassten Stickstoffdüngung hinsichtlich Ertrag und Reststickstoff im Boden vorgesehen. Darüber hinaus werden folgende Daten erhoben:

- Biomasse (Vierblattstadium, Blüte, Ernte)
- N-Gehalt Pflanze (Vierblattstadium, Blüte, Ernte)
- N-Gehalt im Boden (Vor Aussaat, Vierblattstadium, nach Ernte)
- Evtl. Verdichtung im Untergrund
- Messung des Bodenwassergehaltes

Applikationskartenerstellung

Die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel unter Vorgabewerten durch die „Apollo“-Simulation wurde, wie auch in den Jahren zuvor, in der Software „Agromap Basic“ umgesetzt.

Abbildung 73 zeigt die „Messwertkarte“, welche sich aus den Kontroll-Versuchsstreifen mit pauschalem Mittelwert und den teilflächenspezifisch differenzierten Modulationsstreifen nach „Apollo“ zusammensetzt. Diese Applikationskarte wurde schließlich in eine maschinenlesbare „Sollwertkarte“ umgerechnet.

Abbildung 74 zeigt die Applikationskarte wie sie im Jahr 2005 auf den Versuchsflächen zum Einsatz kam, indem sie über eine PCMCIA Karte auf den ACT-Bordrechner des Schleppers übertragen wurde. Als sehr angenehm wurde empfunden, aufgrund der errechneten Simulationswerte aus dem Wachstumsmodell, die Applikationskarte rechtzeitig bereits im März erstellen zu können, ohne kurzfristig unter Zeitdruck zu geraten. So war die Karte bereits 3 Monate vor Ihrem tatsächlichen Einsatz fertiggestellt und verfügbar und wäre jederzeit auch kurzfristig vom Lohnunternehmer abrufbereit gewesen. Vor Umsetzung der Applikationskarte wurde diese allerdings auf Plausibilität überprüft. Hierzu wurde an den Rasterpunkten eine N_{\min} -Beprobung durchgeführt und wie bisher eine teilflächenspezifische Applikationskarte nach „guter fachlicher Praxis“ errechnet. Im Folgenden wird diese Plausibilitätsprüfung näher beschrieben.

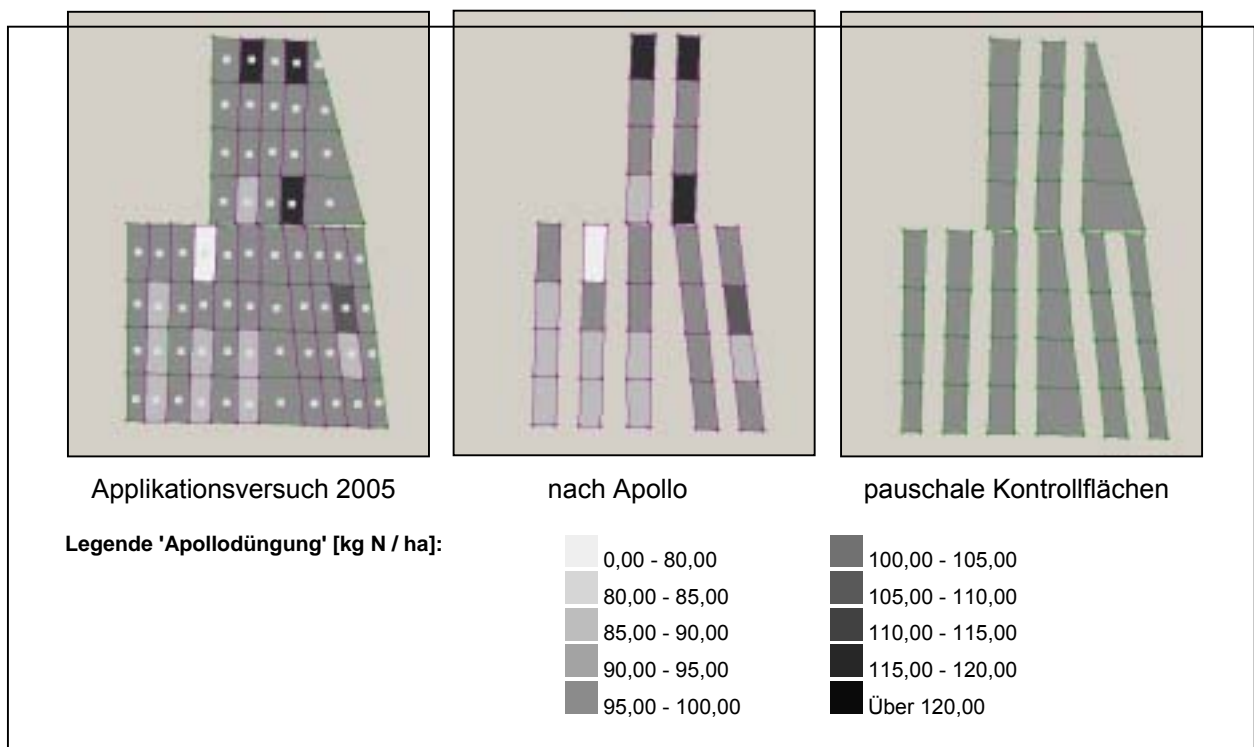


Abb. 73: Versuchsanordnung 2005 nach „Apollo“ umgesetzt als „Messwertkarte“ in „Agromap Basic“

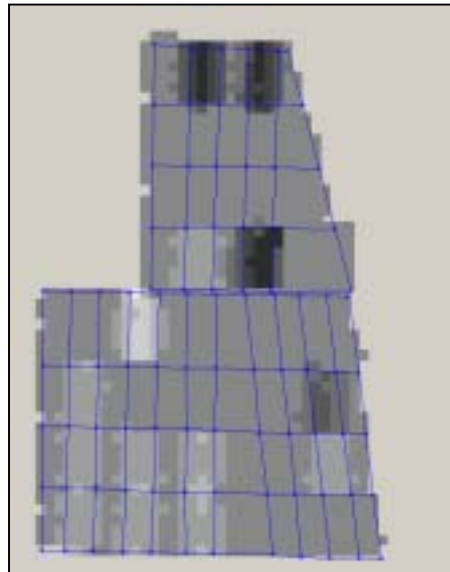


Abb. 74: Applikationskarte zur Umsetzung des Düngerversuches unter Integration des Wachstumsmodells „Apollo“, wie sie im Versuchsjahr 2005 zum Einsatz kam

Plausibilitätskontrolle durch Berechnung der Applikation nach guter fachlicher Praxis

Am 03.06.2005 wurde an den Rasterpunkten der Versuchsflächen wie bisher auch eine N_{min} -Beprobung durchgeführt. [Abbildung 75](#) zeigt die resultierende N_{min} -Verteilung als flächig interpolierte Verteilungskarte.

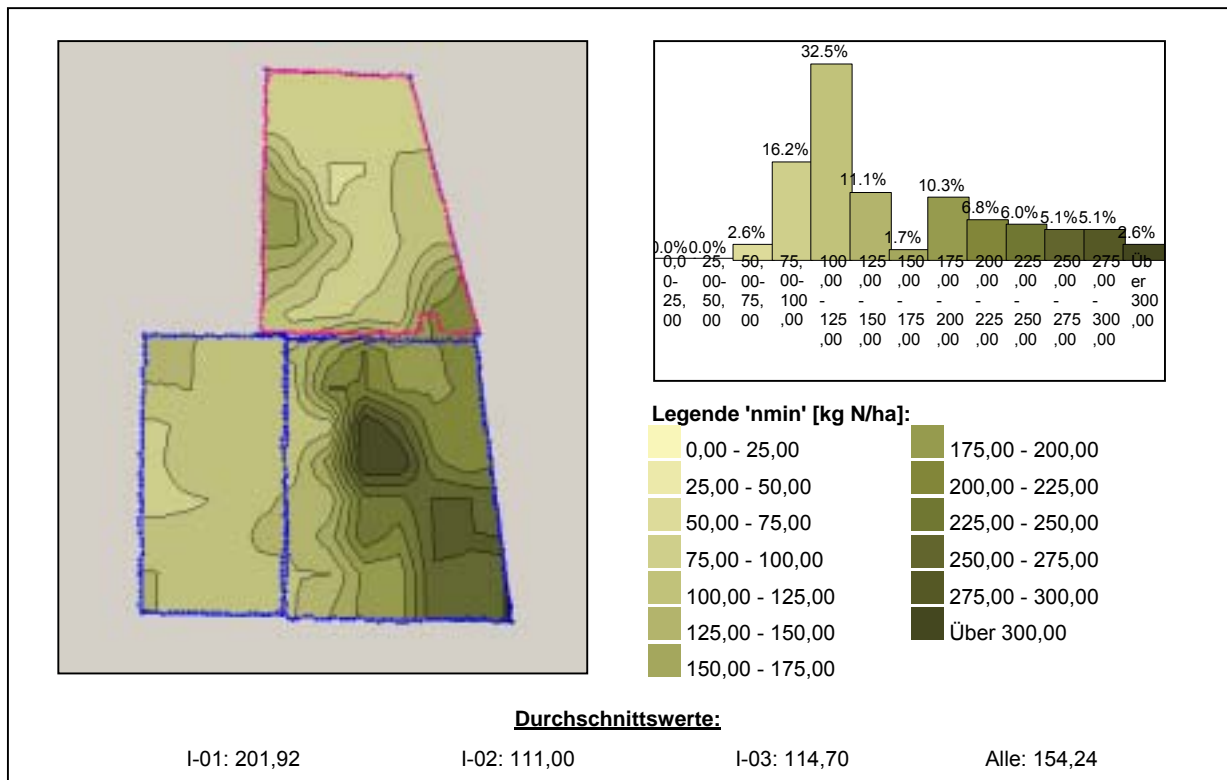


Abb. 75: N_{min} -Verteilung nach der Beprobung vom 03.06.2005

Ausgehend von diesen aktuellen N_{min} -Werten wurde, wie in den beiden Jahren zuvor, eine Applikationskarte nach der „guten fachlichen Praxis“ berechnet. Im Jahr 2005 diente sie zur

Überprüfung der Plausibilität der Maßnahme nach Apollo. **Abbildung 76** zeigt diese Applikationskarte als flächig interpolierte Verteilungskarte.

Es zeigt sich, dass in einem großen Bereich des Schlages I-3 nach der Berechnung der „guten fachlichen Praxis“ kein Dünger mehr ausgebracht werden dürfte, weil N_{\min} hier bereits höhere Werte annimmt, als nach dem berechneten Stickstoff-Bedarf benötigt wird (rote Teilflächen). Alle roten Teilflächen in **Abbildung 76** mussten daher aus der Düngemaßnahme herausgenommen werden. Es hat sich schließlich herausgestellt, dass der Eigentümer auf der betreffenden Fläche im Frühjahr, entgegen der Versuchsanordnung, 170 kg N/ha als ENTEC-Vorlage ausgebracht hat. Dieser Langzeitdünger, der den gesamten Jahresbedarf abdecken soll, ist aber offensichtlich auf einem Teil der Fläche ausgeschwemmt worden.

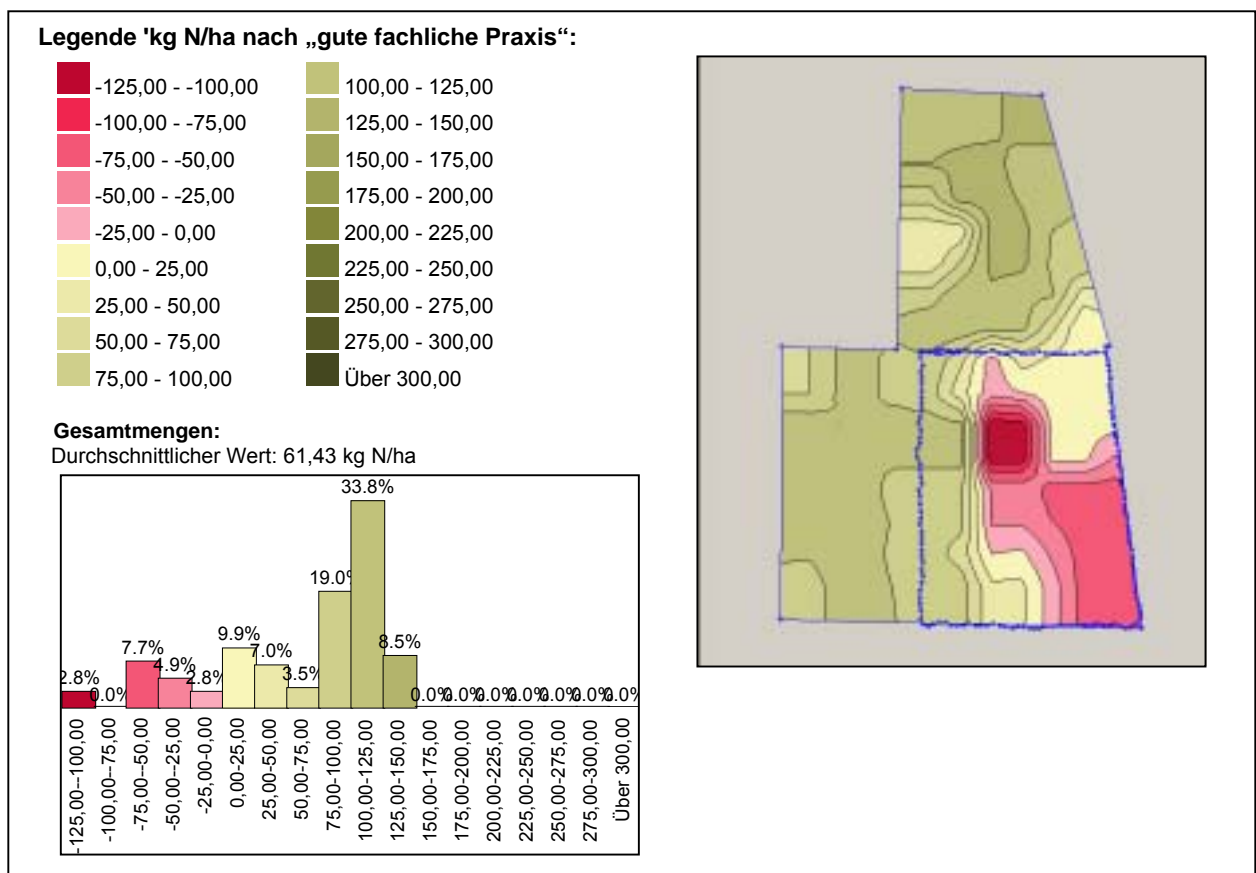


Abb. 76: Teilflächenspezifische N-Applikation (2005), berechnet nach der guten fachlichen Praxis als interpolierte Verteilungskarte (Messwertkarte in Agromap Basic)

Für die Durchführung des Versuches bedeutet das, dass für die Teilfläche I-01, abweichend von der geplanten Versuchsanordnung, eine gesonderte Behandlung nötig ist.

Was die restlichen Flächen betrifft konnte durch den Vergleich mit der Berechnung nach der „guten fachlichen Praxis“ die Plausibilität für die Düngung nach „Apollo“ nachgewiesen werden (**Tab. 8**).

Tab. 8: Durchschnittliche Düngemengen berechnet nach „Apollo“ und „guter fachlicher Praxis“

	Apollo	gute fachliche Praxis	Differenz
Durchschnitt alle	210 kg HS/ha	159,90 kg HS/ha	-50,10 kg HS/ha
Durchschnitt I-01	210 Kg HS/ha	93,67 kg HS/ha	-116,33 kg HS/ha
Durchschnitt I-02	206 Kg HS/ha	223,30 kg HS/ha	17,30 kg HS/ha
Durchschnitt I-03	212 Kg HS/ha	224.98 kg HS/ha	12,98 kg HS/ha

Durchführung der Düngung nach APOLLO

Nachdem der Vergleich mit der Berechnung nach der „guten fachlichen Praxis“ die Plausibilität der „APOLLO“ Maßnahme bestätigt hat, wurde die entsprechende Versuchsanlage umgesetzt. Nach Rücksprache mit dem Bodenprobennehmer, der auch Düngeempfehlungen abgibt, wurden die durch die ENTEC-Maßnahme mit zu hohen N_{\min} -Werten behafteten Flächen von der Düngemaßnahme ausgenommen. Alle restlichen Flächen wurden nach der vorbereiteten Applikationskarte nach „Apollo“ teilflächenspezifisch gedüngt (Abb. 74).

Abbildung 77 zeigt, welche Bereiche von der Düngemaßnahme ausgenommen wurden.

Die Ergebnisse bezüglich der Umsetzbarkeit der Modulation der Stickstoffdüngung mit diesem Ansatz sind unter 2.1.2.3 (3) beschrieben.

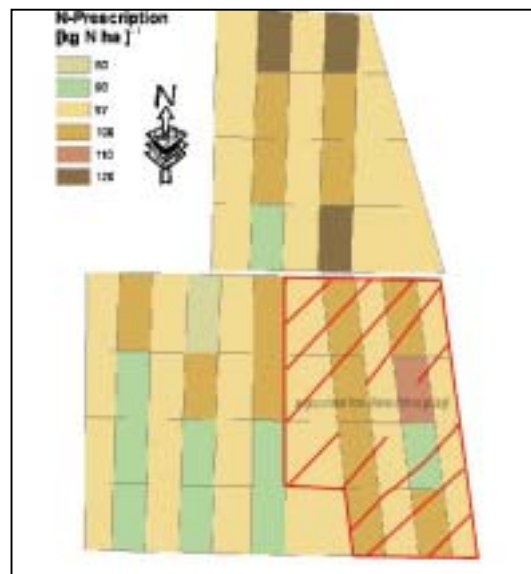


Abb. 77: Ausschlussflächen für Apollo-Maßnahme 2005

(4) Einsatz eines verfügbaren Online-Verfahrens (Cropmeter) im Jahr 2004

Aufgrund der Vielzahl von Komplikationen beim Einsatz des verwendeten Offline-Verfahrens im Versuchsjahr 2003 wurde es für das Jahr 2004 als sinnvoll erachtet, neben der Weiterführung des Kartieransatzes zu überprüfen, ob für eine praxistaugliche Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln alternative Verfahren zielführend sein können. Aufgrund der Problematik der kleinflächigen Parzellen und dem damit stark erhöhten Vorbereitungsaufwand des Kartieransatzes sind dabei als Alternativen insbesondere Online-Verfahren in Betracht zu ziehen. Bei diesen werden die Ausgangsparameter für eine abgeleitete teilflächenspezifische Applikation während der Anwendung selbst erfasst. Der Vorbereitungsaufwand reduziert sich dabei auf ein Minimum.

Deshalb sollte im Versuchsjahr 2004 einer der unter Kapitel 1.3 (1) vorgestellten Online-Sensoren in die Versuche mit einbezogen werden. Dabei sollte die Versuchsfläche mit Hilfe eines solchen Sensors abgescannt werden, ohne dabei Stickstoff auszubringen. Die resultierende Applikationskarte sollte mit derjenigen aus dem Offline-Verfahren verglichen werden, um hieraus Art und Aufwand ihrer Erstellung, aber auch ihre Plausibilität beurteilen zu können.

Weil der von den Online-Sensoren der „Cropmeter“ als einziger Sensor für das Projekt verfügbar war, wurde dieser für den vorgesehenen Vergleich herangezogen.

Wie bei allen vorgestellten Sensoren liegen allerdings auch für den Einsatz des Cropmeters im *Körnermais* nur wenige Erfahrungen vor, was bei der Projektplanung ein weiterer Grund war, die eigentliche teilflächenspezifische Stickstoffdüngung erneut mit Hilfe des zwar aufwändigen, aber doch umsetzbaren Offline-Kartieransatzes durchzuführen und den Online-Sensor hingegen lediglich zum Abscannen der Flächen zu verwenden.

Installation und Inbetriebnahme des Pendelsensors

Der Anbau des zur Verfügung gestellten Pendelsensors gestaltete sich recht einfach und überschaubar:

Die Mechanik des Gerätes wird an der Dreipunktaufhängung der Fronthydraulik befestigt. In der „Elektronikbox“ des „Cropmeters“ werden die eigentlichen Erfassungssensoren mit eindeutig markierten Steckkontakten angeschlossen. Diese „Elektronikbox“ selbst benötigt darüber hinaus eine Stromversorgung über das 12 Volt-Bordnetz des Traktors, sowie eine Verbindung zum ACT-Bordrechner, der wiederum mit dem Anbaustreuer Bogballe MR3 kommuniziert.

Obwohl vor Durchführung des Versuches mit der Firma „Agrocom“ Kontakt hergestellt wurde, um die Konfiguration des Schleppers mitzuteilen, gab es wie bereits im Jahr zuvor Komplikationen mit der Steckverbindung, da ein nicht passendes Adapterkabel zum vorhandenen „ACT“ mitgeliefert wurde.

Der beim Lohnunternehmer verfügbare ACT bestand aus der ersten Serie. Mittlerweile ist eine dritte Serienreihe aktuell. Unter anderem unterscheiden sich diese durch das Steckersystem der Verbindungsschnittstelle. Ohne Adapter wäre der Stecker des Cropmeters für die dritte ACT-Serie passend gewesen. Der mitgelieferte Adapter war passend für die zweite Serie. Da die ungewöhnlichen Steckerformate nicht ohne Weiteres zu erwerben sind, wäre der Versuch an dieser Problematik fast gescheitert.

Da an diesem Tag von Seiten des Projektteams auch eine Informationsveranstaltung zur Präzisionslandwirtschaft durchgeführt wurde, konnte über einen dort teilnehmenden Lohnunternehmer ein passender ACT mitgebracht werden, an welchem der Sensor dann problemlos über die passende Schnittstelle angeschlossen werden konnte. [Abbildung 78](#) zeigt den fertig angeschlossenen und betriebsbereiten Pendelsensor „Cropmeter“.



Abb. 78: Betriebsbereiter Pendelsensor „Cropmeter“

Einsatz des Pendelsensors zur Applikationskartenerstellung

Da der zur Verfügung stehende serienmäßige „Cropmeter“ für Getreide ausgelegt ist, die Versuche zur Weiterentwicklung des Gerätes im Mais aber noch nicht abgeschlossen sind, musste das Gerät für den vorgesehenen Test der Bestandesdichtemessung im Mais zunächst modifiziert werden:

Die Maispflanzen stehen in relativ weiten Reihen, wobei die Einzelpflanzen einen relativ hohen Widerstand darstellen. Im Gegensatz dazu setzt sich die Dichtemessung des Pendels beim Getreide durch eine hohe Anzahl von weniger stabilen Halmen zusammen.

Durch diese grundsätzlichen Unterschiede musste die Modifikation des Pendels derart vorgenommen werden, dass sowohl ein für den Pendel adäquater Widerstand als auch die Gleichförmigkeit der Messung des Bestandes sichergestellt ist.

Um den knapp kniehohen Maispflanzen im 7 Blatt-Stadium einen angemessenen Widerstand entgegen zu stellen, wurde der Pendel deshalb provisorisch derart verbreitert, dass er zugleich drei Reihen auf einmal erfasst. Mit dem auf diese Art und Weise modifizierten Pendel wurde versucht, die Versuchsschläge abzuscannen.

Die Ergebnisse des Versuches bezüglich der Umsetzbarkeit der Modulation von Betriebsmitteln finden sich in Kapitel 3.1.2.

(5) Tests zum Potenzial von Fernerkundungsverfahren

Wie beschrieben sollte im Versuchsjahr 2004 das Potenzial zur Modulation der Stickstoffdüngung durch das Kartierverfahren und durch einen verfügbaren Online-Sensor überprüft werden. Um die Möglichkeiten der Ableitung von Applikationskarten zu vervollständigen, wurden nicht zuletzt wegen des fehlgeschlagenen Einsatzes des Online-Sensors diese Versuche schließlich durch Untersuchungen zum Potenzial der Fernerkundung ergänzt. Dabei musste aus organisatorischen Gründen eine Konzentration auf den Einsatz von Lowcost-Fernerkundungsdaten stattfinden, da ansonsten der Projektrahmen bei weitem gesprengt worden wäre.

Im Folgenden sollen unter „Lowcost“-Fernerkundungsdaten verwertbare Informationen verstanden werden, die mit Abstand ohne direkten Kontakt zum zu erfassenden Objekt aufgenommen wurden. Lowcost meint dabei, dass der finanzielle Aufwand ihrer Herstellung derart gering ist, dass sie auch außerplanmäßig in Projekte mit einbezogen werden können.

Die **Besonderheiten und Möglichkeiten der Fernerkundung** ergeben sich

- aus der Möglichkeit, große Bereiche übersichtlich zu erfassen
- aus der Andersartigkeit der Perspektive
- aus der Möglichkeit, mit Hilfe unterschiedlicher Verfahren (einfache Bildentzerrung, Orthobilderstellung, stereophotogrammetrische Messverfahren) Geometriedaten abzuleiten und
- aus der Möglichkeit von luftbildsichtbaren Merkmalen effektiv und großflächig auf terrestrische Objekte zu schließen (Bildinterpretation, abgesichert durch verifizierte Interpretationsschlüssel).

Wenn Fernerkundung auch im Normalfall entweder mit satellitengestützten oder flugzeuggetragenen Sensoren arbeitet, so gab es in der Vergangenheit doch eine Vielzahl von Anwendungen, bei denen „Lowcost“-Luftbildaufnahmen von alternativen Aufnahmeplattformen aus für Spezialanwendungen zielführend waren.

Eine solche Aufnahmeplattform muss in der Lage sein, einen für den Zweck angemessenen Sensor in der gewünschten Aufnahmeposition sicher zu positionieren. Gegenüber einer herkömmlichen professionellen und aufwändigen Befliegung verursacht die Erstellung solcher „Lowcost“-Luftbilder nur einen Bruchteil der Kosten. Darüber hinaus sind solche alternative Lösungen oft zeitlich wesentlich flexibler einsetzbar:

Stehen für die Erstellung professioneller Luftbildaufnahmen im Jahr lediglich etwa 14 bis 20 geeignete Tage zur Verfügung, so muss die Bildaufnahme für den vorgesehenen Zweck der Dokumentation verschiedener Wachstumsstadien mit geringem Aufwand sehr kurzfristig an einer Vielzahl von Tagen möglich sein. Die Vorteile des kurzfristigen und spontanen Einsatzes bei geringem Aufwand werden dabei im Allgemeinen durch Abstriche an die Genauigkeit der Daten erkaufte und sind dann zu rechtfertigen, wenn die verbleibende Genauigkeit der Daten für den vorgesehenen Zweck ausreichend ist.

Werbeschlagwörter wie beispielsweise „Wir fliegen auch da, wo keiner mehr sonst fliegt“, machen deutlich, dass alternative Aufnahmeplattformen herkömmliche Luftbildaufnahmen nicht ersetzen sollen, sondern eine Lücke dort schließen, wo aus Gründen der Kosten, Risikoabschätzung und Spontaneität erstere nicht in Frage kommen. Im vorliegenden Projekt waren es insbesondere die Faktoren Kosten und Spontaneität der Dokumentation, die zum ergänzenden Testeinsatz alternativer Aufnahmeplattformen geführt haben.

Vielfalt verwendbarer Aufnahmeplattformen

Im zuvor geschilderten Sinne werden für verschiedenste Zwecke die unterschiedlichsten alternativen Aufnahmeplattformen vielfältig eingesetzt. Beispielhaft erwähnt seien an dieser Stelle große Einleinerdrachen wie beispielsweise die bekannte, bis zu manntragende Kastendrachenkonstruktion „Cody“, Fessel- und Fernlenkblimps, Fernlenkflugzeuge und Fernlenkhelikopter, Drohnen, „Autonome Unpiloted vehicles“ (UPV's) oder auch Ultraleichtflugzeuge für Vermessungsaufnahmen an unzugänglichen Stellen in Architektur und Archäologie, Landschaftsanalysen und ähnlichem. Exemplarisch für den erfolgreichen Einsatz sei an dieser Stelle eine Arbeit genannt:

MARZOLFF, I. (1999): „Großmaßstäbige Fernerkundung mit einem unbemannten Heißluftzeppelin für GIS-gestütztes Monitoring von Vegetationsentwicklung und Geomorphodynamik in Aragón (Spanien)“.

Von den vielen potentiellen alternativen „Lowcost“-Aufnahmeplattformen wurden im vorliegenden Projekt testweise ein motorisierter Flugdrachen, sowie ein ferngesteuerter Elektromotorsegler verwendet, um das Potenzial von Lowcost-Luftbildern für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel zu überprüfen. Bevor die durchgeführten Versuche beschrieben werden, werden beide Aufnahmeplattformen kurz vorgestellt.

Motorisierter manntragender Flugdrachen („Minimum Motorisierung“)

Bei einem motorisierten Flugdrachen handelt es sich um ein Sportgerät, das relativ günstig in Anschaffung und Unterhalt ist. Außerdem kann es problemlos transportiert werden. Durch die einfache Motorisierung ist auch eine gewisse Unabhängigkeit des Einsatzes gegeben. Desgleichen ist der Aufbau recht unkompliziert und kann in 45min erledigt werden. Die Position des Piloten ist für die Erstellung von Senkrechtaufnahmen geradezu ideal ([Abb. 79](#)). Darüber hinaus besteht für Start und Landung nur ein sehr geringer Platzbedarf. Bei einer Flughöhe um 600m ([Abb. 80](#)) können mit einer herkömmlichen Spiegelreflexkamera Aufnahmen mit hervorragender Qualität bei großem Aufnahmebereich erstellt werden.



Abb. 79: Position des Piloten mit gutem Zugang zur befestigten Kamera



Abb. 80: Bildaufnahme bei einer Flughöhe von etwa 600m

[Abbildung 81](#) zeigt beispielhaft hierzu eine Schrägaufnahme und [Abbildung 82](#) eine gut verwertbare Senkrechtaufnahme von den Versuchsschlägen.



Abb. 81: Umgebung der Versuchsflächen als Schrägaufnahme vom 10.06.2004 (MERKEL, 2004)



Abb. 82: Senkrechtaufnahme der Untersuchungsschläge mit einer Digitalkamera bei 600 m Flughöhe (unbearbeitetes Originalbild)

Ferngesteuerter Motorsegler mit Elektroantrieb

Neben dem manntragenden Motordrachen wurden eine Fernlenkplattform (RC-Plattformen; rc = radio control) verwendet. Dabei erschien ein Motorsegler für die vorgesehene Anwendung prädestiniert. Zum einen steht durch stete Verbesserung der Akku- und Antriebstechnik in den letzten Jahren genügend Leistungsreserve zum Emporheben einer doch verhältnismäßig großen Last zur Verfügung. Zum anderen ist das Handling gegenüber einem Modell mit Verbrennungsmotor sehr unkompliziert. [Abbildung 83](#) zeigt das verwendete etwas betagte Fernlenkmodell.



Abb. 83: Für die Luftbildaufnahmen verwendeter ferngesteuerter RC-Motorsegler

Die beiden verwendeten Kameras (eine etwa 250 Gramm schwere APS Kamera und eine etwa 100 Gramm schwere Digitalkamera mit 2,2 Mio. Pixeln) wurden direkt an der Schwerpunktlage in Rumpfnähe auf sehr einfache Weise mit „Powertape“ befestigt. Die Kameras wurden mittels provisorisch „angetaptem“ Miniservo mit Ansteuerung über einen freien Kanal des Empfängers sicher ausgelöst ([Abb. 84](#)).



Abb. 84: Befestigung und Auslösung am Beispiel der APS Kamera direkt an der Schwerpunktlage und in Rumpfnähe

Die Konfiguration des Flugmodells bestand aus handelsüblichen zum Teil sogar recht alten und günstigen Komponenten. Trotz eines Mehrgewichtes von bis zu 260 Gramm (+17%) gestaltete sich die Durchführung des Bildfluges problemlos. Zwar verringern sich Steig- und Segelflugleistung merklich, beide sind aber für den vorgesehenen Zweck absolut ausreichend. Auch erwies sich die gezielte und gebremste Landung im Maisfeld mangels Grünflächen im weiteren Umfeld als ungewöhnlich problemlos und führte bei keiner der vielen Landungen zu einem Schaden. Der Einsatz eines Ortungspiepers im Modell erleichterte das Suchen des gelandeten Modells.

Durch Verwendung moderner Leistungsantriebe und größerer Spannweiten sind Flugdauer, Steigleistung und Flughöhe, welche vor allem durch die Sichtbarkeit des Modells beschränkt wird, erheblich auszudehnen. Selbst eine Hightechkonfiguration eines Modellflugzeuges darf für den Bereich von Luftbildaufnahmen als Lowcost-Lösung mit hoher Flexibilität des Einsatzes bezeichnet werden.

Erstellte Luftbilder

Anhand der beiden beschriebenen „Lowcost“-Aufnahmeplattformen wurden verschiedene Luftbilder erstellt (Tab. 9) und ausgewertet.

Tab. 9: Aufgenommene Luftbilder von „Lowcost“-Plattformen aus

Datum	Plattform und Kamera
10.06.2004	<u>Motordrachen:</u> - Autofocus Spiegelreflex: 50 und 100mm Brennweite - Digitalkamera mit 4 Mio. Pixel
06.07.2006	<u>RC-Motorsegler</u> mit APS Kamera (35mm Brennweite)
07.07.2004	<u>RC-Motorsegler</u> mit Digitalkamera (2,2 Mio. Pixel)
05.10.2004	<u>RC-Motorsegler</u> mit Digitalkamera (2,2 Mio. Pixel)
13.10.2004	<u>RC-Motorsegler</u> mit Digitalkamera (2,2 Mio. Pixel)

Aus diesen Luftbildern konnte eine Vielzahl von Parametern abgeleitet werden. Um den Rahmen des vorliegenden Berichtes nicht zu sprengen, werden sie im folgenden lediglich kurz skizziert. In einem zusätzlichen Bericht ist deren Ableitung ausführlich beschrieben. Es wird unterschieden nach abgeleiteten Geometriedaten und inhaltlichen Reflexionsdaten.

Geometriedaten: Topographie und Oberflächenmodell

Aus der Aufnahmeserie vom 10.06.2004 mit analogen Aufnahmen war es möglich, ein Bildpaar mit einem analytischen Stereoplotter professionell zu orientieren. Hierbei kam ein AM 2000 von LH Systems mit der Software „Orima“, „Pro 600“ und „Microstation“ (Bentley) zum Einsatz.

Aus diesem Stereomodell konnte die Topographie sowie ein Oberflächenpunktraster mit dem Abstand von 5 mal 5 Metern gemessen werden.

Geometriedaten: Höhenlinien

Auf Grundlage dieses abgeleiteten Oberflächenmodells konnten mit Hilfe des Moduls „Geograf“ in der CAD Umgebung von „Microstation“ (Bentley) Höhenlinien abgeleitet werden.

Geometriedaten: Neigungsanalyse

Auf der Grundlage dieser Daten konnten an beliebigen Stellen des Untersuchungsgebietes die Höhe, der anschließende Verlauf der Höhenlinie, sowie die Neigungsrichtung im Modell abgegriffen werden. Hierzu wurde das Modul „Geopak“ auf Basis der CAD Software „Microstation“ verwendet.

Geometriedaten: Geländeprofilanalyse

Mit Hilfe des gleichen Softwarewerkzeuges konnten beliebige Profillinien definiert und daraus die zugehörigen Oberflächenprofile abgeleitet werden.

Geometriedaten: Bildentzerrung

Die „Lowcost“-Bilder konnten auf einfache Art und Weise entzerrt werden. Eine einfache rechnerische Bildentzerrung (projektiv) führt im gegebenen Fall unter Verwendung von 15 Passpunkten bei zwei Entzerrungsdurchgängen zu einer Genauigkeit des entzerrten Bildes von 0,5m in der Lage und 0,4m in der Höhe (Abb. 85). Als Software wurde das Modul Descartes in der CAD Umgebung von Microstation verwendet.

Actual Model: (4 pts or +) Projective (Project)									
Control Point #	On	Base System		Uncorrected System		Residuals			
		X	Y	X	Y	X	Y	XY	
1	X	3401867.4000	5340130.4000	3401868.6653	5340130.1123	-1.5380	-0.0466	1.5387	
2	X	3401785.3244	5339972.4933	3401785.9435	5339972.2717	-0.2175	0.1224	0.2496	
3	X	3401783.8156	5340109.0567	3401784.3525	5340108.5189	-0.4137	0.7959	0.8970	
4	X	3401769.0600	5340135.4100	3401768.3377	5340135.9516	0.7970	-0.1243	0.8067	
On/Total:		15 / 17		Standard Deviations:		0.4089	0.2772	0.3771	

Abb. 85: Restfehler nach 2 Durchgängen projektiver Bildentzerrung (15 Passpunkte)

Als Referenzpunkte wurden topografisch markante Stellen aus der Stereomessung zuvor verwendet. Abbildung 86 zeigt das entzerrte Bild mit Überlagerung der Referenzvektordaten. Es kann festgestellt werden, dass es für den vorgesehenen Zweck der Datenerfassung teilflächenspezifisch differenzierter Parameter ausreichend genau entzerrt ist.



Abb. 86: Georeferenziertes, mit Einfachverfahren entzerrtes Luftbild; Aufnahme mit Motordrachen vom 10.06.2004, 3 Tage nach Düngung bei kniehohem Mais im 7 Blatt-Stadium; Referenzpunkte aus der Stereomessung zuvor

Geometriedaten: Neigungsrichtung und Neigungsgröße an den Rasterpunkten

Mit Hilfe der erwähnten Werkzeuge konnte an den Rasterpunkten eine Neigungsanalyse durchgeführt werden. An beliebigen Punkten ist dabei die Neigungsrichtung sowie die Größenordnung der Hangneigung zu ermitteln.

Geometriedaten: Bildentzerrung und Mosaikieren

Neben der gezeigten Einzelbildentzerrung konnten auch mehrere Einzelbilder unabhängig voneinander entzerrt und als Bildmosaik zusammengefügt werden. Das ist insbesondere für die verwendete Aufnahmeplattform des RC-Motorseglers von Bedeutung. Hier kann zum einen während der Aufnahme der Bildausschnitt nicht ausgewählt werden, wodurch ein Schlag nicht unbedingt immer vollständig abgelichtet wird und aus mehreren Aufnahmen ergänzt werden muss. Zum anderen ist es durch die begrenzte Flughöhe (Sichtgrenze des verwendeten 2,1 m Modells) bei Verwendung einer einfachen Digitalkamera ohne Weitwinkel nicht möglich, alle drei Schläge auf einmal abzubilden, so dass aus mehreren Aufnahmen mosaikiert werden muss (Abb. 87).

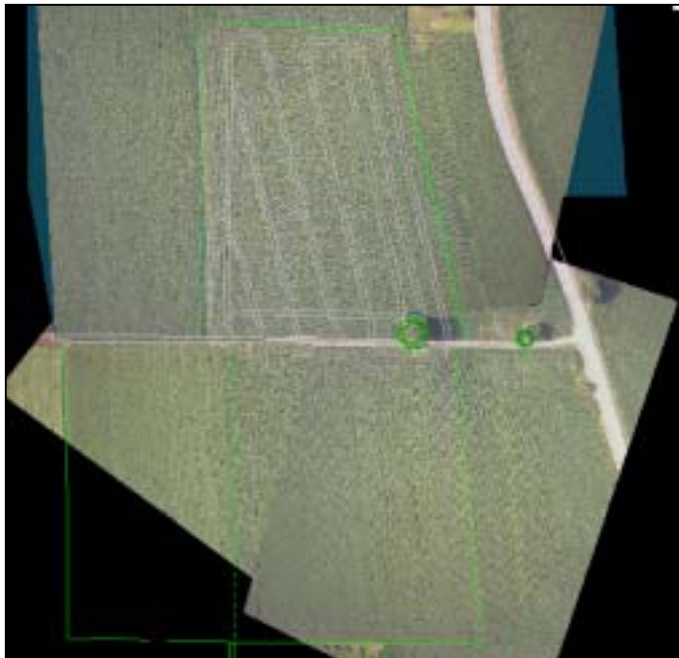


Abb. 87: Bildmosaik aus 3 entzerrten Einzelbildern (RC-Motorsegleraufnahme vom 07.06.2004, Bild Nr. 5b, 6 und 8)



Abb. 88: Abgeleitetes Orthobild

Geometriedaten: Orthobildentzerrung und „Lowcost“-3D-Datenerfassung

Neben den zuvor geschilderten einfachen Bildentzerrungen war es auch möglich, mit „Lowcost“-Aufnahmen (Motordrachen) nicht nur Einfachentzerrungen, sondern echte Orthobildentzerrungen durchzuführen. Beim Prozess der photogrammetrischen Modellbildung können automatisch identische Verknüpfungspunkte in beiden Bildern ermittelt werden, welche die Modellbildung verbessern und stabilisieren.

Auf der Basis dieser Orientierung lässt sich aus einem Bildpaar die Topologie am Bildschirm stereoskopisch auswerten und eine Geländeoberfläche automatisch generieren, die wiederum Basis für ein Orthobild sein kann. [Abbildung 88](#) zeigt ein generiertes Orthobild aus einer Lowcost-Aufnahme mit dem motorisierten Flugdrachen.

Neben der erfolgreichen Ableitung solcher geschilderter Geometriedaten konnten aus den einfachen Luftbildern schließlich Werte der Reflexion im Sinne eines Fernerkundungssensors ermittelt werden.

Reflexionsdaten: Beschreibung der abgegriffenen Spektralinformationen

Zur Ableitung der Reflexionsdaten wurden die mit dem ferngesteuerten Elektro-Motorsegler erstellten Luftbilder entzerrt und mosaikiert. Die Lage der Raster- und Zwischenpunkte, für die eine Vielzahl von Referenzdaten vorliegen, wurden in den Luftbildern durch einen schwarzen Rahmen markiert. Mit Hilfe einer einfachen Bildverarbeitungssoftware wurde in diesem Bereich die Rückstrahlungsintensität der Farbkanäle Rot (R), Grün (G) und Blau (B) abgegriffen. Diese Farbkanäle repräsentieren die Grundfarben im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Spektrums ([Abb. 89](#)).

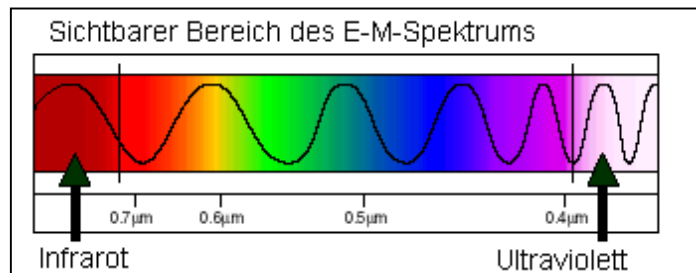


Abb. 89: Sichtbarer Bereich des elektromagnetischen Spektrums (Licht)
(Achse des spektralen Bereiches gegenüber [Abb.D-252](#) gespiegelt aufgetragen)

Durch die Fernerkundung können verschiedene Bereiche des elektromagnetischen Spektrums genutzt werden, da sich die Reflexionskurven verschiedener Objekte mehr oder weniger typisch verhalten ([Abb. 90](#)). Bei der Ermittlung der Reflexionswerte R, G und B ([Abb. 91](#)) wurden drei verschiedene Varianten gewählt.

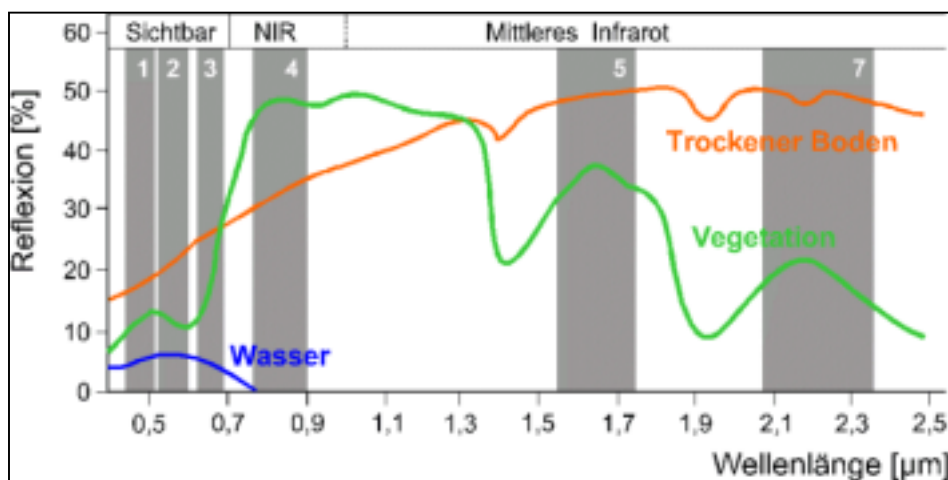


Abb. 90: Typische Reflexionskurven im Bereich des elektromagnetischen Spektrums

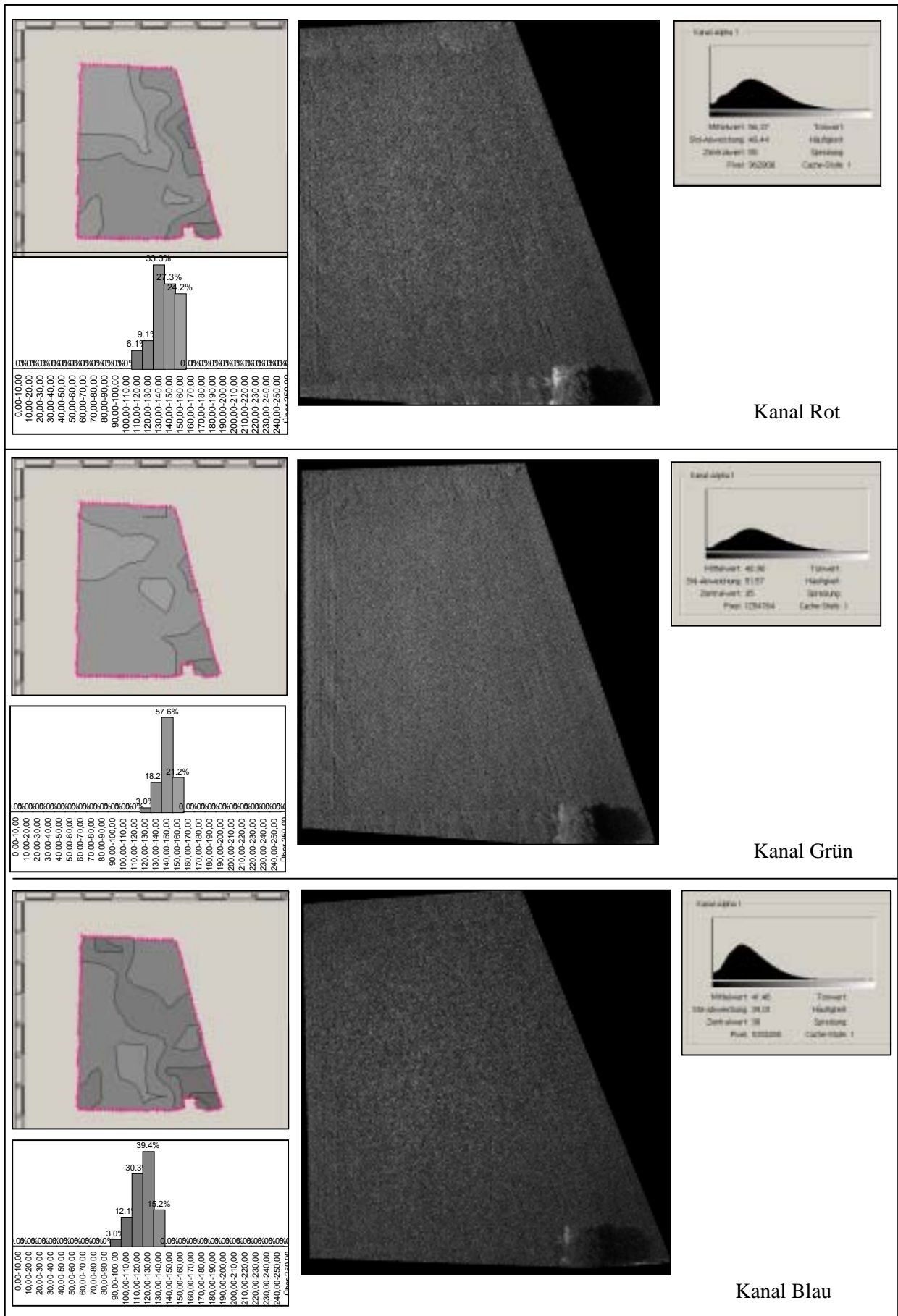


Abb. 91: Verteilung der Rückstrahlung R, G und B auf der Fläche (Befliegung vom 07.07.2004)

Zum **Ersten** wurden die Reflexionen an den Raster- und Zwischenpunkten aus einem Luftbildmosaik abgegriffen. Zur Erstellung dieses Mosaiks wurden die Bilder georeferenziert. Dabei wurde auf eine Farbanpassung der Einzelaufnahmen verzichtet. Außerdem ist das Mosaik aus Aufnahmen unterschiedlicher Flughöhen und unterschiedlicher Tageszeiten zusammengesetzt. Die Einzelbilder haben also sehr unterschiedliche Qualitäten.

Zum **Zweiten** wurden die Reflexionen aus demjenigen Bild abgeleitet, welches die größte Fläche der Untersuchungsschläge abbildet. Es handelt sich dabei also um ein relativ homogenes Bild. Allerdings wurde schlagübergreifend ausgewertet, so dass die unterschiedlichen Ausprägungen der Einzelschläge, wie beispielsweise die Sortenunterschiede, sich bei den Korrelationsrechnungen mit auswirken.

Schließlich und **drittens** wurden die Reflexionen jeweils nur aus einem einzelnen Bild schlagweise erfasst. Verfälschungen bei der statistischen Auswertung durch zwischenschlag-spezifische Unterschiede werden dabei also eliminiert.

Diese 3 unterschiedlichen Auswertungen wurden jeweils für 3 Aufnahmezeitpunkte durchgeführt (07.07.2004, 05.10.2004 und 13.10.2004). Dabei wurden aus den einfachen Reflexionsparametern R, G und B folgende weitere Parameter abgeleitet (Tab. 10):

Tab. 10: Aus den Reflexionswerten abgeleitete Parameter

R/G	R-G	(R-G)/(R-B)
R/B	R-B	(R-G)/(G-B)
G/B	G-B	(R-B)/(G-B)

Diese wurden mit den verfügbaren Messwerten an den „Raster-“ und „Zwischenpunkten“ korreliert, um herauszufinden, ob sich einer der Parameter in seiner teilflächenspezifischen Verteilung im Normalfarbluftbild abbildet. Zur Korrelation herangezogen wurden dabei folgende Werte:

Abreife:

- Abreife A: terrestrisch erfasste Abreife vom 13.09.04 (in 8 Stufen)
- Abreife B: terrestrisch erfasste Abreife vom 24.09.04 (in 8 Stufen)
- Abreife C: terrestrisch erfasste Abreife vom 09.10.04 (in 8 Stufen)
- Differenz: Abreife B – Abreife A
- Differenz: Abreife C – Abreife B
- Orte mit „struppiger Erscheinung“ im Luftbild
- Abreife aus dem Luftbild vom 06.10.04
- Abreife aus dem Luftbild vom 13.10.04

Daten aus der N_{min}-Beprobung vom (19.11.2004):

- N_{min} (0-30)
- N_{min} (30-60)
- N_{min} (60-90)
- N_{min} gesamt

Daten der physikalischen Bodenuntersuchung vom 07.05.2003 (Körnungsfraktionen):

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| - Ton (%) (07.05.2003): | - Sand (%) (07.05.2003): | - Schluff (%) (07.05.2003): |
| - Ton (0-30) | - Sand (0-30) | - Schluff (0-30) |
| - Ton (30-60) | - Sand (30-60) | - Schluff (30-60) |
| - Ton (60-90) | - Sand (60-90) | - Schluff (60-90) |

Daten aus der Grundbodenuntersuchung vom 19.11.2004:

- pH
- P₂O₅
- K₂O₅
- MgO

Ertrag 2004

- Mähdruschrohertragsdaten abgegriffen für die Raster- und Zwischenpunkte

Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt der Pflanze 2004

Die Ergebnisse aus diesen Überprüfungen, welche für eine Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel relevant sind, werden unter Kapitel 3.1.2 zusammengefasst.

2.1.2.4 Untersuchungen zur Optimierung der Modulation

Mit Hilfe weiterer Teiluntersuchungen wurde versucht, die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel weiter zu optimieren.

Als hinderlich erwies sich bei der konkreten Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel der *hohe Arbeitsaufwand* zur Erfassung der Variabilität von N_{\min} . Anhand theoretischer Überlegungen wurde eine Reduktion des Aufwandes zur Erfassung von N_{\min} simuliert, um zu überprüfen, ob sich hierdurch die Praktikabilität des Verfahrens optimieren lässt.

Bei der Umsetzung der Modulation wurde außerdem auffällig, dass der Lohnunternehmer Mindestmengenvorgaben festlegt. In einer weiteren Teiluntersuchung wurde der Einfluss hierzu auf die Genauigkeit des Verfahrens überprüft.

Die im Folgenden beschriebenen Teiluntersuchungen zur Optimierung der Modulation dienen also

- der Überprüfung der Reduktion des Arbeitsaufwandes und
- der Sicherstellung einer ausreichenden Genauigkeit des Verfahrens im Kartieransatz.

(1) Reduktion des Aufwandes bei der Ableitung der Applikationskarte im Kartieransatz (offline)

Wie aus den Versuchen der Jahre 2003 und 2004 ersichtlich, besteht ein wesentliches Problem des angewendeten Kartierverfahrens im hohen vorbereitenden Aufwand. Hierbei muss die auszubringende Applikationsmenge im Vorfeld für jede kleinste berücksichtigte Flächeneinheit (Flächenpixel) berechnet werden. Alle berücksichtigten Parameter gehen dabei teilflächenspezifisch differenziert ein:

Während die Ertragsdaten zur Ableitung der Ertragserwartung aus der Online-Ertragserfassung des Mähdrusches vorab teilflächenspezifisch zur Verfügung stehen, ist es nötig, die teilflächenspezifische Verteilung von N_{\min} mit einer hohen Dichte von Bodenproben repräsentativ und zeitnah zu erfassen. Neben dem hohen Vorbereitungsaufwand insgesamt wird die Tauglichkeit des Verfahrens für eine operationale Umsetzbarkeit der Modulation der Betriebsmittel insbesondere auch hierdurch unflexibel und unattraktiv.

Daher ist es naheliegend zu überprüfen, ob die Umsetzbarkeit des Verfahrens durch Reduktion des Aufwandes zur Erfassung von N_{\min} verbessert werden kann.

Es wurde deshalb untersucht, welchen Einfluss der Parameter N_{\min} bei der Ableitung der Applikationskarte hat, wenn er einerseits teilflächenspezifisch differenziert oder andererseits vereinfacht als einzelner Pauschalwert über die gesamte Fläche berücksichtigt wird. Es wird daher überprüft, welchen Einfluss die differenzierte Berücksichtigung von N_{\min} auf das Ergebnis der abgeleiteten Applikationskarte ausübt. Sollte dieser unwesentlich sein, so wäre es denkbar, bei der Ableitung der Applikationskarte den Parameter N_{\min} als einfachen Pauschalwert für den Schlag einfließen zu lassen, um den hohen Vorbereitungsaufwand zu reduzieren. Im Folgenden wird die Auswirkung unterschiedlich erfasster N_{\min} -Werte simuliert:

Erfassung von N_{\min} teilflächenspezifisch differenziert

[Abbildung 92](#) zeigt die teilflächenspezifisch differenzierte N_{\min} -Verteilung, wie sie bei der Berechnung der Applikationskarte des Versuchsjahres 2003 Berücksichtigung gefunden hat.



Abb. 92: Berücksichtigte N_{\min} -Verteilung (Konturenkarte, abgeleitet aus den Werten der Probenahme an den Rasterpunkten im Mai 2003)

Sie wurde aus den Messdaten der Probenahme an den „Rasterpunkten“ durch Interpolation abgeleitet. Zur weiteren Verwendung wurden die Werte dieser Konturenkarte auf ein 10 mal 10 Meter-Raster umgerechnet, welches durch Referenzierung auf eine einheitliche Bezugsordinate zu den Datensätzen aller sonst einfließenden Parameter lageidentisch und somit vergleichbar ist. Die entsprechende Applikationskarte wurde abgeleitet und mit den Varianten alternativer und vereinfachter Erfassung von N_{\min} verglichen. In [Abbildung 93](#) wird sowohl das unterschiedliche Niveau von N_{\min} als auch die Varianz des Parameters bei dieser Vorgehensweise auf den unterschiedlichen Schlägen deutlich.

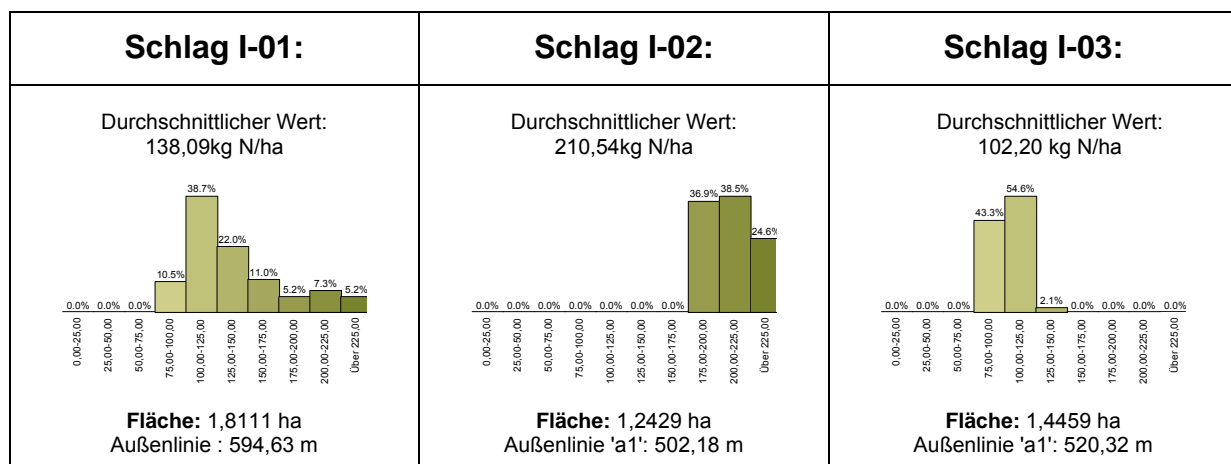


Abb. 93: Unterschiede in Niveau und Varianz von N_{\min} auf den verschiedenen Schlägen

Erfassung von N_{\min} als repräsentativer Mittelwert pauschal für den ganzen Schlag

Um den Aufwand für die Erfassung von N_{\min} zu reduzieren, wurde die Auswirkung auf die Erstellung der Applikationskarte auch unter der Vorgabe simuliert, dass N_{\min} als repräsentativer Durchschnittswert aller Rasterbeprobungen eines Schlages einfließt. Die Höhe von N_{\min} ist also schlagspezifisch repräsentativ vertreten, die vorgefundene teilflächenspezifische Verteilung von N_{\min} findet bei dieser Vorgehensweise aber keine Berücksichtigung ([Abb. 94](#)).

Unter Verwendung dieser Eingangsdaten von N_{\min} entsteht im Ergebnis eine Applikationskarte, die für jedes 10 mal 10 m-Pixel die auszubringende Stickstoff-Düngemenge darstellt. Da die

Pixel zu denjenigen aus der ursprünglichen Applikationskarte lagegetreu sind, ist es möglich, die berechneten Werte zu vergleichen, sowie aus beiden Berechnungen eine Differenzkarte abzuleiten.

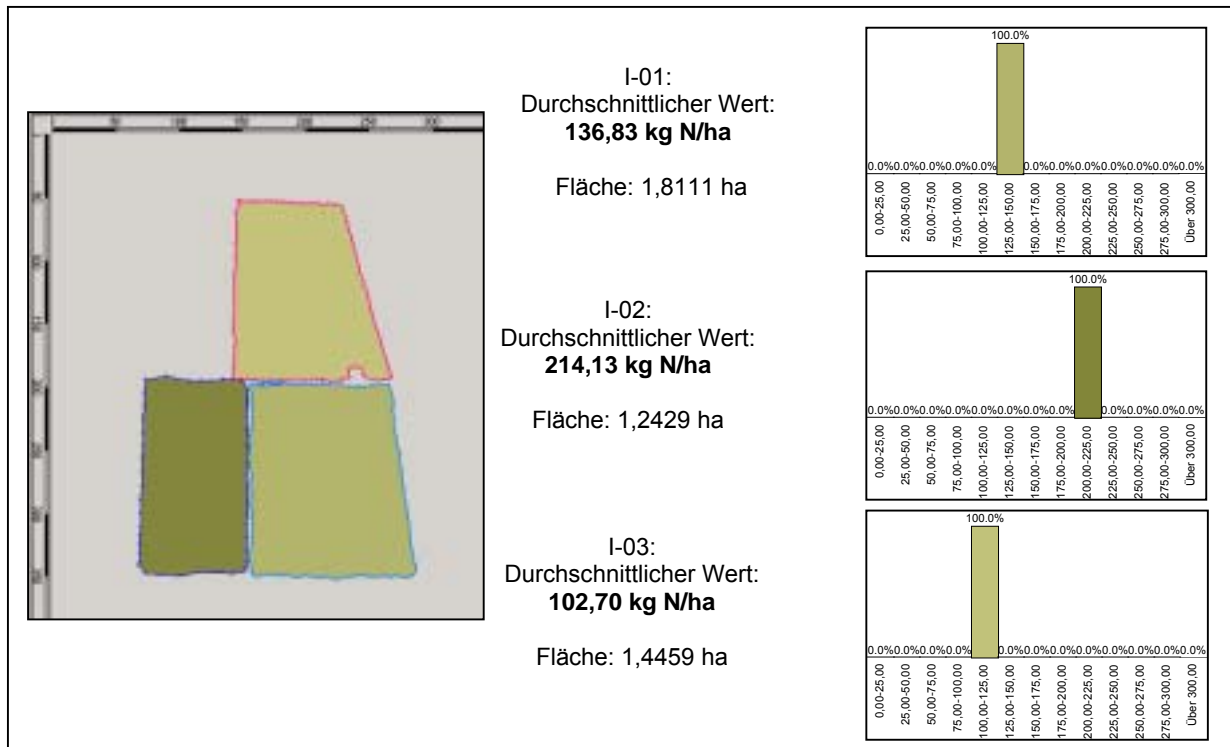


Abb. 94: Repräsentative Mittelwerte der N_{min}-Verteilung

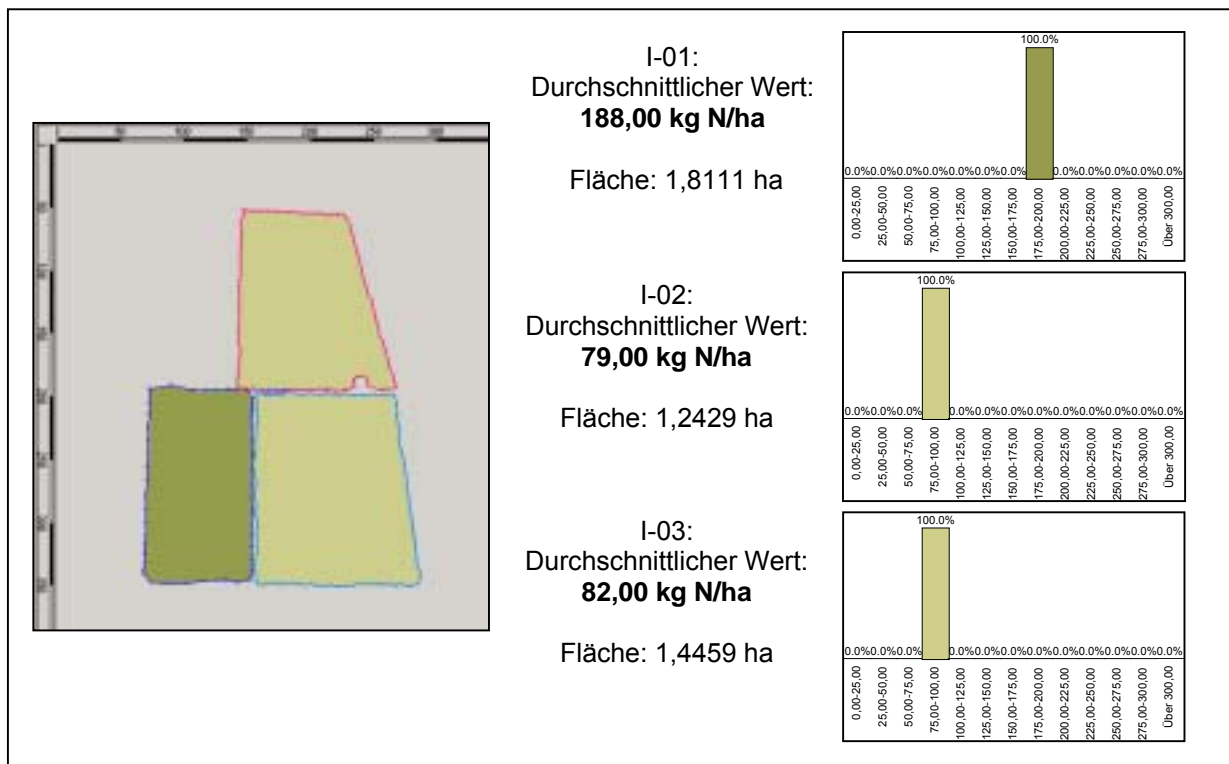


Abb. 95: N_{min}-Verteilung bei pauschaler Erfassung des Minimumwertes

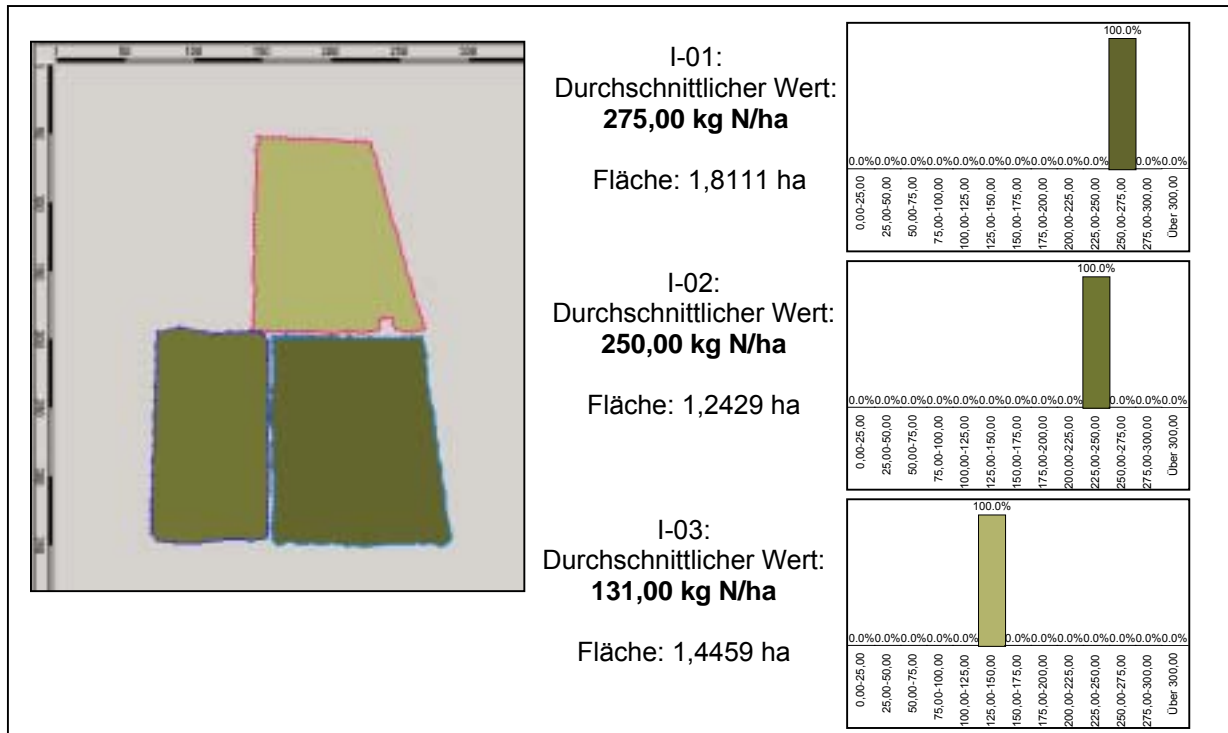


Abb. 96: N_{\min} -Verteilung bei pauschaler Erfassung des Maximumwertes

Erfassung von N_{\min} als Minimumwert pauschal für den ganzen Schlag

In einer weiteren Untersuchung wurde simuliert, welche Auswirkungen es hat, wenn der Parameter N_{\min} zwar als einzelner Wert pro Schlag berücksichtigt wird, dabei aber nicht als repräsentativer Mittelwert, sondern als Extremwert für das Minimum eingeht. Es kann nämlich nicht sichergestellt werden, dass mittels einer einzigen Probenahme pro Schlag ausgerechnet ein repräsentativer Mittelwert erfasst wird (Abb. 95).

Erfassung von N_{\min} als Maximumwert pauschal für den ganzen Schlag:

Schließlich wurde simuliert, welche Auswirkungen es hat, wenn der Parameter N_{\min} als nicht repräsentativer Einzelwert eingeht und dabei das Maximum der bestehenden Ausprägungen darstellt (Abb. 96).

Die Abbildungen 94 bis 96 zeigen die jeweiligen Konturenkarten mit den zugehörigen Klassenverteilungen.

Die für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel relevanten Ergebnisse aus diesem Teilversuch sind in Kapitel 3.1.2 aufgeführt.

(2) Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Mindestmengenvorgaben

Da der Lohnunternehmer im Untersuchungsjahr 2004 Vorgaben für Mindest- und Maximumapplikationsmengen des Düngemittels gegeben hat (100 bis 500 kg Harnstoff/ha) soll an dieser Stelle untersucht werden, welchen Einfluss solche aus der praktischen Erfahrung heraus gegebenen Rahmenwerte auf das teilflächenspezifisch ermittelte Berechnungsergebnis haben. Da für keine Teilfläche ein Harnstoffbedarf von 500 kg/ha ermittelt werden konnte, reduziert sich die Fragestellung auf die Untersuchung der Auswirkung einer Mindestmengen-vorgabe.

Es werden daher folgende Harnstoffkarten miteinander verglichen:

- die Harnstoffkarte aus dem unmittelbaren Berechnungsergebnis für die Stickstoffapplikation für das Jahr 2004
- die praxisrelevante Harnstoffkarte, bei der alle Applikationswerte mit negativen Vorzeichen durch 0 ersetzt werden
- die Harnstoffkarte nach Mindestmengenvorgabe des Lohnunternehmers, bei der alle Werte <100 mit der Mindestapplikationsmenge von 100 kg Harnstoff/ha ersetzt werden

Harnstoffkarte im Schlag I-03 nach Berechnung

[Abbildung 97](#) zeigt die berechnete Harnstoffkarte für Schlag I-03, bei der durch den verfügbaren Stickstoff der Bedarf stellenweise bereits überschritten wird (Minuswerte). Nach dieser Berechnung ergibt sich eine Gesamtmenge von 222,96 kg Harnstoff ($154,20 \text{ kg/ha} * 1,4459 \text{ ha}$), was einem durchschnittlichen Wert von 154,20 kg Harnstoff/ha entspricht.

Harnstoffkarte im Schlag I-03 ohne Minuswerte

In [Abbildung 98](#) ist die Harnstoffkarte für Schlag I-03 zu sehen, bei welcher die aufgetretenen Minuswerte durch Null ersetzt wurden (weil dem Boden während der Düngung kein Stickstoff entzogen werden kann). Nach dieser Berechnung ergibt sich eine Gesamtmenge von 256,43 kg Harnstoff ($177,35 \text{ kg/ha} * 1,4459 \text{ ha}$), was einem durchschnittlichen Wert von 177,35 kg Harnstoff/ha entspricht. Die bestehende Klassenverteilung ist dem beigefügten Diagramm zu entnehmen.

Harnstoffkarten im Schlag I-03 mit mindestens 100kg Harnstoff/ha

Die Harnstoffkarte für Schlag I-03 mit Umsetzung der Mindestmengenvorgabe von 100 kg N/ha ist in [Abbildung 99](#) zu sehen. Für die berechnete Applikation ergibt sich eine Gesamtmenge von 260,61 kg Harnstoff ($180,24 \text{ kg/ha} * 1,4459 \text{ ha}$), was einem durchschnittlichen Wert von 180,24 kg Harnstoff/ha entspricht. Die bestehende Klassenverteilung ist dem beigefügten Diagramm zu entnehmen.

Die Ergebnisse dieses Versuches schildern den Einfluss dieser unterschiedlich resultierenden Harnstoffkarten durch die vorgegebenen Rahmenbedingungen auf die Umsetzung einer Modulation der Betriebsmittel in Kapitel 3.1.2.

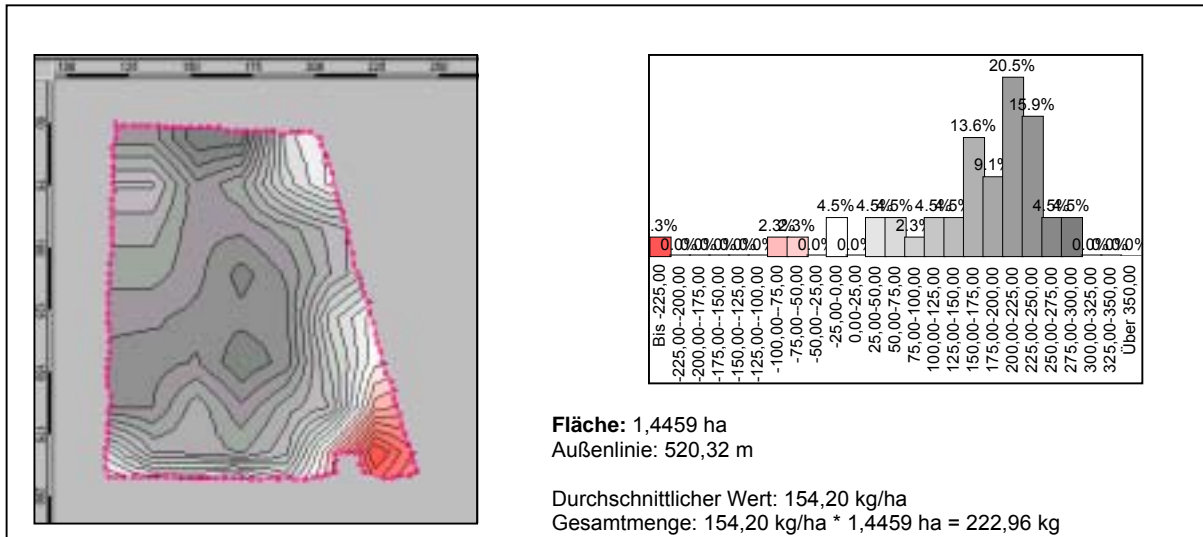


Abb. 97: Harnstoffkarte in Schlag I-03 nach Berechnung (mit Minuswerten)

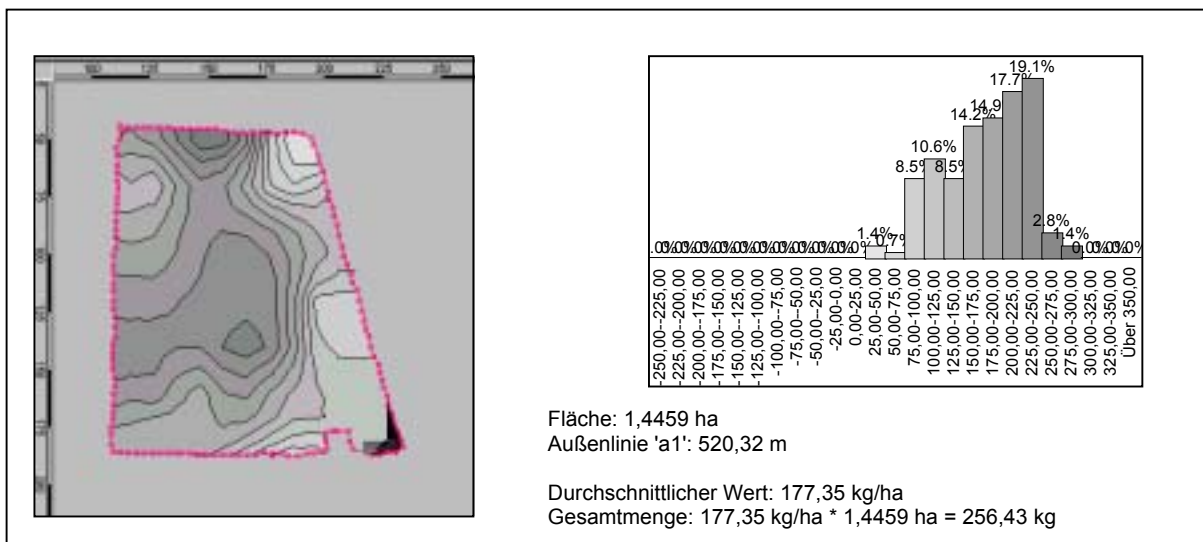


Abb. 98: Harnstoffkarte in Schlag I-03 ohne Minuswerte

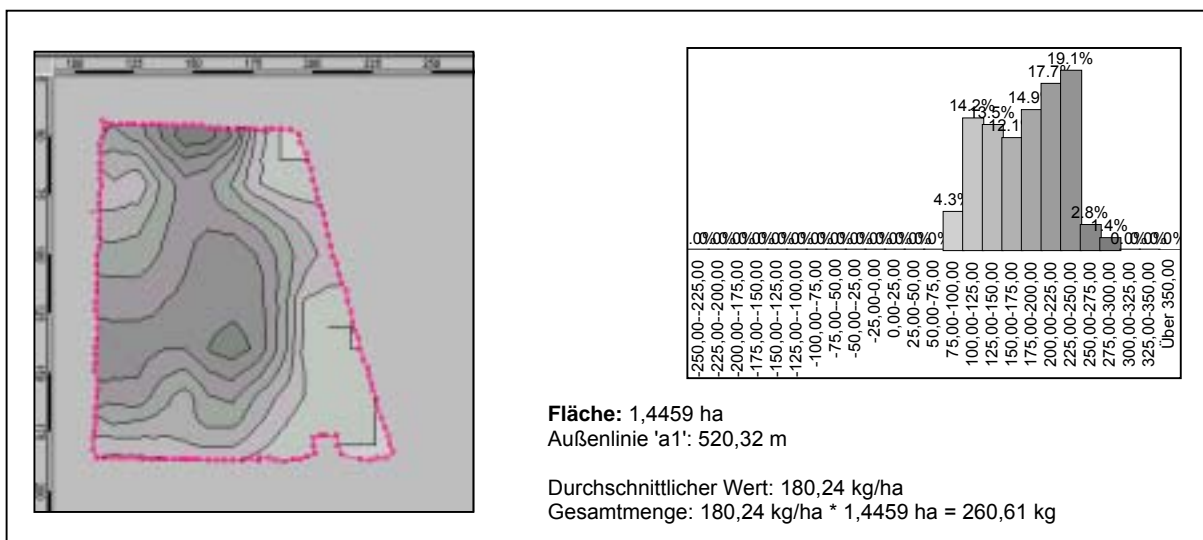


Abb. 99: Harnstoffkarte in Schlag I-03 mit Mindestausbringung von 100 kg Harnstoff/ha

Allerdings können diese Harnstoffkarten vom Düngestreuer in der gegebenen Genauigkeit nicht umgesetzt werden. Da im vorliegenden Fall mit einer Streubreite von 18m gearbeitet wird, werden die feinen Differenzierungen innerhalb der Harnstoffkarte in der maschinenlesbaren Applikationskarte zu $18 \times 18 \text{ m}^2$ Pixeln zusammengefügt. Daher ist interessant zu ermitteln, inwieweit die vom Landwirt gesetzten Schwellenwerte sich nicht nur auf die fein differenzierte Harnstoffkarte, sondern auch auf die in der Praxis verwendete Applikationskarte auswirken. Es wurden daher auch die resultierenden maschinenlesbaren Applikationskarten mit 18 m -Pixeln verglichen.

Dabei wird unterschieden, ob die Ertragserwartung bei der Berechnung teilflächenspezifisch differenziert oder pauschal mit eingeflossen ist.

Im folgenden werden die **resultierenden maschinenlesbaren Applikationskarten bei teilflächenspezifisch zugrundegelegter Ertragserwartung** berücksichtigt.

Mindestausbringung ab 0kg Harnstoff/ha

Berechnet man die maschinenlesbare Applikationskarte mit der vorgesehen Pixelgröße von 18m, so ergibt sich für Schlag I-03 eine durchschnittliche Düngermenge von 151,57 kg Harnstoff/ha. [Abbildung 100](#) zeigt die sich ergebende Applikationskarte für den Düngestreuer. Dabei weisen die Werte eine große Spannweite auf, weil alle gegebenen Differenzierungen berücksichtigt werden. Schließlich gehen bei dieser Variante einerseits die Ertragserwartung, andererseits aber auch die resultierende Düngemenge mit der am größten denkbaren Differenzierung ein.

Mindestausbringung ab 100kg Harnstoff/ha

[Abbildung 101](#) zeigt die berechnete maschinenlesbare Applikationskarte, bei der ebenfalls die Ertragserwartung differenziert eingeht; dabei wurde allerdings die Vorgabe einer Mindestschwelle von wenigstens 100 kg Harnstoff/ha berücksichtigt. Hierdurch erhöht sich die durchschnittliche Applikationsmenge von 151,57 auf 173,82 kg Harnstoff /ha um 17,7%. Die Klassenverteilung zeigt die entstehende Reduzierung der Spannweite deutlich.

Neben diesen Applikationskarten wurden Varianten gerechnet, bei denen auch **die Ertragserwartung** nicht teilflächenspezifisch differenziert, sondern mit dem erwünschten Zielertrag **pauschal auf der gesamten Fläche eingeht**.

Ertragserwartung pauschal, Mindestausbringung ab 0kg Harnstoff/ha

In [Abbildung 102](#) ist die resultierende maschinenlesbare Applikationskarte zu sehen, bei der die Ertragserwartung als Pauschalwert von 120 dt/ha für den gesamten Schlag eingeflossen ist. Hier wird die wesentlich geringere Differenzierung gegenüber denjenigen Karten mit teilflächenspezifisch berücksichtigter Ertragsverteilung deutlich. Auch ist demgegenüber die durchschnittliche Düngemenge von 71,77 kg Harnstoff /ha deutlich reduziert. Bereits hier wird deutlich, dass ohne teilflächenspezifisch erfasster Ertragserwartung die Düngeapplikation wesentlich undifferenzierter und damit weniger angepasst ausfällt. Allerdings bleibt die Frage unbeantwortet, ob die angepasstere Variante auch auf realistischen Verteilungen der Ertragserwartung gegründet ist. Berücksichtigt man bei dieser Variante nun den Vorgabewerte einer Applikation von mindestens 100 kg Harnstoff/ha, so wird die Differenzierung der Applikationskarte weiter reduziert.

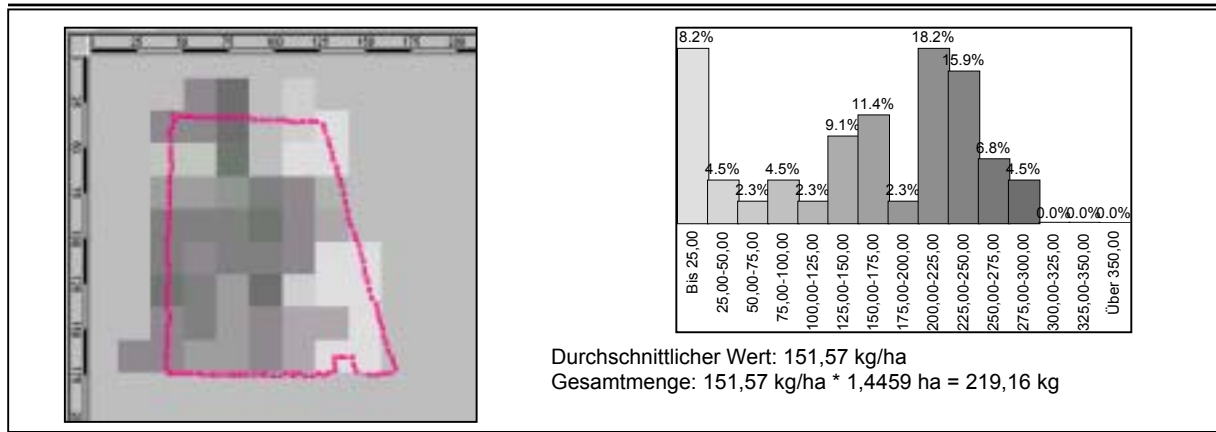


Abb. 100: Applikationskarte (Ertragserwartung differenziert; mindestens 0 kg Harnstoff/ha)

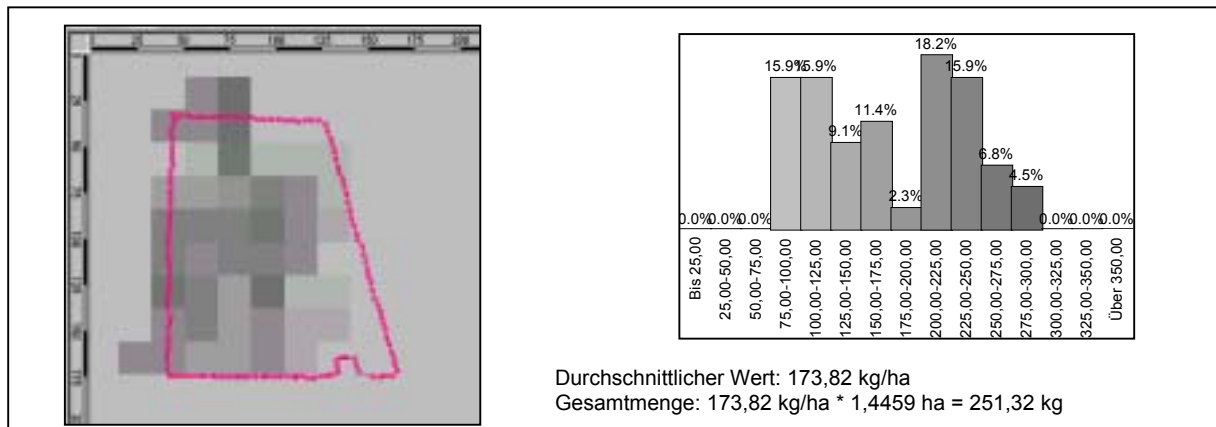


Abb. 101: Applikationskarte (Ertragserwartung differenziert; mindestens 100 kg Harnstoff/ha)

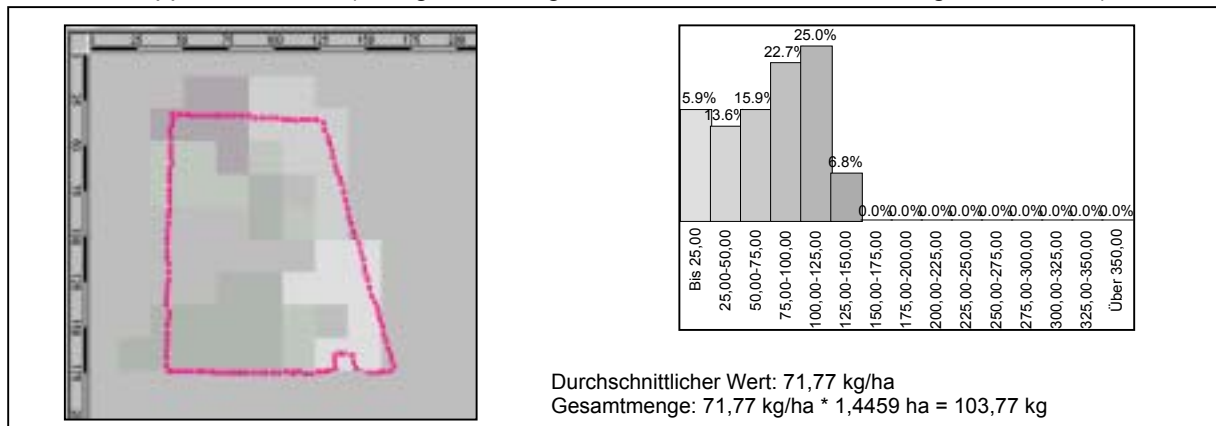


Abb. 102: Applikationskarte (Ertragserwartung pauschal; mindestens 0 kg Harnstoff/ha)

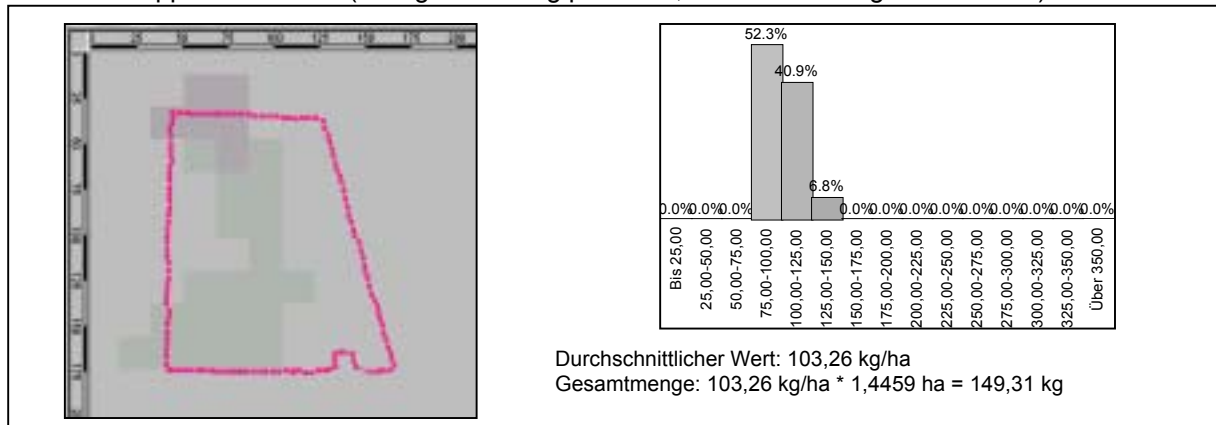


Abb. 103: Applikationskarte (Ertragserwartung pauschal; mindestens 100 kg Harnstoff/ha)

Abbildung 103 macht deutlich, dass lediglich drei Applikationsklassen für die Düngung verbleiben, wodurch sich die Spannweite weiter einschränkt. Eine solche modulierte Ausbringung ist von einer Pauschaldüngung nicht mehr weit entfernt. Die Kappung der Differenzierung im unteren Wertebereich bewirkt eine Erhöhung der durchschnittlichen Applikation auf 103,26 kg/ha, was 138,10% des Wertes ohne Mindestschwelle und damit eine nicht unerhebliche Veränderung bedeutet.

Die für die Umsetzung einer Modulation der Betriebsmittel relevanten Ergebnisse dieses Teilversuchs sind in Kapitel 3.1.2. beschrieben.

