

6.3 Prinzipien und Konzepte zur Durchführung von betriebseigenen Experimenten zur Informationsgewinnung bei Precision Farming im Einzelbetrieb (TP 11)

Principles and concepts for the execution from experiments to the acquisition of information with Precision Farming on individual farms

Leithold, P.; Traphan, K.

6.3.1 Extended Summary

Successful site specific farming is based on the knowledge about the correct agronomical variation of nutrients, chemicals, seeds and others. This variation is determined by the variability of soil, weather, crop management and biomass.

In the last five years scientists, consultants and farmers intensified their activities developing specialized rules and algorithms for site specific farming. In order to estimate the benefit and excellence it is necessary to test and valuate proposed methods. The results of examinations have also to show ways for improvement of applied algorithms. Therefore an agricultural experimentation for precision farming is needed and has to be developed.

OFR-Experiments (on farm research) represent an extension and completion to the classical field trial. The differences consist particularly in the necessity to include the heterogeneity of crop growth within the field and to operate these experiments with farmer's equipment. This heterogeneity is at least expressed in yield patterns.

A first proposal how to execute precision farming trials is based on the analysis of multi year yield maps and the analysis from well documented trials on large fields (20-150 ha). The experiments were carried out on practical fields.

The existing naturally within-field variance of yield is much greater than the expected effect of varying treatments. This conflict can be overcome by using large data sets. Due to the requirement of large data sets, the fields need to have a certain size depending upon the factors tested.

Together with the subproject 9 two on farm experiments were planned and carried out in 2005. The data sets were analyzed. The evaluation of the large data sets was realized with help of geographic information systems (GIS), EXCEL and WINSTAT.

A procedure of evaluation steps was proposed and used with one of the experiments of the joint project. Based on a analysis of variance the influence of the tested factor was described. The yields for the different factors were calculated with the view of the naturally heterogeneity of the field. All results were checked with a F-test.

The experimental design, monitoring and evaluation should be planned by trained engineers, e.g. from consultants or contractors. The treatments within the experiment can be realized by the farmers with their own technology. Thus the experiments are relatively economical and adapted to the farmers requirements.

6.3.2 Problemstellung

a) aus fachwissenschaftlicher Sicht

Die Einführung von Precision Farming Technologien in landwirtschaftliche Betriebe war bis Ende der 90er Jahre stark geprägt von der Auseinandersetzung mit der GPS-Technik und der Entwicklung der technischen Steuerung von Geräten. Seit Ende der neunziger Jahre rücken die pflanzenbaulichen Gesichtspunkte stärker in den Vordergrund. Dies führte dazu, dass die Anstrengungen zur Erarbeitung von Regeln, Algorithmen und Zusammenhängen des teilflächenspezifischen Betriebsmitteleinsatzes verstärkt wurden. Um den Nutzen oder auch die Vorzüglichkeit der neuartigen Verfahren zu beurteilen, benötigt man möglichst gut statistisch gesicherte Informationen über die Einsparung von Betriebsmitteln, Ertragssteigerungen und Qualitätsverbesserungen. Kurz gesagt: Ein Versuchswesen speziell für Precision Farming ist notwendig. Mit diesem Versuchswesen (im folgenden On Farm Research, kurz OFR) müssen bekannte bzw. vorgeschlagene Verfahren der Teilflächenbewirtschaftung unter verschiedensten Bedingungen getestet werden. Die Ergebnisse sollen dann zu einer Verbesserung der Algorithmen bzw. deren Parametrisierung beitragen.

Die Methoden des klassischen Feldversuchswesens sind nicht geeignet um Fragestellungen aus dem Precision Farming zu beantworten. Dieses Versuchswesen mit beschreibender Statistik und biometrischen Verfahren hat als Grundprinzip die Reduzierung der Restvarianzen. Aus diesem Grunde und auch aus wirtschaftlichen Gesichtspunkten wird durch eine entsprechende Verkleinerung der Versuchsfläche die Hauptvarianz im Pflanzenbau, nämlich die unterschiedlichen Standort- und Wachstumsbedingungen, möglichst weit zurückgedrängt. Precision Farming berücksichtigt allerdings genau diese Heterogenität. Precision Farming ist das richtige pflanzenbauliche Reagieren auf Heterogenität bei der Biomasse- und Ertragsbildung. Also wird der eigentliche Arbeitsgegenstand beim derzeit bekannten Versuchswesen de facto ausgegrenzt. Aus diesem Grunde müssen diese PF-Fragestellungen in Versuchsanlagen überprüft werden, die eine gewisse Mindest-Heterogenität des steuernden Faktors (z.B. Biomasse, Bestandesdichte, Bekämpfungsrichtwert, Schadschwelle, Nährstoffbedarf) aufweisen.

b) aus Sicht des Gesamtprojektes

Im Projektbereich 4 wird seitens der einzelnen Teilprojekte an der Charakterisierung von Pflanzenbeständen und daraus abgeleitet an Methoden zur teilflächenspezifischen Betriebsmittelapplikation gearbeitet. Im Ergebnis dessen müssen sowohl bisher bekannte, in der Praxis eingesetzte Methoden zur teilflächenspezifischen Applikation hinterfragt bzw. beurteilt als auch in den TP neu vorgeschlagene Verfahren getestet werden. Das Ergebnis dieser Prüfung trägt zum erweiterten Verständnis der Verfahren unter Praxisbedingungen bei bzw. liefert Anhaltspunkte zu einer gezielten und möglicherweise verbesserten Parametrisierung der Algorithmen.

Das TP 11 unterstützt die anderen TP (speziell TP 9, 10 und später auch 12) bei der Versuchsanlage und Versuchsauswertung.

6.3.3 Bearbeitungsgegenstände und verwendete Methoden

I) In der ersten Phase des Projektes wurden alle bisher in Deutschland bekannten bzw. veröffentlichten Versuchsanstellungen zur Beurteilung von teilflächenspezifischen Applikationen zusammengetragen.

Als Auswahlkriterium diene dabei die vollständige und geocodierte Vorlage aller Applikations- und Ertragsdaten bzw. sonstige Daten zur spezifischen Beurteilung (z.B. Protein, Lager, technologische Eignung für den Mähdrusch). Diese Versuche wurden hinsichtlich der Versuchsfrage, Versuchsanlage (Versuchsglieder, Wiederholungen, geometrische bzw. geografische Lage innerhalb des Gesamtfeldes), Versuchsdurchführung, Datendichte, Informationsschichten (Art), Einfluss des Steuerungsmerkmals und sonstig erfasster Größen auf den Ertrag o.ä. betrachtet.