2.2 Befragung zur Anwendung der Präzisionslandwirtschaft im Elsass und in Baden-Württemberg

Im Rahmen des vorliegenden Projektes zur Präzisionslandwirtschaft wurde vereinbart, die Untersuchung über die Umsetzbarkeit der Modulation von Betriebsmitteln mit einer ergänzenden Befragung des landwirtschaftlichen Berufstandes zu beschließen, um den aktuellen Informationsstand der landwirtschaftlichen Betriebsleiter im Elsass und in Baden in Bezug auf diese neuen Technologien zur Berücksichtigung von Unterschieden innerhalb der Schläge zu erheben.

An dieser Arbeit haben mitgewirkt:

- Arvalis - Institut du Végétal, Colmar für den elsässischen Teil
- IfuL - Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim sowie
- Gisgeo GmbH & Co KG Wittbrietzen/Freiburg für den baden-württembergischen Teil.

Auf elsässischer Seite wurde diese Erhebung unterstützt von den beiden Landwirtschaftskammern und der APCO (Vereinigung der Erzeuger von Getreide und Ölsaaten des Départements Haut-Rhin). Außerdem wurden einige Schüler des Landwirtschaftsgymnasiums, die zukünftig wohl Betriebsleiter sein werden, befragt, um zu erkunden, ob die junge Generation zu dieser Frage der Präzisionslandwirtschaft eine andere Meinung hat oder damit andere Erwartungen verbindet.

In Baden-Württemberg wurde die Erhebung unterstützt durch die Landwirtschaftsämter am Oberrhein. Besondere Unterstützung gab es auch durch Herrn Prof. Mohn (FH Nürtingen), der durch seine Initiative eine Ausweitung der Umfrage unter Landwirtschaftsstudenten ermöglicht hat.

Schließlich erschien es interessant, neben den Landwirten und Landwirtschaftsschülern die Meinung der Berater zum Thema zu erheben, da diese mit der Beratung der Landwirte beauftragt sind.

2.2.1 Fragebogen

Der für die Umfrage verwendete Fragebogen wurde in Zusammenarbeit der beteiligten Projektpartner erarbeitet. Das Ziel der Befragung war, die Einstellung der Landwirte im Untersuchungsgebiet zum Einsatz von Präzisionslandwirtschaft herauszufinden. Es ergeben sich daraus Einschätzungen, inwiefern eine Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln durch die Haltung betroffener Landwirte ermöglicht würde.

Um ehrliche Antworten zu erhalten wurde aufgefordert, den Fragebogen anonym zu beantworten, was durch Hinzufügung eines frankierten Rückumschlages zum Anschreiben gefördert wurde.

Entsprechend dieses Zieles wurden übereingekommen, die Fragen des Fragebogens in 4 Themenkomplexe zusammen zu fassen:

- Themenkomplex 1: Fragen zur betrieblichen Situation
- Themenkomplex 2: Fragen zum EDV-Einsatz im Betrieb
- Themenkomplex 3: Fragen zu Präzisionslandwirtschaft und teilflächenspezifischer Bewirtschaftung
- Themenkomplex 4: Fragen zum Betriebsleiter

Innerhalb des **Themenkomplexes 1** werden die Betriebsart, der Arbeitskräftebesatz, die Tierhaltung, Betriebsfläche, Schlaganzahl und Schlaggrößen, die Art der angebauten Ackerkulturen, die Einschätzung zur Homogenität der Schläge, die Art und Weise der Arbeitserledigung, herangezogene Beratungen, und die Umsetzung der Düngung abgefragt.

Themenkomplex 2 fragt die Sicherheit des Umgangs und die Art der Verwendung des PC sowie Erfahrungen mit GPS ab.

Durch den **Themenkomplex 3** wird der Kenntnisstand zu Präzisionslandwirtschaft, sowie die grundsätzliche Bereitschaft zur Umsetzung von Präzisionslandwirtschaft abgefragt. Darüber hinaus gibt er Gelegenheit Hindernisgründe hierfür zu formulieren, sowie Änderungsvorschläge zur Ermöglichung des Einsatzes von Präzisionslandwirtschaft zu nennen. Es folgen Fragen zur Investitionsbereitschaft in Präzisionslandwirtschaft bzw. zur bisherigen Erfahrung damit. Er gibt die Möglichkeit Vor- und Nachteile hierzu zu äußern.

Im **Themenkomplex 4** werden Alter und Berufsausbildung des Betriebsleiters abgefragt. Es folgt die Frage, ob die Hofnachfolge gesichert ist. Schließlich kann die wirtschaftliche Zukunft sowie die ökologische Einschätzung des Betriebes eingeschätzt werden.

Der grenzüberschreitend gemeinsam erarbeitete Fragebogen ist dem Anhang zu entnehmen.

2.2.2 Durchführung der Umfrage

Befragung der Betriebsleiter

Auf *französischer Seite* wurden die zu befragenden Landwirte mit Hilfe der Landwirtschaftskammer des Unterelsass sowie auf Grundlage einer internen Datei von Arvalis ausgewählt. Die Auswahl war von ausreichendem Umfang, um für alle Betriebskategorien des Elsass, mit Ausnahme von Weinbau und Höhenlandwirtschaft, repräsentativ zu sein. Vor dem Versand an die Adressaten wurde der Fragebogen mit 5 'Test-Landwirten' erprobt, um eventuelle Verständnisprobleme, Unklarheiten oder unpassende Fragestellungen aufzudecken. Nach Berücksichtigung der dabei gewonnenen Erkenntnisse wurden insgesamt 329 Fragebogen verschickt, davon 190 im Unterelsass und 139 im Oberelsass. Der Versand erfolgte Ende Januar 2005 mit einem an Frau Juncker-Schwing, Arvalis adressierten und frankierten Rückumschlag, um eine gute Rücklaufquote zu erreichen.

Der Rücklauf erfolgte überwiegend im Laufe des Monats Februar. Einzelne Fragebogen kamen aber noch bis Anfang April 2005. Die Rücklaufquote für die elsässischen Betriebe betrug 44,7% (147 Antworten bei 329 versandten Fragebögen), was recht zufriedenstellend ist.

Gleichzeitig wurde derselbe Fragebogen an eine Klasse des Landwirtschaftsgymnasiums Obernai ausgegeben (22 Antworten). Von den 22 Antworten bezieht sich die Hälfte auf den elterlichen Betrieb (Antwort des Betriebsleiters und nicht des Schülers). Schlägt man diese Antworten der Betriebsleiterbefragung zu, so kommt man dort auf 158 Antworten, was die Rücklaufquote auf 46% erhöht, und 11 Antworten von Schülern, insgesamt also 169 Antworten. Wegen der geringen Zahl von ausgefüllten Fragebögen in der Kategorie 'Schüler', die zudem oft nur teilweise ausgefüllt waren, konnten diese Ergebnisse nicht ausgewertet werden.

Auch bei der Kategorie 'Landwirte' ist anzumerken, dass nicht alle Fragebögen korrekt und vollständig ausgefüllt waren.

Auf der *deutschen Seite* fand die Auswahl der zu befragenden Landwirte unter Einbeziehung der Landwirtschaftsämter am Oberrhein statt. Die Ämter für Landwirtschaft Emmendingen, Freiburg, Lörrach und Offenburg wurden mit der Bitte angeschrieben, für die Befragung jeweils etwa 10-20 Adressen von Landwirten bereit zu stellen.

Auf diese Art und Weise konnten Ende Januar 2005 41 Adressen von Landwirten zuzüglich 15 Adressen von Landwirtschaftsfachschülern zugänglich gemacht und angeschrieben werden.

Der Rücklauf von 23 anonymen Antworten der Landwirte (56,1%) ist für eine Umfrage als hoch zu bezeichnen und wurde sicherlich durch die mitgeschickten frankierten und adressierten Rückumschläge gefördert. Allerdings ist die Anzahl der absolut zur Verfügung gestellten Adressen unerwartet gering ausgefallen.

Erstaunlich erscheint es, dass ebenfalls durch Beifügung jeweils eines frankierten und adressierten Rückumschlages lediglich 2 Fachschüler für Landwirtschaft den Fragebogen (anonym) zurück gesendet haben, was einer Rücklaufquote von lediglich 8,7% entspricht.

Um die unbefriedigende Anzahl der Antworten zu erhöhen und die Umfrage hierdurch zu erweitern, konnte unter Mitwirkung von Prof. Dr. Mohn (FH Nürtingen) die Befragung unter weiteren 24 Studenten und 15 Landwirtschaftsschülern ergänzt werden.

Damit lagen insgesamt 64 Antworten zur Umfrage in Baden-Württemberg vor, was weniger als ursprünglich erhofft war.

Die Anzahl ist für eine statistische Auswahl an sich ausreichend. Da sie sich aber aus verschiedenen Befragungsgruppen zusammenstellt, sind abgeleitete Aussagen zu einzelnen dieser Befragungsgruppen mit Vorsicht zu betrachten.

Auch für Baden-Württemberg wurde der Fragebogen vor Versendung mit zwei ‘Test-Landwirten’ erprobt, um die Verständlichkeit und Eindeutigkeit der Fragen sicherzustellen. Dabei fand ein reger Austausch zur gegenseitigen Abstimmung mit dem französischen Partner statt.

Der Rücklauf ging ab Ende Februar, überwiegend aber Anfang März ein. Vereinzelt trafen Fragebögen auch noch bis Anfang April 2005 ein.

Befragung der Berater

Ein zweiter grenzüberschreitender Fragebogen mit den wichtigsten Bestandteilen des Fragebogens für die Landwirte, jedoch etwas vereinfacht, wurde an 22 landwirtschaftliche Berater von den verschiedenen, in der landwirtschaftlichen Beratung im Elsass tätigen Organisationen versandt: Landwirtschaftskammern, ARAA, Genossenschaften, Landhandel und Bildungseinrichtungen.

Leider war der Rücklauf etwas schwach (10/22). Eine seriöse Auswertung ist deshalb nicht möglich.

In Baden-Württemberg standen demgegenüber lediglich 5 ausgefüllte Beraterfragebögen zur Verfügung. Sie können daher nur als einfaches Meinungsbild herangezogen werden.

Die Ergebnisse der Befragung sind mit ihrer Relevanz zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel in Kapitel 3.2 zusammen getragen.

3 ERGEBNISSE

Wie unter Kapitel 2 beschrieben wurden aufgrund unterschiedlicher Ausgangsbedingungen im Elsass und in Baden-Württemberg auch jeweils unterschiedliche Versuche durchgeführt. Aus diesem Grund wird auch die Ergebnisdarstellung dieser Versuche eigens abgehandelt. Dabei werden zunächst die Ergebnisse der Versuche im Elsass (3.1) und danach diejenigen der Versuche in Baden (3.2) beschrieben.

Die Ergebnisdarstellung für das **Elsass** beginnt mit Beschreibungen der Standorteigenschaften der zwei im Elsass untersuchten Parzellen (3.1.1). Hierbei spielen die agronomische Variabilität, abgeleitete Aussagen aus den Auswertungen von Satellitenbildern und der Messung des elektrischen Widerstandes sowie einer geostatistischen Untersuchung eine Rolle.

Es folgt die Darstellung der Ergebnisse des Versuches zur Modulation der Betriebsmittel durch eine Variation der Saatstärken im Jahr 2003 (3.1.2) und durch eine Variation der Stickstoffdüngung im Jahr 2004 (3.1.3).

Bei der Ergebnisdarstellung für die Untersuchungen auf den Schlägen in **Baden-Württemberg** (3.2) werden zunächst die wesentlichen Ergebnisse zur Variabilität (3.2.1) auf den Versuchsschlägen dargestellt. Hierbei werden die Ertragsverteilungen, die Variabilität von N_{\min} , diejenige der elektromagnetischen Leitfähigkeit und des Wasserhaltevermögens aufgeführt.

Es folgen die Ergebnisse zur Machbarkeit der Modulation (3.2.2); dabei spielen die Praxistauglichkeit des Kartieransatzes (3.2.2.1) sowie des Online-Ansatzes (3.2.2.2) eine Rolle. Beim Kartieransatz wird die Ausweitung in Richtung Gewannebewirtschaftung, die Integration einer Wachstumssimulation sowie von Fernerkundungsdaten berücksichtigt. Dabei wird jeweils auf die aufgetretenen Komplikationen, sowie auf das Potenzial der einzelnen Verfahren eingegangen.

Es folgen die Ergebnisse zur Auswirkung der Modulation (3.2.3), wobei N_{\min} , Ertrag und die Höhe der Düngung berücksichtigt werden. Schließlich wird der Stickstoff bei der Anwendung der Modulation bilanziert und Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit der Modulation der Betriebsmittel angestellt.

Die **Ergebnisse der Befragung** zur Anwendung der Präzisionslandwirtschaft im Elsass und in Baden-Württemberg werden wiederum gemeinsam in Kapitel (3.3) dargestellt, weil auch ein gemeinsamer Fragebogen erarbeitet wurde und zur Anwendung kam.

3.1 Ergebnisse der Versuche im Elsass

3.1.1 Standorteigenschaften der beiden Parzellen im Elsass

(1) Agronomische Variabilität

Hinweis: Im Bestreben nach einer Vergleichbarkeit der Referenzwerte auf beiden Seiten des Rheins erfolgten die Bodenuntersuchungen im Jahr 2003 einheitlich im Labor der LUFA Augustenberg. Die Beprobung erfolgte auf 0-30 cm Tiefe, die Analysen mit der deutschen CAL-Methode (Calcium-Ammonium-Laktat).

Witternheim

Die Ergebnisse der empirischen Variabilitätsuntersuchung der Versuchsparzelle Witternheim sind in [Tabelle 11](#) dargestellt:

Tab. 11: Ergebnisse der empirischen Variabilitätsuntersuchung (Witternheim)

Variable	Minimum	Maximum	Mittel	Standard-abweichung	Variations-koeff. (%)	Q 95 – Q 5
Ton	18.3	28.9	24.9	2.1	8	6.5
Schluff	28.3	37	32.2	2.1	6	7.3
Sand	37.7	50	42.8	2.4	6	8.1
Humus %	2.4	4.5	3.1	0.4	13	1.2
pH	6	7.3	6.8	0.3	5	1.1
P2O5	60	430	217	96.9	45	300
K2O	170	510	320	82.9	26	280
MgO	70	140	105	17.7	17	60
Tiefgründigkeit (cm)	35	100	49	17.9	37	50
nFK	61	189	88	30.6	35	87
Ertrag 2000 (dt/ha)	88.9	161.4	130.3	15	11	
Ertrag 2001 (dt/ha)	95	136.3	119.2	10.6	9	
Ertrag 2002 (dt/ha)	81.5	147.5	121.9	13	11	

Gemäß dem von der ARAA herausgegebenen Bodenführer für das Elsass gehört der Boden der Versuchsparzelle Witternheim zur kiesigen Altrheinterrasse im Bereich der III. Dabei handelt es sich um eine Vergesellschaftung von hydromorphen Böden und kiesigen, kalkhaltigen Braunerden. Die Versuchsparzelle gehört eher zur letztgenannten Kategorie. Sie ist gekennzeichnet durch eine geringe nutzbare Feldkapazität und ein erhöhtes Nitratauswaschungsrisiko. Dies war einer der wesentlichen Gründe für die Auswahl dieser Fläche im Hinblick auf eine Modulierung der Stickstoffdüngung.

Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung befinden sich im Anhang.

Die Ton-, Schluff- und Sandanteile variieren innerhalb der Parzelle nur gering. Die Korngrößenverteilung ist relativ ausgeglichen, mit einer gewissen Tendenz zum Sand. [Abbildung 104](#) zeigt, dass die pH-Werte eine geringe Variabilität aufweisen (Variationskoeffizient = 5 %). 82 % der Beprobungspunkte der Parzelle weisen einen pH-Wert zwischen 6,3 und 7,1 auf. Diese Größe ist bekannt dafür, dass sie innerhalb der Parzellen nur wenig variabel ist.

Mit Ausnahme einiger Punkte mit $\text{pH} > 7$ (ein hoher pH -Wert kann zu einer Festlegung von Mineralstoffen führen), liegen die pH -Werte in einem für das Maiswachstum zweifellos günstigen Bereich.

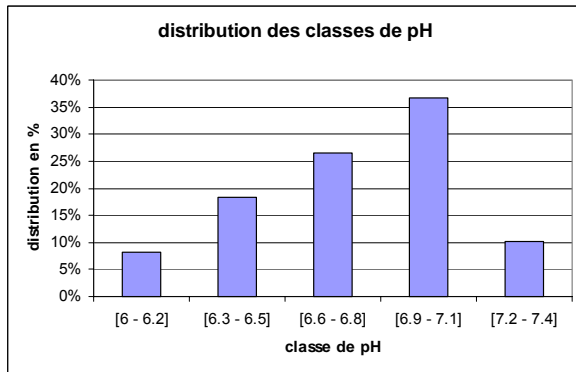


Abb. 104: Variabilität der pH -Werte

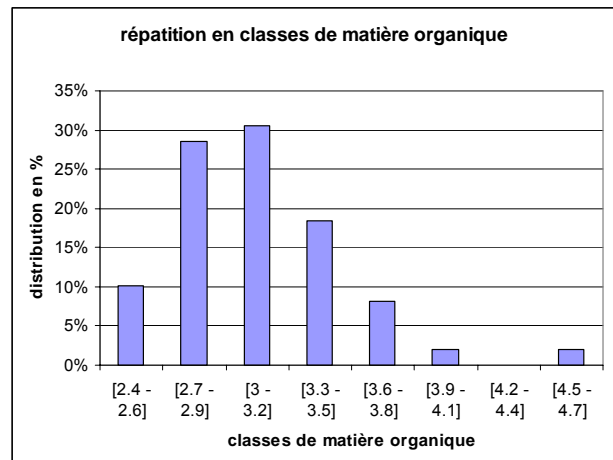


Abb. 105: Variabilität der Humusgehalte

Die Humusgehalte sind ziemlich gleichmäßig und liegen im Mittel bei 3 %, was einen recht fruchtbaren Boden anzeigt (Abb. 105). Der Parzelle wird gelegentlich Wirtschaftsdünger zugeführt. 96% der Werte liegen zwischen 2,4 und 3,8 %.

Dagegen weisen die Phosphatgehalte, die Tiefgründigkeit und die nutzbare Feldkapazität (die eng damit korreliert ist) und in geringerem Maße auch die Kali- und Magnesiumgehalte eine große Streuung auf, wie sie auch andernorts zu beobachten ist.

Nachdem die Variabilität für diese Größen beschrieben ist, stellt sich die Frage, ob sie sich auch in einem agronomisch sensiblen Bereich bewegt, so dass eine Modulation sinnvoll wäre.

Wie bereits erwähnt, wurden die Analysen von einem deutschen Labor vorgenommen, das nicht dieselben Methoden wie in Frankreich einsetzt, so dass sich auch unterschiedliche Wertebereiche ergeben.

Ein Merkblatt des baden-württembergischen Landwirtschaftsministeriums ermöglicht die Interpretation der Ergebnisse in Bezug auf Schwellenwerte (s. Anhang).

Betrachtet man die Magnesium- und Kaligehalte, so lässt sich feststellen, dass die Parzelle gut versorgt ist und dass die Bodengehalte den Entzug durch die Pflanzen kompensieren können. Auch mit Phosphat ist die Parzelle, bis auf einige kleine Bereiche, gut versorgt, auch wenn die Streuung größer ist.

Auf jeden Fall stellen die Magnesium- und Kaliumgehalte keine ertragsbegrenzenden Faktoren dar. Was die Phosphatgehalte angeht, so werden die niedrigeren Werte durch eine relativ üppige Düngung des Landwirts kompensiert (s. Bewirtschaftungsmaßnahmen im Anhang; Düngung 2003: 230 N - 60 P - 110 K). Bei diesen Mineralstoffen ließen sich in den Zonen höherer Gehalte Einsparungen bei der Düngung realisieren.

Was die Unterschiede der Tiefgründigkeit und der nutzbaren Wasserkapazität betrifft, so wirken sich diese infolge der Berechnung nicht auf die Erträge aus.

Infolgedessen scheint bei diesen Elementen aufgrund der Bodengehalte und der Bewirtschaftung durch den Landwirt eine *agronomisch sensible Situation* in Bezug auf die

Erträge nicht gegeben zu sein. Andererseits lässt sich bei fehlender Ertragsgefährdung an Einsparungen durch eine restriktivere Bewirtschaftung denken.

Was die Erträge angeht, so ist die Variabilität von einem Jahr zum anderen relativ konstant bei 10-15 dt/ha und völlig übereinstimmend mit Maiserträgen auf einer homogenen landwirtschaftlichen Fläche.

Ebersheim

Die Ergebnisse der empirischen Variabilitätsuntersuchung der Versuchsparzelle Ebersheim sind in [Tabelle 12](#) dargestellt.

Tab. 12: Ergebnisse der empirischen Variabilitätsuntersuchung (Ebersheim)

Variable	Minimum	Maximum	Mittel	Standard-abweichung	Variations-koeff. (%)	Q 95 – Q 5
Ton	14.9	19.5	17.7	1.3	7	4.4
Schluff	24.6	43.4	34.1	4.8	14	15.5
Sand	38.5	58.9	48.2	5.5	12	18.7
Humus %	1.7	2.1	1.9	0.1	6	0.4
pH	5.3	7.2	6.3	0.4	6	1
P2O5	100	340	161	53.1	33	190
K2O	100	240	182	35.1	19	120
MgO	50	100	76.2	12.7	17	40
Gründigkeit (cm)	50	120	104.5	24.8	24	70
nFK	85	288	167	43.6	26	120
Ertrag 2000 (dt/ha)	103.9	152.6	133.7	10	7	
Ertrag 2001 (dt/ha) WWeizen	67.6	111.4	88.9	9.7	11	
Ertrag 2002 (dt/ha)	107.8	134.6	122.2	7	6	

Gemäß dem von der ARAA herausgegebenen Bodenführer für das Elsass gehört der Boden der Versuchsparzelle Ebersheim zum alluvialen Fächer des Giessen (Vogesenbach). Er wird als tiefgründige, sandige, saure Braunerde beschrieben. Er ist relativ anfällig für Nitrat-auswaschung. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchung befinden sich im Anhang.

Die Tongehalte sind innerhalb der Parzelle relativ gleichmäßig (VK = 5 %), während die Schluff- und Sandgehalte stärker variieren (VK = 14 % bzw. 12 %) und umgekehrt proportional sind. Insgesamt handelt es sich um einen relativ leichten Boden mit vorherrschender Sandfraktion. Die nachstehende Abbildung zeigt eine kontinuierliche Variation der Schluff- und Sandgehalte ([Abb. 106](#)).

Die pH-Werte können als stabil beschrieben werden ([Abb. 107](#)). Bis auf wenige Punkte mit pH < 6 liegen 93 % der Beprobungspunkte der Parzelle zwischen 5,6 und 7 (oder 79 % zwischen 5,9 und 6,7). Aus agronomischer Sicht kommt dieses pH-Spektrum dem Maiswachstum durchaus entgegen, zumal man davon ausgeht, dass die meisten Nährstoffe im pH-Bereich zwischen 5,5 und 6,5 am besten verfügbar sind. Dabei wird das Maiswachstum meistens durch mangelnde Verfügbarkeit von Bodennährstoffen begrenzt.

Auf diesem Schlag ist folglich eine Festlegung von Nährstoffen nicht zu befürchten.

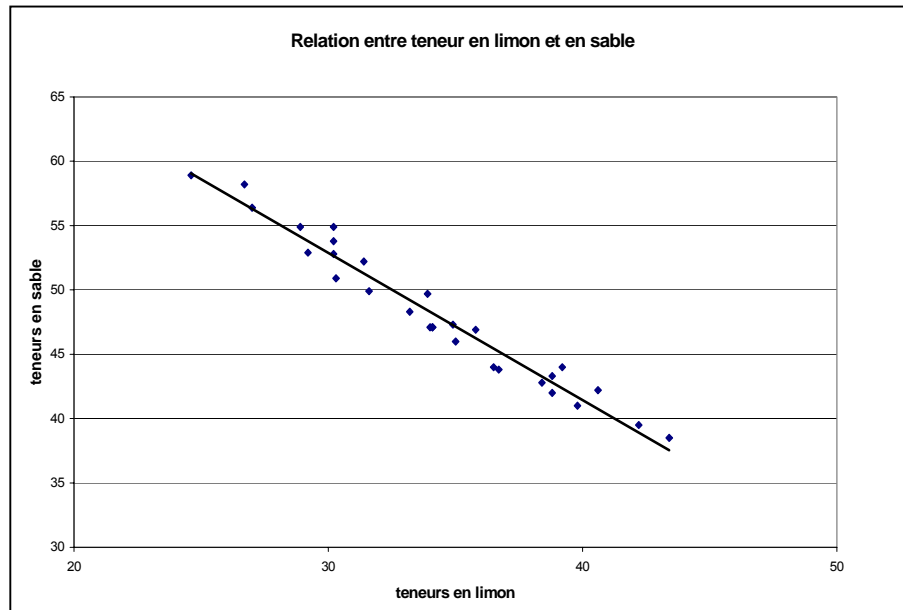


Abb. 106: Variation der Schluff- und Sandgehalte

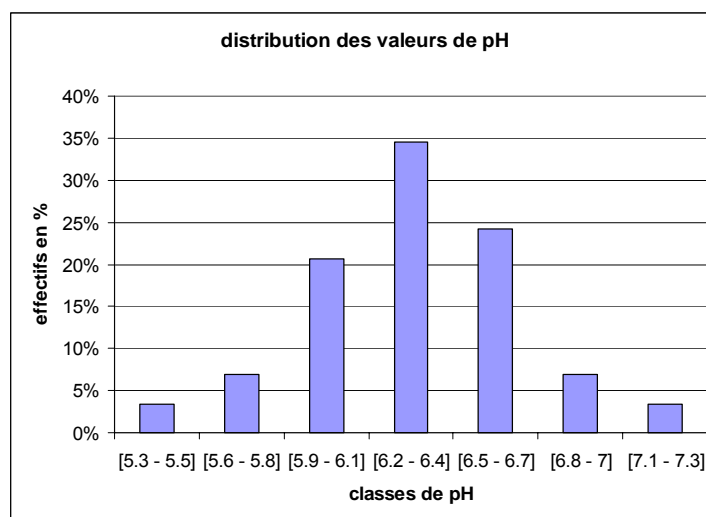


Abb. 107: Klassenverteilung der pH-Werte

Ebenso sind auch die Humusgehalte ziemlich gleichmäßig verteilt. Die gemessenen Werte sind vollkommen typisch und liegen im Mittelfeld der meisten Ackerböden.

Was die chemische Untersuchung angeht, so ist die Streuung der verschiedenen Elemente insgesamt geringer als in Witternheim. Dies gilt auch für die Gründigkeit und die nutzbare Wasserkapazität. Die Angaben zu den Schwellenwerten der deutschen Methode für die chemische Analyse befinden sich im Anhang.

Bei den Phosphatgehalten liegen die meisten Werte in der Klasse C, d.h. einem normalen Bereich ohne auffällige Mängel, so dass eine Düngung auf Entzug empfohlen wird. Einige wenige Punkte zeigen etwas schlechtere Werte, werden durch die Düngung des Landwirts aber bei weitem kompensiert (s. Bewirtschaftungsmaßnahmen im Anhang. Düngung 2003: 110 N / 90 P / 100 K). In Bezug auf Kali kann gesagt werden, dass der Boden gut versorgt ist, wenn man die Entzüge durch Mais berücksichtigt. Dies umso mehr, als der Landwirt noch ergänzend düngt. Die Magnesiumgehalte sind bei der Hälfte der Stichprobepunkte etwas niedrig. Die

Ansprüche von Mais sind diesbezüglich aber gering und die Bestände zeigten keine Mangelsymptome. Auch wies der Landwirt nicht auf solche potenziellen Mangelsymptome hin. Die Variabilität der Erträge (beim Vergleich der beiden Jahre mit Mais) ist geringer als in Witternheim.

Auch in dieser Parzelle, die ein wenig homogener als die andere erscheint, ist keine „agronomisch sensible“ Situation für die Kultur gegeben. Auch hier reichen die Bewirtschaftungsmaßnahmen auch an den schwächsten Stellen aus (Wasser, Nährstoffe).

(2) Satellitenbilder

Nachstehend sind die im August 2003 aufgenommenen Satellitenbilder der beiden Versuchspartellen zu sehen. Unglücklicherweise lassen sich keine klar unterscheidbaren Zonen innerhalb der Parzellen erkennen, da die Flächen zu klein und die Auflösung des verwendeten Satelliten zu gering waren (Abb. 108, Abb. 109 und Abb. 110).

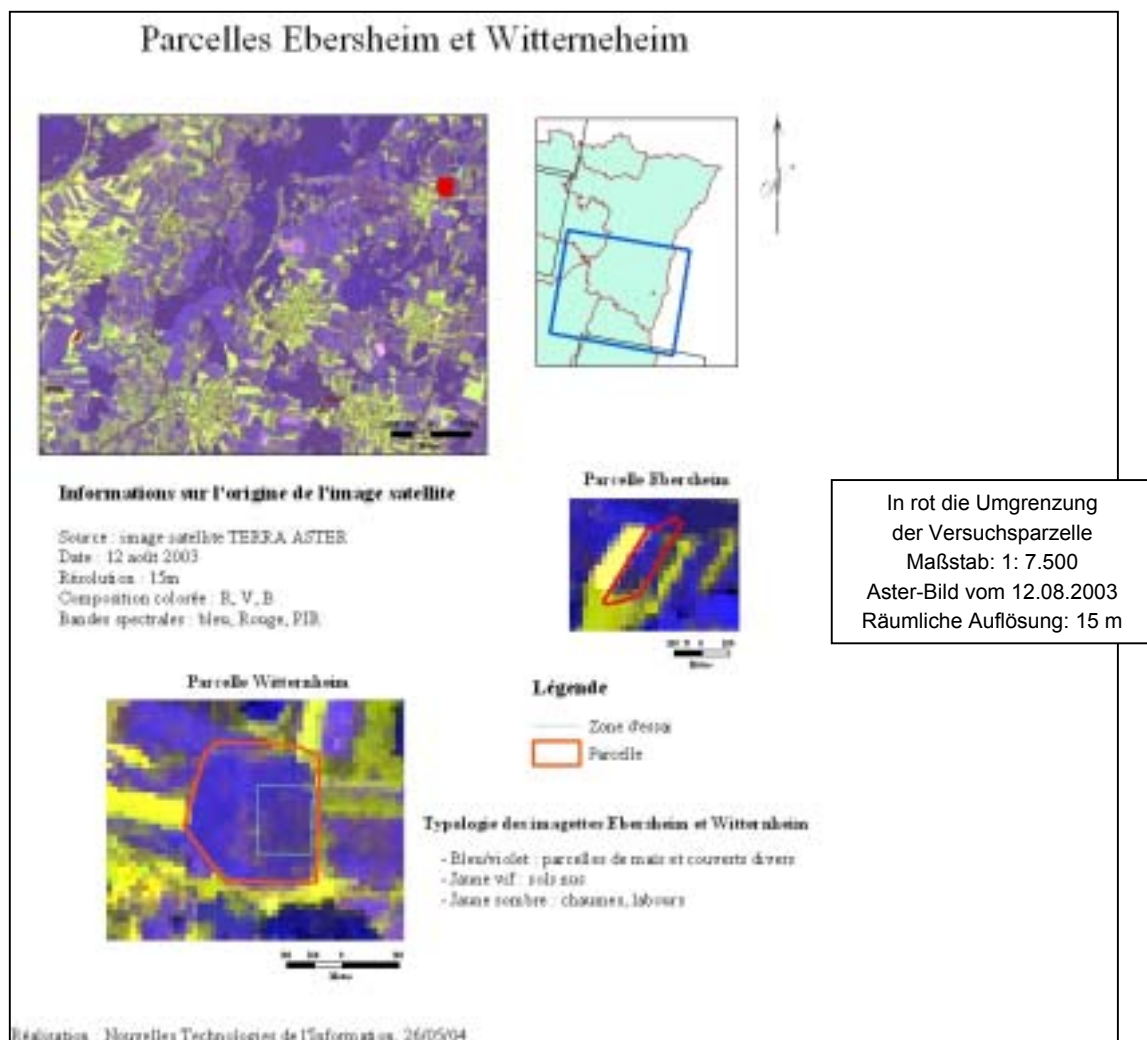


Abb. 108: Darstellung der Versuchflächen durch den Satelliten TERRA ASTER (12.08.2003)

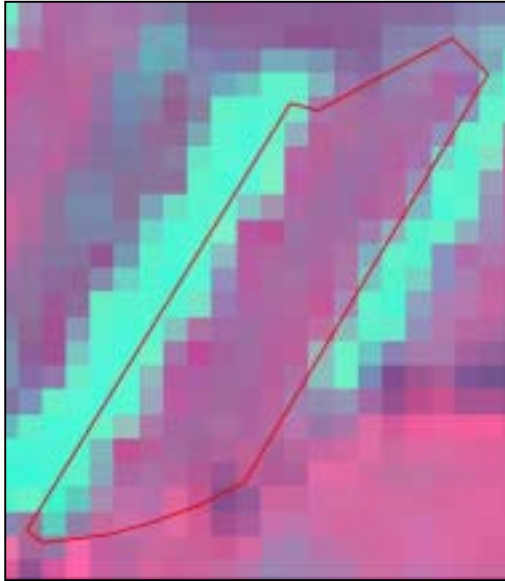


Abb. 109: Satellitenbild der Parzelle Witternheim vom August 2003



Abb. 110: Satellitenbild der Parzelle Ebersheim vom August 2003

(3) Messung der Bodenleitfähigkeit

In **Witternheim** wies die unbestellte Versuchsparzelle eine für die Untersuchung geeignete bearbeitete Bodenoberfläche auf. Die Parzelle wurde mit dem Messgerät abgefahren, wobei eine Fläche von 6,8 ha untersucht wurde. Wie [Abb. 112](#) zeigt, wurden die Daten für verschiedene Bereiche der Bodentiefe interpoliert. Es sind die Verteilungskarten mit den entsprechenden Klassenverteilungen für den Tiefenbereich 0-50 cm, 0-1m, sowie 0-2 m zu sehen.

Die mit rot dargestellten Bereiche zeigen Werte hoher elektrischer Leitfähigkeit, die blauen Bereiche Werte mit geringer elektrischer Leitfähigkeit und Grüntöne mittlere Leitfähigkeitswerte.

Der hohe elektrische Widerstand in den roten Zonen ist im allgemeinen durch Flachgründigkeit verursacht. Die Zonen geringeren Widerstandes (blau) sind normalerweise tiefgründiger.

Es ist interessant festzustellen, dass die roten, flachgründigen Zonen der Karte für die Bodentiefe 0-50 cm, sehr gut mit den im Zuge des ersten Projektabschnitts kartierten kiesigen Zonen übereinstimmen, wie nachstehend zu sehen ist ([Abb. 111](#)):

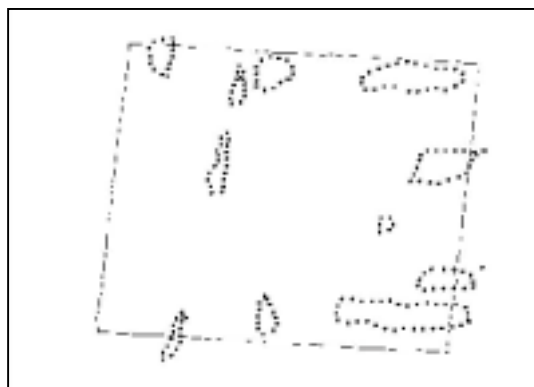


Abb. 111: Kartierung kiesiger Bereiche

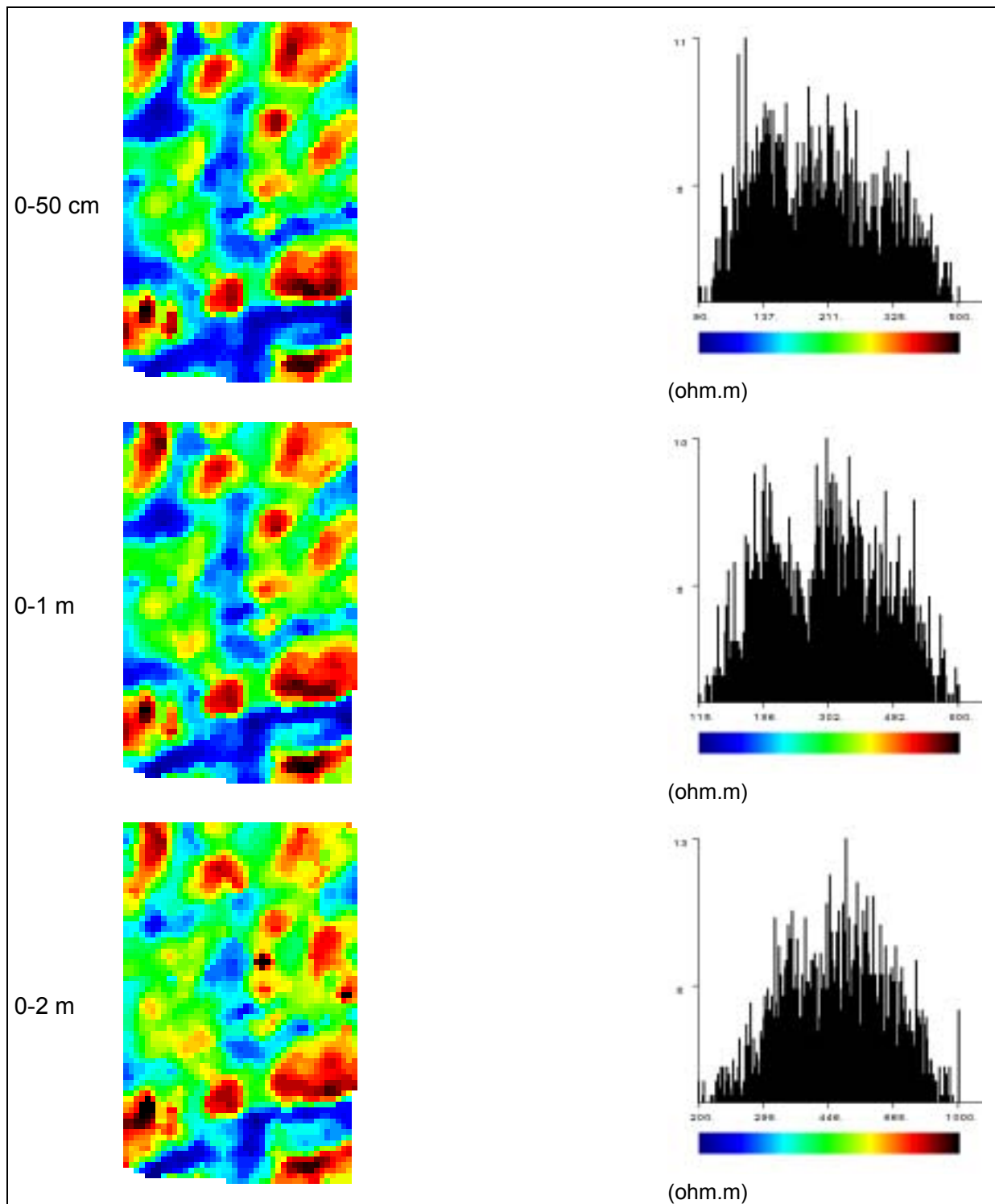


Abb. 112: Karte des elektrischen Widerstands (Witternheim) (Géocarta-Daten)

Welcher Horizont auch betrachtet wird, die Zonen mit einheitlichem elektrischen Widerstand sind klein und über die ganze Parzelle verstreut. Es wird also schwer fallen, im Zuge der Datenauswertung diesen Zonen die entsprechenden Erträge zuzuordnen. Zwischen dem Einzug des Getreides in den Mähdrescher und der Erfassung des Getreidekorns durch den Sensor im Elevator vergehen mehrere Sekunden. Diese Zeitverzögerung ist abhängig von der Fahrstrecke des Mähdreschers im Feld und seiner Fahrgeschwindigkeit. Diese ist unterschiedlich, weshalb eine genaue Berechnung des ursprünglichen Wuchsortes nicht möglich ist.

Diese Art von Variabilität an kleinsten Flecken, erfasst durch kontinuierliche Messungen, ist im übrigen schwer geometrisch zu beschreiben und in Zonen einzuteilen. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Probenahmepunkt in diesen zufällig verteilten Zonen liegt, ist gering. Die Folge für die Interpolation der Bodendaten eines Messpunktes, der in einem dieser sehr kleinen Flecken liegt, besteht darin, dass dies zu Randeffekten der Variabilität führt.

Bei der Untersuchung der elektrischen Leitfähigkeit in **Ebersheim** war die Versuchsparzelle unbestellt und unbearbeitet und stellenweise sehr nass, was die Untersuchung erschwerte.

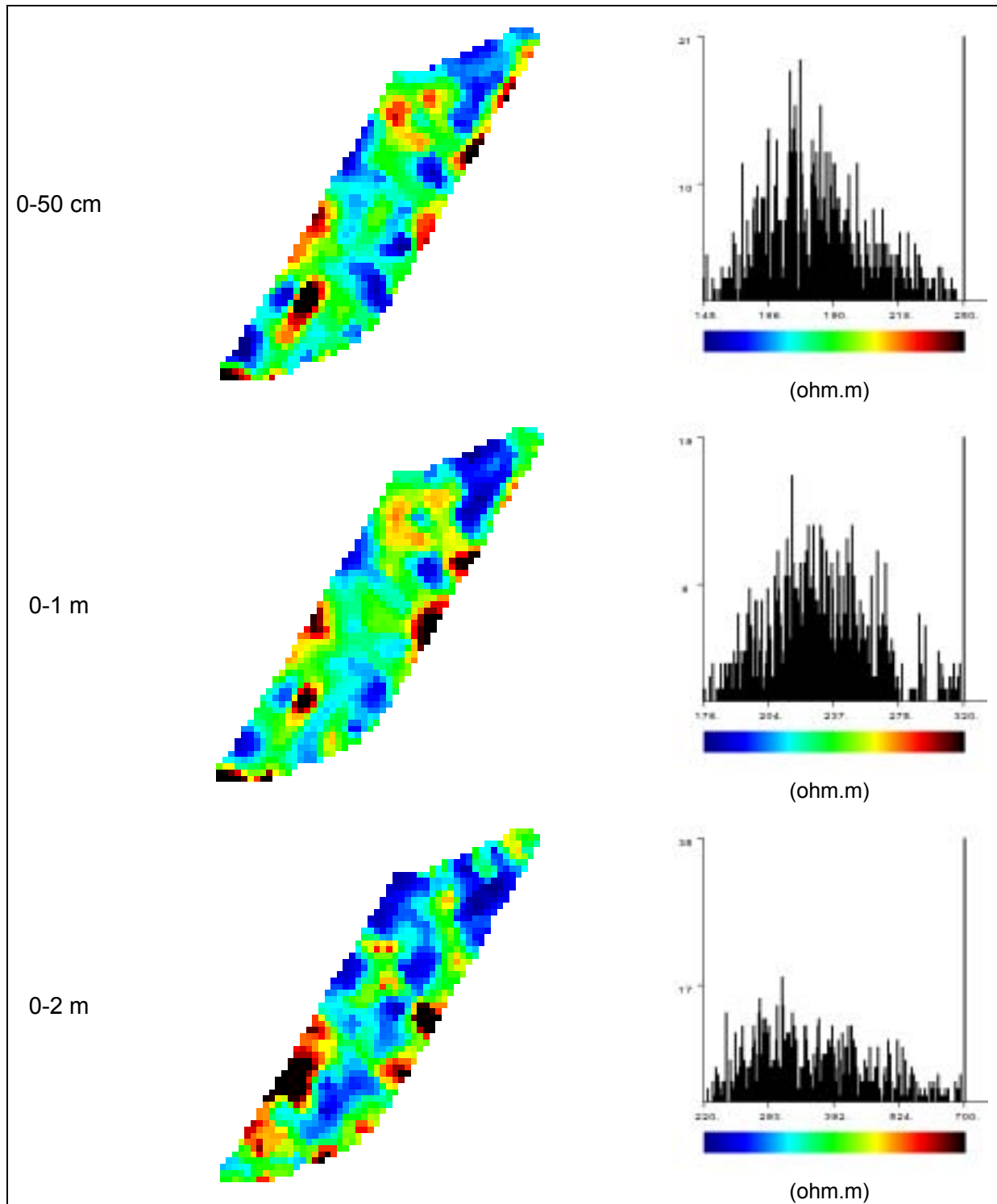


Abb. 113: Karte des elektrischen Widerstands der Parzelle Ebersheim (Géocarta-Daten)

Die Parzelle wurde dennoch abgefahren, wobei eine Fläche von 2,7 ha untersucht wurde. Wie bei der Parzelle Witternheim sind die Zonen gleichen elektrischen Widerstands sehr klein und über den ganzen Schlag verteilt.

(4) Geostatistische Untersuchung

Analyse der räumlichen Struktur in Witternheim

Die geostatistische Untersuchung zeigt, dass für die Kriterien Humus, MgO-Gehalt, Gründigkeit und nutzbare Feldkapazität keine räumliche Struktur vorliegt. Das Verhalten dieser Größen scheint völlig zufällig zu sein. Die Variabilität dieser Größen kommt bereits auf kürzeren Distanzen als dem kleinsten Schritt des Maßstabs zum Ausdruck. Deshalb wirkt deren Verteilung im untersuchten Maßstab zufällig. Eine zutreffende kartographische Darstellung dieser Variablen ist deshalb nicht möglich. Eine zuverlässige Vorhersage der intraparzellären Verteilung dieser Variablen ist unmöglich, selbst bei einem sehr engmaschigen Beobachtungsraster wie im vorliegenden Projekt.

Dagegen gibt es bei P2O5 und K2O eine klare räumliche Struktur mit relativ homogenen Bereichen. Diese sind jedoch klein.

Der Schluffgehalt zeigt eine klare räumliche Struktur, die jedoch nicht so ausgeprägt ist wie die von P2O5 und K2O. Dies hat relativ heterogene Zonen von kleiner Ausdehnung zur Folge.

Beim pH sind die Zonen groß, aber ebenfalls relativ heterogen.

Die Analyse der Sand- und Tongehalte offenbart zwei Bereiche innerhalb der Parzelle. Eine davon ist klein und befindet sich in der Nordost-Ecke des Schlages, so dass diese Zonierung für die Praxis nicht sehr geschickt ist.

Schlussendlich muss man zusammenfassend feststellen, dass die Parzelle von Witternheim keine ausreichende räumliche Struktur für die intraparzelläre Modulation des Betriebsmitteleinsatzes aufweist.

Die Auswertung der Leitfähigkeitsmessungen führt zu ähnlichen Schlussfolgerungen und scheint zu bestätigen, dass eine klare räumliche Struktur, welche die Anwendung von Verfahren der Präzisionslandwirtschaft erlaubte, nicht gegeben ist.

Analyse der räumlichen Struktur in Ebersheim

Die Größen P2O5, Humus und Ton weisen keine räumliche Struktur auf und es ist nicht möglich, eine zuverlässige kartographische Darstellung dieser Größen zu erstellen: Eine zuverlässige Vorhersage der intraparzellären Werteverteilung ist nicht machbar.

Was die Bodenmächtigkeit, die Gehalte an MgO und K2O sowie den pH-Wert angeht, ist die Variabilität hoch über kurze Distanzen. Eventuell ausweisbare Zonen sind groß, aber sehr heterogen.

Auch für Schluff, Sand und die nutzbare Feldkapazität sind die abgrenzbaren Zonen relativ heterogen.

Die Bodenleitfähigkeit zeigt eine deutliche räumliche Strukturierung mit relativ einheitlichen Zonen, jedoch von geringer Ausdehnung.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass auch die Parzelle von Ebersheim keine ausreichend große räumliche Struktur für die intraparzelläre Modulation aufweist: Sei es, die räumliche Struktur existiert, dann aber auf zu kleinen Flächen für den Einsatz von landwirtschaftlichen Maschinen oder aber sind die abgegrenzten Zonen zu heterogen.

(5) Schlussfolgerungen

Voraussetzung für die Präzisionslandwirtschaft ist die Kenntnis der intraparzellären Variabilität. Die Genauigkeit der Karten hängt natürlich von der Beprobungsdichte ab. Eine präzise Karte ist aber nur möglich, wenn eine ausreichende räumliche Struktur vorliegt.

Im vorliegenden Fall haben jedoch sowohl die klassische statistische Analyse als auch die geostatistische Analyse aufgezeigt, dass die Versuchspartellen in Ebersheim und Witternheim für eine Durchführung der intraparzellären Modulation nicht sehr geeignet sind. Mit der festgestellten Variabilität lässt sich nichts anfangen: sei es, weil die den Ertrag erklärende Variable nicht ertragsbegrenzend ist, wie dies für die wichtigsten Bodennährstoffe gilt, sei es, weil diese Variabilität nicht räumlich strukturiert ist, dergestalt, dass man mit landwirtschaftlichen Maschinen darauf reagieren könnte, oder sei es, weil sich die fragliche Variable nicht modulieren lässt (Beregnung). Außerdem werden eventuelle Effekte eines geringeren landwirtschaftlichen Betriebsmitteleinsatzes durch den nicht ertragsbegrenzenden Einsatz anderer Betriebsmittel verwischt.

Die geostatistische Analyse der Parzellen von Witternheim und Ebersheim war Teil einer umfangreicheren Untersuchung von Arvalis - Institut du végétal auf insgesamt 10 Parzellen in ganz Frankreich. Diese Studie zeigte, dass sich die Variabilität der Bodeneigenschaften von einer Parzelle zur anderen stark unterscheiden kann und dann auch noch je nach betrachtetem Kriterium verschieden sein kann. Von den 10 untersuchten Parzellen wiesen 3, darunter die von Ebersheim, eine geringe Gesamtvariabilität auf. Drei andere wiesen eine hohe und vier, darunter die von Witternheim, eine mittlere Variabilität auf.

Widerholung des wichtigen Hinweises: Die geostatistische Analyse erfolgte erst im Laufe des Jahres 2004. Deren Ergebnisse waren bei der Durchführung der Versuche des Jahres 2003 folglich noch nicht bekannt.

3.1.2 Ergebnisse zur Variation der Saatstärke (2003)

Witternheim

Die manuelle Auszählung der Bestandesdichten auf drei Beprobungsflächen in jeder Wiederholung zeigte eine Abweichung zur 'theoretischen' Dichte, auf die die Sämaschine eingestellt wurde:

- Für die angestrebte Zahl von 75 000 Pflanzen/ha, liegt diese Abweichung bei rund 9.000 Pflanzen, so dass im Mittel lediglich 66.000 Pflanzen gesät wurden
- Für die Bestandesdichte 85.000 Pfl./ha ist die Differenz mit 13.000 Pfl./ha größer, so dass letztlich nur 72.000 Pflanzen gesät wurden
- Für die angestrebte Bestandesdichte 95.000 ist die Differenz mit rund 16.000 Pfl./ha noch größer, was zu einer effektiven Pflanzenzahl von 79.000 Pfl./ha führt.

Bei Mais ist ein Unterschied zwischen angestrebter und tatsächlich gesäter Bestandesdichte normal, doch hier wurde der angestrebte Unterschied von jeweils 10.000 Pfl./ha zwischen den drei Stufen nicht erreicht. Er liegt eher bei 6 - 7.000 Pfl./ha. Es ist zu vermuten, dass es bei der Sämaschineneinstellung Probleme gab oder aber dass hohe Auflaufverluste aufgetreten sind.

Die Ertrags- und Feuchteergebnisse sind in Tabelle 13 dargestellt.

Infolge eines Problems bei der Aufzeichnung der Feuchte durch die Sensoren im Mährescher beim Drusch der 3. Wiederholung der höchsten Saatstärke (95.000) (Aussetzen des GPS-Signals?) gibt es für diese Variante keine Ergebnisse. Außerdem wurden die Ergebnisse des Feuchtesensors auch bei der ersten Wiederholung der niedrigsten Saatstärke (75.000) nicht aufgezeichnet, so dass nur zwei von vier Überfahrten des Mähreschers dargestellt sind. (Tab. 13)

Hinweis: Bei der vorliegenden Versuchsanlage (BRUNT) ist eine Varianzanalyse nicht statthaft, da diese nicht randomisiert ist. Eine einfache statistische Auswertung mit Angabe von Standardabweichung und Variationskoeffizient befindet sich im Anhang.

Variante	dt/ha bei 15%	Std.abw. dt/ha	Feuchte %	dt_mini	dt_maxi
Wh. 1, D1	93.69	12.55	27.44	72.69	126.51
Wh. 1, D2	95.33	13.17	26.67	75.70	137.30
Wh. 1, D3	92.22	11.27	26.87	72.98	142.22
Wh. 2, D1	94.47	14.10	29.11	71.51	149.61
Wh. 2, D2	103.29	15.35	25.94	78.06	145.48
Wh. 2, D3	106.93	17.71	25.46	77.38	147.75
Wh. 3, D1	94.26	11.87	31.28	74.90	137.40
Wh. 3, D2	100.36	14.85	27.43	73.76	141.30
Variante	dt/ha bei 15%	Std.abw. dt/ha	Feuchte (%)	dt_mini	dt_maxi
Dichte 1	94.23	12.90	29.65	71.51	149.61
Dichte 2	99.68	14.82	26.68	73.76	145.48
Dichte 3	97.25	15.44	26.39	72.98	147.75
W.1	93.76	12.36	26.91	72.69	142.22
W.2	100.41	16.15	27.13	71.51	149.61
W.3	97.24	13.73	29.40	73.76	141.30
Vers.	97.16	14.47	27.71		

Tab. 13: Berechnete Daten

Diese Ergebnisübersicht zeigt geringe Ertragsunterschiede zwischen den drei Bestandesdichten, die nicht signifikant sind ($VK = 3\%$). Im übrigen ist festzustellen, dass die Ertragsschwankungen recht groß sind und in derselben Größenordnung liegen, egal welche Saatstärke. Außerdem liegt das mittlere Ertragsniveau des Schlags ($97,16 \text{ dt/ha}$) deutlich unter den Erträgen der Jahre 2000, 2001 und 2002 ($120 - 130 \text{ dt/ha}$). Unter den Witterungsverhältnissen des Jahres 2003, das früh, heiß und trocken war, konnte der Wasserbedarf nicht gedeckt werden.

Bei den Bestandesdichten 2 und 3 weist die in der Mitte des Schlages gelegene zweite Wiederholung höhere Erträge auf. Dies zeigt auch die folgende Karte (Abb. 114):

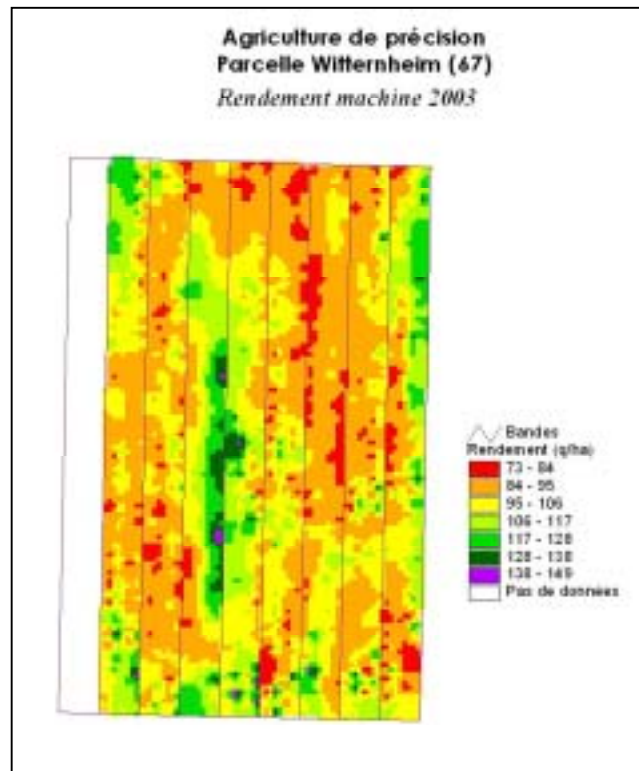


Abb. 114: Interpolierte Ertragskarte der Versuchsparzelle, alle Bestandesdichten vermischt

Sie zeigt, dass die Erträge ziemlich schwanken, mit Spitzenerträgen im 4. und 5. Streifen, ansonsten jedoch relativ gleichmäßig im Bereich von $84 - 105 \text{ dt/ha}$ (gelb-orange Farbtöne) liegen.

Diese Schwankungsbreite in der Größenordnung von 20 dt/ha ist in Maisschlägen auch ohne Variation der Saatstärke nicht ungewöhnlich.

Gegenstand dieses Versuchs war jedoch der Vergleich von drei Saatstärken. Wie Tabelle 13 zeigt, sind die Ertragsunterschiede zwischen den drei Saatstärken jedoch nicht signifikant.

Die gemäß der BRUNT-Methode (s. Kapitel Material und Methoden) interpolierten Karten dieser Unterschiede erlauben zu bestimmen, in welchen Zonen des Schlages eine bestimmte Saatstärke besser gewesen wäre als eine andere.

Hierzu lässt sich mitteilen, dass der Bereich mit den höchsten Erträgen einem Bereich entspricht, in dem die elektrische Leitfähigkeit auf einen tiefgründigeren Boden schließen lässt. Dies bestätigt die Hypothese des Wassermangels im Jahr 2003.

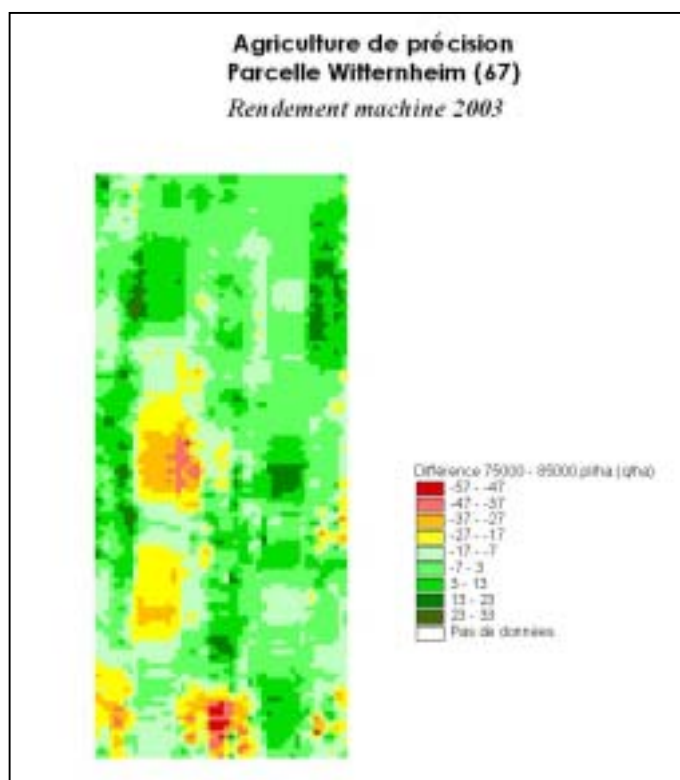


Abb. 115: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 75.000 und 85.000 Pflanzen/ha

Auf dem größten Teil der Schlagfläche bewegt man sich im grünen Bereich geringer Ertragsunterschiede zwischen den zwei Saatstärken: -17 bis +13 dt/ha (Abb. 115 und 116).

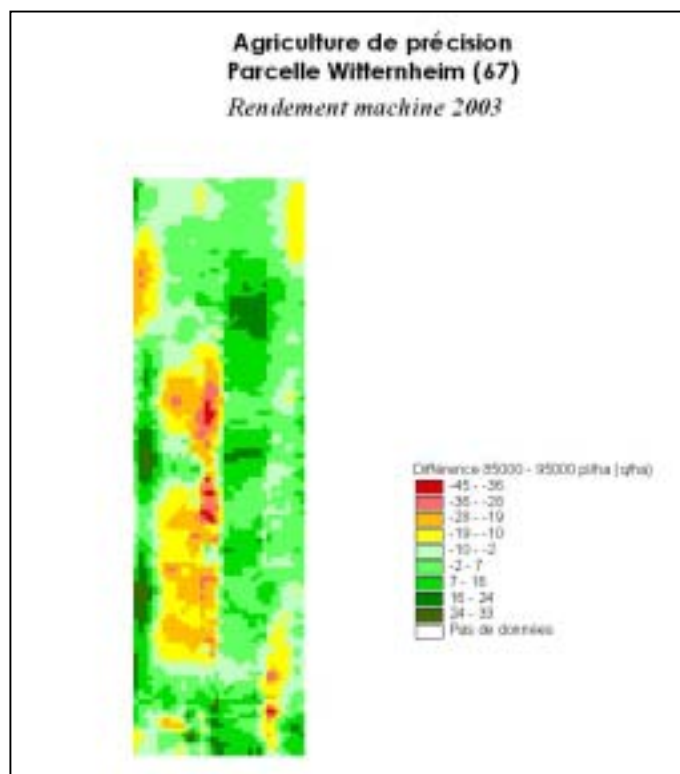


Abb. 116: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 85.000 und 95.000 Pflanzen/ha

Einmal ist jedoch die Saatstärke 1 (75.000 K/ha), welche die höchsten Erträge liefert, ein andermal jedoch die Saatstärke 2 (85.000 K/ha). Trotzdem gibt es einige kleine Bereiche, in denen die geringere Saatstärke im Nachteil ist (rot bis gelb) und dann auch wieder solche, wo eine höhere Saatstärke nicht von Vorteil ist (dunkelgrün). Dieses Ergebnis lässt sich mit dem geringen Unterschied zwischen beiden Saatstärken 1 und 2 erklären.

Das allgemeine Erscheinungsbild dieser Karte ähnelt der vorhergehenden. Es sieht so aus, als ob auf der linken Seite des Schlages ein höheres Ertragspotential gegeben sei, wo die höhere Saatstärke zu einem höheren Ertrag führt. Ansonsten sind die Ertragsunterschiede zwischen den beiden Saatstärken gering und die niedrigere Saatstärke ist manchmal im Vorteil. Dies stimmt überein mit den Erkenntnissen über die Reaktion des Ertrags auf unterschiedliche Saatstärken, d.h. dass die höheren Saatstärken umso besser rentieren, je höher das Ertragsniveau ist (Abb. 117).

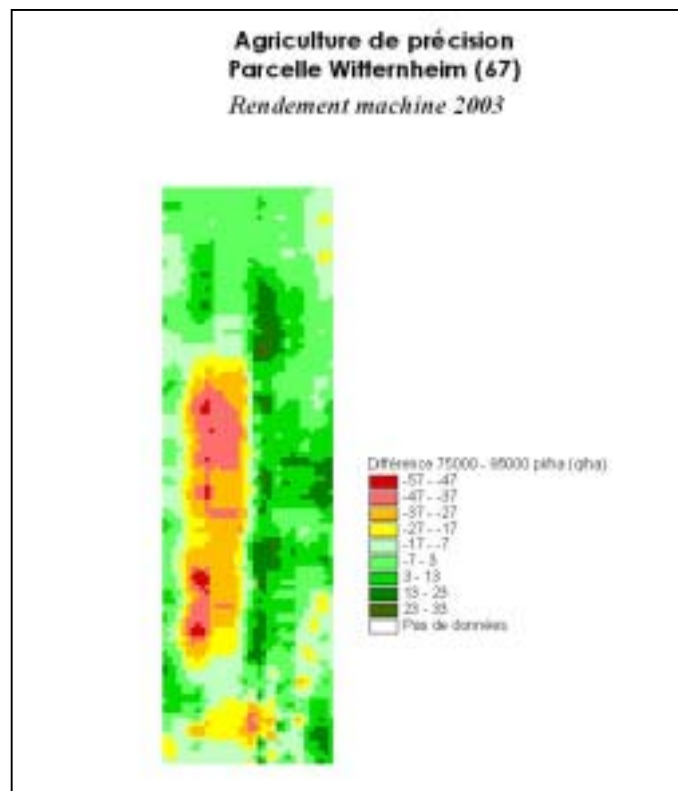


Abb. 117: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 75.000 und 95.000 Pflanzen/ha

Der auf der linken Seite der Parzelle beobachtete Ertragsunterschied kommt noch stärker zum Ausdruck, da die Saatstärkenunterschiede noch größer sind. Es ist auch interessant, darauf hinzuweisen, dass trotz einem Unterschied von 13.000 Pflanzen/ha im rechten Teil der Parzelle eine Erhöhung der Saatstärke offensichtlich nichts nutzt, da auf dem größten Teil dieser Fläche eine Saatstärke von 66.000 Pfl./ha höhere Erträge bringt als die Saatstärke 78.500 Pfl./ha. Bei den Produktionskosten von Mais können die Saatgutkosten jedoch nicht vernachlässigt werden. Unter den außergewöhnlichen Rahmenbedingungen des Jahres 2003 mit einer ertragsbegrenzenden Berechnung hätte man also etwas einsparen können.

Als Schlussfolgerung dieses Versuchs könnte man in Anbetracht der Ergebnisse des Jahres 2003 empfehlen, die Saatstärke im mittleren und linken Teil des Schlages zu variieren: Die Bereiche mit höherem Ertragspotential verwerten eine höhere Saatstärke.

Auf der restlichen Parzelle nützt es nichts, mehr als 75.000 K./ha zu säen. Die Saatstärke muss sich in erster Linie an der Wasserversorgung orientieren.

Hier läge also ein Grund für eine bessere Regulierung der Bestandesdichte dieses Schlags vor.

Andererseits gibt es nur ein Versuchsjahr, das Jahr 2003, das nicht sehr repräsentativ war.

Ansonsten ist es schwierig, die Effizienz einer Modulation der Saatstärke durch eine Ertragsanalyse zu bewerten, da sich bis zur Ernte andere Einwirkungen auf die Kultur bemerkbar machen können und Ertragsschwankungen hervorrufen können, die nicht auf die Saatstärke zurückzuführen sind (Unkrautdruck, Läusebefall, ...).

Im Jahr 2003 wurde auf dem Schlag Witternheim jedoch kein 'Unfall' festgestellt.

Ebersheim

Eine Kontrolle der Bestandesdichte durch Zählung der Pflanzen von Hand auf zwei Referenzflächen in jeder Wiederholung wurde auch auf dem Schlag Ebersheim durchgeführt. Auch dort wurde eine Abweichung zwischen der theoretischen und tatsächlichen Bestandesdichte festgestellt, jedoch in geringerem Umfang als in Witternheim.

- Bei der Bestandesdichte 80.000 beträgt diese Differenz 6.000 Pfl./ha, so dass die tatsächliche mittlere Bestandesdichte bei 74.000 Pfl./ha liegt.
- Bei der Bestandesdichte 90.000 ist die Abweichung geringer und beträgt rund 3.000 Pfl./ha, so dass sich eine tatsächliche Bestandesdichte von ungefähr 87.000 Pfl./ha ergibt.
- Bei der Bestandesdichte 100.000 Pfl./ha liegt die Abweichung bei 4.000 Pfl./ha, so dass die tatsächliche Bestandesdichte bei 96.000 Pfl./ha liegt.

In Ebersheim ist also die Abweichung zwischen der ursprünglich geplanten 'theoretischen' und der tatsächlichen Bestandesdichte geringer als in Witternheim. Nachdem keine Schäden festgestellt wurden, weder zu Beginn noch im weiteren Vegetationsverlauf (Schädlinge, Phytotoxizität, Hagel, ...) und unter der Annahme, dass die Sämaschine richtig eingestellt war, lässt sich diese Differenz mit einer größeren Homogenität des Bodens in Ebersheim erklären. Man ist den angestrebten Verhältnissen für den Vergleich der drei Bestandesdichten also näher gekommen. Im übrigen betragen die Unterschiede zwischen den drei Stufen mit 13.000 bzw. 11.000 Pfl./ha Unterschied zwischen D1 und D2 bzw. zwischen D2 und D3 mehr als die vorgesehenen 10.000 Pfl./ha.

In den Wiederholungen 3 und 4 der Bestandesdichte 1, die jeweils neben der Spur des Regners liegen, ist das Defizit jedoch größer.

Auch in Witternheim gab es ein Problem mit der Datenerfassung des Feuchtesensors in der ersten Wiederholung. Deren Ergebnisse wurden deshalb nicht berücksichtigt.

Die Ertrags- und Feuchteergebnisse sind in [Tab. 14](#) zusammengestellt.

Sans la répétition 1	Variante	dt/ha bei 15%	Std.abw. dt/ha	mittl. Feuchte	dt_mini	dt_maxi
	Dichte 1	120.53	13.61	16.05	54.55	144.28
	Dichte 2	121.95	20.16	16.01	43.64	152.15
	Dichte 3	122.00	20.42	15.77	42.65	155.71
W.2	127.65	9.67	16.73	107.28	152.15	
W.3	124.54	10.63	15.51	104.14	145.31	
W.4	124.28	12.68	15.83	97.19	151.20	
W.5	126.90	15.01	15.90	86.96	155.71	
W.6	103.25	26.31	15.70	42.65	143.81	
Vers.	121.48	18.24	15.94			

Tab. 14: Ergebnisse zu Ertrag und Feuchte

Noch klarer als in Witternheim zeigt sich kein signifikanter Ertragsunterschied zwischen den drei geprüften Bestandesdichten (VK = 1%).

Die Wiederholung 6 am rechten Rand des Schlags unterscheidet sich von den anderen durch ein signifikant niedrigeres Ertragsniveau.

Auf diesem Teil der Parzelle ist der Boden teilweise steiniger infolge einer Aufschüttung zur Eindeichung des Giessen. Diese kiesige Zone ist zum Teil auch auf der Leitfähigkeitskarte erkennbar.

Nach Aussage des Landwirts lässt sich das niedrigere Ertragsniveau auch mit einer ungleichmäßigen Beregnung aufgrund von Windeinwirkung erklären. Nachdem der Sommer 2003 besonders heiß war, haben die Pflanzen darunter stärker gelitten wie in 'normalen' Jahren und dies umso mehr, als der Boden in diesem Bereich flachgründiger ist.

Nachstehend die interpolierte Ertragskarte dieser Parzelle, alle Bestandesdichten.

Diese Karte illustriert recht gut die in Tabelle erwähnten Ergebnisse: Die Farbe grün, die für eine gewisse Homogenität der Erträge dieses Schlags steht, herrscht vor. Am rechten Rand, wo der Boden kiesiger ist, gibt es Ertragsdepressionen.

Wie zuvor werden die interpolierten Karten der Ertragsunterschiede zwischen den drei verschiedenen Bestandesdichten näher untersucht ([Abb. 118](#)).

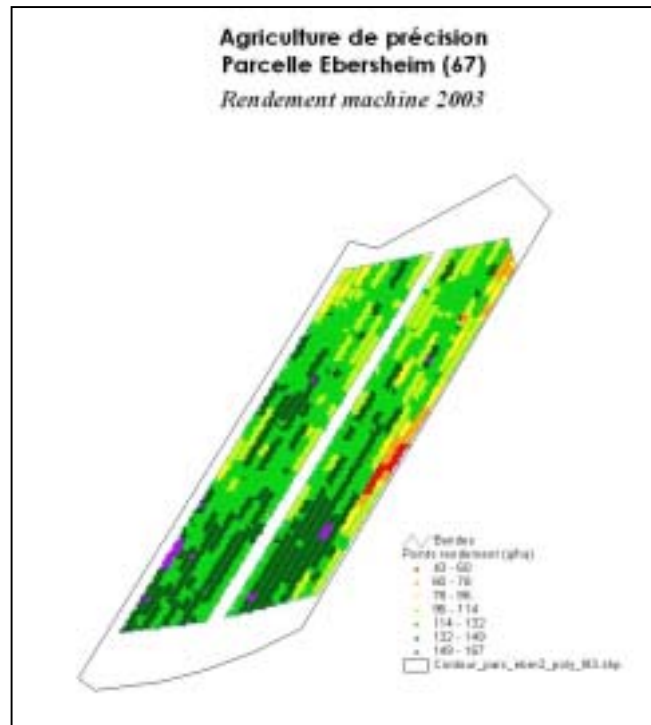


Abb. 118: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 80.000 und 90.000 Pflanzen/ha

Auf dieser Karte dominiert die Klasse geringer Ertragsunterschiede (-8 bis + 6 dt/ha) bei Weitem. Dies bedeutet, dass auch hier wieder nur geringe Unterschiede zwischen den beiden Bestandesdichten bestehen. Insgesamt scheint hier jedoch die Bestandesdichte 90.000 Pfl./ha am Vorteilhaftesten. Außerdem ist festzustellen, dass am rechten Rand mit einem geringeren Ertragsniveau die niedrigste Bestandesdichte die besten Erträge geliefert hat (Abb. 119).

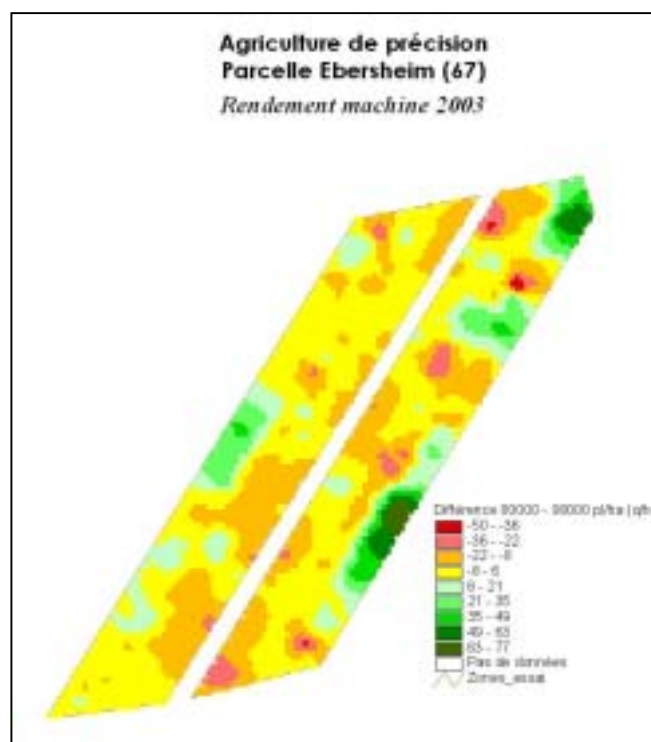


Abb. 119: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 90.000 und 100.000 Pflanzen/ha

Auch bei diesem Vergleich sind geringe Ertragsunterschiede zwischen den beiden Bestandesdichten festzustellen. Im Gegensatz zur vorherigen Karte scheint die Bestandesdichte 100.000 Pfl./ha hier nicht am besten zu sein. Wieder einmal scheint die Bestandesdichte 90.000 Pfl./ha am günstigsten zu sein (Abb. 120).

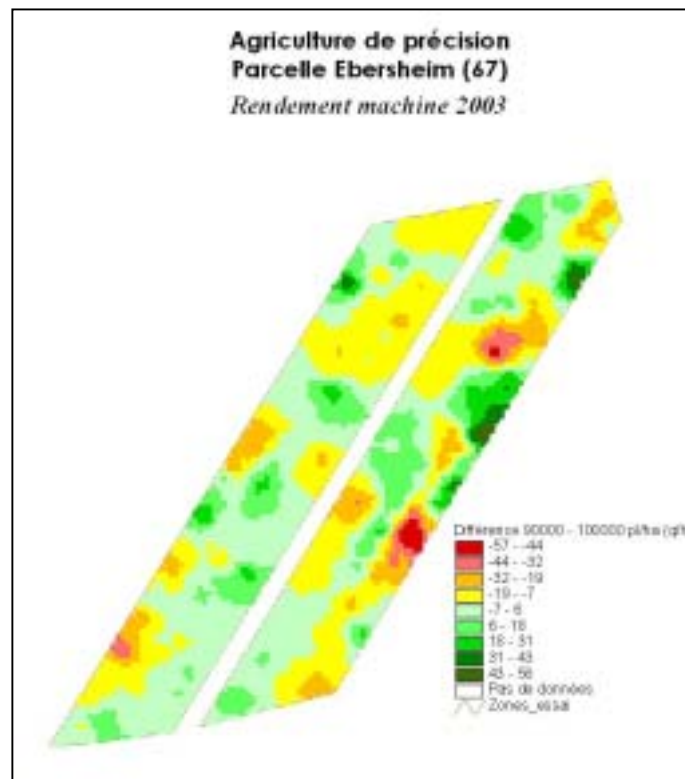


Abb. 120: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 90.000 und 100.000 Pflanzen/ha

Wiederum herrscht die Klasse der Ertragsunterschiede -11 bis +16 dt/ha vor, was von geringen Unterschieden zwischen den Bestandesdichten 80.000 und 100.000 Pfl./ha zeugt (Abb. 121). Am rechten Rand der Parzelle wird klar ersichtlich, dass die geringste Bestandesdichte die besten Erträge liefert. In diesem Bereich des Schlags bringt es nichts, dichter zu säen. Auf dem Rest des Schlages sind die Bereiche, in denen die niedrigste Bestandesdichte im Nachteil ist (rot-orange), von geringer Ausdehnung.

Das spricht doch eher für eine Reduzierung der Saatstärke. Zum Teil erklärt sich diese Situation jedoch auch durch die ungewöhnlichen Witterungsbedingungen des Jahres 2003.

Insgesamt lässt sich festhalten, dass auf dieser relativ homogenen Parzelle, wie auch schon in Witternheim, unter den Bedingungen des Jahres 2003 die mittlere Bestandesdichte von 90.000 Pfl./ha einen guten Kompromiss in der mittelfrühen Reifegruppe der verwendeten Sorte DK 312 darstellt.

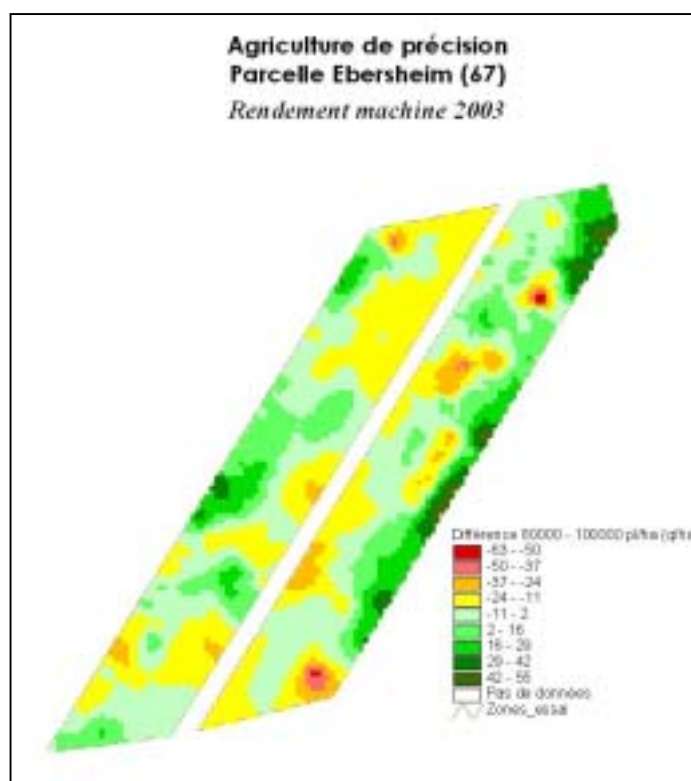


Abb. 121: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 80.000 und 100.000 Pflanzen/ha

Schlussfolgerung

Die Bestandesdichtenversuche des Jahres 2003 lieferten keine sehr schlüssigen Ergebnisse:

- die Ertragsunterschiede zwischen den drei Bestandesdichten sind auf beiden Parzellen gering
- außer bei einem kleinen Bereich in Witternheim zeichnet sich keine klare Zone ab, in der eine der Bestandesdichten besser als die anderen wäre,
- trotzdem konnte man feststellen, dass im Jahr 2003 die mittleren Bestandesdichten einen guten Kompromiss darstellten,
- Darüber hinaus ist es schwierig, den Nutzen der Modulation von Saatstärken in Abhängigkeit von der Ertragsverteilung innerhalb der Parzelle zu beurteilen, wenn man den Einfluss der Witterungsbedingungen des Jahres 2003 berücksichtigt.

3.1.3 Ergebnisse zur Variation der Stickstoffdüngung (2004)

Witternheim

Die Ertragsergebnisse sind in [Tabelle 15](#) zusammengestellt:

Düngung: X = 190 kg N/ha

X – 50 = 140 kg N/ha

Hinweis: Bei der vorliegenden Versuchsanlage (BRUNT) ist eine Varianzanalyse nicht statthaft, da diese nicht randomisiert ist. Eine einfache statistische Auswertung mit Angabe von Standardabweichung und Variationskoeffizient befindet sich im Anhang.

Variante	mittl. Ertr. b. 15 %	dt Std.abw.	mittl. Feuchte	dt_mini	dt_maxi
Wh. 1 - Modulé	137.5	10.9	27.4	113.9	159.6
Wh. 1 - X	115.7	6.0	28.9	98.9	128.1
Wh. 1 - X-50	102.4	9.4	30.7	81.8	121.1
Wh. 2 - Modulé	116.6	12.1	27.6	91.2	137.8
Wh. 2 - X	130.0	10.2	29.2	110.6	149.1
Wh. 2 - X-50	130.2	8.5	29.2	112.9	148.8
Wh. 3 - Modulé	127.0	12.2	28.0	103.8	154.7
Wh. 3 - X	120.1	9.0	28.5	99.0	141.7
Wh. 3 - X-50	115.6	10.0	28.3	94.1	135.5
Wh. 4 - Modulé	112.9	10.7	26.9	76.9	136.7
Wh. 4 - X	118.0	8.4	27.8	95.2	136.8
Wh. 4 - X-50	130.0	10.4	27.0	93.7	149.5
Wh. 5 - Modulé	128.8	13.8	27.5	95.5	158.3
Wh. 5 - X	115.7	11.4	26.9	85.9	138.7
Wh. 5 - X-50	110.7	10.9	27.7	84.0	130.7
Variante	mittl. Ertr. b. 15 %	dt Std.abw.	mittl. Feuchte	dt_mini	dt_maxi
Kontroll	104.5	7.9	29.5	79.7	116.8
Modulé	124.6	15	27.5	76.9	159.6
X	119.4	10.3	28.2	85.9	149.1
X-50	117.5	14.6	28.6	81.8	149.5
Variante	mittl. Ertr. b. 15 %	dt Std.abw.	mittl. Feuchte	dt_mini	dt_maxi
Wh. 1	118.5	8.8	29.0	98.2	136.3
Wh. 2	125.6	10.3	28.7	104.9	145.2
Wh. 3	120.9	10.4	28.3	98.9	144.0
Wh. 4	120.3	9.8	27.2	88.6	141.0
Wh. 5	118.4	12.0	27.4	88.4	142.6
Versu	120.7	10.3	28.1	95.8	141.8

Tab. 15: Zusammenfassung der Ergebnisse

Mit einem Variationskoeffizienten von 3% sind die Ertragsunterschiede zwischen den drei Varianten nicht signifikant (außer Kontrolle 50 N). Im Mittel bringt die Variante 'moduliert' denselben Ertrag wie die Variante 'X'. Man kann also annehmen, dass es Sinn machte, die Düngung an das wechselnde Ertragspotential der Parzelle (geringere Erträge auf einem Stück im Süden und Norden der Parzelle) anzupassen. Damit wurde der Höchstertrag (wie bei Düngung 'X') mit weniger Stickstoff erreicht. Das Ziel, den Ertrag bei besser an das Ertragspotential der Parzelle angepasster Düngung zu halten, wurde also erreicht.

Trotzdem sind die Ergebnisse zwischen den Wiederholungen uneinheitlich und dieses Tendenz ist nur in 3 von 5 Wiederholungen (1, 3 und 5) ganz deutlich.

An dieser Stelle ist in Erinnerung zu rufen, dass die Versuchsvariante 'moduliert' eine differenzierte Stickstoffdüngung zwischen den beiden Extremitäten mit X - 50 kg N/ha und dem Mittelstück mit der Dosis 'X' bedeutet. Berücksichtigt man den Flächenanteil der unterschiedlichen Zonen, d.h. 3/5 der Fläche mit Düngung 'X' und 2/5 der Fläche mit Düngung 'X-50' (auf der Gesamtlänge eines 250m breiten Streifens wurde die Düngung differenziert auf den zwei jeweils 50 m langen Randstücken und dem 150 m langen Mittelstück), so ergibt sich für die Variante 'moduliert' eine Düngung von X-20 kg N/ha, d.h. 170 kg N/ha.

Die 'Kontrolle 50 N' mit einem mittleren Ertrag von 104,5 dt/ha (ohne Wiederholung) zeigt, dass die Stickstofflieferung des Bodens sehr hoch war (nur 15 dt/ha weniger als bei der ordnungsgemäßen Düngung 'X') und sich auf $(104,5 \text{ dt/ha} * 2,3 \text{ kg/dt}) + 20 - 50 = 210 \text{ kg N/ha}$ belief.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der von der ARAA-Bodennachlieferungstabelle für den Bodentyp dieses Schlags angegebene Nachlieferungswert von 100 kg N/ha den Wert des ersten Quintils darstellt. Es ist deshalb nicht ungewöhnlich, dass man mehr findet. Das Jahr 2004 scheint für die Mineralisierung also sehr günstig gewesen zu sein.

Auf der Grundlage des Ertrags von dieser Vergleichsfläche lässt sich der Stand der Stickstoffaufnahme durch den Mais im Jahr 2004 entsprechend $104,5 * 2,1 \text{ dt/ha} = 219 \text{ kg N/ha}$. Der ordnungsgemäß gedüngte Mais (190 kg/N pro Hektar) hat $119 * 2,1 = 250 \text{ kg N/ha}$ aufgenommen. Daraus kann man ableiten $(250 - 219 \text{ kg N/ha})$, dass von den 140 zusätzlich ausgebrachten kg Stickstoff der Variante 'X' nur 31 kg N/ha aufgenommen wurden. Dieses Ergebnis zeigt die schlechte Verwertung des Düngerstickstoffs, die nur $31/140 = 22\%$ beträgt, gleichwohl sie in Schätzformeln meist auf 80% geschätzt wird. Dieses Ergebnis ist jedoch nichts außergewöhnliches, auf gut mit Stickstoff versorgten Böden.

Außerdem ist darauf hinzuweisen, dass der Kontrollstreifen nicht wiederholt wurde, weshalb dieses Ergebnis mit Vorsicht zu genießen ist.

Desweiteren ist festzustellen, dass das mittlere Ertragsniveau der Versuchsparzelle mit 120 dt/ha im Jahr 2004 dem der Jahre 2001 und 2002 entspricht, und dies trotz einer markanten Absenkung des Düngungsniveaus: 190, 170 und 140 kg N/ha gegenüber 230 kg N/ha in den Vorjahren. Dieses Ergebnis lässt vermuten, dass zu viel Stickstoff düngt und dass er bei diesem Betriebsmittel problemlos einsparen könnte.

Diese Feststellung gibt auch in Bezug auf die Belastung des Grundwassers mit nach der ernte verbleibenden Stickstoffresten zu denken, da diese, wie viele Versuche gezeigt haben, bei Überschreitung der nach der Bilanzmethode berechneten ordnungsgemäßen Düngermenge X stark ansteigt ([Abb. 122](#)).

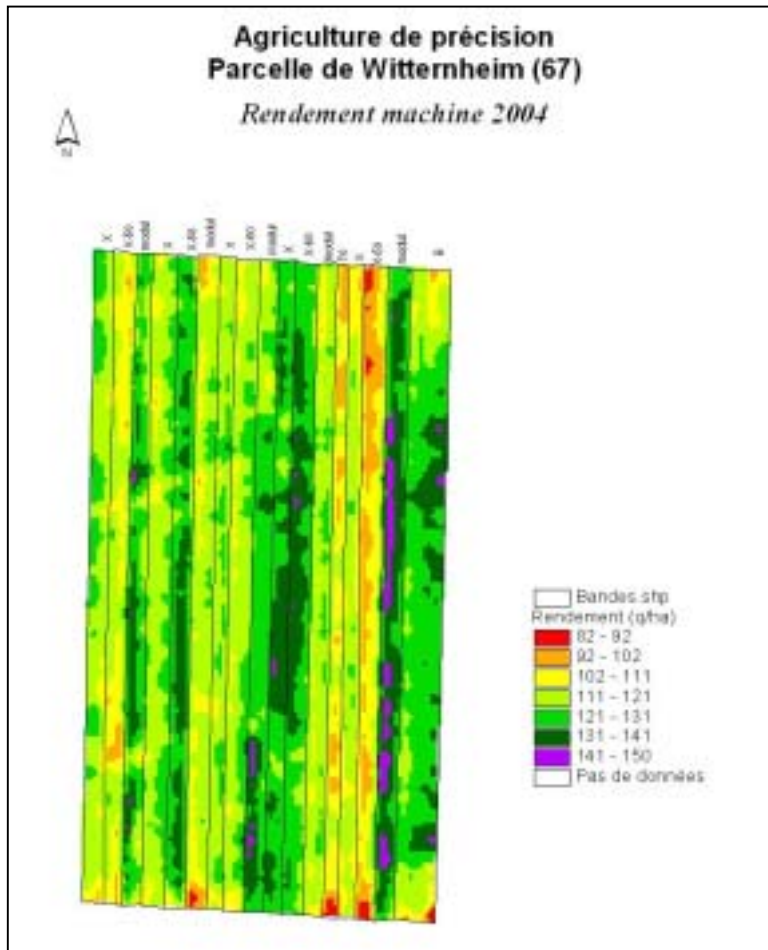


Abb. 122: Ertragskarte von Witternheim mit den verschiedenen Varianten

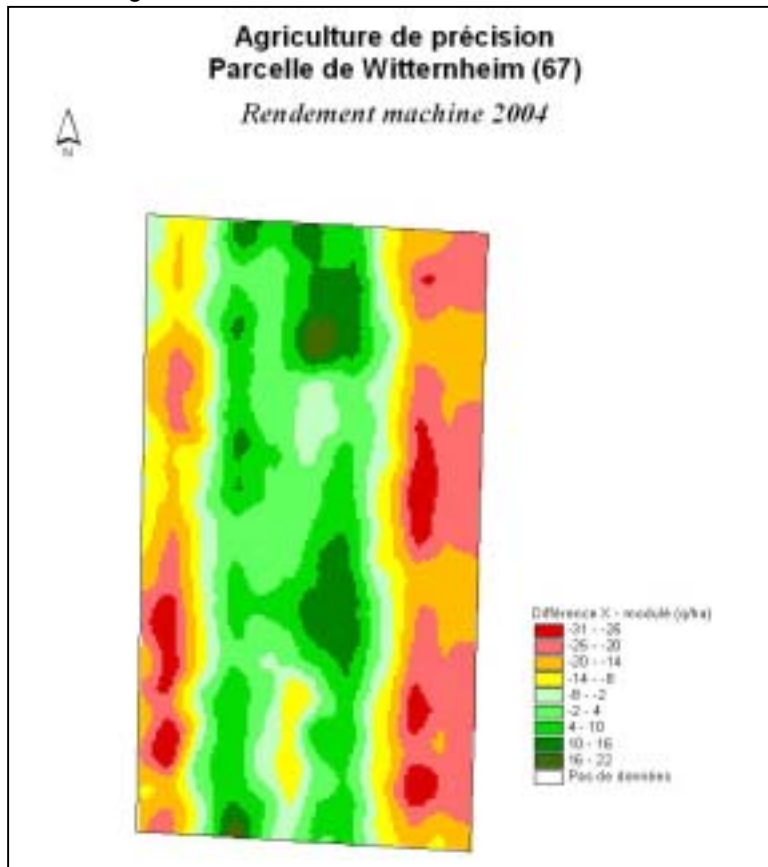


Abb. 123: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen «Düngung X» und «moduliert»

Diese interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen der Variante 'Düngung X' und der Variante 'modulierte Düngung', d.h. 'X-20' (s.o.) zeigt relativ geringe Ertragsunterschiede. Die Unterschiede zwischen der Mitte der Parzelle, wo die Variante 'X' bessere oder gleich gute Erträge wie die Variante 'moduliert' liefert und den östlichen und westlichen Enden, wo die Ergebnisse der Variante 'X' deutlich schlechter sind, sind ziemlich deutlich. An den beiden Rändern war die Variante 'moduliert' im Vorteil.

Diese Karte zeigt am rechten Rand der Parzelle eine Zone, wo es eindeutig besser war, die Menge 'X' zu düngen als die Menge 'X-50' (Abb. 124).

Dagegen waren die Ertragsunterschiede auf den restlichen 2/3 der Fläche minimal oder die Variante 'X-50' war besser als die Variante 'X'.

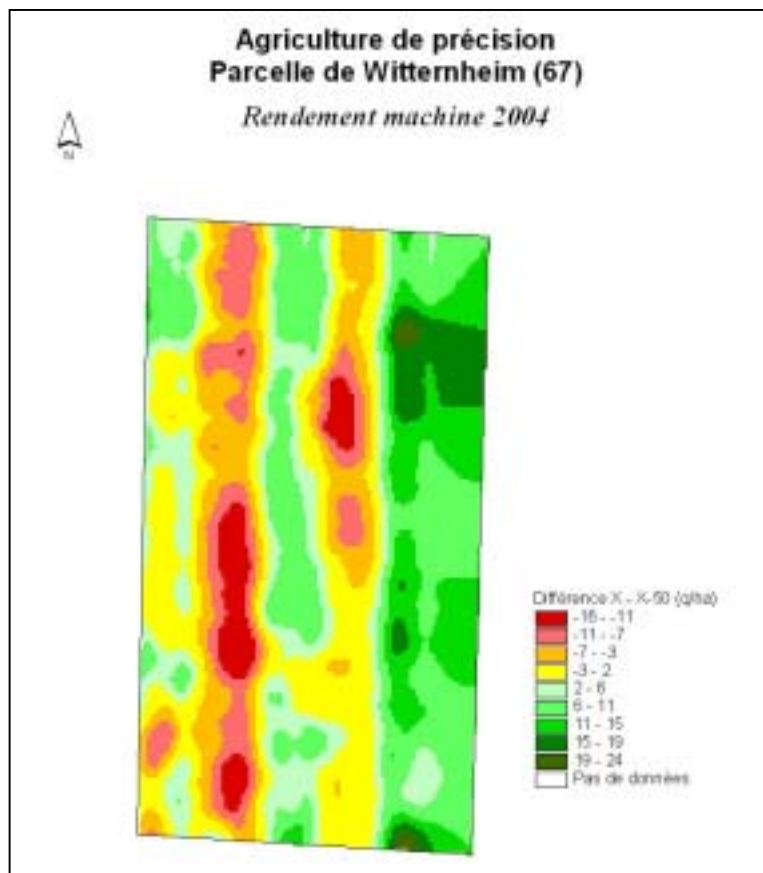


Abb. 124: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen « Düngung X » und « Düngung X – 50 »

Es zeigt sich in etwa dieselbe Tendenz wie auf der Differenzkarte zwischen 'moduliert' und 'Düngung X', d.h. ein Vorteil für die Modulation an den Enden der Parzelle mit noch größeren Abweichungen, insbesondere auf der rechten Seite. Im Zentrum der Parzelle ist eher die Variante 'X-50' im Vorteil (Abb. 125).

Bei dieser Parzelle lässt sich schlussfolgern, dass sich die Anpassung der Stickstoffdüngung an das sich zwischen der Mitte und den Nord- und Südenden (geringer) unterscheidende Ertragspotential eher am rechten und linken Rand gelohnt hat als in der Mitte, wo eine Düngung von 'X-50' praktisch gereicht hätte.

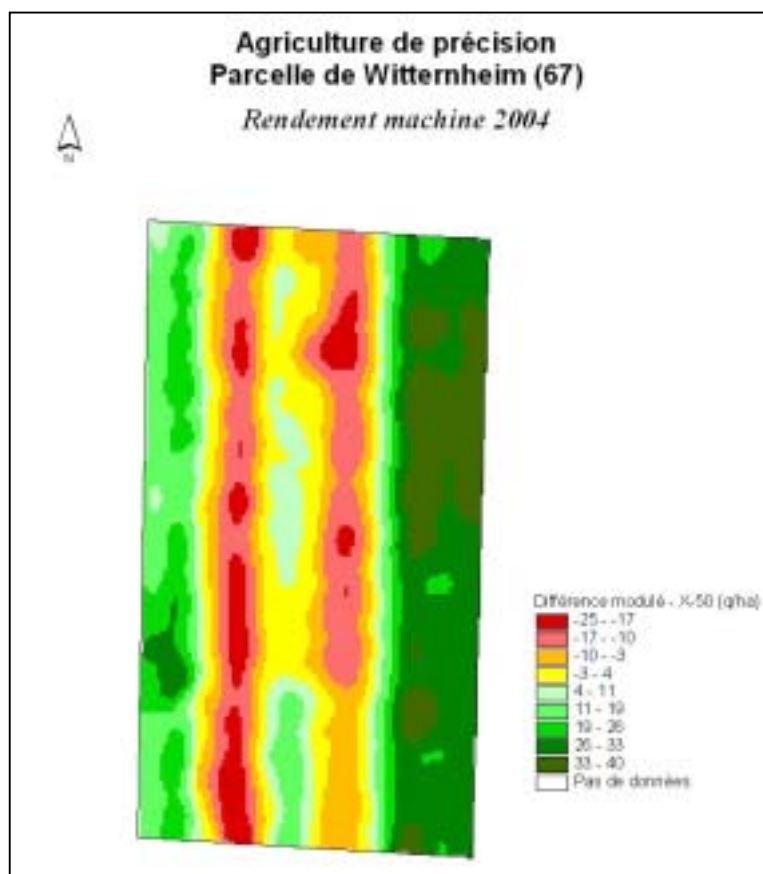


Abb. 125: Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen «moduliert» und «Düngung X - 50»

Ebersheim

Die Ertragsergebnisse von Ebersheim sind in [Tabelle 16](#) zusammengestellt:

Traitement	rdt moyen à 15 %	Ecar-type rdt	Humidité moy.	rdt_mini	rdt_maxi
Rep1 - X	133.5	12.4	32.0	102.4	154.9
Rep2 - X	146.0	17.9	31.9	102.4	188.1
Traitement	rdt moyen à 15 %	Ecar-type rdt	Humidité moy.	rdt_mini	rdt_maxi
Témoin	121.1	6.9	32.4	106.2	133.5
X	139.5	16.5	32	102.4	188.1
X+30	136.5	10.2	32.7	111.9	156.6
X-50	104.2	29.8	32.4	59.7	153.9
essai	125.3	15.9	32.4	95.1	158.0

Tab. 16: Ergebnisse Ebersheim 2004

Die Untersuchung der beim Mähdrusch mit dem Ertragssensor aufgezeichneten Ertragsdaten weist fehlerhafte Daten für die beiden Streifen am Rand der Parzelle aus. Deshalb gibt es für die Varianten 'X-50' und 'X+30' nur eine Wiederholung. Diese Ergebnisse sind deshalb mit Vorsicht zu genießen.

Das mittlere Ertragsniveau dieses Versuchs stimmt mit den Ergebnissen der Vorjahre völlig überein.

Mit der beim Fehlen von Wiederholungen gebotenen Vorsicht lässt sich feststellen, dass die Düngung 'X' dem Ertragspotential der Parzelle gut angepasst war und eine Düngung 'X+30' unnötig war. Andererseits scheint die Menge 'X-50' zu gering, da sie den Ertrag signifikant vermindert. Die 'Kontrolle 30' liefert mit 109,5 dt/ha einen aller Ehren werten Ertrag. Dieses Ergebnis lässt jedoch Zweifel an dem Ertrag von 104,2 dt/ha in der Variante 'X-50' aufkommen, die 100 kg N/ha mehr bekommen hatte als die Kontrolle. In jedem Fall ist festzustellen, dass die Standardabweichung bei der Variante 'X-50' sehr groß ist.

Auf dieser Parzelle hätte der Boden $(121 * 2,3) + 20 - 30 = 268$ kg N/ha geliefert!

Auf der Grundlage des bei der Kontrolle geernteten Ertrags, lässt sich die Stickstoffaufnahme des Mais im Jahr 2004 ermitteln: $121 * 2 = 242$ kg N/ha.

Der mit der Dosis 'X' (180 kg N/ha) gedüngte Mais hat $139,5 * 2 = 279$ kg N/ha aufgenommen.

Folglich lässt sich schlussfolgern, dass $(279 - 242)$, also 37 kg Stickstoff aus den in der Variante 'X' zusätzlich gedüngten 150 kg N/ha aufgenommen wurden. Wie in Witternheim ist auch hier eine sehr schlechte Verwertung des Düngerstickstoffs in Höhe von $37/150 = 25\%$ festzustellen.

Die Ertragsergebnisse sind auf der nachfolgenden Karte dargestellt. Darin lässt sich der 'X-50'-Streifen mit deutlich geringeren Erträgen erkennen, gefolgt von der Kontrolle und schließlich den beiden ordnungsgemäß mit 'X' gedüngten Streifen, von denen der linke höhere Erträge aufweist.

Da keine Wiederholungen vorliegen, wird auf die interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen den verschiedenen Düngungsvarianten verzichtet, da diese nichts aussagen würden (Abb. 126).

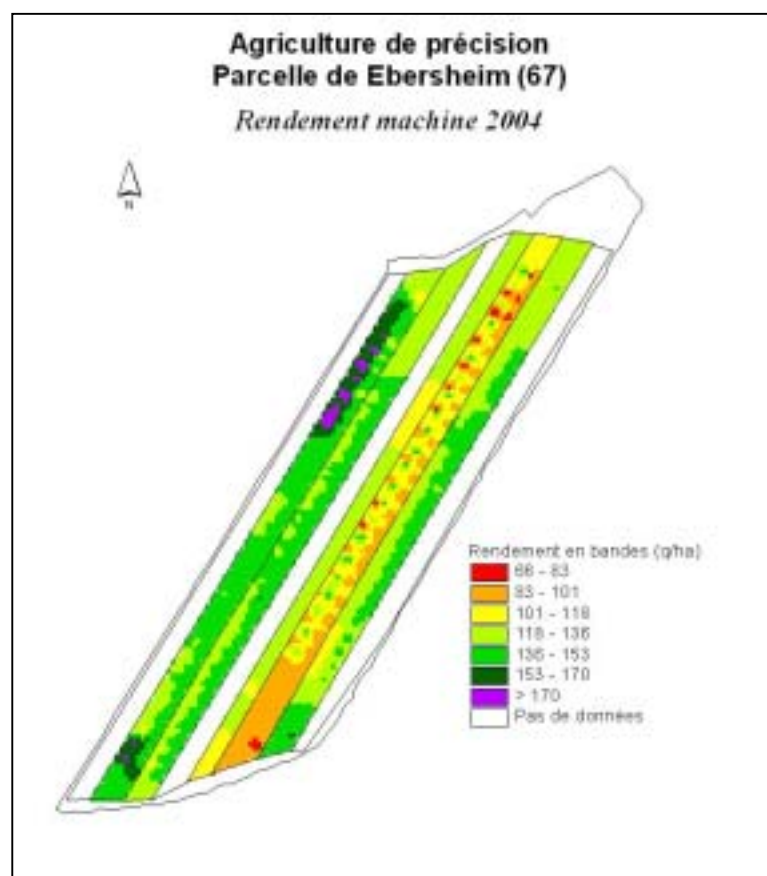


Abb. 126: Die Ertragskarte von Ebersheim mit den verschiedenen Varianten

Ergebnisse der Messungen mit dem N-Tester sowie der Bodennitratgehalte nach der Ernte

Wie im Kapitel 'Material und Methoden' beschrieben, wurden auf beiden Parzellen während der Blüte in den verschiedenen Varianten auch Messungen zur Stickstoffernährung der Pflanzen mit dem Norsk-Hydro-N-Tester vorgenommen.

Nachdem es keine 'überdüngte' Eichfläche gab, wurde der N-Tester-Index auf den Maximalwert der Messungen bezogen.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in einem im Anhang befindlichen Parzellenplan zusammengestellt.

Leider sind die Ergebnisse für eine Interpretation zu ungleichmäßig und ungenau.

Nmin-Messungen nach der Ernte wurden lediglich auf der Parzelle in Ebersheim vorgenommen, da in Witternheim die Ernte nach 176 mm Niederschlag sehr spät erfolgte.

Die Ergebnisse zeigen Bodennitratgehalte von 73 bzw. 98 kg/ha in vergleichbarer Größenordnung bei den Düngungsstufen X und X - 50, während dieser bei X + 30 auf 172 kg N/ha hinaufschnellt. Bei der mit 30 kg N/ha gedüngten 'Kontrolle' beträgt der Nmin-Gehalt immerhin 44 kg N/ha, was von einer relativ hohen Bodenmineralisierung zeugt.

Diese Ergebnisse sind in anbetracht der geringen Versuchsgenauigkeit mit Vorsicht zu genießen. Sie erscheinen jedoch plausibel und in Übereinstimmung mit dem zuvor gesagten. Die schwach gedüngte Kontrolle (30 N) hinterlässt nach der Ernte wenig Nitrat. Es ist jedoch zu vermuten, dass mit dieser Düngung nicht der optimale Ertrag erreicht wird.

Eine nach der Bilanzmethode wohl bemessene Düngung führt zu höheren Nitratresten als die Kontrolle. Diese sind relativ hoch, da es im Jahr 2004 zu einer starken Bodenmineralisierung kam.

Eine reduzierte Düngung (X - 50) führt zu einem geringeren Ertrag und zu höheren Nitratresten als bei ordnungsgemäßer Düngung.

Sobald die ordnungsgemäße Düngung überschritten wird, und sei es nur um 30 kg N/ha, steigen die Nitratreste nach der Ernte sehr stark an, ohne dass der Ertrag gesteigert wurde. Dieses Ergebnis bestätigt zahlreiche derartige Beobachtungen an anderen Orten.

Schlussfolgerung

In Anbetracht der Ergebnisse des Jahres 2004 von Witternheim und jenen von Ebersheim, die für eine Auswertung zu unvollständig waren, sieht es so aus, als ob sich die Hypothese, mit einer ertragsbegrenzenden Stickstoffdüngung eventuell eine stärkere Variabilität der Erträge als bei ausreichender Düngung hervorzurufen, nicht bestätigen ließe. Die Variabilität der Erträge im Jahr 2004 liegt in derselben Größenordnung wie in den Jahren 2000, 2001 und 2002, als die Parzelle vom Landwirt gedüngt wurde.

Andererseits erlaubt uns dieser Versuch die Aussage, dass, auf die Gesamtparzelle bezogen, infolge der Modulation 20 kg N/ha weniger als die ordnungsgemäße Menge X ausgebracht wurden, ohne dass der Ertrag beeinträchtigt worden wäre. Es konnten also 20 kg N/ha eingespart werden. Unter den Bedingungen des Jahres 2004 mit einer starken Bodennachlieferung aus der Mineralisation wäre auch eine Reduktion von 50 kg noch ausreichend gewesen. Der Ertrag dieser Variante unterschied sich nicht signifikant von dem der Variante X. Weil derartige Verhältnisse allerdings nicht jedes Jahr auftreten, wäre damit ein Risiko für den Landwirt verbunden.

Außerdem zeigt dieser Versuch, dass die Stickstoffdüngung des Landwirts (230 kg N/ha) zu hoch ist.

3.2 Ergebnisse der Versuche in Baden-Württemberg

Im Folgenden werden nur diejenigen Ergebnisse der Teiluntersuchungen in Baden-Württemberg dargestellt, die direkte Relevanz für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel haben. Sie werden dabei folgendermaßen gegliedert:

- Ergebnisse zur Variabilität
- Ergebnisse zur Machbarkeit der Modulation und
- Ergebnisse zur Auswirkung der Modulation

Die Ergebnisse zur *Machbarkeit* (2. Gliederungspunkt) werden aufgegliedert in die Betrachtung der beiden relevanten Verfahren nach dem

- Kartieransatz und dem
- Online-Ansatz

Hierbei werden jeweils

- die Komplikationen zusammengefasst
- die Potenziale zur Weiterentwicklung und Verbesserung der Verfahren aufgeführt und
- die Lösungsansätze zur Überführung der Verfahren in die Praxistauglichkeit zusammengefasst.

3.2.1 Ergebnisse zur Variabilität

Im Folgenden werden die für die Umsetzung der Modulation relevanten Ergebnisse zur festgestellten Variabilität dargestellt. Sie ergeben sich aus den durchgeführten Teiluntersuchungen zur Variabilität (Kapitel 2.1.2.2) und wurden entsprechend abgeleitet aus:

- den durchgeführten und bestehenden Ertragskartierungen
- den N_{\min} -Analysen
- Bodenuntersuchungen
- Handernten
- Schadinventur
- Datenerfassung mit EM38
- Untersuchungen zum Wasserhaltevermögen der Böden

(1) Ertragsverteilungen

Für die Modulation der Betriebsmittel ist die Variabilität des Ertrages in zweierlei Hinsicht bedeutsam:

- *Einerseits* hat er unmittelbare Relevanz, indem er als Eingangsparameter zur Ableitung der modulierten Applikation eine Rolle spielt. So ist die Verteilung des Ertrages einer der beiden teilflächenspezifisch differenzierten Parameter, die beim Kartieransatz nach der „guten fachlichen Praxis“ zur Berechnung der modulierten Stickstoffapplikation eine Rolle spielen. Die Höhe des Ertrages auf der jeweiligen Teilfläche hat Auswirkung auf die Höhe der Stickstoffdüngung dieser Teilfläche, weil hieraus die Ertragserwartung ermittelt wird. Von den durchgeführten Teiluntersuchungen ist also das Ergebnis bedeutsam, ob sich die Ertragsverteilungen verschiedener Jahre ähnlich sind, oder nicht. Nur bei einer

entsprechenden Ähnlichkeit macht es Sinn, aus Ertragsverteilungen verschiedener Jahre eine aktuelle Verteilung der Ertragserwartung abzuleiten.

- Andererseits, spielt die Verteilung des Ertrages eine Rolle, um zu verifizieren, welche Wirkung die Modulation der Betriebsmittel auf das Ergebnis hatte.

Für die vorliegende Untersuchung wurden Ertragskarten der Jahre 2000 bis 2004 herangezogen. Die [Abbildung 127](#) zeigt die jeweilige Verteilung des Ertrages.

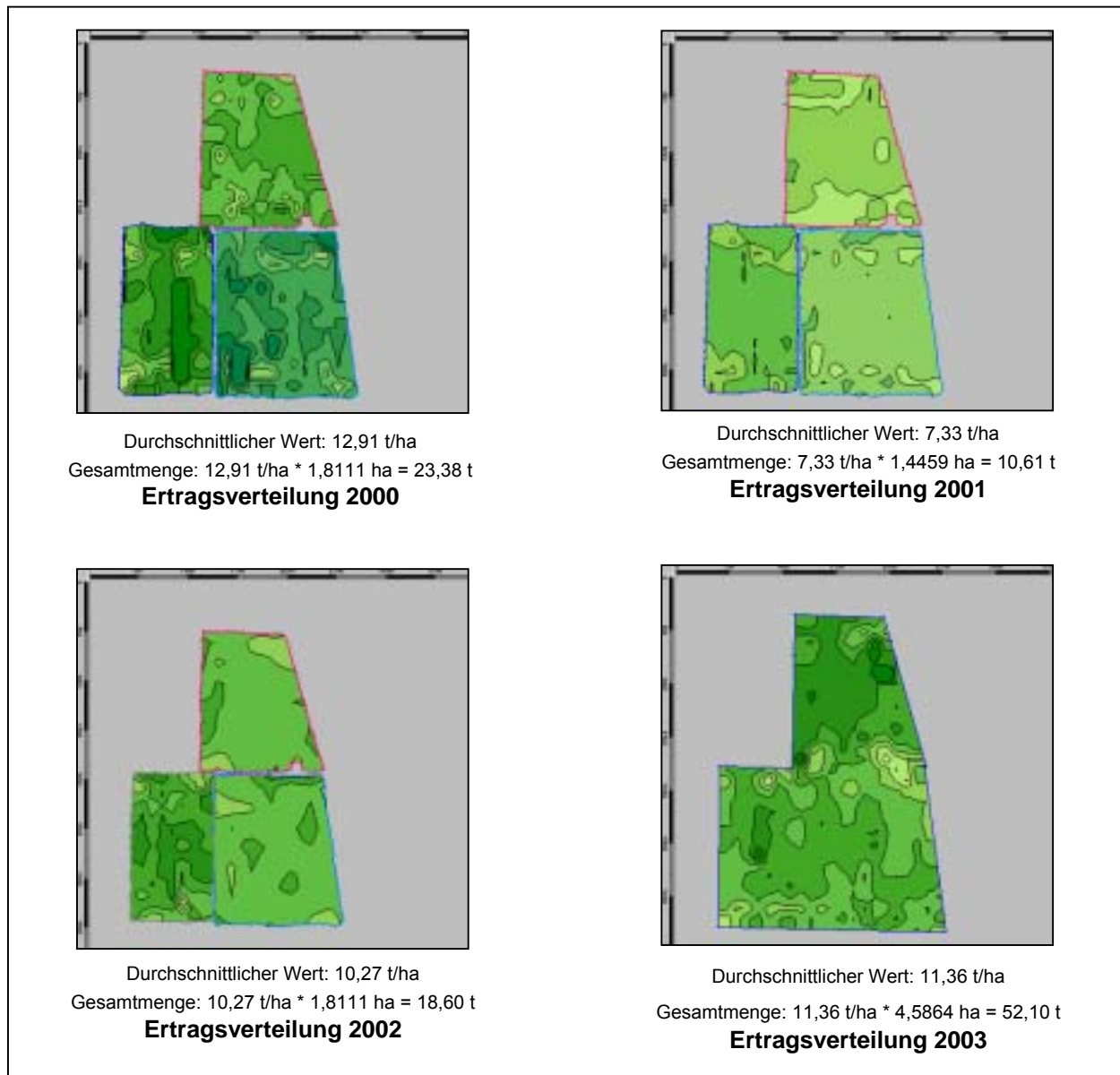


Abb. 127: Verteilung der Maiserträge unterschiedlicher Jahre

Analysiert man die Ertragsverteilungen nach dem optischen Eindruck, so kann für *Schlag I-01* (südöstlich) kein sich wiederholendes Verteilungsmuster ausgemacht werden. Insgesamt verteilt sich der Ertrag in diesem Schlag relativ homogen, ohne irgendwie auffällig geklumpt zu sein. Die Stellen niederer oder auch höherer Erträge sind zwischen den einzelnen Jahren nicht wirklich wiederzufinden. Lediglich der unmittelbar zum Weg angrenzende Bereich ist zwischen den Jahren 2000 und 2001 ähnlich.

Im *Schlag I-2* (südwestlich) ist in allen Jahren jeweils ein Streifen auszumachen, in dem höhere Ertragswerte vorliegen. Allerdings ist dieser in seiner Ausprägung sehr unterschiedlich. Während er im Jahr 2000 sehr deutlich und intensiv ausfällt, reduziert sich seine Ausprägung auf zwei stark gekürzte „Streifchen“. Im Jahr 2002 ist er an seinen beiden Enden abgeschnitten, dafür aber seitlich erweitert. Die Verkürzung findet sich auch im Jahr 2003 wieder, hier nun allerdings ohne diese Verbreiterung. Im Schlag I-02 kann also eine wiederkehrende Verteilungsstruktur optisch wahrgenommen werden. Diese stellt sich aber in ihrer Ausprägung stark differenziert dar.

Im *Schlag I-03* (nördlich) erscheint die Verteilung der Erträge relativ ausgeglichen. Die Minimum- und Maximumwerte scheinen nicht sehr ausgeprägt zu sein. Die leicht erhöhten Ertragsbereiche sind deshalb aber auch nicht immer gleich lokalisiert. Vielmehr ist ihre Position sehr flexibel. Während im Jahr 2000 der etwas erhöhte Ertragsbereich sich tendenziell im Osten wiederfindet, ist er im Jahr 2003 eher westlich bis mittig orientiert. In den dazwischen liegenden Jahren kann von keiner Tendenz gesprochen werden.

Der optische Eindruck der Ertragsverteilungen zeigt für den Vergleich zwischen den 4 herangezogenen, durchgängig mit Mais bestockten Flächen also eine starke Inhomogenität (Abb. 127). Nach der äußeren Erscheinung der Ertragsverteilungskarten kann nicht wirklich von sich wiederkehrenden Strukturen gesprochen werden. Es hat vielmehr den Anschein, dass sich der Ertrag auf der Fläche von Jahr zu Jahr recht unterschiedlich verteilt und sich nur ausnahmsweise in bestimmten Bereichen mit Maximumwerten wiederfindet, wobei diese Bereiche aber in ihrer Merkmalsausprägung stark streuen.

Die Ergebnisse der Korrelationsrechnungen zwischen den einzelnen Verteilungen bestätigen diesen optischen Eindruck (Tab. 17). Die jährlich stark differenzierenden Verteilungen können nur mit einem unwesentlichen Anteil mittels einer Regression nachgebildet werden.

Jahre	2000	2001	2002	2003
2000	1	0,2314	0,0001	0,0039
2001		1	0,0041	0,0026
2002			1	0,1931
2003				1

Tab. 17: Berechnungsergebnisse der Korrelationen der Maisertragsverteilungen zwischen den verschiedenen Untersuchungsjahren

Aufgrund dieser Gegebenheit muss hinterfragt werden, ob es Sinn macht, bei der Berechnung der teilflächenspezifischen Applikation nach dem Kartieransatz entsprechend der „guten fachlichen Praxis“ die Verteilung der Ertragsersparung aus den letztjährigen Ertragsverteilungen zu ermitteln, wie das immer wieder vorgeschlagen wird und auch im Versuchsjahr 2003 und 2004 selbst praktiziert wurde. Es ist schwierig nachzuvollziehen, weshalb sich aus nicht miteinander korrelierenden Ertragsverteilungen verschiedener Jahre die Verteilung der Ertragsersparung für das laufende Jahr hochrechnen lassen soll, wenn der Ertrag dieses Jahres am Ende vermutlich in keinem Zusammenhang zu den Erträgen der letzten Jahre stehen wird.

(2) Variabilität von N_{\min}

Die Variabilität von N_{\min} ist für die Modulation der Betriebsmittel von daher bedeutsam, als sie ebenso wie der Ertrag zur Ableitung der modulierten Applikation eine Rolle spielt. Die Verteilung von N_{\min} ist der zweite der beiden teilflächenspezifisch differenzierten Parameter, die beim Kartieransatz nach der „guten fachlichen Praxis“ zur Berechnung der modulierten Stickstoffapplikation einfließen. Die Höhe von N_{\min} hat daher Auswirkung auf die Höhe der Stickstoffdüngung dieser Teilfläche. Für die Modulation der Betriebsmittel ist daher

- der Aufwand zur Erfassung von N_{\min} sowie
- die Genauigkeit des Messwertes von N_{\min} bedeutsam.

Die Ergebnisse dieser Aspekte der Untersuchungen zur Varianz von N_{\min} mit Relevanz für die Modulation der Stickstoffdüngung werden im Folgenden dargestellt:

Erfassungsaufwand

Die Bedeutung des Aufwandes zur Erfassung der Variabilität von N_{\min} ergibt sich aus den Ergebnissen des unter Kapitel 2.1.2.4 beschriebenen Teilversuches zur Optimierung des Verfahrens über die Reduktion des Erhebungsaufwandes von N_{\min} .

Da N_{\min} aus Bodenproben ermittelt wird, und der Parameter bei Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung nach der „guten fachlichen Praxis“ teilflächenspezifisch differenziert vorliegen muss, ergibt sich die Tatsache, dass dieser Eingangsparameter mit hohem Zeit- und Kostenaufwand erhoben werden muss, da die Bodenproben in hoher Dichte erfasst werden müssen.

Bei allen Verfahren zur Modulation der Betriebsmittel mit einfließendem teilflächenspezifisch differenziertem N_{\min} müssen daher bereits im Vorfeld Abstriche an die Praktikabilität gemacht werden.

Im erwähnten Teilversuch wurde daher die Auswirkung der Reduktion der Erfassung von N_{\min} simuliert. [Abbildung 128](#) zeigt deutlich die enormen Unterschiede des je nach Simulation einfließenden Parameters für N_{\min} . [Abbildung 129](#) zeigt die entstehenden Abweichungen zwischen dem wirklichen, anhand vieler Bodenproben erfassten teilflächenspezifisch differenzierten Wert für N_{\min} und den unterschiedlich simulierten Annahmen.

Es ist deutlich zu sehen, dass durch eine Reduktion des Aufwandes bei der Erfassung des Parameters die Wiedergabe der realen Variabilität extrem leidet.

Die Verminderung der Genauigkeit fällt so groß aus, dass die Reduktion des Aufwandes bei der Erhebung des Parameters damit nicht zu rechtfertigen ist, da die Modulation der Betriebsmittel das vorrangige Ziel der angepassten Düngung hat. Die Genauigkeit als primäres Ziel darf daher nicht hinter die Praktikabilität der Anwendung gestellt werden.

Die Notwendigkeit der Erfassung der Variabilität von N_{\min} im Kartieransatz nach der „guten fachlichen Praxis“ führt dazu, dass dieses Verfahren aufgrund von Kosten- und Zeitaufwand in bezug auf die Alltagstauglichkeit als unpraktikabel betrachtet werden muss. Es muss daher nach weiteren Verbesserungen oder nach alternativen Lösungsansätzen gesucht werden.

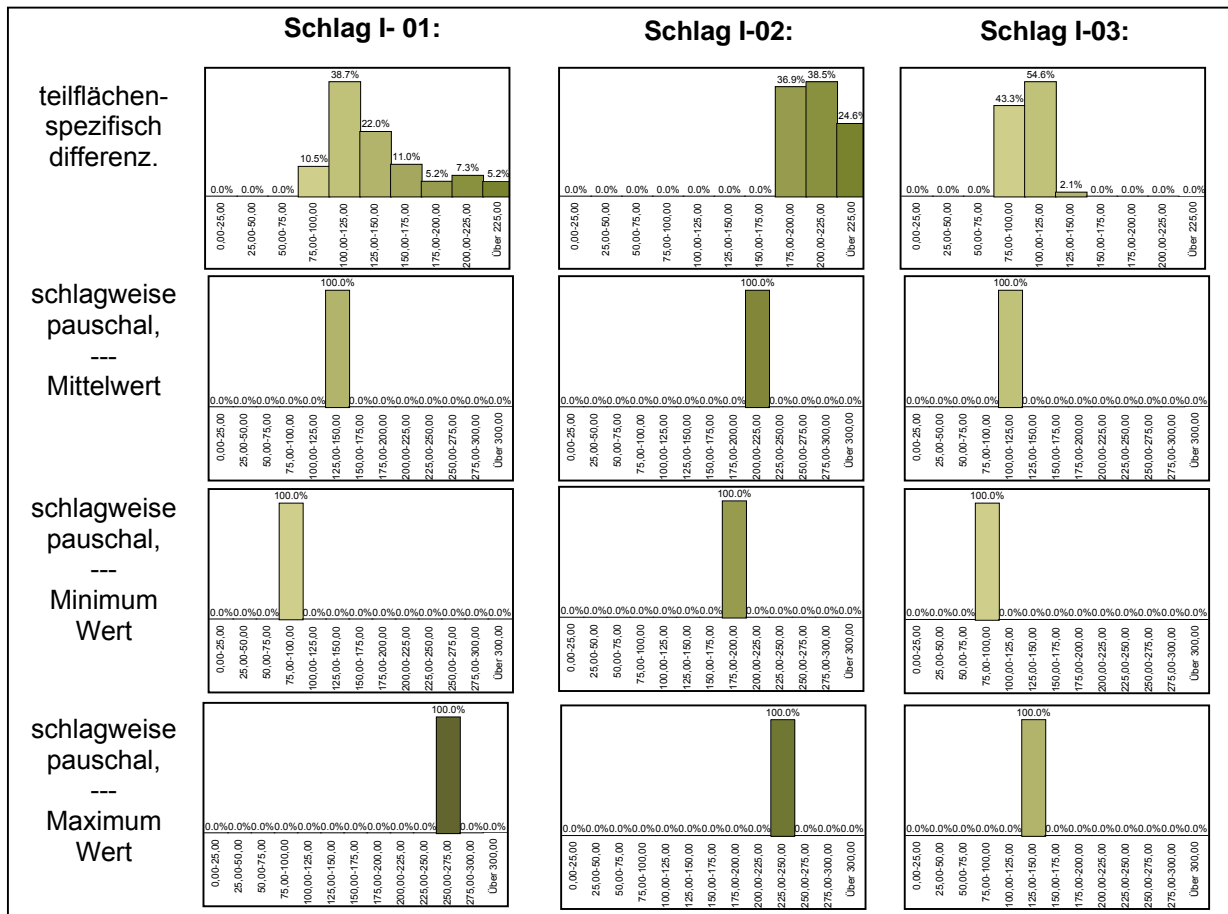


Abb. 128: Klassenverteilungen von N_{min} bei unterschiedlicher Erfassung von N_{min}

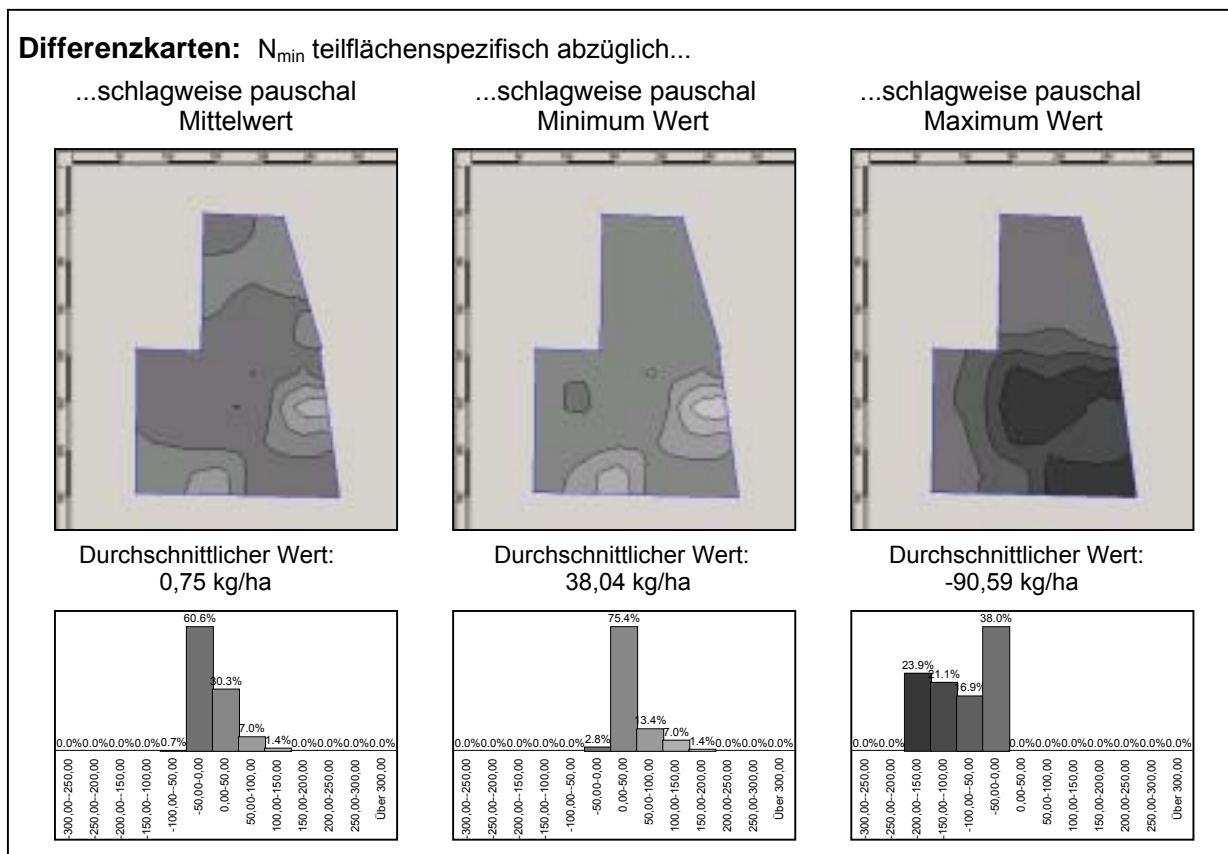


Abb. 129: Differenzkarten zwischen teilflächenspezifisch differenziert und pauschal erfasstem N_{min}

Genauigkeit

Wie einleitend beschrieben ist die Variabilität des Parameters N_{\min} für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel auch bezüglich seiner *Stabilität und Genauigkeit* interessant. Als in das Verfahren einfließende Variable ist es bedeutsam, wie gut der Wert erfasst, bzw. was bei seiner Erfassung berücksichtigt werden muss. Die Ergebnisse zu dieser Fragestellung ergeben sich aus dem Teilversuch unter Kapitel 2.1.2.2.

Tabelle 18 listet die Ergebnisse der Korrelationstests zwischen **Frühjahrsbeprobungen verschiedener Jahre** auf. Es ist deutlich erkennbar, dass die räumliche Verteilung von N_{\min} im Frühjahr zwischen den einzelnen Jahren stark unterschiedlich ist. Selbst zwischen den beiden zeitnahen Beprobungen im Frühjahr 2003 beträgt das Bestimmtheitsmaß lediglich 0,4. Die Varianzen zwischen beiden Beobachtungen an den gleichen Rasterpunkten können also lediglich mit 40% durch eine Regression wiedergegeben werden. Selbst innerhalb von 2 Wochen besteht also bei einer unabhängigen Beprobung durch unterschiedliche Probenehmer an den gleichen Rasterpunkten eine große Streuung.

Die höchste Korrelation findet sich zwischen den Jahren 2002 und 2003 und zwar unabhängig davon, um welche Beprobung es sich im Jahr 2003 handelt. Das Bestimmtheitsmaß beträgt immerhin 0,52, bzw. 0,40 und ist damit höher als zwischen den unabhängigen Beprobungen des gleichen Jahres. Das geringste Bestimmtheitsmaß von 0,11 berechnet sich beim Vergleich derjenigen Beprobungen, die zeitlich am weitesten auseinanderliegen (05.06.01 und 10.-17.05.03).

R^2	05.06.01 Probenehmer A	24.05.02 Probenehmer A	07.05.03 Probenehmer B	10.-17.05.03 Probenehmer Ar
05.06.01 (A)	1,00	0,17	0,06	0,11
24.05.02 (A)		1,00	0,52	0,44
07.05.03 (B)			1,00	0,40
10.-17.05.03 (A)				1,00

Tab. 18: Ergebnisse der Korrelationstests zwischen den einzelnen Frühjahrsbeprobungen

In **Tabelle 19** sind die N_{\min} -Beprobungen zwischen **Frühjahr und Herbst** für die Jahre 2002 und 2003 gegenüber gestellt. Dabei finden die Ähnlichkeit der Verteilung (Korrelationsergebnis) und der Rückgang von N_{\min} (in Prozent) Berücksichtigung. Da im Jahr 2003 die Frühjahrsbeprobung von 2 unterschiedlichen Probenehmern zu ähnlichen Zeitpunkten durchgeführt wurde, können beide Werte mit dem Ergebnis kurz nach der Ernte verglichen werden. Es zeigt sich deutlich, dass sich die Verteilungen zwischen Frühjahr und Herbst nicht ähneln und dass der Rückgang unterschiedlich stark ausgeprägt ist.

	Korrelation (R^2)	Prozent von Frühjahr
Jahr 2002 (Probenehmer A)	0,0229	36,28%
Jahr 2003 (Probenehmer A)	0,008	26,30%
Jahr 2003 (Probenehmer B)	0,106	42,03%

Tab. 19: Ergebnisse des Frühjahrs-/Herbstvergleiches von N_{\min}

Vergleicht man die Ergebnisse der herangezogenen **Herbstbeprobungen verschiedener Jahre** (2002 und 2003), so ist eine Erhöhung von etwa 138% gegenüber dem Vorjahreswert festzustellen. Dies geht allerdings mit einer Erhöhung des Vorjahreswertes im Frühjahr von etwa 190% (Messung Probenehmer B) bzw. 119% (Bodenprobenehmer A) einher und ist daher nicht als negative Auswirkung der durchgeführten Maßnahmen im Jahr 2003 zu werten.

Das Bestimmtheitsmaß beträgt im Vergleich immerhin 0,31, so dass immerhin knapp ein Drittel der Varianzen durch eine Regression nachgebildet werden kann (Tab. 20). Die Verteilungen sind also nicht statistisch signifikant, weisen allerdings bei visueller Betrachtung Ähnlichkeiten auf.

Herbstvergleich	Korrelation (R^2)	Prozent von 2002
Jahr 2002 zu 2003	0,306	137,6%

Tab. 20: Ergebnisse des Korrelationstests zwischen den beiden Herbstbeprobungen

Tabelle 21 zeigt, dass im vorliegenden Versuch das Ergebnis der **Beprobung zwischen zwei unabhängigen Probenehmern** stark abweichen kann. Allerdings stellt die Verteilung von N_{\min} mit $R^2 = 0,52$ hierbei der höchste aller auftretenden Korrelationen der Untersuchungen zu N_{\min} dar. Das bedeutet, dass knapp mehr als die Hälfte der Varianzen durch eine Regression erklärt werden kann. Von den bisher unverglichenen N_{\min} Verteilungen ähneln sich beide N_{\min} -Beprobungen in ihrer flächigen Verteilung also am meisten.

	Korrelation (R^2)	Prozent von Uni Hohenheim
Frühjahr 2003:	0,52	62,57%

Tab. 21: Ergebnisse des Korrelationstests zwischen den beiden Probenehmern

Aus den unterschiedlichen Teiluntersuchungen kann als Ergebnis zusammengefasst werden, dass sich die Verteilung von N_{\min} auch kurzfristig in relativ weitem Rahmen bewegen kann. Sie ist so sehr veränderlich, dass die Variabilität der Verteilung bei Korrelationstests nur relativ undeutlich durch eine Regression wiedergegeben werden kann. Dennoch bleibt ein ähnlicher optischer Eindruck der N_{\min} Verteilungen bestehen, der auf gewisse Regelmäßigkeiten schließen lässt.

Die auch kurzfristige Variabilität des Parameters in relativ weitem Rahmen lässt die Frage aufkommen, inwieweit die Verteilung von N_{\min} als teilflächenspezifisch differenzierter Parameter für eine Ableitung einer Applikationskarte zur Modulation der Betriebsmittel geeignet ist. Damit geht die Fragestellung einher, ob einer Verdichtung des Rasterpunktnetzes nicht nur eine erhöhte Differenzierung der flächigen Verteilung zur Folge hat, sondern womöglich auch stabilere Korrelationen nach Wiederholungsinventuren.

Aufgrund der hohen Dynamik im Stickstoffkreislauf bleibt offen, ob die Erfassung von N_{\min} kurz vor der N Applikation überhaupt repräsentativ für die Verteilung zum Zeitpunkt der eigentlichen Maßnahme ist. Sofern die Verteilung von N_{\min} aber verwendet wird, muss die Beprobung sehr sorgfältig und nur kurzfristig vor der Applikationsmaßnahme durchgeführt werden.

Insgesamt bedeutet das, dass N_{\min} sehr sensibel reagiert und daher als Eingangsparameter für die Modulation der Stickstoffdüngung nach der „guten fachlichen Praxis“ im Kartierverfahren sorgfältig und zeitnah erfasst werden muss, was sich negativ auf die Praktikabilität des Verfahrens auswirkt.

(3) Bodenleitfähigkeit

Innerhalb eines Teilversuches wurde versucht, die Variabilität des Schlages mit Hilfe der elektromagnetischen Leitfähigkeit nachzuzeichnen (Kapitel 2.1.2.2). Da das Verfahren kostengünstig, mit einer hohen Flächenleistung und deshalb auch mit einem geringen Zeitaufwand verbunden ist, besteht grundsätzlich Potenzial zur Integration für die Umsetzung einer praxistauglichen Modulation der Betriebsmittel. Die Ergebnisse haben daher für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel für *den* Fall Relevanz, dass eine Integration der Methode in die Modulation der Stickstoffdüngung möglich ist.

Die Bestimmtheitsmaße der durchgeführten Vergleiche zwischen den Verteilungen der herangezogenen teilflächenspezifisch differenzierenden Parameter zeigen, dass keiner der für die Umsetzung der Modulation relevanten Parameter signifikant korreliert, obwohl gewisse Ähnlichkeiten zur Verteilung der letzten erfassten Abreife, des C-Gehaltes und dem Produkt der Reflexionswerte aus einem Lowcost-Luftbild bestehen. Diese Ähnlichkeiten sollten im Auge behalten werden, spielen aber zum gegebenen Zeitpunkt keine relevante Rolle für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel.

So können auch SCHMIDHALTER und ZINTEL (1999) unter ihren Versuchsbedingungen keine Beziehung der EM38 Messungen zu Salzgehalten feststellen. Stattdessen ergibt sich ein Zusammenhang zur nutzbaren Feldkapazität (nFK), was aber im vorliegenden Projekt nicht bestätigt werden konnte. Die Untersuchungsergebnisse mit EM38 lassen vermuten, dass ein indirekter Zusammenhang der teilflächenspezifischen Verteilung der Pflanzenversorgung zur elektromagnetischen Leitfähigkeit besteht, wobei eine Kombination von Parametern bedeutsam sein könnte. Dabei müsste die Wasserversorgung auf der Fläche einen nicht unbedeutenden Anteil ausmachen.

(4) Wasserhaltevermögen der Böden

Im Folgenden werden die Ergebnisse vorgestellt, die sich aus den Untersuchungen zum Wasserhaltevermögen der Böden (Kapitel 2.1.2.2 (7)) ergeben, sofern sie für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel relevant sind.

Aus theoretischer Sicht ist eine deutliche Korrelation zwischen **Abreife** und Bodenfeuchte zu erwarten. Allerdings erreicht keines der Bestimmtheitsmaße der vorliegenden Vergleiche das Niveau deutlicher Korrelationen. Dabei ist aber dennoch erkennbar, dass R^2 mit zunehmendem Abreifeverlauf zunimmt (bis auf 0,32). Das ist ein direktes Indiz dafür, dass mit zunehmender Abreife der Zusammenhang zur Verteilung der Bodenfeuchte deutlicher wird. Wenn dabei dennoch keine wirklich aussagekräftigen Bestimmtheitsmaße erreicht werden, so kann das zum einen daran liegen, dass bei einer terrestrischen Abreifeinventur optische Schätzwerte, also Interpretationen und keine Messwerte herangezogen werden. Zum anderen kann der zeitliche Abstand von etwa einem Jahr zwischen den zu korrelierenden Parametern hier ebenfalls eine Rolle spielen.

In den Untersuchungen zum Jahr 2004 konnte gezeigt werden, dass Reflexionswerte deutlich zu den Körnungsfractionen korrelieren. Obwohl durch die Art der Körnungsfraction das Wasserhaltevermögen eines Bodens maßgeblich beeinflusst wird, sind in der vorliegenden Untersuchung aber keine Korrelationen zu **Reflexionsparametern aus dem Luftbild**

erkennbar. Zwar gibt es Bestimmtheitsmaße um 0,3, die auf wenigstens visuelle Ähnlichkeiten der Verteilungen schließen lassen, doch ist keine der Korrelationen signifikant.

Bei der **Verteilung von N_{\min}** stellt sich die Situation differenzierter dar. Während die Werte für N_{\min} vom 02.06.2004 und dem 23.07.2004, die mehr als ein Jahr zurückliegen, im wesentlichen keine deutlichen Korrelationen nachweisen, erreicht das Bestimmtheitsmaß bei der N_{\min} -Verteilung vom 19.11.2004 deutlich höhere Werte. Obwohl diese N_{\min} -Beprobung gegenüber der Bodenfeuchtemessung mehr als 8 Monate zurück liegt, wird sogar die Schwelle des Bestimmtheitsmaßes von 0,5 überschritten. Die untersuchten Werte vom 29.03.2005, die zeitlich am nächsten liegen, korrelieren sogar im mittleren Tiefenbereich (30-60 cm) ($R^2 = 0,79$ und $0,73$), wobei zwischen den Untersuchungen immerhin noch mehr als 4 Monate liegen.

Teilt man dabei den gemessenen Stickstoff auf in Ammonium (NH_4) und Nitrat (NO_3), so kann gesagt werden, dass sich Ammonium (NH_4) weitgehend unabhängig vom Wassergehalt im Boden verhält. Dennoch korreliert es am 26.07.05 im unteren Bodenbereich sehr stark. Dagegen macht Nitrat (NO_3) den eigentlichen korrelierenden Teil des Stickstoffes aus. Insbesondere im Bodenbereich 30-60 cm wird das sehr deutlich ($R^2 = 0,74$ und $0,8$).

Das ist plausibel, da Nitrat (NO_3) im Boden frei beweglich ist und damit vom Wasserhaltevermögen der Böden beeinflusst werden kann. Dadurch ist es auch auswaschungsgefährdet. Demgegenüber ist Ammonium (NH_4) kaum beweglich, da es an Bodenteilchen gebunden wird. Durch seine positive Ladung wird es an den negativ geladenen Oberflächen von Humus und Tonmineralien gebunden. Ammonium (NH_4) wird daher nur wenig verlagert und kann damit auch kaum ausgewaschen werden. Infolge dessen ist die mangelnde Korrelation zum Wasserhaltevermögen plausibel (Abb. 130).

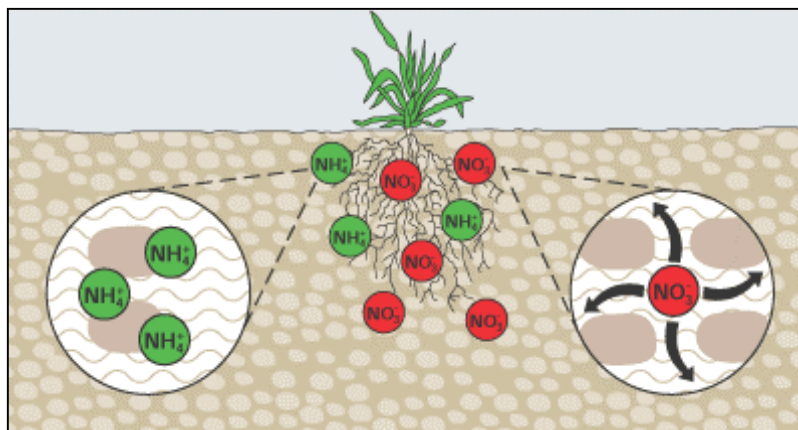


Abb. 130: Eigenschaften von Ammonium und Nitrat im Boden

Grundsätzlich können die Pflanzen sowohl Ammonium (NH_4) als auch Nitrat (NO_3) nutzen. Die Pflanzenwurzeln müssen aber zum unbeweglichen Ammonium (NH_4) hinwachsen, bevor es im unmittelbaren Wurzelbereich aufgenommen werden kann. Dagegen ist Nitrat im Boden leicht beweglich und kann mit der Bodenlösung zur Pflanzenwurzel gelangen. Aufgrund dieser für die Pflanze günstigen Eigenschaft überwiegt bei den meisten Pflanzenarten die Nitrataufnahme. Durch die hohe Mobilität des Nitrats ist allerdings die Gefahr der N-Auswaschung mit dem Sickerwasser in dieser Stickstoff-Form besonders hoch. Die Verfügbarkeit von Nitrat ist dementsprechend auch von der Verfügbarkeit des Wassers abhängig, was die Korrelationsergebnisse auch bestätigt haben.

Es kann also zusammengefasst werden, dass ein Zusammenhang der Stickstoffverteilung zur Verteilung des verfügbaren Wassers insbesondere für den mittleren Tiefenbereich des Bodens gegeben ist, wenn die Erhebungen einigermaßen zeitnah sind, was bedeutet, dass bereits bei einem zeitlichen Unterschied von einem Jahr die Zusammenhänge durch Ähnlichkeiten erkennbar werden. Bei einem zeitlichen Abstand von etwa 4 Monaten können am vorliegenden Beispiel Korrelationen festgestellt werden.

Die Dynamik der Verteilung ist zwischen Stickstoff und Wasser also recht langsam. Gelänge es nun, durch Verbesserung der Verfahren eine deutliche Korrelation der Abreife aus dem Luftbild mit der Bodenfeuchtigkeit herzustellen, so wären Rückschlüsse auf die Verteilung von N_{\min} denkbar. Hierdurch wäre unter Verwendung von Luftbildern eine Reduzierung des enormen Aufwandes für die teilflächenspezifische Erfassung von N_{\min} denkbar. Dieser Ansatz sollte weiter untersucht werden.

Darüber hinaus besteht eine Abhängigkeit des **Kohlenstoffgehalts** der Pflanze zur Wasserversorgung des Bodens (Tab. 21).

R ²	Feuchtemessung 26.07.05			Feuchtemessung 27.07.05			
	0-30cm	30-60cm	60-90cm	0-30cm	30-60cm	60-90cm	
Ertrag 2004	0,002	0,006	0,001	0,007	0,005	0,050	
Korn	N-Gehalt	0,001	0,007	0,008	0,000	0,000	0,116
	C-Gehalt	0,077	0,093	0,251	0,137	0,204	0,019
Pflanze	N-Gehalt	0,028	0,074	0,049	0,043	0,052	0,038
	C-Gehalt	0,694	0,703	0,327	0,561	0,646	0,680

Tab. 21: Bestimmtheitsmaße der Verteilung des Ertrages 2004 und des N- und C-Gehaltes aus Pflanze und Korn (2004) aus der Korrelation mit den Feuchtemessungen

Von der Vielzahl der durchgeführten Teiluntersuchungen zur Variabilität haben darüber hinaus keine weiteren Ergebnisse Relevanz für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel. Auf eine Darstellung der Ergebnisse wird daher an dieser Stelle verzichtet.

3.2.2 Ergebnisse zur Machbarkeit der Modulation

Die Ergebnisse zur Machbarkeit der Modulation stehen neben der Betrachtung zur Auswirkung der Modulation. Sie werden gegliedert in

- eine Betrachtung der **Praxistauglichkeit des Kartieransatzes** und
 - eine Betrachtung zur **Praxistauglichkeit des Online-Ansatzes**,
- für die Umsetzung der Modulation unter den gegebenen Bedingungen am Oberrhein.

Die Ergebnisse zur **Praxistauglichkeit des Kartieransatzes** gliedern sich in die Beschreibung

- der aufgetretenen Komplikationen
- des Potenzials durch die Ausweitung im Sinne einer Gewannebewirtschaftung
- des Potenzials durch die Integration einer Wachstumssimulation und
- in eine Zusammenfassung der Lösungsansätze zur Überführung des Kartieransatzes in die Praxistauglichkeit.

Die Ergebnisse zur **Praxistauglichkeit des Online-Ansatzes** gliedern sich in die Beschreibung

- der aufgetretenen Komplikationen
- des Verbesserungspotenzials des Verfahrens
- des Potenzials durch die Integration alternativer Online-Verfahren, sowie
- in eine Zusammenfassung der Lösungsansätze zur Überführung des Online-Ansatzes in die Praxistauglichkeit

3.2.2.1 Praxistauglichkeit des Kartieransatzes

(1) Komplikationen

Komplikationen bei der Datenerfassung des Mähdruschertrages als Eingangsparameter

Durch die Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung im Kartierverfahren nach der guten fachlichen Praxis wird die Erfassung der Variabilität des Mähdruschertrages notwendig.

Bei den hierbei durchgeführten Versuchen traten Komplikationen bei der Erfassung dieser Daten auf. Insbesondere die Notwendigkeit, hierzu einen Datenträger vorbereitend zu konfigurieren lässt Fragen in Bezug auf eine operationale Handhabung der Technik aufkommen: Zunächst einmal ist es unverständlich, dass beim verwendeten System der Maschinenauftrag zur Abarbeitung des Mähdruschers überhaupt an einem externen PC vorbereitet werden muss. Einerseits erfordert dies in einer kleinflächigen Flurstruktur einen enormen Vorbereitungsaufwand. Zudem werden in der gegebenen kleinflächig strukturierten Situation durch die Notwendigkeit des Einlesens unterschiedlicher, extern vorbereiteter Aufträge für jeden Schlag die Erntearbeiten ständig unterbrochen. Andererseits erhält das System des Mähdruschers die Lagekoordinaten und den Erntedurchsatz unabhängig von zusätzlich erforderlichen Parametern. Es wäre daher denkbar, dass diese Daten erfasst und in einer vom System vor Ort generierten Datei abgespeichert werden können, ohne dass dazu eine vorbereitete (Leer-)Datei verfügbar sein muss. Bei einer solchen Vorgehensweise wäre der vorbereitende Aufwand auf ein Minimum reduziert. Fehler der Datenkonvertierung wären ausgeschlossen.

Des Weiteren ist aus Sicht des Anwenders nicht verständlich, weshalb zwei unterschiedliche Bordcomputersysteme, welche sich auf dem gleichen Mähdrusch befinden können, nicht mit einem identischen, bzw. auch kompatiblen Ausgangsfile arbeiten können, wenn ein solches denn schon unbedingt im Vorfeld vorbereitet werden muss. Es wäre denkbar, dass eine vorzubereitende Ausgangsdatei eine Wahl des Bordcomputersystems erst beim dortigen Einlesen definiert.

Man stelle sich an dieser Stelle vor, was es für den Arbeitsablauf eines Betriebes bedeutet, der wie im gegebenen Fall mit zwei unterschiedlichen Bordcomputersystemen ausgerüstet ist, wenn die Maschinen je nach Bedarf flexibel auf der Fläche eingesetzt werden sollen und für jeden zu bearbeitenden Schlag alle Maschinenjobs deshalb doppelt vorgehalten werden sollen.

Es wäre wünschenswert, das System dahingehend zu verbessern, dass insbesondere bei einem Arbeitsgang der *Datenerfassung*, wie es beim Mähdrusch der Fall ist, die Messdaten-dateien automatisch generiert werden, ohne dass der Anwender sich um Initialisierungen, Konfigurierungen und Konvertierungen zu kümmern hat.

Da alle hierzu benötigten Informationen am Mähdrusch bekannt sind, dürfte einer solchen Lösung aus technischer Sicht nichts im Wege stehen.

Darüber hinaus erscheint es aus Sicht des vorliegenden Projektes hinderlich, dass das Einlesen der erfassten Rohdaten schließlich nur von demjenigen PC aus möglich ist, an dem auch die Ausgangsdatei erstellt worden ist. Im konkreten Fall musste deshalb der Datenträger (PCMCIA Karte) zunächst am Büro PC des Lohnunternehmens eingelesen werden, bevor die Daten dann zur weiteren Bearbeitung auf einen weiteren Rechner zur Projektbearbeitung übertragen werden konnten.

Hier ist aus Sicht des Anwenders ein etwas offeneres System wünschenswert. Es besteht sonst die Gefahr, dass Komplikationen insbesondere dann auftreten, wenn abweichende Anwendungen nötig werden, als den vom Programmierer vorgesehenen.

Zu den Komplikationen bei der Datenerfassung des Mähdruschtrages als Eingangsparameter gehört außerdem, dass eine fehlerhafte Datenerfassung im Wendebereich des Mähdruschs bis heute nicht ausgeschlossen werden kann. Eine verzögerte Datenerfassung wurde im Projekt augenscheinlich, als innerhalb eines Rohdatensatzes Messwerte außerhalb des Schlages aufgetreten sind, wo überhaupt kein Mais stand. Die verzögert auslaufende Messung wird damit begründet, dass es eine Weile dauert, bis der Elevatorschacht am Feldrand leer gelaufen ist.

Komplikationen bei der Datenerfassung von N_{\min} als Eingangsparameter

Wie unter Kapitel 3.2.1 beschrieben besteht ein hoher Aufwand zur teilflächenspezifisch differenzierten Erfassung von N_{\min} . Nicht gerade als praxistauglich erweist sich die sich ergebende Forderung, den Parameter möglichst zeitnah zur eigentlichen Applikation zu erheben. Dies kann zu Problemen bei der rechtzeitigen Fertigstellung der Applikationskarten führen. Die eigentliche Datenerfassung mittels Probenahme ist genauso wie die Analyse der Daten ein routinierter Vorgang, der ohne Probleme durchführbar ist.

Das Problem der Datenerfassung von N_{\min} ist also nicht technischer Art, sondern ist in der mangelnden Praxistauglichkeit aufgrund des hohen Aufwandes zu begründen.

Komplikationen bei der technischen Umsetzung 2003

Unter Kapitel 2.1.2.3 (1) wurde die erfolgreiche Durchführung der Modulation der Stickstoffdüngung im Kartieransatz (Offline-Verfahren) für das Jahr 2003 beschrieben. Im Folgenden werden die in diesem Versuch aufgetretenen Komplikationen zusammengefasst.

Dabei kann gesagt werden, dass sich der Erfolg der durchgeführten teilflächenspezifischen Stickstoff-Düngung in erster Linie auf die Tatsache der Umsetzung überhaupt bezieht. Als unbefriedigend war die Vielzahl der während der Durchführung aufgetretenen Probleme anzusehen, die dem eigentlichen Projektziel einer praktikablen und operationalen Lösung entgegenstehen.

Im Folgenden werden die einzelnen Unzulänglichkeiten beschrieben um hieraus Verbesserungsvorschläge abzuleiten. Die aufgetretenen Probleme betreffen im Einzelnen vor allem:

- die Normierung der Steckverbindungen
- die Fehlerkompensierfähigkeit des verwendeten Systems
- die Benutzerfreundlichkeit und Fehlervorbeugung
- die intuitive Bedienbarkeit

Um die Bedeutung der Komplikation zu verstehen wird ihr Auftreten im Folgenden näher beschrieben.

Die erste Komplikation betrifft die **Normierung der Steckverbindungen**. Zur Vorbereitung des Versuches wurde die Hard- und Software an der landwirtschaftlichen Zugmaschine installiert. Zunächst musste dazu der Bordrechner ACT an der vorgesehenen Halterung des Trägerfahrzeuges befestigt werden, an welchem der Düngestreuer Bogballe MR 3 angebaut war. Der Bordrechner wurde dazu einem Mähdrescher CLAAS Lexion entnommen, in welchem er sich noch von der letztjährigen Saison befand. Dort wurde er zuletzt zur Ertragsdatenkartierung verwendet.

Nach Anschrauben des Rechners wurden die Stromversorgung und der DGPS Antennenanschluss angeschlossen. Als schließlich das Schnittstellenkabel zum neuen Düngestreuer verbunden werden sollte, stellte sich heraus, dass der „Genter“ der Steckverbindung an dem, gegenüber der letzten Saison neuen Nachfolgergerät verändert worden ist. Der zuvor übliche Stecker konnte für den Anschluss des neuen Bogballe MR3 Streuers nicht verwendet werden.

Da sich im Umland ausgedehnter landwirtschaftlicher Nutzflächen im seltensten Fall in unmittelbarer Reichweite ein Computerladen befindet, war die Beschaffung eines passenden Kabels mit einigem Aufwand verbunden. Auf dem Hintergrund eines zeitlich sehr ausgelasteten landwirtschaftlichen Berufsstandes trägt eine solche scheinbare Nebensächlichkeits nicht gerade zur Begeisterung für noch so sinnvolle arbeitsverbessernde Innovationen bei, wie im vorliegenden Fall nicht nur sichtbar, sondern auch hörbar wurde.

Man hätte erwarten dürfen, dass bei einem Umstieg auf ein Nachfolgemodell des zuvor verwendeten Düngestreuers des gleichen Herstellers ein Anschluss an die bewährte Technik problemlos möglich ist. Wenn vielleicht auch gute Gründe für einen Wechsel der Steckverbindung sprechen mögen, sollte man es dennoch als Selbstverständlichkeit ansehen dürfen, dass bei der Beschaffung eines entsprechenden Nachfolgemodells die neu benötigte Steckverbindung gleich mitgeliefert wird, bzw. diesbezüglich nachgefragt wird.

Als weitere Komplikation zeigte sich eine mangelnde **Fehlerkompensierfähigkeit des Systems**. Nach fertigem Anschluss aller beteiligten Hardwarekomponenten sollte der Bordrechner „ACT“ gebootet werden. Selbst nach mehrmaligen Versuchen und mehrmaligem Überprüfen aller Steckverbindungen war dies nicht möglich. Der Bootprozess wurde mit „fatalem“ Fehler abgebrochen, wodurch ein Herunterfahren mit Hilfe der Software nicht mehr möglich war.

Nachdem auf diese Weise nicht nur Zeit, sondern auch Nerven und Innovationsbereitschaft des Lohnunternehmers vorübergehend sehr in Anspruch genommen worden sind, überprüfte der beteiligte Landwirt die Funktionalität des Gerätes schließlich am CLAAS Lexion Mähdrescher, an welchem der ACT zuvor verwendet wurde. Auch diese scheinbare Kleinigkeit ist mit einigem Aufwand verbunden, weil alle Steckverbindungen wieder entfernt und am Mähdrescher wieder installiert werden müssen. Zudem lässt sich das Gerät trotz Schnellbefestigung nur mühsam ab- bzw. wieder anmontieren, weil man sich in der relativ engen Kabine eines landwirtschaftlichen Nutzfahrzeuges nur sehr begrenzt bewegen kann.

Nachdem der ACT schließlich im Lexion gestartet werden konnte, verlief der Bootprozess unspektakulär normal.

Es stellte sich dann heraus, dass das Gerät zuvor mit einem angewählten Prozess (Job) für die Umgebung des Mähdrescher heruntergefahren wurde. Nach Beendigung dieses noch offenen Prozesses, dem Herunterfahren des Rechners und umständlichem Wiedereinbau in das vorgesehene Trägerfahrzeug konnte der Bordrechner schließlich an der Zugmaschinen mit angebaute Düngestreuer gestartet werden.

Man stelle sich hierzu vor, ein Schreibtisch PC wäre nicht mehr hochzufahren, nur weil man zuvor beispielsweise einen Druckprozess in Auftrag gegeben hatte, der dann bis zum Ausschalten des Computers nicht vollständig abgearbeitet worden wäre und man sich zwischenzeitlich erlaubte hätte, das Druckerkabel heraus zu ziehen. Auf keinem normalen Schreibtisch-PC würde ein solcher Vorgang zu einem so einschränkenden Problem führen.

Es darf nicht gerade als gelungen beurteilt werden, wenn ein Bordrechner an einem komplexen Arbeitsplatz mit unüberwindbarem Abbrechen des Bootvorganges reagiert, nur weil zuvor ein Prozess falsch bedient wurde, der auf einem Bürorechner unter relativ entspannten Arbeitsbedingungen außer einer Sicherheitsabfrage zu keinerlei weiteren Konsequenzen führen würde.

Macht man sich bewusst, unter welchem Zeitdruck ein Lohnunternehmer arbeitet, wenn er sich in einer arbeitsintensiven Phase wie beispielsweise der Stickstoff-Düngung befindet, dann können solche Unzulänglichkeiten eines sonst womöglich sehr guten Systems nicht nur zu Abneigung, sondern auch zu schwierig zu kompensierenden Zeitverlusten führen. Ein solch belangloser Bedienfehler darf in einem System, wenn es operational sein soll, niemals zu so weitreichenden Folgen führen.

Weiterhin gab es Komplikationen aufgrund mangelnder **Benutzerfreundlichkeit und Fehlervorbeugung**: Unmittelbar nachdem dem Bootvorgang am Bordrechner „ACT“ schließlich doch noch zum Erfolg verholfen werden konnte, trat ein weiteres Problem auf, indem nun die Kommunikation zum Steuerrechner des Bogballe-Düngerstreuers nicht funktionierte.

Nach empirischer Überprüfung mehrerer Parameter stellte sich heraus, dass im Düngauftrag der Applikationskarte eine fehlerhafte Schnittstelle angewählt war. Der Parameter musste von „LBS“ auf „RS323“ umgestellt werden. Die Behebung dieses Versehens wäre relativ unproblematisch, wenn dies, wie man erwarten würde, direkt am Bordrechner ACT geschehen

könnte. Es verhält sich aber so, dass der Düngeauftrag unter der Software „Agromap-Basic“ an einem Schreibtisch-PC definiert wird und dieser unwiderruflich mittels PCMCIA Karte zum Bordrechner portiert wird.

Eine nachträglich auch noch so kleine Modifikation direkt am Bordrechner des Trägerfahrzeuges ist nicht möglich. Im gegebenen Fall musste also der Düngeauftrag der bestehenden Applikationskarte komplett neu geschrieben werden. Glücklicherweise standen alle Daten auf einem tragbaren Notebook zur Verfügung, so dass dies vor Ort möglich war.

Es wird vorgeschlagen, die Software so umzugestalten, dass wesentliche Parameter direkt im Bordrechner gesetzt werden können. Das sollte wenigstens diejenigen Parameter betreffen, die losgelöst vom Inhalt der Applikationskarte für eine Umsetzung vor Ort von Nöten sind. Des Weiteren wäre eine automatische Erkennung des „Devices“ von Vorteil, bei der sich die Schnittstelle des Bordrechners über eine kurze Parameterabfrage an das entsprechende Anbaugerät anpasst.

In diesem Zusammenhang stelle man sich vor, dass ein Lohnunternehmer auf den Schlägen unterwegs ist und beispielsweise versehentlich für einen der Düngeaufträge der Schnittstellenparameter falsch gesetzt sei. Es ist wenigstens als unzumutbar zu bezeichnen, deswegen zum Betrieb fahren zu müssen, die Maschine abzustellen, den Bürorechner hochzufahren und den Düngejob für die vorgesehene Applikation neu auszugeben, um diesen dann mittels PCMCIA Karte schließlich verfügbar zu haben.

Zu Komplikationen führte auch eine mangelnde **Intuitive Bedienbarkeit**.

Nachdem schließlich alle benötigte Hardware installiert und mittels ansprechbarer Software kommunikationsfähig war, konnte dem Display entnommen werden, dass der Düngeauftrag für die erste zu bearbeitende Fläche verfügbar war. Daraufhin wurde beschlossen, eine Probefahrt als Leerfahrt durchzuführen, um zu überprüfen, ob die Vorgabewerte der Applikationskarte schließlich vom Düngestreuer auch umgesetzt werden.

Vor Ort war es dem durchführenden Lohnunternehmer dann aber zunächst nicht möglich, den angewählten Düngejob derart zu aktivieren, dass der Düngestreuer die nötigen Informationen erhält, was daran erkannt werden kann, dass die Applikationskarte vom System auch eingelesen wird, wodurch sie auf dem Display des Bordrechners ACT erscheint.

Ohne dass an dieser Stelle die Ursachen weiter analysiert werden soll, muss festgehalten werden, dass der innovationsbereite Landwirt, der mit dem Gerät von der Ertragskartierung her vertraut ist, nicht in der Lage war, diese Prozedur auszuführen.

Kurz vor Abbruch des Versuches führte eine unkontrollierte, emotionsgeladene, eher zufällige „Tastenberührung“ letztendlich doch noch zum Erfolg. Es würde den Rahmen des Zulässigen sprengen, diese Beobachtung als intuitive Bedienbarkeit des Systems zu beschreiben.

Bei der nun folgenden Leerfahrt zu Testzwecken arbeitete das System schließlich einwandfrei.

Daraufhin wurde der Test abgebrochen und der Tank des Düngestreuers befüllt. Beim erneuten Ankommen auf der Fläche entstand schließlich das gleiche Problem, weil durch die Erfahrung aus der vorherigen Prozedur die Aktivierung nicht reproduzierbar war.

Wie zuvor führte dann die mehr oder weniger unsystematische Betätigung des ausführenden und schlussendlich wohl doch ungeduldig gewordenen Landwirtes zum Erfolg.

Unmittelbar, nachdem die Fläche abgearbeitet war, entstand auch schon das nächste Problem:

Die für die drei Versuchsschläge separaten Düngeaufträge waren nun zwar wie erwartet in der Liste der verfügbaren Aufträge aufgeführt. Es war jedoch selbst nach vielen verschiedenen Versuchen nicht möglich, weder den zweiten noch den dritten der verfügbaren Aufträge zu selektieren.

Spätestens zu diesem Zeitpunkt wurde die Robustheit des Bordrechners ACT deutlich unter Beweis gestellt. Das Gehäuse ist in der Lage, unterschiedlich verursachte Erschütterungen jeglicher Art standzuhalten. Die Problematik war auf direktem Wege nicht lösbar.

Aus diesem Grund wurde das glücklicherweise mitgeführte Notebook gestartet und die Düngeaufträge erneut auf die PCMCIA Karte ausgelesen. Dabei wurde für jeden zu bearbeitenden Schlag nur jeweils derjenige Auftrag per Karte auf den Bordrechner übertragen, der auch gerade bearbeitet werden sollte.

Auf diese Weise stand dieser eine Auftrag dann einerseits zwar an der ersten Stelle der nur aus diesem einzigen Auftrag bestehenden Liste, so dass durch diese Vorgehensweise die Daten jeweils für den gerade zu bearbeitenden Schlag eingelesen und aktiviert werden konnten.

Auf die gleiche Art und Weise wurde aber auch die Karte unter dem Zeitdruck des Geschehens nach jedem Schlag gelöscht, ohne zu kontrollieren, ob die durchgeführte Düngung hier vom System etwa für Verifikationszwecke dokumentiert wurde. Für diesen Fall wären die entsprechenden Daten unwiederbringlich verloren.

Für die Durchführung dieser teilflächenspezifischen Düngung auf den drei Versuchsschlägen von zusammen etwa 4,5ha wurden unter den geschilderten Umständen etwa fünf Stunden in Anspruch genommen. Dem steht die Aussage des Lohnunternehmers gegenüber, der je nach Umständen auf herkömmliche Art und Weise zwischen 50 und 75ha an einem Arbeitstag bewältigt.

Zusammenfassend darf festgehalten werden, dass die Verfügbarkeit der Daten über das Notebook im gegebenen Fall aufgrund der Vielzahl von Unwägbarkeiten von ausschlaggebender Bedeutung war.

Bei der Durchführung der teilflächenspezifischen Düngung ergab sich bei jedem weiteren Schritt der nötigen Vorgehensweise jeweils ein neues Problem. Kein einziger Folgeschritt konnte ohne Komplikationen durchgeführt werden.

Als Ergebnis des Versuches zur modulierten Düngung im Jahr 2003 musste festgehalten werden, dass eine technische Umsetzung im Kartieransatz zwar grundsätzlich möglich ist, das durchgeführte Verfahren aber für eine kleinstrukturierte Situation wie am Oberrhein alles andere als Praxistauglichkeit erreicht hat.

Komplikationen bei der technischen Umsetzung 2004

Im Jahr 2004 wurde die Modulation der Betriebsmittel mit einer schlagübergreifend aufbereiteten Stickstoffapplikationskarte nach dem Offline-Verfahren (gute fachliche Praxis) umgesetzt.

Zu den Komplikationen dieses Versuches zählt die unter 2.1.2.3 (2) beschriebene außerplanmäßige Pauschaldüngung von zwei der drei Untersuchungsflächen, wodurch sich Komplikationen organisatorischer, zwischenbetrieblicher bzw. zwischenmenschlicher Art offenbaren. Es zeigt sich dadurch, dass für betriebsübergreifende Maßnahmen wie die Stickstoffdüngung im Sinne einer Gewannebewirtschaftung klare organisatorische Rahmenbedingungen unerlässlich sind, damit Koordination und Kooperation funktionieren können. Mangelnde Identifikation mit der Bewirtschaftungsweise des „Anderen“ bis hin zu argwöhnischer Skepsis, souveräne Eigenständigkeit, Freiheit in Entscheidungen und Ausführungszeitpunkten bis hin zu Eigenwilligkeit können zu Problemen bezüglich gemeinsamer Absprachen, Kompetenzen, Zuständigkeiten und allen Regulierungen im Zusammenhang einer überbetrieblichen Zusammenarbeit führen. Insbesondere Kommunikationsschwierigkeiten scheinen ein besonderes Hemmnis zur überbetrieblichen Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln zu sein. Als beispielhaftes Indiz sei stellvertretend erwähnt, dass es fast unmöglich erscheint, bei beteiligten Landwirten einen Besprechungstermin zu erhalten. Die beschriebene Komplikation ist konsequent nur zu vermeiden, wenn für die Durchführung der Maßnahme jemand verantwortlich zeichnet, der von den Eigentümern nicht nur dazu bestimmt wurde. Auch muss hierzu die notwendige Infrastruktur geschaffen sein. Hierbei sind klare Informationswege, dauerhaft geklärte Zuständigkeiten mit entsprechenden Kompetenzen und Instrumentarien zu subsumieren.

Die bei der **konkreten Umsetzung** aufgetretenen Komplikationen konnten gegenüber dem Vorjahr erfreulicherweise stark reduziert werden:

Im Gegensatz zur teilflächenspezifischen Düngung des letzten Jahres war der ACT-Bordcomputer in der zu verwendenden Zugmaschine vom Lohnunternehmer bereits eingebaut und an den Bogballe-Düngestreuer angeschlossen worden. Es kamen der identische Traktor (JGB-Fasttrac mit Schmalspurbereifung) und der identische Düngestreuer (Bogballe MR3) aus dem Versuch des Jahres 2003 zur Anwendung. Aus der Erfahrung des Vorjahres konnten daher die aufgetretenen Probleme im Vorfeld weitgehend vermieden werden. Auch war es möglich, alle Softwareparameter vorab richtig zu setzen.

Als Ergebnis erschien deshalb bei der Durchführung auch nach Einlesen des Düngeauftrages die Applikationskarte auf Anrieb am Display des ACT-Bordrechners, was als Zeichen der Verfügbarkeit der Applikationsinformation zu verstehen ist. Ebenfalls war das Kontrollsymbol für den Satellitenempfang in der Statuszeile sichtbar. Da also alle Voraussetzungen der teilflächenspezifischen Stickstoffapplikation gegeben waren, wurde der Düngeversuch gestartet.

Nachdem der Lohnunternehmer daraufhin die Randstreuung (einmal um die Fläche herum) abgeschlossen hatte, fiel im Display des Steuerrechners des Düngestreuers auf, dass der vorgegebene Düngepauschalwert von 300kg/ha bisher unverändert blieb.

Des Weiteren erinnerte sich der Lohnunternehmer daran, dass beim letztjährigen Versuch die Position des Düngestreuers innerhalb der Applikationskarte mit einem kleinen Positionskreuz markiert war, welches aktuell fehlte.

Glücklicherweise war während des Düngeversuches ein Außendienstmitarbeiter der Firma Agrocom anwesend, da am selben Tag auch der Einsatz des Pendelsensors getestet wurde. Durch die Anwesenheit dieser kompetenten Betreuung und zusätzlicher Inanspruchnahme der Online-Hilfe aus dem Haus Agrocom konnte das Problem schließlich bei einem Zeitaufwand von 20min intensiver Analyse gelöst werden.

Unerwartet kompliziert war die Ursachenforschung durch die Tatsache, dass eigentlich alle Voraussetzungen zur Durchführung der Düngung im Vorfeld bereits überprüft und für in Ordnung befunden wurden. Schließlich stellte sich heraus, dass ein Wackelkontakt einer Steckverbindung die Ursache für die nicht ansprechende Applikationskarte war. Ohne die kompetente Hilfe des Außendienstmitarbeiters mit der durch ihn angeforderten Online-Unterstützung durch das Haus Agrocom ist fraglich, ob die Ursache überhaupt hätte gefunden werden können. Nach Behebung des Fehlers arbeitete das System schließlich einwandfrei (Abb. 131).



Abb. 131: Teilflächenspezifische Düngeapplikation am 07. Juni 2004;
An der angehobenen Fronthydraulik ist der hier nicht verwendete Pendelsensor zu sehen

Die Durchführung der Modulation der Stickstoffdüngung im Jahr 2004 zeigt deshalb, dass trotz aller Erfahrung und Sorgfalt unerwartete Komplikationen nicht auszuschließen sind. Die sich hierdurch zeigende **Sensibilität des Systems**, insbesondere bei der Installation und Erstinbetriebnahme, hat um so größere Auswirkungen, je komplexer und schwieriger auch für einen noch so findigen Anwender oder gar Systembetreuer sich die Analyse einer potentiellen Störung erweist. Aus Sicht des aktuellen Versuches muss der zu verwendende Technikeinsatz als komplex bezeichnet werden. Trotz sorgfältiger Vorgehensweise sind Fehler nicht auszuschließen. Die Analyse dieser Fehler kann sich allerdings als ausgesprochen schwierig und zeitaufwändig gestalten.

Sollten sich in der Bewirtschaftungspraxis kleinparzellierter Gewanne solche Fehler mehrfach wiederholen, würde das die sichere Beendigung des Einsatzes einer solchen Technik bedeuten, wobei Zeitaufwand und Motivation die ausschlaggebenden restriktiven Parameter wären.

Einmal in Betrieb lief das System im Jahr 2004 aber stabil, wobei allerdings kein Applikationskartenwechsel vorgenommen wurde.

Immerhin lässt sich bestätigen, dass die Applikationskarte im Sinne einer Gewannebewirtschaftung für mehrere Schläge gleichzeitig erstellt werden kann, wodurch sich der Vorbereitungsaufwand stark reduzieren lässt. Auch ist die schlagübergreifende Abarbeitung

denkbar. Sie sollte im Versuchsjahr 2005 allerdings noch einmal verifiziert werden, was mit positivem Ergebnis abgeschlossen werden konnte.

Komplikationen bei der technischen Umsetzung 2005

Wie zuvor beschrieben, war die Umsetzung der Düngemaßnahme unter Integration des beschriebenen Wachstumsmodells (Apollo) im Jahr 2005 möglich. Dabei musste ein größerer Bereich in Schlag I-01 von der Düngemaßnahme ausgenommen werden, weil er entgegen der Versuchsempfehlung vom Eigentümer mit einem Langzeitdünger (Entec) in Vorlage behandelt wurde.

Wie im Jahr zuvor ist dies wiederum ein Beispiel für eine wesentliche Problematik in Bezug auf die Umsetzbarkeit der Modulation von Betriebsmitteln, weil offenbar einige Landwirte sich zum einen mit kooperativem Verhalten und zum anderen mit der Festlegung auf eine gemeinsame Strategie schwer tun, wenn ihnen damit die Beliebigkeit ihres eigenen Handelns frühzeitig eingeschränkt wird.

Erstaunlich erscheint dabei allerdings, dass etwa in einem Drittel dieses außerplanmäßig behandelten Schlages der vorgelegte Dünger (Entec) bereits zum Düngzeitpunkt ausgewaschen und nicht verfügbar war. Dieser Bereich konnte bei der Düngemaßnahme berücksichtigt werden und mittels präziser GPS Navigation nachgedüngt werden. Im restlichen Bereich war die Mineralisierung hingegen bereits weiter fortgeschritten als geplant, oder aber von den ausgewaschenen Flächen angeschwemmt worden.

Bei denjenigen Flächen, die entsprechend der Versuchsanlage behandelt werden konnten, lief die Umsetzung der Maßnahme im Gegensatz zu den vorherigen Jahren ohne wirkliche Komplikationen ab.

Nach Einbau des ACT-Bordrechners und Einlesen der vorbereiteten Applikationskarte musste zwar in den Menüs etwas gesucht werden, um die Applikationskarte auch aktivieren zu können. Wenn nicht regelmäßig mit dem „ACT“ gearbeitet wird, scheint die **intuitive Bedienbarkeit** wie bereits im Jahr 2003 festgestellt, einige Mühe zu bereiten. Die Benutzeroberfläche der Software ist aus Sicht des Bedieners offensichtlich nicht sehr übersichtlich. Dennoch war ein Starten der Applikationskarte im Gegensatz zu den beiden letzten Jahren ohne größere Zeitverzögerung möglich. Sowohl das GPS Signal als auch das Ansprechen des Düngestreuers war damit ebenfalls spontan möglich.

Interessant zu sehen war, dass der ausführende Lohnunternehmer geradezu begeistert zu sein schien, als er mit Hilfe der GPS Navigation auf dem außerplanmäßig gedüngten Schlag I-01 diejenigen Bereiche positionsgenau anfahren konnte, die wegen Auswaschung des Entec Düngers nachgedüngt werden sollten. Desgleichen war Zufriedenheit erkennbar, als das Anfahren der einzelnen Reihen, durch ein absolut mittig liegendes Positionierungskreuz auf der eingelesenen Applikationskarte bestätigt werden konnte.

Wie aus dem Versuchsergebnis des Vorjahres gefordert, konnte ebenfalls die Eignung des Verfahrens für die Anwendung im Sinne einer Gewannebewirtschaftung bestätigt werden. Die Applikationen auf allen drei Schlägen wurden nämlich auch im Jahr 2005 in einen einzigen schlagübergreifenden Applikationsauftrag geschrieben, mit dem die Maßnahme dann auf allen drei Schlägen umgesetzt werden konnte.

Weitere Ergebnisse über den Erfolg der durchgeführten Düngemaßnahme des Versuches werden erst im Herbst 2005 nach erfolgtem Mähdrusch deutlich. Die weitere Betreuung der Flächen liegt dann bei der Uni Hohenheim, da zu diesem Zeitpunkt der vorliegende

Schlussbericht bereits bestehen muss und weitere Auswertungen dieses interessanten Versuches keine Berücksichtigung mehr finden können.

Insgesamt wird deutlich, dass die Komplikationen im Laufe der Versuchsjahre und damit mit zunehmender Erfahrung stark abnehmen. Allerdings verbleibt ein „Restrisiko“ durch unvorhersehbare Komplikationen, denen mit zunehmender Erfahrung nicht entgegengewirkt werden kann.

Komplikationen durch die Praxis der Vorgabe von Mindestmengen bei der Applikation

Wie in Kapitel 2.1.2.4 (2) beschrieben hat sich gezeigt, dass sich die Vorgabe von Mindestmengen deutlich auf die resultierende Applikationskarte auswirkt.

Vergleicht man alle berücksichtigten Varianten der Mindestmengen vorgaben für N_{\min} und der Ertragserwartung miteinander, so kann die Größenordnung der entsprechenden Auswirkung auf die Applikationskarte eingeschätzt werden (Tab. 22).

Mittelwert kg Harnstoff/ha	Mindestens 0	mindestens 100
Ertragserwartung differenziert eingeflossen	151,48	174,24 (115,1%)
Ertragserwartung pauschal mit 120dt eingeflossen	71,03 (46,9%)	172,02 (242,2%) (98,73)

Tab. 22: Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Düngemenge

Fließt die Ertragserwartung differenziert ein, bewirkt das Setzen einer Mindestschwelle von 100kg Harnstoff/ha im gegebenen Fall eine Mehrdüngung von 15,1%. Geht die Ertragserwartung lediglich pauschal ein, wird fast das Zweieinhalbfache gedüngt.

Wird keine Applikationsschwelle gesetzt, reduziert sich die berechnete Düngemenge auf 46,9%, wenn man auf eine Verteilung der Ertragserwartung verzichtet. Bei einem Schwellenwert der Düngung von mindestens 100kg Harnstoff/ha bleibt dabei die berechnete Applikation nahezu identisch.

Es kann also festgestellt werden, dass trotz korrekter Anwendung der guten fachlichen Praxis und präziser teilflächenspezifischer pixelweiser Berechnung die Applikationsmenge durch das Setzen von äußeren Rahmenbedingungen sehr stark abweichen, bzw. beeinflusst werden kann! Rahmenbedingungen, die womöglich spontan vor Ort gesetzt wurden, beeinflussen die aufwändig und präzise abgeleitete Differenzierung des teilflächenspezifischen Berechnungsergebnisses unter Umständen um ein Vielfaches. Dies wird auch bei der Betrachtung der [Abbildungen 100 – 103 \(S. 96\)](#) deutlich (Kapitel 2.1.2.4 (2)).

Es muss daher die grundsätzliche Frage gestellt werden, ob ein teilflächenspezifisches Verfahren zur Modulation der Betriebsmittel lediglich die teilflächenspezifische Differenzierung einer vorgegebenen Applikationsmenge innerhalb des Schlages bewirken soll, oder ob auch in einem zu diskutierenden Rahmen die Höhe der Applikationsmenge mit vorgeben werden kann.

Ein nahezu identisches Ergebnis zeichnet sich bei der Betrachtung des Einflusses der Rahmenbedingungen auf die Spannweite der Düngemenge ab ([Tab. 23](#)). Auch hier ist die Reduktion durch eine nicht differenzierte Ertragsverteilung ohne Schwellenwert erheblich (44,5%), bei einem Schwellenwert von 100kg Harnstoff/ha allerdings unerheblich (95,08%). Bei differenziert einfließender Ertragserwartung nimmt die Spannweite durch das Setzen der Schwelle konsequenterweise stark ab (66,03%), während sie bei pauschal gesetzter Ertragserwartung auf 141,06 % ansteigt.

Der Einfluss der gesetzten Rahmenbedingungen ist also auf die Spannweite nicht unerheblich. Das ist auch in den [Abbildungen 100 - 103](#) deutlich zu sehen (Kapitel 2.1.2.4 (2)).

Spannweite kg Harnstoff/ha	Mindestens 0	mindestens 100
Ertragserwartung differenziert eingeflossen	294,36	194,36 (66,03%)
Ertragserwartung pauschal mit 120 eingeflossen	131,00 (44,5%)	184,79 (141,06%) (95,08%)

Tab. 23: Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Spannweite der Düngemenge

Durch die Höhe der N_{\min} -Werte im Boden kann es vorkommen, dass die N-Applikation nach der Berechnung entsprechend der „guten fachlichen Praxis“ an einigen Pixeln negative Vorzeichen aufweist. Da aber dem Boden während der Düngung kein Stickstoff entzogen werden kann, ist es tatsächlich erforderlich, solche Werte an eine Mindestschwelle anzupassen und sei es der Applikationswert „0“. [Tabelle 24](#) zeigt den Prozentsatz der anzupassenden Werte bei unterschiedlich eingeflossener Verteilung der Ertragserwartung und unterschiedlicher Mindestschwelle.

% der Werte müssen angepasst werden	Mindestens 0 kg Harnstoff/ha	mindestens 100 kg Harnstoff/ha
Ertragserwartung differenziert eingeflossen	13,95%	25,58%
Ertragserwartung pauschal mit 120 eingeflossen	13,95%	23,25%

Tab. 24: Anteil der gegenüber der Berechnung nach guter fachlicher Praxis zu hoch applizierten Fläche

Im gegebenen Fall ist die Anpassung mit Prozentwerten zwischen 13,95 und 25,58 als relativ hoch zu bezeichnen. Das bedeutet, dass dadurch der entsprechende flächige Anteil gegenüber der teilflächenspezifischen Berechnung nicht bedarfsgerecht appliziert wird (also zuviel).