In allen weiteren Ausführungen werden wir uns auf den Ertrag, als eines der wichtigsten Zielkriterien, konzentrieren.

II) Für das Verständnis und die Planung von Versuchsanstellungen ist die Kenntnis der natürlich vorkommenden Heterogenität des Ertrages entscheidend. Aus diesem Anlass wurde versucht, von Praxisbetrieben mehrjährige Datensätze (3 bis 6 jährig) von Ertragskartierungen identischer Felder auszuwerten. Insgesamt wurden 6 Felder von verschiedenen Betrieben aus unterschiedlichen Regionen berücksichtigt. Dabei wurden mit speziellen Methoden (siehe unten) die Variabilität der Ertragsmuster zwischen den Jahren und innerhalb der Teilflächen herausgearbeitet. Im Ergebnis dessen werden erste verbindliche Regeln für die praktische Anlage von OFR-Versuchen vorgeschlagen.

III) Seit Januar 2006 liegen aus dem TP 9 vollständige Datensätze von OFR-Versuchen vor. Diese wurden versucht auszuwerten. Dabei wurden mithilfe von GIS- und Statistikwerkzeugen die Datensätze bearbeitet. Dazu gehört das:

- „Cleaning“ (Selektion und Verwerfen von fehlerhaften Daten und Regionen),
- Prüfung auf Abhängigkeiten (Korrelation, Reduzierung von Varianzen, mittlere Quadratsummen)
- Aggregation der Datensätze entsprechend der Versuchsglieder und des größten natürlichen (messbaren) Einflussfaktors
- Ergebnisdarstellung und erste statische Absicherungen.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen der Punkte I, II, und auch III werden Vorschläge für eine Methodik zur Versuchsanlage, Durchführung und Auswertung erarbeitet.

6.3.4 Ergebnisse aus 2005

Auswertung von bisherigen OFR-Versuchen

In den letzten Jahren wurden auf den europäischen und auch auf amerikanischen Precision Farming Konferenzen Ergebnisse der teilflächenspezifischen Bewirtschaftung vorgestellt. In den experimentellen Versuchen ist man bis heute nicht über die Methoden der Stichprobenerhebung (Probeschnitte, parzellierter Kerndrusch, Kerndruschparzellen) hinausgegangen. Um sowohl eine entsprechende Repräsentativität der Standortheterogenität und der Ertragsvariabilität zu erreichen, als auch um das Ergebnis statistisch sichern zu können, wäre eine hohe Anzahl von Wiederholungen nötig. Diese konnte in fast allen Versuchen aus Kostengründen nicht realisiert werden. Deswegen findet man kaum oder meistens nur unvollständige Angaben von statistischen Maßzahlen bezüglich Signifikanz bzw. Gültigkeit der Aussagen.

OFR im o.g. Sinne wurde erstmals 1999/2000 von der Fa. Agri Con angewendet (WERNER 2004) und seitdem schrittweise verbessert und weiter entwickelt. Inzwischen liegen ca. 140 großflächige Feldversuche vor, die nach dem Prinzip von OFR angelegt und ausgewertet wurden (AGRI CON 2004/2005, FEIFFER et al. 2005, RECKLEBEN 2004, TRAPHAN 2005). Themenschwerpunkte stellten die differenzierte N-Düngung in Getreide und Raps, die differenzierte Grunddüngung und der differenzierte Einsatz von Halmstabilisatoren und Fungiziden dar. Geprüft wurden die Wirkungen auf Ertrag, Effizienz des Betriebsmittels, Qualität des Erntegutes (Rohprotein/Öl), Mähdruschung und Lager.

Folgende Kernaussagen können getroffen werden:

- Es treten deutliche Jahreseffekte auf (z.B. 1 % bis 6 % Mehrertrag) => mehrjährige Versuchsserien planen
- Es sind deutliche Unterschiede zwischen den Versuchsfeldern erkennbar (Größenordnung 1 bis 18 %), hier spiegeln sich die unterschiedlichen natürlichen Standortbedingungen und das technologische bzw. allgemeine agronomische Niveau des Betriebes wieder => mehrere Felder auf verschiedenen Betrieben in mehreren Regionen mit der gleichen Versuchsfrage planen.
- Eine geringe Anzahl von Wiederholungen innerhalb eines Feldes führt oftmals zur Überlagerung des Ertragseffektes der Einzelmaßnahme (Steuerungsgröße) durch die allgemeine (immanente) Ertragsvariabilität (Standardabweichung (STABW) zwischen 8 – 25 dt/ha) à mindestens 3, besser 4 oder mehr Wiederholungen je Feld planen.
- Etwa 20-25 % aller angelegten Versuche konnte aufgrund von Fehlern bei der Durchführung nicht ausgewertet werden; dazu gehören z.B. Falschapplikationen, Verwechslungen der Versuchsglieder, falsche Bedienung der Ausbringergeräte => nur Versuche auswerten in denen alle (wirklich alle!, auch die konstanten Applikationen!) Maßnahmen digital und geocodiert vorliegen => nur elektronisch regelbare Applikationstechnik einsetzen mit echten „as-applied“ Sensoren (derzeit verfügbare Spritzen haben meist keinen echten as-applied Sensor bzw. Dokumentation).
- In 50 bis 70 % aller Versuche gab es einen Einfluss der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit auf den Ertrag (Bestimmtheitsmaß zwischen 0,2 bis 0,6 bzw. -0,2 bis -0,4) => generelle Berücksichtigung von Standortvariabilität bei der Versuchsplanung und -auswertung
- Sogenannte Ertragsmuster können sich (müssen nicht) durchaus im Einzeljahr sehr deutlich in allen Versuchsgliedern ausprägen => berücksichtigen bei der Versuchsplanung (gleiche Anteile hoher, mittlerer und niedriger Ertragszonen).
- Die Handhabung der Ertragskartierung stellt hohe Anforderungen an die Versuchsdurchführenden. Fehler treten vor allem auf, wenn mehrere Mähdrescher den Versuch beernten (unterschiedliche Skalierung). Die Aufzeichnung von Feuchtedaten und deren Berücksichtigung ist unabdingbar.