Trotz teilflächenspezifischer Behandlungsweise werden also *durch die von vorneherein zu hohen N_{\min} -Werte* im Boden etwa 14% der Fläche zu hoch appliziert.

Weitere 12% der Fläche werden gegenüber der teilflächenspezifischen Berechnung nach der guten fachlichen Praxis *aufgrund des vorgegebenen Schwellenwertes* zu hoch appliziert.

Es zeigt sich also, dass sich Mindestmengenvorgaben in der resultierenden Applikation erheblich auswirken können. Es muss hinterfragt werden, inwiefern es Sinn macht, alle möglichen Parameter sorgfältig und hochdifferenziert zu erfassen, wenn möglicherweise pauschal vorgegebene, womöglich lediglich grob eingeschätzte Mindestmengen vorgaben des Lohnunternehmers die resultierende Applikation massiv beeinflussen können.

Diese Praxis muss als schwerwiegende Komplikation für eine bedarfsgerechte Modulation der Betriebsmittel bezeichnet werden.

(2) Potenzial durch Ausweitung des Verfahrens in Richtung Gewannewirtschaftung

Die Applikationskarte für die Modulation der Betriebsmittel war im Jahr 2003 *einzel Schlagweise* in den Jahren 2004 und 2005 hingegen *schlagübergreifend* aufbereitet worden.

Die Ursache der Änderung war der enorme Arbeitsaufwand zur Erstellung einzel Schlagweiser Ertragskarten. Wie beschrieben, konnte die Möglichkeit der schlagübergreifenden Aufarbeitung nicht nur bestätigt werden. Es zeigte sich bei der praktischen Umsetzung auch eine enorme Reduzierung des Arbeitsaufwandes.

Die Berechnung der Applikationskarte im Jahr 2004 nach der „guten fachlichen Praxis“ konnte für alle drei Schläge in einem *einzigem* Datenblatt der Tabellenkalkulation aufbereitet werden. Dem Bordrechner im Traktor musste lediglich *eine* Applikationskarte zur Verfügung gestellt werden, wobei ein, mit Konfliktpotenzial behafteter Wechsel der Applikationskarte entfiel. Auch die Aufarbeitung aller Ergebnisse und zusätzlich erfassten Kontrollparameter konnte mit erheblich reduziertem Aufwand gemeinsam für alle Schläge erfolgen.

Würde man tatsächlich ein komplettes Gewinn in die Modulation der Betriebsmittel mit einbeziehen, wäre es bereits ein großer Gewinn, bei der geringen Größe der vorliegenden Schläge, die ohnehin notwendigen N_{\min} -Beprobungen gemeinsam zu organisieren und hierdurch die teilflächenspezifische Verteilung von N_{\min} mittels Interpolation zu ermitteln.

Zwar hat die Untersuchung zur Reduktion des Erfassungsaufwandes von N_{\min} gezeigt, dass die Genauigkeit gegenüber einer sehr engmaschigen Rasterbeprobung stark abweichen *kann*, dennoch muss gesehen werden, dass durch Integration aller verfügbaren Daten für ein Gewinn mit Hilfe einer Interpolation die Darstellung der Variabilität für N_{\min} um ein Vielfaches genauer sein würde, als es bei der jetzigen Praxis der Fall ist. Indem jeder einzelne Messwert zu Nachbarmessungen in Beziehung gesetzt wird, werden zufällig erfasste Extremwerte (Minimum- oder Maximumwerte der tatsächlich vorkommenden Werte eines Schlages) nicht pauschal über die Fläche übertragen, sondern in ihrer flächigen Verteilung angemessen angepasst. Durch die Interpolation werden schließlich wesentlich mehr Messwerte simuliert, als erfasst werden.

Bei der Aufarbeitung in eine schlagübergreifende Applikationskarte werden diese Differenzierungen nicht nur berücksichtigt. Darüber hinaus werden sie auch durch die Applikationstechnik tatsächlich angepasst appliziert, was viel wesentlicher erscheint, da hinterfragt werden darf, ob man sich in der Praxis tatsächlich immer an die entsprechende Düngeempfehlung hält, wozu auch die Ergebnisse der durchgeführten Umfrage Anlass geben. Letzteres erlangt noch mehr für das Elsass als für Baden Bedeutung.

Ist das Gewinn schließlich groß genug, sollte es auch möglich sein, den Aufwand zur Erstellung einer Applikationskarte derart gering zu halten, dass die resultierenden Kosten/ha erträgliche, praxisrelevante Werte annehmen. Mögliche Folgekomplikationen wie sie durch kooperatives und koordiniertes Vorgehen sonst sehr isoliert und eigenständig arbeitender Landwirte ausgelöst werden könnten, sollen an dieser Stelle nicht weiter diskutiert werden. Für eine erfolgreiche Weiterführung der Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel unter den gegebenen Bedingungen stellen sie Untersuchungsinhalte für ein entsprechendes, die Thematik der Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln weiterführendes und insgesamt auch hochinteressantes Forschungsprojekt dar.

Zu diesen positiven Effekten die technische Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel betreffend, würden sich durch eine gewanneungsweise Vorgehensweise die bekannten positiven Effekte einer Gewannebewirtschaftung hinzu gesellen. Im Einzelnen wären das

- eine hohe Reduktion der Anfahrtszeiten und Kosten
- eine hohe Reduktion von Wendevorgängen auf der Bewirtschaftungsfläche
- eine hohe Reduktion des intensiv belasteten Bereiches des Vorgewendes
- eine hohe Treibstoffeinsparung

Daraus resultieren vielfältige Zeit- und Kostenersparnisse, die mit positiven Umwelteffekten verknüpft sind, wie beispielsweise

- geringere Umwelteinträge (Abgas, Betriebsmittel) und damit verbunden eine verbesserte Reinhaltung der Luft und verbesserter Grundwasserschutz
- geringere Bodenverdichtungen

Schließlich wären durch eine gemeinschaftliche Bewirtschaftung auch positive soziale Folgen unübersehbar wie

- ein verbessertes soziales und gesellschaftliches Miteinander
- mehr Freizeit mit dem Potenzial der Stärkung des familiären Sozialgefüges
- Ermöglichung von Urlaubs- und Krankheitsvertretung

(3) Potenzial durch Integration einer Wachstumssimulation

Wie zuvor beschrieben, war die Umsetzung der Düngemaßnahme nach Apollo im Jahr 2005 möglich. Ein Bereich des Schlages I-01 musste von der Düngung ausgenommen werden, weil er entgegen der Versuchsempfehlung vom Eigentümer mit einem Langzeitdünger in Vorlage behandelt wurde. Erstaunlich erscheint dabei allerdings, dass etwa in einem Drittel dieses Schlages dieser Dünger bereits zum Düngezeitpunkt ausgewaschen und nicht verfügbar war. Der entsprechende Teilbereich konnte bei der Düngemaßnahme berücksichtigt und nachgedüngt werden. Im restlichen Bereich war die Mineralisierung aber bereits weiter fortgeschritten als geplant.

Gezeigt hat sich dieser Sachverhalt nicht durch vorbereitende Maßnahmen der Applikation unter Integration der Wachstumssimulation, sondern durch die parallel durchgeführte N_{\min} -Beprobung, wie sie zum Vergleich mit der Modulation der Betriebsmittel nach der „guten fachlichen Praxis“ durchzuführen gewesen wäre.

Diese Tatsache zeigt, dass durch Integration einer langfristig angesetzten Wachstumssimulation auf kurzfristige Besonderheiten nicht eingegangen werden kann.

Vergleicht man die resultierende Applikation unter Verwendung der Wachstumssimulation mit derjenigen aus der Berechnung nach der „guten fachlichen Praxis“ ergibt sich ein interessantes Ergebnis: Die [Abbildung 132](#) zeigt eine Differenzkarte beider resultierender Applikationskarten. Die Berechnung ergab sich aus einer Subtraktion der Applikationswerte nach „Apollo“ von denjenigen nach der „guten fachlichen Praxis“. Sie sagt aus, in welchen Bereichen die Düngung nach „Apollo“ größer ausgefallen wäre, als nach der „guten fachlichen Praxis“.

Schlag I-02 zeigt Abweichungen auf den kleinsten Teilflächen von bis zu ± 15 kg N/ha, was vertretbar ist und ausnahmsweise bis -30 kg N/ha. Hier hätte die Maßnahme nach Apollo weniger Dünger ausgebracht. Die Ursache besteht in einer Delle der aktuellen N_{\min} -Verteilung

in der Mitte des westlichen Schlagrandes (Abb. 132), die im mittel- bis langfristig arbeitenden Simulationsmodell nicht berücksichtigt werden konnte.

In Schlag I-03 bewegt sich die Differenz mit größerem flächigen Anteil zwischen +10 und -15 kg N/ha. Ausnahmsweise gibt es zwei Bereiche, an welchen die Differenz auf -45 kg N/ha bzw. +60 kg N/ha zunimmt, was als erheblich zu bezeichnen ist (Abb. 132). Die Ursache hierfür besteht nicht in einer besonderen Unregelmäßigkeit bei der Berechnung unter Integration des Wachstumsmodells „Apollo“, sondern vielmehr in kleinen Bereichen mit erhöhter Abweichung des N_{\min} -Wertes vom Bereich sonst. Nach Aussage des Bodenprobenehmers gibt es nämlich im Schlag 2 Bereiche, die nicht unbedingt repräsentativ sind, da der zu beprobende Rasterpunkt im Bereich sich kreuzender Pflanzreihen liegt.

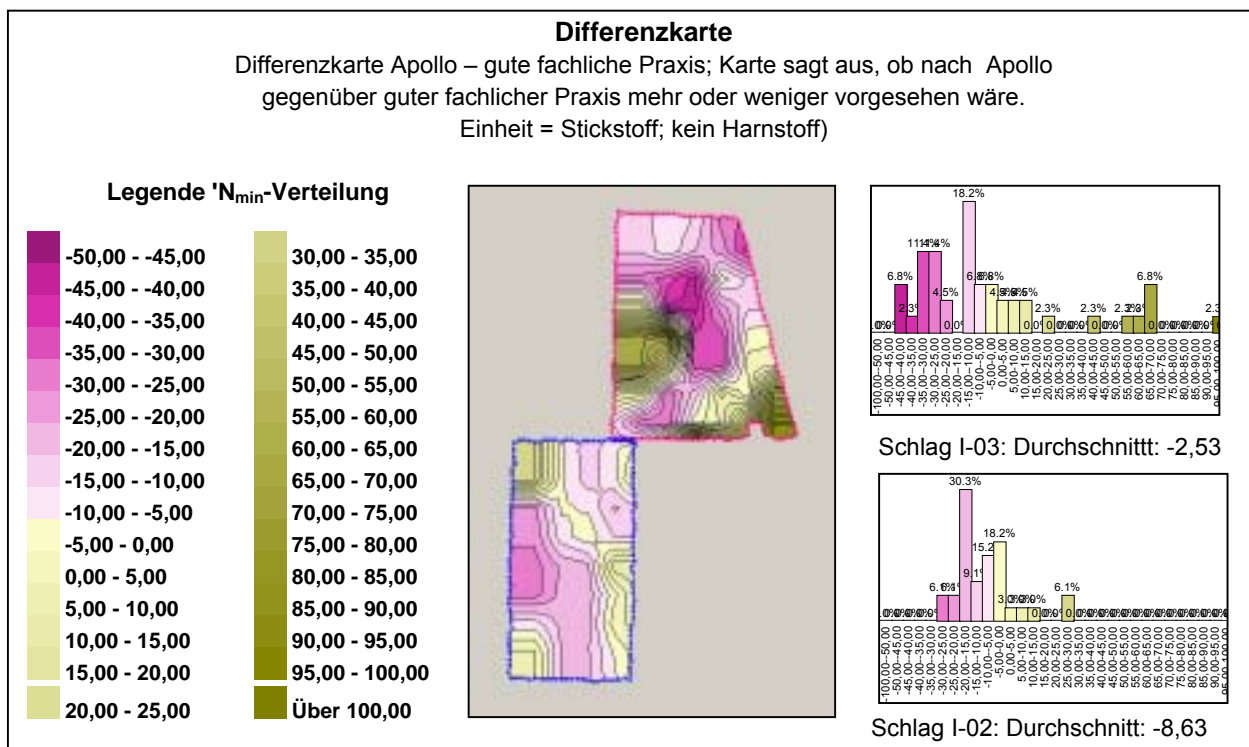


Abb. 132: Differenzkarte (Applikation „Apollo“ – Applikation „gute fachliche Praxis“) der komplett berücksichtigten Schläge I-02 und I-03; feiner aufgelöst

Die Ursache für die Abweichungen auf der Ebene kleinster Teilflächen liegt im unterschiedlichen Zustandekommen bei der Bildung der kleinsten Teilflächen.

Während nach „Apollo“ im Vorfeld kleinste regelmäßige Teilflächen gebildet wurden, entstehen sie nach der „guten fachlichen Praxis“ durch Interpolation und sind sehr unregelmäßig.

Hier ist zu erwähnen, dass eine Düngung einer solch kleinflächigen Struktur mit einem Düngestreuer aber gar nicht umsetzbar ist. Der Vergleich berücksichtigt die errechneten Messwertkarten als maximal mögliche Differenzierung. Die unter Berücksichtigung der Streubreite von 18m abgeleitete maschinenlesbare Sollwertkarte wäre wesentlich gröber. Die kleinflächigen Differenzen beim Applikationswert in der entsprechenden Differenzkarte wären nicht so ausgeprägt.

Es wird deutlich, dass die Berechnung nach guter fachlicher Praxis auch kurzfristig auf erhöhtes N_{\min} im Boden reagiert. Apollo arbeitet dagegen mit langfristigen Durchschnittswerten wodurch außerordentliche Maßnahmen nicht erkannt werden können.

Zur Beurteilung des Potenzials durch Integration einer Wachstumssimulation kann folgendes zusammengefasst werden:

Zunächst einmal kann die Eignung des Kartierverfahrens für die Anwendung im Sinne einer Gewannebewirtschaftung auch unter Integration der Wachstumssimulation bestätigt werden. Dabei bringt die Berechnung der teilflächenspezifisch differenzierten Düngemenge mittels „Apollo“ den Vorteil eines reduzierten Erhebungsaufwandes der Eingangsparameter mit sich. Die Erstellung der Applikationskarte ist nicht zeitlich an eine N_{\min} -Beprobung kurz vor der Maßnahme gebunden und damit auch von der eigentlichen Applikation zeitlich entkoppelt. Dieser Sachverhalt muss als großer Vorteil dieses Kartieransatzes unter Integration einer Wachstumssimulation beurteilt werden, weil es erstmalig in Erwägung gezogen werden kann, die aufwändigen Vorbereitungen für die Applikationskarten ganzer Betriebe durch organisatorische Maßnahmen rechtzeitig in den Griff zu bekommen.

Da im Modell eine Vielzahl von Parametern aus zurückliegenden Jahren berücksichtigt wird, entfällt also der Nachteil der Notwendigkeit zeitnaher Erfassungen. Im vorliegenden Projekt hat sich das als sehr entlastend gezeigt, indem die Applikationskarte ohne Arbeitsdruck bereits 2 Monate vor der Maßnahme fertig gestellt werden konnte.

Umgekehrt bedeutet das aber, dass für die zu behandelnden Schläge über einen längeren Zeitraum ausreichend Daten einer Vielzahl von Parametern gesammelt werden müssen. Hierdurch lässt sich auch aus diesem Ansatz die Empfehlung ableiten, alle nur erdenklichen Parameter der Bewirtschaftungsflächen in einem GIS-System zusammen zu fassen.

Darüber hinaus konnten durch Einbeziehung der Wachstumssimulation „APOLLO“ nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Aspekte Berücksichtigung finden. Das stellt eine weitere wesentliche Voraussetzung dafür dar, dass ein solcher Kartieransatz in Zukunft Bedeutung erlangen könnte.

Es wird daher empfohlen, den Kartieransatz unter Einbeziehung einer solchen Wachstumssimulation weiter im Auge zu behalten, um die Modulation von Betriebsmitteln unter den gegebenen Bedingungen am Oberrhein umsetzen zu können.

Die weitere Betreuung der konkret im Projekt durchgeführten Maßnahme ist durch ein Projekt an der Uni Hohenheim gewährleistet.

(4) Potenzial durch Integration von Fernerkundungsdaten

Anhand der erstellten Lowcost-Luftbilder konnten neben einer Vielzahl unterschiedlicher Geometriedaten (wie beispielsweise die Erfassung der Topologie) auch Reflexionswerte abgeleitet werden. Diese teilflächenspezifisch differenzierten Verteilungen der Reflexionswerte für die in den Normalfarbbildern erfassbaren, relativ breitbandigen Spektren der Grundfarben „Rot“, „Grün“ und „Blau“ wurden mit den Verteilungen der anderen vorliegenden teilflächenspezifisch differenzierten Parameter mittels Regression auf Korrelation überprüft. Darüber hinaus wurden weitere Parameter untereinander verglichen.

Die von diesen Überprüfungen für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel relevanten Ergebnisse werden im Folgenden zusammengefasst:

Zunächst kann festgehalten werden, dass ein Vergleich zweier aerial erstellten Verteilungskarten der **Abreife** (vom 6. und 13.10.2004) mit den durchgeführten terrestrischen Abreifeinventuren (vom 13.09., 24.09. und 06.10.2004) bei einem Bestimmtheitsmaß von maximal $R^2=0,146$ nicht signifikant korrelieren. Allerdings zeigt ein visueller Vergleich Ähnlichkeiten der Verteilungen. Für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel bedeutet das, dass eine feindifferenzierte Abreifeverteilung nicht ohne weiteres zu beliebigem Zeitpunkt über Luftbildaufnahmen deliniert werden kann. Das kann zum einen seine Ursache in einer unterschiedlichen Beurteilung aufgrund unterschiedlicher Betrachtungsweise und unterschiedlicher Differenzierungskriterien haben. Allerdings ist die Korrelation zwischen den terrestrischen Abreifeinventuren selbst sehr schwach. Sie nimmt aber mit zunehmender Abreife deutlich zu, da sich das Merkmal erst im Laufe der Zeit deutlich ausprägt (Tab. 25). Daher dürfte ein Vergleich terrestrischer und aeraler Abreifeinventuren zum idealen Zeitpunkt maximaler Merkmalsdifferenzierung dennoch in Zusammenhang stehen. Deutliche Zusammenhänge sind allerdings festzustellen, wenn Extreme wie Trockenstellen durch Kieslinsen oder ähnliches abgegrenzt werden sollen. Solche wirklich relevanten Extrembereiche können mit Hilfe des Luftbildes eindeutig identifiziert und lokalisiert werden (REIDELSTÜRZ, 2000).

Terrestrische Abreifeinventur Bestimmtheitsmaß	13.09.2004	24.09.2004	06.10.2004
13.09.2004	1,0000	0,0807	0,0001
24.09.2004		1,0000	0,4200
06.10.2004			1,0000

Tab. 25: Bestimmtheitsmaße zwischen den Verteilungen der terrestrischen Abreifeinventuren

Am 07.05.2003 wurden durch die Uni Hohenheim an den Rasterpunkten Daten zur **Körnungsfraction** erfasst. Dabei wurden die Verteilungen der Körnungsfractionen „Sand“, „Schluff“ und „Ton“ in 3 verschiedenen Bodentiefen (0-30, 30-60, 60-90) berücksichtigt. Die Daten wurden für die Analysen im vorliegenden Projekt freundlicherweise zur Verfügung gestellt.

Abbildung 133 zeigt die Verteilungskarten der erfassten Körnungsfractionen jeweils für die oberen erfassten Tiefenbereiche (0-30 cm).

Vergleicht man die ermittelten Verteilungen visuell, so sind Ähnlichkeiten erkennbar. Diese sind aber statistisch nicht signifikant. Die Bestimmtheitsmaße zwischen den verschiedenen

Körnungsfraktionen erreichen im Maximum $R^2=0,568$. Zwischen den verschiedenen Bodentiefen der gleichen Bodenarten hingegen $R^2=0,83$ (Tabelle 26).

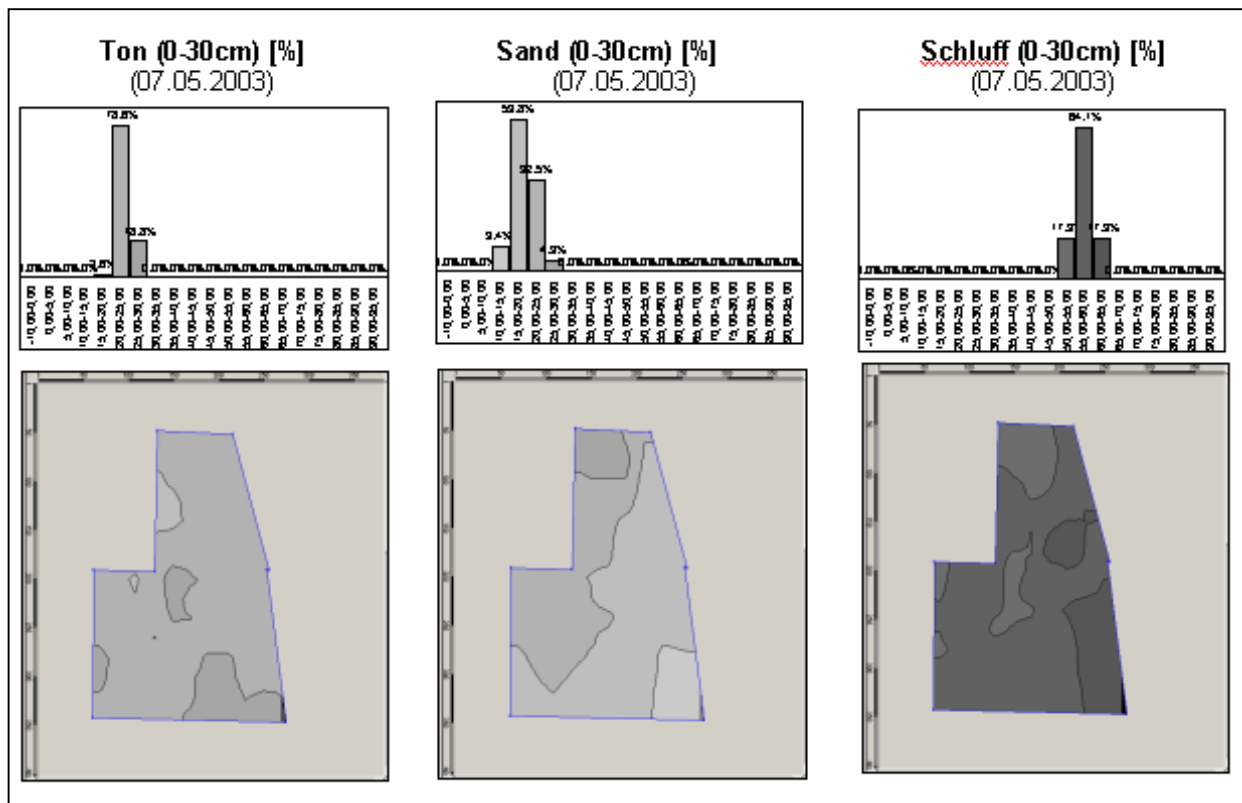


Abb. 133: Verteilung der Körnungsfraktionen Ton, Sand und Schluff in Prozent

		Ton (%)			Sand (%)			Schluff (%)		
		0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm	0-30 cm	30-60 cm	60-90 cm
Ton (%)	0-30 cm	1,000	0,528	0,313	0,240	0,270	0,002	0,035	0,003	0,120
	30-60 cm		1,000	0,560	0,096	0,267	0,009	0,038	0,110	0,335
	60-90 cm			1,000	0,003	0,069	0,039	0,121	0,132	0,690
Sand (%)	0-30 cm				1,000	0,830	0,289	0,569	0,546	0,084
	30-60 cm					1,000	0,252	0,389	0,391	0,011
	60-90 cm						1,000	0,323	0,066	0,194
Schluff (%)	0-30 cm						1,000	0,759	0,329	
	30-60 cm							1,000	0,763	
	60-90 cm								1,000	

Tab. 26: Bestimmtheitsmaße zwischen der Verteilung der Körnungsfraktionen

Korreliert man diese Verteilungen mit den Verteilungen verschiedener Luftbildreflexionswerte, so lassen sich Korrelationen unter der Voraussetzung feststellen, dass die Fehlereinflüsse die zwischen den Schlägen und zwischen den Bildern bestehen können, eliminiert werden: Die ermittelten Korrelationen aus der Untersuchung anhand eines einzigen Bildes (Bild 06 vom 07.07.2004) bei Verwendung der Reflexionswerte aus nur einem Schlag (I-03) zeigt Tabelle 27:

IMG_06	KÖRNUNGSANALYSE						Ertrag
	7.5.2003			7.5.2003			
	Sand			Schluff			
	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	
R	0,774	0,756	0,610	0,560	0,500	0,130	0,036
G	0,148	0,085	0,433	0,075	0,061	0,186	0,381
B	0,141	0,198	0,009	0,165	0,153	0,005	0,213
R/G	0,820	0,890	0,430	0,630	0,530	0,050	0,037
R/B	0,697	0,751	0,365	0,580	0,514	0,041	0,030
G/B	0,366	0,409	0,174	0,339	0,290	0,012	0,023
R-G	0,833	0,890	0,422	0,640	0,592	0,050	0,174
R-B	0,726	0,782	0,386	0,600	0,545	0,048	0,022
G-B	0,403	0,433	0,231	0,365	0,327	0,029	0,004
(R-G)/(R-B)	0,055	0,021	0,065	0,246	0,310	0,192	0,028
(R-G)/(G-B)	0,665	0,814	0,221	0,482	0,493	0,013	0,094
(R-B)/(G-B)	0,665	0,814	0,221	0,482	0,493	0,013	0,094

Tab. 27: Verbleibende interessierende Korrelationen

Zu Sand und Schluff der beiden oberen Bodentiefenbereiche korrelieren signifikant die Verteilungen der Reflexion „Rot“, sowie alle abgeleiteten Parameter, bei den der Kanal „Rot“ von Bedeutung ist. Dabei erhöht sich die Signifikanz noch einmal deutlich, wenn die Rückstrahlung von „Grün“ hierzu in Beziehung gesetzt wird (R/G und R-G). Das Bestimmtheitsmaß ist dabei in der Fraktion Sand noch einmal wesentlich stärker ausgeprägt, als in der Fraktion „Schluff“. Von daher ist es denkbar, Luftbildreflexionen im Kanal Rot oder noch besser bei den Parametern R/G oder R-G zur Detektion der Korngrößenfraktionen im Untergrund zu verwenden. Bilder dieser Parameter stellen mit einer Wahrscheinlichkeit zwischen 70 und über 80 Prozent die Verteilung der Fraktion „Sand im oberen und mittleren Bodenbereich“ dar. Für die Modulation der Betriebsmittel bedeutet das, dass über Fernerkundungsmethoden mit Hilfe des Reflexionswertes für den Kanal Rot die teilflächenspezifische Verteilung der Körnungsfractionen abgeleitet werden kann. Über Details besteht weiterer Forschungsbedarf. Die Möglichkeiten der Integration der Verteilung der Körnungsfraction in Applikationskarten zur Modulation der Betriebsmittel bleiben dabei zu diskutieren.

Die Verteilungen der Luftbildreflexionswerte zeigen zu denjenigen Verteilungen der Daten aus der **Grundbodenuntersuchung** vom 19.11.2004 (pH-Wert, P_2O_5 , K_2O_5 , sowie MgO) keine signifikanten Korrelationen. Selbst eine Reduktion des Tests auf Einzelbilder unter Ausschluss von Fehlern zwischen den Bildern und den Schlägen zeigt Bestimmtheitsmaße von maximal $R^2 = 0,302$ für P_2O_5 (Reflexion in Grün, Befliegung 13.09.04), $R^2 = 0,5$ für K_2O_5 (Reflexion (R-G)/(R-B), Befliegung vom 05.10.04) und $R^2 = 0,211$ für **MgO** (Reflexion in Grün, Befliegung vom 05.10.04). Dies zeugt von gewissen Ähnlichkeiten der Verteilungen, eine Trennung der Reflexionsursachen durch eindeutige Zuordnungen ist aber nicht möglich.

Durch Erhöhung der spektralen Auflösung könnte die Signifikanz vermutlich erheblich gesteigert werden. Für die Umsetzung der Modulation von Betriebsmitteln bedeutet das, dass sich unter Weiterentwicklung der an anderer Stelle vorgestellten Sensoren „AVIS“ und „GVIS“ (hohe spektrale Auflösung) noch ein großes Potenzial verbirgt. Die Entwicklung solcher Verfahren sollte aufmerksam verfolgt werden.

Der Vergleich der unterschiedlichen Reflexionswerte sowohl aus Einzelluftbildern als auch aus Luftbildmosaiken 2004 mit dem **Mährdruschertrag** 2004 zeigt keine signifikanten Korrelationen. Die Ertragsverteilung ist also nicht alternativ mit Hilfe von Luftbildern zu erfassen, was aber nicht weiter problematisch ist. Die teilflächenspezifische Erfassung des Ertrages als einer der beiden Eingangsparameter für das Kartierverfahren ist mit Hilfe GPS ausgestatteter Mähdrescher als ein brauchbares praxisreifes Verfahren anzusehen.

Aus den durchgeführten **Nährstoffanalysen** ergibt sich beim Vergleich mit den Verteilungen der Reflexionswerte aus dem Luftbild ein maximales Bestimmtheitsmaß von $R^2 = 0,53$ aus der Befliegung vom 13.09.2004 für die Verteilung des Stickstoff-Gehaltes in der Gesamtpflanze (Abb. 134, Tabelle 28). Es bestehen also durchaus gewisse Ähnlichkeiten zwischen der Verteilung der Stickstoffversorgung der Pflanze und dem Reflexionsverhalten im Luftbild, wenn in der vorliegenden Untersuchung auch keine allzu straffe signifikante Beziehung festgestellt werden konnte. Für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel bedeutet das, dass im Einsatz von Fernerkundung auch ein Potenzial zur Erfassung der Verteilung des Stickstoffgehaltes (Korn) auf der Fläche gegeben ist. Durch Verbesserung der Methodik bzw. durch Verwendung eines sensibleren Sensors sollte daran gearbeitet werden, einen straffen Zusammenhang herstellen zu können. Inwiefern anhand eines solchen Ansatzes tatsächlich eine Applikationskarte abgeleitet werden könnte, ist weiter zu untersuchen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

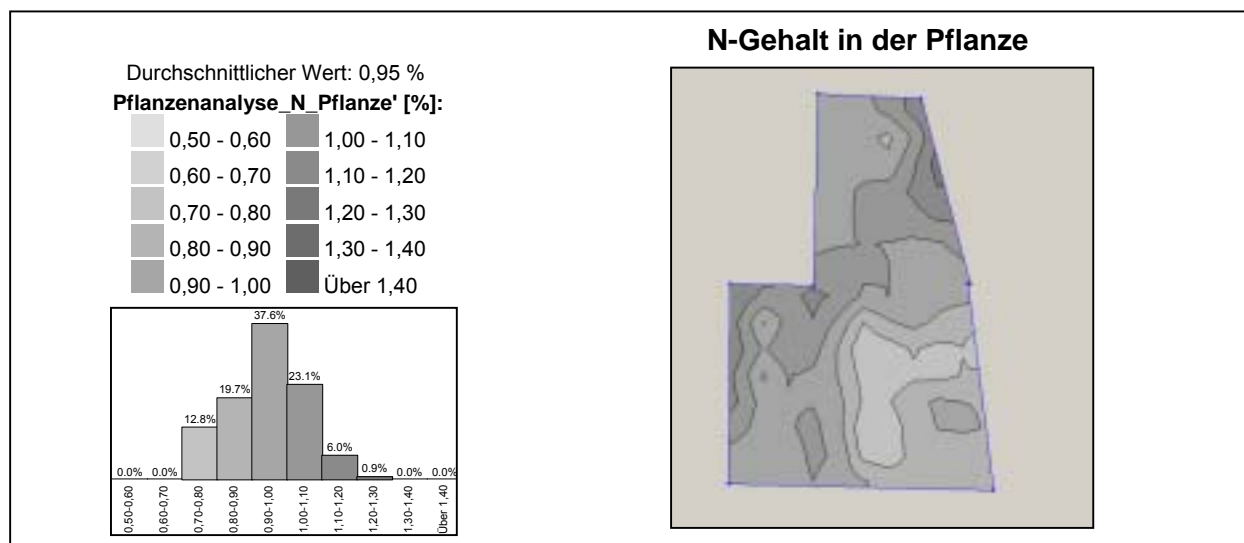


Abb. 134: Verteilung der Stickstoffversorgung in der Pflanze

Als Ergebnisse aus den vielfältig durchgeführten Untersuchungen zu den ermittelten Luftbildreflexionswerten kann zusammengefasst werden,

- dass Verteilungen einzelner Reflexionsparameter **signifikant korrelieren** mit:
 - der Verteilung von Sand und Schluff
- dass **gewisse Ähnlichkeiten** einzelner Verteilungen (visuell) bestehen
 - zur Abreife und
 - zu N_{\min}
 - der Verteilung von Phosphor in der Pflanze (schwache Korrelation)
 - der Verteilung von Stickstoff in der Pflanze (schwache Korrelation)

Darüber hinaus zeigt sich, dass die Aufnahmebedingungen gemeinsam ausgewerteter Bilder (Mosaik) möglichst homogen sein sollten, um auswertbares Luftbildmaterial zu erhalten. Das bedeutet, dass die jeweiligen Aufnahmezeitpunkte und Aufnahmehöhen nicht zu sehr differieren dürfen. Unnötige Raumdrehungen der Aufnahmeposition sind zu vermeiden, was insbesondere für die Herstellung von Bildmosaiken Gültigkeit hat. Unterschiedliche Bildqualitäten sollten durch Farb-, Kontrast- und Helligkeitsabgleiche aneinander angepasst sein. Mit Hilfe moderner digitaler Bildverarbeitung ist das möglich. Durch Einsatz professioneller Aufnahmesysteme sind diese Rahmenbedingungen einfach umzusetzen (Abb. 135).

				Alle Schläge gemeinsam				
				Korn		Pflanze		Bewirt- schaftung
				N-Gehalt	C-Gehalt	N-Gehalt	C-Gehalt	
Korn	N-Gehalt			1				
	C-Gehalt			0,002	1			
Pflanze	N-Gehalt			0,338	0,093	1		
	C-Gehalt			0,133	0,009	0,125	1	
Bewirtschaftung				0,032	0,01	0,135	0,091	1
Abreife A	terrestr.	13.09.04		0,01	0,02	0,03	0,03	0,08
Abreife B	terrestr.	24.09.04		0,13	0,32	0,11	0,00	0,08
Abreife C	terrestr.	06.10.04		0,14	0,43	0,18	0,00	0,01
	(B-A)			0,02	0,23	0,00	0,02	0,01
	(C-B)			0,04	0,14	0,06	0,00	0,02
Abreife	Luftbild	06.10.04		0,12	0,03	0,04	0,01	0,02
Abreife	Luftbild	13.10.04		0,04	0,01	0,06	0,13	0,04
Reflexion	IMG 06	13.09.04	R	0,15	0,10	0,53	0,00	0,21
Reflexion	IMG 06	13.09.04	G	0,21	0,35	0,32	0,14	0,25
Reflexion	IMG 06	13.09.04	B	0,19	0,29	0,05	0,12	0,10
Ton				0,03	0,00	0,01	0,02	0,00
Sand				0,04	0,06	0,04	0,02	0,03
Schluff				0,06	0,01	0,02	0,03	0,01
pH				0,19	0,00	0,02	0,00	0,01
P2O5				0,334	0,031	0,184	0,146	0,031
K2O				0,134	0,017	0,01	0,05	0
MgO				0,04	0,005	0,01	0,038	0,009
Ertrag				0,149	0,034	0,106	0,192	0,016
Nmin				0,081	0,0081	0,137	0,191	0,0013

Tab. 28: Bestimmtheitsmaße zu den Pflanzennährstoffen

Aerial Film
12,5 µm Pixel
15 cm GSD

UltraCam Digital Image
18 cm GSD

Sensor Einheit SU
 - Persepektives Bildformat
 - Objektivkonstruktion und Apertur
 - Gesichtsfeld in / open per Flugrichtung
 - Multi-Spektral (Red, NIR)
 - Verdichtert
 - Bewegungskompensation
 - Bildstabilisierung
 - Radiometrische Auflösung
 - Dimensionen
 - Gewicht

11400 x 7800 Pixel
 100 mm, F11,8
 55° / 33°
 4000 x 2672 Pixel @ 9µm
 1:500 - 1:60 Sek.
 TDA Steuerung
 Ein L3 Bilder pro Sekunde
 12 - 14 bit (mit 16 bit registriert)
 45 mm x 45 mm x 60 mm
 ca. 30 kg

Speicher- und Recheneinheit (Storage & Computing Unit, SCU)
 - Speicherkapazität
 - Bildkapazität (ohne Karte)
 - Dimensionen
 - Gewicht

~ 1 TB
 > 2775 Bilder
 55 mm x 40 mm x 65 mm
 ca. 35 kg

Hohe geometrische Auflösung
Multispektral (auch NIR)
Bildfehlerreduzierung
Bessere Belichtung im Schattenbereich

Abb. 135: Potenzial moderner Aufnahmesysteme am Beispiel der „Vexcel Ultracam“

Im Folgenden werden nun Lösungsansätze gezeigt, wie relevante Fernerkundungsdaten in das Kartierverfahren (Offlineansatz) zur Modulation der Betriebsmittel praxisrelevant integriert werden können. Hierzu werden zunächst zwei marktreife Verfahren vorgestellt und kritisch beurteilt. Schließlich wird die praktische Umsetzung zur Integration der Verteilungen, der mit den Lowcost-Verfahren ermittelten relevanten Luftbildreflexionswerte gezeigt.

Es folgt daher eine Darstellung der am Markt eingeführten bekannten Fernerkundungssysteme für die Modulation der Betriebsmittel

- „**Agro-Sat**“ von Agro-Sat Consulting sowie
- „**Loris[®] Maps**“ von Kemira.

Es folgt die Darstellung zur Integration der erstellten **Lowcost-Fernerkundungsdaten** in das Kartierverfahren zur Modulation der Betriebsmittel:

Hierbei werden die für die praktische Umsetzung relevanten

- *einfachen Klassifizierungsverfahren* und die
- *Normierung der Farbkanäle* erörtert sowie
- die praxisrelevanten Zusammenhänge in das Kartierverfahren eingearbeitet.

Es sind dies die Zusammenhänge aus der Reflexion des Kanals „Grün“ sowie „Rot/Grün“.

“Agro-Sat“ von Agro-Sat Consulting:

Das System “Agro-Sat“ ist dafür konzipiert, auf dem Ackerschlag eine gezielte Schwachstellenanalyse durchzuführen. Entsprechend der Angabe auf der Internetseite werden bei diesem „berührungslosen Messverfahren (Remote Sensing) [...] die betreffenden Schläge im relevanten EC-Stadium in ca. 3300 m Höhe überflogen und von einer hochsensiblen digitalen Videokamera, die auf den grünen Spektralbereich kalibriert ist, aufgenommen. Beim Überflug wird die räumliche Verteilung der Grünfärbung innerhalb der Schläge zunächst als digitales Bild erfasst und anschließend über einen Computer mit einer speziellen Software spektral ausgewertet. Als Ergebnis entstehen thematische Karten, die in 3 Farbklassen die Grünverteilung und damit auch „die relative Verteilung des Chlorophyllgehaltes“ in den Schlägen aufzeigen. Aus der „räumlichen Verteilung des Chlorophyllgehaltes/Fläche können unter Berücksichtigung der Bestandsdichte Aussagen über die photosynthetische Produktivität einzelner Teilschläge der Bestände getroffen werden“. Generell ist das Verfahren bei allen Kulturen anwendbar. 48 Stunden nach erfolgter Überfliegung sind die thematischen Karten über das Internet abrufbar.“ (www.agro-sat.com)

Entgegen der veröffentlichten Beschreibung auf der Internetseite von „agro-sat“ absorbiert Chlorophyll weitgehend die blauen und gelben bis roten Anteile des sichtbaren Lichtes. Die Grünanteile (etwa um 0,55 μm) sind dagegen für Chlorophyll undurchlässig und können vom Blatt reflektiert oder transmittiert werden. Das Reflexionsspektrum eines chlorophyllhaltigen Blattes weist deshalb auch im sichtbaren Bereich ein Maximum im Spektralbereich „Grün“ auf.“ (Luftbildmessung und Fernerkundung in der Forstwirtschaft, HUSS (Hrsg.), 1984.

Ein Maß für die Chlorophyllaktivität ist deshalb die Intensität der Reflexion in den in [Tabelle 29](#) angegebenen Absorptionsbanden des Chlorophylls. Hier wird die Energie des Sonnenlichtes zur Durchführung der Photosynthese aufgenommen.

Pigment	Absorptionsband in μm	
Chlorophyll a	0,36 – 0,44	0,60 – 0,70
Chlorophyll b	0,40 – 0,46	0,60 – 0,68
Protochlorophyll	0,40 – 0,46	
A-Karotin	0,38 - 0,51	
Xantophyll	0,40 – 0,51	

Tab. 29: Absorptionsbänder der Pigmente (aus HUSS, 1984)

Die Reflexion des grünen Spektralbereiches steigt bei hoher Chlorophyllaktivität daher nicht direkt. Sie ist stattdessen nur relativ höher, weil die Absorptionsmaxima im Blau- und Rotbereich mit relativ geringeren Reflexionen verbunden sind. Die chlorophyllbedingten Absorptionen in diesen Spektralbereichen sind so stark, dass die Reflexion im grünen Spektralbereich die verbleibenden sonstigen Reflexionen überlagert.

Deshalb erscheinen photosynthetisch aktive Blätter grün. Die Photosyntheseaktivität selbst zeigt sich aber nicht etwa, wie auf der Internetseite vermittelt, durch eine direkte Reflexion des grünen Spektralbereiches. Sicherlich ist dieser Sachverhalt in der Beschreibung auf der Internetseite gemeint (Anmerkung des Verfassers).

Bei näherer Betrachtung des Verfahrens wird deutlich, dass bei der Ableitung des zugrundegelegten Zusammenhanges gleich mehrere Annahmen unterstellt werden:

Zum einen muss die relative Veränderlichkeit der Grünreflexion in direktem Zusammenhang zur Veränderlichkeit der Absorption im blauen und roten Bereich stehen. Eine Überlagerung dieses indirekten Zusammenhanges durch die direkte Reflexion im grünen Spektralbereich darf nicht gegeben sein.

Zum anderen wird davon ausgegangen, dass die indirekt detektierte Chlorophyllaktivität die Stickstoffversorgung widerspiegelt. Reduzierte Chlorophyllaktivitäten, welche durch andere Ursachen als Stickstoffmangel verursacht werden, finden keine Berücksichtigung.

Von daher muss die selbstbewusste, bestimmte wie auch selbstverständliche Darstellung des Zusammenhanges der Stickstoffdetektion über die relative Reflexionsmessung im grünen Spektralbereich verwundern. Direkt falsch ist dagegen die Aussage auf der Internetseite, dass dieses Prinzip genau so vom "Hydro N-Sensor" genutzt würde. Im Gegensatz zum System Agrosat sind dort nämlich die Reflexionen im Bereich „rot“ und „nahes Infrarot“ ausschlaggebend und nicht im Bereich „grün“.

Als Vorteil gegenüber dem "Hydro N-Sensor" wird schließlich genannt, dass dieser nur ein Viertel bis ein Drittel eines Schlages erfassen kann, während das Verfahren „Agro-Sat“ eine vollständige Erfassung des Schlages garantiert. „Mehrere hunderttausend Bildpunkte (Pixel), mit einer Bodenauflösung von ca. 3 x 3 m je Bildpunkt, ergeben eine realitätsnahe Einschätzung der Bestände.“(www.agro-sat.com)

Der Vorteil einer flächigen Erfassung des Bestandes liegt selbstverständlich auf der Hand. Für die im vorgestellten Verfahren abgeleiteten einzelnen Zonen der Stickstoffversorgung wird schließlich einschränkend bemerkt, dass eine reduzierte Grünfärbung nur dann für den Stickstoffmangel vorausgesetzt werden kann, wenn „andere Faktoren mit Sicherheit ausgeschlossen werden können“. Weitere Faktoren wie Trockenstress, Schwefelmangel, Magnesiummangel und Kaliummangel spiegeln sich nämlich ebenfalls in einer reduzierten Grünfärbung wieder. Allerdings gibt es derzeit keinen optoelektronischen Sensor, der basierend auf wissenschaftlich anerkannten Verfahren zu vertretbaren Kosten die unterschiedlichen Mangelzustände am reduzierten Blattgrün erkennen kann. Letztendlich können zweifelsfreie Antworten nur durch den Vergleich mit Ergebnissen zuvor gezogener Bodenproben bzw. aus aktuellen Blattanalysen abgeleitet werden.“ (www.agro-sat.com)

Mit dem Verfahrens werden Fernerkundungsdaten in eine 3 Zonenkarte umgerechnet, aus welcher mit Hilfe des N-Testers oder aber über Zu- und Abschlagsberechnungen eine teilflächenspezifische N-Applikationskarte abgeleitet wird (Abb. 136).

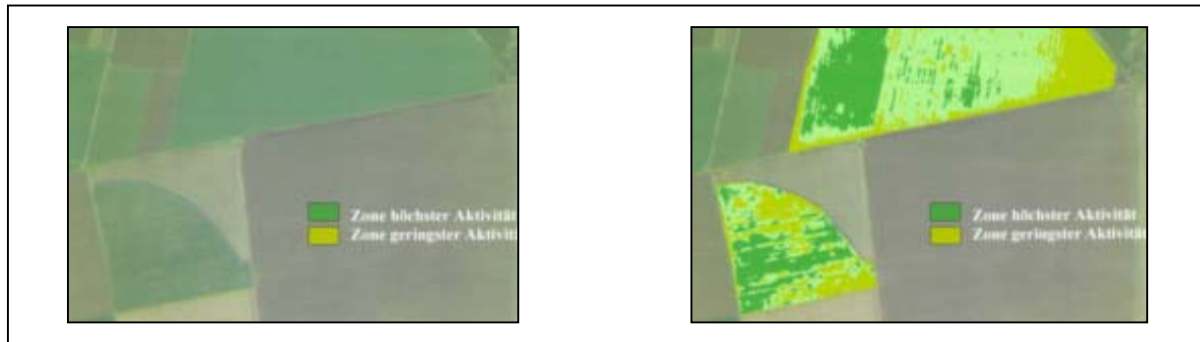


Abb. 136: Ableitung einer 3 Zonenkarte aus einem Luftbild (www.agrosat.com)

Der Preis für das direkt als „Chlorophyllmonitoring“ vorgestellte Verfahren wird mit 0,99 €/ha als sehr günstig angegeben, wobei keine Angaben zur in Relation gesetzten Gesamtflächengröße gemacht wird. Hinzu kommen die Überflugkosten. Es wird damit geworben, dass im Vergleich zu anderen Sensor-Verfahren bei dieser Methode kein ökonomisches Risiko besteht. Für Bereiche, bei denen der Bestand hungert, werden Mehrerträge bis zu 2,5 dt/ha angegeben.

Eine Integration des Verfahrens ins Projekt, um die resultierende Applikationskarte mit anderen Verfahren vergleichen zu können, scheiterte an den relativ hohen Befliegungskosten für ein solch kleines Untersuchungsgebiet. Eine testweise Integration der bestehenden Lowcost-Aufnahmen wurde bei Agro-Sat Consulting angeregt. Nach Zusenden entsprechender Aufnahmen wurde die testweise Integration der Daten von der Firma aber nicht weiter verfolgt.

„Loris® Maps“ von Kemira Grow how

Beim Fernerkundungsverfahren „LORIS Maps“ des Herstellers „Kemira Grow how“ werden Luftbilder in einer Flughöhe von 1 bis 7 km mit *Infrarotfilm* aufgenommen.

Entsprechend der bekannten Zusammenhänge in der Fernerkundung werden den Bereichen hoher Reflexionen des Infrarotes hohe Biomassen zugeordnet. Der grünen Farbe (also mangelnder Infrarotreflexion, Anmerkung des Verfassers) kommt dagegen eine geringe Biomasse zu. Diese zugrundegelegten Annahmen decken sich mit den seit langem bekannten Zusammenhängen aus der Fernerkundung.

Auf Grundlage der Infrarotfotos wird eine Biomassen – Verteilungskarte berechnet. Diese Verteilungskarte wird zu teilflächenspezifischen Düngungs- und Pflanzenschutzmaßnahmen herangezogen und dient der Erkennung von Differenzierungen innerhalb der Fläche. [Abb. 137](#) zeigt die Software mit dem Originalbild, einer klassifizierten Maske und der hieraus abgeleiteten Applikationskarte.

Der Einsatz von Loris Maps erbrachte Mehrerträge und gleichmäßigere Bestände. Im Gegensatz zur Ertragskartierung ist bereits eine Vorhersage für das laufende Jahr möglich.

Nach mehrjährigem erfolgreichem Einsatz in Skandinavien wurden im April 2003 Aufnahmen in Schleswig-Holstein gemacht. Die Biomassekarten der einzelnen Schläge wiesen teilweise Abweichungen von über 50% vom Mittelwert auf. Die Ernte wurde mit einem Ertragskartierungssystem durchgeführt. Die Ertragskarten und die im Frühjahr erstellten Biomasse-Karten zeigten einen engen Zusammenhang. (...) Der Ertrag eines Feldes kann also durch eine Biomassekarte vorhergesagt werden, weshalb diese Karten als Grundlage für die teilflächenspezifische Ausbringung genutzt werden, um somit den Einsatz der Betriebsmittel zu optimieren“ (www.kemira-growhow.com).

Der Einsatz von Loris®Maps scheint aufgrund der einfachen Ausgangshypothese und den gemachten Erfahrungen ein geeignetes System zur Ermittlung der Biomasseverteilung zu sein, welche bei der Ableitung einer entsprechenden Applikationskarte Berücksichtigung finden kann.

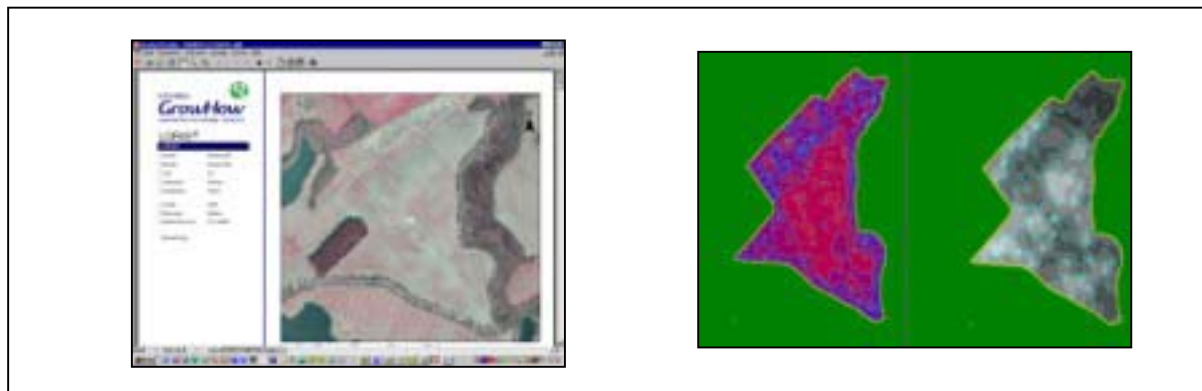


Abb. 137: Software mit Originalinfrarotluftbild, einer klassifizierten Maske und der abgeleiteten Applikationskarte

Eine Integration des Verfahrens ins Projekt, um die resultierende Applikationskarte mit anderen Verfahren vergleichen zu können, scheiterte wie beim Konkurrenten an den relativ hohen Befliegungskosten für ein solch kleines Untersuchungsgebiet. Eine testweise Integration der bestehenden Lowcost-Aufnahmen wurde auch bei „Kemira-growhow“ angeregt. Nach Zusenden entsprechender Aufnahmen wurde auch hier die testweise Integration der Daten von der Firma nicht weiter verfolgt, was auch damit zu tun hat, dass in den Lowcost-Luftbildern der Kanal für das Nahe Infrarot fehlt. Die Reflexion durch den Rotkanal zu ersetzen wäre wissenschaftlich nicht korrekt.

Integration der vom ferngesteuerten Modellflugzeug erfassten einfachen Fernerkundungsdaten

Ebenso wie professionelle Fernerkundungsdaten bei der Erstellung von Applikationsdaten integriert werden können, ist es auch möglich, die mit einem Lowcost-Verfahren hergestellten Daten zu berücksichtigen. Wie zuvor angekündigt, werden hierzu die für die praktische Umsetzung relevanten

- *einfachen Klassifizierungsverfahren* und die
- *Normierung der Farbkanäle* erörtert sowie
- die praxisrelevanten Zusammenhänge in das Kartierverfahren eingearbeitet.

Es sind dies die Zusammenhänge aus der Reflexion des Kanals „Grün“ sowie „Rot/Grün“.

Um Fernerkundungsbilddaten im Kartierverfahren zu integrieren, müssen alle Reflexionswerte lagegetreu wiedergegeben werden.

Sollen alle Bildinformationen verwendet werden, muss eine eindeutige Zuordnung aller Bildpixel zu den jeweiligen Auflösungseinheiten der Applikationskarte gegeben sein. Hierzu müssen die Aufnahmen **entzerrt und georeferenziert** werden. Auf eine Beschreibung der entsprechenden Möglichkeiten wird an dieser Stelle verzichtet, um den Rahmen des Berichtes nicht zu sprengen. Im Resultat müssen alle Pixel lageidentisch zu den entsprechenden Referenzwerten der anderen einfließenden Parameter liegen.

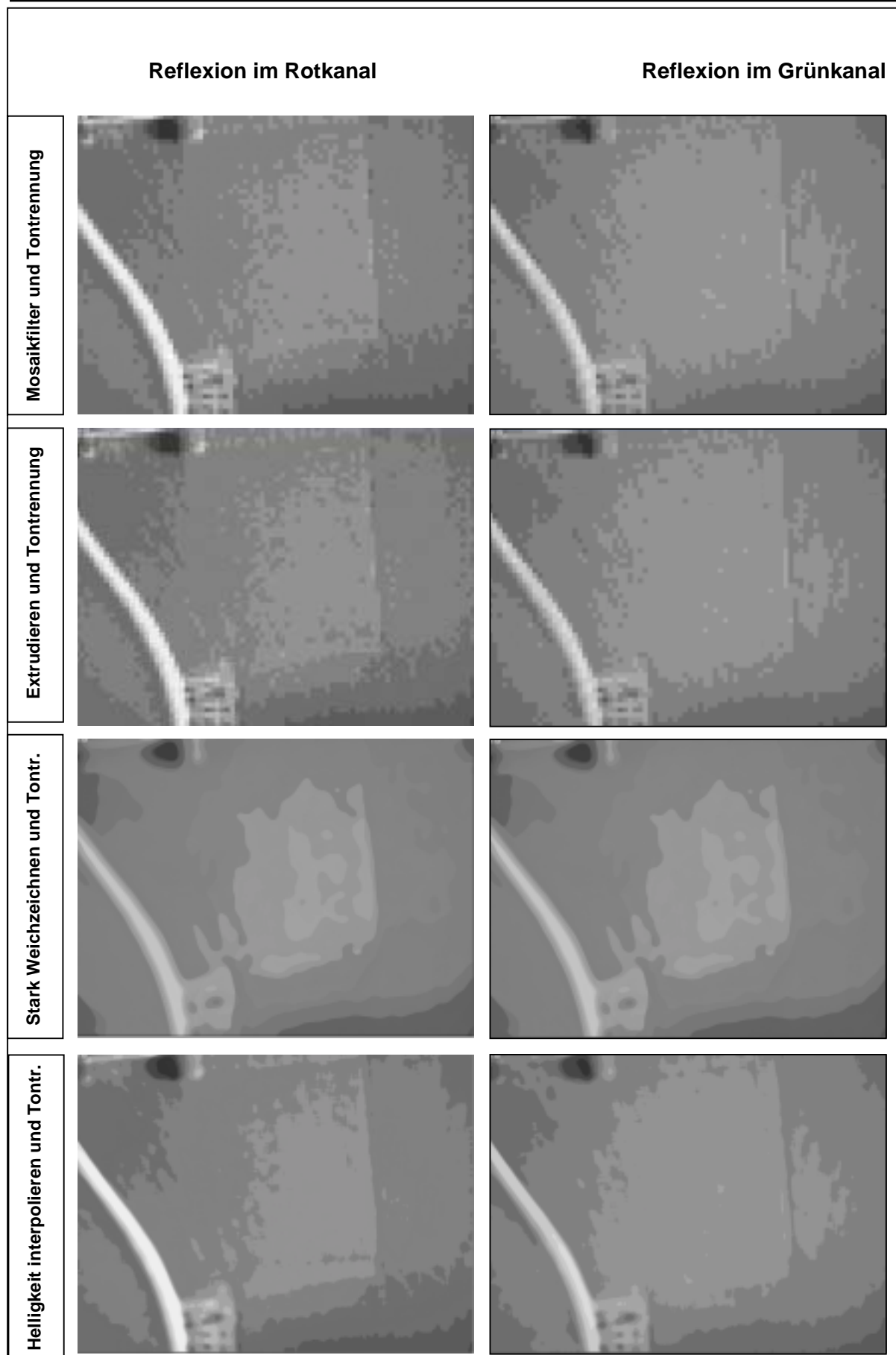


Abb. 138: Einfache Möglichkeiten der Bildklassifizierung getrennt nach den Farbkanälen „Rot“ und „Grün“

Mit sehr geringem Aufwand lassen sich die Bilddaten behelfsmäßig in das System der Applikationskartenerstellung integrieren, indem die Reflexionswerte an möglichst vielen koordinatenmäßig bekannten Punkten (Rasterpunkte und Zwischenpunkte) abgegriffen werden. Ausgehend von diesen Werten kann dann im System der Applikationskartenerstellung wieder eine Konturenkarte auf die gesamte Fläche interpoliert werden und auf das gängige Referenzraster des Bearbeitungssystems umgerechnet werden. Um die einfachen Bilder vom ferngesteuerten Modellflugzeug aus in das System der Applikationskartenerstellung exemplarisch integrieren zu können, wurde dieser sehr einfache Weg gewählt.

Eine softwaremäßige Umsetzung zur lagetreuen Integration aller Originalbilddaten direkt in die Software zur Applikationskartenerstellung (Agromap-Basic) wäre aber wünschenswert. Die Ausstattung von Software zur Applikationskartenerstellung mit Modulen zur Integration von Bilddaten wäre als großer Fortschritt anzusehen. Ein solches Bildintegrationsmodul müsste dazu in der Lage sein, Bilddrehungen, Bildskalierungen sowie Bildverzerrungen und hierauf basierend eine Georeferenzierung der Bilddaten durchzuführen. Es hätte den Vorteil der beliebigen Integration professioneller, wie auch amateurhafter Luftbilder. Die Verwendung von Bilddaten könnte im Bereich Präzisionsfarming zu einer gängigen Option werden.

Aus den entzerrten und georeferenzierten Bildern müssen im nächsten Schritt mit Hilfe einfacher Bildverarbeitungsprogramme die einzelnen Farbkanäle isoliert und das Reflexionsmuster **klassifiziert** werden. [Abbildung 138](#) zeigt einfache Möglichkeiten der Klassifizierung in einem einfachen Bildverarbeitungsprogramm getrennt für die Reflexionswerte „rot“ und „grün“.

Bei der erarbeiteten Vorgehensweise sind dabei die Absolutwerte der Rückstrahlung für die weitere Anwendung wenig bedeutsam. Interessant ist dagegen die Verhältnismäßigkeit der Werte zueinander. Es spielt also eine Rolle, ob die Rückstrahlung im Vergleich zur benachbarten Teilfläche größer oder kleiner ist.

Aus diesem Grund wird vorgeschlagen, für die Integration in die Applikationskartenerstellung nicht die Absolutwerte der jeweiligen Rückstrahlung zur Verfügung zu stellen, sondern **„normierte Rückstrahlungswerte“**. Bei der **Normierung der Werte** werden alle Werte durch den größten auftretenden Wert des Datensatzes geteilt. Dieser bekommt damit den Wert 1. Alle Werte bewegen sich somit zwischen 0 und 1, wobei 0 keine und 1 die maximal auftretende Rückstrahlung bedeutet. Auf diese Art und Weise werden alle Datensätze nicht nur miteinander vergleichbar. Vielmehr können sie schließlich auch sinnvoll miteinander verrechnet werden.

Anhand dieses vorgeschlagenen Verfahrens ist es möglich die normierten Farbkanäle **„Infrarot,“ und „Rot“** im Verfahren zu integrieren. Angelehnt an das Verfahren „Loris[®]Maps“ sowie an die bekannten Zusammenhänge aus der klassischen Fernerkundung könnte die Reflexion des Farbkanals „Infrarot“ als Korrekturfaktor für die Biomasseverteilung herangezogen werden. Bekanntermaßen ist die Reflexion im Bereich des „Nahen Infrarotes“ abhängig von der Masse gut ausgeprägter Pflanzenzellen. Die Infrarotrückstrahlung wird im Infrarotluftbild im Kanal „Rot“ wiedergegeben.

Da für die Versuchsflächen aber keine Infrarotbilder verfügbar sind, wurde für die Normierung exemplarisch auf den Kanal Rot zurückgegriffen.

Im Gegensatz zum Bereich des „Infrarot“, in dem die Rückstrahlung in starkem Maße von der Biomasseverteilung abhängt, ist die Reflexion im Bereich von „Rot“ beeinflusst von der

Absorption eines großen Teiles der Chlorophyllaktivität. Je mehr Chlorophyllaktivität besteht, desto mehr Energie wird in diesem Bereich absorbiert. Bei einer relativ hohen Energieabsorption durch das Chlorophyll wird daher umso weniger Strahlung reflektiert.

Allerdings kann dieser direkte Zusammenhang durch den Anteil der gegebenen Biomasse überlagert sein, da schließlich die Anzahl der Biomasse für die Menge der Reflexion abhängig ist.

Eine große Menge Biomasse durch große gut ausgeprägte Blätter bei hoher Chlorophyllaktivität kann trotz hoher Absorption mehr rote Strahlung reflektieren als einige wenige kleine Blätter geringer Aktivität. Offenbar variiert die Chlorophyllaktivität in einem durchschnittlich mit Nährstoffen versorgten Bestand nicht in dem Maße wie der Anteil der entwickelten Blattmasse. Bereits mit dem bloßen Auge wird deutlich, dass die Rotreflexion bei einem in der *Wachstumsphase* befindlichen Bestand nur gering variiert. Nur in einem geschädigten oder abreifenden Bestand wird die Abnahme der Chlorophyllabsorption durch Zunahme der reflektierten Rotstrahlung augenscheinlich.

In den meisten Fällen wird sich in der *Wachstumsphase* (Düngungszeitraum) aber die Entwicklung der Blattmasse an die N-Versorgung anpassen, so dass nicht von vorne herein photosynthetisch weniger aktive oder gar inaktive Blattmasse gebildet wird. Stattdessen bildet die Pflanze eher weniger der photosynthetisch aktiven Blattmasse aus, als dass eine Vielzahl von Blattmasse mit mangelnder Aktivität entfaltet wird.

Die Rückstrahlung im Rotbereich ist damit in der *Wachstumsphase* ähnlich wie im nahen Infrarot ein Weiser für die photosynthetisch aktive Biomasse, obwohl durch die Photosynthese selbst die Strahlung absorbiert wird. Geringe Chlorophyllaktivität wird erst dann durch erhöhte Rückstrahlung augenscheinlich, wenn bei bereits entfalteter ursprünglich photosynthetisch aktiver Biomasse die Chlorophyllaktivität sekundär nachlässt. Hier kann dann ein Abgleich über die Infrarotrückstrahlung stattfinden. Typische Beispiele hierzu sind Verfärbungen durch Abreife, Schadstellen wie Nekrosen oder nachträglicher Wassermangel. Für die Detektion solcher Fälle eignet sich die Rückstrahlung im roten Spektralbereich in besonderem Maße.

Wenn nicht außergewöhnliche Rahmenbedingungen wie Krankheiten zu stark unterschiedlicher Chlorophyllaktivität führen, wird gerade in der Wachstumsphase die Rückstrahlung durch die photosynthetisch aktive Biomasse bestimmt. Ähnlich wie bei „Agro-Sat“ gibt die Intensität der Rückstrahlung dann die Intensität der zu berücksichtigenden Pflanzenmasse an und kann in der Wachstumsphase als Verteilung für die Düngemenge herangezogen werden.

Abbildung 139 zeigt die Verteilung der normierten Rückstrahlung für Rot am gegebenen Beispiel eines Bildes aus der Befliegung vom 07.07.2004 (Fernlenkmodell) für den Schlag I-03.

Entgegen der Erscheinung im Originalbild stellen in dieser normierten Darstellung die dunklen Werte eine relativ hohe Rückstrahlung dar und dokumentieren einen hohen Biomasseanteil photosynthetisch ähnlich aktiver Blattmasse in der Aufwuchsphase des Bestandes.

Die Verteilungskarte kann daher als Korrekturkarte bei einer teilflächenspezifischen Applikation verwendet werden, indem der Anteil photosynthetisch aktiver Biomasse Berücksichtigung findet. Durch gezielte Beprobung des Minimum- und Maximumwertes kann der Stickstoffbedarf an den Extremwerten ermittelt und anhand der Karte moduliert ausgebracht werden.

Desgleichen verhält es sich bei Karten zur Infrarotrückstrahlung allerdings mit dem Unterschied, dass nicht die Reflexion photosynthetisch aktiver Biomasse erfasst wird, sondern direkt die Reflexion, derjenigen Biomasse mit gut ausgeprägter Zellstrukturen.

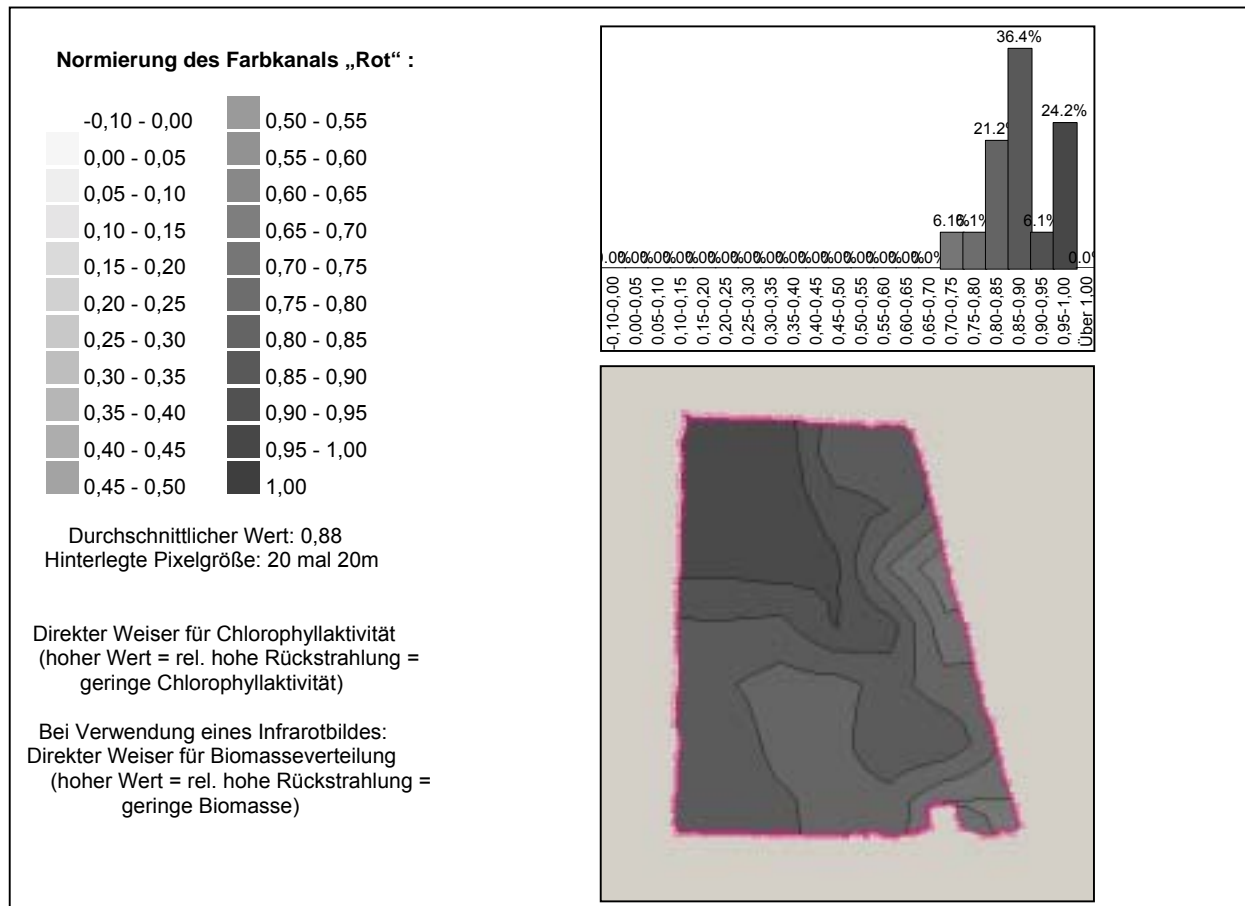


Abb. 139: Verteilung der normierten Rückstrahlung für „Rot“ als Eingangsparameter für die Modulation der Stickstoffdüngung (Dunkle Bereiche viel, Helle Bereiche wenig)

Analog zum beschriebenen Verfahren könnte auch die **Normierung des Farbkanals „Grün“** bei der Applikationskartenerstellung integriert werden. Entsprechend der Aussagen zum Verfahren „Agro-Sat“ von Agro-Sat Consulting könnte die Reflexion des Kanals „Grün“ als Weiser für die Chlorophyllaktivität heran gezogen werden, was allerdings kritisch zu beurteilen ist, da hier, wie beschrieben, nur ein indirekter Zusammenhang der Reflexionsintensität zur gemachten Aussage gegeben ist. Unter der Voraussetzung aber, dass die unterstellten Annahmen im gegebenen Fall zutreffen, könnten aus der Verteilung der Grünreflexion Aussagen zur teilflächenspezifischen Stickstoff-Verteilung heran gezogen werden: Wie zuvor geschildert muss dabei

- die relative Veränderlichkeit der Grünreflexion in direktem Zusammenhang zur Veränderlichkeit der Absorption im blauen und roten Bereich stehen (Chlorophyllaktivität). Eine Überlagerung dieses indirekten Zusammenhangs durch die direkte Reflexion im grünen Spektralbereich darf nicht gegeben sein.
- die indirekt detektierte Chlorophyllaktivität die Stickstoffversorgung tatsächlich widerspiegeln. Andere Ursachen für eine reduzierte Chlorophyllaktivität dürfen nicht gegeben sein, was zu verifizieren ist.

Abbildung 140 zeigt die Verteilung der normierten Rückstrahlung für Grün am gegebenen Beispiel eines Bildes aus der Befliegung vom 07.07.2004 (Fernlenkmodell) für den Schlag I-03.

Die hellen Werte stehen dabei für geringe, die dunklen für hohe Rückstrahlung. Die normierte Grünrückstrahlung verteilt sich dabei sehr ähnlich wie die normierte Rotrückstrahlung. Wenn die vorausgesetzten Annahmen gegeben sind, kann die Verteilungskarte als Korrekturkarte bei einer teilflächenspezifischen Applikation verwendet werden. Wie zuvor auch kann durch gezielte Beprobung des Minimum und Maximumwertes der Stickstoffbedarf an den Extremwerten ermittelt und anhand der Karte moduliert ausgebracht werden.

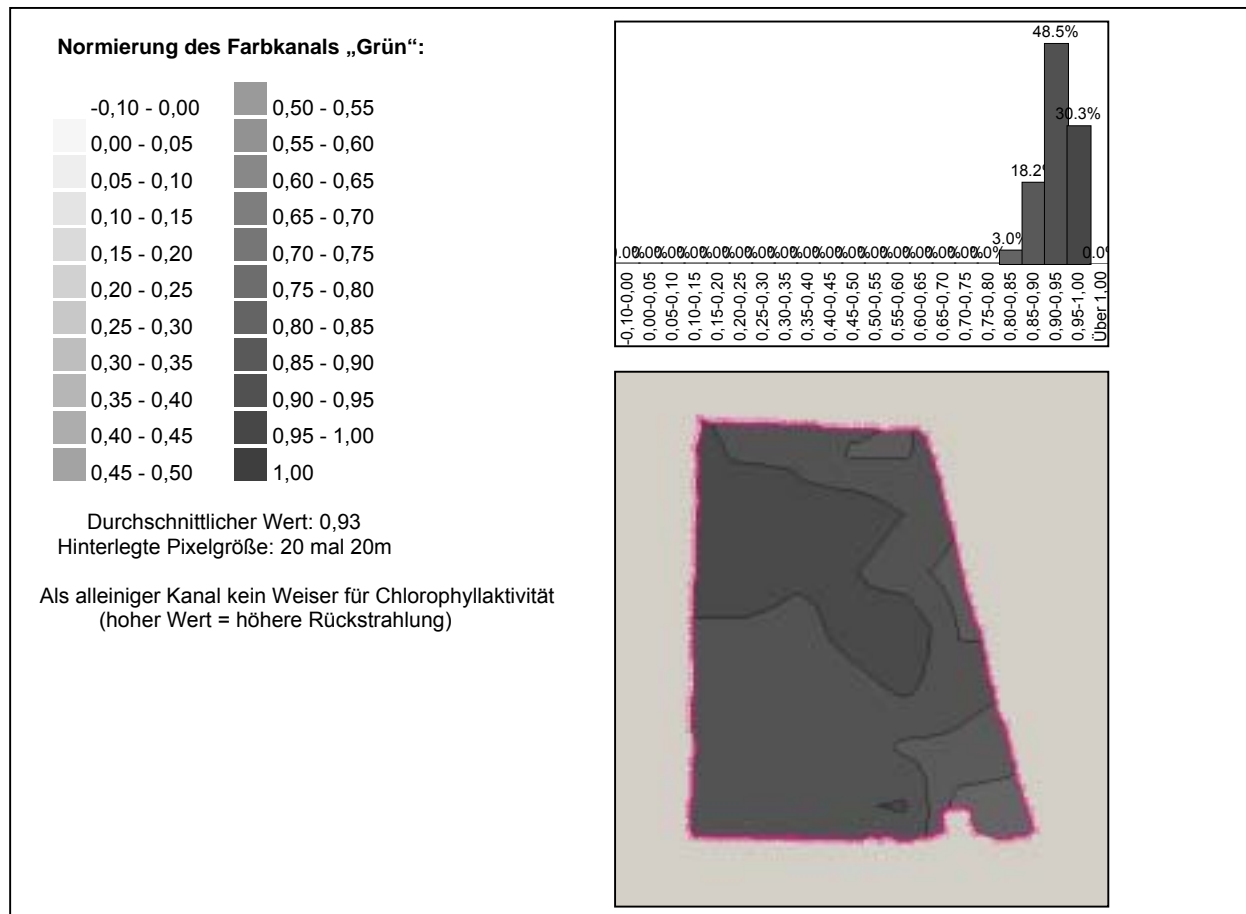


Abb. 140: Verteilung der normierten Rückstrahlung für „Grün“

Mit dem gleichen Ansatz kann schließlich auch der **normierte Parameters R/G** bei der Applikationskartenerstellung berücksichtigt werden:

Das Verhältnis der Reflexionen von Kanal „Rot“ zu Kanal „Grün“ hat eine besondere Bedeutung, da im Bereich von Rot die Absorption der Chlorophyllaktivität eine besondere Bedeutung spielt, was durch besonders grün erscheinende Pflanzen sichtbar wird.

Der Parameter R/G berücksichtigt also direkte und indirekte Folgen der Chlorophyllaktivität. Deshalb bietet der Parameter R/G auch gute Voraussetzungen dafür, um Chlorophyllaktivität zu detektieren. **Abbildung 141** zeigt die Verteilung des normierten Parameters des Index R/G.

Darüber hinaus konnte am gegebenen Beispiel der Zusammenhang der Verteilung des Parameters R/G zur Verteilung der Korngröße Sand signifikant korreliert werden. Eine Normierung des Parameters kann deshalb auch als Korrekturfaktor herangezogen werden, um bei einer Maßnahme den sandigen Anteil im Boden zu berücksichtigen. Hier ist beispielsweise an Meliorationsmaßnahmen zu denken. Ein hoher Sandanteil geht dabei mit einem hohen Wert von R/G und damit mit einer geringen Chlorophyllaktivität einher. Hohe Chlorophyllaktivität sollte

sich hingegen mit einem geringen Wert von R/G zeigen. Hier ist nämlich der Anteil der roten Rückstrahlung gegenüber der Grünen geringer. Im roten Spektralbereich wird also mehr absorbiert, weil erhöhte Chlorophyllaktivität stattfindet.

Das scheint plausibel, weil umgekehrt ein hoher Anteil von Sand eine schlechte Wasserversorgung bedeutet, was sich wiederum auf die Pflanzenversorgung negativ auswirkt.

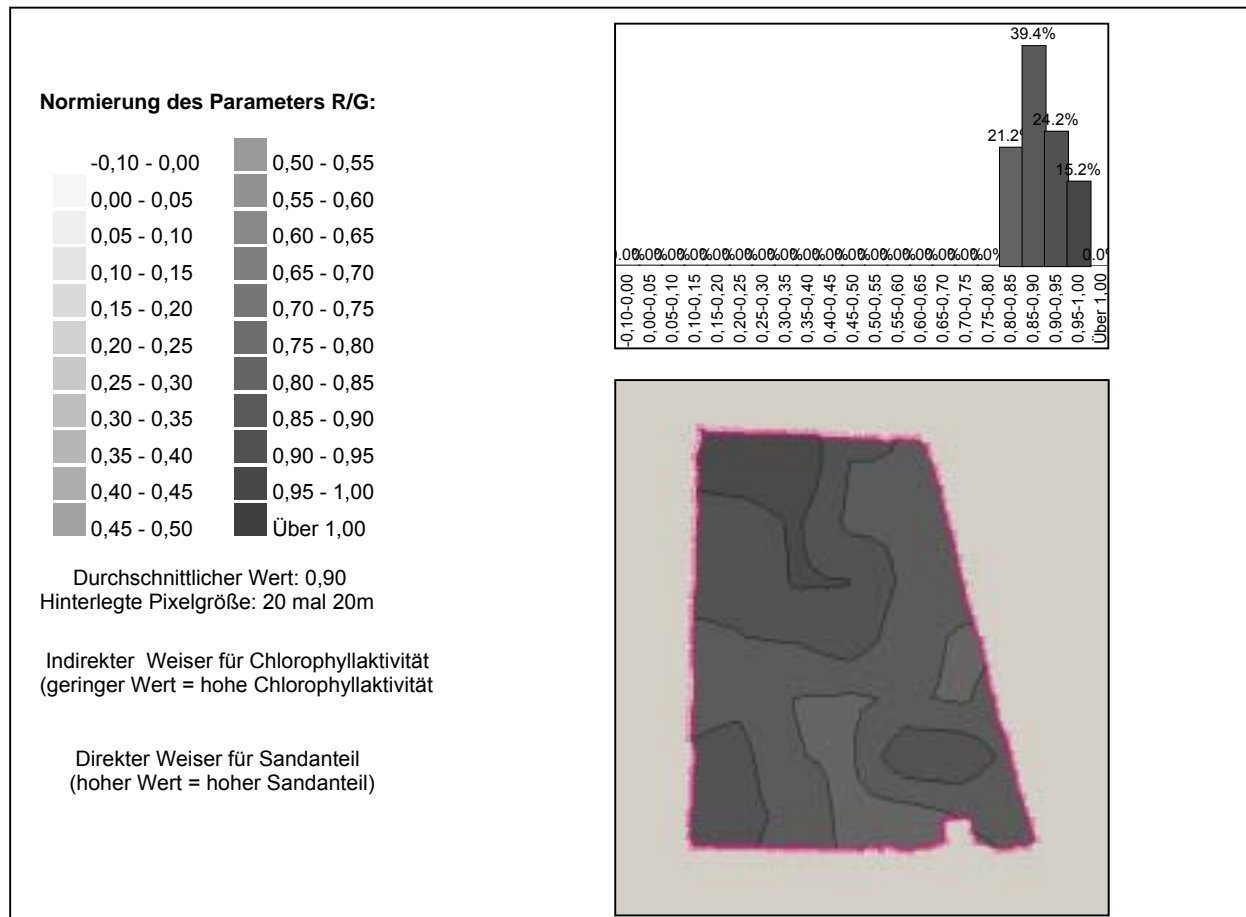


Abb. 141: Verteilung des normierten Parameters R/G

Für die konkrete **Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel** können die unterschiedlichen „normierten Verteilungskarten“ relevanter Parameter schließlich als Korrekturkarte im Prozess der Applikationskartenerstellung integriert werden.

Diese Konturenkarte definiert einzelne identische Teilflächen gleicher Behandlung. Für die einzelnen interpolierten Verteilungskarten kann ein beliebiges Pixelraster zugrunde gelegt werden, für das die jeweiligen interpolierten Werte abgegriffen werden. Die Größe dieses Rasters ist beliebig wählbar. Jedem Rasterpunkt (Pixel) ist daher ein Wert des ermittelten Korrekturfaktors zugeordnet, was bei der Applikationskartenerstellung berücksichtigt werden kann, da die Applikation hier ebenfalls pixelweise berechnet ist, sofern sie sich auf das identische Raster bezieht. [Abbildung 142](#) zeigt die Vorhaltung der abgeleiteten Korrekturfaktoren in einer Tabellenkalkulation mit den jeweiligen zugehörigen georeferenzierten Rasterpunkten (Pixel). Die hier pixelweise aufgeführten normierten Rückstrahlungswerte können so jederzeit bei der Berechnung von teilflächen-spezifischen Applikationen Berücksichtigung finden.

Korrekturfaktoren für Applikationskarte						
	A	B	C	D	E	F
				Rot	normierte Reflexion Grün	R/G
					Korrekturfaktor für	
			direkt:	Rückstrahlung chlorophyll- aktiver Biomasse	Rückstrahlung von nicht chlorophyllaktiver Biomasse	Sandanteil im Boden
			indirekt:	Chlorophyllaktivität N - Versorgung	Chlorophyllaktivität N - Versorgung	z.B. bei Melonien, Maße, zur Wasserversorgung Etrag, im gegebenen Fall
	X-Koordinate	Y-Koordinate	Rasterweite			
13	ND48 1907298	E007 6778523	10	0,85	0,90	0,89
14	ND48 1906399	E007 6778546	10	0,85	0,90	0,89
15	ND48 1905500	E007 6778569	10	0,85	0,90	0,89
16	ND48 1904600	E007 6778592	10	0,85	0,90	0,89
17	ND48 1903701	E007 6778615	10	0,89	0,92	0,92
18	ND48 1902802	E007 6778638	10	0,89	0,92	0,92
19	ND48 1901903	E007 6778661	10	0,89	0,92	0,92
20	ND48 1912708	E007 6779028	10	1,00	0,94	1,00
21	ND48 1911809	E007 6779051	10	0,96	0,97	0,96
22	ND48 1910909	E007 6779074	10	0,96	1,00	0,91
23	ND48 1910010	E007 6779098	10	0,96	1,00	0,91
24	ND48 1909111	E007 6779121	10	0,96	1,00	0,91

Abb. 142: Vorhaltung abgeleiteter Korrekturfaktoren zur Einbeziehung bei der Berechnung teilflächenspezifischer Applikationen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass Fernerkundungsverfahren dazu geeignet sind, über das Reflexionsverhalten von Pflanzenbeständen flächige Verteilungen von wachstumsrelevanten Parametern abzuleiten. Möglichkeiten der Integration der abgeleiteten Daten in Applikationskarten mit dem Ziel der Modulation von Betriebsmitteln sind insbesondere beim Kartieransatz im Offlineverfahren gegeben.

Die Verwendung solcher Fernerkundungsdaten kann insbesondere dort eine große Rolle spielen, wo Flächendaten bedeutsam sind und wo eine terrestrische Erfassung mit hohem Aufwand verbunden ist. Insofern bietet sich die Fernerkundung für den Einsatz im Bereich der Präzisionslandwirtschaft geradezu an, weil eine Fülle von teilflächenspezifisch differenzierenden Informationen für recht große Flächen benötigt werden.

Eine Nutzung der Fernerkundung zur Ableitung effektiver Applikationskarten im Bereich der Präzisionslandwirtschaft erscheint aus aktueller Perspektive sehr vielversprechend. Es ist aber bedeutsam, dass eine umzusetzende Methodik auf intensiv erforschten Zusammenhänge beruhen muss, wobei multikausale Ursachen der Reflexion differenziert betrachtet und gegebenenfalls durch geeignete Maßnahmen eliminiert werden müssen. Mit großem Potenzial scheint insbesondere die Berücksichtigung der Rotabsorption des Chlorophyll A sowie die vom Zellzustand abhängige Reflexion im Bereich des „Nahen Infrarot“ zu sein.

Allmählich wird das Potenzial von Fernerkundungsdaten auch in praxistaugliche Systeme überführt. Bei den am Markt eingeführten Systemen sollte aber genau differenziert werden, welche Parameter dabei tatsächlich Berücksichtigung finden und welche multikausalen Zusammenhänge ausgeschlossen oder einfach nur ignoriert werden. Verfahren, welche multikausale Zusammenhänge nicht in Erwägung ziehen und einfache, billige Lösungen, die sich nicht differenziert und selbstkritisch präsentieren, sind vom Anwender besonders kritisch zu hinterfragen.

(5) Zusammenfassung der Lösungsansätze zur Überführung des Kartieransatzes in die Praxistauglichkeit

Im Folgenden werden die Lösungsansätze zusammengefasst, die sich aus den Ergebnissen der Versuche zur Modulation der Stickstoffdüngung im *Kartierverfahren* ergeben, um das überprüfte Verfahren in die Praxistauglichkeit zu überführen.

Um dieses Ziel zu erreichen,

- sollte der Aufwand zur Erfassung des Mähdruschertrages dadurch reduziert werden, dass die entsprechende Messdatendatei automatisch generiert wird, ohne dass vorab Leerdateien erstellt werden müssen.
- sollten wenigstens in Bezug auf den Datenaustausch die Systeme offener gestaltet werden.
- sollten technische Lösungen weiter entwickelt werden, um die Datengenauigkeit im Vorgewendebereich zu erhöhen, bzw.
- sollten strukturelle Verbesserungen herbei geführt werden, um die Ausdehnung des Vorgewendebereichs überhaupt zu reduzieren (Gewannebewirtschaftung);
- sollten die Steckverbindungen zwischen den technischen Komponenten normiert werden
- sollten die Fehlerkompensierfähigkeit, Benutzerfreundlichkeit und das Fehlervorbeugungspotenzial der Systeme deutlich erhöht werden (übersichtliche Benutzerführung, intuitive Bedienbarkeit).
- müssten begründete Vorgaben bezüglich der Möglichkeiten und Grenzen von Mindestmengenvorgaben erstellt werden (unter welchen Umständen, bis wie viel ?).
- sollte eine Gewannebewirtschaftung angestrebt werden und hierzu, eine Anlauf-, Betreuungs- und Beratungsstelle zur Überwindung der Schwierigkeiten im Bereich der Kooperation und Koordination etabliert werden.
- sollte der Ansatz der Integration einer Wachstumssimulation weiter verfolgt werden, um die praktischen Probleme des hohen kurzfristigen Datenerfassungsaufwandes (Zeit und Kosten) in den Griff zu bekommen und Aspekte der Rentabilität zu integrieren, sollten hierzu alle teilflächenspezifisch relevanten Daten in einem GIS-System gesammelt und aufgearbeitet werden sowie eine Anlauf-, Betreuungs- und Beratungsstelle als Hilfestellung bei der fachlichen und technischen Umsetzung etabliert werden.
- sollten einfache Lösungen zur Entzerrung und Mosaikierung von Luftbildern in landwirtschaftliche GIS-Systeme integriert werden, und dabei die Möglichkeit des geocodierten Abgriffs der Reflexionsparameter ermöglicht werden, um normierte Rückstrahlungswerte als Korrekturfaktoren in die Verfahren zu integrieren. Bedeutsam sind hierbei:
 - die Variabilität der Körnungsfraction des Bodens (und damit indirekt der Wasserversorgung) durch Berücksichtigung der Kombination aus dem Kanal „Rot“/„Grün“),
 - die Variabilität der Pflanzenmasse (und damit indirekt des Nährstoffbedarfes) durch Berücksichtigung des Kanals „Infrarot“ und
 - die Chlorophyllaktivität (Kanal „Rot“), sowie Kanal „Grün“ sofern sämtliche Überlagerungseffekte ausgeschlossen werden können.

- könnten solche georeferenzierte normierte Rückstrahlungswerte als Korrekturfaktoren in einer GIS-Datenbank für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel vorgehalten werden.
sollte eine Anlauf-, Betreuungs- und Beratungsstelle als Hilfestellung bei der fachlichen und technischen Umsetzung etabliert werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass durch Etablieren einer Dienstleistungsstelle, welche relevante Daten sammeln und pflegen, aufarbeiten und in Kartierverfahren zur Modulation der Betriebsmittel integrieren könnte, die strukturellen Hindernisse überwunden werden können, um die Modulation der Betriebsmittel auch unter den gegebenen Bedingungen umsetzen zu können.

3.2.2.2 Praxistauglichkeit des Online-Ansatzes

Aus dem durchgeführten Versuch zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel mit Hilfe eines Online-Sensors (cropmeter, Kapitel 2.1.2.3 (4)) werden im Folgenden die Ergebnisse zusammengefasst, welche Bedeutung für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel haben. Ergänzt wird diese Darstellung durch die Skizzierung weiterer Verbesserungsmöglichkeiten mit Hilfe alternativer Online-Sensoren. Die Lösungsansätze zur Überführung des Online-Ansatzes in die Praxistauglichkeit werden schließlich zusammengefasst.

(1) Komplikationen

Während der Versuchsdurchführung zeigte sich, dass der Pendel trotz der vorgenommenen und beschriebenen Modifikationen zu schwer war, um mit ausreichend Pendelbewegung auf die Biomasse zu reagieren (Abb. 143).



Abb. 143: Modifizierter Pendelsensor im kniehohen Mais (7 Blatt-Stadium)

Die Pendelausschläge waren zu gering, um genügend differenzierende Aussagen über den Bestand machen zu können, weshalb der Versuch abgebrochen werden musste. Die geplante Aufzeichnung einer Applikationskarte war wegen zu wenig differenzierender Pendelbewegung nicht möglich. Entgegen der vorgesehenen Projektplanung konnten daher keine Applikationskarten dieses Sensors mit derjenigen des Kartieransatzes (Offline-Verfahren) verglichen werden.

Darüber hinaus wurde bemängelt, dass der Pendel bei Fahrzeugen mit Vorderachsfederung nicht brauchbar reagieren könne. Beim verwendeten JGB-Fasttrack war die Vorderachsfederung nicht zu sperren. Die Problematik würde in keinem Verkaufsprospekt angesprochen (BINDER, 2004/2).

(2) Potenzial des getesteten Online-Verfahrens

Da der Pendelsensor während einer von Projektseite durchgeführten Informationsveranstaltung zum Thema „Präzisionslandwirtschaft“ eingesetzt wurde, konnte die geschilderte Problematik von vielen kompetenten und interessierten Veranstaltungsteilnehmern diskutiert werden (Abb. 144). Folgende Überlegungen und Verbesserungsvorschläge spielten dabei eine Rolle:

Grundsätzlich könnte der geschilderten Problematik der zu geringen und damit zu wenig differenzierenden Pendelbewegungen durch eine weitere **Modifikation des Pendels** begegnet werden, indem man einen noch breiteren, oder aber bei gleicher Breite wesentlich leichteren Pendel verwenden würde. Im ersten Fall wäre allerdings das Handling des Gerätes äußerst



Abb. 144: Diskussion zum Einsatz des Pendelsensors im Mais

unpraktisch, da bei unregelmäßigen Bodenhöhen oder in hängigen Lagen Gefahr von Bodenkontakt bestehen würde.

Darüber hinaus ist problematisch, dass die Lohnunternehmer der Region wegen der Größe der zu bearbeitenden Fläche für die N-Applikation ein relativ großes Zeitfenster benötigen. Das bedeutet konkret, dass ein entsprechender Sensor bereits im Dreiblattstadium aber auch noch im Siebenblattstadium sicher funktionieren müsste (BINDER, 2004/2). Beim Einsatz des Pendelsensors muss dabei insbesondere das Dreiblattstadium wegen der geringen Pflanzenhöhe als problematisch angesehen werden.

Für ein Abscannen der Pflanzenmasse mit einem modifizierten Pendel käme daher nur ein recht später Zeitraum in Frage. Das wiederum würde ein sehr enges Zeitfenster für die N-Applikation zur Folge haben, was für den praktischen Betrieb nicht ausreichen würde.

Deshalb eignet sich der Sensor aus heutiger Sicht im Mais entweder nur bei einer relativ kleinen Bearbeitungsfläche in einem recht späten Stadium, oder aber die Düngung müsste sehr spät, wenn nicht sogar zu spät stattfinden.

Im Versuch hat sich der Einwand der **Verfälschung der Messergebnisse durch Beeinflussung der Pendelbewegung bei vorhandener Vorderachsfederung** als nicht unbegründet herausgestellt. Es war deutlich zu erkennen, dass der Spurtiefenausgleich des Sensors auf das Einfedern der Vorderachsfederung nicht sensibel genug reagiert. Das Einfedern des Traktors führt dadurch zu einem Pendelausschlag am Sensor, der als Veränderung der Biomasse gewertet wird. Deshalb wird für den Spurtiefenausgleich mittelfristig

eine rechnerische Lösung angestrebt, welche über einen Entfernungssensors arbeitet, so dass die Daten rechnerisch korrigiert werden. Hierdurch würde auch das Handling beim Rückwärtsfahren vereinfacht (VÖLKER, 2004).

Vorteilhaft beim Einsatz des Cropmeters ist, dass den unterschiedlichen Ausschlagwerten des Pendels jeweils beliebig Minimum- und Maximumwerte für die Applikation zugeordnet werden können. Die Entscheidung über die Düngemenge, sowie über die Schwellenwerte verbleibt beim Landwirt, während der Sensor nur die teilflächenspezifische Verteilung dieser Werte auf der Fläche vornimmt (VÖLKER, 2004).

Schließlich sei das Verfahren für jeden Landwirt nachvollziehbar und einsichtig. Immerhin sei bekannt, dass auch früher schon Landwirte den Pflanzenzustand über den Pflanzenwiderstand beurteilt haben. Beispielsweise habe ein Landwirt hierzu einen Spazierstock verwendet, indem er diesen vor sich her halbkreisförmig durch das Getreide geführt habe (HUGGER, 2004).

Obwohl der Versuch aufgrund technischer Mängel abgebrochen werden musste, kann dennoch als Ergebnis für das Potenzial der Modulation der Betriebsmittel zusammengefasst werden, dass der Pendelsensor für die teilflächenspezifische N-Applikation im Mais interessant sein könnte, wenn ein nicht allzu breiter, aber relativ leichter Pendel verwendet wird und wenn der Spurtiefenausgleich rechnerisch gelöst wäre. Voraussetzung ist allerdings eine gewisse Mindesthöhe der Maispflanze, was die teilflächenspezifische Düngung zu einem frühen Zeitpunkt stark einschränkt.

Zum jetzigen Zeitpunkt ist der Einsatz des unmodifizierten Cropmeters als Online-Lösung im *Mais* zur Modulation der Betriebsmittel ungeeignet. Im übrigen wurde hierdurch die Versuchsplanung für das Jahr 2004 im Nachhinein als richtig bestätigt, bei der die Modulation der Betriebsmittel mit dem komplizierten und aufwändigen, aber doch funktionierenden Kartierverfahren vorgesehen wurde.

(3) Potenzial durch Verwendung alternativer Online-Verfahren

Neben der beschriebenen Modifikation des getesteten Online-Sensors „Cropmeter“ besteht zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel weiteres Verbesserungspotenzial durch die Integration alternativer Online-Sensoren.

In Kapitel 1.3 (1) wurden einige der bekannteren Online-Sensoren zur Modulation der Stickstoffapplikation vorgestellt. Um den Rahmen des Projektes nicht zu sprengen, wird im Folgenden die Diskussion des Potenzials auf diese beschränkt: Im einzelnen waren das:

- der Hydro N-Sensor
- Radarsensoren und
- GVIS/AVIS

Alle drei genannten Sensoren haben gemeinsam, dass es sich um berührungsfreie Techniken handelt. Da die Hauptrestriktion des Einsatzes des Pendelsensors im Mais mit der eigentlichen Berührung (Pendelkontakt) zum Bestand zu tun hatte, ist diese Hauptproblematik bei allen drei genannten Verfahren von vorne herein behoben.

Gemeinsam ist diesen Sensoren auch die schwierige Verfügbarkeit. Während der **Hydro N-Sensor** bereits in der Praxis angewendet wird, er aber zur Versuchszeit wegen Dauereinsatzes kaum verfügbar ist, ergibt sich die mangelnde Verfügbarkeit von **Radar-Sensoren** und **GVIS/AVIS** dadurch, dass diese sich eigentlich noch im Forschungsstadium befinden.

Für den Hydro-N-Sensor gibt es mittlerweile eine Reihe vielversprechender Versuchsergebnisse. Die Probleme des Handlings wie beim Pendelsensor entfallen dabei. Restriktiv wirkt sich aus, dass die vom Sensor gemessene Reflexion vom Tageslicht abhängig ist. Den Auswirkungen unterschiedlicher Beleuchtungssituationen muss daher besonderes Augenmerk geschenkt werden. Dieser Sensoransatz ist durch die Kombination aus der Berücksichtigung der Spektralinformation für die Detektion der Biomasse (Nahes Infrarot) und der Chlorophyllaktivität (Rot) von der theoretischen Grundlage her sehr solide aufgebaut und damit sehr vielversprechend.

Wenn auch für andere Anwendungen bereits interessante Erfahrungen vorliegen, so befinden sich Radarsensoren für den Einsatz im Bereich der Modulation von Betriebsmitteln in der Präzisionslandwirtschaft noch im Forschungsstadium. Da es sich dabei um aktive Sensoren handelt, ist als Hauptproblematik die unter Umständen stark differenzierende Rückstrahlungsintensität in Abhängigkeit von der jeweiligen Blickrichtung anzusehen. Die Art und Intensität des Signals kann also je nach Aufnahmerichtung am gleichen Objekt sehr unterschiedlich sein. Als großer Vorteil dieses aktiven Sensors ist dagegen seine Unabhängigkeit von Beleuchtung, und damit auch dem Wetter, anzusehen.

Im Vergleich zu sonstigen bildgebenden, multispektralen, optischen Fernerkundungssensoren ermöglichen GVIS und AVIS wesentlich verbesserte und detailliertere Informationen. Die große Stärke liegt in der extrem hohen spektralen Auflösung. Durch die starke Differenzierung der spektralen Rückstrahlung besteht das Potenzial, charakteristische Reflexionsverläufe in Pflanzenbeständen für unterschiedliche relevante Ursachen festzustellen. So konnte gezeigt werden, dass bei bestimmten Pflanzenarten und Sorten beispielsweise bestimmte Nährstoffmangelsituationen sehr spezifisch in einzelnen schmalbandigen Bereichen des elektromagnetischen Spektrums reagieren (GRAEFF, 2003).

Hier besteht allerdings ein großer Forschungsbedarf. Das Verfahren ist daher für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel als besonders geeignet anzusehen. Für die unmittelbar resultierende Praxisanwendung ist es allerdings nötig, weitere Zusammenhänge zu erforschen.

Für alle vorgestellten Sensoren kann zusammenfassend festgestellt werden, dass ihre weitere Entwicklung und aktuelle Praxistauglichkeit weiter aufmerksam beobachtet werden sollte.

Mit zunehmender Verfügbarkeit und weiterer praktischer Erfahrung sollte das jeweilige Potenzial auch unter den kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein neu getestet werden, da sich hinter allen vorgestellten Verfahren interessante Möglichkeiten verbergen.

Durch die weit fortgeschrittene Praxistauglichkeit des Hydro-N-Sensors bietet sich dieser für einen nächsten Test zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel an.

Während die technischen Lösungen der Online-Sensoren offensichtlich langsam immer mehr Praxisreife erlangen, besteht allerdings noch ein ganz anders gelagertes Problem:

Die **landbauliche Strategie** zur Modulation der Stickstoffapplikation ist nämlich bis heute nicht klar definiert. Es ist nicht letztendlich geklärt, bei welchen Pflanzenzuständen welche Applikationsmaßnahmen zu treffen sind, bzw. unter welchen Umständen beispielsweise schlecht versorgte Pflanzen zu applizieren sind, oder auf eine Applikation zu verzichten ist, weil die gesamten Rahmenbedingungen eine Verbesserung so wie so nicht zulassen.

Einerseits verbleibt die Entscheidung der eigentlichen Maßnahme zwar beim Landwirt, der letztendlich auch die Verantwortung zu tragen hat. Andererseits ist er aber gerade bei solchen schwer zu beantwortenden Fragestellungen nach wie vor allein gelassen. Hier gibt es noch einiges an landbaulichen Fragestellungen zu beantworten (GERHARDS, 2005/2).

(3) Zusammenfassung der Lösungsansätze zur Überführung des Online-Ansatzes in die Praxistauglichkeit

Die Lösungsansätze zur Überführung des Online-Ansatzes in die Praxistauglichkeit können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- durch eine Modifikation des Pendels am Cropmeter könnte sich das Gerät auch für den Einsatz im Mais eignen, was zu verifizieren wäre.
Hierdurch würde sich das Handling bei unregelmäßigen Höhen und hängigen Lagen erschweren,
- Durch die Forderung einer recht großen Mindesthöhe der zu messenden Pflanzen würde sich das Zeitfenster für die Stickstoffdüngung so stark verkleinern, dass die Praxistauglichkeit von daher sehr eingeschränkt wäre
- ein modifizierter Pendelsensor würde sich daher nur bei einer recht kleinen Bearbeitungsfläche zu einem recht späten Zeitpunkt eignen.
- Der Spurtiefenausgleich sollte rechnerisch gelöst werden, um das Fehlerpotenzial hier zu reduzieren und um das Handling zu erleichtern
- Vorbildlich ist, dass der Sensor die teilflächenspezifische Verteilung der Betriebsmittel über die Biomasse vornimmt und die Entscheidung zur absoluten Düngemenge dem Landwirt überlässt.
- Vorbildlich ist ebenfalls die einfache Erfassbarkeit und Nachvollziehbarkeit des Systems
- zum jetzigen Zeitpunkt ist der Einsatz des unmodifizierten Cropmeters als Online-Lösung im *Mais* zur Modulation der Betriebsmittel ungeeignet.

- Für die alternativ vorgestellten Sensoren (Hydro-N, Radar und GVIS/AVIS) kann zusammenfassend festgestellt werden, dass ihre weitere Entwicklung und aktuelle Praxistauglichkeit weiter aufmerksam beobachtet werden sollte.
- Diese Geräte sind als berührungsfreie Online-Sensoren nicht mit den aufgetretenen Restriktionen des Cropmeters behaftet, haben aber durchaus alle auch ihre Nachteile.
Ebenso sind aber auch die jeweiligen Vorteile offenbar, welche ein hohes Entwicklungspotenzial für eine praxistaugliche Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel durch den Online-Ansatz in sich bergen.

- Mit zunehmender Verfügbarkeit und weiterer praktischer Erfahrung sollte das jeweilige Potenzial auch unter den kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein neu getestet werden, da sich hinter allen vorgestellten Verfahren interessante Möglichkeiten verbergen.
Durch die weit fortgeschrittene Praxistauglichkeit des Hydro-N-Sensors bietet sich dieser für einen nächsten Test zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel an.

- Ein ungelöstes Problem bleibt weiterhin unter problematischen Rahmenbedingungen die mangelnde klare Definition landbaulicher Strategien für die konkrete Modulation der Betriebsmittel.

3.2.3 Ergebnisse zur Auswirkung der Modulation

Nachdem bisher die für die Modulation der Betriebsmittel relevanten Ergebnisse aus den Versuchen zur *Variabilität* (Kapitel 3.2.1) und zur *Machbarkeit der Modulation* (Kapitel 3.2.2) dargestellt wurden, werden im Folgenden die Auswirkungen der Modulation gezeigt. Dabei wird unterschieden zwischen

- der Auswirkung der Modulation auf N_{\min}
- der Auswirkung der Modulation auf den Ertrag
- der Auswirkung der Modulation auf die Höhe der Düngung
- der Bilanzierung des Stickstoffes (Umweltverträglichkeit) und
- der Wirtschaftlichkeit der Modulation

(1) Auswirkung auf N_{\min}

Die Auswirkung der Modulation der Stickstoffdüngung auf die Verteilung von N_{\min} ist einer der unmittelbar interessierenden Aspekte, da die N_{\min} Verteilung als Eingangsparameter für die Berechnung der Applikationshöhe mit eingeflossen ist. Eine entsprechend modulierte Applikation dürfte daher auch Auswirkungen auf die resultierende N_{\min} Verteilung haben. Im folgenden werden die Ergebnisse hierzu gezeigt, mit denen der Erfolg der Maßnahme beurteilt werden kann. Dabei ist wünschenswert, die sehr hohen vorgefundenen Werte in Schlag I-02 deutlich zu reduzieren, sowie eine ausgewogene Verteilung zu erzielen.

Da für das Jahr 2005 weder die Erntedaten noch die N_{\min} Verteilung zu Berichtsschluss vorlagen, war ein entsprechender Vergleich für dieses Jahr nicht möglich. Die weitere Beobachtung der Untersuchung liegt hier in der Verantwortung der Uni Hohenheim, die auch die fachliche Betreuung zur Umsetzung der Modulation mit Hilfe der wissenschaftlichen Wachstumssimulation inne hatte.

Im Jahr 2004 fand auf den Schlägen I-01 und I-02 die beschriebene außerplanmäßige Düngung statt. Bei der Modulation der Betriebsmittel auf Schlag I-03 traten weitere Komplikationen auf, die dazu führen, dass nur eine geringe verbleibende Restfläche planmäßig appliziert wurde. Des Weiteren fand in diesem Versuchsjahr eine Konzentration auf Alternativen zur Modulation der Stickstoffdüngung statt.

Da demgegenüber im Jahr 2003 nach einer Vielzahl anfänglicher Startschwierigkeiten, die Versuchsdurchführung planmäßig und konsequent durchgeführt werden konnte, sind die Daten aus diesem Versuchsjahr prädestiniert für diesen Test.

Die Entwicklung der N_{\min} -Werte zwischen Mai und September, aufgeteilt nach den beiden Behandlungen moduliert und unmoduliert (herkömmlich), wird daher anhand der Daten des Versuchsjahres 2003 betrachtet.

Diese **vergleichende Betrachtung der Verteilungen von N_{\min}** zwischen dem Frühjahr und dem Herbst dieses Jahres zeigt folgendes:

Bei der Beprobung im Mai sind die höchsten N_{\min} -Werte in Schlag I-02 (südwestlich) zu finden ([Abb. 145](#)). Das hat seine Ursache darin, dass Im Betrieb des Eigentümers Vieh gehalten wird, wodurch im Schlag langjährig regelmäßig Gülle ausgebracht wurde.

In Schlag I-01 (südöstlich) ist lokal eine starke Erhöhung des N_{\min} -Vorkommens zu erkennen. Die Analyse der entsprechenden Probe wurde daher wiederholt und das Ergebnis in seiner ungewöhnlichen Höhe bestätigt. Die Ursache für die kleinflächig starke Erhöhung dort ist unbekannt. In Fläche I-03 (nördlich) erscheint N_{\min} ausgeglichen und auf niedrigem Niveau (Abb. 145).

Bei der Beprobung im September (nach der Ernte) waren die N_{\min} -Werte, wie erwartet, stark reduziert und über alle Versuchsflächen hinweg homogen. Eine Ausnahme findet sich im Schlag I-03 an der östlichen Grenze, wo stark erhöhte Werte vorliegen. Ausgerechnet bei diesem Schlag war die Verteilung des Parameters im Frühjahr sehr homogen. Dagegen erscheinen die bei der Frühjahrsbeprobung festgestellten unregelmäßigen Verteilungen im Schlag I-02 wie auch die durchgängig erhöhten Werte in I-02 bei der N_{\min} -Beprobung nach der Ernte ausgeglichen (Abb. 146).

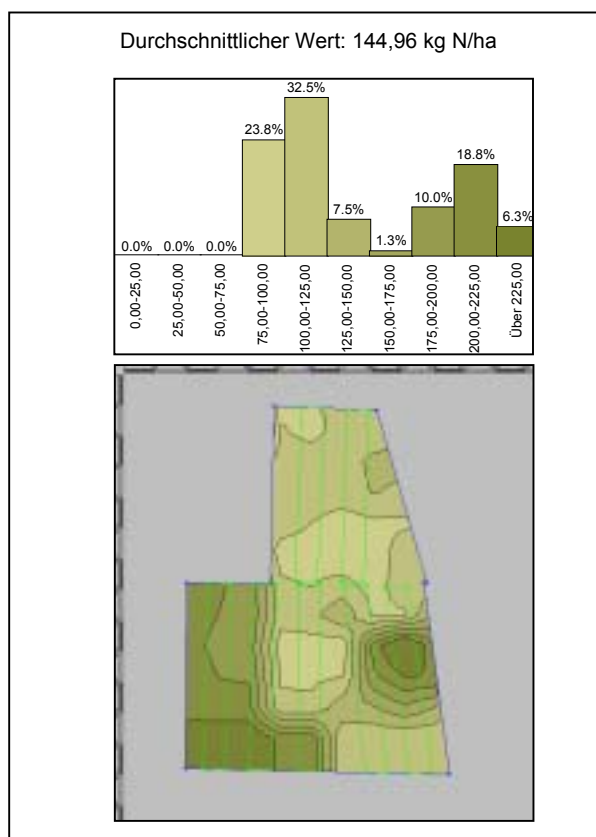


Abb. 145: N_{\min} -Verteilung am 10. bzw. 17. Mai 2003

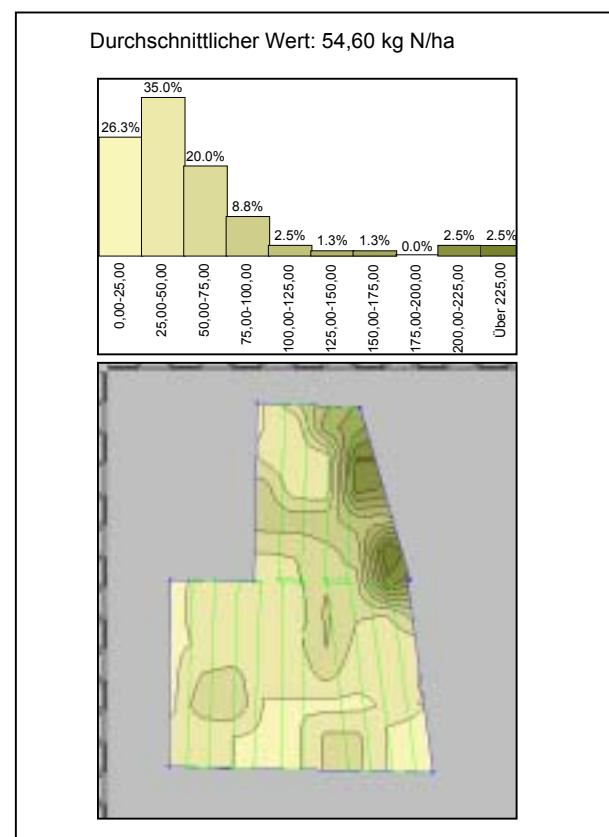


Abb. 146: N_{\min} -Verteilung: 20. Sept. 2003

Deutlich zu sehen ist die zweipfellige Klassenverteilung für die Probenahme im Mai (Abbildung x). Sie ist ein Indiz für die potentielle Vermischung zweier unterschiedlicher Grundgesamtheiten, was durch die langfristige andersartige Behandlung des Schlages I-02 (Gülleausbringung) auch so beurteilt werden kann.

Demgegenüber zeichnet sich in Abbildung y nur noch eine eingipflige Verteilung ab, wenn man von den Ausreißerwerten an der nordöstlichen Grenze absieht. Deutlich zu erkennen ist das wesentlich geringere Niveau von N_{\min} , wie es nach der Ernte auch zu erwarten war. Dementsprechend beträgt der Durchschnittswert nur noch 54,60 kg N/ha gegenüber ursprünglichen 144,96 kg N/ha. Das entspricht einem durchschnittlichen Rückgang von 84,67 kg N/ha (58%) (Tab. 30).

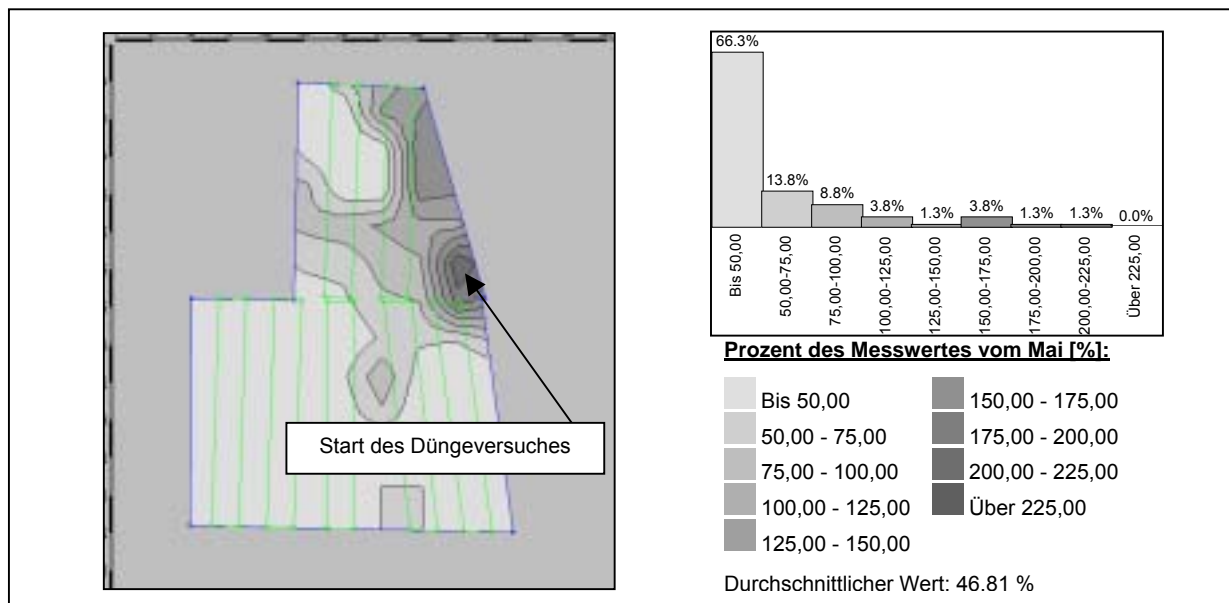
N_{min} Mittelwerte absolut

Mittelwert Mai:	146,07 kg N/ha (100%)
Mittelwert September:	61,40 kg N/ha (41,6%)
durchschnittlicher Rückgang:	- 84,67 kg N/ha (58,4%)

Tab. 30: N_{min}: Mittelwerte

In [Abbildung 147](#) ist die Veränderung des Herbstwertes gegenüber dem Frühjahrswert als flächige Konturenkarte prozentual dargestellt. Helle Werte zeigen einen starken Rückgang, dunkle Werte dagegen eine Zunahme.

In den Schlägen I-01 und I-02 spiegelt sich die gleichmäßige und homogene Reduzierung auf ein niedriges Niveau wieder, im Schlag I-03 sind die Stellen der N_{min}-Zunahme im östlichen Bereich deutlich lokalisierbar.

**Abb. 147:** N_{min}-Herbst in Prozent des Messwertes vom Frühjahr

Diese unerwartete Tatsache der Zunahme von N_{min} in der Herbstbeprobung gegenüber der Frühjahrsbeprobung kann teilweise erklärt werden:

Beim Düngerversuch im Frühjahr hat der Lohnunternehmer an der südöstlichen Ecke des Schlages I-03 mit der Ausbringung der Applikation begonnen. Nach einigen Metern wurde festgestellt, dass der Düngestreuer nicht auf die Applikationskarte anspricht, obwohl zuvor ein Test in Form einer versuchsweisen Lehrfahrt erfolgreich durchgeführt wurde. Nach Behebung des Fehlers musste die Applikation erneut gestartet werden, so dass an der beschriebenen Stelle ein kurzer Streifen doppelt gedüngt wurde. Dass sich der erhöhte Bereich schließlich an der gesamten östlichen Grenze nördlich des Weges fortführt, lässt darüber hinaus aber die Frage aufkommen, ob hier vielleicht ein Einfluss vom Nachbargrundstück vorliegt, zumal der Rest des Schlages I-03 bei der Verteilung des N_{min}-Wertes im Herbst ausreichend homogen wiedergegeben ist.

Es kann also festgehalten werden, dass der Herbstwert eine deutliche Reduktion von N_{min} auf ein erträgliches Niveau widerspiegelt und dass die Verteilung auf der Fläche weitestgehend homogen ist, wobei die Ausnahme am östlichen Rand des Schlages I-03 erklärt werden kann.

Abhängig vom Niveau des N_{min}-Wertes im Frühjahr fällt die Reduktion auf den Flächen unterschiedlich hoch aus.

Hier kann also zusammengefasst werden, dass die Applikationsmaßnahme abgesehen von der beschriebenen Ausnahme die erwünschte Wirkung in Bezug auf N_{\min} erzielt hat. Es zeigt sich bei schlagweiser Betrachtung die angestrebte deutliche Reduktion hoher N_{\min} -Werte, sowie bei innerschlagspezifischer Betrachtung eine ausgeglichene Verteilung von N_{\min} .

Wenn bei schlagweiser Betrachtung hier auch beide Behandlungsarten (moduliert und herkömmlich) gemeinsam betrachtet werden, so kann das erfolgreiche Ergebnis dennoch auf den Technikeinsatz zur Modulation der Stickstoffdüngung im Kartierverfahren zurückgeführt werden. Schließlich wurde auch bei den unmodulierten Behandlungstreifen durch den Technikeinsatz sichergestellt, dass das Berechnungsergebnis nach der guten fachlichen Praxis auch auf diesen Teilflächen umgesetzt wurde. Dabei ging nicht nur eine einzige zufällige Stichprobe für N_{\min} ein, sondern gleich mehrere. Hierdurch konnte auch für die schlagweise pauschal ermittelte Applikationsmenge ein repräsentativer Mittelwert anstatt eines zufälligen Stichprobewertes berücksichtigt werden.

Insbesondere der erfolgreiche starke Rückgang in Schlag I-02 konnte dadurch erreicht werden, dass keine Mindestmengen vorgegeben wurden und die Stickstoffapplikation durch die technisch gesteuerte Umsetzung hier drastisch reduziert war (teilweise weniger als 20kg N/ha).

In [Abbildung 148](#) wird der Rückgang des N_{\min} -Wertes **behandlungsspezifisch differenziert** betrachtet. Im Balkendiagramm ist die Höhe des Messwertes vom Herbst in Prozent des Frühjahrswertes aufgetragen.

Der linke Balkenblock zeigt dabei den Gesamtrückgang, indem alle drei Schläge gemeinsam Eingang finden. Der blaue Balken (links) zeigt den durchschnittlichen prozentualen Rückgang des Herbstwertes vom Frühjahrswert, rot und gelb den Rückgang bei den beiden Behandlungsarten getrennt.

Absolut für alle drei Schläge betrachtet beträgt der Mittelwert von N_{\min} im Mai 146,07 kg N/ha und derjenige vom September 61,40 kg N/ha (42%, blauer Balken), was einem Rückgang von 84,67 kg N/ha (58%) entspricht.

Der rote Balken (Mitte) zeigt die Reduktion auf allen Schlägen für die moduliert behandelten Teilflächen alleine, während beim gelben Balken (rechts) der Rückgang auf den herkömmlich behandelten Flächen ebenfalls für alle drei Schläge berücksichtigt wird.

Dabei stellt sich heraus, dass der Rückgang auf den moduliert behandelten Teilflächen vernachlässigbar geringer ausfällt, als auf den herkömmlich behandelten Teilflächen.

Zu einem anderen Schluss kommt man, wenn der Rückgang von N_{\min} bei den beiden unterschiedlichen Behandlungsarten nicht für alle Schläge gemeinsam betrachtet wird. Betrachtet man die Schläge isoliert, so zeigt sich, *dass der N_{\min} -Wert vom Herbst gegenüber dem Frühjahrswert im Falle einer modulierten Behandlung wesentlich stärker reduziert ist, als wenn der Stickstoff herkömmlich pauschal ausgebracht wird!*

Auch ist festzustellen, dass im vorliegenden Fall eine Zunahme gegenüber dem Frühjahrswert zwar im herkömmlich bewirtschafteten Bereich, nicht aber bei der moduliert behandelten Teilfläche auftritt. Dieser letzte Aspekt sollte aber nicht überbewertet werden, da die Ursachen hier auch durch externe Einflüsse vom Nachbarschlag her gegeben sein können. Interessant ist

an dieser Stelle auch zu erwähnen, dass sich Fläche I-03 von den beiden anderen auch dadurch unterscheidet, dass bei der Aussaat eine Unterfußdüngung stattgefunden hat.

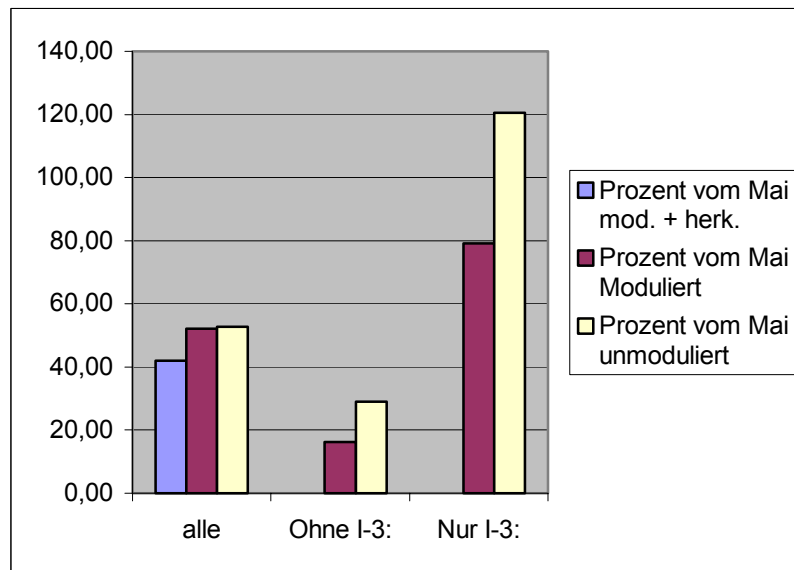


Abb. 148: N_{\min} (Herbst) in Prozent von N_{\min} (Frühjahr) nach unterschiedlichen Behandlungsweisen und schlagweise unterschieden

Es kann zusammengefasst werden, dass der prozentuale Rückgang von N_{\min} über alle Flächen hinweg zunächst etwa gleich erscheint (etwas über 50%) und zwar unabhängig davon, ob die Stickstoffapplikation moduliert oder herkömmlich ausgebracht wurde. Bei näherer Betrachtung zeigt sich jedoch, dass diese Beobachtung damit zu tun hat, dass sich die Werte aller Flächen zufällig ausgleichen.

Differenziert man nach denjenigen Flächen, die eine identische Behandlung in Bezug auf die Unterfußdüngung erfahren haben, so zeigt sich ein deutlicher Effekt:

Der erwünschte Rückgang von N_{\min} ist auf den moduliert behandelten Flächen wesentlich stärker ausgeprägt.

Abbildung 149 verdeutlicht, dass die Verteilungen der Messwerte aus beiden Beprobungen nicht korrelieren. N_{\min} im Frühjahr und Herbst verteilen sich also nicht identisch.

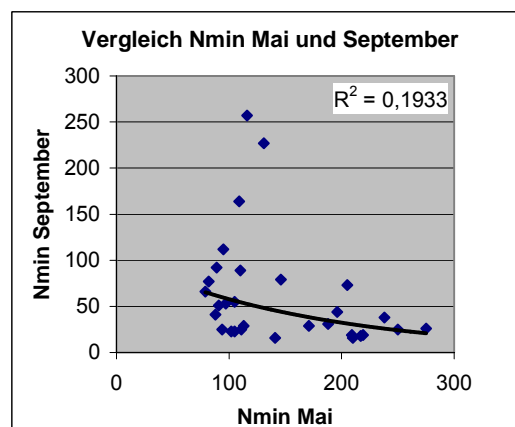


Abb. 149: Korrelationstest zwischen N_{\min} Frühjahr und Herbst

Wo beispielweise hohe Werte im Frühjahr bestanden, müssen im Herbst nicht auch zwangsläufig hohe Werte sein und umgekehrt. Das ist erwünscht, weil N_{\min} nach der Ernte nicht nur reduziert, sondern auch ausgeglichen vorliegen soll, was auch weitgehend gegeben ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden,

- dass die N_{\min} -Werte nach der Ernte wie erwünscht deutlich zurück gegangen sind,
- dass die N_{\min} -Werte nach der Ernte wie erwünscht auch ausgeglichen vorliegen,
- dass der erwünschte Rückgang von N_{\min} nach der Ernte auf den modulierten Teilflächen deutlich stärker ausgefallen ist, als auf den herkömmlich behandelten Teilflächen.

Damit wird deutlich, dass sich eine modulierte Behandlungsweise im gegebenen Fall aus ökologischer Sicht deutlich vorteilhafter auswirkt.

Offensichtlich verbleibt durch die an den Bedarf besser angepasste Applikation weniger N_{\min} auf der Fläche. Da auch keine wesentlichen Ertragsunterschiede erkennbar sind, wurde der Dünger durch die herkömmliche pauschale Behandlungsweise in Bereichen mit hohem N_{\min} -Gehalt vermutlich über den Bedarf ausgebracht. Teilflächen mit geringerem N_{\min} waren dagegen offensichtlich immer noch ausreichend gesättigt.

Durch die Modulation ist dieser Effekt stark vermindert worden. Die Applikation fand angepasster und somit bedarfsgerechter statt, was zu weniger Umweltbelastung durch erhöhtes Vorkommen von freiem Stickstoff führt.

Aus dem **Versuch des Jahres 2004** zur Bereitstellung einer schlagübergreifend aufbereiteten Applikationskarte lassen sich bezüglich der Auswirkung der Modulation weitere interessante Teilaspekte zur Auswirkung der Modulationsmaßnahme ableiten:

Die in Kapitel 2.1.2.3 (2) geschilderte außerplanmäßige pauschale Applikation der Eigentümer wird dabei als gute Gelegenheit betrachtet, diese echte Praktikeranwendung unter teilflächenspezifischen Gesichtspunkten zu beurteilen.

Wie geschildert führten Unklarheiten und Missverständnisse zwischen den Beteiligten zu einer außerplanmäßigen Düngung der Schläge I-01 und I-02, welche schließlich mit einem Pauschalwert flächig undifferenziert (pauschal) gedüngt wurden, so dass die vorgesehene Modulation auf beiden Flächen nicht stattfinden konnte. Dieser Sachverhalt wurde durch die Ergebnisse der N_{\min} -Beprobung offenbar, die zufällig unmittelbar nach dieser außerplanmäßigen Maßnahme durchgeführt wurde:

Nach Berechnung des Applikationsbedarfes hätte an einigen Bereichen Stickstoff entnommen werden müssen, weil er bereits reichlich vorhanden war (negative Applikationswerte). Durch die zeitnahe kleinflächige Erfassung von N_{\min} nach dieser Stickstoffdüngemaßnahme wird nun in der berechneten teilflächenspezifischen Applikationskarte deutlich, ob unter den Rahmenbedingungen der guten fachlichen Praxis auch unter teilflächenspezifischer Betrachtungsweise korrekt appliziert wurde, oder nicht.

Im Optimalfall müsste die abgeleitete N-Applikationskarte wegen der bereits durchgeführten Düngung in den Schlägen I-01 und I-02 an jeder Stelle eine Applikation von 0 kg Harnstoff/ha

ausweisen (Abb. 150, weiße Teilflächen), da eine angepasste Düngung zumindest schlag-spezifisch bereits stattgefunden hat.

Weist die berechnete Applikationskarte aber eine N Applikation größer als 0 aus, so hätte der Landwirt nach teilflächenspezifischer Berechnung nach guter fachlicher Praxis die entsprechende Menge mehr düngen dürfen. Weist die Karte hingegen eine N-Applikation kleiner 0 aus, so ist auf der Teilfläche aus Sicht der guten fachlichen Praxis zu viel Stickstoff ausgebracht worden. Aus dieser unbeabsichtigt gegebenen Ausgangssituation heraus lassen sich daher Aussagen darüber ableiten, ob die in der Praxis durchgeführten Düngemaßnahmen unter teilflächenspezifischer Betrachtungsweise fachgerecht gewesen sind oder nicht:

Bei den betroffenen **Schlägen I-01 und I-02** ist deutlich das Auftreten der verschiedenen Teilflächen erkennbar. Unter teilflächenspezifischer Beurteilung ist in den weißen Bereichen nach Durchführung der Düngung Stickstoff ausgewogen vorhanden (Abb. 150).

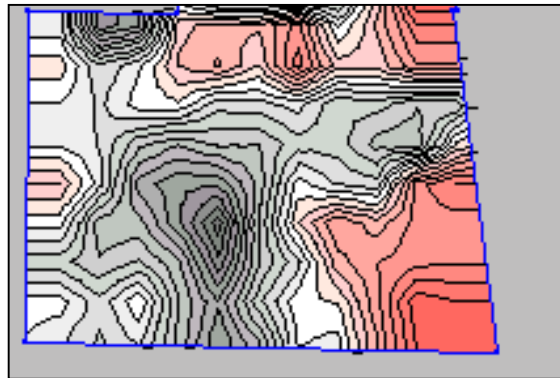


Abb. 150: Harnstoffkartenbereich der Schläge I-01 und I-02

I

Deutlich zu erkennen ist, dass die unmodulierte Düngung in **Schlag I-02** (westlich) durch den Eigentümer sehr vorsichtig durchgeführt wurde. Nach teilflächenspezifischer Berechnung entsprechend der guten fachlichen Praxis hätte im größten Bereich des Schlages noch mehr Stickstoff bedarfsgerecht ausgebracht werden können. Nur vernachlässigbar wenige Teilflächen sind mit der Größenordnung von bis zu 75 kg Harnstoff/ha „überdüngt“ (Abb. 151).

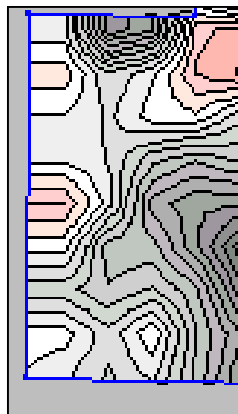


Abb. 151: Harnstoffkartenbereich des Schlages I-02

Es ist deutlich erkennbar, dass mit der herkömmlichen unmodulierten Düngungspraxis auf die teilflächenspezifisch differenzierten Gegebenheiten nicht eingegangen werden kann. Dennoch kann gesagt werden, dass trotz schlagweise pauschaler, also unmodulierter Düngung in relativ

weiten Bereichen des Schlages die tatsächliche Applikation sehr nah an das teilflächenspezifisch berechnete Optimum herankommt. Die insgesamt etwas vorsichtige Handhabung des Landwirtes in Schlag I-02 erklärt sich durch die jahrelang überhöhten N_{\min} Werte auf dieser Fläche.

Etwas anders stellt sich die Situation nach der unmodulierten Düngung in **Schlag I-01** (östlich) dar: Insbesondere der nördliche und westliche Bereich des Schlages zeigt in der berechneten Harnstoffkarte Negativwerte (rot) von bis zu -200 kg Harnstoff/ha, während im westlichen Bereich Positivwerte (grau) von bis zu 300 kg Harnstoff/ha bestehen. In den roten Bereichen wurde also zuviel, in den grauen Bereichen hingegen zu wenig ausgebracht, wenn man die teilflächenspezifische Berechnung nach der guten fachlichen Praxis als Referenz zugrunde legt. Deutlich zu sehen ist dennoch, dass die Stickstoffdüngung bei schlagweiser Betrachtung doch relativ ausgeglichen erscheint ([Abb. 152](#)).

Im vorliegenden Fall leidet die bedarfsgerechte Ausbringung unter teilflächenspezifischer Betrachtungsweise aber an den stark differenzierten Schlagbedingungen, auf die bei unmodulierter Herangehensweise nicht eingegangen werden kann. Auch hier muss dem Eigentümer fachgerechtes Vorgehen bescheinigt werden. Eine bedarfsgerechte Applikation scheitert aber an den teilflächenspezifisch differenzierten Bedingungen des vorliegenden Schlages und führt zu einem insgesamt sehr unbefriedigenden Ergebnis.

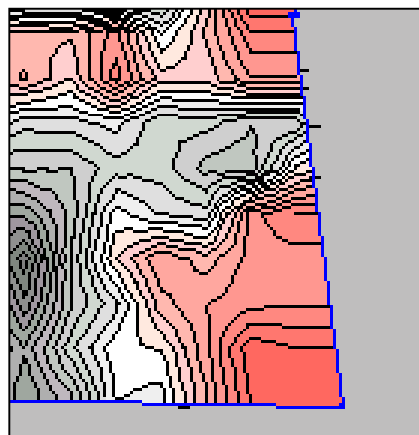


Abb. 152: Harnstoffkartenbereich des Schlages I-01

An beiden Beispielen zeigt sich, dass unter schlagspezifischer Betrachtungsweise zwar gewissenhaft gearbeitet wurde, dass aber unter teilflächenspezifischer Betrachtung keine bedarfsgerechte Applikation möglich ist, wenn die Betriebsmittel nicht unter Einsatz moderner Technik moduliert ausgebracht werden.

Anhand der Erfahrungen aus dem Versuchsjahr 2004 lässt sich zusammenfassen, dass nur mit Hilfe der Modulation der Betriebsmittel eine bedarfsgerechte teilflächenspezifische Stickstoffausbringung umsetzbar ist. Eine lediglich schlagspezifisch angepasste Applikation kann bei vorhandener Variabilität innerhalb des Schlages nicht bedarfsgerecht sein.

Nur eine Modulation der Betriebsmittel kann für die resultierende Verteilung von N_{\min} entsprechend positive, ausgleichende Effekte bewirken.

(2) Auswirkung auf den Ertrag

Entsprechend der Begründung in Kapitel (1) „Auswirkungen auf N_{\min} “, werden auch in der vorliegenden Betrachtung die Versuchsergebnisse des Jahres 2003 herangezogen, um die Auswirkungen der Modulation zu untersuchen. Möglich ist dies durch die in Kapitel 2.1.2.2(1) im Zusammenhang mit den Variabilitätsparametern beschriebene Möglichkeit der Trennung der Daten.

Für beide unterschiedliche Behandlungseinheiten zeigt sich hierbei ein sehr ähnliches Ergebnis: Mit durchschnittlich 11,39 t/ha (unkorrigierte Rohdaten) zeigt die modulierte Düngung einen geringfügig besseren Ertrag. Die Ertragsverbesserung zeigt sich vor allem in einer leichten Anhebung der Ertragsklasse 11-13 t/ha. Diese Anhebung von 0,8% kann sich durchaus im Rahmen einer gewöhnlichen Streuung abspielen und ist vernachlässigbar gering. Jedenfalls darf abgeleitet werden, dass eine modulierte Ausbringung des Stickstoffes gegenüber einer herkömmlichen Düngung keinesfalls zu einer Ertragsverschlechterung geführt hat (Tab. 31).

	Ertrag [t/ha]	in % von allen
Düngung pauschal durchgeführt	11,31	+0,0885%
Düngung moduliert	11,39	+0,7960%
Alle	11,30	100%

Tab. 31: Ertrag auf den unterschiedlich behandelten Teilflächen

Es ist deutlich zu sehen, dass die geringfügige Ertragsverbesserung durch eine leichte Verschiebung der geringen Ertragsstufen hin zum mittleren Bereich verursacht wird (Tab. 32, Abb. 153):

Verteilung	Ertrag der Gesamtfläche Verteilung in %	bei pauschaler Düngung gegenüber der Gesamtfläche	bei modulierter Düngung gegenüber der Gesamtfläche
<6 t/ha	0,6	-0,2	0
6-7 t/ha	2,5	-0,2	-0,4
7-9 t/ha	7,7	+1,1	-1,9
9-11 t/ha	30,9	+0,3	-0,7
11-13 t/ha	39,6	-1,4	+4,2
13-15 t/ha	16,6	+0,4	+0,2
>15 t/ha	2,0	0	+0,1

Tab. 32: Verschiebung der Verteilung der Ertragsklassen gegenüber der Verteilung auf der Gesamtfläche

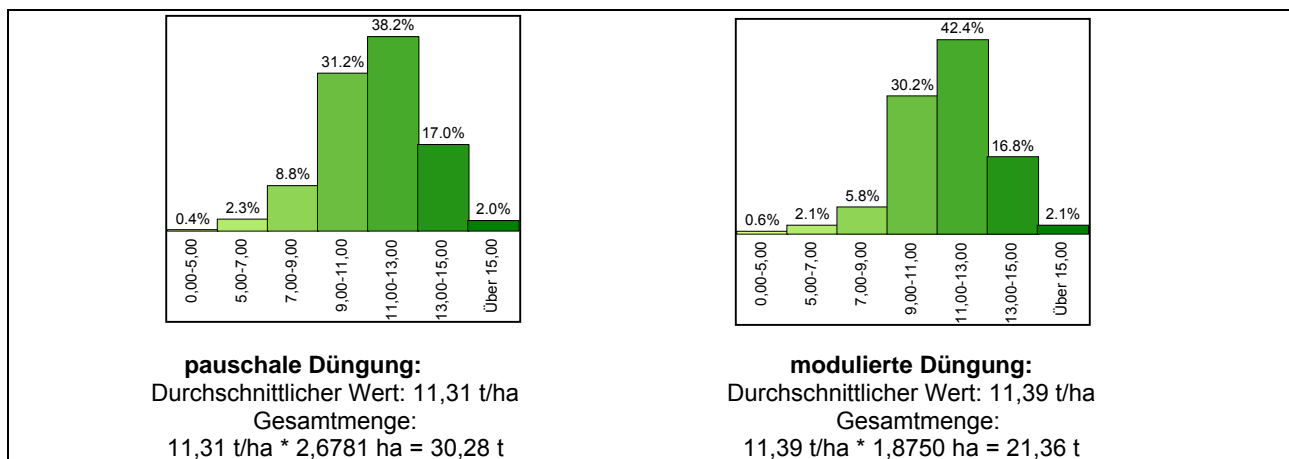


Abb. 153: Klassenverteilung [Ertrag], getrennt nach beiden Behandlungen

Der unter 2.1.2.2 (1) beschriebene exemplarische **Vergleich der Ertragsverteilung mit der zugrundegelegten Ertragserwartung** im Jahr 2003 zeigt folgende Ergebnisse:

Der erzielte Ertrag weicht von der zugrundegelegten Ertragserwartung um etwa 0,5 t/ha ab. Gegenüber einem erwarteten Ertrag von durchschnittlich 11,88 t/ha (unkorrigierte Rohdaten) betrug der reale Ertrag 11,3t/ha. Als Ursache für den (relativ geringen) Minderertrag kommt die extreme Sommertrockenheit im Jahr 2003 in Frage.

Vergleicht man die Verteilung des erzielten Ertrages mit derjenigen der Ertragserwartung, so zeigt sich, dass sich der mittlere Bereich der Ertragsklassen beim realen Ertrag gegenüber denjenigen der Ertragserwartung reduziert und sich systematisch in geringere Ertragsklassen verteilt. Die Verteilungskurve stellt sich flacher und ausgeglichener dar (Tab. 33 und Abb. 154).

Verteilung	Ertrag der Gesamtfläche Verteilung in %	Ertragserwartung auf der Gesamtfläche	Differenz zur Ertragserwartung
<6 t/ha	0,6	0,0	+0,6
6-7 t/ha	2,5	0,0	+2,5
7-9 t/ha	7,7	2,5	+5,2
9-11 t/ha	30,9	18,5	+12,4
11-13 t/ha	39,6	59,9	-20,3
13-15 t/ha	16,6	19,1	-2,5
>15 t/ha	2,0	0	+2

Tab. 33: Verschiebung der Verteilung von Ertrag und Ertragserwartung

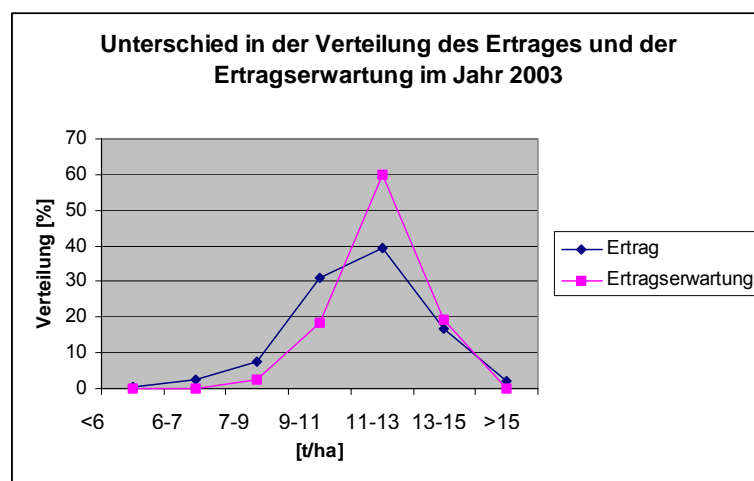
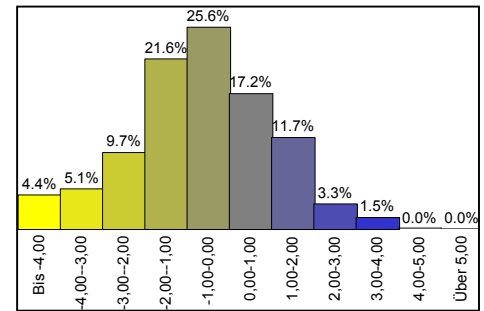
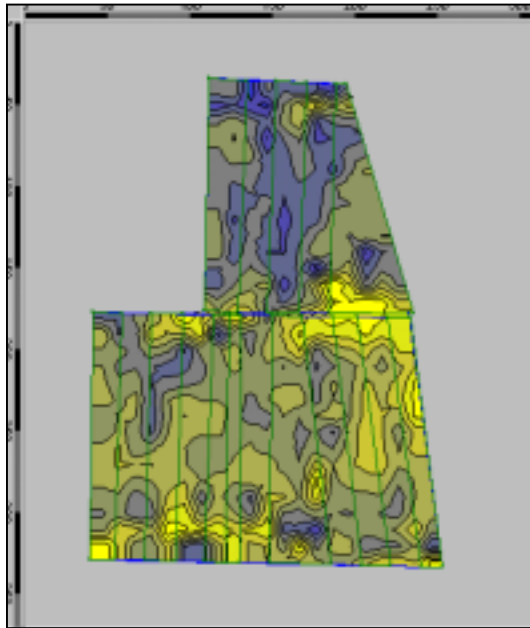


Abb. 154: Unterschiede der Verteilungskurve zwischen Ertrag und Ertragserwartung

Versucht man, die Verteilungen der Ertragserwartung und des Ertrages zu korrelieren, so ergibt sich mit $R^2 = 0,1755$ keine Übereinstimmung. Lediglich ein Bruchteil der Merkmalsausprägungen lassen sich durch eine Regression wiedergeben. Lässt man einen Sicherheitsstreifen von 25m entlang des Schlagendes und des Schlaganfanges außer Betracht, um den Bereich des Vorgewendes als potentielle Fehlerquelle auszuschließen, so führt das zu keiner Verbesserung. Die geringe Korrelation zwischen der Verteilung des Ertrages und der Ertragserwartung kann also nicht auf eine fehlerhafte Erfassung im Bereich des Vorgewendes zurückgeführt werden. Die Verteilungen der Ertragserwartung und des realen Ertrages stimmen also nicht überein (Abb. 155).



Klassengröße 1t/ha
Durchschnittlicher Wert: -0,58

Abb. 155: Differenzkarte (Ertrag und Ertragsersparnis)

Vergleicht man die **Ertragsdifferenz nun nach unterschiedlichen Behandlungen** ergibt sich folgendes Bild:

Der durchschnittliche Ertragsrückgang gegenüber der angenommenen Ertragsersparnis beläuft sich über alle Flächen hinweg auf 0,69 t/ha. Auf den modulierten Flächen selbst ist der Ertrag hingegen lediglich um 0,58 t/ha zurück gegangen, während der Ertragsrückgang auf den herkömmlich gedüngten Behandlungseinheiten gegenüber der Ertragsersparnis 0,76 t/ha beträgt. *Der Rückgang ist also auf den moduliert behandelten Flächen nicht so stark ausgefallen.* Er betrug lediglich 76,3% gegenüber den herkömmlichen behandelten Flächen (100%). Der Ertragsrückgang selbst kann mit der extrem trockenen Witterung im Jahr 2003 begründet werden. [Tabelle 34](#) zeigt die Ertragsdifferenzen gegenüber der Ertragsersparnis in aufgliedert nach unterschiedlichen Behandlungen.

	Moduliert	Herkömmlich	Gesamt	Erwartung
%				
Ertrag 2003 von Ertragsersparnis	95,17	93,67	94,25	100,00
Ertragsdifferenz	-4,83	-6,33	-5,75	0,00
N_{min} [%] von Gesamt	98,08	101,27	100,00	
N_{Gesamt} von Gesamt	99,53	100,32	100,00	

Tab. 34: Ertragsdifferenzen gegenüber der Ertragsersparnis

Außerdem wird deutlich, dass bei der modulierten Behandlungsweise geringfügig weniger Stickstoff im Boden verblieben ist (-0,47%), wenn diese Differenz auch im Bereich natürlicher Streuung liegen kann. Auf den moduliert behandelten Flächen befanden sich nach der Ernte durchschnittlich nur 98,08% N_{min} des Gesamtdurchschnittswertes aller Flächen vor, während der N_{min}-Wert auf den herkömmlich behandelten Flächen gegenüber dem Durchschnitt mit 101,27% leicht erhöht war. Es kann daher zusammengefasst werden, dass die moduliert behandelten

Flächen weder in bezug auf den Ertrag noch in bezug auf N_{\min} keinesfalls schlechter da stehen als die herkömmlich behandelten.

Im Gegensatz zu diesen geringfügigen Differenzen zwischen modulierter und herkömmlicher Behandlungsweise zeigen die Ergebnisse bei **schlagweiser** Gegenüberstellung größere Differenzen (Tab. 35):

Der Ertrag auf Schlag I-01 ist um 11,08% und derjenige von I-02 um 8,08% gegenüber dem Zilertrag reduziert, während der Ertrag auf Schlag I-03 sogar um 4,67% erhöht ist.

Damit sind die Differenzen des Ergebnisses zwischen den einzelnen Schlägen wesentlich stärker ausgeprägt als zwischen den verschiedenen Behandlungen. Schlag I-03 weist dabei ein herausragendes Ergebnis auf. Diese Auffälligkeit bestätigt sich auch durch den optischen Eindruck bei der letzten Begehung vor der Ernte, wobei der Zustand der Flächen in der gleichen Reihenfolge eingeschätzt wurde. Auffällig ist dabei auch, dass bei den beiden Flächen I-01 und I-02 der Ertrag jeweils weit hinter der Ertragserwartung zurück bleibt, während er auf I-03 selbst sogar ansteigt.

%	I-01	I-02	I-03	Ziel
Ertrag vom Zilertrag	88,92	91,92	104,67	100
Ertragsdifferenz	-11,08	-8,08	4,67	0

Tab. 35: Ertragsdifferenz vom Zilertrag, schlagspezifisch differenziert

Der einzige potenziell relevante Unterschied zwischen den Flächen für diesen Effekt könnte darin bestehen, dass Schlag I-03 mit Unterfußdüngung behandelt wurde. Nach einer unabhängig vom hier erzielten Ergebnis gegebenen Aussage des Lohnunternehmers zeigen sich auf den Flächen in der gesamten Umgebung deutliche Unterschiede in Abhängigkeit davon, ob Unterfußdüngung gegeben wurde, oder nicht. Im ersten Fall stünden die Flächen sowohl optisch, als auch im Ertragsergebnis wesentlich besser da (BINDER, 2003 mündliche Mitteilung).

Die positiven Auswirkungen der Unterfußdüngung wurden bereits an anderen Stellen ausführlicher beschrieben.

„Mais ist in unserer Klimazone die Pionierpflanze der Unterfußdüngung, weil der Keimling nur über ein mäßiges Nährstoff-Aneignungsvermögen verfügt“ (www.kemira-growhow.com).

Bei einem Versuch zum Einsatz von wirtschaftseigener Gülle in Mais als Unterfußdüngung und über Schleppschläuche lagen die N_{\min} -Gehalte über das ganze Jahr hinweg niedrig und das auch im Vergleich zu Maisflächen in den Vorjahren auf dem selben Betrieb. Dabei wurden Mehrerträge von 12 bis 14% erzielt (www.leitbetriebe.uni-bonn.de).

„Maispflanzen benötigen erst ab dem 6. bis 8. Blattstadium Nährstoffe in nennenswerter Menge. Der Hauptnährstoffbedarf von Mais liegt in der Zeit von Ende Juni bis Mitte August. In der Jugendphase ist die Wurzelmassenbildung sehr verhalten. Dadurch können in den ersten Entwicklungswochen nur geringe Nährstoffmengen aufgenommen werden. Bei zu intensiver Düngung besteht die Gefahr der Nährstoffauswaschung in tiefere Bodenschichten. Die Düngung sollte deswegen gerade bei Mais an den Bedarf angepasst werden.

Am besten eignet sich hier eine Unterfußdüngung mit leicht verfügbarem Phosphat und Stickstoff in unmittelbarer Pflanzennähe. Der Dünger sollte im Unterfußverfahren, ca. 5 cm entfernt vom Mais Korn abgelegt werden. Bei zu naher Ablage kann es zu Verätzungen des Samenkorns kommen“ (www.dekalb.de/mais/mais_duengung.html).

Als Neben aspekt der Auswirkung der Modulation auf den Ertrag (2), soll an dieser Stelle abschließend die Auswirkung der Modulation auf das Höhenwachstum ergänzend dargestellt werden:

Die Ergebnisse der hierzu durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass die **Höhenverteilung** zum Zeitpunkt der Ernte auf den Flächen sehr ausgewogen und gleichmäßig ist. Es bestehen keine relevanten Korrelationen zwischen der Höhenverteilung zum Erntezeitpunkt und

- der Verteilung des verfügbaren Stickstoffes im Boden
- der Verteilung des verfügbaren Stickstoffes im Frühjahr
- der Verteilung des Mähdruschertrages,
auch unter Ausschluss des Bereiches des Vorgewendes.

Ebenfalls korrelieren nicht

- die Verteilungen der **Höhenzuwächse** der aufeinanderfolgenden Erhebungen und
- die Verteilungen des jeweiligen Zuwachses zwischen herkömmlich und moduliert behandelten Teilflächen.

Auch besteht keine Korrelation zwischen den Höhenverteilungen zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Der Fortschritt des Höhenwachstum verteilt sich im Laufe des Wachstums also völlig unterschiedlich über die Fläche. Allerdings zeigt sich, dass die herkömmlich behandelten Pflanzen über weite Strecken in ihrem Höhenwachstum hinter den moduliert behandelten Pflanzen zurück bleiben. Bei Schlag I-02 nähern sich beide Behandlungen am Ende wieder aneinander an. In Schlag I-01 ist das Höhenwachstum bei herkömmlicher Behandlungsweise zunächst besser als bei der modulierten. Gegen Ende der Wachstumsphase dreht sich diese Situation aber um ([Abb. 156](#)).

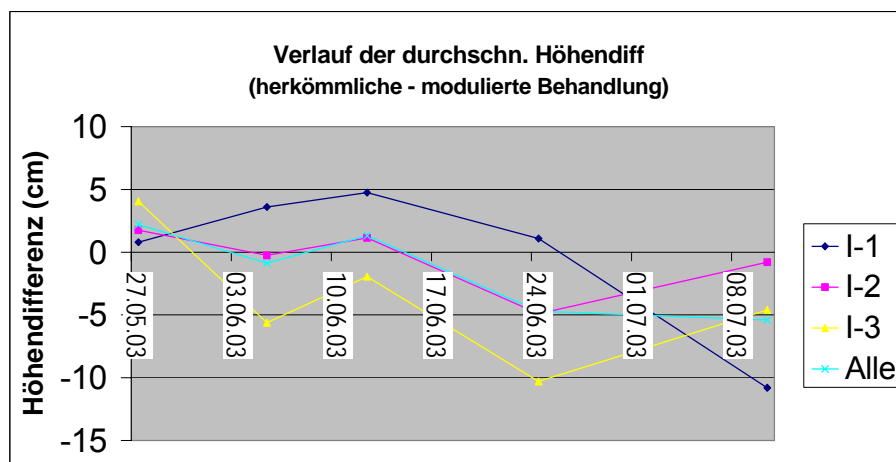


Abb. 156: Höhendifferenzen zwischen herkömmlicher und modulierter Behandlung an den verschiedenen Erhebungszeitpunkten

Es kann zusammengefasst werden, dass das Höhenwachstum bei den moduliert behandelten Schlägen insgesamt stärker verläuft (Negative Werte in [Abb. 156](#)). Ermöglicht wurde die Auswertung durch Höhenmessungen an benachbarten Messpunkten in den unterschiedlichen Behandlungstreifen der Schläge. Die Daten wurden von der Uni Hohenheim zur Verfügung gestellt.

[Abbildung 157](#) zeigt die durchschnittlichen Höhendifferenzen als Beträge. Auch hier wurde die Höhe der moduliert behandelten Pflanzen von der Höhe der herkömmlich behandelten Pflanzen

abgezogen. Es ergibt sich ein Maß der tatsächlichen Höhendifferenzen zwischen den beiden Behandlungen, wodurch deutlich zu sehen ist, dass die Höhenunterschiede im Verlauf des Wachstums abnehmen.

Die größte Differenz zwischen den herkömmlich und den moduliert behandelten Pflanzen bestand zu Beginn in Schlag I-01, die geringste in Schlag I-02. Am Ende besteht der größte Unterschied in Schlag I-03 und der geringste in I-02.

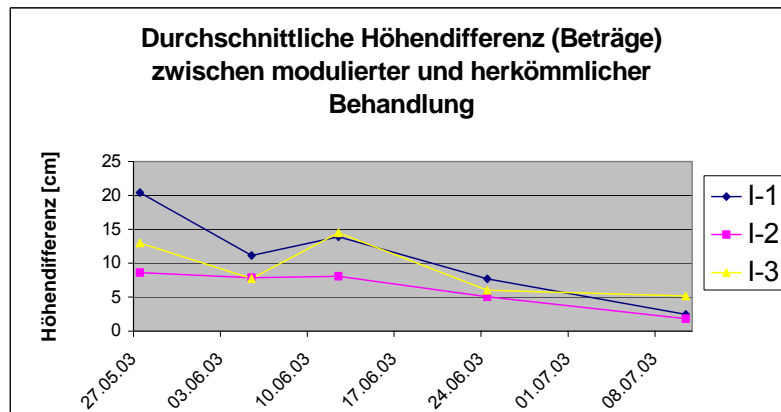


Abb. 157: Beträge der Höhendifferenzen zwischen herkömmlicher und modulierter Behandlung zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten

Schließlich zeigt sich, dass auch die Verteilung der Pflanzenhöhe zwischen aufeinanderfolgenden Terminen nicht in Zusammenhang steht, sondern sich unabhängig von Schlag und Behandlung verändert. Eine Ausnahme ist in Schlag I-03 bei herkömmlicher Behandlungsweise gegeben: Beim Vergleich zwischen dem 12.06 und dem 24.06 beträgt das Bestimmtheitsmaß R^2 0,75 (lineare Regression) bzw. 0,83 (polynomische Regression). In diesem Zeitraum hat sich die Höhenverteilung auf dem herkömmlich behandelten Untersuchungsstreifen also nur wenig verändert.

Aus den durchgeführten Untersuchungen zur Auswirkung der Modulation auf den Ertrag lässt sich folgendes zusammenfassen:

- über alle Flächen hinweg zeigt die modulierte Behandlungsweise einen geringfügig besseren Ertrag als die herkömmliche Behandlungsweise
Wenn sich die Differenz auch im Rahmen einer gewöhnlichen Streuung bewegen könnte, darf formuliert werden, dass die moduliert behandelten Flächen keinesfalls schlechter da stehen.
- Die Verteilung des Ertrages korreliert nicht mit derjenigen der Ertragserwartung auch nicht, wenn man den Bereich des Vorgewendes als potenzielle Fehlerquelle unberücksichtigt lässt
- Der reale Ertrag erreicht nicht die angenommene Ertragserwartung (extrem trockener Sommer)
- Der Ertragsrückgang gegenüber der Ertragserwartung ist auf den moduliert behandelten Flächen geringer (genauso wie der Verbleib von Reststickstoff im Boden)
- Die Ertragsdifferenzen zwischen den Schlägen sind wesentlich höher, als zwischen den unterschiedlichen Behandlungen

Dabei dürfte der Unterfußdüngung in einem der drei Schläge eine maßgebliche Bedeutung zukommen.

- Als Nebenaspekt zeigt sich, dass das Höhenwachstum der herkömmlich behandelten Pflanzen über weite Strecken hinter den moduliert behandelten Pflanzen zurück bleibt.

Hieraus darf gefolgert werden, dass die Modulation der Betriebsmittel geringfügig bessere Auswirkungen auf Wachstum und Ertrag ausübt, als die herkömmliche Behandlung.

Die Differenzen könnten in ihrer geringfügigen Höhe bei sehr kritischer Betrachtung auch mit üblichen Schwankungen begründet werden.

Bei keiner der Untersuchungen fällt das Ergebnis der modulierten Behandlung aber gegenüber der herkömmlichen Behandlung schlechter aus. Als Minimalkonsens darf daher festgestellt werden, dass sich die moduliert behandelte Behandlung im Ertrag keinesfalls schlechter auswirkt.

Zu beachten ist bei den beschriebenen Untersuchungen allerdings, dass sowohl die modulierten, als auch die herkömmlichen Behandlungen nach der guten fachlichen Praxis ermittelt wurden und im hier beschriebenen Versuchsjahr 2003 ohne Mindestmengenvorgabe appliziert wurde. Insbesondere in Schlag I-02 wurde daher erheblich weniger Stickstoff gedüngt, als dies in der Praxis der Fall gewesen wäre.

Bei angemessener Beurteilung der Modulationsmaßnahme darf dieser Sachverhalt nicht unberücksichtigt bleiben. Das erfreuliche Ertragsergebnis bei Anwendung der Modulation ist also direkt mit einer Einsparung von Betriebsmitteln verknüpft (3).

Auch sollte also angemessen wahrgenommen werden, dass eine massive Reduktion des Betriebsmitteleinsatzes (Stickstoff) in Schlag I-02 sich weder im absoluten Ertragsergebnis, noch im Vergleich mit den beiden anderen Versuchsflächen negativ ausgewirkt hat.

(3) Auswirkung der Modulation auf die Höhe der Düngung

Alle durchgeführten Versuche zur Modulation der Stickstoffdüngung im Kartieransatz waren auf eine bedarfsgerechte Verteilung einer nach der „guten fachlichen Praxis“ vorgegebenen Applikationsmenge ausgelegt. Die Modulationsmaßnahmen wirkten sich daher zwar auf die teilflächenspezifische Anpassung der Düngung aus, nicht aber auf die Höhe der Düngung unter schlagspezifischer Betrachtung.

Die Auswirkung auf die Höhe der Düngung war also nur aus teilflächenspezifischer Betrachtungsweise heraus gegeben. Dennoch bleibt die Frage offen, ob und inwiefern die Düngemenge durch Verfahren der Modulation der Betriebsmittel gegenüber herkömmlich pauschaler Applikationen beeinflusst wird.

Wenn auch bei der Vorgehensweise im Kartieransatz keine Auswirkung auf die Höhe der Stickstoffdüngung gegeben ist, weil durch die Modulation die identisch berechnete Düngemenge pro Schlag gegenüber einer herkömmlichen Behandlung lediglich bedarfsgerecht verteilt wird, ergeben sich hierdurch doch interessante Nebenaspekte:

Die Applikationsmaßnahme im Versuchsjahr 2003 wurde *ohne Berücksichtigung einer Mindestmenge* durchgeführt. Durch das hohe N_{\min} Vorkommen im Frühjahr auf Schlag I-02 wurde hierdurch unter schlagweiser Betrachtung insbesondere im Schlag I-02 erheblich weniger Stickstoff gedüngt, als dies in der realen Praxis bei herkömmlich undifferenzierter Ausbringung der Fall gewesen wäre, selbst wenn die Berechnung ebenfalls nach der guten fachlichen Praxis stattgefunden hätte. Es wird daran erinnert, dass diese Minderausbringung zu keinerlei Ertragsrückgang geführt hat (Kapitel 3.2.3(2)).

Die Stickstoffeinsparung auf Schlag I-02 betrug im Jahr 2003 49,73% alleine dadurch, dass die übliche Mindestmengenvorgabe vor Ort keine Berücksichtigung fand. Die Berechnung nach der „guten fachlichen Praxis“ ergab durchschnittlich 50,27 kg Harnstoff/ha. Bei diesem Berechnungsergebnis sind die negativen Applikationswerte der Teilflächen, bei denen sich aufgrund von zu hohem N_{\min} im Boden negative Applikationswerte ergeben haben, bereits auf Null gesetzt worden. Innerhalb einer Modulationsmaßnahme würde unter der gegebenen Vorgehensweise vor Ort vom Lohnunternehmer aber mindestens 100 kg Harnstoff /ha ausgebracht werden, so wie das in den Folgejahren schließlich auch praktiziert worden ist.

Unter der gegebenen Voraussetzung, dass der Wert für N_{\min} repräsentativ erfasst wurde, ist diese berechnete Applikationsmenge sowohl für eine Modulation der Betriebsmittel als auch für eine herkömmliche, durchschnittlich, pauschale Applikation identisch. Lediglich die Verteilung auf der Fläche ist bei der Modulationsmaßnahme bedarfsgerecht angepasst und führt auch unter teilflächenspezifischer Sichtweise nicht zu Über- oder Unterversorgung.

Unterstellt man, dass aufgrund einer einzigen Stichprobe pro Schlag die Höhe von N_{\min} aber nicht repräsentativ erfasst wurde und geht von dem Fall aus, dass bei der Berechnung der Minimumwert für N_{\min} eingeflossen ist (188kg N/ha), so ergibt sich nach der „guten fachlichen Praxis“ eine Applikationshöhe von 75,31kg Harnstoff/ha. Dies entspricht etwa 150% des Applikationswertes einer Berechnung unter repräsentativer Berücksichtigung von N_{\min} , wäre aber gegenüber einer Mindestmengenapplikation von 100 kg Harnstoff/ha immer noch eine Einsparung von 25%, wenn dabei auch insgesamt schon zuviel appliziert worden wäre.

Würde aufgrund nur einer Stichprobe auf Schlag I-02 versehentlich der Maximumwert für N_{\min} einfließen (250 kg N/ha), so ergäbe die „Berechnung nach der guten fachlichen Praxis“ einen Applikationswert von $-8\text{ kg Harnstoff/ha}$, was einer Ausbringung von 0 kg Harnstoff/ha entspricht. Das wären 0% der mit dem repräsentativen Mittelwert berechneten Variante und eine 100prozentige Einsparung, die aber umgekehrt gegenüber einer korrekten teilflächen-spezifischen Applikation einen Mangel von durchschnittlich 50,27 kg Harnstoff/ha bedeuten würde (Tab. 36).

Eingangsgrößen	Durchschnittliche Harnstoffapplikation nach „guter fachlicher Praxis“				
	N_{\min} repräsentativ [kg Harnstoff/ha]	N_{\min} Minimumwert [kg Harnstoff/ha]	N_{\min} Minimum % von N_{\min} repräsentativ	N_{\min} Maximumwert [kg Harnstoff/ha]	N_{\min} Maximum % von N_{\min} repräsentativ
Berechnungsergebnis	50,27	75,31	149,81%	0	0%
Mindestmenge	100	100	100,00%	100	100,00%
Einsparung	49,73	24,69	49,6%	0	0%

Tab. 36: Einsparungspotenzial durch differenziertere Erfassung der Eingangsparameter der Modulationsmaßnahme und Ignorieren der Mindestmengenvorgabe

An diesem Beispiel sehr hohen N_{\min} -Gehaltes im Boden (Schlag I-02) sollen mögliche Größenordnungen der Schwankungen für die Veränderlichkeit der Applikationsmenge gezeigt werden. Dabei ist der entscheidende Punkt, dass durch ein Modulationsverfahren die Ausgangssituation differenzierter erfasst werden kann, was zu einer genaueren Applikation führt. Weil Schätzungen von Mindestmengenvorgaben entfallen können, ergibt sich an Stellen geringen Düngedarfes (hohe N_{\min} -Werte im Boden) das eigentliche Einsparpotenzial. Beim gegebenen Beispiel mit sehr hoher Verfügbarkeit von N_{\min} im Boden, konnte ohne Einschränkung im Ertrag die Hälfte des sonst aufgrund von Mindestmengenvorgaben sicherheitshalber applizierten Düngers eingespart werden.

Dieser Wert kann aber aufgrund seiner Abhängigkeit von den gegebenen Ausgangsbedingungen nicht beliebig auf andere Situationen übertragen werden. Er zeigt aber doch, dass ein großes Einsparpotenzial gegeben ist, wenn grob geschätzte Vorgabewerte (Mindestmenge) durch präzise erfasste Ausgangsdaten ersetzt werden, wie es durch den Einsatz des Kartierverfahrens praktiziert wurde.

Ergeben sich Mehraufwendungen im Ertrag sind diese aber begründet und notwendig und nicht als Fehlkosten der Modulationsmaßnahme einzuschätzen, sondern als aufgedeckter Investitionsbedarf.

Würde ein Lohnunternehmer nun ohne Berücksichtigung von Modulationsverfahren mit Mindestmengenvorgaben pauschal mit einem Durchschnittswert düngen, würde sich das Ergebnis noch wesentlich extremer gestalten, da der zu applizierende Durchschnittswert höher als die Mindestmengenvorgabe ausfallen würde. Als Applikationswert wären unter den gegebenen Bedingungen 150 kg Harnstoff/ha sicherlich eine angemessene Annahme für praxisrelevantes Vorgehen unter den gegebenen Bedingungen. Am vorliegenden Beispiel wäre durch eine repräsentative Erfassung von N_{\min} und entsprechend angepasster Applikation unter diesen Voraussetzungen sogar ein Einsparungspotenzial von 66,49% gegeben (Tab. 37).

Werden zur Modulation der Betriebsmittel nun keine Kartierverfahren (offline) sondern Online-Verfahren eingesetzt, so kommt des Einsparpotenzial unterschiedlich zustande. Im Gegensatz zu den durchgeführten Kartierverfahren berechnet sich die Applikationsmenge nicht

Eingangsgrößen	Durchschnittliche Harnstoffapplikation nach „guter fachlicher Praxis“				
	N _{min} repräsentativ [kg Harnstoff/ha]	N _{min} Minimumwert [kg Harnstoff/ha]	N _{min} Minimum % von N _{min} repräsentativ	N _{min} Maximumwert [kg Harnstoff/ha]	N _{min} Maximum % von N _{min} repräsentativ
Berechnungsergebnis	50,27	75,31	149,81%	0	0%
Praxis	150	150	100,00%	150	100,00%
Einsparung	66,49%	50,21%	75,52%	0	0%

Tab. 37: Einsparungspotenzial durch differenziertere Erfassung der Eingangsparameter der Modulationsmaßnahme und Ignorieren der Mindestmengenvorgabe

mit der gleichen Methode. Das Einsparpotenzial entsteht daher nicht nur durch die Berücksichtigung der Überschätzung von Mindestmengen, sondern in der Applikationsmengenberechnung selbst.

Da der Versuch mit dem Online-Sensor „Cropmeter“ aber abgebrochen werden musste und daher keine alternative Applikationskarte nach einem Online-Verfahren ermittelt werden konnte, ist es an dieser Stelle unmöglich, die Höhe der Auswirkung der Modulation mit Hilfe dieses Verfahrens beispielhaft zu ermitteln.

Allerdings wird deutlich, dass durch die Art der Applikationsermittlung während der Überfahrt im Vorfeld keine Einschätzung der Applikationsmenge möglich ist. Damit ist auch nicht bekannt, welche Menge an Betriebsmitteln mitzuführen sind. Hat man allerdings die Größe der zu bearbeitenden Gesamtfläche eines Lohnunternehmens vor Augen, so dürfte diese Problematik erst am Ende aller Düngemaßnahmen bedeutsam werden. Bis zu diesem Zeitpunkt, wird die Menge aber auch aufgrund der gemachten Erfahrungen grob einzuschätzen sein.

Neben diesen Gedanken aus den gemachten Versuchen heraus, werden auch in der **Literatur** werden Einsparpotenziale genannt:

KERSCHBERGER E, KERSCHBERGER M und LEITHOLD P. (2004) berichten von 1,4 bis 2,6% Mehrertrag durch die variable Grunddüngung gegenüber der konstanten Düngemaßnahme. Gleichzeitig schildern sie enorme Ertragszuwächse von 6-12% bei der variablen Düngung in bestimmten Bodengüteklassen.

KERSCHBERGER M. und LEITHOLD P. (2005) berichten von einer Reduktion der N-Bilanz um mindestens 10 kg N/ha, meistens jedoch etwa 30-40 kg N/ha. Sie geben bei variabler Düngung einen Mehrertrag von 3-4% an. In einem anderen Versuch sind es 6% Mehrertrag bei 11% geringerem N-Einsatz und einer Rohproteinsteigerung um 0,6%. Darüber hinaus erwähnen sie die positive Beeinflussung der Druschleistung in der Größenordnung von 15-20%.

GANDORFER M. und HEIßENHUBER A. (2003) kommen in 11 Streifenversuchen zur Stickstoffdüngung im Winterweizen zu dem Ergebnis, dass beim Online-Einsatz ein Vorteil von 13€/ha und beim Mapping-Ansatz ein Nachteil von -5 €/ha besteht. Sie folgern, dass die Erwartungen aus ökonomischer Sicht sehr hoch sind, aber in vielen Fällen heute nicht erfüllt werden können.

FEIFFER A. (2003) erzielt in Untersuchungen 12-18% verbesserte Mähdrescherleistungen bei differenziert ausgebrachten Stickstoff Düngervariante gegenüber einer konstanten Applikation.

In einem Großversuch wurde gezeigt, dass jeder Landwirt bis zu 120€/ha beim Mähdrusch einsparen könne.

TRUNK K. (2003) berichtet, dass es mit Hilfe der Präzisionslandwirtschaft nicht nur möglich ist zu erkennen, wo gezielt eingespart werden kann, sondern auch wo im Sinne einer Stickstoff-Aufdüngung investiert werden kann. Mehrausgaben der Präzisionslandwirtschaft, sofern sie mit reiner Düngeinvestition zu tun haben, müssen daher nicht einfach nur ineffektive erhöhte Kosten sein. Unter Umständen kann es sich dabei auch um notwendige Investitionskosten handeln, die man sonst vernachlässigt hätte. Die Kostenrechnung darf daher nicht nur Einsparungen, sondern auch das Aufdecken gezielter Investitionen erwarten.

SCHWARZ J., KERSEBAUM Chr., WENDROTH O. und REUTER H. (2003) berichten von Einsparungen bei der Stickstoffdüngung von 40kg/ha und 41kg/ha bei teilflächenspezifischen Stickstoffdüngungen.

Die BAUERNZEITUNG (2004) berichtet davon, dass bis zu vier Dezitonnen Mehrertrag durch teilflächenspezifische Düngung möglich sei.

RECKLEBEN Y. (2003) hat Ergebnisse von Mehrerträgen bis zu 10dt/ha und verbessertem Proteingehalt von +0,4% bei den besten teilflächenspezifischen Versuchsvarianten.

KLOEPFER F. schildert in DLG-MITTEILUNGEN (11/2003), dass positive Effekte der Stickstoffdüngung im Einzelfall sich schon in kurzer Zeit bezahlt machen können.

dlz (5/2004) stellt fest, dass homogene Bestände den Gewinn steigern.

EHLERT D. (2004) schildert eine Einsparung von 13kg Stickstoff/ha beim Einsatz des Pendelsensors durch die teilflächenspezifische Verteilung der ausgebrachten Düngermenge.

TRAPHAN K. und RECKLEBEN Y. (2005) berichten von Ertragssteigerungen um 5dt/ha und einer Steigerung von 1 % des Proteingehaltes durch den Einsatz des YARA N-Sensors

LANDPOST (2005) berichtet von einem Mehrertrag von 3-4% bei gleichem Stickstoffaufwand unter Verwendung des YARA N-Sensors. In einem zweiten Versuch lag der Mehrertrag bei 7% wobei der N-Einsatz 14% geringer war.

Eine bedarfsorientierte Stickstoff-Düngung führt bei geringerer Aufwandmenge auch nach RADEMACHER J. (2004) zu gleichen Erträgen und Qualitäten wie die konstante Ausbringung mit mehr Stickstoff.

Es darf zusammengefasst werden, dass unter entsprechenden Rahmenbedingungen enorme Einsparpotenzial durch die Modulation der Stickstoffdüngung gegeben sind. Das reale Ergebnis ist aber von vielfältigen Faktoren abhängig und nicht spontan auf jeden Schlag zu übertragen. Der ökonomische Nutzen muss für jeden Betrieb neu betrachtet werden. Dabei gilt zu beachten, dass ein Mehraufwand an Stickstoff eine notwendige Investition sein kann.

Als erstes Teilergebnis zum **Einfluss der Modulationsmaßnahme nach dem Wachstumsmodell „Apollo“ auf die Höhe der Düngung** kann die Differenzkarte zur Düngung nach der guten fachlichen Praxis angesehen werden. Zum Berichtszeitpunkt Anfang November war der Mähdrusch 2005 noch nicht durchgeführt, weshalb ein Vergleich mit den Ertragsdaten nicht stattfinden konnte.

Die Differenzkarte ([Abb. 158](#)) stellt das Ergebnis einer Subtraktion der Applikationswerte nach der Berechnung entsprechend der „guten fachlichen Praxis“ von derjenigen nach „Apollo“ (Applikation „Apollo“ – Applikation „gute fachliche Praxis“) dar. Die Karte zeigt, in welchen Bereichen die Düngung nach „Apollo“ größer ausgefallen wäre, als nach der „guten fachlichen Praxis“.

In Schlag I-02 (südwestlich) bestehen Abweichungen auf den kleinsten Teilflächen von bis zu ± 15 kg N/ha, was vertretbar ist. Ausnahmsweise betragen sie bis zu -30 kg N/ha. Hier hätte die Maßnahme nach Apollo gegenüber der guten fachlichen Praxis zu wenig Dünger ausgebracht. Die Ursache besteht dabei in einer Delle der N_{\min} -Verteilung in der Mitte des westlichen Schlagrandes ([Abb. 158](#)).

Bei Schlag I-03 bewegt sich die Differenz in einem weiten Bereich zwischen $+10$ und -15 kg/ha N. Ausnahmsweise gibt es zwei Bereiche, in denen die Differenz auf -45 kg/ha bzw. $+60$ kg/ha N zunimmt, was erheblich ist ([Abb. 158](#)). Die Ursache hierfür besteht nicht in einer besonderen Unregelmäßigkeit bei der Apollo Berechnung, sondern vielmehr in kleinen Bereichen mit erhöhter Abweichung des N_{\min} -Wertes vom Bereich sonst. Nach Aussage des Bodenprobennehmers gibt es in dem Schlag 2 Bereiche, die nicht unbedingt repräsentativ sind, da der zu beprobende Rasterpunkt im Bereich sich kreuzender Pflanzreihen liegt.

Es sei daran erinnert, dass diese Abweichungen zwischen den beiden Berechnungsarten aber wesentlich geringer ausfallen, wenn sie nicht für die kleinsten Teilflächen, sondern auf Schlagebene betrachtet werden.

Die Ursache für die Abweichungen auf der Ebene kleinster Teilflächen liegt im unterschiedlichen Zustandekommen bei der Bildung der kleinsten Teilflächen.

Während nach „Apollo“ im Vorfeld kleinste regelmäßige Teilflächen definiert wurden, entstehen sie nach der „guten fachlichen Praxis“ durch Interpolation und sind sehr unregelmäßig.

Hier ist zu erwähnen, dass eine Düngung einer solch kleinflächigen Struktur mit einem Düngestreuer gar nicht umsetzbar ist.

Der Vergleich berücksichtigt die errechneten Messwertkarten als maximal mögliche Differenzierung. Die unter Berücksichtigung der Streubreite von 18m abgeleitete maschinenlesbare Sollwertkarte wäre aber wesentlich gröber. Die kleinflächigen Differenzen beim Applikationswert in der entsprechenden Differenzkarte wären daher in ihren Extremen bei einer realen Umsetzung nicht so stark ausgeprägt, wie anhand der Applikationskarte dargelegt.

Interessant ist schließlich, dass die durchschnittlichen Werte aus der Differenzkarte von $-2,53$ (Schlag I-01) und $-8,63$ (Schlag I-02) sich in sehr engem Rahmen bewegen. Das verdeutlicht, dass beide unabhängigen Verfahren mit ihrer unabhängigen Berechnung doch sehr nahe beieinander liegen, was die Vertrauenswürdigkeit in das Verfahren stärkt. Diese Tatsache wurde auch als Bestätigung des Plausibilitätstest für die Berechnung nach „Apollo“ angesehen, was

zur Entscheidung geführt hat, im Jahr 2005 die Applikation mit diesem Verfahren auch in der Praxis durchzuführen.

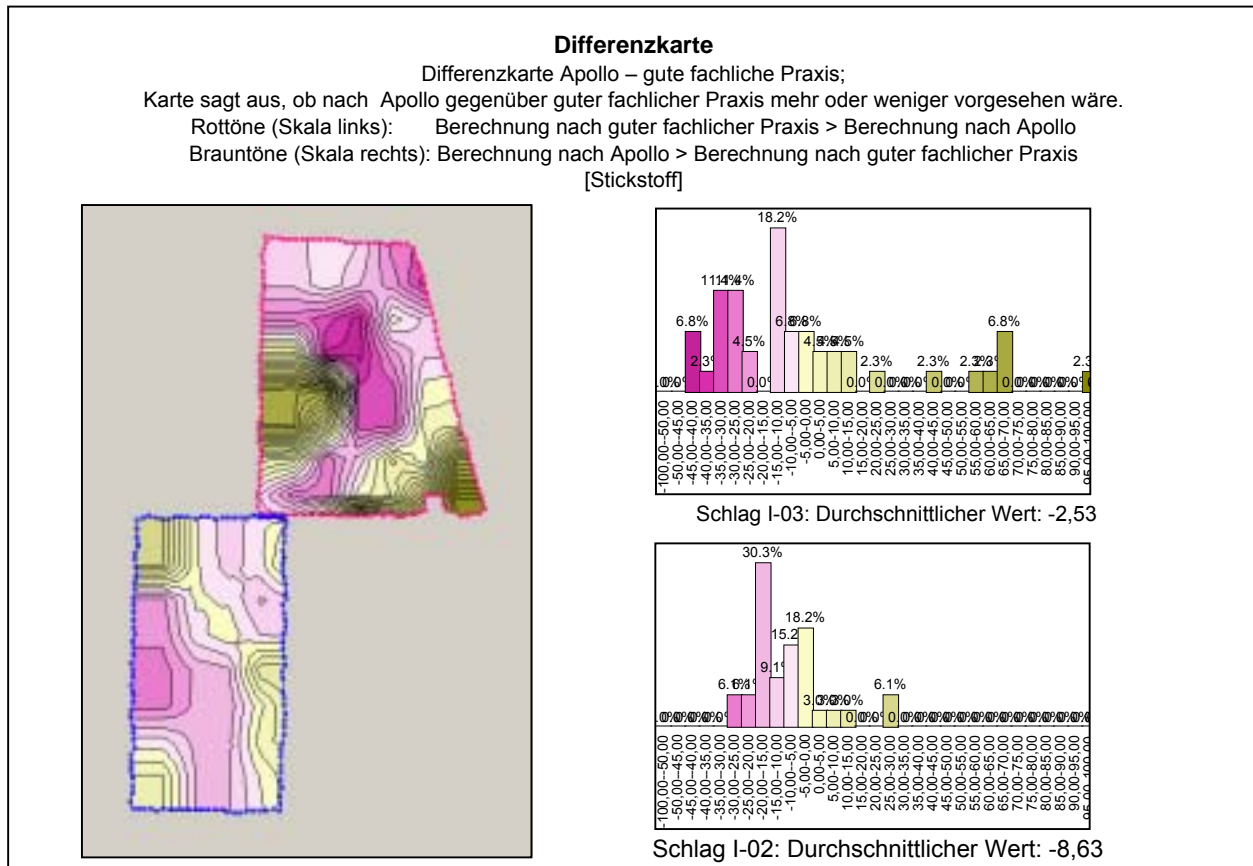


Abb. 158: Differenzkarte (Applikation „Apollo“ – Applikation „gute fachliche Praxis“) der komplett berücksichtigten Schläge I-02 und I-03; feiner aufgelöst

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass unterschiedliche Verfahren der Modulation der Betriebsmittel unterschiedliche Applikationshöhen bewirken. Beim Vergleich der beiden Kartierverfahren, einerseits durch Berechnung nach der guten fachlichen Praxis und andererseits durch Integration der Wachstumssimulation „Apollo“ zeigt eine Differenzkarte deutliche Unterschiede. Diese Unterschiede halten sich allerdings in weiten Bereichen in vertretbarem Rahmen und sind geringer als die Unterschätzung eines erfahrenen Lohnunternehmers bezüglich der Mindestmengenapplikation. Größere Abweichungen sind in kleinflächigen Unregelmäßigkeiten gegeben, die in der Wachstumssimulation mit größeren „kleinsten Teilflächen“ keine Berücksichtigung finden. Berücksichtigt man, dass auch ein Düngerstreuer durch die resultierende eigentliche Applikationskarte diese kleinsten Teilflächen nicht berücksichtigen kann (Streubreite), werden diese größeren Differenzen zwischen beiden Verfahren bei der letztendlichen Anwendung stark angeglichen und damit in weitem Bereich unerheblich und vernachlässigbar.