Variabilität des Ertrages

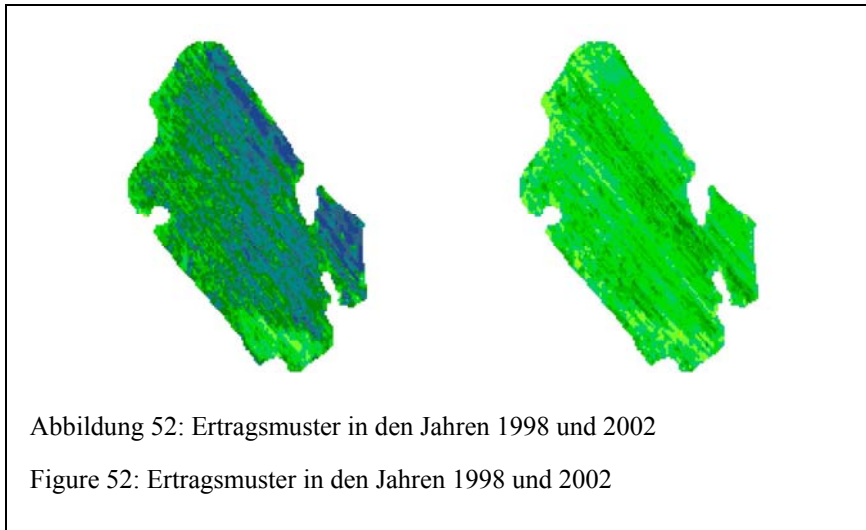
Die Heterogenität des Ertrages ist letztendlich das Ergebnis der Heterogenität aller steuer- und nichtsteuerbaren Einflussfaktoren. Mehrjährige Untersuchungen auf nicht mit PF-Maßnahmen beeinflussten Feldern weisen im Durchschnitt eine STABW des Ertrages von 8-12 dt/ha (Min. 4 dt/ha; Max. 28 dt/ha) auf (LEITHOLD o.J.a, LEITHOLD o.J.b). Die nachzuweisenden Effekte liegen erwartungsgemäß oftmals im Bereich von nur 2-5 dt/ha. Diesen Nachweis innerhalb der hohen natürlichen STABW des Ertrages zu erbringen erscheint nicht einfach bzw. ist möglicherweise mit

hohen Kosten verbunden. Der Ausweg besteht hier in einer möglichst großen Anzahl von Beobachtungen (Stichproben). Diese müssen allerdings kostengünstig erzeugbar sein.

Man muss also davon ausgehen, dass andere Einflussfaktoren außerhalb der Versuchsfrage einen hohen Einfluss auf die Ertragsvariabilität ausüben und möglicherweise den gesuchten Effekt überdecken. Das können Faktoren sein, die prinzipiell steuerbar, aber im Versuch nicht gesteuert werden können (z.B. unterschiedlicher N-Bedarf, unterschiedlicher Krankheitsbefall). Auf der anderen Seite sind es aber auch ertragsbildende Faktoren, die sich einem direkten Zugriff entziehen, also kurzfristig nicht steuerbar sind (z.B. Bodenart, Wasserverfügbarkeit, org. Bodensubstanz u.ä.).

Als problematisch erweist sich die für alle Versuchsglieder angemessene Berücksichtigung der Variabilität des Ertrages innerhalb eines Versuchsschlages (sogenanntes Ertragsmuster) und/oder die Berücksichtigung der natürlichen Standortheterogenität. Diese beiden Merkmale können im Einzeljahr unabhängig voneinander, aber auch eng korreliert sein.

Die Ertragsmuster können sich im Einzeljahr durchaus deutlich ausprägen, sie sind allerdings nicht generell stetig über mehrere Jahre (siehe Abbildung 52).



Die Standortheterogenität kann kostengünstig und effizient über Leitfähigkeitsmessungen o.ä. Verfahren beurteilt werden. Die Einbeziehung des Reliefs (kann mit erfasst werden bei der Leitfähigkeitsmessung) in die Charakterisierung der

Standortheterogenität ist meist von Vorteil.

Bei der Planung von OFR-Versuchen sollte auf mindestens eine der Variabilitäten zurückgegriffen werden. Eine exakt gleiche Berücksichtigung dieser Variabilitäten in den Versuchsgliedern durch eine geschickte Wahl und Verteilung der Parzellen ist allerdings unmöglich da man an feste Fahrgassen gebunden ist.

Die Versuchsglieder enthalten somit eine gewisse Rest-Standortheterogenität. Diese wirkt sich möglicherweise auf die Ertragsvariabilität innerhalb der Versuchsfrage aus und muss später bei der Auswertung somit berücksichtigt werden.

Durchführung eines OFR-Versuches - Auswertung der Großversuche von TP 9

OFR zeichnet sich insbesondere durch die Nutzbarmachung von folgenden PF-Technologien für die Nachweisführung aus:

- DGPS: geo- und zeitcodierte Dokumentation, Applikation und Navigation
- VRT: variable Raten-Technologie (differenzierte Saat, Düngung, Pflanzenschutz)
- Sensortechnik: Ertragskartierung, BodenScanner, N-Sensor, Kamerasensoren u.a.
- GIS: PF taugliches GIS mit Analyse und Statistiktools (SSToolbox).

a) Versuchsanlage

Grundsätze und Regeln

Die Versuchsanlage wird bestimmt von der Versuchsfrage (Anzahl der Versuchsglieder). Alle Versuchsglieder sollten in mehrfacher Wiederholung (mindestens 3 oder mehr) angelegt werden. Da mit betriebseigener Applikations- und Erntetechnik (nicht Parzellentechnik) gearbeitet wird sollte eine Parzelle etwa 3 Arbeitsbreiten breit sein.

Die Parzellen sollten nicht randomisiert werden, weil dadurch oftmals in unbeabsichtigter Weise unterschiedliche Standort- und Ertragsvariabilitäten zugewiesen werden. Besser ist es, diese an die Standort- und/oder natürliche Ertragsheterogenität des Feldes anzupassen. Dabei besteht das Ziel darin, allen Versuchsgliedern möglichst eine ähnliche „natürliche“ Variabilität zuzuordnen. Vereinfacht gesagt, alle Versuchsglieder sollen ähnliche Anteile

„guter mittlerer und schlechter“ Zonen enthalten. Dies setzt entweder die Kenntnis dieser

Variabilität voraus oder man versucht über möglichst viele Wiederholungen diese Variabilität für jedes Versuchsglied gleichmäßig einzubinden.