(4) Stickstoffbilanz bei Modulation (Umweltverträglichkeit)

Weil der Versuchsablauf im Versuchsjahr 2003 im Gegensatz zu den anderen Versuchen nicht durch außerplanmäßige Maßnahmen gestört wurde, wird dieses Jahr zur Untersuchung der Bilanzierung des Stickstoffs herangezogen. Dabei ist es möglich

- die absolute Höhe der Stickstoffwerte, sowie
 - die Verteilung des Stickstoffs
- nach den beiden durchgeführten Behandlungen (modulierte und herkömmliche Applikation) getrennt zu betrachten. Entsprechend der Versuchsanlage kann hierzu die Bilanzierung für jeden Rasterpunkt einzeln vorgenommen werden. Es ist dadurch möglich, die Bilanzierung teilflächenspezifisch durchzuführen.

Zur Bilanzierung wurden folgende Ausgangsdaten ermittelt:

- die Höhe von N_{min} aus Bodenprobe vom 19.05.2003
- die Höhe der N-Zugabe bei der Grunddüngung in Schlag I-01
- die Höhe der N-Zugabe bei der Stickstoffdüngung (moduliert und herkömmlich) vom 04.06.2003
- die Höhe des N-Entzugs (Korn) beim Mähdrusch 09.09.2003
- die Höhe des N-Entzugs (Stroh) beim Mähdrusch 09.09.2003
- die Höhe von N_{min} aus der Bodenprobe 20.09.2003 (nach Mähdrusch)

Abbildung 159 zeigt die Variabilität der Parameter über alle drei Versuchsflächen hinweg:

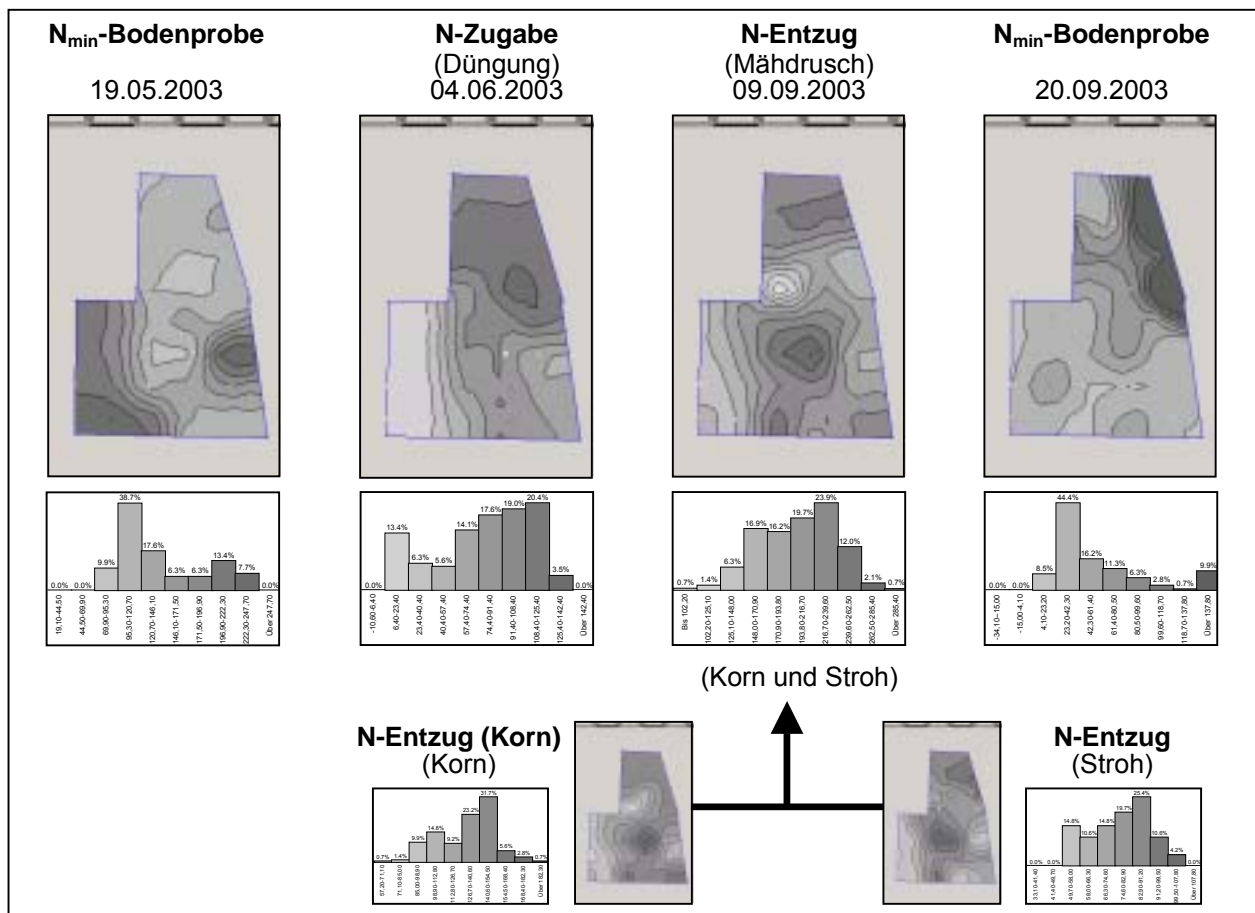


Abb. 159: Variabilität der Eingangsparemeter für die Stickstoffbilanzierung

Es soll in Erinnerung gerufen werden, dass bei der N_{\min} -Beprobung vom Herbst (20.09.2003) am nordöstlichen Rand Einflüsse vom Nachbargrundstück vermutet werden.

Unter Verwendung dieser Daten lassen sich verschiedene Bilanzierungen der Stickstoffdynamik durchführen.

Die einfachste und überschaubarste Variante ist die reine **Bilanzierung aufgrund von Zugabe und Entzug ohne Berücksichtigung der Ausgangssituation und des Endzustandes**.

Diese Bilanzierung berechnet sich nach der Formel in [Abbildung 160](#).

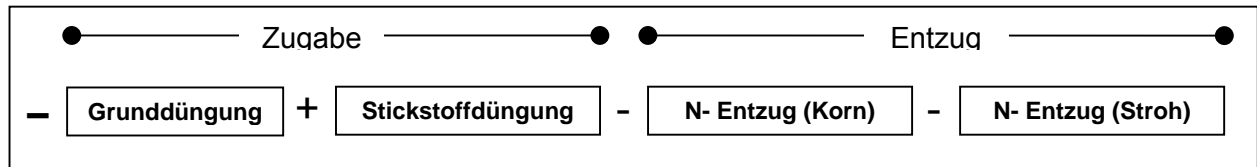


Abb. 160: Bilanzierung unter Berücksichtigung von Zugabe und Entzug

[Abbildung 161](#) zeigt die teilflächenspezifische Verteilung dieser Bilanz auf den Versuchsflächen.

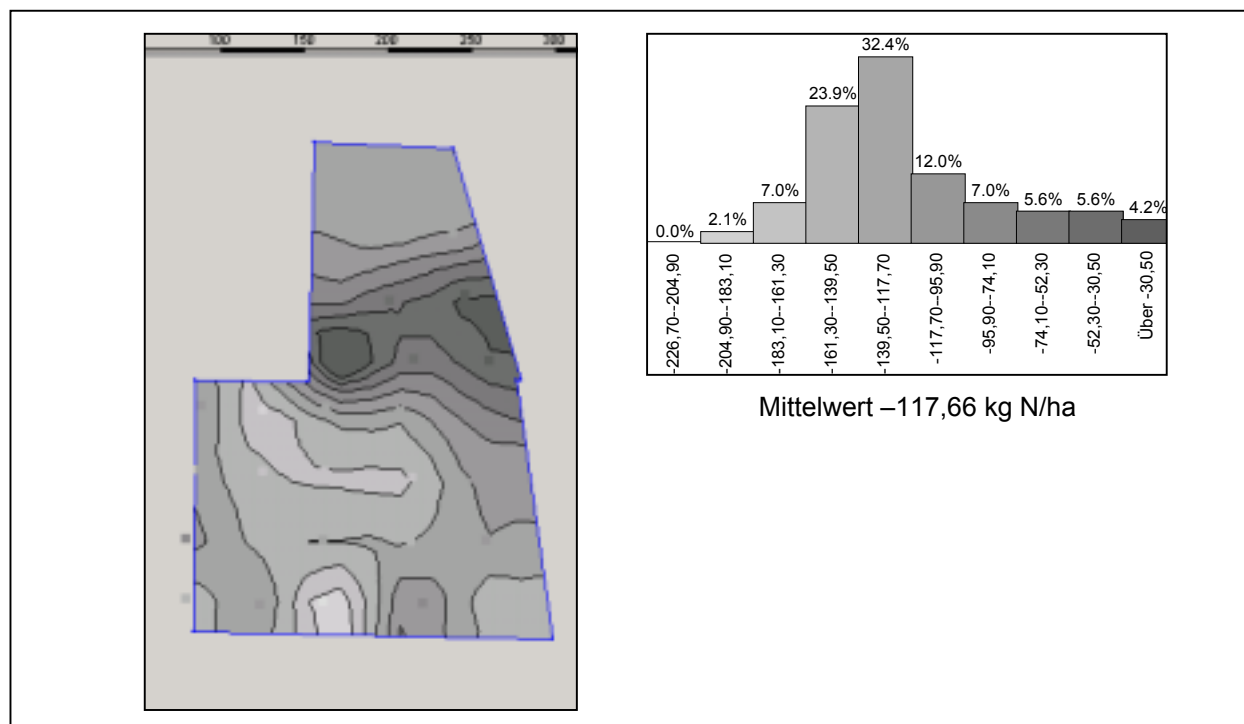


Abb. 161: Teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzierung mittels Zugabe und Entzug

Es ist zu sehen, dass sich die Klassenverteilung durchschnittlich im negativen Bereich um -118 kg N/ha abspielt. Es wurde durch die landwirtschaftliche Maßnahme also wesentlich mehr Stickstoff entzogen, als hinzugegeben wurde. Das ist korrekt, da bei dieser Art der Bilanzierung der bereits vorhandene Stickstoff unberücksichtigt bleibt.

Die Menge des zu Beginn bereits vorhandenen Stickstoffs müsste also in der Höhe etwa diesem negativen Betrag entsprechen, um in der Bilanzierung die Höhe des Stickstoffs zur Ausgangssituation vollständig zu „verbrauchen“. Dabei ist ein Sicherheitszuschlag zu akzeptieren. Dies entspricht der Situation. Die Maßnahme kann insgesamt als angemessen beurteilt werden:

Der Durchschnittswert von N_{min} beträgt im Frühjahr 2003 146 Kg N/ha. Die Bilanzierung von Zugabe und Entzug beträgt damit im Mittel 81% des maximal möglichen Betrages, der von dem vorhandenen verfügbaren Stickstoff im Boden abzugsfähig ist. Das bedeutet, dass knapp 20% des ursprünglichen Betrages von Stickstoff nach Abschluss der landwirtschaftlichen Maßnahmen im Boden verbleiben (Tab. 38). [Abbildung 163](#) zeigt die Variabilität dieser Bilanzierung unter Einbeziehung des Ausgangswertes (N_{min} Frühjahr) auf den Schlägen. Diese Bilanz errechnet sich nach der Formel in [Abbildung 162](#).

Durchschnittswerte	Frühjahr 2003	Bilanz Zugabe-Entzug	Rechnerischer Verbleib
[kg N/ha]	146	-118	28
Prozent	100%	81%	19%

Tab. 38: Bilanzierung der Durchschnittswerte

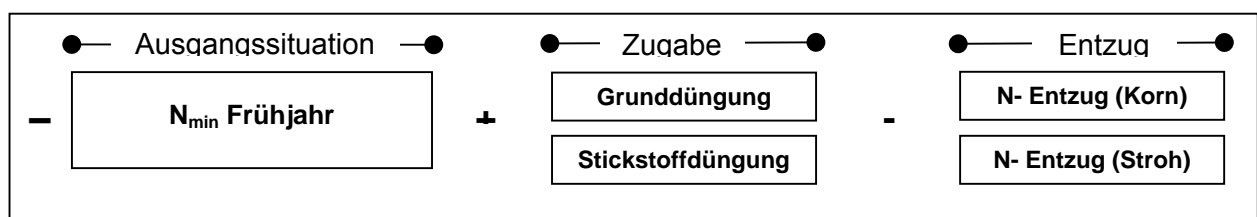


Abb. 162: Bilanzierung unter Berücksichtigung von Zugabe und Entzug

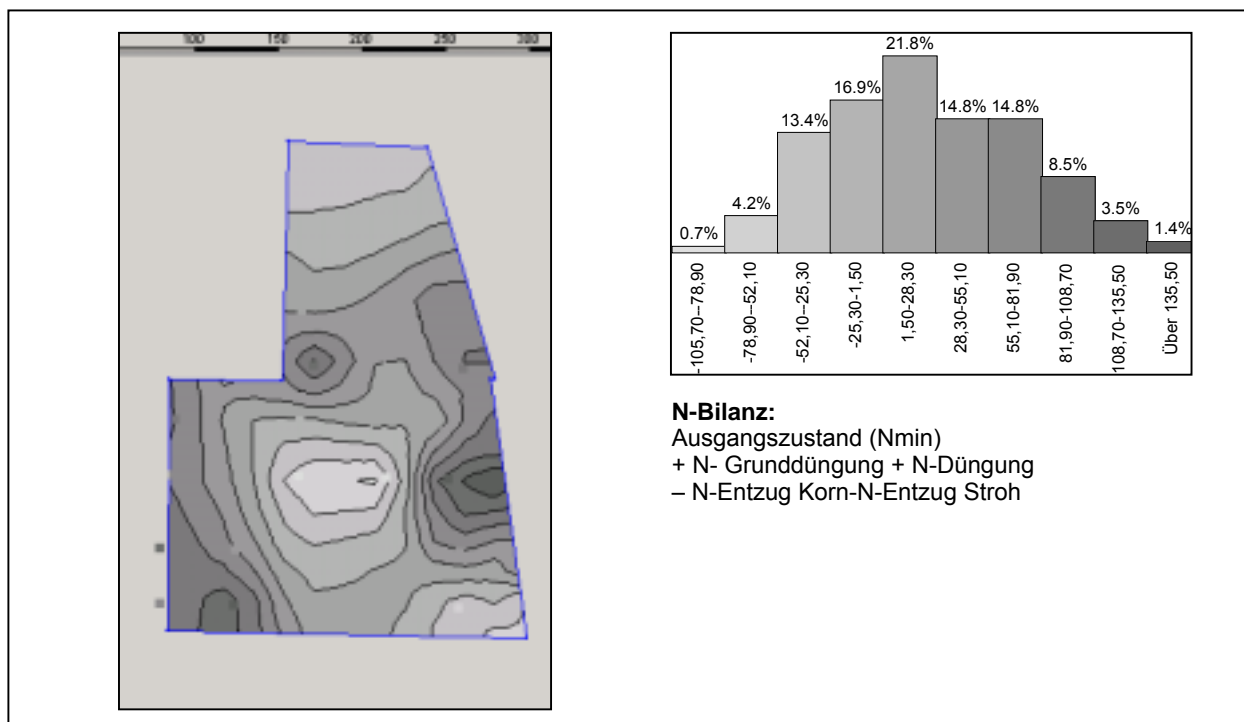


Abb. 163: Teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzierung aus Ausgangszustand zuzüglich Zugabe und Entzug

Da im Laufe des Jahres weitere Bodenmineralisierung stattfindet, wird dieser verbleibende Betrag bis zum nächsten Frühjahr vor Vegetationsbeginn wieder angereichert. Bei der N_{min} -Beprobung vom 02.06.2004 betrug der Mittelwert 203 kg N/ha. Das bedeutet, dass vom Herbst 2003 (durchschnittlich 61kg N/ha) bis zum Frühjahr 2004 (durchschnittlich 203 kg N/ha) eine Anreicherung von durchschnittlich 142 kg N/ha stattgefunden hat. Gegenüber dem

Frühjahrswert von 2003 bedeutet das eine durchschnittliche Anreicherung von 57 kg N/ha bis zum Frühjahr 2004 (139%). Die durchschnittliche Jahresbilanz von Frühjahr zu Frühjahr zeigt also eine deutliche Zunahme. Sie beträgt im Mittel +39%. Offensichtlich waren die zum Teil drastisch geringen Applikationen für die gegebene Situation immer noch nicht extrem genug, da im Herbst 2003 inklusive der laufenden Mineralisierung immer noch 42% des Ursprungswertes vom Frühjahr verbleiben. Diese setzen sich zusammen aus 19% rechnerischem Verbleib und 23% rechnerischer Nachlieferung zum Herbst durch laufende Mineralisierung.

Interessanterweise entspricht dieser verbleibende Rest im Herbst in etwa dem Mehrbetrag des verfügbaren Stickstoffes im Frühjahr 2004 (Absolutwerte, Tab. 39). Der durchschnittlich verfügbare Stickstoff zu Anfang 2004 ist also gegenüber dem Jahr 2003 etwa um denjenigen Betrag erhöht, der zum Herbst als positive Bilanz verblieben ist.

Durchschnitt	Frühjahr 2003	Bilanz: Zugabe-Entzug	Rechn. Verbleib	rechn. Nachlieferung	Herbst 2003	rechn. Nachlieferung	Frühjahr 2004
[kg N/ha]	146	-118	28	+33	61	+142	203
Prozent bezogen auf Frühjahr 2003	100%	-81%	19%	22,6%	42%	97,3%	139%

Tab. 39: Bilanzierung der Durchschnittswerte

Ein sehr differenziertes Bild ergibt sich, wenn man die **Bilanzierung nach Behandlungen trennt**. Erschwert wird diese Betrachtung dadurch, dass für den Schlag I-02, der sich durch außergewöhnlich hohe Ausgangswerte (N_{\min}) von den anderen Schlägen abhebt, nur Werte für die modulierte Behandlung vorliegen. Aufgrund seiner Sonderstellung wird er nochmals getrennt betrachtet.

	Frühjahr 2003	Bilanz: Zugabe-Entzug	Rechnerischer Verbleib	rechnerische Nachlieferung	Herbst 2003	rechnerische Nachlieferung	Frühjahr 2004
moduliert alle [kg N/ha]	162,29	-114,98	47,31	24,45	71,76	139,12	210,88
Prozent	100%	-71%	29%	15,07%	44,22%	85,72%	129,94%
moduliert ohne I-02 [kg N/ha]	116,22	-92,23	23,99	82,23	106,22	101,56	207,78
Prozent	100%	-79%	21%	70,75%	91,40%	87,39%	178,78%
moduliert nur I-02 [kg N/ha]	214,13	-140,56	73,57	-40,57	33	181,38	214,38
Prozent	100%	-66%	34%	-18,95%	15,41%	84,71%	100,12%
herkömmlich [kg N/ha]	129,45	-116,39	13,06	37,49	50,55	134,18	184,73
Prozent	100%	-90%	10%	28,96%	39,05%	103,65%	142,70%
alle	146	-118	28	+33	61	142	203
Prozent	100%	81%	19%	22,60%	42%	97,26%	139%

Tab. 40: Bilanzierung der Durchschnittswerte nach unterschiedlichen Behandlungen

Wie in Tabelle 40 zu sehen, ergibt sich für *alle Rasterpunkte zusammen* im Frühjahr 2004 ein N_{\min} -Wert von 139% des Ausgangswertes vom Frühjahr 2003. Insgesamt nahm der verfügbare Stickstoff also in diesem Referenzzeitraum deutlich zu. Diese Zunahme gliedert sich auf in eine rechnerische Nachlieferung zum Herbst 2003 von 22,6% und zum Frühjahr 2004 von 97,26% des Ausgangswertes!

Betrachtet man dabei nur die *herkömmlich behandelten Flächen*, so ist die Erhöhung zum Frühjahr auf 142,7% sehr ähnlich zum Durchschnittswert aller Flächen. Auch die rechnerische laufende Nachlieferung (28,96%) und diejenige zwischen Herbst 2003 und Frühjahr 2004 (103,65%) sind ähnlich hoch.

Etwas differenzierter stellt sich die Situation bei den moduliert behandelten Teilflächen dar. Betrachtet man alle moduliert behandelten Teilflächen zusammen, so stellt man fest, dass die Zunahme zum Frühjahr 2004 im Mittel mit 129,94% erfreulicherweise um 8,9% geringer ausfällt als bei den herkömmlich behandelten Teilflächen. Sowohl die rechnerische Nachlieferung zum Herbst 2003 als auch zum Frühjahr 2004 sind hier um einiges gegenüber der herkömmlich behandelten Fläche reduziert. Die verbesserte Bilanz insgesamt setzt sich daher weniger aus der Bilanzierung der landwirtschaftlichen Maßnahme zusammen. Diese war bei den herkömmlichen Behandlungen im Schnitt sogar drastischer. Der positive Effekt zum Frühjahr 2004 ergibt sich vor allem durch eine reduzierte Nachlieferung nach dem Herbst 2003.

Betrachtet man bei den moduliert behandelten Flächen Schlag I-02 getrennt, so wird hier das beste Ergebnis zum Frühjahr 2004 offenbar. Im Gegensatz zu allen anderen Varianten konnte hier die ursprüngliche Höhe sogar gehalten werden (100,12%), Auch hier sind insbesondere die (geringe) rechnerische Nachlieferung, nicht aber die eigentliche Bilanzierung der landwirtschaftlichen Maßnahme maßgebend.

Die moduliert behandelten Teilflächen in Schlag I-01 und I-03 (ohne I-02) verzeichnen einen enormen Anstieg zum Frühjahr auf 178,78% des Ausgangswertes vom Frühjahr 2003. Hauptanteil bildet hier wiederum die rechnerische Nachlieferung zum Herbst 2003, während die Bilanzierung der landwirtschaftlichen Maßnahme bei mittleren Werten liegt.

Insgesamt liegen die moduliert behandelten Teilflächen im Mittel also besser als die herkömmlich behandelten Teilflächen. Schlag I-02 mit den schlechtesten Ausgangsvoraussetzungen schneidet bei dieser Betrachtung am besten ab, während die verbleibenden modulierten Flächen am schlechtesten abschneiden. Die moduliert behandelten Teilflächen insgesamt zeigen damit eine starke Differenzierung.

Auffallend ist dabei jeweils, dass das Gesamtergebnis zum Frühjahr 2004 hin weniger von der Bilanzierung der landwirtschaftlichen Maßnahme, sondern von der Intensität der rechnerischen Nachlieferung (Mineralisierung) abhängt.

Betrachtet man die **einfache Bilanzierung von Zugabe und Entzug**, so haben alle Schläge zusammen genommen durch die landwirtschaftliche Maßnahme einen bilanzierten Entzug von 118kg N/ha (Tabelle 40). Das bedeutet, dass 81% des Ausgangswertes vom Frühjahr durch landwirtschaftliche Maßnahmen „verbraucht“ werden. Bei den herkömmlich behandelten Flächen sind dies sogar 90%, während bei der modulierten Behandlungsweise die Bilanz zwischen 66% und 79% liegt. 66% finden sich bei einer isolierten Betrachtung des Schlages I-02, 79% bei den verbleibenden moduliert behandelten Flächen auf I-01 und I-03. Zusammen genommen bedeutet das im Mittel einen Rückgang vom Ausgangswert durch die landwirtschaftlichen Maßnahmen von 71%. Interessant ist, dass der geringste *relative* Rückgang in Schlag I-02 (modulierte Behandlungsweise) mit dem höchsten *absoluten* Rückgang verbunden ist. Der geringe relative Rückgang hat hier also trotz hoher Absolutwerte

mit den sehr hohen Ausgangswerten zu tun und kann selbst durch die äußerst drastische Maßnahme in diesem Schlag nicht kompensiert werden.

Bei der einfachen Bilanzierung unter Berücksichtigung von Zugabe und Entzug verbleiben rechnerisch zwischen 10% und 34% des Ausgangswertes (N_{\min} Frühjahr) auf der Fläche.

Betrachtet man allerdings die Werte der N_{\min} -Beprobung zum Herbst kurz nach dem Mähdrusch, so bewegt sich der real verbleibende Stickstoff zwischen 15,4 und 91,4% des Ausgangswertes vom Frühjahr 2003. Dabei ist der geringste Wert bei der modulierten Behandlung in Schlag I-02 gegeben, der höchste bei gleicher Behandlung auf den Restflächen. Die herkömmliche Behandlung schneidet dabei recht gut ab. Der Hauptanteil der Höhe des N_{\min} -Wertes kommt also auch zum Herbst 2003 nicht aufgrund einer entsprechenden Bilanzierung der landwirtschaftlichen Maßnahme, sondern viel mehr durch das Verhalten der rechnerischen Nachlieferung zustande. Bei den am besten abschneidenden Teilflächen im moduliert behandelten Schlag I-02 ist diese Nachlieferung sogar mit einem negativen Vorzeichen behaftet. Die offensichtliche gut bilanzierten Teilflächen erreichen diesen guten Wert scheinbar nur durch den Nachteil einer Stickstoffauswaschung, was die Bewertung des Schlages in einem anderen Licht erscheinen lässt.

Zusammenfassend muss festgestellt werden, dass sich die Bilanzierung des Stickstoffes sehr differenziert darstellt: Wenn auch die moduliert behandelten Teilflächen im Mittel besser als die herkömmlich behandelten Flächen dastehen, so kann diese Aussage nicht für alle Flächen verallgemeinert werden, weil je nach Ausgangssituation starke Differenzierungen auftreten.

Zwar ist der rechnerische Verbleib auf der Fläche bei allen Varianten nach Bilanzierung von Zugabe und Entzug angemessen gering. Allerdings wird dies bei den realen Werten der Herbstbeprobung nicht wiedergespiegelt. Insbesondere die modulierte Variante in den Schlägen I-01 und I-03 zeigt gerade mal eine Reduktion auf 91,4% des Ausgangswertes vom Frühjahr, während diese rechnerisch bei 21% liegen müsste. Der *Parameter des Stickstoff-Nachschubs durch Mineralisierung* nimmt hier eine entscheidende Rolle ein. Selbst die erfreuliche Reduktion durch drastische Maßnahmen auf Schlag I-02 (keine Mindestmengenvorgabe) ergeben sich vor allem durch die relativ geringe rechnerische Nachlieferung und nicht etwa aufgrund einer relativ großen Negativbilanzierung der landwirtschaftlichen Maßnahmen. Da ausgerechnet auf den anderen Teilflächen modulierter Behandlungen ein hoher Anstieg sowohl zum Herbst 2003 als auch zum Frühjahr 2004 zu verzeichnen ist, scheint die Art der Behandlung eher eine untergeordnete Rolle zu spielen.

Tabelle 41 zeigt die Zunahme des N_{\min} -Wertes zwischen der Beprobung vom Herbst 2003 und Frühjahr 2004.

	Herbst 2003 kg N/ha	Frühjahr 2004 kg N/ha	Prozent %
moduliert alle [kg N/ha]	71,76	210,88	293,87
moduliert ohne I-02 [kg N/ha]	106,22	207,78	195,61
moduliert nur I-02 [kg N/ha]	33	214,38	649,64
herkömmlich [kg N/ha]	50,55	184,73	365,44
alle	61	203	332,79

Tab. 41: Zunahme N_{\min} Herbst 2003 und Frühjahr 2004

Es ist deutlich zu sehen, dass sich die prozentuale Zunahme zum Frühjahr in Abhängigkeit vom vorausgehenden absoluten N_{\min} -Wert (Herbst 2003) verhält (**Abb. 164**). Offenbar spielt es

weniger eine Rolle, wie stark in der Vegetationsperiode der Stickstoff im Boden abgesenkt werden konnte. Bis zum Frühjahr verblieb unter den gegebenen Bedingungen offensichtlich das Potenzial, vermutlich witterungsbedingt, bis zu einem auf allen Flächen ähnlich (sehr) hohen Wert angereichert zu werden. Im vorliegenden Beispiel beträgt der Mittelwert von N_{\min} für das Frühjahr in etwa 204 kg N/ha. Dieser Sachverhalt steht entgegen der stark differenziert vorgefundenen Ausgangssituation im Frühjahr 2003, bei der extrem hohe Werte lediglich auf I-02 vorgefunden wurden.

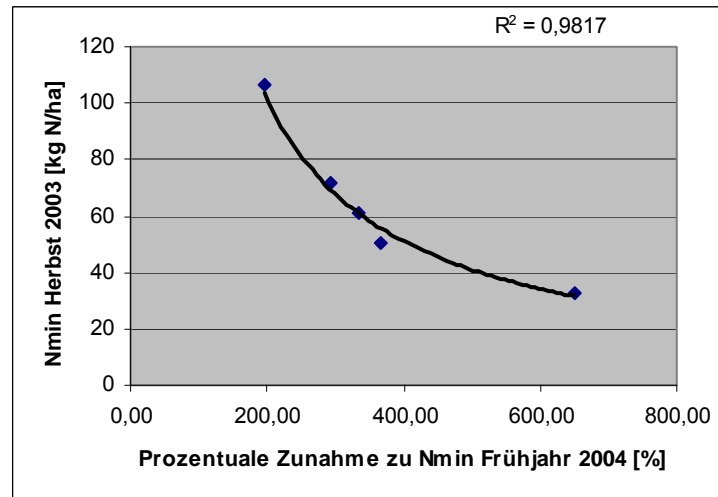


Abb. 164: Korrelation zwischen der Höhe des Ausgangswertes für N_{\min} im Herbst und der Zunahme zum Frühjahr

Wenn es auch nicht gelungen ist, den Stickstoffgehalt im Boden zur Beprobung im Herbst hin zu egalisieren, obwohl er angemessen stark reduziert werden konnte, so zeigt doch die Beprobung des Frühjahres 2004 eine sehr ausgeglichene Situation, wenn auch auf hohem Niveau.

Das macht deutlich, dass die Stickstoffdynamik sich sehr sensibel und variabel verhält. Es wird als schwierig angesehen, anhand der vorliegenden Daten, wirklich aussagekräftige, deutliche Tendenzen und Zusammenhänge abzuleiten.

Die Bilanzierung auf Grundlage der N-Entzugswerte mittels Quadratmeterschnitten muss als weitere potenzielle Fehlerquelle in Kauf genommen werden. Die repräsentative Erfassung durch einen Quadratmeterschnitt wird im Mais mit entsprechend großen Pflanzen und Pflanzabständen als schwierig angesehen. Würde je nach Abgriff eines Quadratmeters immer wieder eine Pflanze mehr oder weniger geerntet, je nachdem, wo der Quadratmeterschnitt vor Ort definiert wird, würde das bei Pflanzdichten von 8-10 Pflanzen/Quadratmeter bereits 1/8 bis 1/10 des Messwertes ausmachen, was einer Messungenauigkeit von ± 10 bis $\pm 12,5\%$ entsprechen würde.

Auch vor diesem Hintergrund erscheint es schwierig, wirklich abgesicherte differenzierte Aussagen für die N-Bilanzierung zu treffen.

Als wesentliche Aussagen sollen daher festgehalten werden,

- dass die Bilanzierung aus Zugabe und Entzug offensichtlich in ihrem Betrag nicht die Höhe des Ausgangswertes erreicht. Noch drastischere Reduzierungen der Düngung hätten durchgeführt werden können.

- dass trotz meist deutlicher Reduktion des Bodenstickstoffs zum Herbst hin, der Frühjahrswert unerwartet hoch ansteigt und dieser offensichtlich nicht von der Intensität der Reduzierung oder der Art der Behandlung, sondern vom Geschehen zwischen der Herbst- und Frühjahresbeprobung abhängig ist (Rechnerische Nachlieferung; Witterungseinfluss auf Mineralisierung?).
- Im Durchschnitt der ganzen Versuchsfläche ist der verfügbare Stickstoff zu Anfang 2004 gegenüber dem Jahr 2003 etwa um denjenigen Betrag erhöht, der zum Herbst als positive Bilanz verblieben ist. Diese Aussage kann aber nicht auf die einzelnen Teilflächen übertragen werden.
- Den Hauptteil der Bilanzierung macht nicht der Effekt der landwirtschaftlichen Maßnahme, sondern die relativ große rechnerische Nachlieferung (Mineralisierung) aus.

Betrachtet man die teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzen, so ist auffällig, dass zwar die N-Zugabe aufgrund der berechneten Modulationsmaßnahme in Bezug auf die vorgefundene Stickstoffausgangssituation angemessen erscheint. Der N-Entzug hingegen erscheint nach visueller Einschätzung völlig losgelöst von den sonstigen Daten. Im Gegenteil scheint er sich umgekehrt zu verhalten, wie es die Ausgangssituation (N_{\min} Frühjahr 2003) erwarten lässt: Bei hohen Ausgangsdaten findet sich ein geringer N-Entzug und umgekehrt. Statistisch lässt sich dieser optische Eindruck aber nicht signifikant korrelieren.

Auch muss festgestellt werden, dass es aufgrund dieser Tatsache nicht gelungen ist, die Bilanzierung aus Ausgangszustand zuzüglich N-Gabe und abzüglich N-Entzug teilflächenspezifisch ausgewogen erscheinen zu lassen (Abb. 165).

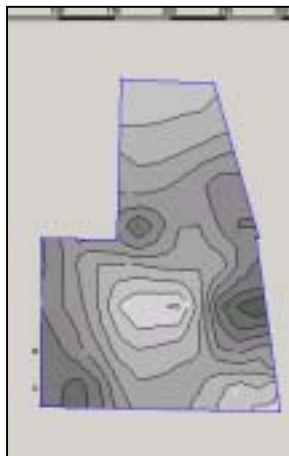


Abb. 165: Teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzierung aus Ausgangszustand, Zugabe und Entzug

Für die Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel bedeuten diese Ergebnisse, dass die Stickstoffdynamik bei einem Kartieransatz noch viel mehr Berücksichtigung finden muss. Dabei wäre es entscheidend, nicht nur punktuelle Aussagen zu Ausgangswerten zu erhalten, sondern auch Aussagen über Größenordnungen der aktuellen Dynamik zu haben, da diese Werte maßgeblich über die Entwicklung auf dem Schlag entscheiden.

Eine praktische Umsetzung dieser Forderung in ein Kartierverfahren zur Modulation der Stickstoffdüngung erscheint schwierig und würde die Praktikabilität nicht gerade verbessern.

(4) Wirtschaftlichkeit der Modulation

Um die Wirtschaftlichkeit der Modulation zu beurteilen, sollen die verschiedenen Verfahren getrennt betrachtet werden.

Aus der Erfahrung der gemachten Versuche heraus ist zu sagen, dass keines der im Projekt durchgeführten Verfahren unter den gegebenen Rahmenbedingungen unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten hätten erfolgreich abgeschlossen werden können.

Zum einen lässt die Einbindung in ein Forschungsvorhaben unter Erwägung aller möglichen Gesichtspunkte eine Rentabilität auf derart kleinen Untersuchungsflächen von vorne herein nicht zu.

Zum anderen kann eine rentable Durchführung so lange nicht zum Ziel gehören, wie die prinzipiellen Möglichkeiten der Durchführung eines Verfahrens überhaupt erst zu überprüfen sind, um heraus zu finden, ob eine technische Umsetzung machbar ist. Dementsprechend ist es ausgeschlossen, aus den realen Aufwendungen innerhalb der durchgeführten Maßnahmen auf die absolute Höhe der Aufwendungen der entsprechenden Verfahren zu schließen.

Allerdings ist es möglich, aus den gemachten Erfahrungen heraus Einschätzungen über die Wirtschaftlichkeit der Verfahren wieder zu geben. Im Folgenden soll dies geschehen, und zwar aufgeteilt nach

- Einschätzungen zum Kartieransatz
- Einschätzungen zum Kartieransatz unter Integration von Wachstumssimulationen
- Einschätzungen zum Kartieransatz unter Integration der Fernerkundung und nach
- Einschätzungen zum Online-Ansatz.

In allen Versuchen zeigt sich, dass der **Kartieransatz** mit hohem vorbereitendem Aufwand verbunden ist. Wenn man von Wirtschaftlichkeit spricht, muss davon ausgegangen werden, dass die entstehenden Mehrkosten durch einen Mehrgewinn gedeckt werden können.

Die *Mehrkosten* entstehen durch den Aufwand für die Aufarbeitung der Daten in landwirtschaftliche GIS-Systeme und die Ableitung entsprechender Applikationskarten. Die Kosten werden umso wirtschaftlicher, desto mehr Daten in einem einzigen Arbeitsgang integriert werden können. Die isolierte Aufarbeitung jeder einzelnen der kleinen Parzellen im Untersuchungsgebiet ist für ein rentables Verfahren sehr kostenintensiv.

Kostengünstiger ist das gemeinsame Aufarbeiten von Daten benachbarter Schläge, wie es im Versuchsjahr 2004 praktisch umgesetzt werden konnte. Am effektivsten könnte die Kostenseite angegangen werden, wenn die Flächen ganzer Gewanne in einem Arbeitsgang zur Applikationskarte aufgearbeitet würden, selbst wenn diese im Nachhinein für jeden einzelnen Schlag wieder zu trennen wären.

Mehrgewinn ist denkbar durch eine Erhöhung des Ergebnisses, durch Verminderung des Aufwandes, oder durch eine Kombination aus beiden Sachverhalten. Die Möglichkeit der Ertragssteigerung wurde genauso wie die Möglichkeit, die Aufwandsmengen zu reduzieren an vielen verschiedenen Stellen nachgewiesen. Ein möglicher Mehrgewinn lässt sich aber nur im Nachhinein feststellen und ist schwer im Voraus einzuschätzen.

Aus diesen Gründen ist es unmöglich, über allgemeine Empfehlungen hinausgehende Anweisungen zur Erzielung einer Rentabilität des Kartierverfahrens zu geben.

Die wesentlichste Empfehlung lautet dabei, die Applikationskarte für eine möglichst große Fläche (Gewinn) in einem einzigen Arbeitsgang aufzuarbeiten.

Bei der Einschätzung zum **Kartieransatz unter Integration von Wachstumssimulationen** wird deutlich, dass die Einführung eines solchen Verfahrens mit einem verhältnismäßig großen Investitionsaufwand verbunden ist. Eine Vielzahl von Ausgangsdaten muss in das Verfahren integriert werden. Allerdings können mit einer ausreichenden Ausgangsdatenmenge schließlich Empfehlungen auf Jahre hin simuliert werden. Es sollte lediglich eine Datenfortschreibung stattfinden. Nach Investitionsabschluss zur Installation des Verfahrens besteht daher ganz besonders bei diesem verfahren das Potenzial, die Rentabilitätsschwelle zu erreichen. Dies ist umso mehr gegeben, als die Simulation selbst Rentabilitätsaspekte integriert, indem auch monetärer Aufwand und monetärer Nutzen der Maßnahme Berücksichtigung finden.

Beim **Kartieransatz unter Integration der Fernerkundung** besteht wie bei allen Kartierverfahren ebenfalls ein relativ großer Vorbereitungsaufwand. Allerdings ist dieser gepaart mit den Möglichkeiten der Fernerkundung, mit relativ geringem Aufwand auch große Flächen zu berücksichtigen. Nicht umsonst gibt es bis zum Berichtszeitpunkt bereits zwei sehr kostengünstige Fernerkundungsverfahren auf dem Markt. Die Rentabilität kann aber nur erreicht werden, wenn tatsächlich große Flächen Berücksichtigung finden. Um das umzusetzen sind strukturelle und organisatorische Maßnahmen notwendig. So zeigt das Beispiel von „Farmstar“ in Frankreich, dass durch Integration in eine genossenschaftliche Organisationsstruktur viele Eigentümer mit einem solchen Verfahren erreicht werden können, so dass Rentabilität tatsächlich möglich ist.

Etwas anders ist die Rentabilität unter Verwendung des **Online-Ansatzes** einzuschätzen. Im Gegensatz zu den Kartierverfahren ist der vorbereitende Aufwand stark minimiert. Kostenaufwand besteht vor allem durch die Investition. Auch hier sind für die verschiedenen Verfahren Ertragssteigerungen oder Aufwandsreduzierungen nachgewiesen. Allerdings ist es schwierig diese im Voraus vorher zu sehen.

Neben all diesen verfahrensbedingten Aufwendungen und Einsparpotenzialen sollte allerdings berücksichtigt werden, dass durch eine teilflächenspezifisch angepasste Bewirtschaftung weitere Vorteile entstehen, welche bei einer sorgfältigen Betrachtung der Rentabilität berücksichtigt werden müssten. Es sind dies Dienstleistungsnebeneffekte, die durch Einsatz der Verfahren wie selbstverständlich hingenommen werden und beim Landwirt nicht monetär zu Buche schlagen, aber auch unter monetären Gesichtspunkten der Gesellschaft einen Gewinn zufließen lassen. Als Beispiel sei die Reduktion des Eintrages von Betriebsmitteln in die Umwelt genannt wozu alle Boden-, Gewässer- und Grundwasserschutzaspekte einzuordnen sind. Werden durch eine Modulation der Betriebsmittel solche Effekte erreicht müssten sie im Rahmen einer übergeordneten Rentabilitätsbewertung monetär mit berücksichtigt werden. Hierzu würde beispielsweise der Verzicht auf eine Tiefbohrung zur Gewinnung von Grundwasser stehen, wenn beim oberflächennahen Grundwasser die Grenzwerte wieder eingehalten werden könnten.

Neben diesen allgemeinen Einschätzungen aus den Erfahrungen der gemachten Versuche heraus, werden auch in der **Literatur** Aussagen zur Wirtschaftlichkeit gemacht:

Auffälligerweise gehen viele Autoren lediglich auf Ergebnisse zum Mehrertrag ein, nicht aber auf die hierzu erforderlich gewordenen Aufwendungen.

Über die Wirtschaftlichkeit unter Einbeziehung der Aufwendungen berichtet allerdings beispielsweise FEIFFER A. (2003), die in einem Großversuch zeigen konnte, dass jeder Landwirt durch entsprechend verbesserte Qualität aufgrund teilflächenspezifischer Bewirtschaftung bis zu 120€/ha beim Mähdrusch einsparen könne.

Dagegen schildert KLOEPFER F. in DLG-MITTEILUNGEN (11/2003) allgemein, dass positive Effekte der Stickstoffdüngung sich im Einzelfall schon in kurzer Zeit bezahlt machen könnten und DLZ (5/2004) stellt kurz und knapp fest, dass homogene Bestände den Gewinn steigern.

Wie an anderer Stelle erwähnt, berichtet TRUNK K. (2003), dass es mit Hilfe von Präzisionslandwirtschaft nicht nur möglich ist zu erkennen, wo gezielt eingespart werden kann, sondern auch wo im Sinne einer Stickstoff-Aufdüngung investiert werden kann. Dieser Aspekt scheint aus Rentabilitätsaspekten äußerst interessant. Selbst Mehrausgaben der Präzisionslandwirtschaft müssen daher nicht einfach nur ineffektive erhöhte Kosten darstellen. Unter Umständen kann es sich dabei auch um notwendige Investitionskosten handeln, die man sonst vernachlässigt hätte. Durch Präzisionslandwirtschaft können daher nicht nur Einsparungen, sondern auch erhöhte Aufwendungen der Betriebsmittel die Rentabilität steigern, indem die Notwendigkeit gezielter Investitionen aufgedeckt wird

Es darf zusammengefasst werden, dass die Einschätzung der Rentabilität von den differenzierten Bedingungen vor Ort abhängig ist und nicht einfach pauschal ermittelt werden kann. Es gibt aber für alle denkbaren Verfahren Effekte, deren Wirkung zu einer Rentabilität führen kann. Dabei muss darauf geachtet werden die Aufwendungen weitestgehend zu minimieren.

Konsequenterweise ergibt sich hieraus als Lösungsansatz die Forderung nach einem **Dienstleistungskonzept**. Hierdurch könnten alle für die Präzisionslandwirtschaft relevanten teilflächenspezifischen Daten übergeordnet gesammelt, aufgearbeitet sowie deren Neubeschaffung koordiniert werden.

In einem GIS-System könnten teilflächenspezifische Informationen auf regionaler Ebene abgeleitet werden, die ihre Relevanz über ganze Betriebe zu Gewinnen bis hin zu Einzelschlägen erhalten würden. Nach zentraler Aufbereitung aller verfügbaren Daten könnten mit einem deduktiven Ansatz schließlich einzelne Flächen im Sinne der Aufbereitung teilflächenspezifischer Applikationsinformationen bedient werden. Neben diesem Datenmanagement wäre es möglich, die auftretenden Probleme im Bereich der Kommunikation zu beheben. Klare Zuordnungen von Kompetenzen und Zuständigkeiten wären durch eine Institutionalisierung der Dienstleistung in einer angemessenen relevanten Form geklärt. Missverständnisse und isoliertes „Aneinandervorbeiwirtschaften“ auf ein Minimum reduziert und damit schließlich auch die Voraussetzungen für eine Herangehensweise im Sinne einer Gewannebewirtschaftung mit all ihren Vorteilen gegeben. Für diesen Ansatz spricht auch, dass sich herausgestellt hat, dass einzelne Landwirte aufgrund der strukturellen Bedingungen und aufgrund von mangelndem Wissen zum jetzigen Zeitpunkt mehrheitlich überfordert sind, um eigenständig Präzisionslandwirtschaft unter den gegebenen Bedingungen erfolgreich und sinnvoll integrieren zu können.

Dieser Lösungsansatz geht davon aus, dass durch Zusammenführung aller Daten Rationalisierungseffekte auftreten, welche die Aufwendungen minimieren. Die zentrale

Bearbeitung reduziert dabei ebenfalls Kommunikations- und Datenwege. Durch vorhandenes Expertenwissen und sprunghaft ansteigende Erfahrung steigert sich ebenfalls die Arbeitseffektivität.

3.3 Ergebnisse der Befragung zur Anwendung der Präzisionslandwirtschaft im Elsass und in Baden-Württemberg

(1) Beschreibender Teil: Die Betriebe

Elsass

Eine erste Auswertung der Fragebögen ermöglicht eine Beschreibung der befragten Betriebe. Insgesamt wurden im Elsass 169 Betriebe befragt (147 + 22 von den Schülern des Landwirtschaftsgymnasiums Obernai). Von den Schülern selbst wurden tatsächlich nur 11 Fragebögen ausgefüllt (s. o.). Von den 158 verbleibenden bezeichnen sich 25, das entspricht 16%, gleichzeitig als Landwirte und Lohnunternehmer.

Baden-Württemberg

Durch die Zusammensetzung der beantworteten Fragebögen muss für die Befragung in Baden-Württemberg zwischen drei verschiedenen Befragungsgruppen differenziert werden. Die Antworten der landwirtschaftlichen Betriebsleiter setzen sich dabei ausschließlich aus Betrieben am Oberrhein (Baden) zusammen. Diejenigen der Studenten und Schüler betreffen dagegen überwiegend Betriebe in Württemberg: Sie betrachten die Fragestellungen vermutlich eher aus zukunftsorientierter Perspektive und weniger aus direkter Betroffenheit heraus.

(2) Art der Betriebe (Betriebstypen)

Das Alter der antwortenden Betriebsleiter streut im **Elsass** über einen weiten Bereich von 20 bis 62 Jahren. Der Mittelwert liegt bei 44,5 Jahren.

Das Alter der Betriebsleiter in **Baden-Württemberg** schwankt bei den direkt befragten Betrieben in Baden zwischen 27 und 56 Jahren und liegt im Mittel bei 41,7 Jahren.

Die Betriebsleiter derjenigen Betriebe in Württemberg, aus denen Studenten zur Zeit ihr Studium absolvieren (im Folgenden kurz als „Studentenbetriebe“ bezeichnet), ist im Mittel mit 50 Jahren beinahe 10 Jahre höher. Dabei besteht eine Spannweite von 35 bis 56 Jahren.

Die Alter der Betriebsleiter der von den Schülern überwiegend in Württemberg beschriebenen Betriebe (im Folgenden kurz als „Schülerbetriebe“ bezeichnet) schwankt zwischen 52 und 63 Jahren und ist mit einem Durchschnitt von 57,5 Jahren noch einmal gegenüber den anderen Befragungsgruppen erhöht.

Die meisten Betriebsleiter im **Elsass** (83%) verfügen über eine landwirtschaftliche Ausbildung (Bac Pro, BEPA, BTA, BTS).

Während bei den befragten Betrieben in **Baden-Württemberg** 88% der Betriebsleiter eine landwirtschaftliche Ausbildung haben, ergeben sich aus den Studentenerbefragungen 92,3% und bei den Schülerbefragungen 100% der Betriebsleiter mit landwirtschaftlicher Ausbildung.

72% der antwortenden Landwirte im **Elsass** betreiben die Landwirtschaft im Vollerwerb, 19% im Haupterwerb und lediglich 8% im Nebenerwerb.

Mit 74% der antwortenden Landwirte in **Baden-Württemberg** ist der Anteil des Vollerwerbs sehr ähnlich. Allerdings betreiben nur 4% der Befragten die Landwirtschaft im Haupterwerb, dagegen aber 21% im Nebenerwerb. Während der Prozentsatz des Vollerwerbs zwischen den

Befragungsgruppen kaum differenziert (Betriebe in Baden: 74%, „Studentenbetriebe“ in Württemberg: 73% und „Schülerbetriebe“ in Württemberg: 75%) variieren die Anteile des Haupt- und Nebenerwerbs auch innerhalb der Befragungsgruppen in Baden-Württemberg stärker (Haupterwerb der Betriebe in Baden: 4%, „Studentenbetriebe“ in Württemberg: 17% und „Schülerbetriebe“ in Württemberg: 25%; Nebenerwerb jeweils: 22%, 11% und 0%).

Im **Elsass** ist etwa bei der Hälfte der Fälle die Hofnachfolge gesichert. In der anderen Hälfte ist die Hofnachfolge nicht gesichert oder die Situation noch nicht geklärt. Derartige Situationen laden naturgemäß nicht zu kostspieligen Investitionen in die Präzisionslandwirtschaft ein.

Wie im Elsass ist etwa auch in Baden bei der Hälfte der Betriebe die Hofnachfolge gesichert. Bei den Schülerbetrieben sind es dagegen 67% und bei den Studentenbetrieben sogar 77%, was nachvollziehbar ist, weil hier der eigene, in Ausbildung stehende Nachwuchs direkt gefragt wurde.

Die ökonomische Zukunftsperspektive der Betriebe wurde im **Elsass** in der Hälfte der Fälle als mittelmäßig eingestuft. Nur etwa 15% der Betriebsleiter beurteilen sie als gut, 30% jedoch als unsicher. Die badischen Betriebe beurteilen sich hier etwas günstiger.

Was die Umweltverträglichkeit der Betriebe angeht, so wird sie sowohl im **Elsass** (68%) als auch in Baden – Württemberg (etwa 55%) mehrheitlich als gut bezeichnet. Weder im Elsass noch in Baden-Württemberg gibt es Betriebe, die sich in punkto Umweltverträglichkeit als schlecht beurteilen.

Abbildung 166 beschreibt die Einschätzungen zur ökonomischen Zukunftsperspektive der Betriebe, **Abbildung 167** hingegen die eigene Beurteilung zur Umweltverträglichkeit. Es wird deutlich, dass bei allen Betrieben die ökologische Einschätzung besser als die ökonomische Einschätzung ausfällt. Bei den „Schülerbetrieben“ sind beide am ausgeglichensten.

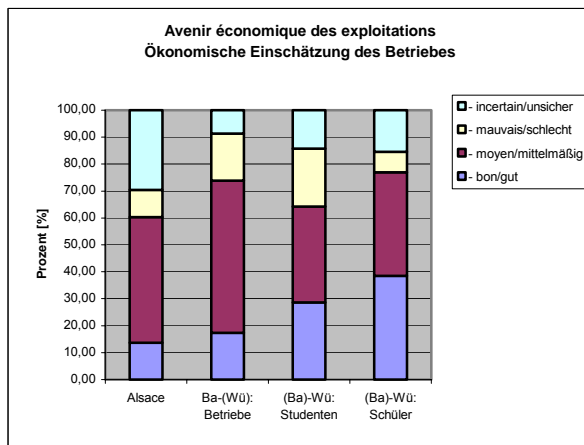


Abb. 166: Ökonomische Einschätzung des Betriebes

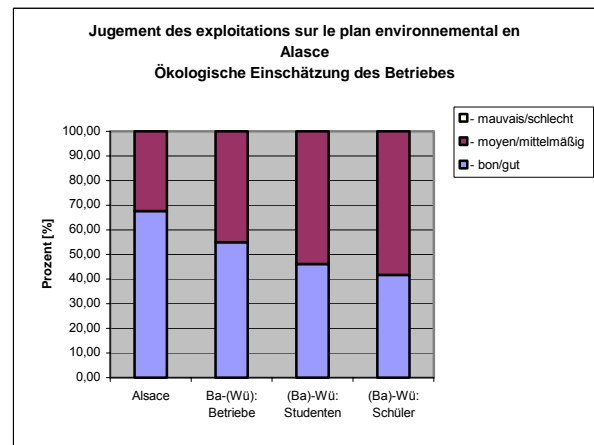


Abb. 167: Ökologische Einschätzung des Betriebes

Der Arbeitskräftebesatz der **elsässischen** Betriebe liegt im Mittel bei 1,7 Arbeitskräften. In **Baden-Württemberg** ist er mit 1,6 Arbeitskräften sehr ähnlich. Bei den „Schülerbetrieben“ beträgt er 1,9, bei den „Studentenbetrieben“ sogar 2,3.

Die Unterscheidung zwischen ständigen und Saison-Arbeitskräften fiel im **Elsass** schwer, da die meisten Fragebogen diesbezüglich schlecht ausgefüllt waren.

Der Anteil der ständigen Arbeitskräfte variiert in Baden-Württemberg zwischen 75% („Schülerbetriebe“ überwiegend in Württemberg), 80% („Studentenbetriebe“ überwiegend in Württemberg) und 89% (Betriebe in Baden).

Mit Ausnahme von einem Betrieb des ökologischen Landbaus handelt es sich im **Elsass** um konventionelle Betriebe. In **Baden-Württemberg** bewirtschafteten alle konventionell.

Im **Elsass** findet sich Tierhaltung in 28% der Betriebe. Dabei handelt es sich zumeist um Rindvieh, wobei die Milcherzeugung vorherrscht. Die Kategorie ist aber nicht immer klar angegeben.

Gegenüber dem Elsass ist die Tierhaltung in den Betrieben in **Baden** weiter verbreitet (48%) und nimmt in **Württemberg** nochmals stark zu (Studentenbefragung 72%, Schülerbefragung 85%). Wie im Elsass (42% und 32%) machen in den Betrieben Württembergs (Schüler- und Studentenumfrage (54 und 31% und 29 und 21%) Milch- und Rindvieh einen großen Anteil der Tierarten aus. In Baden ergibt sich aus den befragten Betrieben demgegenüber ein Hauptanteil von Schweinen (43%). Bei den Betrieben aus der Studentenumfrage Württembergs spielen Schweine mit 29% ebenfalls eine große Rolle. Im Elsass hat die Geflügelhaltung mit 15% eine größere Bedeutung als in Baden (0%).

(3) **Flächenausstattung**

Die Flächenausstattung der **elsässischen** Betriebe ist mit 104 ha im Mittel recht gut. In Baden – Württemberg ist sie sehr ähnlich. Die befragten Betriebe in **Baden** bewirtschaften im Mittel 100ha, die „Schülerbetriebe“ 101ha und die „Studentenbetriebe“ 93ha.

Im Elsass verdeckt jedoch der Mittelwert gravierende Unterschiede zwischen dem Minimum von 7 ha und dem Maximum von 304 ha.

Auch in **Baden-Württemberg** ist die Spannweite erheblich und variiert sehr ähnlich zwischen 16-300 ha (Betriebe in Baden), 9-300 ha (Betriebe mit Studenten in Württemberg) und 32-170 ha (Betriebe mit Schülern).

Bei der Einteilung der Betriebe in Größenklassen zeigt sich im **Elsass**, dass die meisten Betriebe in die Kategorie 61-100 ha fallen (siehe [Abb. 168](#)). Die kleinen Betriebe (< 20 ha) spielen praktische keine Rolle während die großen bzw. sehr großen Betriebe (101-150 bzw. > 150 ha) mit 42% einen großen Teil der Befragten ausmachen. Diese Zahlen widerspiegeln die in den letzten Jahren festgestellten Vergrößerungen der Betriebsflächen. Betrachtet man sich die Arbeit „Typologie der elsässischen Betriebe“, die 2003 von der regionalen Landwirtschaftskammer des Elsass veröffentlicht wurde, so wird dort die Gruppe „Ackerbau“, welcher die erhaltene Stichprobe am ehesten zuzuordnen ist, in drei Größenklassen unterteilt: Großbetriebe zwischen 60 und 120 ha LN (17%), kleinere Betriebe zwischen 20 und 40 ha (25%) und ganz kleine Betriebe unter 16 ha, welche einen Anteil von 58% haben.

Diese Zahlen decken sich absolut nicht mit denen der in der Umfrage befragten Betriebe, wo die Kategorie der großen Betriebe (> 60 ha) mit rund 74% bei weitem überwiegt.

Eine Erklärung dafür könnten die Grünland- und Feldgrasflächen sein, da alle Tierhaltungsbetriebe mit einbezogen wurden, während die „Typologie der elsässischen Betriebe“ nur diejenigen Betriebe mit weniger als 8 RGV zu dieser Kategorie zählt. Im Folgenden wird aber noch deutlich werden, dass dieser Anteil nicht sehr groß sein kann, da bei der Stichprobe der Umfrage im Elsass der Grünlandanteil nur 9% der LN ausmacht.

Eine weitere Erklärung könnte sein, dass die Betriebe in jüngster Zeit schnell gewachsen sind. Wichtigster Punkt dürfte jedoch sein, dass der Stichprobenumfang überhaupt nicht vergleichbar ist (4.488 Betriebe gegenüber 158)!

Abbildung 168 zeigt die geringfügigen Unterschiede zwischen den verschiedenen Befragungsgruppen. Vergleicht man die Zahlen mit denjenigen aus der offiziellen Statistik des Landes **Baden-Württemberg** („Landwirtschaftliche Betriebsergebnisse und Buchführungsergebnisse“), so wird deutlich, dass immer weniger, aber dafür größere Betriebe eine Rolle spielen. Bezogen auf das ganze Land haben in den letzten 20 Jahren die Kleinbetriebe stark abgenommen, während insbesondere die Betriebe ab 30ha Betriebsgröße stark zugenommen haben. Sie machen heute in Baden-Württemberg knapp 30% aus.

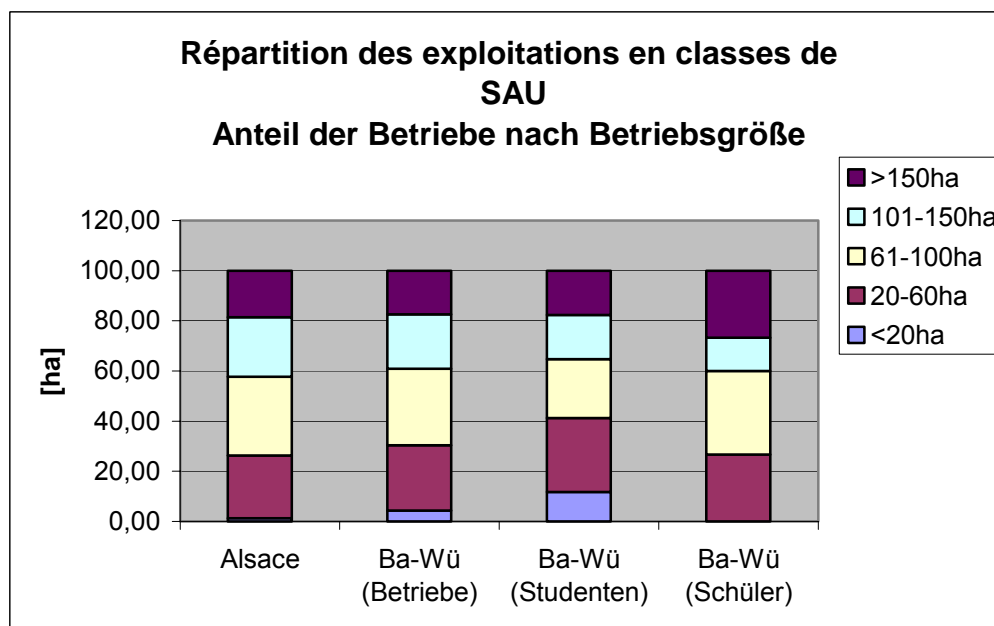


Abb. 168: Geringfügige Unterschiede beim Anteil der Betriebe nach Betriebsgröße zwischen den unterschiedlichen Befragungsgruppen

Die in der Umfrage befragten Betriebe in Baden-Württemberg spiegeln, verglichen mit dieser Statistik, eine überdurchschnittliche Betriebsgröße wieder. Die durchschnittliche Betriebsgröße nach Landesstatistik lag 2003 bei 9,9 ha. Wie zuvor beschrieben weisen die befragten Betriebe im Mittel etwa das 10fache an Betriebsfläche aus, was zeigt, dass durch die vorliegende Umfrage das Meinungsbild vorwiegend derjenigen Betriebe mit einer Betriebsgröße deutlich über dem Landesdurchschnitt eingeholt wurde. Da die Tendenz aber deutlich zu immer größeren Betriebsflächen geht, spiegelt die Umfrage daher theoretisch die Einschätzung von Betrieben mit relativ sicherer Zukunft wieder. Wie bei der Umfragegruppe im Elsass spiegelt die befragte Gruppe also auch in Baden-Württemberg die landwirtschaftlichen Betriebe nicht repräsentativ wieder.

Während der Pachtanteil im **Elsass** nahezu 63% beträgt, ergeben die Befragungsgruppen in **Baden** einen sehr ähnlichen Anteil von 61% und die Betriebe der Schüler und Studenten in **Württemberg** jeweils im Durchschnitt 54%.

Die Ackerfläche (Antragsfläche SCOP) der **elsässischen** Betriebe liegt im Mittel bei 90 ha. Die Unterschiede sind aber wiederum beträchtlich (7 bis 275 ha)! Die Ackerfläche macht 86% der LN dieser Betriebe aus. Hinzu kommen im Mittel 20 ha Grünland (9% der LN) und 11,5 ha Sonderkulturen (5% der LN). Der Pachtanteil beträgt nahezu 63%.

Die Ackerfläche der Betriebe liegt in **Baden** wiederum sehr ähnlich und beträgt im Mittel 91ha. Dagegen ist sie in **Württemberg**, wo Grünland eine größere Rolle spielt, deutlich geringer: Die Ackerfläche macht hier durchschnittlich 61ha bei den „Studentenbetrieben“ in Württemberg und ebenfalls 61ha bei den „Schülerbetrieben“ in Württemberg aus. Auch hier ist die Spannweite beträchtlich und reicht von 0,3ha (Sonderkulturbetrieb bei den „Studentenbetrieben“) bis 290ha Ackerfläche (Maximumwert der Betriebe in Baden).

Die Ackerfläche macht in Baden – Württemberg 91/62/61% der landwirtschaftlichen Nutzfläche aus. Sie wird ergänzt durch 8/34/35 % Grünland und 1/5/3 % Sonderkulturen (jeweils: Betriebe in Baden / „Studentenbetriebe“ in Württemberg / „Schülerbetriebe“ in Württemberg). In Baden ist Ackerbau also deutlich weiter verbreitet als in Württemberg, wo Grünlandbewirtschaftung eine deutliche Rolle spielt.

Wichtigstes Merkmal der Schläge ist ihre große Anzahl, die durch die geringe Größe der Schläge bedingt ist: Im Mittel haben die Betriebe im **Elsass** 44 Schläge, bei einer Streuung von 2 bis 200!

Die Anzahl der Schläge pro Betrieb liegt in **Baden-Württemberg** im Mittel bei 80 (Baden), 73 („Studentenbetriebe“ in Württemberg) und 83 („Schülerbetriebe“ in Württemberg). Auch in Baden – Württemberg ist die Spannweite beträchtlich und reicht von 17 bis 260 (Baden), 6 bis 400 („Studentenbetriebe“ in Württemberg) und 16 bis 300 („Schülerbetriebe“ in Württemberg) (Elsass 7-275).

Im **Elsass** sind 49% der Schläge kleiner als 1 ha, 32% haben eine Ausdehnung zwischen 1 und 3 ha. Das heißt, dass 81% der Schläge kleiner als 3 ha sind (**Baden**: 90%). Der Anteil der größeren Schläge liegt bei 16% (3-10 ha) bzw. lediglich 3% (> 10 ha) (**Baden**: 0,4-0,8%); (Abb. 169).

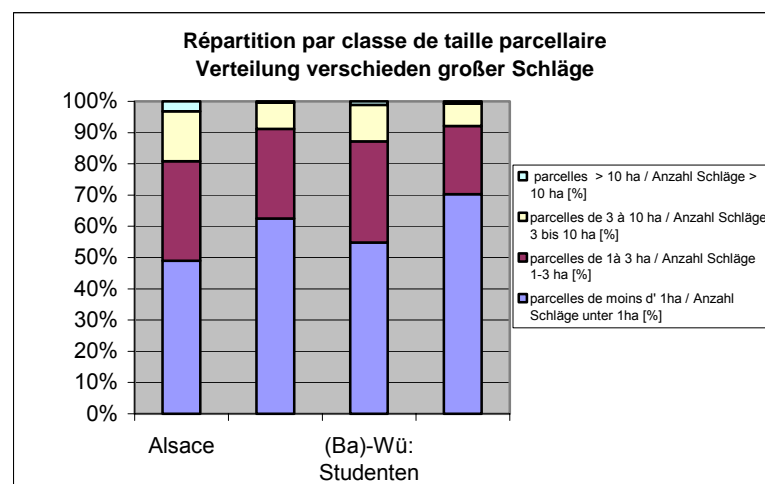


Abb. 169: Verteilung der verschieden großen Schläge

(4) Bodentypen und -Untersuchungen

Auch wenn 40% der **elsässischen** Landwirte angeben, 2, 3 oder 4 unterschiedliche Bodentypen (nur im Elsass gefragt) in ihrem Betrieb zu haben, ist der am häufigsten vorkommende Bodentyp doch der utsL. Bei diesem Bodentyp, der sich nicht ohne weiteres einer genau definierten Kategorie wie Löss oder Hardt zuordnen lässt, handelt es sich meist um Alluvionen, wie man sie in der Rhein- und Illebene und manchmal auch am Fuße der Vogesen antrifft. Lehm- (Löss und Lehm) und Riedböden stehen an zweiter Stelle, gefolgt von denen der Hardt und der Illebene. In der Kategorie „Sonstige“ finden sich sandige, tonige und tonig-lehmige Böden (Tab. 42).

Bodentyp	Anteil der Nennungen
Hardt	12,3%
Lehm	19,9%
schluffig-tonig-sandige Böden	29,7%
Ried	18,6%
Illebene	12,7%
Sonstige	6,8%

Tab. 42: Anteil der genannten Bodentypen in der Befragung der elsässischen Landwirte

Im **Elsass** werden umfassende Bodenuntersuchungen genauso wie bei allen drei Befragungsgruppen in **Baden-Württemberg** im Mittel alle 5 Jahre durchgeführt, unabhängig von der gerade angebauten Kultur.

N_{min}-Untersuchungen werden in Sonderkulturen (im Mittel alle 1,7 Jahre) oder in Getreide (im Mittel alle 2 Jahre) häufiger als in Mais (im Mittel alle 3 Jahre) durchgeführt (Elsass). Für Baden-Württemberg war diese Kategorie wegen unregelmäßiger Beantwortungen nicht auswertbar.

Die gemachten Angaben zu den Bodenpunkten (nur in **Baden-Württemberg** gefragt) zeigen, dass die Betriebe in Baden bezüglich der Böden etwas besser ausgestattet sind, als in Württemberg (Abb. 170).

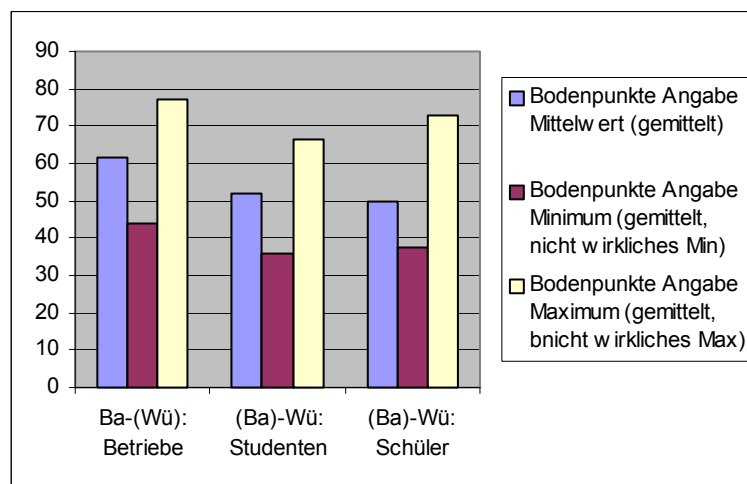


Abb. 170: Mittelwerte zu den angegebenen Bodenpunkten (Minimum, Maximum und Mittelwert)

(5) Anteile der Kulturen

Wie [Abbildung 171](#) zeigt, ist im Oberrheingebiet (Elsass und Baden (Betriebe)) Mais die bevorzugt angebaute Kultur in den befragten Betrieben. Mit größerem Abstand folgt Getreide. Bei den befragten Betrieben im **Elsass** werden 64% der Ackerfläche mit Mais bestellt, welcher einen Anteil von 62,5% an der LF aufweist. 13% entfallen auf andere Getreidearten. An dritter Stelle steht die Stilllegungsfläche mit 9% der Fläche, gefolgt von den Sonderkulturen mit 7% (vor allem Zuckerrüben, aber auch Tabak, Kohl, Reben und Feldgemüse). Futterbau und Ölsaaten spielen mit 4% bzw. 1% der Fläche eine nachrangige Rolle. Körnerleguminosen fehlen praktisch komplett. Die Umfragestichprobe umfasst also überwiegend Getreidebauern mit Schwerpunkt Mais, was für die Landwirtschaft der elsässischen Ebene recht typisch ist.

79 Landwirte geben an, Zwischenfrüchte anzusäen. Das ist die Hälfte der Befragten. Der Platz in der Fruchtfolge wird nicht immer angegeben. In der Mehrzahl der Fälle folgt die Zwischenfrucht aber auf Weizen bzw. zwischen Weizen und Mais.

Der Anteil beregneter Flächen ist deutlich höher als der von drainierten Flächen: 82% der Flächen sind beregnet oder drainiert gegenüber 18% nur drainierter Flächen. Der Anteil der Beregnungsfläche an der LF beläuft sich auf 42,3%. Dies ist viel und deutlich mehr als im Mittel des Elsass (16%).

Die Verteilung der Kulturanteile auf die drei Befragungsgruppen in **Baden-Württemberg** zeigt [Abbildung 171](#).

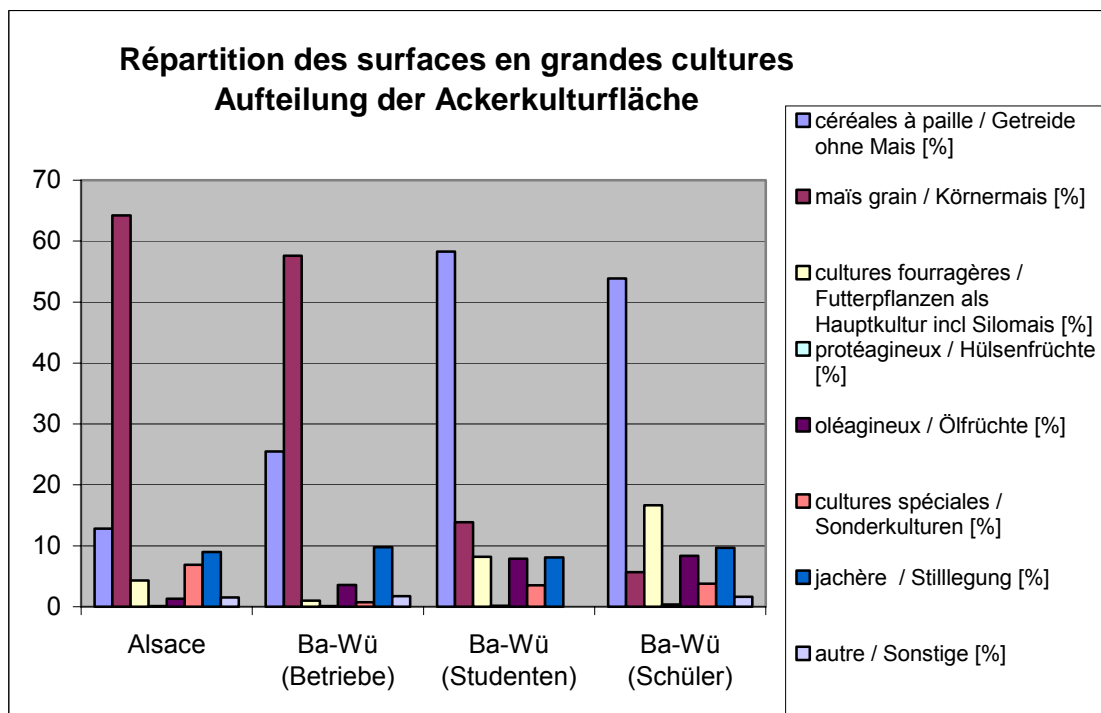


Abb. 171: Aufteilung der Ackerkulturfläche

(6) Homogenität der Schläge

47% der **elsässischen** Landwirte sind der Ansicht, dass ihre Schläge nicht homogen sind (etwa 55% **Baden**), 42% meinen, dass sie es nur teilweise sind, während 12% ihre Schläge als homogen ansehen. Im übrigen kennen die Landwirte ihre Schläge und die darin vorkommenden Unterschiede gut (78%) und berücksichtigen diese bei der Bewirtschaftung (44% 'ja', 43% 'zum Teil'). Über die Notwendigkeit zusätzlicher Informationen über diese Unterschiede gehen die Meinungen folglich auseinander.

In Baden ist die Mehrheit der Landwirte der Ansicht, dass die von ihnen bewirtschafteten Schläge inhomogen sind. In **Württemberg** („Studenten“- und „Schülerbetriebe“) glauben das weniger als die Hälfte. Auffällig ist, dass fast 30% der Studenten der Meinung sind, dass in ihren Betrieben die Schläge überwiegend homogen sind (Abb. 172).

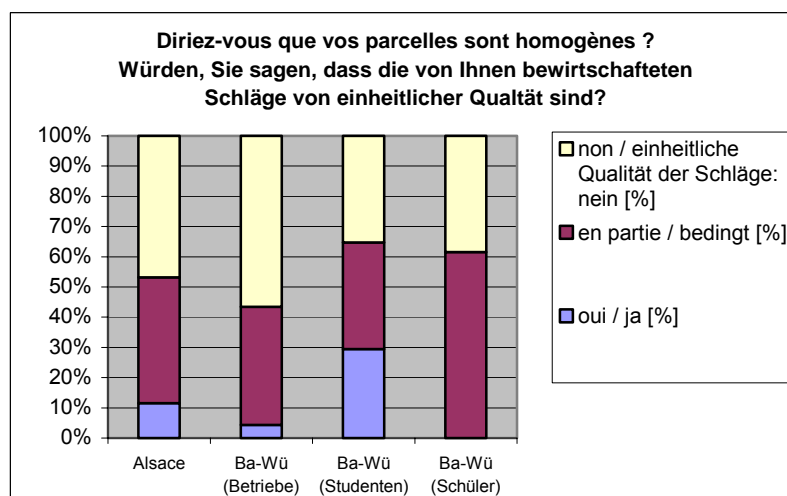


Abb. 172: Einschätzung der Befragten zur Homogenität der Schläge

Insgesamt sind die Landwirte der Meinung, dass sie gut über ihre Schläge informiert sind. Nur die Schüler kennen die Betriebsflächen nicht so gut (Abb. 173).

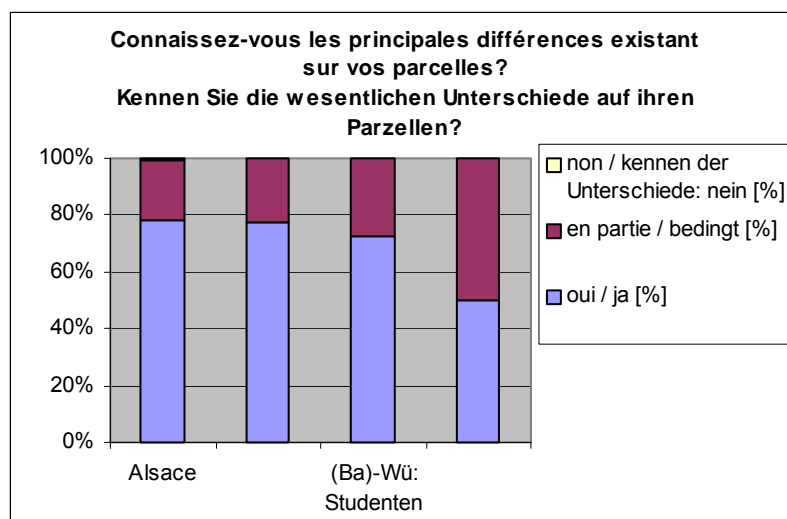


Abb. 173: Einschätzung des Kenntnisstandes der Befragten zu den Parzellenunterschieden

Dementsprechend sehen die Schüler die größte Notwendigkeit, zusätzliche Informationen über die Schläge einzuholen, während aus dieser Befragungsgruppe gleichzeitig aber auch die meisten Nennungen bestehen, die der Meinung sind, dass keine weiteren Informationen nötig sind. Die Einschätzungen verhalten sich also ambivalent, was sich durch alle Befragungsgruppen hindurch zieht (Abb. 174).

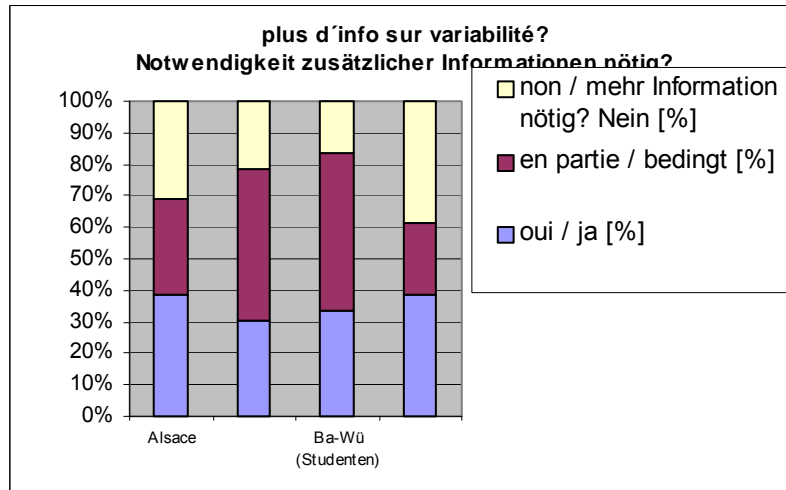


Abb. 174: Einschätzungen der Befragungsgruppen über die Notwendigkeit zusätzlicher Informationen über die Schläge bei der Bewirtschaftung

(7) Bewirtschaftung

Die meisten Arbeiten in den **elsässischen** Betrieben führen die Landwirte mit eigenen Maschinen durch. Dies zeigt, dass die Maschinenausstattung der Betriebe im Allgemeinen gut ist und die Strukturen zur gemeinschaftlichen Nutzung von Maschinen (Maschinenring) eher schwach sind. Bodenbearbeitung und Pflanzenschutz werden praktisch nur vom Landwirt durchgeführt, die Düngung und insbesondere die Kalkung kann hingegen schon einmal von einem Lohnunternehmer ausgeführt werden. Eine Domäne der Lohnunternehmer sind dagegen die Erntearbeiten: 52% von Mähdrusch bzw. Mahd und 62% der Silierarbeiten werden von Lohnunternehmern erbracht.

Wie im Elsass werden auch in **Baden-Württemberg** die meisten Arbeiten mit eigenen Maschinen durchgeführt. Allerdings zu geringeren Anteilen. Lediglich Ernte bzw. Mähdrusch werden überwiegend im Lohn durchgeführt. Einen Anteil von immerhin knapp 20% Lohnarbeiten haben Düngung bzw. Kalkung, sowie der Abtransport der Ernte. Den größten Anteil an überbetrieblicher Arbeitserledigung haben Silage mit 17% sowie die Düngung/Kalkung mit 12% (Abb. 175).

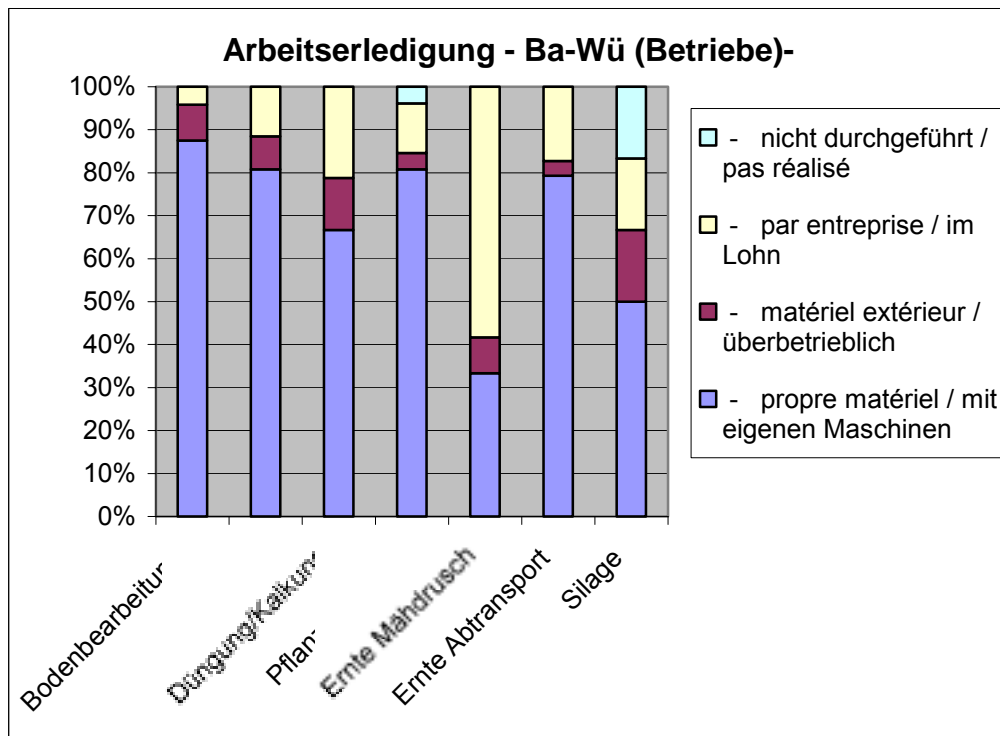


Abb. 175: Arbeitserledigung der befragten Betriebe in Baden

(8) Landwirtschaftsberatung

Im **Elsass** wird die Landwirtschaftsberatung zu je etwa einem Drittel von den Landwirtschaftskammern bzw. vom Landhandel und den Genossenschaften erbracht. Die technischen Institute folgen mit 21%, während die Industrie und 'Sonstige', worunter sich insbesondere die Fachzeitschriften verbergen, 7% ausmachen. Die Aufteilung der Beratung bei den drei Befragungsgruppen in **Baden-Württemberg** zeigt [Abbildung 176](#).

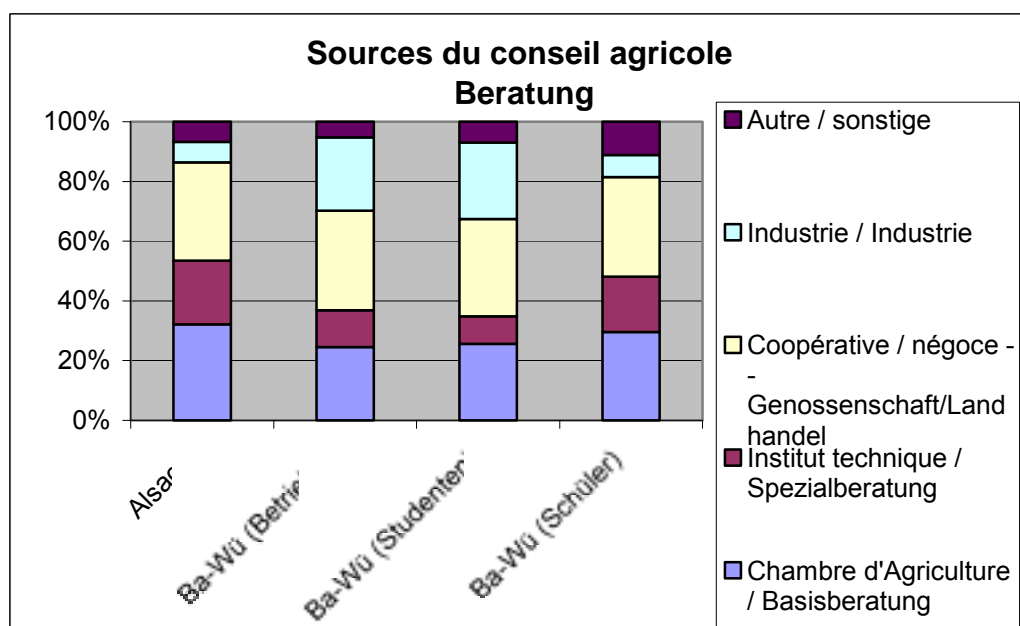


Abb. 176: Aufteilung der Beratung

(9) Düngung

Die Mehrheit der **elsässischen** Landwirte gibt an, die auf den einzelnen Schlägen erforderliche Düngung gut abschätzen zu können (58% 'ja' und 38% 'zum Teil', insgesamt also 96%). Das deckt sich mit der Aussage, dass sie die Schläge gut kennen (s.o.).

Deshalb glauben auch drei Viertel, richtig zu düngen und befürchten nicht, zu viel oder zu wenig zu düngen.

Die meisten nehmen eine Düngungsberatung in Anspruch: Die Empfehlungen von Beratungsaktionen wie „Ferti-mieux“ werden am häufigsten genannt, berücksichtigt werden aber auch Bodenuntersuchungsergebnisse, N_{\min} -Untersuchungen oder Pflanzenanalysen (z.B. Jubil). Mit den Beratungsempfehlungen, die als zuverlässig erachtet werden, sind sie zufrieden. Sie werden in der Regel umgesetzt.

Ebenso wie die Einschätzung der **baden-württembergischen** Befragungsgruppen, die Schläge gut zu kennen, geht auch die Beurteilung, die Düngung richtig einschätzen zu können über die Studenten zu den Schülern stark zurück (Abb. 177). Ohne die Schläge gut zu kennen, kann nämlich auch die Düngung nicht gut eingeschätzt werden (vgl. Abb. 173). Auffallend ist, dass die Landwirte in Baden (Betriebe) gegenüber denjenigen im Elsass mit fast 25% größerem Anteil glauben, die Düngemenge selbst richtig einschätzen zu können.

Entsprechend glauben auch 92% der Landwirte in Baden angepasst zu düngen, während es im Elsass immerhin 74% sind. Daher befürchten auch nur etwa 4-6%, dass sie zu wenig düngen, während die Ergebnisse der Schülerbefragung hier eine Ausnahme bilden, indem hier 14% befürchten, zu wenig zu düngen. Während im Elsass etwa 10% der Befragten angeben, dass sie damit rechnen, im Überschuss zu düngen, taucht diese Aussage bei den Betrieben in Baden nicht auf. Auffällig ist auch, dass 95% der Betriebe in Baden angeben, Düngeempfehlungen

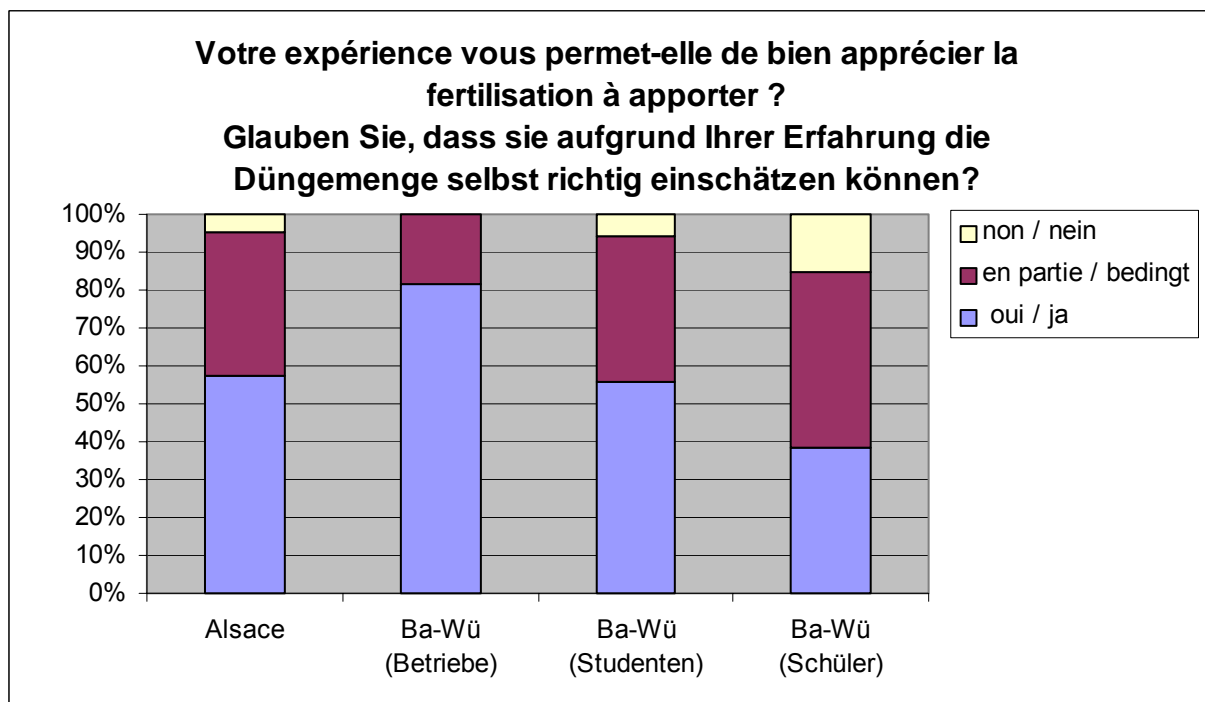


Abb. 177: Eigene Beurteilung der Befragungsgruppen darüber, ob die Düngung richtig eingeschätzt werden kann

heranziehen, während dies im Elsass von lediglich 61% der Befragten angegeben wird. Dabei erscheinen die Düngeempfehlungen 77% der befragten Betriebe in Baden als vertrauenswürdig, während im Elsass nur 56% der Befragten den Empfehlungen das uneingeschränkte Vertrauen geben. Noch kritischer werden die Düngeempfehlungen von den Studenten und Schülern in Württemberg angesehen. Das Vertrauen wird hier jeweils nur etwa von 42% der Befragten ausgesprochen.

(10) EDV Ausstattung

Während im Elsass 88% der befragten Landwirte einen PC haben, sind es bei den befragten badischen Betrieben 96%. Die Betriebe mit Schülern sind zu 94%, diejenigen mit Studenten zu 100% mit Computern ausgestattet.

Dabei haben die Betriebe im Elsass im Mittel etwa seit 7 Jahren, die Betriebe in Baden seit 12 Jahren, diejenigen in Württemberg mit Studenten seit 8 Jahren und diejenigen mit Schülern seit 12 Jahren einen PC.

Dabei gibt es bei 95% der PCs in den Betrieben, 87% der PCs in den „Schülerbetrieben“ und 84% derjenigen der „Studentenbetriebe“ Internetanschluss, während es im Elsass 87% sind.

Insgesamt halten die **elsässer** Landwirte den Computer im Betrieb für hilfreich, die Ansichten sind jedoch differenziert. Um 87% der Betriebsleiter und Studenten in Baden-Württemberg empfinden den PC als eine Erleichterung, während es gerade mal 79% der Schüler sind.

Mehr als die Hälfte der befragten **elsässer** Landwirte gibt an, einen Computerkurs besucht zu haben, mit dem Computer klar zu kommen und die Arbeit mit ihm zu schätzen. Ein nicht unbeträchtlicher Teil der Befragten (30%) gibt jedoch an, keinen EDV-Kurs besucht zu haben und mit einigen Programmen Mühe zu haben. Dies kann eine gewisse Zurückhaltung bei der Investition von Zeit in die Computerarbeit bzw. von Investitionen in die Präzisionslandwirtschaft erklären.

In **Baden Württemberg** fühlen sich nur 50% der befragten Landwirte in Baden grundsätzlich sicher im Umgang mit dem PC. Bei den Studenten sind das 61% und bei den Schülern sogar 79%.

Von den Landwirten fühlen sich 80% im Umgang mit einem landwirtschaftlichen Modell sicher, 70% in einer Tabellenkalkulation und 65% fühlen sich in einer Textverarbeitung sicher. Bei den Studenten sind es 84%, die sich in einer Textverarbeitung, 60%, die sich in einer Tabellenkalkulation und nur 35% die sich in einem landwirtschaftlichen Programme sicher fühlen.

Bei den Schülern sind es 93% in der Textverarbeitung, 71% in einer Tabellenkalkulation und immerhin 50%, die sich in einem landwirtschaftlichen Programm sicher fühlen.

Obwohl es ganz annehmbare Prozentsätze innerhalb der Befragungsgruppen sind, die sich im Umgang mit dem PC sicher fühlen, sind es in Baden-Württemberg doch gerade nur 60% der befragten Landwirte, 52% der Studenten und 57% der Schüler, die angeben, dass Ihnen der Umgang mit dem PC Spaß macht. Erstaunlicherweise, sind es die Landwirte, die sich am wenigsten sicher am PC fühlen und dabei am ehesten noch Spaß dabei haben.

Neben anderen Faktoren könnte auch dieser geringe Spaßanteil dazu beitragen, dass es eine gewisse Zurückhaltung gegenüber der EDV geprägten Präzisionslandwirtschaft gibt.

(11) Einstellung zu GPS

Eine große Mehrheit der **elsässischen** Landwirte verfügt nicht über mit GPS oder Computer ausgerüstetes landwirtschaftliches Gerät. Von den **badischen** Befragten geben 14% der befragten an, GPS auf landwirtschaftlichen Maschinen zu haben. Diese Zahl scheint nicht repräsentativ zu sein und muss mit der Adressenauswahl zur Befragung über Präzisionslandwirtschaft zusammen. Jedenfalls ist klar, dass die überwiegende Mehrheit der Landwirte nicht über eine GPS-Ausstattung verfügt.

Praktisch alle der befragten Personen haben von GPS gehört und die meisten fühlen sich in der Lage, es in Grundzügen zu beschreiben, zumindest teilweise. Der Bezug zu dieser Thematik besteht vor allem über Anwendungen im Kraftfahrzeug, aber auch durch die Flächenvermessung der Schläge des Betriebes und im Zusammenhang mit der Bodenbeprobung. Die Nutzung von GPS für die Ertragskartierung ist weitaus weniger verbreitet. Die Erstellung von Düngekarten existiert praktisch nicht.

(12) Informationsstand bezüglich Präzisionslandwirtschaft

Auffallend ist, dass sich alle Befragungsgruppen über Präzisionslandwirtschaft nicht genügend informiert fühlen.

Im **Elsass** wissen darüber 90% nur mittelmäßig bis gar nicht Bescheid. Geht man jedoch ins Detail, so sind die einzelnen Elemente dieser Technologie im Allgemeinen schon bekannt, insbesondere die Begriffe „Präzisionslandwirtschaft“ im Allgemeinen, „intraparzelläre Betriebsmittelmodulation“ und „Ertragssensoren“. Weniger bekannt sind die Begriffe „GIS“ und „Fernerkundung“.

Einen hohen Kenntnisstand schätzen lediglich 9% der befragten Studenten in **Baden-Württemberg** ein. Die Mehrheit empfindet nur einen mittelmäßigen Kenntnisstand, nämlich 58% der Betriebe in Baden, 44% der Studenten in Württemberg und 87% der Schüler in Württemberg. Einen geringen eigenen Kenntnisstand beurteilen 37% der befragten Betriebe in Baden, 47% der befragten Studenten in Württemberg und 14% der befragten Schüler in Württemberg. Gar 5% der befragten Landwirte in Baden haben noch nie etwas von Präzisionslandwirtschaft gehört.

In Baden-Württemberg sind die bekanntesten Begriffe aus der Präzisionslandwirtschaft „teilflächenspezifische Bewirtschaftung“, „Ertragssensor“ und „Bestandessensor“.

Dagegen ist der Begriff „Modulation von Betriebsmitteln im Gegensatz zum Elsass ziemlich unbekannt, was daran liegen kann, dass der Wortstamm Modulation im weiteren deutschsprachigen Kontext kaum Bedeutung hat.

(13) Interesse an Präzisionslandwirtschaft

Als Einsatzgebiete, die für die Präzisionslandwirtschaft interessant sein können, werden im **Elsass** zunächst die Stickstoffdüngung und die Ertragskartierung genannt. Das verwundert nicht, da Stickstoffdüngung und Ertrag eng miteinander verbunden sind. Wenn sie den Ertrag kennen, können sich die Landwirte das Ertragspotential ihrer Schläge besser vorstellen. Außerdem ist der Ertrag eine wichtige Komponente ihres Einkommens. Was die Stickstoffdüngung betrifft, so sind die Landwirte schon seit längerem sensibilisiert für die

Anpassung der Düngung (Ferti-mieux-Aktionen), die leicht zu bewerkstelligen ist. Im übrigen sind auf diesen Gebieten bereits Instrumente verfügbar.

In zweiter Linie besteht Interesse an der intraparzellären Modulation der Grunddüngung. Das Interesse der Landwirte am Einsatz der Präzisionslandwirtschaft im Bereich Pflanzenschutz oder Fahrzeuglenkung ist dagegen geringer.

Im Gegensatz dazu sehen die befragten Landwirte in **Baden** als potentielle Einsatzgebiete der Präzisionslandwirtschaft zunächst die Ertragskartierung (86%), dann die Lenkhilfe zur Spurhaltung (68%) und schließlich die teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (61%).

Bei den befragten Studenten in Württemberg ergibt sich die identische Reihenfolge, wobei die Prozentsätze um einiges weniger ausgeprägt sind, als bei den befragten Betrieben in Baden: Für die Ertragskartierung (62%), als Lenkhilfe zur Spurhaltung (53%) und zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (41%).

Bei den Schülern sehen 67% einen potentiellen Einsatz bei der Grunddüngung, 60% für die Ertragskartierung und jeweils 54% bei der N-Düngung und als Lenkhilfe zur Spurhaltung.

Das geringste Potential sehen die Landwirte in Baden und die Schüler in Württemberg bei der Unkrautbekämpfung. Erstaunlicherweise sehen die württembergischen Studenten hingegen das geringste Potential bei der Grunddüngung und dann erst bei der Unkrautbekämpfung. Das könnte damit zusammenhängen, dass durch die vermittelten Informationen in der Lehre neue Möglichkeiten der teilflächenspezifischen Unkrautbekämpfung bekannt sind (vgl. Literatur unter Kapitel 1.3 (1), wovon Betriebsleiter und Schülern noch nichts wissen.

(14) **Motive für den Einsatz von Präzisionslandwirtschaft**

Obwohl etliche Vorbehalte angeführt werden wie beispielsweise die Investitionskosten und die Flurzersplitterung) verwerfen die **elsässischen** Landwirte die Präzisionslandwirtschaft nicht in Bausch und Bogen. Die meisten können sich einen Einsatz vorstellen, sofern sie entsprechend geschult werden und die Wirtschaftlichkeit gegeben ist. Zurückhaltender sind die Landwirte, wenn es darum geht, den ökonomischen und ökologischen Nutzen dieser Technologie für ihren Betrieb zu erkennen. Sie sehen für sich keinen großen Verbesserungsspielraum und können sich deshalb einen Einsatz in ihrem Betrieb nicht vorstellen (s. o. erwähnte Hemmnisse).

Interessanterweise sind die befragten **badischen** Betriebsleiter viel weniger gegenüber dem Einsatz von Präzisionslandwirtschaft aufgeschlossen als ihre elsässischen Kollegen, obwohl im Verhältnis fast doppelt so viele davon überzeugt sind, dass Präzisionslandwirtschaft ökonomisch eine Hilfe sein kann (61%, Elsass 33%) und ein wesentlich größerer Anteil davon überzeugt ist, dass sie auch ökologisch sinnvoll ist (60%, Elsass 42%). Das zeigt sich darin, dass lediglich 57% der befragten badischen Betriebe für einen Einsatz von Präzisionslandwirtschaft offen wäre, wenn er betreut würde und kostenneutral wäre, während es im Elsass 71% sind. Die Schüler und Studenten sind demgegenüber sehr aufgeschlossen und würden ein solches Angebot jeweils mit 80% befürworten. Nur ein sehr geringer Anteil hält grundsätzlich überhaupt nichts von Präzisionslandwirtschaft (Elsass 9%, Badische Betriebsleiter 0%, württembergische Studenten 3% und württembergische Schüler 0%). Dabei werden als Vorteile vor allem Einsparungen und Umweltschutzaspekte genannt und als Nachteile die hohen Kosten bzw. Investitionskosten sowie die Probleme durch die Kleinstruktur.

Die gemeinschaftliche modulierte Düngung von benachbarten Schlägen findet im **Elsass** einigermaßen Akzeptanz (65% 'ja' oder 'zum Teil'). Trotz der kleinen Schläge und der Flurzersplitterung sind aber 30% nicht zu einer 'virtuellen Flurbereinigung' bereit, was auch Ausdruck eines gewissen Individualismus ist.

(15) Bereitschaft zu Investitionen in die Präzisionslandwirtschaft

Wenn Landwirte in die Präzisionslandwirtschaft einsteigen würden, wären je 32% der Befragten im **Elsass** alleine bzw. im Rahmen einer Maschinengemeinschaft (CUMA) in die hierfür erforderlichen Maschinen bzw. Ausrüstungen zu investieren. 13% wären zu keinerlei Investitionen bzw. Beteiligungen bereit.

Auf der anderen Seite haben die Befragten aber keine Vorstellungen der zu zahlenden Preise, die für Dienstleistungen wie die Erstellung einer Ertragskarte (Beispiel A, 36% der Antworten) oder die Modulation der Düngung (Beispiel B, 40% der Antworten) anfallen würden. Ein großer Teil der befragten Landwirte (31% bzw. 27% für die Beispiele A bzw. B) wäre überhaupt nicht bereit, etwas zu bezahlen, obwohl sie die Dienstleistung interessant finden.

Diejenigen, die bereit wären, etwas zu bezahlen, würden nicht viel bezahlen, nämlich höchstens 10 €/ha.

Von allen Befragungsgruppen in **Baden-Württemberg** könnten sich etwa 15% (12 und 18%) der Befragten keinerlei eigene Investitionen vorstellen. Auffällig ist, dass die Investitionsbereitschaft in eigene Maschinen im Elsass größer ist (32% gegenüber 21% der Betriebe in Baden). Insbesondere die Schülerbetriebe sind demgegenüber aufgeschlossener für

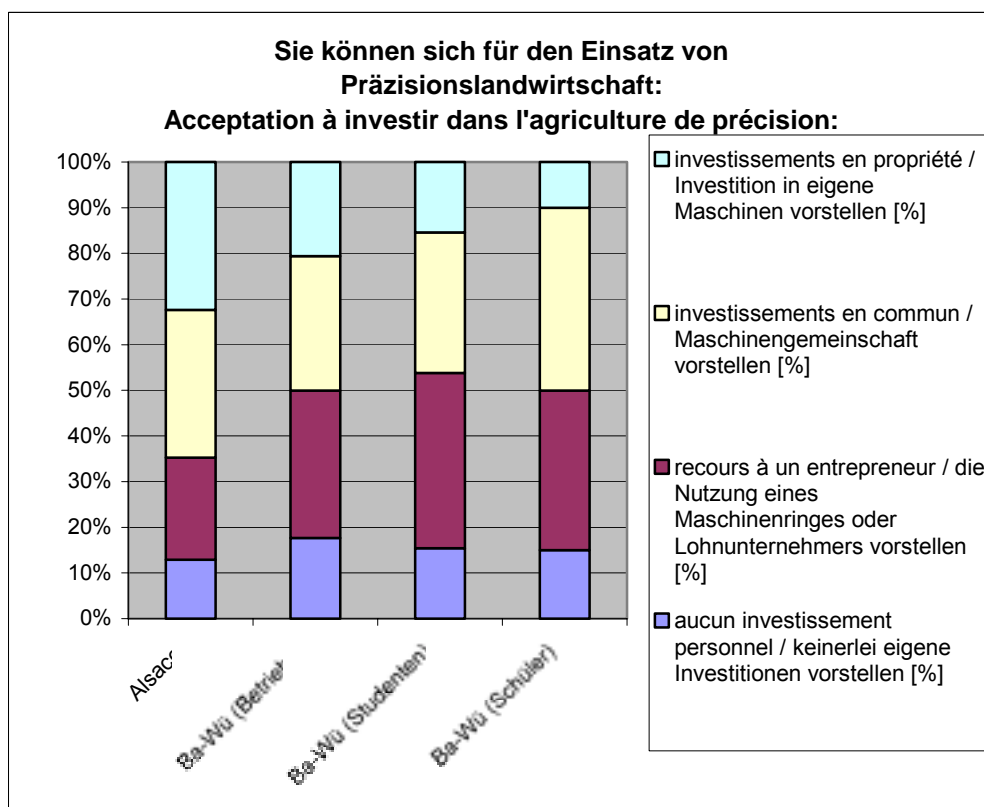


Abb. 178: Investitionsbereitschaft für Präzisionslandwirtschaft

Investitionen in Maschinengemeinschaften (40%), während die Studentenbetriebe die Nutzung eines Maschinenrings oder Lohnunternehmers bevorzugen (38%). Bei den Betrieben in Baden halten sich die Vorstellung der Nutzung eines Maschinengemeinschaft oder eines Maschinenrings/Lohnunternehmers in etwa die Waage (29% und 32%) (Abb. 178).

Für den Mehraufwand einer Ertragskartierung könnten sich die allermeisten Betriebe auch die Zahlung von Mehrkosten vorstellen. Dabei sind die Betriebe im Elsass hierzu am meisten aufgeschlossen (Elsass 87%, Betriebe in Baden 76%, „Studentenbetriebe“ in Württemberg 79% und „Schülerbetriebe“ in Württemberg 73%). Ebenso können sich die Befragten auch vorstellen für die Aufwendungen der Bereitstellung einer teilflächenspezifischen Applikationskarte aufzukommen. Allerdings verhalten sich die Betriebe in Baden im Vergleich zu den anderen Befragungsgruppen an diesem Punkt sehr zurückhaltend (Elsass 87%, Betriebe in Baden 43%, „Studentenbetriebe“ in Württemberg 92% und „Schülerbetriebe“ in Württemberg 73%).

Hier fällt auf, dass der Prozentsatz zu dieser Antwort im Elsass und bei den „Schülerbetrieben“ in Württemberg identisch zu demjenigen zur Bereitschaft für die Ertragskartierung ist. Das ist konsequent, da eine Ertragskartierung ohne Weiterverarbeitung im Sinne einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung erst den vollen Nutzen bringt.

Interessanterweise ist bei den badischen Betrieben die Bereitschaft zur Zahlung für die Durchführung einer Ertragskartierung aber wesentlich höher als für die Durchführung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung (76% und 43% der befragten Betriebsleiter).

Von den befragten Studenten können sich sogar 93% Kostenaufwendungen für teilflächenspezifische Bewirtschaftungen vorstellen (79% für eine Ertragskartierung).

Dieser grundsätzlichen Bereitschaft zur Zahlung steht allerdings gegenüber, dass ein Drittel der Landwirte in Baden keine Vorstellung davon hat, welche Höhe der Mehraufwand haben könnte. Aus denjenigen Antworten der befragten Betriebsleiter, denen es möglich war, einen bezahlbaren Mehraufwand zu schätzen, errechnet sich dann eine mittlere Zahlungsbereitschaft für die Erstellung einer Ertragskartierung von 6,91 Euro/ha. Der berechnete Mehraufwand für die Durchführung einer teilflächenspezifischen N-Düngung ergab 8,89 Euro/ha, also ähnlich wie im Elsass ermittelt unter 10 Euro/ha.

Auffällig ist, dass die Differenz zur Zahlungsbereitschaft gegenüber einer reinen Ertragskartierung von 1,97€/ha in Baden sehr gering ist und nur einen Bruchteil dessen für den Mehraufwand der Erstellung der Ertragskartierung ausmacht.

Dabei liegt der Aufwand zur Weiterverarbeitung einer Ertragskartierung zu einer Stickstoffapplikationskarte um einiges höher als zur reinen Erstellung einer Ertragskartierung.

Eine Erklärung für diese Ungereimtheit könnte darin liegen, dass die Landwirte sich vorstellen, anhand einer Ertragskartierung den Düngbedarf auf dem Schlag grob manuell im Sinne einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung anpassen zu können. Oder aber man geht davon aus, dass mit der erhobenen Ertragskartierung alle wesentlichen Parameter für eine Applikationskarte bereits erfasst wären.

Beide möglichen Erklärungen zeugen davon, dass erheblicher Informationsbedarf bei den Landwirten über die Wirkungsweise von Präzisionslandwirtschaft besteht.

Entsprechend der scheinbar erhöhten Aufgeschlossenheit für Präzisionslandwirtschaft im **Elsass** ist die Bereitschaft zur Verwaltung von Nährstoff- und Ertragskartierungen in einer zentralen Datenservicestation hier mehr als doppelt so hoch als in **Baden** (24% und 10%). Lediglich die Schülerantworten zeigen in Baden-Württemberg eine leicht erhöhte Offenheit

(27%). Allerdings ist hier auch der Anteil derjenigen, die sich dem strikt verweigern (27%) größer, als bei den Betrieben im Elsass (19%), aber auch in Baden (20%). Daneben gibt es einen sehr hohen Anteil von Antworten die diese zentrale Datenhaltung von Bedingungen abhängig machen wollen (Elsass 56%, Baden Betriebe 70%, „Studentenbetriebe“ 67% und „Schülerbetriebe“ 46%) (Abb. 179). Die Bedingungen und Voraussetzungen, unter denen sich die Befragten eine solche Datenhaltung vorstellen könnten, wurden aber im Fragebogen leider nicht abgefragt

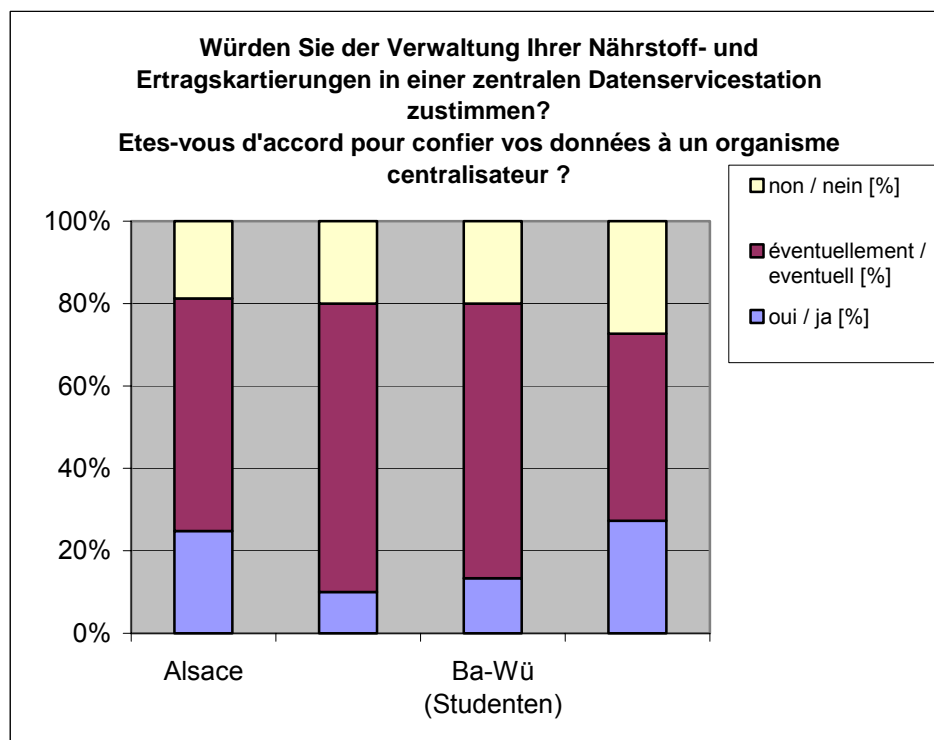


Abb. 179: Zustimmung zur Verwaltung der Nährstoff- und Ertragskartierungen in einer zentralen Datenservicestation

Entsprechend der freien Antworten im Fragebogen zu den notwendigen Veränderungen zum Einsatz von Präzisionslandwirtschaft (Abb. 180) müssten sich vor allem die Kosten verringern, damit Präzisionslandwirtschaft in den befragten Betrieben eingesetzt werden könnte. Mit 30-50% der Antworten der verschiedenen Befragungsgruppen hat dieser Antwortblock jeweils den größten Anteil. Daneben werden insbesondere die zu kleinen Strukturen als hinderlich betrachtet. Die Schüler bemängeln die Bedienbarkeit der Systeme. Sie erwähnen im Besonderen die Störanfälligkeit.

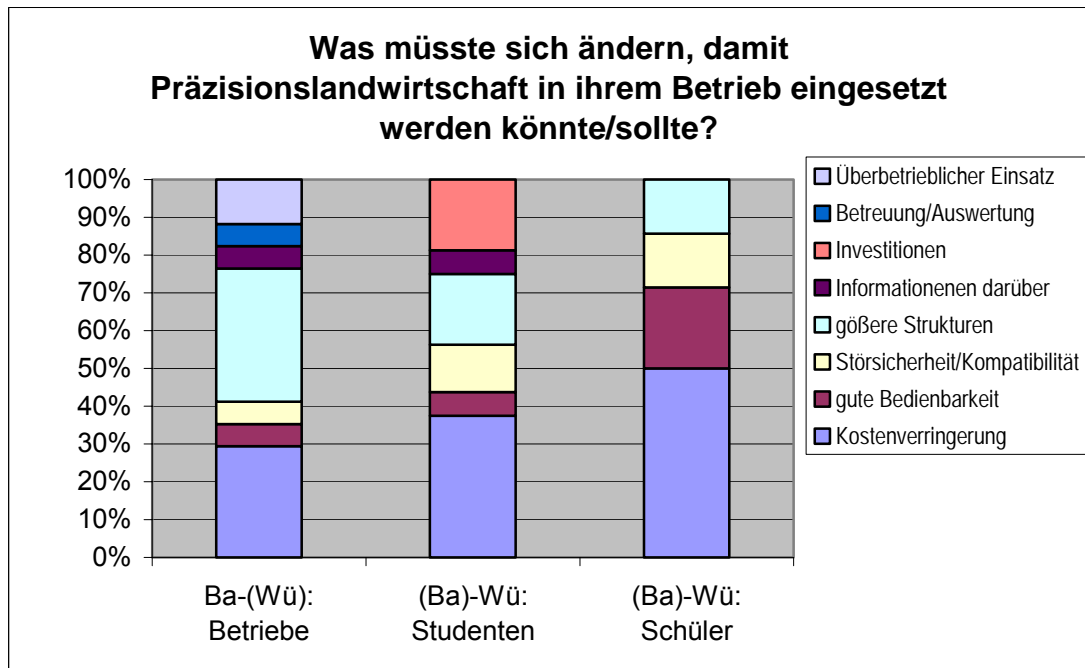


Abb. 180: Problemanalyse bei den unterschiedlichen Befragungsgruppen

Die Studenten differenzieren hingegen im Besonderen zwischen Kosten und Investitionskosten. Nimmt man beide zusammen, so hat der Kostenaspekt im Allgemeinen ein sehr deutliches Gewicht.

Aus der praktischen Erfahrung heraus sehen die Landwirte darüber hinaus Probleme beim überbetrieblichen Einsatz. Die Bereitschaft zur Umsetzung von Präzisionslandwirtschaft würde sich verbessern, wenn die von den Befragten eigenständig formulierten Probleme angegangen werden könnten.

(16) Erfahrungen mit Präzisionslandwirtschaft

Eine 97%-Mehrheit der an der Befragung teilnehmenden **elsässischen** Landwirte hatten noch keinerlei Erfahrung mit Präzisionslandwirtschaft (lediglich die am vorliegenden Projekt beteiligten). Die Fragen zu eventuell auftretenden Problemen sind deshalb im Elsass nicht auswertbar. Dies gilt auch für den ökonomischen Nutzen der Präzisionslandwirtschaft: Da die meisten Landwirte noch nie damit zu tun hatten, können sie auch nicht darüber berichten.

Auch in **Baden-Württemberg** hatten die Befragten im Allgemeinen bisher noch kaum Erfahrung mit Präzisionslandwirtschaft. Dabei kamen die befragten Betriebe in Baden (11%) und die „Schülerbetriebe“ (10%) aber bereits etwas häufiger damit in Berührung als im Elsass (3%). Eine Ausnahme machen die befragten Studenten mit 31%, die auf Erfahrungen an der Universität (Kurse) zurückgreifen können, was auch aus den Antworten des Fragebogens hervorgeht.

(17) Vor- und Nachteile

Zu den offenen Fragen des Fragebogens über die Vor- und Nachteile haben sich nur wenige Landwirte geäußert.

Im Zweifelsfall wurde im **Elsass** ein Kommentar allerdings eher zu den Hemmnissen und Nachteilen (58%) als zu den Vorteilen (21%) abgegeben. Auch bei den Antworten aus den Betrieben in Baden werden mehr Anmerkungen zu den Nachteilen genannt (Nennungen zu Vorteilen 43% und Nachteilen 52% der Befragten in Baden), während sich dies bei den Studenten die Waage hält (Nennungen zu Vorteilen 26% und Nachteilen 26% der befragten Studenten) und schließlich die Schüler mehr Bemerkungen zu Vorteilen als zu Nachteilen machen (Nennungen zu Vorteilen 27% und Nachteilen 20% der befragten Schüler). Womöglich ist dies ein Zeichen dafür, dass die ältere Generation Neuerungen etwas kritischer gegenüber steht und dass die jüngere Generation demgegenüber etwas aufgeschlossener ist.

Von den Vorteilen der Präzisionslandwirtschaft oder intraparzellären Modulation wurde im **Elsass** am häufigsten die Anpassung der Düngung genannt. Dies ist in der Tat eines der Hauptziele der Präzisionslandwirtschaft. Am zweithäufigsten wurde genannt, dass die Ertragspotentiale der Schläge besser bekannt werden und an dritter Stelle der Vorteil für die Umwelt. Der wirtschaftliche Nutzen ist nicht klar. Er wurde nur 6 Mal genannt. Außerdem sind einige der Ansicht, dass diese Technologie eine Zeitersparnis, eine bessere Arbeitsorganisation sowie Hilfestellung bei der Maschinensteuerung bringen könnte.

Für andere wiederum verwandelt sich dieser Vorteil in einen Nachteil. Sie erwarten höhere Inanspruchnahme und höheren Zeitaufwand. Der bedeutendste und bei weitem am häufigsten genannte Hinderungsgrund ist jedoch der Investitionsbedarf und die schlechte Rentabilität der Präzisionslandwirtschaft, insbesondere in Anbetracht der aktuellen Rahmenbedingungen mit sinkenden Erzeugerpreisen und steigenden Belastungen, welche die Landwirte mit Sorge in die Zukunft blicken lassen.

Der zweite wichtige Hinderungsgrund ist die Flurstücksstruktur: Die Betriebsleiter können sich eine Präzisionslandwirtschaft auf Kleinparzellen nicht vorstellen. Dies ist jedoch ein Merkmal der elsässischen Agrarstruktur. In diesem Punkt haben sie recht, denn die Instrumente sind nicht gut an kleine Parzellen angepasst. Auch halten sich die Unterschiede innerhalb von kleinen Schlägen in Grenzen.

An weiteren Hemmnissen, allerdings in geringerem Umfang, wurden genannt: Die Flurzersplitterung, die Unsicherheit im Umgang mit dieser Technologie, die fehlende Ausbildung, das fehlende Vertrauen in die Zuverlässigkeit der Technik sowie die Notwendigkeit der Umrüstung von bereits vorhandenem Gerät.

In **Baden-Württemberg** werden als Vorteile im Wesentlichen der Umweltschutzaspekt, sowie Einsparungen von Dünge- und Pflanzenschutzmitteln genannt. Als Nachteile werden die hohen Kosten, sowie die Probleme in der Kleinstruktur genannt. Einige finden die PC Programme noch nicht ausgereift und befürchten um die Einsatzsicherheit (GPS Signal).

(18) Analytischer Teil: Beziehungen zwischen einzelnen Faktoren

Um die Befragung näher zu analysieren, wurde eine Liste von interessanten Korrelationen erstellt, die näher untersucht werden sollten. So z.B. diejenige zwischen dem vermuteten Fortschrittspotential von Präzisionslandwirtschaft und der Parzellengröße oder dem Düngungsmanagement oder den Zukunftsperspektiven des Betriebs.

Leider ergibt die statistische Auswertung aber nur selten signifikante Korrelationen zwischen den verschiedenen Faktoren.

Die einzigen statistischen Zusammenhänge, die aus den **elsässischen** Daten ermittelt werden konnten sind folgende:

- Zusammenhang zwischen der Zuverlässigkeit von Beratungsempfehlungen und der Umsetzung dieser Empfehlungen: 55% der Landwirte befolgen die Empfehlung, wenn sie die Beratung für 'zuverlässig' halten. Dieser Anteil steigt auf 99%, wenn die Empfehlung als 'zuverlässig' oder 'mehr oder weniger zuverlässig' angesehen wird. 11% folgen der Empfehlung nicht, auch wenn sie diese als 'zuverlässig' erachten.
- Zusammenhang zwischen der Kenntnis der wichtigsten Unterschiede innerhalb der Schläge und der Bemessung der Düngung: Aufgrund der Kenntnis ihrer Schläge können 81% der Landwirte die Düngung zutreffend bemessen. Dieser Anteil steigt auf 100%, wenn man auch noch die Gruppe derjenigen einbezieht, welche die Unterschiede innerhalb ihrer Schläge nur teilweise kennen. Man kann auch sagen, dass 60% der Landwirte, welche die Unterschiede in ihren Schlägen kennen, die Düngung zutreffend bemessen und dass 96% davon die auszubringende Düngung mehr oder weniger gut abschätzen können.
- Zusammenhang zwischen dem Interesse an Präzisionslandwirtschaft (über die Frage nach dem darin enthaltenen Verbesserungspotential) und der Heterogenität der Schläge: Nur 24% der Landwirte, die ihre Schläge als heterogen ansehen, sehen in der Präzisionslandwirtschaft ein Verbesserungspotential. 54% sehen dagegen keines und 32% nur teilweise.
- Zusammenhang zwischen dem Interesse an Präzisionslandwirtschaft und der Informationsbedarf über die Unterschiede innerhalb der Schläge: 25% der Landwirte, die mehr Informationen über die Variabilität von Schlägen haben wollen, sind an Präzisionslandwirtschaft interessiert. Jedoch sind 27% derjenigen, die mehr Information über ihre Schläge wünschen, an Präzisionslandwirtschaft nicht interessiert (sehen darin kein Fortschrittspotential). Im übrigen sind 46% derjenigen, die nicht an die Präzisionslandwirtschaft glauben, der Ansicht, dass sie keine Informationen über die Unterschiede innerhalb ihrer Schläge benötigen. 63% die daran glauben, wünschen mehr Information.
- Zusammenhang zwischen der Anwendung von Präzisionslandwirtschaft aus Sicht der Landwirte und dem Fortschrittspotential, das sie darin erkennen: Diejenigen, die an die Präzisionslandwirtschaft glauben, wenigstens zum Teil, meinen dass diese für verschiedene Anbaumaßnahmen³ (5 von 6) interessant sein können. Diejenigen, die nichts davon halten oder es nicht so recht wissen, denken trotzdem, dass sie interessant werden könnte, aber nur für 3,5 Maßnahmen im Mittel.

³ Im Fragebogen stehen 6 Maßnahmen zur Auswahl: intraparzelläre Modulation von Betriebsmitteln, Ertragskartierung, Modulation der Grunddüngung, Modulation der Stickstoffdüngung, Modulation der Unkrautbekämpfung, Lenkungssteuerung von Traktoren.

Ein paarweiser, interpretativer Vergleich der Gegebenheiten in **Baden-Württemberg** ergibt die im Folgenden gezeigten Zusammenhänge, die allerdings nicht statistisch korreliert wurden.

Aus den verschiedenen Untersuchungen der Zusammenhänge zwischen einzelnen Fragen der Antworten aus den Betrieben in Baden kann so folgendes abgeleitet werden:

- Von denjenigen, die in Präzisionslandwirtschaft ein großes Potential sehen glauben viele, dass sie angepasst düngen!
Interessanterweise sind es gerade diejenigen, die davon überzeugt sind, dass sie angepasst düngen, welche ein weiteres Potential in der Präzisionslandwirtschaft sehen. Vermutlich ist diese Teilgruppe gegenüber Präzisionslandwirtschaft besonders offen, weil sie für eine angepasste Düngung sensibel ist. Sie erwarten vermutlich eine weitere noch differenziertere Anpassung sowie eine Erleichterung in der Umsetzung durch den Einsatz der neuen Technik
- Wenn die Einschätzung des Potenzials von Präzisionslandwirtschaft abnimmt, nimmt die Unsicherheit zu, ob angepasst gedüngt wird! Diejenigen, die sich also nicht sicher sind, ob sie angepasst düngen, haben gleichzeitig eine geringere Erwartung an die Möglichkeiten von Präzisionslandwirtschaft.
Entweder zeigt diese Antwort, dass diese Gruppe unsensibel gegenüber der Anpassung von Düngung ist, oder die entsprechenden Antworten haben Rechtfertigungscharakter. Denn wenn nicht einmal der Einsatz von Hightech die Problematik bisher ausreichend klären kann, dann ist auch nicht zu erwarten, dass ein einzelner Betrieb mit dieser Fragestellung zurecht kommt.
Dieser Einschätzung kommt der folgende Zusammenhang entgegen:
- Diejenigen, die weniger Potenzial in der Präzisionslandwirtschaft sehen, nehmen es nämlich auch eher in Kauf, im Überschuss zu düngen!
- Allerdings befürchten auch relative viele von denjenigen, die weniger Potenzial in der Präzisionslandwirtschaft sehen, dass sie zu wenig düngen!
Es handelt sich also auch um eine Gruppe, die gegenüber einer angemessenen Düngemenge etwas verunsichert ist.
- Von denjenigen, die weniger Potenzial in der Präzisionslandwirtschaft sehen, sind auch relativ viele davon überzeugt, dass ihre Schläge homogen sind! Aufgrund der Kleinstrukturiertheit der Schläge ist es tatsächlich so, dass die Differenzierungen nicht so stark ausgeprägt sein können wie auf Großschlägen. Wenn diese also tatsächlich in homogenen Gebieten liegen, macht hier der Einsatz aufwändiger Präzisionslandwirtschaft wenig Sinn, es sei denn, sie wird flächig betrieben und erfasst so neben den stark strukturierten Gebieten auch die homogenen Bereiche gleich mit.
- Umgekehrt sind nun aber auch von denjenigen, welche ein großes Potenzial in der Präzisionslandwirtschaft sehen, relativ viele davon überzeugt, dass weitere teilflächenspezifische Informationen nötig sind!
- Je höher das Potenzial von Präzisionslandwirtschaft nun aber eingeschätzt wird, um so stärker nimmt die Verweigerung gegenüber kostenneutralem Einsatz und kostenneutraler Betreuung von Präzisionslandwirtschaft ab
- Dabei ist aber die Bereitschaft, sich betreuen zu lassen und zu kostenneutralem Einsatz von Präzisionslandwirtschaft erstaunlich hoch, wenn das Potenzial von Präzisions-

- landwirtschaft nicht eingeschätzt werden kann, was von einer grundsätzlichen Aufgeschlossenheit zeugt.
- Dabei nimmt die Bereitschaft zum Einsatz von Präzisionslandwirtschaft zu, wenn auch die Erwartungen an Präzisionslandwirtschaft zunehmen.
 - Wird allerdings sehr viel von Präzisionslandwirtschaft erwartet, wird aber auch der Einsatz von Präzisionslandwirtschaft zunehmend an Bedingungen geknüpft
 - Auffällig und schlüssig ist auch, dass mit geringerem Kenntnisstand über Präzisionslandwirtschaft um so mehr Landwirte keine Vorstellung darüber haben, wie diese im eigenen Betrieb umgesetzt werden könnte!

Interessant sind besonders auch folgende Zusammenhänge:

- Bei denjenigen, die Präzisionslandwirtschaft für die N-Düngung als geeignet betrachten, ist der Anteil derjenigen höher, welche denken, nicht angepasst düngen!
Hier wird offenbar ein Problem erkannt, dessen Lösung durch den Einsatz der Präzisionslandwirtschaft denkbar ist.
- Von denjenigen, die umgekehrt Präzisionslandwirtschaft für die N-Düngung als ungeeignet betrachten, denken alle, dass sei angepasst düngen!
Aus der Sicht dieser Antwortgruppe besteht also keine Notwendigkeit zu Veränderung, weshalb Präzisionslandwirtschaft lediglich als kostenintensiv und unnötig aufwändig empfunden werden muss.

4 DISKUSSION DER ERGEBNISSE

4.1 Diskussion der Ergebnisse der Versuche

Zielsetzung des vorliegenden Projektes war die Überprüfung des Potenzials *fortschrittlicher Technologien zur Modulation der Betriebsmittel*.

Um dieses Vorhaben sinnvoll umsetzen zu können, wurde das Projektziel in zweierlei Hinsicht konkretisiert:

- Zum einen wurde die Überprüfung der Modulation der Betriebsmittel unter den besonderen *kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein* durchgeführt.
- Zum anderen wurde dabei der Focus auf die vor Ort wesentliche und relevante *Stückstoffdüngung im Mais* gerichtet.

Durch diese Konkretisierungen dienen die Ergebnisse dazu, das Potenzial fortschrittlicher Technologien für diese wesentliche Anwendung der Stickstoffdüngung am Oberrhein einschätzen zu können.

Dabei sind die beiden Aspekte der *Nützlichkeit* und *Praktikabilität der Ergebnisse* von besonderer Bedeutung, weil daran der Erfolg des durchgeführten Projektes eingeschätzt werden kann. Beide Aspekte werden im Folgenden näher betrachtet:

(1) Nützlichkeit der Ergebnisse

Bei der Beurteilung der Nützlichkeit der Ergebnisse spielen verschiedene Gesichtspunkte eine Rolle:

Einerseits wurde durch Untersuchungen zur Variabilität und durch die konkrete Umsetzung der Modulation mit verschiedenen Verfahren und Verfahrensvarianten *die technische Umsetzbarkeit* überhaupt überprüft. Diese ergibt sich aus den Untersuchungen zur Variabilität und zur Durchführung der Modulation.

Andererseits wurde anhand einer durchgeführten Umfrage die *Umsetzbarkeit unter den Landwirten* der Region überprüft. Neben den technischen Aspekten werden hiermit auch Akzeptanz, Toleranz sowie die Investitionsbereitschaft berücksichtigt.

Schließlich ist zu überprüfen, inwieweit die Modulation der Stickstoffdüngung für die *Umwelt* nützlich ist.

Im Folgenden werden die abgehandelten unterschiedlichen Teiluntersuchungen in Bezug auf diese Gliederungspunkte, nämlich ihre

- Nützlichkeit zur technischen Umsetzbarkeit
- Nützlichkeit für die Umsetzbarkeit unter den Landwirten und ihre
- Nützlichkeit für die Umwelt überprüft.

Ergebnisse zur Nützlichkeit in Bezug auf die technische Umsetzbarkeit

Bei der **Überprüfung der Variabilität auf den Untersuchungsflächen** wurden im wesentlichen die Parameter Mähdruschertrag, Wasserhaltevermögen, Schadfaktoren, verschiedene Pflanzenparameter, Körnungsfraktion, Grundnährstoffe, pH-Werte, N_{\min} -Werte sowie die elektromagnetische Leitfähigkeit mittels EM38 in ihrer teilflächenspezifischen Verteilung berücksichtigt.

Die Nützlichkeit dieser Untersuchungen zur Variabilität besteht

- in der Überprüfung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Parametern über die Bestehenden hinaus, die bei der Erstellung der Applikationskarte effektiv genutzt und integriert werden können und
- in der Verifikation verwendeter Zusammenhänge im durchgeführten Kartierverfahren.

Im Ergebnis

- wurden Korrelationen festgestellt, die unter Verwendung von Fernerkundungsverfahren in ein Kartierverfahren integriert werden könnten (Körnungsfraktionen).
- wurde festgestellt, dass der hohe Aufwand zur Erfassung der Variabilität von N_{\min} aufgrund der Genauigkeit des Verfahrens nicht reduziert werden sollte,
- wurde festgestellt, dass die hohe Dynamik des Parameters N_{\min} intensive, zeitnahe und sorgfältige Erhebungen erfordert,
- wurde festgestellt, dass keine Korrelationen zwischen den Ertragsverteilungen unterschiedlicher Jahre bestehen,
- wurde festgestellt, dass zwischen den im Verfahren integrierten Parametern der abgeleiteten Ertragsersparung und dem resultierenden Ertrag keine Korrelationen bestehen.

Da es sich bei den letztgenannten Punkten insbesondere um relevante Parameter für das Kartierverfahren nach „Guter fachlicher Praxis“ handelt, erweist sich diese Methodik als schwieriger als zunächst angenommen.

Bei der **Überprüfung zur technischen Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel** wurden verschiedene Verfahren berücksichtigt. Die Nützlichkeit der Ergebnisse besteht dabei insbesondere darin, dass die verschiedenen Modulationsverfahren in ihrer praktischen Umsetzbarkeit unter den gegebenen Bedingungen überprüft werden konnten.

Dabei stellt sich der Kartieransatz nach der „Guten fachlichen Praxis“ auch unter der kleinstrukturierten Situation zwar als technisch machbar heraus, allerdings muss er in seiner einfachen Form insbesondere aufgrund des hohen Vorbereitungsaufwandes als nicht praxistauglich bewertet werden.

Eine Verbesserung des Kartieransatzes durch Aufarbeitung der Applikationskarte im Sinne einer Gewannebewirtschaftung erscheint bei der technischen Umsetzbarkeit wesentlich vorteilhafter. Schwierigkeiten in der Umsetzung zeigen sich stattdessen in organisatorischer und zwischenmenschlicher Hinsicht, da die Voraussetzung dieses Ansatzes in kooperativen und koordinierenden Tätigkeiten mehrerer Landwirte besteht.

Auch eine Verbesserung des Kartieransatzes durch Integration einer Wachstumssimulation kann in der technischen Umsetzbarkeit bestätigt werden. Es zeigt sich ein hoher vorbereitender Aufwand, um ein solches Verfahren zu etablieren. Ist dies geschehen, wird eine Vielzahl der im Kartierverfahren sonst auftretenden Hindernisse überwunden, indem insbesondere eine starke Reduktion des vorbereitenden Aufwandes gegeben ist. Unter bestimmten Rahmenbedingungen stellt sich das Verfahren als denkbare Variante für die praktische Umsetzung heraus.

Schließlich ist auch eine Integration von Fernerkundung in den Kartieransatz technisch möglich. Korrelationen der Verteilung relevanter Parameter mit denjenigen aus der Fernerkundung eröffnen Möglichkeiten zur Integration des Verfahrens zur Applikationskartenerstellung. Es zeigt sich ein großer Forschungsbedarf durch Überprüfung des Korrelationsverhaltens extrem schmalbandiger Reflexionsdaten des elektromagnetischen Spektrums, wie sie durch moderne, multispektrale Sensoren erfasst werden können, mit für die Applikationskarte relevanten Eingangsparametern.

Auch besteht ein großes Potenzial für die Rentabilität des Verfahrens durch den flächenhaften Ansatz im Kartierverfahren. Dies wird dadurch bestätigt, dass bereits heute erste kostengünstige Einfachverfahren der Fernerkundung auf dem Markt sind.

Bei der Überprüfung eines verfügbaren Online-Ansatzes („Cropmeter“) zeigt sich hingegen, dass das Gerät für den *Einsatz im Mais* technisch noch nicht ausgereift ist, wobei eingeschränkt werden muss, dass es ursprünglich auch nicht für den Einsatz im Mais konzipiert wurde.

Ergebnisse zur Nützlichkeit in Bezug auf zwischenmenschliche Aspekte

Entgegen den abgeleiteten Aussagen zuvor ist die Nützlichkeit der durchgeführten Umfrage losgelöst vom technischen Aspekt zu beurteilen. Sie zielt vor allem auf Lösungswege zur Umsetzbarkeit der Modulation unter den Landwirten ab.

Als Ergebnisse der Umfrage zeichnen sich Aspekte ab, die bei einer Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung in der Praxis Berücksichtigung finden müssen.

Zunächst einmal stellt sich heraus, dass die befragten Landwirte im Elsass wie auch in Baden für die Thematik grundsätzlich offen sind. Dennoch zeigt sich eine vorsichtige Zurückhaltung, die vor allem in mangelnden Kenntnissen zur Thematik zu suchen ist. Erstaunlich ist, dass die Landwirte dennoch eine gewisse Zahlungsbereitschaft zur Abdeckung des Mehraufwandes signalisieren.

Diese Ergebnisse ermutigen, nach Wegen zu suchen, um Landwirte entsprechend dieser grundsätzlichen Offenheit zu integrieren, ohne sie zu überfordern oder zu sehr in Anspruch zu nehmen.

Ein zweiter, vollkommen anders gelagerter Aspekt, besteht in Folgendem:

Bei der Durchführung der Versuche zur Modulation der Betriebsmittel treten Komplikationen bei denjenigen Verfahren auf, die auf eine Kooperation und Koordination zwischen einzelnen Landwirten angewiesen sind. Allerdings gehören diese Verfahren zu denjenigen, durch welche der vorbereitende Aufwand unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen stark reduziert werden kann. Deutlich wurde die Problematik am Beispiel des Kartieransatzes unter Aufarbeitung einer einzigen gemeinsamen Applikationskarte im Sinne einer Gewannebewirtschaftung:

Am konkreten Beispiel haben sich Schwierigkeiten in Bezug auf gemeinsame Terminfindung, gemeinsame Strategien und das Einhalten von Absprachen gezeigt. Diese sind durch strukturelle und organisatorische Maßnahmen überwindbar, indem Kompetenzen, Zuständigkeiten, sowie Informations- und Datenwege klar zu definieren sind. Hierzu müssen entsprechende Strukturen geschaffen werden. Diese haben das Potenzial, weitere nützliche Effekte zu bewirken:

- So werden isoliert arbeitende Landwirte, die ihre Sorgen und Probleme oft nicht mit anderen besprechen können, zusammengeführt, was einer sozialen Vereinsamung im Arbeitsleben entgegenwirkt.
- Darüber hinaus wird Sozialkompetenz durch kooperative Erfordernisse gefördert, in gewissem Umfang allerdings auch erwartet.
- Daneben kann auch die soziale Akzeptanz landwirtschaftlicher Betriebe ansteigen, indem durch Einsatz von Präzisionslandwirtschaft der Wille ökologisch nachhaltigen Wirtschaftens sichtbar werden kann.

Ergebnisse zur Nützlichkeit für die Umwelt

Der letztgenannte Aspekt leitet zum dritten Gliederungspunkt über, nämlich der Nützlichkeit der Ergebnisse für die Umwelt. Hier besteht ein deutliches Reduzierungspotenzial von klimaschädigenden, oder auch sonst belastenden Stoffen:

- Wie in der Literaturlauswertung gezeigt werden konnte, kann durch eine teilflächenspezifische N-Düngung Stickstoff insgesamt eingespart werden. Die durchgeführten Untersuchungen im vorliegenden Projekt zeigen, dass insbesondere in Schlägen hoher Variabilität durch eine modulierte Applikation der Anteil falsch applizierter Teilflächen erheblich reduziert werden kann. Die Überdüngung von hoch versorgten Teilflächen bei pauschal applizierten Schlägen hoher Variabilität mit entsprechendem Austrag wird verhindert. Das ist insofern bedeutsam, als die Landwirte unter diesen Bedingungen auch bei bestem Willen Austräge in die Umwelt durch lediglich schlagweise angepasste pauschale Applikationen zwangsläufig verursachen.
- Da die entsprechenden Austräge ins Grundwasser gelangen können, dienen die Ergebnisse zur Umsetzbarkeit der Modulation der Stickstoffdüngung des vorliegenden Projektes auch dem Grundwasserschutz.
- Würde man durch Umsetzung der Vorschläge zur Modulation der Stickstoffdüngung außerdem dazu kommen, die Modulation der Betriebsmittel sogar im Sinne einer Gewannebewirtschaftung umzusetzen, würde sich im Vergleich zur herkömmlichen Bewirtschaftung nicht nur die Anfahrstrecke, sondern auch die Häufigkeit der Wendemanöver auf den Schlägen erheblich reduzieren. Beides würde nicht unerheblich zu einer Kraftstoffeinsparung beitragen und somit einer Reduzierung der CO₂-Emissionen dienen.
- Durch eine Reduktion des Vorgewendebereiches und auch der Belastung dieses Vorgewendes würde sich schließlich die Gefahr der Bodenverdichtung stark reduzieren.

(2) Praktikabilität der Ergebnisse

Die zuvor gezeigte Nützlichkeit der Ergebnisse hängt unmittelbar mit ihren Möglichkeiten zur praktischen Umsetzung zusammen. Auch sie steht damit im unmittelbaren Kontext zur eigentlichen Zielsetzung des Projektes. Es wird daher im Folgenden aufgezeigt, inwieweit fortschrittliche Technologien zur Modulation der Stickstoffdüngung unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein für die Praxis geeignet erscheinen. Die hierzu durchgeführten Teiluntersuchungen werden wiederum in Untersuchungen zur *Variabilität* sowie in *konkrete Untersuchungen zum Einsatz möglicher Modulationsverfahren* untergliedert. Darüber hinaus ergeben sich aus der *Umfrage* praxisrelevante Aspekte zur Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung:

Bei der zuvor geschilderten **Überprüfung der Variabilität auf den Untersuchungsflächen**

- zeigen sich durch gefundene Korrelationen praktische Ansätze zur Integration von variablen Parametern in Kartierverfahren unter Einbeziehung der Fernerkundung.
- Es wurde gezeigt, dass sich die Forderung einer sorgfältigen Erfassung der Variabilität von N_{\min} in hoher Dichte als recht unpraktikabel erweist und hierdurch die Praktikabilität des einfachen Ansatzes des Kartierverfahrens nach Guter fachlicher Praxis insgesamt zu hinterfragen ist.
- Auch erschien es nicht praktikabel, die Variabilität der Ertragserwartung aus einzelnen Ertragsverteilungen abzuleiten.

Da die beiden letzten Gesichtspunkte Eingangparameter zum Kartierverfahren nach der „Guten fachlichen Praxis“ betreffen, erweist sich dieses Verfahren in der praktischen Anwendung unter den gegebenen Bedingungen vor Ort als schwieriger als gedacht.

Beim Test verschiedener **Verfahren zur Modulation der Betriebsmittel** in der Praxis stellt sich das Kartierverfahren nach der „guten fachlichen Praxis“ aufgrund des hohen vorbereitenden Aufwandes unter den gegebenen Rahmenbedingungen als unpraktikabel heraus.

Die Verbesserung des *Kartieransatzes durch Aufarbeitung der Applikationskarte im Sinne einer Gewannebewirtschaftung* erweist sich aus technischer Sicht als wesentlich praktikabler. Als problematisch stellt sich aber das Zusammenführen mehrerer Landwirte in einem Modulationsverfahren dar, wenn keine Maßnahmen zur Schaffung struktureller und organisatorischer Rahmenbedingungen getroffen werden.

Bei der Verbesserung des *Kartieransatzes durch Integration einer Wachstumssimulation* konnte die praktische Umsetzung nicht nur bestätigt werden. Vielmehr eröffnen sich vollkommen neue Dimensionen zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel durch Überwindung der aufgetretenen Probleme des einfachen Kartieransatzes.

Bei der Verbesserung des *Kartieransatzes durch Überprüfung des Potenzials der Fernerkundung* konnte schließlich ebenfalls die praktische Integration in Kartierverfahren bestätigt werden. Als Verfahren erscheint es für die Praxis relevant, wenn durch zentrale

Aufarbeitung der Daten über den Flächenansatz in Richtung Optimierung der Rentabilität gearbeitet wird.

Der verfügbare Online-Ansatz (Cropmeter) wurde für eine Modulation der Stickstoffdüngung im Mais als unpraktikabel erkannt. Eine Überprüfung weiterer Online-Sensoren wäre sinnvoll.

Durch die Ergebnisse der durchgeführten **Umfrage** können Rahmenbedingungen aufgezeigt werden, unter denen die Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung auch unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein praktisch möglich ist.

(3) Validierung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zur Nützlichkeit und Praktikabilität konnten mit Hilfe veröffentlichter anderer Ergebnisse (Literatur) und durch einen Abgleich zwischen den Ergebnissen der eigenen Untersuchungen sowie der durchgeführten Umfrage validiert werden:

Validierung durch Literatur

Im Vergleich mit veröffentlichten Ergebnissen konnten aus der Literatur einige zentrale Gesichtspunkte der Untersuchungsergebnisse bestätigt werden:

So deckt sich die aus den vielfältigen Komplikationen der Versuche entstandene Forderung zur Standardisierung und Normierung von Schnittstellen mit den Aussagen in AGRA-EUROPE (17/2004).

Die gemachte Erfahrung des hohen Aufwandes und des dazu in Relation stehenden geringen Nutzens bei der konkreten Anwendung des Kartieransatzes wird von HEIßENHUBER (2003) bestätigt, der zum Schluss kommt, dass die Erwartungen an die teilflächenspezifische Düngung aus ökonomischer Sicht nicht ohne weiteres erfüllt werden kann. Aus Sicht des Projektes sind dazu einige strukturelle und organisatorische Maßnahmen notwendig.

Hierzu gehört beispielsweise die im Projekt abgeleitete Forderung, dass die Aufarbeitung der Applikationskarte beim Kartierverfahren im Sinne einer Gewannebewirtschaftung aufbereitet werden sollte. Auch LANDTECHNIK (3/2005) und LANDPOST (2005) beschrieben das Potenzial einer enormen Aufwandsreduzierung durch eine Herangehensweise im Sinne einer Gewannebewirtschaftung.

Hierzu gehört auch die aus den Versuchen abgeleitete Vorgabe, alle Daten zentral in einem GIS-System zu sammeln, um ein effizientes Flächenmanagement durchführen zu können. Dies Vorgabe stimmt mit den Vorstellungen von BÖRNER G. (2004) und BAUERNZEITUNG (2004) überein.

Da die Erwartungen aus ökonomischer Sicht nicht ohne Weiteres zu erfüllen sind, besteht die Notwendigkeit einer behutsamen Einführung, welche Schritt für Schritt voran geht, was auch Ansicht von LANDTECHNIK (1/2004 und Bauernzeitung (2002) ist. Dieser Aspekt ergibt sich nicht nur aus technischer Sicht, sondern auch unter Berücksichtigung der Situation der Landwirte und deckt sich mit den beschriebenen Eindrücken im Projekt wie auch mit den Ergebnissen der Umfrage.

Die Warnung der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (FAL) vor Fehlern bei der Bemessung der Stickstoffdüngung durch stickstoffsensitive Sensoren (BAUERNZEITUNG, 2005) kommt auch projektintern bei der kritischen Auseinandersetzung mit einem einfachen, auf dem Markt erschienenen Fernerkundungsverfahren zur Geltung. Es wird gezeigt, dass viele beeinflussende Parameter nicht berücksichtigt werden, beziehungsweise davon ausgegangen wird, dass diese Parameter ohne Einfluss bleiben, ohne dies tatsächlich zu verifizieren.

Dagegen können die signifikanten Korrelationen zwischen der Bodenleitfähigkeit, dem pH-Wert sowie dem K- und Mg-Gehalt (DOMSCH H., KAISER T., WITZKE K. und SACHSE H. (2003) in den vorliegenden Untersuchungen nicht bestätigt werden.

Validierung durch Versuchsergebnisse

Bei der Validierung der Versuchsergebnisse durch einen Vergleich mit den Umfrageergebnissen zeigen sich vielerlei Übereinstimmungen:

So hat auch beim durchführenden Lohnunternehmer der **PC** Einzug genommen und ist ebenfalls mit Internetanschluss ausgestattet. Wie bei der Mehrzahl der in der Umfrage gegebenen Antworten besteht auch im Betrieb des Lohnunternehmers Mühe mit dem landwirtschaftlichen Programm zur Präzisionslandwirtschaft. Ebenso wie bei vielen Antworten in der Umfrage macht auch hier der Umgang mit dem PC wenig Freude und ist als einer der Hindernisfaktoren zur Integration von Präzisionslandwirtschaft im Betrieb anzusehen. Dabei sind die erwähnten Hindernisgründe aber durchaus berechtigt.

Es zeigt sich darüber hinaus insbesondere eine Abneigung, Geodaten am PC aufzubereiten.

Wie auch im Umfrageergebnis deutlich wird, besteht beim im Projekt integrierten Betrieb eine grundsätzliche Offenheit für eine **teilflächenspezifische Herangehensweise**. Demgegenüber wird aber bei der konkreten Anwendung vor Ort der Sinn nicht wirklich gesehen, da man davon überzeugt ist, angemessen und angepasst zu düngen. Der für eine Modulation der Stickstoffdüngung im Kartierverfahren benötigte Aufwand rechtfertigt auch aus Sicht des Lohnunternehmers ebenso wenig wie in der Umfrage den Nutzen. Dies entspricht außerdem dem Ergebnis aus den durchgeführten Untersuchungen zur Modulation der Stickstoffdüngung.

Bei der Modifizierung des Kartierverfahrens durch Aufbereitung der Applikationskarte im Sinne einer **Gewannebewirtschaftung** zeigen sich im Versuch 2004 organisatorische Probleme. Zwar gibt es in der Umfrage auch hier eine gewisse Offenheit, aber die im praktischen Versuch aufgetretenen Unklarheiten in Bezug auf Kompetenzen und Zuständigkeiten finden sich ähnlich auch im Umfrageergebnis in Form von Bedenken wieder.

Auch bei der Bereitschaft zur **Zahlung von Mehrausgaben** zeigen sich diese Parallelen: Auch beim Lohnunternehmen gibt es eine grundsätzliche Bereitschaft zur Zahlung des Mehraufwandes und für Investitionen in Präzisionslandwirtschaft. Dies wurde in der Praxis auch bereits konkret umgesetzt. Allerdings ist diese Bereitschaft verständlicherweise von der Voraussetzung abhängig, dass sich die Investitionen auch bezahlt machen. An diesem Punkt obsiegt dann schließlich aus der gemachten Erfahrung heraus die Skepsis. Demgegenüber ist eine Bereitschaft zur Zahlung von Mehrkosten aus rein ökologischen Gesichtspunkten kein Thema.

In Bezug auf **Hindernisse, Vor- und Nachteile** teilt auch der Lohnunternehmer die nicht unbegründete mehrheitliche Meinung des zu hohen Aufwandes des Kartieransatzes insbesondere in der gegebenen kleinflächigen Struktur. Er sieht eine Chance im „Chlorophyllmonitoring“ mittels optischem Sensor, wenn das Handling nicht zu aufwändig ist.

In Bezug auf die Validierung der Umfrageergebnisse kann zusammengefasst werden, dass die Meinungen und Einschätzungen des Lohnunternehmers in etwa dem Bild entspricht, was durch die Umfrage gezeichnet wird. In Bezug auf die abgeleiteten Ergebnisse aus den durchgeführten Untersuchungen kann gesagt werden, dass durch die Umfrage die Situation in etwa ähnlich eingeschätzt wird, wenn man davon absieht, dass keine konstruktiven Lösungsansätze zur Behebung der analysierten Problematik gemacht werden, wie dies im Projekt geschieht.

4.2 Diskussion der Ergebnisse der Umfrage

Fasst man die Ergebnisse der Umfrage zusammen, so ergeben sich einige zentrale Aussagen, durch welche die Modulation der Stickstoffdüngung unter Akzeptanz der Landwirte in Aussicht gestellt wird.

Als wichtigster Ausgangspunkt ist dabei anzusehen, dass die befragten Landwirte im Grundsatz für die gegebene Thematik offen sind. Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass gleichzeitig eine vorsichtige Zurückhaltung gegeben ist. Diese ist auch tatsächlich nicht unbegründet und ist ein Zeichen dafür, dass die Landwirte um die potenziellen Schwierigkeiten wissen.

Will man für die Modulation der Stickstoffdüngung diese grundsätzliche Akzeptanz und Toleranz erhalten und weiter fördern, bedarf es daher einer umgänglichen und individuellen Betreuung der Landwirte. Diese muss fachlich qualifiziert, aber auch verständlich und nachvollziehbar sein, um die in der Umfrage offenbar gewordenen Informationsdefizite zu beheben.

Die formulierten Bedenken in Bezug auf Koordinations- und Kommunikationsschwierigkeiten bei einer potenziellen Gewannebewirtschaftung wären durch eine übergeordnete Anlaufstelle für Kommunikation und Koordination lösbar. Dabei müssten die Kompetenzen und Befugnisse genauso wie die Kommunikationswege und Datenflüsse klar definiert sein. Klare Bedingungen insbesondere in Richtung Datenschutz wären auch die Voraussetzungen dafür, entsprechend der Umfrage eine unerwartet große Offenheit für eine zentrale Datenhaltung zu erlangen. Klare Bedingungen geben dementsprechend auch die Rahmenbedingungen ab, um erste Versuche in Richtung Gewannebewirtschaftung durchzuführen. Die beschränkten Mittel zur Zahlung von Mehrkosten bedingen dabei ein rentables Verfahren zur Umsetzung der Modulation, was für einen effektiven flächenhaften Ansatz spricht. Hier besteht Potenzial, die aufgezeigten Vorteile der Fernerkundung in ein System der Applikationskartenerstellung zu integrieren.

Ebenso ist an die Integration einer Wachstumssimulation zu denken, bei der wie am Beispiel von „Apollo“ auch Rentabilitäts Gesichtspunkte eine Rolle spielen. Auch reduziert sich der vorbereitende Aufwand merklich, nachdem ein solches System erst einmal etabliert ist. Außerdem ist eine Entkoppelung von zeitlichen Engpässen möglich, was aus Gründen der Praktikabilität von großem Vorteil ist.

5 SCHLUSSFOLGERUNG

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen zur *Variabilität* und zur technischen Umsetzbarkeit *verschiedener Verfahren zur Modulation der Stickstoffdüngung* unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen ergibt sich genauso wie aus der durchgeführten *Umfrage* ein Lösungsansatz, um das geforderte Projektziel zu erreichen:

Es hat sich gezeigt, dass die überprüften Verfahren im Einzelnen nicht geeignet waren, die Modulation der Stickstoffdüngung unter den gegebenen Bedingungen praxistauglich umsetzen zu können. Allerdings lassen sich aus allen Untersuchungen Teilaspekte zusammenfügen, die in der Zusammenfassung das Potenzial beinhalten, die gegebenen Schwierigkeiten der Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung zu überwinden. Diese Schwierigkeiten bestehen insbesondere

- in technischen Komplikationen, solange ein System im Betrieb nicht etabliert ist,
- im großen vorbereitenden Aufwand und den Schwierigkeiten, die bei der Erfassung der Eingangsparameter zur Erstellung der Applikationskarte im Kartierverfahren gegeben sind,
- im zwischenmenschlichen Bereich, wenn es um Lösungsansätze geht, um über einen Flächenansatz (Gewannebewirtschaftung) die Rentabilität zu verbessern,
- in mangelnden Strukturen, um über einen Flächenansatz mit alternativen Methoden (Fernerkundung, Wachstumsmodellierung) die Rentabilität und die strukturellen sowie organisatorischen Schwierigkeiten zu überwinden,
- in der mangelnden Verfügbarkeit geeigneter Online-Sensoren.

Diese Schwierigkeiten erscheinen bei einer isolierten Betrachtung zunächst unüberwindbar. Verbindet man allerdings die wesentlichen Aspekte aller Teilergebnisse zu einem gemeinsamen Konzept, eröffnen sich Möglichkeiten zur Umsetzung der Modulation der Stickstoffapplikation auch unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen:

[Abbildung 181](#) zeigt die aus der Umfrage und den praktischen Versuchen abgeleiteten wesentlichen Ergebnisse mit ihrer Auswirkung auf die geforderten Rahmenbedingungen zur Umsetzung des Projektzieles. Die Parameter außerhalb der Ellipse skizzieren die zu berücksichtigende Ausgangssituation. Dabei sind innerhalb der grünen Kästchen (hell) diejenigen Voraussetzungen skizziert, die sich aus der durchgeführten Umfrage ergeben. Die roten Kästchen (dunkel) symbolisieren die wesentlichen klärungsbedürftigen Parameter aus den Untersuchungen zur technischen Umsetzbarkeit.

Aus diesen Erfordernissen resultieren Rahmenbedingungen, die gegeben sein müssen, damit die Modulation der Stickstoffdüngung in der kleinstrukturierten Situation am Oberrhein denkbar ist. Diese Rahmenbedingungen sind innerhalb der Ellipse dargestellt.

Indem auf alle resultierende Rahmenbedingungen in einem Verfahren zur Umsetzung der Modulation der Betriebsmittel Rücksicht genommen wird, ist eine Umsetzung der Modulation der Stickstoffdüngung unter den kleinstrukturierten Verhältnissen am Oberrhein denkbar.

Beleuchtet man diese Rahmenbedingungen näher, so wird deutlich, dass die Lösung in der Abwicklung der vorbereitenden Maßnahmen für die Modulation der Betriebsmittel im Sinne einer Dienstleistung liegt:

Hierdurch ist es möglich

- eine umgängliche und individuelle Betreuung sowie eine qualifizierte fachliche Betreuung zu gewährleisten
- eine Kommunikations- und Koordinationsanlaufstelle zu etablieren
- eine Applikationskarte zu erarbeiten, ohne den Landwirt zu überfordern
- und die Probleme bei Zuständigkeiten und Kompetenzen zu überwinden.

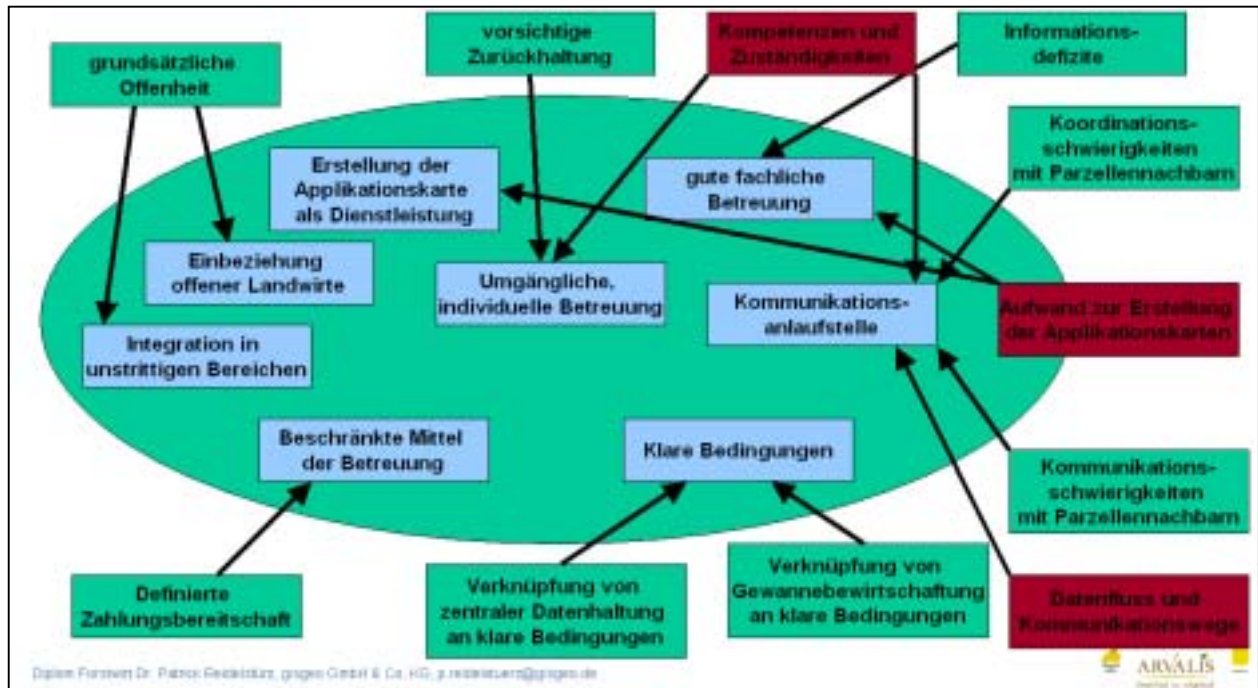


Abb. 181: Rahmenbedingungen, unter denen eine Umsetzung der modulierten Stickstoffdüngung am Oberrhein denkbar ist.

Es zeichnet sich ab, dass durch eine Abwicklung der Vorbereitungen zur Modulation der Stickstoffdüngung im Sinne einer Dienstleistung die technischen und strukturellen Schwierigkeiten bei den Vorarbeiten zur Modulation der Stickstoffdüngung (beim Kartieransatz also die Erstellung der Applikationskarte) überwunden werden können, indem:

- alle relevanten Daten zur Variabilität integriert werden,
- alle potenziellen Verfahren integriert werden können,
- alle notwendigen Daten zentral im Sinne eines GIS aufgearbeitet werden,
- die Erstellung von Applikationskarten möglichst über einen Flächenansatz abgearbeitet wird, um unter Rentabilitäts Gesichtspunkten positive Effekte zu erzielen. Dies ist möglich
 - durch gemeinsame Aufbereitung der Daten verschiedener Schläge im Sinne einer potenziellen Gewannebewirtschaftung,
 - durch Integration von Fernerkundungsdaten und
 - unter Berücksichtigung von Wachstumssimulationen
- eine zentrale Anlaufstelle für die Koordination aller Maßnahmen etabliert wird,
- eine zentrale Anlaufstelle für die Kommunikation entsteht.

Unter Einbeziehung dieser Gesichtspunkte ist an die Einrichtung von Pilotprojekten zu denken. Aufgrund der starken Dynamik im Bereich der Präzisionslandwirtschaft sollte ein

entsprechendes Dienstleistungssystem in alle Richtungen offen sein, um in Bezug auf Integration von landwirtschaftlichen Flächen und Landwirten, sowie sich weiter entwickelnde Technologien jederzeit erweiterungsfähig zu sein.

Wenn sich die Integration der Modulation der Stickstoffdüngung auch schwieriger gestaltet, als vielleicht zunächst angenommen, so eröffnen sich durch die Zusammenschau aller Teilergebnisse doch Wege, um die Vorteile der Modulation der Stickstoffapplikation auch unter den gegebenen kleinstrukturierten Bedingungen nutzbar zu machen.

Offen bleibt das bestehende landbauliche Defizit. Bis heute ist nicht für alle vorgefundenen Rahmenbedingungen klar, wie appliziert werden sollte (nach GERHARDS 2005). Es ist nicht immer ersichtlich, ob eine Applikation unter schwierigen Bedingungen beispielsweise zu Mehrertrag führt, oder ob andere Faktoren in die Minimumsituation geraten, wodurch ein Mehraufwand unrentabel wird. Es wäre wünschenswert, dass auch für schwierigere Rahmenbedingungen dem Landwirt klare Entscheidungshilfen an die Hand gegeben werden, damit die Umsetzung der Modulation unter allen Umständen auch von landbaulichen Überlegungen her auf abgesichertem Fundament steht.

6 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Projektbericht behandelt die Arbeiten und Ergebnisse zum Projekt Nr. 2 aus dem ITADA Arbeitsprogramm III mit dem Thema „Fortschrittliche Technologien für die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln auf Schlagebene und im Gewinn“.

Dabei geht es um die Möglichkeiten einer angepassten Ausbringung der Betriebsmittel auf den kleinsten homogenen Teilflächen der Schläge. Diese Berücksichtigung der Variabilität bei der Applikation soll durch den Einsatz fortschrittlicher Technologien ermöglicht werden.

Um aus den Untersuchungen einen praktischen Nutzen ziehen zu können, wurde die Fragestellung für die Bedingungen vor Ort in zweierlei Hinsicht konkretisiert:

Die erste Konkretisierung betrifft die Konzentration auf die Applikation des Betriebsmittels „Stickstoff“, welcher von wesentlicher ökonomischer und ökologischer Relevanz ist. Die zweite Konkretisierung bezieht sich auf die am Oberrhein gegebene, typisch kleinstrukturierte Situation mit ihren besonderen Erfordernissen und der überwiegend vorkommenden Kulturart „Mais“.

Im Projekt wird daher der Einsatz fortschrittlicher Technologien für die Modulation der Stickstoffdüngung im Mais unter den besonderen kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein behandelt. Diese Konkretisierungen dienen dazu, das Potenzial fortschrittlicher Technologien für diese wesentliche Anwendung am Oberrhein einschätzen zu können, um unmittelbaren praktischen Nutzen für die Region zu erzielen.

Um dieses Projektziel zu erreichen, wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt:

- *Untersuchungen zur Variabilität* ergänzen die aus dem Vorgängerprojekt bestehende vielfältige Datendokumentation zur teilflächenspezifischen Variabilität.
- Die *Modulation der Stickstoffdüngung* wurde mit verschiedenen fortschrittlichen Verfahren durchgeführt, um die technische Umsetzbarkeit zu überprüfen und zu optimieren.
- Eine *Umfrage* wurde durchgeführt, um die Umsetzbarkeit der Modulation unter den Landwirten zu überprüfen, wobei die Gesichtspunkte der Akzeptanz und Toleranz gegenüber dem Verfahren wesentlich sind.

Bei den **Untersuchungen zur Variabilität** wurden im wesentlichen die Parameter Mähdruschertrag, Wasserhaltevermögen, Schadfaktoren, verschiedene Pflanzenparameter, Körnungsfraction, Grundnährstoffe, pH-Werte, N_{\min} -Werte sowie die elektromagnetische Leitfähigkeit mittels EM38 in ihrer teilflächenspezifischen Verteilung berücksichtigt. Korrelationen zwischen allen relevanten Parametern wurden auf Signifikanz überprüft, um die Verteilungen der verschiedenen Parameter auf Ähnlichkeiten zu überprüfen.

Bei den **getesteten Verfahren zur Modulation der Stickstoffapplikation** stellt sich der Kartieransatz nach der „Guten fachlichen Praxis“ auch unter der kleinstrukturierten Situation als technisch machbar heraus. Allerdings muss er in seiner einfachen Form insbesondere aufgrund des hohen Vorbereitungsaufwandes als nicht praxistauglich bewertet werden.

Eine Verbesserung des Kartieransatzes durch Aufarbeitung der Applikationskarte im Sinne einer Gewannebewirtschaftung bringt wesentliche Vorteile durch eine deutliche Reduktion dieses Vorbereitungsaufwandes. Schwierigkeiten in der Umsetzung zeigen sich stattdessen in organisatorischer und zwischenmenschlicher Hinsicht, da kooperative und koordinierende Tätigkeiten mehrerer Landwirte als Voraussetzung dieses Ansatzes anzusehen sind.

Durch Integration einer Wachstumssimulation in den Kartieransatz eröffnen sich konkret Möglichkeiten zur Überwindung der im Kartierverfahren aufgetretenen Probleme. Auch besteht großes Potenzial durch die Berücksichtigung der Rentabilität.

Schließlich wird die Möglichkeit der Integration von Fernerkundung in den Kartieransatz gezeigt. Vorteile liegen hier im Einsparpotenzial durch den flächenhaften Ansatz.

Bei der Überprüfung eines verfügbaren Online-Ansatzes („Cropmeter“) zeigt sich hingegen, dass das Gerät für den *Einsatz im Mais* nicht geeignet ist. Dabei muss einschränkend bemerkt werden, dass es ursprünglich nicht für den Einsatz im Mais konzipiert wurde.

Ergänzende Untersuchungen zur Optimierung der Modulation zeigen, dass eine Reduktion des Aufwandes bei der Ableitung der Applikationskarte im ursprünglichen Kartieransatz (offline) nach der „guten fachlichen Praxis“ nicht sinnvoll ist. Auch wird der enorme Einfluss unbedachter Mindestmengenvorgaben von Seiten des Lohnunternehmers aufgezeigt.

Durch die **Umfrage zur Präzisionslandwirtschaft** ist eine grundsätzliche Offenheit der Landwirte für die Thematik erkennbar. Gleichzeitig besteht eine vorsichtige Zurückhaltung. Es zeigt sich, dass Informationsdefizite zum Thema bestehen. In Bezug auf überbetriebliche Lösungen gibt es Bedenken wegen potenzieller Koordinations- und Kommunikationsschwierigkeiten. Unter klaren Bedingungen besteht eine unerwartet große Offenheit für eine zentrale Datenhaltung und in geringerem Umfang auch für Verfahren unter Integration von Gewannebewirtschaftung. Auch besteht grundsätzliche Bereitschaft zur Zahlung von Mehrausgaben für Gewannebewirtschaftung, wobei die Landwirte aber keine Vorstellung über die Höhe der Mehrkosten haben.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die überprüften Verfahren im Einzelnen nicht geeignet waren, die Modulation der Stickstoffdüngung unter den gegebenen Bedingungen praxistauglich umzusetzen. Schwierigkeiten bestanden

- in technischen Komplikationen, solange ein System im Betrieb nicht etabliert ist,
- im großen Aufwand der Vorbereitung und den Schwierigkeiten, die bei der Erfassung der Eingangsparameter zur Erstellung der Applikationskarte im Kartierverfahren gegeben sind,
- im zwischenmenschlichen Bereich, wenn es um Lösungsansätze geht, um über einen Flächenansatz (Gewannebewirtschaftung) die Rentabilität zu verbessern,
- in mangelnden Strukturen, um über einen Flächenansatz mit alternativen Methoden (Fernerkundung, Wachstumsmodellierung) die Probleme der Rentabilität sowie die strukturellen und organisatorischen Schwierigkeiten zu überwinden, sowie
- in der mangelnden Verfügbarkeit geeigneter Online-Sensoren.

Leitet man aus diesen Schwierigkeiten die Erfordernisse ab, die ein System der Modulation der Stickstoffapplikation unter den kleinstrukturierten Bedingungen am Oberrhein erfüllen muss, so wird deutlich, dass die Lösung in der Abwicklung der vorbereitenden Maßnahmen für die Modulation der Betriebsmittel im Sinne einer Dienstleistung liegt:

Hierdurch ist es möglich

- eine umgängliche und individuelle Betreuung sowie eine qualifizierte fachliche Betreuung zu gewährleisten

- eine Kommunikations- und Koordinationsanlaufstelle zu etablieren
- eine Applikationskarte zu erarbeiten, ohne den Landwirt zu überfordern, sowie
- die Probleme bezüglich Zuständigkeiten und Kompetenzen zu überwinden.

Es zeichnet sich ab, dass durch eine Abwicklung der Vorbereitungen zur Modulation der Stickstoffdüngung im Sinne einer Dienstleistung die technischen und strukturellen Schwierigkeiten überwunden werden können:

- indem alle relevanten Daten zur Variabilität integriert werden,
- indem auf die Integrationsmöglichkeit aller potenziellen Verfahren geachtet wird,
- indem alle notwendigen Daten im Sinne einer GIS-Umgebung zentral aufgearbeitet werden,
- indem die Erstellung von Applikationskarten möglichst über einen Flächenansatz abgearbeitet wird, um unter Rentabilitäts Gesichtspunkten positive Effekte zu erzielen.

Dies ist möglich

- durch gemeinsame Aufbereitung der Daten verschiedener Schläge im Sinne einer potenziellen Gewannebewirtschaftung,
- durch Integration von Fernerkundungsdaten und
- unter Berücksichtigung von Wachstumssimulationsmodellen wie beispielsweise dem verwendeten Modell „APOLLO“
- indem eine zentrale Anlaufstelle für die Koordination aller Maßnahmen etabliert wird,
- indem eine zentrale Anlaufstelle für die Kommunikation entsteht.

Unter Einbeziehung dieser Gesichtspunkte ist an die Einrichtung von Pilotprojekten zu denken, um ein solches Dienstleistungssystem zu etablieren.

Offen bleibt das bestehende landbauliche Defizit, wodurch Landwirte bis heute nicht für alle Rahmenbedingungen landbauliche Empfehlungen an der Hand haben und insbesondere in extremen und schwierigeren Situationen, wie sie bei starker Variabilität auf den Teilflächen entstehen können, in Ihrer Entscheidung und Verantwortung alleine gelassen sind.

6 SUMMARY

Subject of this report have been the investigations and results of project N° 2 of ITADA working program III entitled “Advanced technologies to modulate the use of inputs in single parcels and scattered agricultural land”.

Topics are the possibilities of an adapted application of operating facilities (inputs) to the smallest homogeneous subdivisions of agricultural parcels.

Using advanced technologies should make it possible to take in consideration the adequate application of operating facilities. To achieve a practical use from the investigations, the question of the project has been focussed on the following two concrete conditions on site:

The first concretisation refers to the concentration on the use of nitrogen. Nitrogen is of essential relevance under economic as well as ecological aspects.

The second concretisation relates to the typically scattered holdings in the Oberrhein-region with its special demands and the predominant cultivation of maize.

Therefore in this project the use of advanced technologies to modulate the fertilization of nitrogen in maize is discussed under the special conditions of the small structured Oberrhein-region.

These concretions are useful to estimate the potential of advanced technologies for this essential application in the Oberrhein-region to appreciate the immediate practical gains for the region.

To achieve this objective different investigations have been conducted:

- tests about the existing variability (in completion to the existing manifold documentation about the variability of smallest homogeneous subdivisions out of the precedent project).
- modulation of the fertilization of nitrogen, carried out with different advanced technologies to proof and to optimize technical practicability.
- a survey to check the introduction of the modulation into farmers practice. Thereby considerations concerning the acceptability and tolerance of those methods have been essential.

During the **examination concerning the existing variability**, in essential the following parameters have been considered: crop yield, water-capacity of soils, different factors of damage, different plant-parameters, soil-particle size distribution, basic nutrients, pH-value, N_{min}-concentration and electromagnetic conductivity with EM38.

The significance of the correlations between all relevant parameters were checked up to verify the similarity of the distributions of different parameters.

From the checked methods to modulate the application of nitrogen, the mapping approach according to the “good agricultural practice” is technically practicable, also under small structured situations. However in its original version it needs too much preparation-effort that makes it hardly practicable.

An improvement of the mapping approach regarding to calculate the application map for larger areas instead of small parcels brings essential advantages due to an strong reduction of preparation effort.

Instead difficulties arise from organisational and human relations aspects, because cooperative and coordinating activities of several farmers are necessary to realise this approach.

Integration of a growth-simulation-model into the mapping approach offers concrete possibilities to overcome the established problems of the mapping approach and offers a big potential by considering economic aspects.

Finally are demonstrated several possibilities of integrating remote sensing methods into the mapping approach. The extensive approach can lead to economic advantages.

Checking a method of Realtime Sensor Approach the tested “cropmeter” has proven to be improper for maize. Thereby it has to be admitted, that the tested sensor originally has not been constructed for the use in maize.

The results of additional investigations for optimisation of the modulation show, that it does not make sense to reduce the complexity of calculation for the application-map using the original method of mapping approach offline (“good agricultural practice”). Further is proven the big influence of insufficiently considered minimum quantities for the application of fertilizer by the farmer.

A survey about precision farming shows that regional farmers are open minded about precision farming. Nevertheless farmers stay reserved concerning investments.

Information-deficiencies are evident. Concerning interplant solutions doubts are existing concerning potential difficulties in communication and coordination.

Under clear conditions an unexpected open mindedness about central data management is given but open mindedness about methods working with larger areas instead of single parcels is reduced.

Also a cardinal disposition consists in paying excess expenditure for methods working with multiple parcels. However farmers have no idea about the amount of costs for this.

It can be **summarised**, that the tested methods are improperly and unpractical for the modulation of fertilisation under given conditions. Difficulties consist in

- technical complications as long as a system is not established on a farm,
- great operating expense concerning the preparation of application maps,
- difficulties to collect the input parameters in order to enable the calculation of the application map, using the mapping approach,
- the range of interpersonal problems, if parcels of different neighbours should be integrated in a method of precision farming,
- insufficient structures to integrate remote sensing or simulation models of growth in order to overcome the economic, structural and organisational problems,
- insufficient availability of appropriate online sensors.

Based on these difficulties needs can be derived, that a system to modulate the application of nitrogen fertilisation under the small structured conditions in the Oberrhein-region should fulfil.

It becomes clear, that a solution exists in carrying out all preparations for the modulation of production facilities by service delivery.

Using precision farming by service delivery enables

- an adequate expert advice,
- a contact point for communication and coordination,
to calculate application maps without farmers are swamped with and
- to overcome problems concerning responsibilities and competences.

It turned out that, carrying out the preparations for modulation of nitrogen fertilisation by service delivery, technical and structural difficulties can be overcome

- by integrating all relevant data of variability,
- by leaving open the possibility of integration of all kinds of methods of modulation,
- by central processing of all essential data using GIS,
- by calculating application maps on a large scale instead only for single parcels, to become more effective.

This is possible

- by common processing of data of different parcels or groups of parcels,
- by integrating remote sensing,
- by considering growth-simulation models e.g. the tested model "APOLLO",
- by establishing a central contact point to coordinate all measures,
- by establishing a central point for communication.

Considering these basic principles pilot projects could be organised to establish such a system of service delivery.

As an open question agronomic deficiencies persist. Until today farmers have not agronomic recommendations for all situations. Especially in extreme and difficult situations as they might arise in situations of high variability within parcels, farmers are left alone with their decisions and responsibilities.