Beispiel: Feld 432

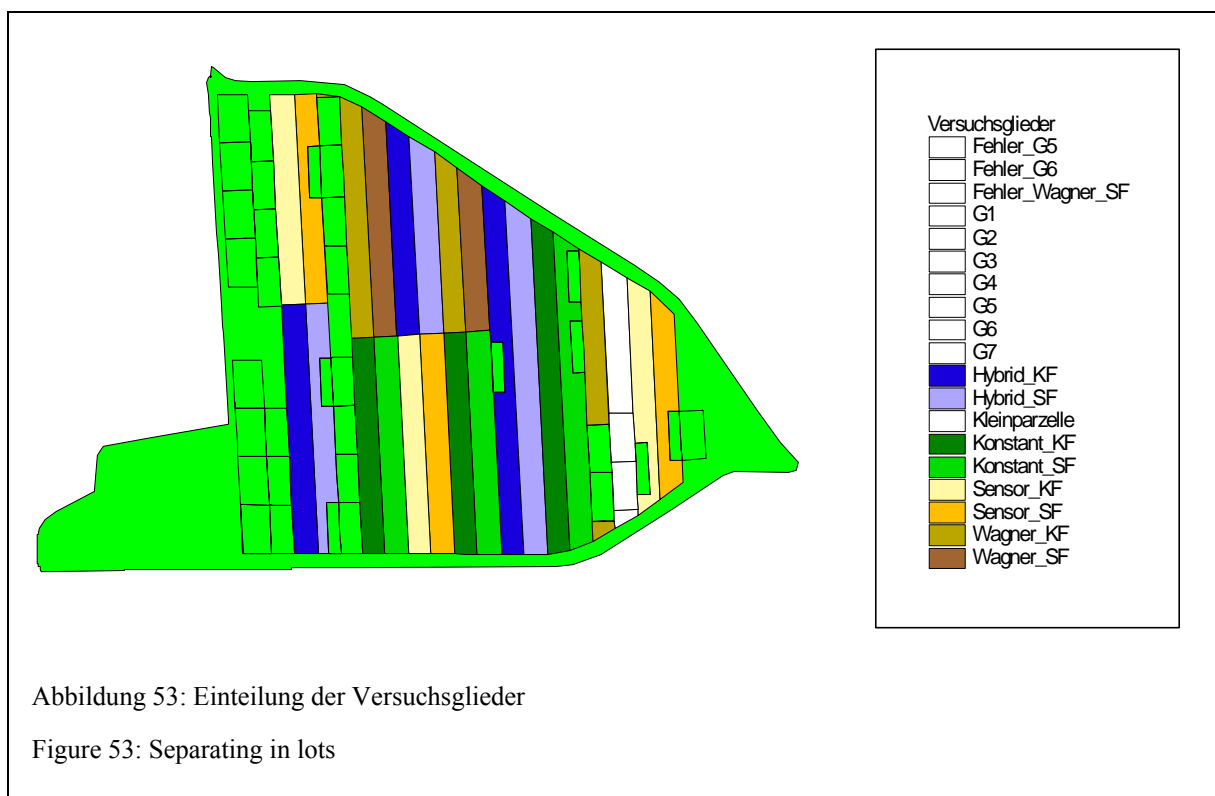
Folgende Versuchsfragen wurden definiert:

Methoden zur N-Applikation:

- konstant,
- nach Ertragszonen (im weiteren Wagner),
- Hybrid und
- Sensor.

Methoden zur Fungizidapplikation:

- konstant,
- variabel mit YARA N-Sensor



Bei der Versuchsplanung lagen die Daten der Leitfähigkeitsmessungen und der langjährigen Ertragszonen des Betriebsleiters vor. Eine Abhängigkeit bzw. Kongruenz zueinander ist nicht erkennbar.

Der Korrelationskoeffizient (Pearson) der jetzt vorliegenden Ertragsdaten beträgt gegenüber

- der Ertragszonenkarte 0,04 und
- der ECa Messung 0,45.

Die Korrelation zwischen der Ertragszonenkarte und den Leitfähigkeitsmessungen beträgt 0,07. Sowohl die ECa Messungen als auch das jetzt bekannte Ertragsmuster sind nicht repräsentativ innerhalb der Versuchsglieder verteilt.

Tabelle 20: Verteilung der BodenScannerklassen in den Versuchsgliedern

Table 20: Distribution of soil scanner classes in the lots

BSK	Hybrid	Konst.	Sensor	Wagner
1	19%	36%	18%	10%
2	58%	49%	42%	55%
3	23%	15%	31%	29%
4	0	0	9%	7%

Die Ertragskarte zeigt eine im südlichen Teil des Feldes über alle Versuchsglieder einheitliche deutlich abfallende Ertragszone. Auch diese Ertragszone ist zu sehr unterschiedlichen Anteilen innerhalb der Versuchsglieder vertreten.

Die im Versuch vorhandene Randomisierung und das Unterteilen der Versuchsglieder in Süd-Nord-Richtung hat in diesem Fall zu einer sehr ungleichmäßigen Zuordnung der natürlichen Heterogenität in die Versuchsglieder geführt. Das Versuchsglied „Konstant“ ist eindeutig benachteiligt, das Versuchsglied „Wagner“ eindeutig bevorzugt.

Bei der Versuchsplanung müssen 3 Grundsätze eingehalten werden:

1. die Versuchsfrage soll abgebildet sein (Versuchsglieder)
2. ausreichend Wiederholungen
3. Berücksichtigung der natürlichen Standort- und/oder Ertragsheterogenität.

Wenn die Punkte 2 und 3 nicht erfüllt werden können, muss eine Reduzierung der Versuchsfragen stattfinden oder ein anderes Feld gewählt werden.

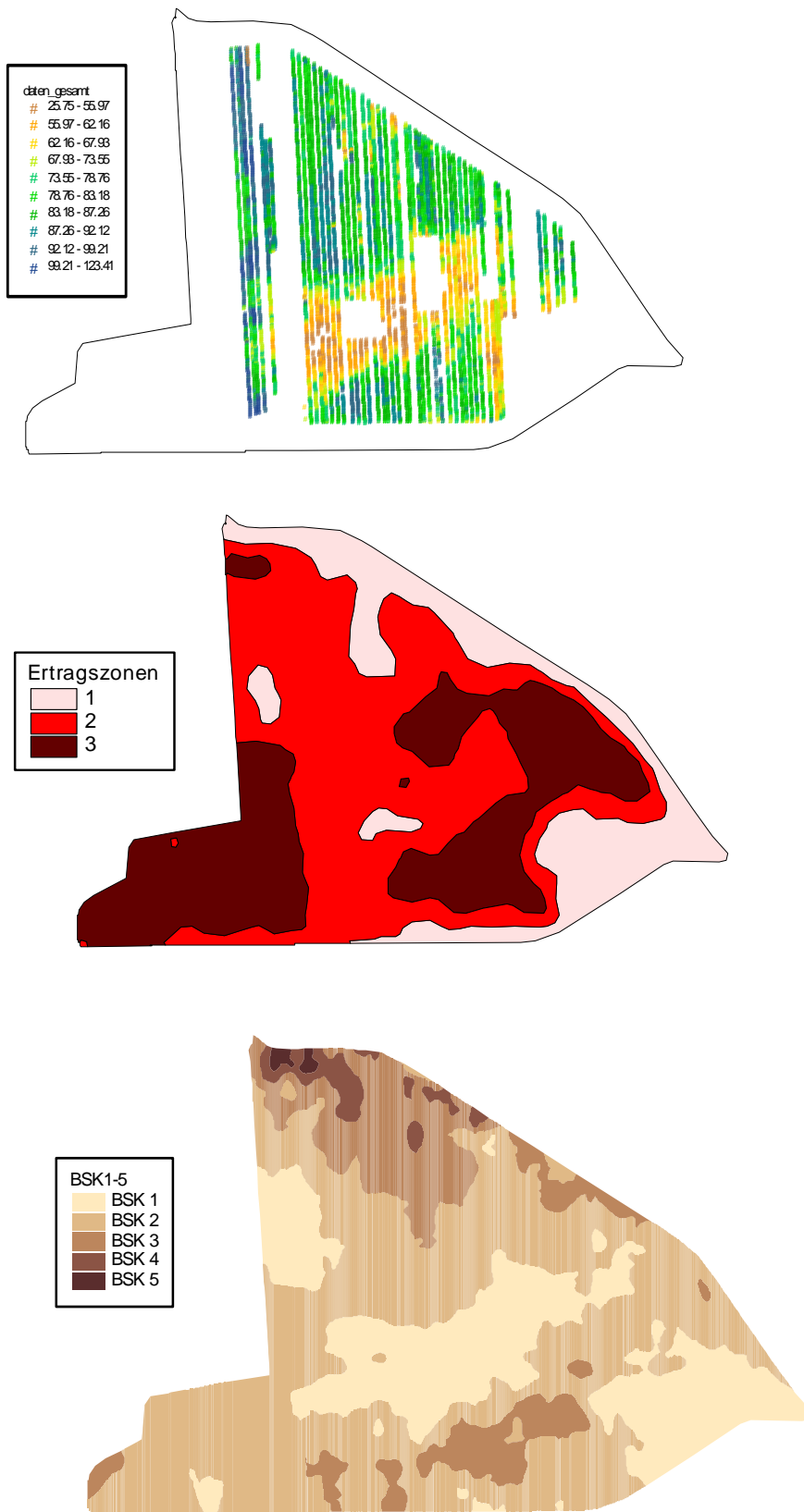


Abbildung 54: BodenScannerkarte, Ertragszonenkarte, Ertragskarte, Schlag 432, 2005

Figure 54: soil scanner map, yield zone map, yield map, field 432, 2005

b) Versuchsdurchführung

Grundsätze und Regeln

Generell gibt es drei Wege, die Versuchsanlage mittels VRT (variable Raten Technologie) umzusetzen. Erstens kann man auf Grundlage von berechneten Applikationskarten den Plan aufs Feld bringen (Mapping Ansatz). Zweitens können mit Hilfe von Onlinesensoren (z.B. YARA N-Sensor) die geplanten Parzellen und Maßnahmen direkt abgearbeitet werden (Online Ansatz) und drittens ist die Kombination von beiden möglich (Overlay Ansatz). Für die N-Sensor Versuche (Online Ansatz) hat es sich bewährt, die nach BodenScanner und Fahrgassen erstellten Versuchspläne auszudrucken, und bei der Applikation mitzuführen. Die Fehlerquelle „Mensch“ (bei der Applikation) lässt sich nahezu gänzlich ausschließen, wenn der gesamte Versuch (alle Applikationen, auch die konstanten) fahrspurengetreu digital vorgeplant wird.

Der große Vorteil der Umsetzung mit VRT liegt in der Nachweisführung. Egal welcher Ansatz, es stehen hinterher immer die zurückgeschriebenen Plan-, Ist- und oft auch Mess-Daten für die Kontrolle und Auswertung zur Verfügung.

Beispiel: Feld 432

Für die Versuchsglieder „Sensor“ und „Hybrid“ liegen flächendeckend Daten für alle erfolgten Applikationen (N2, N3, Fungizid) vor. Für alle anderen Versuchsglieder wurden aufgrund der durch den ausführenden Betrieb eingesetzten Technik keine as-applied Daten aufgezeichnet. Eine Parzelle musste aufgrund von Fehlapplikationen (erkannt durch den Betreuer) aus der weiteren Betrachtung ausgeschlossen werden.

In den Parzellen ohne Daten kann nicht sicher auf die tatsächlich erfolgte Applikation geschlussfolgert werden. Da die Fehlerquote in diesen Versuchen erfahrungsgemäß hoch ist (siehe oben) können weitere Schlussfolgerungen aus dem Ergebnis nur mit Unsicherheit erfolgen.

c) Ertragskartierung

Grundsätze und Regeln

Die „besten“ Ergebnisse liefert eine vollflächige Ertragskartierung ohne Berücksichtigung der Versuchsanlage. Gut kalibrierte Kartiersysteme und Erfahrung im Umgang sind unabdingbar. Zur Versuchsauswertung ist eine Bearbeitung der Ertragsrohdaten im GIS nötig (MUHR & NOACK 2002). Folgende Vorgehensweise hat sich dabei bewährt:

- Zusammenführen der Kartierdatensätze (mehr als ein Drescher)
- Verwerfen des Vorgewendes und der „Einsätze“ (Anlaufzeit Mähdrescher ca. 50 bis 80 m) (FEIFER 2004)
- Skalieren der Kartierdatensätze auf das gewogene Ertragsniveau
- Plausibilitätstest über Histogramm, Ausreißertest nach Standardabweichung (1,5, 1,75 oder 2 Sigma)
- Verwerfen von nicht plausiblen Punkten z.B. Erträge unter 10 dt/ha und über 150 dt/ha, halbe Schneidwerksbreiten, hohe und niedrige Fahrgeschwindigkeiten, unrealistische Feuchtwerte usw.
- synoptische Prüfung der Daten.