7 VERZEICHNISSE

(1) Literaturverzeichnis

- AGRA-EUROPE (10/2004):** GPS auf dem langen Weg in den bäuerlichen Alltag – bislang noch keine echten Fortschritt für die Landwirtschaft – Gesellschaft der FAL-Freunde diskutierte mit Pionieren
- AGRA-EUROPE (17/2004):** Weltweite Standardisierung soll „Precision Farming“ zum Durchbruch verhelfen, AGRA-EUROPE 17/04, 26. April 2004, Länderberichte 9
- AGRI CON GMBH und HYDRO AGRI GmbH:** Hydro-N-Sensor genauer-schneller-konsequenter. Informationsschrift. Kontakt unter: www.agricon.de und www.hydroprecise.de
- AGROSAT (2005):** 3-Zonenkarte im Einsatz, aus www.agro-sat.com/zonenkarte.htm
- AGROSAT (2005):** Chlorophyllmonitoring zur Schwachstellenanalyse, aus www.agro-sat.com/2.2.HP2.htm
- AL-KARADSHEH E.:** Potentials and development of precision irrigation technology, Landbauforschung Völkenrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 248, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- AUERHAMMER H und ROTHMUND M. (2004):** Wieviel Technik muss sein? DLG-Mitteilungen 2/2004, S.22 ff.
- BACH, H. und RÜHLING, I. (2001):** Erprobung einer teilflächenspezifischen Bewirtschaftung zur Reduzierung/Optimierung des Düngeaufwandes in Wasserschutzgebieten für eine grundwasserschonende Bewirtschaftung und eine optimale Standortnutzung mit Einsatz der DGPS-Technik und Fernerkundung. Bericht zum Pilotprojekt i.A. des Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum Baden Württemberg, Vista Geowissenschaftliche Fernerkundung GmbH (Hrsg.): 79 S.
- BAUERNZEITUNG (2002):** Schritte zum Ackerbau mit GPS, BAUERNZEITUNG 47. Woche 2002 S. 19 ff.
- BAUERNZEITUNG (01/2004):** Individuell behandeln. BAUERNZEITUNG 1. Woche 2004, S. 26
- BAUERNZEITUNG (22/2004):** Mehr Präzision im Feld. Artikel in Bauernzeitung 22. Woche 2004, S. 20f
- BAUERNZEITUNG (11/2005):** Pflanzenfarbe täuscht, FAL warnt vor Fehlern bei der Bemessung der Stickstoffdüngung mit Spektrolsensoren. Artikel in Bauernzeitung 12. Woche 2005, S. 31
- BILLER R. (2004):** Das Projekt Advanced Optoelectronic System (AOS), in LANDTECHNIK 1/2004, S.20 ff.
- BINDER H. (2004):** mündliche Mitteilung
- BINDER H. (2004/2):** mündliche Mitteilung während dem Test des Cropmeters 2004
- BLW (19/2004):** Maschine lenkt sich selbst, (BLW 19/2004), S. 36 ff.
- BLW (43/2004):** Exakter Traktor-„Blindflug“, Automatische Lenksysteme für präzises und entspannteres Arbeiten, BLW 43/2004, S. 36 ff.
- BOESS J. und BENNE I. (2003):** Die Hofbodenkarte des Niedersächsischen Landesamtes für Bodenforschung. Zeitschrift für angewandte Geologie 3/02, 48. Jahrgang
- BÖRNER G. (2004):** Nachhaltiges „Land-Wirtschaften“ mit GIS. In ESRI arcaktuell 3/2004
- BÜNTING K.D.(1996):** Deutsches Wörterbuch, ISIS Verlag AG, Chur/Schweiz
- BW agrar (43/2004):** John Deere setzt auf schlaue Maschinen, Automatisches Lenksystem, elektronische Mähdreschersteuerung, BW agrar 43/2004, S.35
- CHAPPUIS A.:** Genauigkeit bis zum Feldrand; www.dlg-test.de
- CIS GmbH:** ExpertFilter, Fehlerhafte Ertragsdaten eliminieren. CiS GmbH Gesellschaft für Computerintegration und Softwareentwicklung mbH
- CLAAS (2003):** Information auf Werbeanzeige/-prospekt (2003), vgl. www.claas.de

- DAF-/KTBL (2004):** Geografische Informationssysteme in der Landwirtschaft und im ländlichen Raum. Defizite und Entwicklungspotenziale. DAF-/KTBL-Tagung am 27. und 28. Oktober 2004. KTBL Schrift 428. Vertrieb: KTBL-Schriften-Vertrieb im Landwirtschaftsverlag GmbH; 2004 142 S., ISBN 3-7843-2172-0
- DEMME (1999):** Zitiert nach **LUDOWICY C., SCHWAIBERGER R. und LEITHOLD P. (2002):** Precision Farming, Handbuch für die Praxis. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 168 S.
- DLG Merkblatt 303 (2001):** Ertragsermittlung im Mähdrescher – Ertragsmessgeräte für die lokale Ertragsermittlung, Ergänzte und überarbeitete Neuauflage, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
- DLG Merkblatt 315 (1999):** Teilflächenspezifische Düngung, Grundlagen, Konzepte, technische Lösungen; Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
- DLG-Merkblatt 316 (1999):** GPS in der Landwirtschaft, Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
- DLG-Merkblatt 317 (1999):** Landwirtschaftliches BUS-System (LBS). Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft e.V.
- DLG-Mitteilungen (11/2003):** Präzision: Technik plus Management, DLG Mitteilungen 11/2003
- DLG-Mitteilungen (12/2004):** Auto Trac – die nächste Generation, Artikel in DLG-Mitteilungen 12/2004, S. 66
- DLG-Mitteilungen (7/2005):** Neues vom Sensor, Artikel in DLG Mitteilungen 7/2005. S. 54 ff.
- DLZ (3/2004):** Nagelprobe Ausgleichszahlungen: Der GIS-basierte Flächenantrag erlebt bereits dieses Jahr seine Feuertaufe. dlz 3/2004, S. 140 ff.
- DLZ (5/2004):** Allzweckwaffe, Deutsche Landwirtschaftszeitung 5/2004, S. 122 ff.
- DLZ (5/2004):** Homogene Bestände steigern den Gewinn, Deutsche Landwirtschaftszeitung 5/2004; S.42 ff.
- DLZ (3/2005):** Online: Ackerfrüchte mit Lebenslauf. Deutsche Landwirtschaftszeitung 3/2005, S. 180 ff.
- DLZ (7/2005):** Pflanze berät Spritze, Deutsche Landwirtschaftszeitung 7/2005, S. 148 ff.
- DOHMEN B., REH A. und HOPPE B. (2004):** Genau applizieren, ohne viel zu investieren, Bauernzeitung 15. Woche 2004, S.16
- DOMSCH H. (2002):** Kartierung der elektrischen Bodenleitfähigkeit und ihr Beitrag zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Zeitschrift für angewandte Geologie 3/02, 48. Jahrgang, Hrsg. Bundesamt für Geowissenschaften und Rohstoffe und den staatlichen geologischen Diensten in der Bundesrepublik Deutschland
- DOMSCH H., LÜCK und EIESNREICH (1999):** Ermittlung geophysikalischer Kennwerte für die großmaßstäbige Kennzeichnung landwirtschaftlicher Flächen. Jahresbericht des ATB Potsdam-Bornim: S.16.
- DOMSCH H., KAISER T., WITZKE K und SACHSE H. (2003):** Elektrische Bodenleitfähigkeit und Nährstoffbeobachtung, Landtechnik 3/2003, S.140 ff.
- DOMSCH H. und WARTENBERG G. (2000):** Teilflächenspezifische Bewirtschaftung mit GPS, Teil 3. Getreide 6 (2): 136-141.
- ENGELKE B. (2002):** Regelungsmöglichkeiten in der mechanischen Unkrautbekämpfung, Landtechnik 1/2002, S.16 ff.
- EHLERT D. (2004):** Stickstoff-Einsatz auspendeln?, Artikel in dlz 7/2004, S.48 ff.
- EHLERT D., DANNER K.-H. und VÖLKER U. (2004):** Applikation nach Pflanzenmasse, In: LANDTECHNIK 2/2004, S. 76 ff.
- EHLERT D. und LANGNER H.-R. (2004):** Mobile Plattform zur Informationsgewinnung; In LANDTECHNIK 6/2004, S. 326 ff.
- EHLERT D. und LANGNER H.-R. (2004):** Sensoren für die Präzisionslandwirtschaft. Artikel in FORSCHUNGSREPORT 1/2004, S. 8 ff.

- ETLV:** ADAM, Alternatives Digitales Agrar-Managementsystem, Merkblatt des ETL e.V., Verein zur Einführung der teilschlagspezifischen Landbewirtschaftung e.V., Hansstraße 21. 18182 Bentwisch.
- FEIFFER A. (2003):** Kosten sparen bei Mähdrusch, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft. S. 667 ff.
- GANDORFER M. und HEIßENHUBER A. (2003):** Ökonomik der variablen N-Düngung, Technische Universität München, Lehrstuhl für Wirtschaftslehre des Landbaues.
- GERHARDS R. (2005):** Weniger Herbizide dank GPS, Geo-Informationssystem und digitaler Bildanalysetechnik, Zusammenfassung des Vortrags vom Freitag, 14. Januar 2005, FAL-Tagung, agroscope, FAL Reckenholz
- GERARDS R. (2005/b):** Mündliche Mitteilung auf dem Workshop Präzisionsfarming 2005, Ihinger Hof.
- GLA (1990):** Bodenkarte von Baden-Württemberg 1:25000, Blatt 7812, Kenzingen. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg 1991 (Hrsg.).
- GRAEFF S. (2003):** mündliche Mitteilung, 2003
- JANTSCHKE C., SPREER W., MÜLLER C. und KÖLLER K. (2005):** Störfaktoren bei der Bodenfeuchte, Ermittlung mit der Time Domain Reflectometry, Landtechnik 3/2005, S. 132 ff.
- JANTSCHKE C., KNAPPENBERGER T und KÖLLER K. (2005):** Der Messwert der Bodenfeuchte, Eine zusätzliche Messgröße für den präzisen Landbau, Landtechnik 3/2005, S.134 ff.
- JUNG D. (2004):** Flottenmanagement mit AGRO-COMBINE-Online; Information und Dokumentation von Mähdreschereinsatz und Leistungsdaten. Artikel in Landtechnik 4/2004. S. 200 ff.
- KERSCHBERGER M., KERSCHBERGER E. und LEITHOLD P (2004):** Bodenuntersuchung und Grunddüngung. Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft. S. 519 ff.
- KERSCHBERGER M. und LEITHOLD P. (2005):** Optimierung der N-Düngung, Sensorgestützte Düngestrategien zahlen sich aus. Artikel in LANDPOST vom 9. April 2005 S. 28 ff.
- KERSCHBERGER M. und HESS H. (2004):** Mehr ernten mit weniger Dünger; BAUERNZEITUNG 47. Woche 2004, S. 16 ff.
- KIELHORN A (2004):** Positionsgenauigkeit von Satellitensignalen beim Einsatz von CompactFlash-GPS-Empfängern, Fachhochschule Osnabrück, University of Applied Sciences, Fakultät Agrarwissenschaftlicher Landschaftsarchitektur
- KNAPPENBERGER und KÖLLER (2005):** Chancen und Herausforderungen einer Echtzeitregelung der Saattiefe, Landtechnik 3/2005, S. 130 ff.
- KRAMER E. und SCHWARZ J. (2004):** Anforderungen zukünftiger Einsatzszenarien an autonome Feldroboter. Landtechnik 5/2004, S. 258 ff.
- LAMP J., HERBST R, und REIMER G:** Digitale Hof-Bodenkarten als Basis für Applikationskarten im Präzisen Landbau; Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, C. – A. Universität Kiel, AG Bodeninformatik, Institut für Pflanzenbauwissenschaften, HU-Berlin, Fachgebiet Precision Agriculture
- LANGNER R. und BÖTTGER H. (2004):** Bildgestützte Unkrautererkennung, LANDTECHNIK 4/2004, S. 202 ff.
- LANGNER R., BÖTTGER H. und EHLERT D. (2003):** Anforderungen an die Dynamik teilflächen-spezifischer Applikationstechnik, LANDTECHNIK 4/2003, S.244 ff.
- LANDPOST (2005):** „Gewannebewirtschaftung“; Kosten sparen durch eine neue Form der Kooperation?, Landpost 21. Mai 2005, S. 32 ff.
- LANDTECHNIK (1/2005):** Geografische Informationssysteme in der Landwirtschaft und im ländlichen Raum, Ergebnisse der KTBL/DAF-Tagung vom 27./28. Oktober 2004 im Forum der FAL Braunschweig, Artikel in Landtechnik 1/2005, S. 52
- LANDTECHNIK (3/2005):** Gewannebewirtschaftung, Landtechnik 3/2005, S.124
- LATACZ-LOHMANN U. (2005):** Gewannebewirtschaftung, zitiert nach Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, Nr. 2/Februar 2005

- LEHRKE U. und MÖLLER K (2005):** Mit der Pflanzenanalyse gezielter düngen. top agrar 4/2005, S. 60 ff.
- LEINKER M, KIELHORN A. LEHMANN B, und TRAUTZ D. (2003):** Teilflächenspezifische Wirtschaftsdüngerausbringung, Tagungsbeitrag 46. Jahrestagung der Gesellschaft für Pflanzenbauwissenschaften vom 25.-27.09.2003 in Gießen
- LILIENTHAL H.:** Entwicklung eines bodengestützten Fernerkundungssystems für die Landwirtschaft. Landbauforschung Völkenrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 254, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- LÜCK E., EISENREICH M. und DOMSCH H. (2002):** Innovative Kartiermethoden für die teilflächenspezifische Landwirtschaft. Stoffdynamik in Geosystemen, Band 7, Herausgeber BLUMENSTEIN O. und SCHACHTZABEL H, im Selbstverlag der Arbeitsgruppe Stoffdynamik in Geosystemen ISSN 0949 – 4731.
- LUDOWICY C., SCHWAIBERGER R. und LEITHOLD P. (2002):** Precision Farming, Handbuch für die Praxis. DLG-Verlag, Frankfurt am Main, 168 S.
- KRAMER E. und VON HASELBERG C. (2004):** Hightech-Innovationen für Verfahrensketten der Agrarproduktion
- LINK J. (2005):** Kurzbeschreibung zur Wachstumssimulation APOLLO, schriftliche Mitteilung per Mail.
- LUDOWICY Chr., SCHWAIBERGER R. und LEITHOLD P. (2002):** Precision Farming, Handbuch für die Praxis, DLG-Verlag, 168 S.
- MACHÉ R.:** Den Bodenzustand in Echtzeit messen, Lose Kopie, Quelle nicht rekonstruierbar
- MAIER J. (2003):** Präzisionslandwirtschaft – Prüfung einer teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung im WSG Weisweil, Statusbericht 2002 (unvollständig), Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (IfuL)
- MAIER J. (2004):** In Mais funktioniert das Pendel (noch) nicht: Artikel in Badische Bauern Zeitung (BBZ) Nr. 27 vom 3. Juli 2004, S. 22 ff.
- MARZOLFF. I.; (1999):** „Großmaßstäbige Fernerkundung mit einem unbemannten Heißluftzeppelin für GIS-gestütztes Monitoring von Vegetationsentwicklung und Geomorphodynamik in Aragón (Spanien)“ Freiburger Geographische Hefte, 57. Freiburg i. Br., 226 S. + 99 S. Kartenanhang.
- MOHN R. (2005,a):** Gewannebewirtschaftung mit Satellitenunterstützung - Vorteile für Landwirtschaft und Umwelt, Fachvortrag zum Feldtag am 28.09.2005: Überleben durch Anpassung – das Modell Riedhausen als Beispiel betrieblicher Weiterentwicklung - unter Bezugnahme auf den *PREAGRO-Abschlussbericht*.
- NOAK O. (2004):** GPS-gestützte automatische Lenksysteme, Landtechnik 5/2005, S.256 ff.
- PALSTEK (2005):** Die Eigenheiten des Global Positioning System, GPS-Navigation, Teil 1, PALSTEK 1/05, S. 68 ff.
- PANTEN K.:** Ein Beitrag zur Fernerkundung der räumlichen Variabilität von Boden- und Bestandesmerkmalen, Landbauforschung Völkenrode, FAL Agricultural Research, Sonderheft 232, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft.
- PAUL W. und SPECKMANN H. (2004):** Radarsensoren, Neue Technologie zur präzisen Bestandesführung. LANDTECHNIK 2/2004, S. 92 ff.
- PREAGRO:** www.preagro.de
- RADEMACHER J. (2003):** Einflüsse der Düngung auf Ertrag und Mährescherleistung, Landtechnik 4/2004, S.198
- RADEMACHER J. (2004):** Einflüsse auf die Genauigkeiten der Online-Proteinmessung im Mährescher, Landtechnik 4/2003, S. 238 ff.
- RECKLEBEN Y. (2003):** Ertrags- und Proteinunterschiede von Weizen bei teilflächenspezifischer Bewirtschaftung, Landtechnik 4/2003, S. 242 ff.
- RECKLEBEN Y. (2005):** Sensorsysteme zur Bestandesführung, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, Vortrag RKL-Tagung am 6. Januar 2005 in Neumünster. S.1181 ff.

- RECKLEBEN Y. und ISENSEE E. (2005):** Vergleich von Sensorsystemen für die N-Düngung. LANDTECHNIK 3/2005.
- RÖSCH C. und DUSSELDORP M. (2005):** Einsatzmöglichkeiten moderner Agrartechnik im Öko-Landbau, Ökologie&Landbau 134, 2/2005, S.39 ff.
- RUCKELSHAUSEN A., TRAUTZ D., KIELHORN A. und LINZ A. (2005):** Mit dem Sensor genauer hacken und striegeln. top agrar 4/2005, S. 108 ff.
- ROHMANN U. und RÖDELSPERGER M. (1994):** Maßnahmenkombinationen und Varianten zur Sanierung des nitratbelasteten Trinkwassers der Gemeinde Weisweil. Technologiezentrum Wasser (TZW), Karlsruhe: 39 S.
- RÜHLING I. (2001):** Nutzbarmachung von Verfahren der Präzisionslandwirtschaft am Oberrhein. Analyse und Interpretation der Variabilität von Ackerflächen in der Rheinebene. Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung (IfuL) Müllheim, Institut Technique des Céréales et des Fourrages (ITCF) Colmar; 140 S.
- SAUER J (2003):** Gammaspectrometrische Messungen an der Erdoberfläche – ein Beitrag zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung. Zeitschrift für angewandte Geologie 3/02, 48. Jahrgang
- SCHEFFER F., SCHACHTSCHABEL P., BLUME H.-P., BRÜMMER G., HARTGE K.-H., SCHWERTMANN U. (1984):** Lehrbuch der Bodenkunde. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.
- SCHIEVELBEIN C. (2004):** Kommentar zur Werbung von Autoguide: Wenn die Nacht zum Tag wird. Aus BAUERNSTIMME 11/2004.
- SCHMID A. und MAIDL F.-X.:** Optimierung der teilflächenspezifischen Bestandesführung mit berührungsloser Sensorik nach Bestandesheterogenität, Technische Universität München, Lehrstuhl für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung;
- SCHMIDHALTER U. und ZINTEL A. (1999):** Schätzung der räumlichen Variation des Ton- und Wassergehaltes mit elektromagnetischer Induktion. Mitteilungen der DBG, S. 871-874.
- SCHMIDT T. und MAUSER W.:** AVIS und BVIS – Hyperspektrale Abbildende Spektrometer zur ökonomischen und ökologischen Optimierung der Pflanzenproduktion, Ground Truth Center Oberbayern, München, Kontakt: th.schmidt@gtco.de; www.gtco.de
- SCHULER B. (1991):** Bodenkarte von Baden Württemberg 1:25000, Blatt 7812 Kenzingen. Geologisches Landesamt Baden Württemberg (Hrsg.).
- SCHUTTE B., HERRMANN L., SCHREIBER M. und KUTZBACH H.D. (2004):** Die Kartierung des Kraftstoffverbrauchs; Zusätzliche Informationsgrundlage für den präzisen Ackerbau. In: Landtechnik 3/2004, S. 152 ff.
- SCHWARZ J. (2004):** Ökonomische und ökologische Aspekte des Sensoreinsatzes im Pflanzenschutz; LANDTECHNIK 5/2004, S. 264
- SCHWARZ J., KERSEBAUM Chr., WENDROTH O. und REUTER H. (2003):** Teilflächenspezifisches Stickstoffmanagement, Modellempfehlungen auf dem Prüfstand, Landtechnik 5'4/2003; S. 246
- SÖKEFELD M. und GERHARDS R. (2004):** Automatische Unkrautkartierung mit digitaler Bildverarbeitung. In LANDTECHNIK 3/2004, S. 154 ff.
- SOURELL und AL-KARADSHEH (2005):** Teilflächenspezifische Beregnung, Eine neue Beregnungsstrategie, Landtechnik 3/2005, S. 140 ff.
- SPANNER L. (2003):** Karten oder Sensortechnik? DLG-Mitteilungen 11/2003, S. 18 ff.
- STÖCKLIN K. (1998):** Funktionierendes Modell. Gespräch des Vorsitzenden des Arbeitskreises Wasserschutz mit Rene Bossert, BBZ 22, S.5.
- THÖSINK G., PRECKWINKEL J., LINZ A., RUCKELSLEBEN A sowie MARQUERING J. (2004):** Optoelektronisches Sensorsystem zur Messung der Pflanzenbestandsdichte. Landtechnik 2/2004, S. 78 ff.
- TRAPHAN K. (2005):**Sensorgestützte N-Düngung. LANDPOST vom 16. April 2005, S26 ff.
- TOP AGRAR (1/2004):** Düngerstreuer: Sauber an der Grenze lang, top agrar 1/2004, S. 116 ff.

- TOP AGRAR (11/2004):** Mit präziser Technik den Herbizidaufwand senken. top agrar 11/2004, S.68 ff.
- TRUNK K. (2003):** Erfahrungen mit GPS in einem Grossbetrieb, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, S. 1145
- WEIGERT G. und WAGNER P. (2003):** Entscheidungsregeln zur kleinräumigen N-Ausbringung, Technische Universität München, Professur für Unternehmensforschung und Informationsmanagement
- WENZLAFF R. und RECKLEBEN Y. (2003):** Mineraldüngerstreuer, Rationalisierungskuratorium für Landwirtschaft, S. 549 ff.
- WERNER A. (2005):** Zitiert nach „Rechnen und kontrollieren, Teilflächenspezifische Düngung als nachhaltige Betriebsführung“, BW agrar 21/2005, S. 19
- WOCHENBLATT MAGAZIN (3/2004):** Feldtechnik, Wochenblatt Magazin Baden-Württemberg, 29.Mai 2004
- ZEDDIES J. (2004):** Mindestflächen notwendig, Precision Agriculture wird wegen Cross Compliance bedeutender. BW agrar 22/2004, S.8
- ZIEKUR R. und SCHURICHT R. (2002):** Georadar und sein Beitrag zur teilflächenspezifischen Landwirtschaft, Zeitschrift für angewandte Geologie 3/02, 48. Jahrgang
- ZILLMANN E., LILIENTHAL H., SCHRAGE T. und SCHNUG EWALD (2004):** Significance of radar remote sensed imagery for agricultural applications, Landbauforschung Völkenrode 4/2004 (54): S. 199-210

www.bogballe.com

www.claas.de

www.garmin.com

www.kemira-growhow.de

www.magellangps.com

www.preagro.de/index.php3

(2) Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Hydro-N-Sensor als Anbaugerät	11
Abb. 2:	Berücksichtigte Differenzierung des Reflexionsverhaltens bei unterschiedlicher N-Versorgung	11
Abb. 3:	Differenzierung der Radarreflexion bei unterschiedlichen Bestandesdichten	12
Abb. 4:	Prinzipdarstellung des Pendelsensors	13
Abb. 5:	GVIS und AVIS	14
Abb. 6:	Elektromagnetisches Spektrum unter Hervorhebung der Wellenlängen des sichtbaren Lichtes	14
Abb. 7:	Ein Anwendungsbeispiel von GVIS in Zuckerrübe	15
Abb. 8:	Ursprüngliche Projektplanung und spätere Ergänzungen	
Abb. 9:	Messung der elektrischen Leitfähigkeit unter Verwendung eines ARP-Gerätes (Entwicklung durch CNRS) am QUAD	22
Abb. 10:	Schematische Vorgehensweise bei Anwendung der Methode „BRUNT“	24
Abb. 11:	Rohdaten für die Ableitung der Ertragskarten für die unterschiedlichen Varianten der Behandlungen	25
Abb. 12:	Aus den Rohdaten abgeleitete Konturen für den Ertrag bei den unterschiedlichen Varianten der Behandlungen	25
Abb. 13:	Abgeleitete Differenzkarten zur Feststellung der Überlegenheit einer der beiden Varianten der Behandlungen	25
Abb. 14:	Umsetzung des Versuches zur Modulation der Saatstärke auf den Versuchsschlägen in Witternheim und Ebersheim (Versuchsplan für das Jahr 2003)	26
Abb. 15:	Berechnungsformel zur Düngung im Elsass	27
Abb. 16:	Mehrjährige Ertragskarte von Witternheim	28
Abb. 17:	Mehrjährige Ertragskarte von Ebersheim	28
Abb. 18:	Bilanzmethode von Arvalis	29
Abb. 19:	Schematischer Plan der Versuchsparzelle Witternheim	30
Abb. 20:	Schematischer Plan der Versuchsparzelle Ebersheim	31
Abb. 21:	Lage der Untersuchungsflächen im Rheintal	33
Abb. 22:	Lage der Untersuchungsflächen vor Weisweil	33
Abb. 23:	Untersuchungsflächen auf der deutschen Rheinseite	34
Abb. 24:	Rohdaten des Mähdruschs 2003 auf gleichmäßige Pixelbreite (6m Schnittbreite)	36
Abb. 25:	Rohdaten in Prozent, bezogen auf den einzelnen Schlag	36
Abb. 26:	Rohdaten in Prozent, bezogen auf alle Schläge	36
Abb. 27:	Rohdaten des Ertrages 2003, moduliert behandelt	36
Abb. 28:	Rohdaten des Ertrages 2003, herkömmlich behandelt	36
Abb. 29:	Konturenkarte 2003 Mähdruschsertrag aus unkorrigierten Rohdaten	37
Abb. 30:	Konturenkarte 2003, getrennt nach pauschaler Behandlung	37
Abb. 31:	Konturenkarte 2003, getrennt nach modulierter Behandlung	37
Abb. 32:	Für die Düngung zugrunde gelegte Ertragserwartung	37
Abb. 33:	Rohdaten zur Differenz zwischen Ertrag und Ertragserwartung	38
Abb. 34:	GPS-gestützte Messung der elektrischen Bodenleitfähigkeit mit „Veris 3100“	41
Abb. 35:	Erhebungsdichte der elektrischen Bodenleitfähigkeit mit 1389 Messpunkten am Beispiel I-01	41
Abb. 36:	GPS-gestützte Messung der elektromagnetischen Leitfähigkeit mit „EM 38“	42
Abb. 37:	Erhebungsdichte der elektromagnetischen Leitfähigkeit (alle Schläge)	42
Abb. 38:	Höhenverteilung aus der EM38 Messung	42
Abb. 39:	Verteilung des elektromagnetischen Widerstandes	42
Abb. 40:	Rohdaten zur Verteilung der Bodenfeuchte	43
Abb. 41:	Stichprobepunkte, Transsekte und Applikationsgrenzen	47
Abb. 42:	Rolle der offline ermittelten N-Applikationskarte im Datenfluss des im Jahr 2003 gewählten Verfahrens	49
Abb. 43:	Datenfluss bei der Herleitung der N-Applikationskarte	51
Abb. 44:	GPS Ertrags – Rohdaten	53
Abb. 45:	Maisertragskarte des Jahres 2000	53
Abb. 46:	Maisertragskarte des Jahres 2001	54
Abb. 47:	Karte der Ertragserwartung für das Jahr 2003	54

Abb. 48:	Verteilung der gemessenen N_{\min} -Werte auf den Versuchsflächen für das Jahr 2003	55
Abb. 49:	Tabellenblatt zur Ermittlung des teilflächenspezifischen mineralischen Stickstoffdüngbedarfes	56
Abb. 50:	Umsetzung der Harnstoffkarte für die Versuchsanlage 2003	57
Abb. 51:	Klassenverteilung des auf der Versuchsanlage auszubringenden Harnstoffes	58
Abb. 52:	Maschinenlesbare Applikationskarte für die Modulation von Harnstoff unter Berücksichtigung der Versuchsanordnung	58
Abb. 53:	Durchführung des Düngerversuches	59
Abb. 54:	Verdichtung des Beprobungsnetzes	60
Abb. 55:	Schlagübergreifende Aufbereitung der N_{\min} Verteilung im Versuchsjahr 2004	61
Abb. 56:	Für die Verteilung der Ertragserwartung berücksichtigte Ertragsverteilungen	62
Abb. 57:	Bei der Berechnung der N-Applikationskarte zugrundegelegte Ertragserwartungskarte	62
Abb. 58:	Harnstoffapplikationskarte (für die beiden unteren Schläge unter verwendetem N_{\min} nach bereits erfolgter Düngung)	63
Abb. 59:	Für die Modulation auf I-03 abgeleitete Harnstoffkarte (Teilausschnitt Schlag I-03)	64
Abb. 60:	Teilflächenspezifische Harnstoffkarte nur in Versuchsstreifen	64
Abb. 61:	Theoretisch modulierte Düngung im herkömmlich behandelten Streifen	64
Abb. 62:	Düngung pauschal nach Mittelwert im herkömmlich behandelten Streifen	65
Abb. 63:	Zusammenfügung beider Behandlungen zu einer Harnstoffkarte entsprechend der Versuchsanlage	65
Abb. 64:	Klassenverteilungen	65
Abb. 65:	In Schlag I-03 verwendete Applikationskarte	
Abb. 66:	Teilflächenspezifische Harnstoffkarte mit eingefügter zusätzlicher Düngevariante	66
Abb. 67:	Verteilungen der Klassenhäufigkeiten der betroffenen Harnstoffkarten	67
Abb. 68:	Ergebnis der Kalibrierung des Wachstumsmodells	69
Abb. 69:	Anordnung der Versuchsstreifen (teilflächenspezifische Maßnahme eingefärbt)	70
Abb. 70:	Düngetermine entsprechend der Versuchsanlage im Jahr 2005	70
Abb. 71:	Berechnungsformel der optimalen Düngung auf den kleinsten Teilflächen	71
Abb. 72:	Versuchsanlage nach „Apollo“ mit modulierten und modulierten Behandlungsstreifen	71
Abb. 73:	Versuchsanordnung 2005 nach „Apollo“ umgesetzt als „Messwertkarte“ in „Agromap Basic“	72
Abb. 74:	Applikationskarte zur Umsetzung des Düngerversuches unter Integration des Wachstumsmodells „Apollo“, wie sie im Versuchsjahr 2005 zum Einsatz kam	73
Abb. 75:	N_{\min} Verteilung nach der Beprobung vom 03.06.2005	73
Abb. 76:	Teilflächenspezifische N-Applikation (2005), berechnet nach der guten fachlichen Praxis als interpolierte Verteilungskarte (Messwertkarte in Agromap Basic)	74
Abb. 77:	Ausschlussflächen für Apollomaßnahme 2005	75
Abb. 78:	Betriebsbereiter Pendelsensor „Cropmeter“	77
Abb. 79:	Position des Piloten mit gutem Zugang zur befestigten Kamera	79
Abb. 80:	Bildaufnahme bei einer Flughöhe von etwa 600m	79
Abb. 81:	Umgebung der Versuchsflächen als Schrägaufnahme vom 10.06.2004 (MERKEL, 2004)	80
Abb. 82:	Senkrechtaufnahme der Untersuchungsschläge mit einer Digitalkamera bei 600m Flughöhe (unbearbeitetes Originalbild)	80
Abb. 83:	Für die Luftbildaufnahmen verwendeter ferngesteuerter RC Motorsegler	81
Abb. 84:	Befestigung und Auslösung am Beispiel der APS Kamera	direkt an der Schwerpunktlage und in Rumpfnähe
Abb. 85:	Restfehler nach 2 Durchgängen projektiver Bildverzerrung (15 Passpunkte)	83
Abb. 86:	Georeferenziertes, mit Einfachverfahren entzerrtes Luftbild; Aufnahme mit Motordrachen vom 10.06.2004, 3 Tage nach Düngung bei kniehohem Mais im 7 Blatt-Stadium; Referenzpunkte aus der Stereomessung zuvor	83
Abb. 87:	Bildmosaik aus 3 entzerrten Einzelbildern (RC-Motorsegleraufnahmen vom 07.06.2004, Bild Nr. 5b, 6 und 8)	84
Abb. 88:	Abgeleitetes Orthobild	84
Abb. 89:	Sichtbarer Bereich des elektromagnetischen Spektrums (Licht)	85
Abb. 90:	Typische Reflexionskurven im Bereich des elektromagnetischen Spektrums	85
Abb. 91:	Verteilung der Rückstrahlung R, G und B auf der Fläche (Befliegung vom 7.07.2004)	86
Abb. 92:	Berücksichtigte N_{\min} -Verteilung (Konturenkarte, abgeleitet aus den Werten der Probenahme an den Rasterpunkten im Mai 2003)	90
Abb. 93:	Unterschiede in Niveau und Varianz von N_{\min} auf den unterschiedlichen Schlägen	90

Abb. 94:	Repräsentativen Mittelwert der N_{\min} -Verteilung	91
Abb. 95:	N_{\min} -Verteilung bei pauschaler Erfassung des Minimumwertes	91
Abb. 96:	N_{\min} -Verteilung bei pauschaler Erfassung des Maximumwertes	92
Abb. 97:	Harnstoffkarte in Schlag I-03 nach Berechnung (mit Minuswerten)	94
Abb. 98:	Harnstoffkarte in Schlag I-03 ohne Minuswerte	94
Abb. 99:	Harnstoffkarte in Schlag I-03 mit Mindestausbringung von 100kg Harnstoff/ha	94
Abb. 100:	Applikationskarte (Ertragserwartung differenziert, mindestens 0 kg Harnstoff/ha)	96
Abb. 101:	Applikationskarte (Ertragserwartung differenziert, mindestens 100 kg Harnstoff/ha)	96
Abb. 102:	Applikationskarte (Ertragserwartung pauschal, mindestens 0 kg Harnstoff/ha)	96
Abb. 103:	Applikationskarte (Ertragserwartung pauschal, mindestens 100 kg Harnstoff/ha)	96
Abb. 104:	Variabilität der pH-Werte	104
Abb. 105:	Körngrößenverteilung	104
Abb. 106:	Variation der Schluff- und Sandgehalte	106
Abb. 107:	Klassenverteilung der pH-Werte	106
Abb. 108:	Darstellung der Versuchsflächen durch den Satelliten TERRA ASTER (12.08.2003)	107
Abb. 109:	Satellitenbild der Parzelle Witternheim vom August 2003	108
Abb. 110:	Satellitenbild der Parzelle Ebersheim vom August 2003	108
Abb. 111:	Kartierung kiesiger Bereiche	108
Abb. 112:	Karte des elektrischen Widerstands (Witternheim) (Géocarta-Daten)	109
Abb. 113:	Karte des elektrischen Widerstands der Parzelle Ebersheim (Géocarta-Daten)	110
Abb. 114:	Interpolierte Ertragskarte der Versuchsparzelle, alle Bestandesdichten vermischt	
Abb. 115:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 75.000 und 85.000 Pflanzen/ha	115
Abb. 116:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 85.000 und 95.000 Pflanzen/ha	115
Abb. 117:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 75.000 und 95.000 Pflanzen/ha	116
Abb. 118:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 80.000 und 90.000 Pflanzen/ha	119
Abb. 119:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 90.000 und 100.000 Pflanzen/ha	119
Abb. 120:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 90.000 und 100.000 Pflanzen/ha	120
Abb. 121:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen 80.000 und 100.000 Pflanzen/ha	121
Abb. 122:	Ertragskarte von Witternheim mit den verschiedenen Varianten	124
Abb. 123:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen „Düngung X“ und „moduliert“	124
Abb. 124:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen „Düngung X“ und „Düngung X – 50“	125
Abb. 125:	Interpolierte Karte der Ertragsunterschiede zwischen „moduliert“ und „Düngung X – 50“	126
Abb. 126:	Die Ertragskarte von Ebersheim mit den verschiedenen Varianten	128
Abb. 127:	Verteilung der Maiserträge unterschiedlicher Jahre	130
Abb. 128:	Klassenverteilungen von N_{\min} bei unterschiedlicher Erfassung von N_{\min}	133
Abb. 129:	Differenzkarten zwischen teilflächenspezifisch differenziert und pauschal erfasstem N_{\min}	133
Abb. 130:	Eigenschaften von Ammonium und Nitrat im Boden	137
Abb. 131:	Teilflächenspezifische Düngeapplikation am 07. Juni 2004, An der angehobenen Fronthydraulik ist der hier nicht verwendete Pendelsensor zu sehen	146
Abb. 132:	Differenzkarte (Applikation „Apollo“ – Applikation „gute fachliche Praxis“) der komplett berücksichtigten Schläge I-02 und I-03, feiner aufgelöst	152
Abb. 133:	Verteilung der Körnungsfractionen Ton, Sand und Schluff in Prozent	155
Abb. 134:	Verteilung der Stickstoffversorgung in der Pflanze	157
Abb. 135:	Potenzial moderner Aufnahmesysteme am Beispiel der „Vexel Ultracam“	158
Abb. 136:	Ableitung einer 3 Zonenkarte aus einem Luftbild (www.agrosat.com)	161
Abb. 137:	Software mit Originalinfrarotluftbild, einer klassifizierten Maske und der abgeleiteten Applikationskarte	162
Abb. 138:	einfache Möglichkeiten der Bildklassifizierung getrennt nach den Farbkanälen „Rot“ und „Grün“	163
Abb. 139:	Verteilung der normierten Rückstrahlung für „Rot“ als Eingangsparameter für die Modulation der Stickstoffdüngung (Dunkle Bereiche viel, Helle Bereiche wenig)	166
Abb. 140:	Verteilung der normierten Rückstrahlung für „Grün“	167
Abb. 141:	Verteilung des normierten Parameters R/G	168
Abb. 142:	Vorhaltung abgeleiteter Korrekturfaktoren zur Einbeziehung bei der Berechnung teilflächenspezifischer Applikationen	169
Abb. 143:	Modifizierter Pendelsensor im kniehohen Mais (7-Blatt-Stadium)	172
Abb. 144:	Diskussion zum Einsatz des Pendelsensors im Mais	173
Abb. 145:	N_{\min} -Verteilung am 10. bzw. 17. Mai 2003	179
Abb. 146:	N_{\min} -Verteilung: 20. Sept. 2003	179

Abb. 147:	N_{\min} Herbst in Prozent des Messwertes vom Frühjahr	180
Abb. 148:	N_{\min} (Herbst) in Prozent von N_{\min} (Frühjahr) nach unterschiedlichen Behandlungsweisen und schlagweise unterschieden	182
Abb. 149:	Korrelationstest zwischen N_{\min} Frühjahr und Herbst	182
Abb. 150:	Harnstoffkartenbereich der Schläge I-01 und I-02	184
Abb. 151:	Harnstoffkartenbereich des Schlages I-02	184
Abb. 152:	Harnstoffkartenbereich des Schlages I-01	185
Abb. 153:	Klassenverteilung [Ertrag], getrennt nach beiden Behandlungen	186
Abb. 154:	Unterschiede der Verteilungskurve zwischen Ertrag und Ertragserwartung	187
Abb. 155:	Differenzkarte (Ertrag und Ertragserwartung)	188
Abb. 156:	Höhendifferenzen zwischen herkömmlicher und modulierter Behandlung an den verschiedenen Erhebungszeitpunkten	190
Abb. 157:	Beträge der Höhendifferenzen zwischen herkömmlicher und modulierter Behandlung zu den verschiedenen Erhebungszeitpunkten	191
Abb. 158:	Differenzkarte (Applikation „Apollo“-Applikation „Gute fachliche Praxis“) der komplett berücksichtigten Schläge I-02 und I-03; feiner aufgelöst	198
Abb. 159:	Variabilität der Eingangsparameter für die Stickstoffbilanzierung	199
Abb. 160:	Bilanzierung unter Berücksichtigung von Zugabe und Entzug	200
Abb. 161:	Teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzierung mittels Zugabe und Entzug	200
Abb. 162:	Bilanzierung unter Berücksichtigung von Zugabe und Entzug	201
Abb. 163:	Teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzierung aus Ausgangszustand zuzüglich Zugabe und Entzug	201
Abb. 164:	Korrelation zwischen der Höhe des Ausgangswertes für N_{\min} im Herbst und der Zunahme zum Frühjahr	205
Abb. 165:	Teilflächenspezifische Verteilung der Bilanzierung aus Ausgangszustand, Zugabe und Entzug	206
Abb. 166:	Ökonomische Einschätzung des Betriebes	212
Abb. 167:	Ökologische Einschätzung des Betriebes	212
Abb. 168:	Geringfügige Unterschiede beim Anteil der Betriebe nach Betriebsgröße zwischen den unterschiedlichen Befragungsgruppen	214
Abb. 169:	Verteilung der verschiedenen großen Schläge	215
Abb. 170:	Mittelwerte zu den angegebenen Bodenpunkten (Minimum, Maximum und Mittelwert)	216
Abb. 171:	Aufteilung der Ackerkulturfläche	217
Abb. 172:	Einschätzung der Befragten zur Homogenität der Schläge	218
Abb. 173:	Einschätzung des Kenntnisstandes der Befragten zu den Parzellenunterschieden	173
Abb. 174:	Einschätzungen der Befragungsgruppen über die Notwendigkeit zusätzlicher Informationen über die Schläge bei der Bewirtschaftung	219
Abb. 175:	Arbeitserledigung der befragten Betriebe in Baden	220
Abb. 176:	Aufteilung der Beratung	220
Abb. 177:	Eigene Beurteilung der Befragungsgruppen darüber, ob die Düngung richtig eingeschätzt werden kann	221
Abb. 178:	Investitionsbereitschaft für Präzisionslandwirtschaft	225
Abb. 179:	Zustimmung zur Verwaltung der Nährstoff- und Ertragskartierungen in einer zentralen Datenservicestation	227
Abb. 180:	Problemanalyse bei den unterschiedlichen Befragungsgruppen	228
Abb. 181:	Rahmenbedingungen unter denen eine Umsetzung der modulierten Stickstoffdüngung am Oberrhein denkbar ist	242

(3) Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Technische Daten zu GVIS und AVIS	14
Tab. 2:	Variierung des Stickstoffbedarfes in Abhängigkeit vom Ertragsniveau (Quelle: Faustzahlen – AGPM Technique 2001)	29
Tab. 3:	Erfassung von Pflanzendaten an den Rasterpunkten im Jahr 2003	39
Tab. 4:	Wesentliche Unterschiede der verschiedenen Verfahren zur Umsetzung der Modulation	45
Tab. 5:	Technische Daten zum Düngestreuer Bogballe MR 3	48
Tab. 6:	Technische Daten zum ACT (www.ccgis-agrar.de)	48
Tab. 7:	In die Düngermengenberechnung einfließende Parameter	50
Tab. 8:	Durchschnittliche Düngemengen berechnet nach "Apollo" und "guter fachlicher Praxis"	74
Tab. 9:	Aufgenommene Luftbilder von „Lowcost“-Plattformen aus	82
Tab. 10:	Aus den Reflexionswerten abgeleitete Parameter	87
Tab. 11:	Ergebnisse der empirischen Variabilitätsuntersuchung (Witternheim)	103
Tab. 12:	Ergebnisse der empirischen Variabilitätsuntersuchung (Ebersheim)	105
Tab. 13:	Berechnete Daten	113
Tab. 14:	Ergebnisse zu Ertrag und Feuchte	118
Tab. 15:	Zusammenfassung der Ergebnisse	122
Tab. 16:	Ergebnisse	126
Tab. 17:	Berechnungsergebnisse der Korrelationen der Maisertragsverteilungen zwischen den verschiedenen Untersuchungsjahren	131
Tab. 18:	Ergebnisse der Korrelationstests zwischen den einzelnen Frühjahresbeprobungen	134
Tab. 19:	Ergebnisse des Frühjahrs-/Herbstvergleiches von N_{\min}	134
Tab. 20:	Ergebnisse des Korrelationstests zwischen den beiden Herbstbeprobungen	135
Tab. 21:	Bestimmtheitsmaße der Verteilung des Ertrages 2004 und des N- und C-Gehaltes aus Pflanze und Korn (2004) aus der Korrelation mit den Feuchtemessungen	138
Tab. 22:	Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Düngemenge	148
Tab. 23:	Einfluss der Rahmenbedingungen auf die Spannweite der Düngemenge	149
Tab. 24:	Anteil der gegenüber der Berechnung nach guter fachlicher Praxis zu hoch applizierten Fläche	149
Tab. 25:	Bestimmtheitsmaße zwischen den Verteilungen der terrestrischen Abreifeinventuren	154
Tab. 26:	Bestimmtheitsmaße zwischen der Verteilung der Körnungsfractionen	155
Tab. 27:	Verbleibende interessierende Korrelationen	156
Tab. 28:	Bestimmtheitsmaße zu den Pflanzennährstoffen	158
Tab. 29:	Absorptionsbänder der Pigmente (aus HUSS, 1984)	160
Tab. 30:	N_{\min} : Mittelwerte	180
Tab. 31:	Ertrag auf den unterschiedlich behandelten Teilflächen	186
Tab. 32:	Verschiebung der Verteilung der Ertragsklassen gegenüber der Verteilung auf der Gesamtfläche	186
Tab. 33:	Verschiebung der Verteilung von Ertrag und Ertragserwartung	187
Tab. 34:	Ertragsdifferenzen gegenüber der Ertragserwartung	188
Tab. 35:	Ertragsdifferenz vom Zielertrag, schlagspezifisch differenziert	189
Tab. 36:	Einsparungspotenzial durch differenziertere Erfassung der Eingangsparameter der Modulationsmaßnahme und Ignorieren der Mindestmengenvorgabe	194
Tab. 37:	Einsparungspotenzial durch differenziertere Erfassung der Eingangsparameter der Modulationsmaßnahme und Ignorieren der Mindestmengenvorgabe	195
Tab. 38:	Bilanzierung der Durchschnittswerte	201
Tab. 39:	Bilanzierung der Durchschnittswerte	202
Tab. 40:	Bilanzierung der Durchschnittswerte nach unterschiedlichen Behandlungen	202
Tab. 41:	Zunahme N_{\min} Herbst 2003 und Frühjahr 2004	204
Tab. 42:	Anteil der genannten Bodentypen in der Befragung der elsässischen Landwirte	216

(4) Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ACT	Agrar Computer Terminal (GPS-Empfänger und Bordcomputer der Fa. Agrocom)
AGPM	Association Générale des Producteurs de Maïs
AOS	Advanced Optoelectronic System
APCO	Vereinigung der Erzeuger von Getreide und Ölsaaten des Départements Haut-Rhin
APOLLO	Application of Precision Agriculture for Field Management Optimization
APS	Advanced Photo System. <i>APS-Filme</i> (Kodak Typenbezeichnung IX240) unterscheiden sich deutlich von verbreiteten Filmmaterialien wie dem 35mm Film; sie bestehen aus einer geschlossenen Kassette , in welcher der eigentliche Film dauerhaft verbleibt; nur zur Belichtung, Entwicklung sowie gegebenenfalls zur Weiterverarbeitung wird das Trägermaterial herausgeführt. Jede Filmkassette trägt eine vierstufige Filmstatus-Anzeige , die vier Zustände kennt: "unbelichtet", "zum Teil belichtet", "vollständig belichtet" und "entwickelt". Filme können damit nicht mehr doppelt belichtet oder gar unbelichtet zur Entwicklung gegeben werden.
ARAA	Association pour la Relance Agronomique en Alsace
ARP	Gerät zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit
Arvalis	Arvalis - Institut du végétal
ASCII	ist die Abkürzung für „American Standard Code for Information Interchange“. ASCII-Code zu verwenden ist eine Methode, Text als Binärwerte zu codieren. Das ASCII-System benötigt hierfür ungefähr 256 Kombinationen aus 8-Bit-Binärzahlen, um jeden möglichen Tastenanschlag auf der Tastatur zu codieren bzw. darzustellen
ATB	Agrartechnik Bornim
AVIS	Airborne Visible and Infrared Spectrometer – Flugzeuggestütztes Abbildendes Spektrometer der Universität München
B	Blau
BAC Pro	Baccalauréat professionnel, Hochschulzugangsberechtigung
BEPA	brevet d'études professionnelles agricoles
BLW	Bundesamt für Landwirtschaft (Schweiz)
BRUNT	Bâtir des Références en Utilisant les Nouvelles Technologies - Erstellung von Referenzwerten unter Verwendung Neuer Technologien
BTA	biologisch technischer Assistent
BTS	Brevet de Technicien Supérieur, (staatlich geprüfter Gastronom)
BW	Baden-Württemberg
CAD	Computer Aided Design
CAL	Calcium-Ammonium-Laktat
CAU	Koeffizient der offensichtlichen Düngerausnutzung
CEBIS	bedeutet CLAAS-Elektronisches-Bord-Informationssystem. CEBIS ist ein computergestütztes Bordsystem mit Funktionen zur Information, Überwachung und Einstellung des Mähdreschers. CEBIS besitzt einen großen Bildschirm und ist sehr einfach über eine übersichtlich gegliederte Menüsteuerung zu bedienen. CEBIS bietet auch die Möglichkeit, die verbrauchte Kraftstoffmenge zu registrieren. Damit wird es zum Beispiel den Lohnunternehmern möglich, eine wesentlich genauere Abrechnung zu erstellen. (Vgl. www.claas.de).
CERES	die römische Göttin der Landwirtschaft, ein Wachstumssimulationsalgorithmus wurde nach ihr genannt
CROPGRO	Simulationsmodell für das Wachstum (growth) von Getreide (crop)
CNRS	Centre National de la Recherche Scientifique
DGPS	Differential Global Positioning System: satellitengestütztes Navigationssystem zur Bestimmung der Position. DGPS ist GPS mit korrigierendem Referenzsignal und höherer Genauigkeit der Positionsbestimmung
DGM	Digitales Geländemodell
DLZ	Agrarmagazin des Deutschen Landwirtschaftsverlages GmbH
dt	Dezitonne, entspricht 100 kg
EC	Der EC-Wert gibt an, wieviel Nährsalze sich in einer Nährlösung befinden. Genauer genommen bezeichnet er die <u>Leitfähigkeit</u> der Lösung. Da alle Salze die Leitfähigkeit einer Lösung erhöhen, gibt der EC-Wert nicht an, ob die Nährlösung auch genügend von den Nährstoffen hat, die eine Pflanze braucht.
EDV	Elektronische Datenverarbeitung

EM38	Gerät zur Erfassung der elektromagnetischen Leitfähigkeit
FK	Feldkapazität
GPS	Global Positioning System; satellitengestütztes Navigationssystem zur Bestimmung der Position
GIS	Geographisches Informationssystem; digitale Datenbank mit räumlichen Bezügen
GLA	Geologisches Landesamt (Baden-Württemberg)
GPS	Globales Positionierungs System mittels Satellit
G	Grün
GTCO	Ground Truth Center Oberbayern
GVIS	groundbased Visible and Infrared Spectrometer – Bodengestütztes Abbildendes Spektrometer der Universität München
ha	Hektar (100*100 = 10.000 m ²)
ifuL	Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung, Müllheim (bei der Landesanstalt für Pflanzenbau Forchheim, Baden-Württemberg)
INS	In Kombination mit GPS: Satellitengestützte Inertialnavigation: INS übernimmt als kreiselgestütztes System die Blickrichtungserkennung einer Position (GPS) von fernerkundungsgetragenen Aufnahmesystemen
ITADA	Institut Transfrontalier d'Application et de Développement Agronomique: Grenzüberschreitendes Institut zur rentablen umweltgerechten Landbewirtschaftung, Colmar.
JGB	Landmaschinenhersteller
K	Kalium
KAK	Kationenaustauschkapazität,
LBS	Landwirtschaftliches Bussystem
LAP	Landesanstalt für Pflanzenbau (Baden-Württemberg)
LBS	Landwirtschaftliches Bus-System, Schnittstellenparameter an landwirtschaftlichen Bordcomputern
LEL	Landesanstalt für Entwicklung der Landwirtschaft und der ländlichen Räume Schwäbisch Gmünd, Baden-Württemberg
LEP	Landesentwicklungsprogramm
LUFA	Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt (Augustenberg)
Mg	Magnesium
N	Stickstoff
NDVI	Normalised Difference Vegetation Index. Der NDVI bildet ein Maß für die photosynthetische Aktivität und ist stark mit Dichte und Vitalität der Vegetationsdecke korreliert.
nFK	nutzbare Feldkapazität
N _{min}	mineralischer Stickstoff = Nitrat und Ammonium
P	Phosphat, Phosphor
PC	Personal Computer
PCMCIA	PC Memory-Card International Association
pH	Der pH-Wert ist der negative dekadische Logarithmus der Oxoniumionenkonzentration und damit ein Maß für die Stärke der sauren bzw. basischen Wirkung einer Lösung. Der Begriff leitet sich von „pondus Hydrogenii“ oder potentia Hydrogenii (lat. pondus= Gewicht; potentia=Kraft; hydrogenium= Wasserstoff) ab. pH<7 entspricht einer sauren Lösung, pH 7 entspricht einer neutralen Lösung, pH>7 entspricht einer alkalischen Lösung.
PDA	Bezeichnung für Pocket PC's
P	Phosphor
QUAD	Vierradangetriebenes geländetaugliches Kleinfahrzeug
R	Rot
RC	radio controled, ferngesteuert in der Regel mit Hilfe von Funkfrequenzen
RS323	Schnittstelle an landwirtschaftlichen Bordcomputersystemen
Tab	Tabelle
TDR	Time Domain Reflectometry, Messmethode zur Bodenfeuchte
TM (TS)	Trockenmasse (Trockensubstanz)
UPV	Unpiloted vehicles, Autonome Fahr- oder Flugzeuge
VDLUFA	Verband der Deutschen Landwirtschaftlichen Untersuchungs- und Forschungsanstalten
VERIS	Gerät zur Messung der elektrischen Leitfähigkeit
VK	Variationskoeffizient
WSG	Wasserschutzgebiet
ZG	Zentralgenossenschaft (ZG Raiffeisen Karlsruhe)

Anhang

Anbaumaßnahmen	266
Analyse von Boden und Erträgen Witternheim	267
Versuchsplan Witternheim 2004	269
Versuchsplan Ebersheim 2004	270
Statistische Analyse der Ergebnisse	271
Fragebogen zum Einsatz von Präzisionslandwirtschaft	274

1 Anbaumaßnahmen Witternheim 2003

Saattermin: 18. April 2003,
 Sorte: PR38F10 in 3 Saatstärken: 75.000 – 85.000 – 95.000 K./ha
 Unkrautbekämpfung: Mikado 0,75 l/ha + Basis 20 g/ha + Surf 2000 0,1l/ha im Nachauflauf
 Düngung: 600 kg/ha NPK 8/10/20, d.h. 48 kg N, 60 kg P₂O₅ und 120 kg K₂O vor der Saat am 01.04.2003
 400 kg/ha Harnstoff (46 % N), d.h. 184 kg N am 19.05.2003
Insgesamt: 232 kg/ha N / 60 kg/ha P₂O₅ / 120 kg/ha K₂O
 Insektizid: Bétacyfluthrine 0,5 l/ha (zur Maiszünslerbekämpfung)
 Beregnung: mit Kreisregner: 15 Beregnungsgänge à 12 mm, d.h. 180 mm zwischen dem 18. Juni und dem 08. August 2003.
 Ernte: 28. August 2003

2 Anbaumaßnahmen Ebersheim 2003

Kompostausbringung im Herbst 2002, vor dem Pflügen: 50 t/ha
 Aussaat: 15. April 2003,
 Sorte: DK 312 in 3 Saatstärken: 80.000 - 90.000 - 100.000 K./ha
 Unkrautbekämpfung: Alachlor 4 l/ha + Prowl 2 l/ha + Atrazin 750 g/ha NS/VA
 Banvel 0,6 l/ha auf Windennester
 Düngung: 200 kg/ha N/P 18/46, d.h. 36 kg/ha N und 92 kg/ha P₂O₅ vor der Saat
 170 kg/ha KCl (60%), d.h. 100 kg/ha K₂O vor der Saat
 160 kg/ha Harnstoff (46 % N), d.h. 75 kg/ha N nach dem Auflauf
Insgesamt: 110 kg/ha N / 92 kg/ha P₂O₅ / 100 kg/ha K₂O
 Insektizid: Cypermethrine 0,75 l/ha Mitte Juni (zur Maiszünslerbekämpfung)
 Beregnung: 6 Beregnungsgänge à 30 mm, d.h. 180 mm insgesamt zwischen Ende Juni und dem 10. August
 Erntetermin: 06. Oktober 2003

3 Anbaumaßnahmen Witternheim 2004

Saattermin: 17. April 2004,
 Sorte: PR 38 A 24 mit 90.000 K./ha
 Unkrautbekämpfung: Mikado 0,75 l/ha + Basis 20 g/ha + Surf 2000 0,1l/ha im Nachauflauf
 Düngung: 650 kg/ha NPK 8/10/20, d.h. 52 kg/ha N, 65 kg/ha P₂O₅ und 130 kg/ha K₂O vor der Saat, am 29.03.2004
 2 N-Düngungsstufen mit Harnstoff (46 % N): X = 140 kg/ha N, d.h. 300 kg/ha und X-50 = 90 kg/ha N, d.h. 210 kg/ha am 08.06.2004
Insgesamt: 2 Stickstoffgaben: 190kg/ha und 140 kg/ha
 65 kg/ha P₂O₅ und 130 kg/ha K₂O
 Insektizid: Bétacyfluthrine 0,5 l/ha (Maiszünslerbekämpfung)
 Beregnung: mit einem Kreisregner: 8 Beregnungsgänge à 15 mm, d.h. insgesamt 120 mm zwischen dem 28. Juni und dem 09. August 2004.
 Erntetermin: 28. Oktober 2004

4 Anbaumaßnahmen Ebersheim 2004

Saattermin: 13. April 2004,
 Sorte: Masaba mit 80.000 Körnern/ha
 Unkrautbekämpfung: Spectrum 1 l/ha + Prowl 2,2 l/ha NS/VA
 Banvel 0,5 l/ha auf Windennester im NA
 Düngung: 150 kg/ha NP 18/46, d.h. 27 kg N und 70 kg/ha P₂O₅ vor der Aussaat
 150 kg/ha KCl (60%), d.h. 90 kg/ha K₂O
 Harnstoff (46% N) in 3 Stufen am 09.06.04: X = 150 kg/ha N, d.h. 330 kg/ha
 Dünger, X – 50 = 100 kg/ha N, d.h. 220 kg/ha und X + 30 = 180 kg/ha N, d.h. 390 kg/ha.
Insgesamt: 3 Stickstoffvarianten: 180, 150 und 100 kg/ha N
 70 kg/ha P₂O₅ und 90 kg K₂O kg/ha N
 Insektizid: Cypermethrine 0,75 l/ha Mitte Juni (zur Maiszünslerbekämpfung)
 Beregnung: 4 Beregnungsgänge à 30 mm je Überfahrt, d.h. 120 mm insgesamt zwischen Ende Juni und dem 15. August 2004
 Erntetermin: 6. Oktober 2004

Analyse von Boden und Erträgen über drei Jahre auf der Parzelle Witternheim Analyse de sol et rendement sur 3 ans dans la parcelle d'Ebersheim

point	rdt00	rdt01	rdt02	rdt moyen	argile	limon	sable	pH	P2O5 (ppm)	K2O (ppm)	Mg (ppm)	% M.O	Zn (ppm)	profondeur (cm)	RU (mm)
1	145.3	116.1	81.5	114.3	26	33.3	40.8	7.2	340	400	80	3.2	51	35	66
2	116.5	118.4	87.1	107.3	24	33.9	41.7	7.0	350	450	90	3.9	76	35	66
3	140.1	136.3	138.3	138.2	26	35.8	38.2	6.9	100	210	100	3.0	34	100	189
4	146.1	134.8	123.3	134.7	27	29.9	43.1	6.5	140	280	120	2.5	25	55	101
5	131.3	123.8	112.1	122.4	21	37.0	42.2	6.6	240	330	110	3.5	31	35	66
6	143.6	114.6	122.5	126.9	21	34.2	44.7	6.5	210	250	100	2.5	36	95	120
7	147.5	129.2	118.5	131.7	18	34.0	47.7	6.0	200	310	90	3.0	29	35	61
8	131.3	107.2	110.7	116.4	19	30.7	50.0	6.0	170	260	110	3.5	34	35	61
9	137.3	120.4	117.7	125.1	21	31.6	47.5	6.6	290	290	100	2.7	30	45	79
10	140.8	130.5	119.8	130.4	24	32.7	42.9	6.4	150	240	120	3.0	26	45	81
11	156.9	128.0	113.4	132.8	24	34.7	41.4	7.1	240	350	90	3.1	25	35	68
12	161.4	125.7	135.3	140.8	24	35.7	40.2	7.2	70	180	90	3.0	19	60	107
13	131.2	122.6	127.3	127.1	25	34.7	40.4	6.7	360	400	90	3.1	27	40	95
14	138.8	106.8	104.8	116.8	28	31.3	41.0	7.1	380	400	100	2.7	28	35	68
15	133.7	124.0	126.5	128.1	27	33.3	40.2	6.9	300	440	110	2.9	24	50	92
16	152.6	118.2	147.5	139.5	25	34.9	40.3	6.9	190	420	120	2.8	27	85	156
17	120.0	134.8	113.8	122.9	23	34.1	42.5	7.0	130	270	90	3.7	22	50	90
18	112.7	111.4	114.7	112.9	26	33.9	40.6	6.8	210	380	100	3.4	28	35	61
19	127.5	117.9	106.1	117.2	26	28.4	45.7	6.7	200	270	100	4.5	23	35	68
20	124.6	120.9	114.5	120.0	22	31.4	46.7	6.8	380	300	80	3.0	24	50	87
21	135.5	118.7	94.3	116.2	27	28.7	44.1	6.1	160	280	120	3.2	24	35	66
22	122.5	107.6	134.1	121.4	26	31.4	42.8	7.1	150	360	90	3.0	21	35	66
23	149.9	134.4	125.3	136.5	25	30.0	45.1	6.3	200	420	120	2.7	23	70	127
24	152.1	132.0	118.5	134.2	25	32.8	42.5	6.2	190	340	110	2.5	25	80	148
25	138.7	115.0	128.3	127.3	27	29.7	43.2	6.5	140	330	140	2.6	25	60	110
26	128.6	121.1	137.9	129.2	27	30.8	42.6	6.6	90	280	120	2.4	21	75	136
27	133.7	113.9	134.0	127.2	27	28.4	44.3	7.1	190	290	80	2.7	19	60	115
28	88.9	104.1	129.3	107.4	25	28.8	46.6	7.1	290	320	70	3.7	17	35	61
29	133.8	106.5	109.2	116.5	27	31.7	41.6	6.9	110	170	80	3.2	23	40	70
30	133.2	118.3	118.8	123.4	26	31.5	42.2	6.8	100	220	100	3.1	19	35	61
31	124.9	111.0	132.8	122.9	25	31.6	43.0	6.7	90	220	110	3.0	19	40	77
32	131.1	133.3	132.8	132.4	27	30.5	42.8	6.7	60	170	100	2.9	19	60	115
33	114.2	119.3	123.6	119.0	26	33.3	40.7	6.9	80	190	100	3.3	20	45	86
34	110.8	120.6	116.6	116.0	24	31.5	44.1	7.1	130	260	90	2.9	21	60	106
35	105.0	103.2	120.0	109.4	27	33.9	39.4	6.8	120	260	110	3.4	18	35	61
36	101.7	118.5	110.8	110.3	29	33.4	37.7	6.9	320	350	140	2.9	23	45	83
37	137.9	97.8	119.2	118.3	27	32.4	41.0	6.8	430	400	130	2.9	19	75	116
38	119.9	117.3	116.1	117.8	25	32.6	42.0	6.9	240	270	120	3.3	23	35	63
39	120.9	131.7	135.5	129.4	25	33.9	41.3	7.1	300	290	100	3.6	21	40	70
40	106.6	116.7	129.2	117.5	25	33.2	41.8	6.4	260	370	120	3.5	26	35	62
41	123.6	116.3	125.0	121.6	25	30.8	43.9	6.9	240	320	110	3.6	23	50	89
42	144.0	98.1	132.2	124.8	24	33.1	42.6	7.2	110	260	90	3.0	21	80	142
43	123.4	95.0	127.8	115.4	25	31.8	43.0	6.8	210	330	100	2.7	21	35	61
44	130.4	132.5	124.6	129.2	26	30.0	44.0	6.5	190	390	130	3.4	20	70	122
45	133.7	115.9	134.6	128.1	25	31.5	44.0	6.3	270	510	140	3.3	23	35	63
46	125.4	109.6	135.5	123.5	26	28.3	46.2	6.4	310	460	130	2.9	27	35	63
47	142.7	133.4	125.1	133.7	25	31.3	44.1	6.9	400	470	130	2.9	28	35	63
48	111.6	131.9	136.2	126.6	25	33.4	41.8	7.3	290	390	90	2.8	25	40	68
49	119.2	123.3	131.4	124.6	24	33.1	42.6	7.2	300	330	80	3.0	21	35	63
ET	15.0	10.6	13.0	8.4	2.1	2.1	2.4	0.3	96.9	82.9	17.7	0.4	9.3	17.9	30.6
CV	11%	9%	11%	7%	8%	6%	6%	5%	45%	26%	17%	13%	37%	37%	35%
mini	88.9	95	81.5	107.3	18.3	28.3	37.7	6.0	60.0	170.0	70.0	2.4	17.0	35.0	61.0
maxi	161.4	136.3	147.5	140.8	28.9	37.0	50.0	7.3	430.0	510.0	140.0	4.5	76.0	100.0	189.0
moyenne	130.3	119.2	121.9	123.8	24.9	32.2	42.8	6.8	216.7	320.0	104.9	3.1	25.6	49.0	88.1

seuil (méthode allemande)

130 à 240 150 à 250 80 à 130
 C.comp export C.comp export C.comp export
 B.export+40 B.export+50 B.export+30
 D.export/2 D.export/2 D.export/2
 E.pas d'apport E.pas d'apport

point	rdt00	rdt01	rdt02	rdt3ans	argile	limon	sable	pH	P2O5 (ppm)	K2O (ppm)	Mg (ppm)	% M.O	Zn (ppm)	profondeur (cm)
1	137.3	81.0	120.5	113.0	17.9	29.2	52.9	6.2	150	200	80	1.9	6.7	70
2	137.5	89.6	124.4	117.2	18.8	30.3	50.9	5.3	130	240	70	2	5.4	85
3	131.7	78.7	125.2	111.9	18.8	34.1	47.1	5.8	100	200	80	1.9	5.3	120
4	152.4	92.7	119.9	121.7	16.4	31.4	52.2	6.4	190	230	70	1.9	5.6	120
5	137.9	89.4	127.0	118.1	16.2	28.9	54.9	6.8	220	200	80	1.9	5.6	110
6	135.8	95.6	110.5	114.0	17.2	40.6	42.2	7.2	290	180	60	1.8	10.8	120
7	129.7	78.5	107.8	105.4	18.1	43.4	38.5	6.7	140	100	100	1.9	13.1	110
8	130.0	78.9	120.1	109.7	16.8	39.2	44	6.2	130	110	100	1.7	12.2	120
9	135.8	79.0	128.1	114.3	16.4	33.9	49.7	6.3	160	130	80	1.9	6.2	120
10	121.7	101.2	126.5	116.4	17.8	34.9	47.3	6.2	160	170	80	1.9	5	120
11	140.8	83.0	124.4	116.1	19.2	38.8	42	6	120	170	90	2	6.7	80
12	139.8	81.5	118.7	113.3	19	35	46	6	130	180	90	1.9	6.2	120
13	142.4	88.4	114.4	115.1	18.5	31.6	49.9	6.4	180	190	70	2	5.9	120
14	139.4	97.2	133.9	123.5	15.1	26.7	58.2	6.2	170	200	70	1.8	6.2	60
15	130.5	92.8	122.2	115.2	14.9	30.2	54.9	5.8	130	180	60	2	12.1	120
16	143.4	97.5	112.0	117.6	18.8	34.1	47.1	6	130	220	70	2.1	7.5	50
17	133.7	101.0	134.6	123.1	16	30.2	53.8	6.1	150	230	50	1.7	6.8	120
18	121.2	111.4	112.9	115.2	17.3	35.8	46.9	6	140	210	80	1.9	7.1	120
19	130.0	90.0	133.4	117.8	19.2	39.8	41	6.2	120	170	80	2.1	10.1	120
20	152.6	80.4	132.3	121.8	19.5	36.7	43.8	6	130	220	80	2.1	6.9	120
21	131.5	94.9	122.6	116.4	19.5	36.5	44	6.4	160	190	70	1.8	6.2	120
22	125.4	67.6	122.5	105.2	18.3	42.2	39.5	6.5	100	200	100	1.9	11.8	120
23	134.9	72.8	112.8	106.9	18.8	38.4	42.8	6.5	100	130	90	1.8	10.1	120
24	141.1	93.2	120.9	118.4	17.9	38.8	43.3	6.5	150	150	80	2	9.1	120
25	117.3	90.9	125.0	111.1	18.9	34	47.1	6.5	170	180	70	1.8	6.8	55
26	135.3	85.2	125.8	115.4	18.5	33.2	48.3	6.5	200	210	70	2.1	6.9	50
27	126.0	101.8	125.7	117.9	16.6	27	56.4	6.6	340	160	60	1.9	20	80
28	137.7	90.9	120.2	116.3	17	30.2	52.8	6.4	170	160	70	1.9	7.7	120
29	103.9	91.6	120.2	105.2	16.5	24.6	58.9	6.8	210	160	60	1.7	6.4	120
ET	10.0	9.7	7.0	5.0	1.3	4.8	5.6	0.4	53.1	35.1	12.7	0.1	3.3	25.2
CV	7%	11%	6%	4%	7%	14%	12%	6%	33%	19%	17%	6%	40%	24%
min	103.9	67.6	107.8	105.2	14.9	24.6	38.5	5.3	100.0	100.0	50.0	1.7	5.0	50
max	152.6	111.4	134.6	123.5	19.5	43.4	58.9	7.2	340.0	240.0	100.0	2.1	20.0	120
moy	133.7	88.9	122.2	114.9	17.7	34.1	48.2	6.3	161.0	181.7	76.2	1.9	8.2	104.5

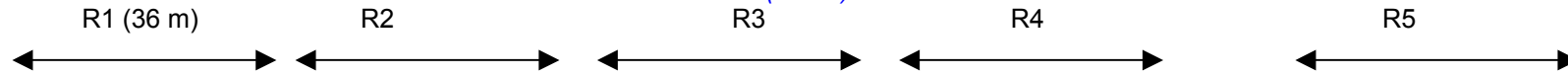
seuil (méthode allemande)

130 à 240 150 à 250 80 à 130
 C,comp expor C,comp expor C,comp export
 B,export+40 B,export+50 B,export+30
 D, export/2

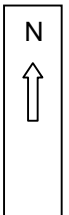
5 Versuchsplan Witternheim (2004)

Bestandesdichte (x 1000/ha)

Messwert mit N-Tester am 27.07.04 (Stadium der weibl. Blüte) und % vom maximalen Messwert (= 867)



	R1 (36 m)			R2			R3			R4			R5				
	X (12 m)	X-50	X-50	X	X-50	X-50	X	X-50	X-50	X	X-50	X-50	T0 (6 m)	X	X-50	X-50	B
	5.1.1	5.1.2											50 kg				
	80	74	79	83	78	61	79	67	77	89	85	80	74	70	70	77	
	828	822	796	841	823	811	805	828	850	847	762	802	696	810	811	804	
	95.5%	94.8%	91.8%	97%	94.9%	93.5%	92.8%	95.5%	98%	97.7%	87.9%	92.5%	80.3%	93.4%	93.5%	92.7%	
	X	X-50	X	X	X-50	X	X	X-50	X	X	X-50	X	T0	X	X-50	X	B
													8 rgs				31 rgs
	71	74	77	75	79	70	79	73	75	69	80	74	71	79	78	72	
	748	709	792	741	778	727	801	744	855	801	792	823	739	867	796	835	
	86.3%	81.8%	91.3%	85.5%	89.7%	83.9%	92.4%	85.8%	98.6%	92.4%	91.3%	94.9%	85.2%	100%	91.8%	96.3%	
	X	X-50	X-50	X	X-50	X-50	X	X-50	X-50	X	X-50	X-50	T0	X	X-50	X-50	B
	74	73	81	77	81	78	78	77	74	77	76	74	77	75	78	74	
	780	735	816	756	802	798	801	787	765	807	771	727	685	837	808	801	
	90%	84.8%	94.1%	87.2%	92.5%	92%	92.4%	90.8%	88.2%	93.1%	88.9%	83.9%	79%	96.5%	93.2%	92.4%	
Ø Ertrag	115.7	110.7	128.8	118	130	112.9	120.1	115.6	127	130	130.2	116.6	104.5	115.7	102.4	137.5	124.2
Stdabw.	11.4	10.9	13.8	8.4	10.4	10.7	9.0	10.0	12.2	10.2	8.5	12.1	7.9	6.0	9.4	10.9	12.5



C
H
E
M
I
N

Harnstoffdüngung am 08.06.04

B: Rand

N_{min} nach der Ernte wurde nicht gemessen

R 1 - R 5 = Wiederholungen

6 Versuchsplan Ebersheim (2004)

Bestandesdichte (x 1000/ha)

Messwert mit N-Tester am 27.07.04 (Stadium der weibl. Blüte) und % vom maximalen Messwert (= 789)

R1 (36m)			Ohne Ertragsermittlung					
X-50 (12 m)	X	X+30	(X)	PI	T0 (6 m)	X-50	X	X+30
130 kg	180kg	210 kg			30 kg			
74	74	85	(75)		81	75	81	81
703 89.1%	772 97.8%	789 100%	(787) (99.7%)		673 85.3%	750 95.1%	721 91.4%	715 90.6%
Ertrag nicht gemessen	133,5 dt/ha	136,5 dt/ha	Ertrag nicht gemessen		121,1 dt/ha	104,2 dt/ha	146 dt/ha	Ertrag nicht gemessen
89 kg/ha	73 kg/ha	172 kg/ha			44 kg/ha			

Harnstoffdüngung am 08.06.04

Ertrag

PI = Regnerspur

N_{min} nach der Ernte: Mittel von 2 Wiederholungen 0-90 cm – Probenahme am 12.10.04

6.1.1.1 Statistische Analyse der Ergebnisse 2003

Witternheim

Traitement	rdt moyen à 15%
densite 1	94.23
densite 2	99.68
densite 3	97.25
moy	97.1
ET	2.73
CV	3%

Traitement	rdt moyen à 15%
R 1	93.76
R 2	100.41
R 3	97.24
moy	97.1
ET	3.33
CV	3%

Traitement	rdt moyen à 15%
Rep 1, D3	92.22
Rep 2, D3	106.93
moy	99.6
ET	10.40
CV	10%

Traitement	rdt moyen à 15%
Rep 1, D1	93.69
Rep 2, D1	94.47
Rep 3, D1	94.26
moy	94.1
ET	0.41
CV	0.4%

Traitement	rdt moyen à 15%
Rep 1, D2	95.33
Rep 2, D2	103.29
Rep 3, D2	100.36
moy	99.7
ET	4.02
CV	4%

Ebersheim

Traitement	rdt moyen à 15%
densite 1	120.53
densite 2	121.95
densite 3	122.00
moy	121.5
ET	0.84
CV	1%

Traitement	rdt moyen à 15%
R 2	127.65
R 3	124.54
R 4	124.28
R 5	126.90
R 6	103.25
moy	121.3
ET	10.21
CV	8%

6.1.1.1.2 Statistische Analyse der Ergebnisse 2004

Witternheim

Traitement	rdt moyen à 15 %
Témoin	104.5
Modulé	124.6
X	119.4
X-50	117.5
moy	116.5
ET	8.54
CV	7%

Traitement	rdt moyen à 15 %
Modulé	124.6
X	119.4
X-50	117.5
moy	120.5
ET	3.68
CV	3%

Traitement	rdt moyen à 15 %
Rep1	118.5
Rep2	125.6
Rep3	120.9
Rep4	120.3
Rep5	118.4
moy	120.7
ET	2.93
CV	2%

Traitement	rdt moyen à 15 %
Rep1 - X	115.7
Rep2 - X	130.0
Rep3 - X	120.1
Rep4 - X	118.0
Rep5 - X	115.7
moy	119.9
ET	5.92
CV	5%

Traitement	rdt moyen à 15 %
Rep1 - Modulé	137.5
Rep2 - Modulé	116.6
Rep3 - Modulé	127.0
Rep4 - Modulé	112.9
Rep5 - Modulé	128.8
moy	124.5
ET	9.89
CV	8%

Traitement	rdt moyen à 15 %
Rep1 - X-50	102.4
Rep2 - X-50	130.2
Rep3 - X-50	115.6
Rep4 - X-50	130.0
Rep5 - X-50	110.7
moy	117.8
ET	12.21
CV	10%

Ebersheim

Traitement	rdt moyen à 15 %
Témoin	121.1
X	139.5
X+30	136.5
X-50	104.2
moy	125.3
ET	16.23
CV	13%

ITADA Arbeitsprogramm III: Projekt Nr.2

Fortschrittliche Technologien
für die Modulation des Einsatzes von Betriebsmitteln
auf Schlagebene und im Gewinn

Fragebogen zum Einsatz von Präzisionslandwirtschaft

Erklärung:

Die mit dem vorliegenden Fragebogen erfassten Daten sind eingebunden in ein Forschungsprojekt zum Thema „Präzisionslandwirtschaft“.

Das Projekt 02 des Grenzüberschreitenden Instituts für umweltgerechte rentable Landbewirtschaftung **ITADA** wird finanziert aus Mitteln der EU (EFRE - INTERREG III Oberrhein Mitte-Süd), des Landes Baden-Württemberg (Ministerium für Ernährung und Ländlichen Raum) und des französischen Staates (Ministerium für Landwirtschaft).

An der Studie beteiligt sind:

- **Arvalis - Institut du végétal, Colmar**
- **IfuL:** Institut für umweltgerechte Landbewirtschaftung Müllheim
- **gisgeo GmbH&Co.KG**, Freiburg

Der vorliegende Fragebogen dient im Rahmen des Projektes der Erfassung des Informationsstandes der Landwirte zum Thema Präzisionslandwirtschaft in Südbaden und im Elsaß. Ergänzende Erhebungen werden durchgeführt in Oberschwaben (Riedhausen und Ulm/Langenau).

Der Fragebogen soll anonym abgegeben werden.

Angaben insbesondere zu Betrieb und Betriebsleiter dürfen gerne weggelassen werden, wenn befürchtet wird, dass dadurch die Anonymität nicht gewahrt bleibt.

Es handelt sich um...

- einen landwirtschaftlichen Betrieb, wenn ja: sind Sie...
- landwirtschaftlicher Betriebsleiter
 - landwirtschaftlicher Lohnunternehmer?
 - Fachschüler für Landwirtschaft

(weiter mit
Themenkomplex 1,
(S.2)

- andere: welche?

(weiter mit Themenkomplex 2, S. 6)

Themenkomplex 1: Fragen zur betrieblichen Situation

Beim vorliegenden Betrieb handelt sich um einen

- Vollerwerbsbetrieb (landwirtschaftliches Einkommen des Betriebsinhaberehepaares > 90% des Einkommens)
- Haupterwerbsbetrieb (landwirtschaftliches Einkommen des Betriebsinhaberehepaares zwischen 50% und 90% des Einkommens)
- Nebenerwerbsbetrieb (landwirtschaftliches Einkommen des Betriebsinhaberehepaares < 50% des Einkommens)

Beim Betriebsleiter besteht eine außerlandwirtschaftliche Tätigkeit als:

Fragen zur Anzahl der landwirtschaftlichen Arbeitskräfte:

[Anzahl]

Wie groß ist der durchschnittliche Arbeitskräftebesatz? [Anzahl AK]

→ davon ständige Arbeitskräfte [Anzahl AK]:

→ davon nicht ständige Arbeitskräfte (Saisonarbeitskräfte) [Anzahl Tage]:

Der Betrieb arbeitet

Konventionell

ökologisch

Es besteht Tierhaltung

Ja

Anzahl GVE: _____

Tierarten: _____

Nein _____

✓	Die Betriebsfläche teilt sich auf in...	ca. [ha]
	...Ackerfläche (mit Stilllegung) (ca. [ha]):	
	...Grünland (Dauer und Wechselgrünland) (ca. [ha]):	
	...Sonderkultur (ca. [ha]):	
	Betriebsfläche insgesamt etwa (ca. [ha])	Summe:
	davon Zupachtfläche (ca. [ha]):	
	Auf wieviele Schläge verteilt sich die Ackerfläche? [Anzahl]	
	Durchschnittliche Schlaggröße (ca. [ha]):	

[Anzahl]	Auf wie viele Schläge ist Ihre landwirtschaftliche Nutzfläche verteilt und wie gross sind diese?	macht zusammen [ha]
	Schläge unter 1 ha; entsprechen zusammen ca:	[ha]
	Schläge mit 1 ha bis 3 ha; entsprechen zusammen ca:	[ha]
	Schläge mit 3 ha bis 10 ha; entsprechen zusammen ca:	[ha]
	Schläge über 10 ha ; entsprechen zusammen ca:	[ha]
	_____ (Summe)	(Summe) _____ [ha]

Wieviel Bodenpunkte haben Ihre Ackerflächen im Mittel, bzw. in welcher Spannweite?

Mittelwert: _____

Spannweite: von _____ bis _____

Fragen zur Bodenbeprobung:

	Häufigkeit	In welchen Kulturen?
Grundbodenuntersuchung:	Alle Jahre	
Nmin-Beprobung	Alle Jahre	

✓	Welche Ackerkulturen werden angebaut?	ca. [ha]
	Getreide ohne Mais	
	Körnermais	
	Futterpflanzen als Hauptkultur incl. Silomais	
	Hülsenfrüchte	
	Ölfrüchte	
	Sonderkulturen, welche:	
	Stilllegung	
	Sonstige	
Zwischenfruchtanbau? <input type="checkbox"/> Ja <input type="checkbox"/> Nein wenn ja: zwischen welchen Kulturen?		

✓	Es gibt...	ca. [ha]	in welchen Kulturen
	...bewässerte Flächen:		
	...drainierte Flächen:		

Fragen zur Homogenität der Schläge	Ja	bedingt	Nein
Würden Sie sagen, dass die von Ihnen bewirtschafteten Schläge in sich von einheitlicher Qualität sind?			
Sind Sie der Meinung, dass Sie die wesentlichen Unterschiede innerhalb einzelner Schläge aus Ihrer Erfahrung heraus kennen?			
Wenn ja: Denken Sie, dass Sie relevante Unterschiede innerhalb der Schläge angemessen berücksichtigen?			
Denken Sie, dass mehr Informationen über die Unterschiede			

innerhalb der Schläge notwendig sind?				
Wie werden folgende Arbeiten auf Ihrem Betrieb durchgeführt?				
Arbeits erledigung:	mit eigenen Maschinen	überbetrieblich	im Lohn	nicht durchgeführt
Bodenbearbeitung				
Aussaat				
Düngung/Kalkung				
Pflanzenschutz				
Ernte Mähdrusch				
Ernte Abtransport				
Silage				
Sonstiges: _____				

Wer berät Sie fachlich im Bereich Pflanzenbau? (Mehrfachnennungen möglich)	
<input type="checkbox"/>	Basisberatung (Landwirtschaftsamt)
<input type="checkbox"/>	Spezialberatung (Beratungsdienst)
<input type="checkbox"/>	Genossenschaft/Landhandel
<input type="checkbox"/>	Industrie
<input type="checkbox"/>	Sonstige:

Fragen zur Düngung	Ja	bedingt	Nein
Glauben Sie, dass Sie aufgrund Ihrer Erfahrung die Düngemenge auch selbst richtig einschätzen können?			
Denken Sie, dass Sie angepasst düngen?			
Rechnen Sie damit, dass Sie im Überschuss düngen?			
Befürchten Sie, dass Sie zu wenig düngen?			
Werden Empfehlungen zur Düngung herangezogen?			
Welche Empfehlungen verwenden Sie?			
Erscheinen Ihnen diese Empfehlungen vertrauenswürdig?			
Hierzu eine Bemerkung?			
Werden Empfehlungen zur Düngung manchmal umgesetzt?			
Werden Empfehlungen zur Düngung regelmäßig umgesetzt?			

Themenkomplex 2: Fragen zum EDV Einsatz im Betrieb

Fragen zur Verwendung von PC's:	Ja	bedingt	Nein
Haben Sie einen PC? <i>(wenn nein, weiter mit dem nächsten Fragenblock)</i>		X	(unten weiter)
↓			
Wenn ja: seit wie vielen Jahren?	seit _____ Jahren		
	Ja	bedingt	Nein
Hat Ihr PC Internetanschluss?		X	
Ist er Ihnen eine Erleichterung?			
Haben Sie ein EDV Ausbildung? (Sie selbst oder derjenige, der mit dem PC arbeitet)			
Fühlen Sie sich im Umgang mit Ihrem PC sicher? (Sie selbst oder derjenige, der mit dem PC arbeitet)			
- in einer Textverarbeitung?			
- in einer Tabellenkalkulation?			
- in einem Programm zur Buchführung?			
- in einem landwirtschaftlichen Programm?			
Beherrschen Sie einfache Installationsarbeiten wie z.B. den Anschluss eines Druckers?			
Haben Sie schon einmal erfolgreich ein Programm installiert?			
Haben Sie schon einmal ein Netzwerk eingerichtet?			
Macht Ihnen der Umgang mit dem PC Spass?			

Haben Sie auf Ihren landwirtschaftlichen Maschinen einen **Bordcomputer**? Wenn ja, um was handelt es sich?

 Ja

 Nein

Wie kommen Sie damit zurecht?

Fragen zum Begriff GPS	Ja	Bedingt	Nein
Haben Sie schon einmal von GPS gehört? (Globales Positionierungssystem per Satellit)		X	
Könnten Sie GPS mit einfachen Worten beschreiben?			

Hatten Sie schon einmal mit GPS zu tun?	Ja	Nein	Wenn ja:	
			Seit wann etwa?	Immer wieder
in Verbindung mit einem Navigationssystem für KFZ?				
im Hobby, z.B. Segelfliegen, Drachenfliegen, Segeln, ..				
in Ihrem eigenen Betrieb?				
bei der Ertragskartierung?				
bei der Flächenvermessung?				
bei der Bodenprobenahme?				
bei der Nährstoffkartierung?				
bei der teilflächenspezifischen Aussaat?				
bei der teilflächenspezifischen Grunddüngung?				
bei der teilflächenspezifischen Stickstoffdüngung?				
andere Anwendungen?				

Haben Sie auf Ihren landwirtschaftlichen Maschinen **GPS**?
Wenn ja, um was handelt es sich?

Ja

Nein

Wie kommen Sie damit zurecht?

Themenkomplex 3: Fragen zu Präzisionslandwirtschaft und teilflächenspezifischer Bewirtschaftung

Wie schätzen Sie Ihren Kenntnisstand zu Präzisionslandwirtschaft ein?

- Ich habe noch nie davon gehört! *(Im Zweifelsfall, weiter auf S. 14!)*
- gering
- mittelmäßig
- hoch

Könnten Sie mit einfachen Worten folgende Begriffe erklären?	Ja	bedingt	Nein
- Präzisionslandwirtschaft			
- „Teilflächenspezifische Bewirtschaftung“			
- „Modulation von Betriebsmitteln“			
- Ertragssensor			
- Bestandssensor (z.B.: Hydro-N-Sensor, Cropmeter)			
- GIS			
- Fernerkundung			

Macht der Einsatz von Präzisionslandwirtschaft Ihrer Meinung nach Sinn?	Ja	bedingt	Nein	weiß nicht
- zur teilflächenspezifischen Bewirtschaftung				
- zur Ertragskartierung				
- zur Grunddüngung				
- zur N-Düngung				
- zur Unkrautbekämpfung				
- als Lenkhilfe zur Spurhaltung				

Möchten Sie hierzu etwas kommentieren?

Fragen über die grundsätzliche Bereitschaft zur Umsetzung von Präzisionslandwirtschaft:	Ja	Bedingt	Nein	weiß nicht
Könnten Sie sich vorstellen, Präzisionslandwirtschaft einzusetzen, wenn Sie entsprechend betreut würden und wenn es kostenneutral wäre?				
Glauben Sie, dass der Einsatz von Präzisionslandwirtschaft <i>ökonomisch</i> eine Hilfe sein kann?				
Glauben Sie, dass der Einsatz von Präzisionslandwirtschaft <i>ökologisch</i> eine Hilfe sein kann?				
Sie sehen im Einsatz von Präzisionslandwirtschaft grundsätzlich ein großes Potential?				
Sie sehen im Einsatz von Präzisionslandwirtschaft ein großes Potential, können sich aber nicht vorstellen, wie dieses in ihrem Betrieb umgesetzt werden könnte?				
Sie halten von Präzisionslandwirtschaft überhaupt nichts?				
Worin sehen Sie gegebenenfalls die Haupthindernisgründe zum Einsatz von Präzisionslandwirtschaft?				
Was müsste sich ändern, damit Präzisionslandwirtschaft in ihrem Betrieb eingesetzt werden könnte/sollte?				

→

Seite 10 nur für Landwirte!

→

Andere gleich weiter mit Seite 11

→ **diese Seite nur für Landwirte!**

Könnten Sie sich vorstellen, dass Ihre Flächen im Sinne einer Gewannebewirtschaftung gemeinsam mit anderen Flächen angepasst gedüngt werden, wenn Ihnen dadurch kein weiterer Aufwand entsteht?	Ja	Bedingt	Nein	weiß nicht
Begründung (bei Bedarf):				

Fragen nach der Investitionsbereitschaft für den Einsatz Präzisionslandwirtschaft (Mehrfachnennungen möglich)

Sie könnten sich für den Einsatz von Präzisionslandwirtschaft...

- keinerlei eigene Investitionen vorstellen
- die Nutzung eines Maschinenringes oder Lohnunternehmers vorstellen
- eigene Investitionen zusammen mit Berufskollegen (Maschinengemeinschaft) vorstellen
- Investitionen in eigene Maschinen vorstellen

Fragen nach der Bereitschaft zur Bezahlung von Mehraufwendungen für Präzisionslandwirtschaft anhand von 2 Beispielen:

Wieviel an Mehrausgaben wären Sie bereit zu zahlen, ...

- A** ... für die Durchführung einer Ertragskartierung
(verwendbar - für eine Gewannebewirtschaftung oder auch
- zur Weiterverarbeitung für die Erstellung einer teilflächenspezifischen Düngeempfehlung)
- B** für die Durchführung einer teilflächenspezifischen Düngung

Mehrausgaben für:	A	B
kann ich mir überhaupt nicht vorstellen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
find ich interessant, bin aber nicht bereit, zu zahlen:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
finde ich interessant, weiß keinen Betrag	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
bis ca. 10 Euro/ha:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ca. 10 – 20 Euro/ha:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ca. 20 – 40 Euro/ha:	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Würden Sie der Verwaltung Ihrer Nährstoff- und Ertragskartierungen in einer zentralen Datenservicestation zustimmen?

- Ja, würde ich begrüßen, wegen unternehmensunabhängiger Datenhaltung
- Eventuell
- Nein

Wenn Sie schon einmal mit Präzisionslandwirtschaft zu tun hatten...	Ja	Nein
Gab es Probleme bei der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung?		
Wenn Ja: Womit [Produkt] und wann [Jahr]?	↓	
	Ja	Nein
... weil die Software nicht ausgereift ist?		
... bei der Vorbereitung einer Applikationskarte		
... wegen fehlenden teilflächenspezifischen Informationen?		
... weil es Probleme mit dem Empfang des DGPS Korrektursignales gab?		
... wegen Inkompatibilität von Hard- und Software?		
... wegen Wackelkontakten oder Steckverbindungen?		
... beim Nachrüsten von Maschinen?		
... bei der Bedienung der Hardware?		
... wegen örtlichen Gegebenheiten?		
Sonstiges:		

Wie hoch schätzen Sie den ökonomischen Nutzen von Präzisionslandwirtschaft ein?
_____ Euro/ha für _____ [Maßnahme] in _____ [Kultur]
_____ Euro/ha für _____ [Maßnahme] in _____ [Kultur]
_____ Euro/ha für _____ [Maßnahme] in _____ [Kultur]
_____ Euro/ha für _____ [Maßnahme] in _____ [Kultur]

Möchten Sie aus Ihrer Erfahrung heraus etwas kommentieren?

Was spricht Ihrer Meinung nach für oder gegen eine teilflächenspezifische Bewirtschaftung auf Ihrem Betrieb?

Vorteile:

Nachteile:

Themenkomplex 4: Fragen zum Betriebsleiter

Alter des Betriebsleiters	Jahre
Wie alt sind Sie?	

Die Berufsausbildung des Betriebsleiters ist

- landwirtschaftlich
 nicht landwirtschaftlich

und zwar als:

→ **Nur bei landwirtschaftlichem Betrieb:**

Hofnachfolge	Ja	Nein	Nicht geklärt
Ist die Hofnachfolge gesichert?			

Wie schätzen Sie die wirtschaftliche Zukunft Ihres Betriebes ein?

- kann grob eingeschätzt werden: gut mittelmäßig schlecht
- kaum einschätzbar: unsicher

Wie schätzen Sie Ihren Betrieb aus ökologischer Sicht ein?

- gut mittelmäßig schlecht