Beispiel: Feld 432

Insgesamt kamen drei Mähdrescher zum Einsatz. Dabei wurden ca. 28.000 Datensätze aufgezeichnet, rund 300 Datensätze je ha. Die Daten eines Mähdreschers wurden in der Versuchsauswertung aufgrund fehlender Feuchtemessung nicht berücksichtigt. Nach der entsprechenden Qualitätsbearbeitung der Ertragsdaten (siehe oben) standen noch insgesamt 9.500 Datensätze für die Auswertung zur Verfügung.

d) Datenbearbeitung im GIS

Grundsätze und Regeln

Die Auswertung erfolgt im GIS auf zwei Ebenen. Bei der Analyse werden diese erst im letzten Schritt zusammengeführt. Durch das getrennte Vorgehen wird eine objektive und nachvollziehbare Auswertung sichergestellt.

Die erste Ebene umfasst die Zerlegung des Versuchsfelds in die einzelnen Parzellen und deren Zerlegung wiederum in BSK. Über Attributierung der entstehenden Teilflächen ist jede dieser Flächen eindeutig einem VG, der Parzelle und der BSK zugeordnet. Damit ist man im GIS in der Lage jede Fläche einzeln (unterste Ebene = Parzelle * BSK) oder auch zusammengefasst nach VG, Parzelle, BSK oder VG * BSK (z.B. $2 * 5 = 10$) auszuwerten. Hierbei kann anstelle des BodenScanners auch jede andere relevante Information (Relief, Biomasse) mit einbezogen werden.



Abbildung 55: Zusammenfassung der Daten von Ebene 1 und 2

Figure 55: Joined data of layer 1 and 2

Die zweite Ebene beschäftigt sich mit den Punktdaten, die mithilfe der VRT und Ertragskartierung gewonnen wurden. Primäre Datenschicht ist die Ertragskartierung. Jeder Ertragspunkt kann als Wiederholung gelten. Über geografische Verknüpfungsroutinen im GIS können den Ertragspunkten die Informationen der Versuchsdurchführung zugeordnet werden. Diese Daten werden zuvor auf Plausibilität und Konsistenz, ähnlich den Ertragsdaten, geprüft. Die entstehende Gesamtdatenbank (diese enthält durchaus 10.000 bis 70.000 einzelne Datensätze) enthält für jeden Datenpunkt, neben dem Ertrag, alle weiteren Informationen; für die Wachstumsreglerversuche z.B. die Aufwandmengen vom Wachstumsregler, N-Düngung, die Biomassewerte, die Erntefeuchte, die Druschgeschwindigkeit usw..

Zur Auswertung werden die über den erzeugten Flächen (erste Ebene) liegenden Datenpunkte in beschreibender Statistik zusammengefasst. Dies geschieht getrennt für jedes Versuchsglied und BodenScannerklasse. Also z.B. Versuchsglied 1 BodenScannerklasse 1, danach VG 1 BSK 2, dann VG 1 BSK 3 u.s.w.u.s.f..

Für jede Fläche und jedes Attribut liegen dann Anzahl, Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung vor und können entsprechend bewertet werden. Im GIS werden alle wichtigen Karten (BodenScanner, Höhe, VG, Aufwendungen, Ertrag usw.) aufbereitet und ausgedruckt.

Beispiel: Feld 432

Der oben beschriebene Algorithmus wurde auf die Versuchsdaten angewendet. Zuvor soll noch eine Betrachtung über die Varianzen und Reststreuung der einzelnen Versuchsglieder erfolgen:

Tabelle 21: Varianz und Reststreuung der Versuchsglieder

Table 21: Variance and of the lots

	Streuung	Freiheits- grade (FG)	Quadratsumme SQ	mittl. Quadrat- summe MQ	Restvarianz (Sigma)
Gesamt	total	9.583	1.271.110	132	(11,5)
Faktor Fungizid	zwischen den Faktorstufen	1	16.381	16.381	
Versuchs- Fehler	innerhalb der Faktorstufen	9.582	1.245.728	131	11,4
Faktor N-System	zwischen den Faktorstufen	3	214.250	71.483	
Versuchs- Fehler	innerhalb der Faktorstufen	9.580	1.056.659	110	10,5
Faktor N-System + BSK	zwischen den Faktorstufen	13	461.992	35.537	
Versuchs- Fehler	innerhalb der Faktorstufen	9.570	809.117	85	9,2

Durch die Ergebnisse der Varianzanalyse konnte gezeigt werden, dass:

- die Fungizidvarianten keinen (kaum) einen Einfluss auf die Varianz des Ertrages ausüben, deswegen werden bei der weiteren Datenauswertung diese Versuchsglieder aufgelöst zugunsten der Erhöhung der Stichprobenanzahl bei den Stickstoffvarianten
- durch die Kombination der N-Düngesysteme mit den BodenScannerklassen konnte der Versuchsfehler (Rest-Streuung) von 131 auf 85 reduziert werden; somit können etwa 36 % der Gesamtvarianz durch das N-Düngesystem und die Standortheterogenität erklärt werden

Ermittlung des Versuchsergebnisses:

Die Versuchsglieder weisen, wie zuvor beschrieben, eine unterschiedliche Standortheterogenität auf (siehe Tabelle 22, Anzahl Ertragspunkte *100 qm = Flächenanteil). Jedes Versuchsglied belegt also unterschiedliche Anteile in den jeweiligen BodenScannerklassen. Um die Versuchsglieder gegeneinander zu vergleichen und um 1 Endergebnis zu erhalten, wird für jedes Versuchsglied ein virtuelles Ergebnis ermittelt. Dabei wird unterstellt (virtuell), dass jedes Versuchsglied gleiche Anteile in den BodenScannerklassen 1-5 belegt. Nach bisherigen Erfahrungen (Auswertung nach 6.3.3 I) sollten je VG und BSK mindestens 200 bis 250 Beobachtungen vorliegen. Im gewählten Beispiel ist die BSK 5 nicht vertreten, BSK 4 nur teilweise und in BSK 1 hat das VG Wagner nur 181 Beobachtungen. Aus diesem Grund wird das Ergebnis der virtuellen Parzelle nur aus BSK 2 und 3 errechnet. Dies geschieht durch einfache Mittelwertbildung (vgl. Tabelle 22).

Tabelle 22: Ergebnisse Schlag 432, 2005

Table 22: Results field 432, 2005

N-System	Daten	BodenScannerKlassen				Ergebnis
		1	2	3	4	
Hybrid	Mittelwert - Ertrag	75,88	84,20	81,04		82,62
	Anzahl - Ertrag	473	1658	578		2236
	Standardabweichung (Grundgesamtheit) - Ertrag	9,9	9,7	8,9		9,28
	Mittelwert - N_GESAMT	136	134	129		131
Konstant	Mittelwert - Ertrag	63,98	75,84	82,17		79,00
	Anzahl - Ertrag	1127	1521	492		2013
	Standardabweichung (Grundgesamtheit) - Ertrag	9,2	10,2	6,0		8,08
	Mittelwert - N_GESAMT	180	180	180		180
Sensor	Mittelwert - Ertrag	73,01	85,49	90,05	78,30	87,77
	Anzahl - Ertrag	333	975	382	37	1357
	Standardabweichung (Grundgesamtheit) - Ertrag	10,3	10,4	9,0	17,3	9,74
	Mittelwert - N_GESAMT	106	115	121	144	118
Wagner	Mittelwert - Ertrag	74,17	81,28	85,30	84,98	83,29
	Anzahl - Ertrag	181	1153	618	56	1771
	Standardabweichung (Grundgesamtheit) - Ertrag	8,8	8,2	5,0	3,5	6,56
	Mittelwert - N_GESAMT	163	155	134	126	144
Gesamt: Mittelwert - Ertrag		68,94	81,41	84,24	82,32	82,82
Gesamt: Anzahl - Ertrag		2114	5307	2070	93	7377
Gesamt: Standardabweichung (Grundgesamtheit) - Ertrag		10,9	10,4	8,0	11,7	9,18
Gesamt: Mittelwert - N_GESAMT		157,21	148,23	140,98	133,27	144,60

Für alle gebildeten Klassen (N-System und BSK) wurde ein F-Test (LSD – Least Significant Difference) mit Grenzdifferenz von 5 % gerechnet. Die Prüfung erfolgt sowohl innerhalb eines Faktors (N-System) zwischen den Ertragsmittelwerten der BodenScannerklassen und auch zwischen den Faktoren für die jeweilige BodenScannerklasse. In der Mehrzahl der Fälle unterscheiden sich die Ertragsmittelwerte signifikant. Ob dieser Test besser als andere Testverfahren geeignet ist, kann noch nicht abschließend beurteilt werden. Die Nutzung anderer Tests führte allerdings zu sehr ähnlichen Signifikanzen.

Tabelle 23: Signifikanzen der Ergebnisse von Schlag 432, 2005

Table 23: Significances of the results on field 432, 2005

	(Mittelwert)	Konstant1	Sensor1	Wagner1	Konstant2	Hybrid1	Sensor4	Hybrid3	Wagner2	Konstant3	Hybrid2	Wagner4	Wagner3
Konstant1	63.98	---	1.12	1.44	0.71	0.99	3.01	0.92	0.75	0.97	0.70	2.47	0.90
Sensor1	73.01	ja	---	1.66	1.09	1.29	3.12	1.24	1.12	1.28	1.08	2.60	1.23
Wagner1	74.17	ja	nein	---	1.42	1.58	3.25	1.54	1.44	1.57	1.41	2.76	1.52
Konstant2	75.84	ja	ja	ja	---	0.95	3.00	0.88	0.70	0.93	0.64	2.45	0.86
Hybrid1	75.88	ja	ja	ja	nein	---	3.08	1.12	0.98	1.16	0.94	2.55	1.10
Sensor4	78.30	ja	ja	ja	nein	nein	---	3.06	3.01	3.07	3.00	3.82	3.05
Hybrid3	81.04	ja	ja	ja	ja	ja	nein	---	0.92	1.11	0.87	2.52	1.04
Wagner2	81.28	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein	---	0.97	0.69	2.47	0.90
Konstant3	82.17	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	---	0.93	2.54	1.09
Hybrid2	84.20	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	---	2.45	0.85
Wagner4	84.98	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	---	2.52
Wagner3	85.30	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	---
Sensor2	85.49	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	nein	nein
Sensor3	90.05	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja	ja

Tabelle 24: Zusammenfassung der Ergebnisse Schlag 432, 2005

Table 24: Summarized results of field 432, 2005

	Ertrag dt/ha	N-Aufwand kg N/ha
Hybrid	82,62	131
Konst	79,00	180
Sensor	87,77	118
Wagn	83,29	144

Dieses Ergebnis kann nur unter Berücksichtigung der eingangs erwähnten Schwachstellen diskutiert werden. Die Erzielung des höchsten Ertrages des VG Sensor mit dem geringsten N-Aufwand wird tendenziell von der Ergebnissen der Kleinfeldparzellen bestätigt.

Die hier vorgestellten Grundsätze und Regeln der Versuchsdurchführung bzw. -auswertung wurden auch für das Feld 231 angewendet. Die Ergebnisse sind leider mit noch größerer Unsicherheit zu bewerten. Problematisch war vor allem die Qualität der Daten der Ertragskartierung. Bei der synoptischen Prüfung der Datensätze fällt auf, dass in etwa 50 % aller Fälle in unmittelbar benachbarten Ertragskartierspuren gleicher Parzellen unerklärliche Unterschiede in der absoluten Höhe (absolute Differenzen zwischen 8 und 15 dt/ha) auftreten. Dieser Fehler kann nach den bisher vorliegenden Daten nicht erklärt und nicht korrigiert werden.

Ableitungen zur gezielten Verbesserung der in den Versuchen verwendeten Methoden können aufgrund der einjährigen Daten und Unsicherheiten im Ergebnis noch nicht ausgesprochen werden.

e) Weitere Schlussfolgerungen

Insgesamt ergeben sich bei OFR-Versuchen drei Problembereiche:

- (A) Umsetzung der Versuchsfragen in ein geeignetes Versuchsdesign
- (B) Anforderungen bei der praktischen Umsetzung
- (C) Auswertungsmethodik

Zu (A): Hier stellt sich insbesondere die Frage nach der auf einer gegebenen Fläche umsetzbaren Versuchsglieder. Nach ersten Erfahrungen unter Praxisbedingungen (Bsp.: Schlag 432 u.a.) gibt es für jeden Schlag eine kritische Kombination von Schlaggröße, Schlaggeometrie, Standortheterogenität, Ertragsmuster, Anzahl VG, Anzahl Wiederholungen. Empfehlungen können nur am Einzelschlag ausgesprochen werden. Als erste Orientierung empfehlen wir aufgrund der hohen Anzahl unterschiedlicher Kombinationen für 2 Versuchsglieder Schlaggrößen von mindestens 25 ha, für 3 VG 40 ha und für 4 VG 60 ha. Natürlich kann man auch auf kleineren Feldern Versuche anlegen und auswerten. Die Variabilität des Steuerungsmerkmals nimmt dann logischerweise ab. Die zu erwartenden Effekte sind demnach (deutlich) kleiner bzw. die Ergebnisse aufgrund fehlender Wiederholungen unsicherer. Ein Ausweg besteht darin, die von der betriebseigenen Technik bestimmte Parzellengröße (z.B. 3 Fahrgassen) zu reduzieren indem kleinere Arbeitsbreiten genutzt werden. Damit nähert man sich allerdings wieder der Kleinparzellentechnik an.

Die Konzeption, Anlage und Auswertung der OFR-Versuche sollte durch gut ausgebildete und geschulte Agraringenieure vorgenommen werden. Die gesamte Ausführung obliegt dem Landwirt mit seiner betriebseigenen Technik.

6.3.5 Soll-Ist-Vergleich mit den im Projektantrag angestrebten Ergebnissen bzw. vorgesehenen Meilensteinen

In den Versuchen des PB 4 konnten erfolgreich die neu erarbeiteten Grundsätze und Regeln von OFR-Versuchen angewendet werden. Problembereiche wurden erkannt, herausgearbeitet und können im Jahr 2006 gezielt bearbeitet werden. In den bisherigen Projekttreffen und bilateralen Abstimmungen wurden und werden die Ergebnisse offen diskutiert.

Hinweise für eine gezielte Ableitung von Produktionsfunktionen aufgrund von OFR-Versuchen können durch die Einjährigkeit der Ergebnisse erst einmal nur unter Vorbehalt ausgesprochen werden.

Nach einer zweiten Versuchsserie (2006) sollten die Grundsätze und Regeln bzw. die zu verwendenden Methoden für OFR ausreichend sicher beurteilt sein.

6.3.6 Geplante nächste Arbeitsschritte

Die Durchführung von OFR Experimenten wird innerhalb des PB 4 in einem erweiterten Umfang fortgeführt. Das TP 11 wird bei der Versuchsanlage und –auswertung mitwirken und die herausgearbeiteten Ergebnisse möglichst zielführend umsetzen.

Sowohl mit den bestehenden Datensätzen als auch mit neuen Ergebnissen der Feldversuche soll gezielt nach zusätzlichen Möglichkeiten der Auswertung gesucht werden. Insbesondere wünschen wir uns eine höhere Sensitivität der bekannten Tests gegenüber „unsicheren“ Versuchsdesigns. Auch die Entwicklung eines neuen Tests käme infrage. Derzeit können wir nur aufgrund von Erfahrungswissen aus den bisher ausgewerteten Versuchen verbal Anforderungen an das Versuchsdesign stellen.

In einem Entwicklungsprojekt der Fa. AgriCon wurden Algorithmen zur Ableitung einer teilflächenspezifischen Applikation von Wachstumsreglern auf Basis der N-Aufnahme und Biomasse erstellt. Diese Produktionsfunktionen werden 2006 auf sechs verschiedenen Standorten in OFR-Experimenten getestet. Daraus sollen Vorschläge zur Verbesserung der Parametrisierung der Produktionsfunktion abgeleitet werden.

Nach der Auswertung aller Experimente des Jahres 2006 werden die Ergebnisse und Erfahrungen als Grundsätze und Regeln in einem Handbuch zur Durchführung von OFR Experimenten beschrieben.

6.3.7 Erkenntnisse aus den Arbeiten des Jahres 2005 für das Anliegen des Projektbereiches bzw. aus Sicht des Gesamtprojektes

Bei der Planung weiterer Experimente sollten zentrale Fragestellungen (z.B. N-Düngesysteme) wiederholt in OFR-Experimenten geprüft werden. Erst aus mehrjährig abgesicherten Versuchsergebnissen können im TP 3 verlässliche ökonomische Gesamtbewertungen erfolgen.

Schon frühzeitig müssen die Möglichkeiten des Versuchsbetriebes (Schlaggrößen und verwendete Technik) in Übereinstimmung mit der Anzahl der parallel zu bearbeitenden Versuchsfragen gebracht werden. Es ist zu unterscheiden zwischen dem Machbaren und dem Wünschenswerten.

Erhöhtes Augenmerk ist auf die vollständige Dokumentation der Applikationen und die Qualität der Ertragsdaten zu legen. Die gemeinsame Nutzung von Ergebnissen aus Feldexperimenten (alle TP aus PB 4) hat sich bewährt. Es erfolgte bei der Planung der Versuche eine Zusammenarbeit. Diese muss zukünftig weiter intensiviert werden.

6.3.8 Literatur

AGRI CON: Tagungsunterlagen, Precision Farming Tagung 2004 und 2005

FEIFER, A., FEIFFER, P., KUTSCHENREITER, W., RADEMACHER, TH. (2005): Getreideernte- sauber, sicher , schnell, DLG-Verlag.

FEIFFER, A. (2004): mündliche Mitteilung.

LEITHOLD, P. (o.J.a): Räumliche und zeitliche Analyse von Ertragsdaten. Publ. in prep.

LEITHOLD, P. (o.J.b): On Farm Research – eine neuartige Versuchsmethodik für Precision Farming. Publ. in prep.

MUHR, T.; NOACK, P.O. (2002): Aufbereitung von Ertragsdaten. In KTBL (Hrsg., 2002): Precision Agriculture: Herausforderung an integrative Forschung, Entwicklung und Anwendung in der Praxis.Tagungsband Precision Agriculture Tage, 13.-15. März 2002 in Bonn. KTBL-Sonderveröffentlichung 038, Darmstadt: 169-178.

RECKLEBEN, Y. (2004): Innovative Echtzeitsensorik zur Bestimmung und Regelung der Produktqualität von Getreide während des Mähdruschs. Dissertation Uni Kiel.

TRAPHAN, K. (2005): Einfluss der Sensorgesteuerten Stickstoffdüngung auf Ertrag und Proteingehalt von Braugerste. Master-Thesis Uni Kiel.

WERNER, A. (2004): Managementsystem für den ortsspezifischen Pflanzenbau, Verbundprojekt pre agro, Abschlussbericht KTBL (Hrsg.), Darmstadt.

Anschrift der Autoren:

Dipl. Ing. Peer Leithold
M. Sci. Agr. Katharina Traphan
Agri Con Precision Farming Company
Im Wiesengrund 4
04749 Jahna
Telefon: 034324/52-434, -430
Telefax: 034324/52440
E-Mail: katharina.traphan@agricon.de
peer.leithold@agricon.de