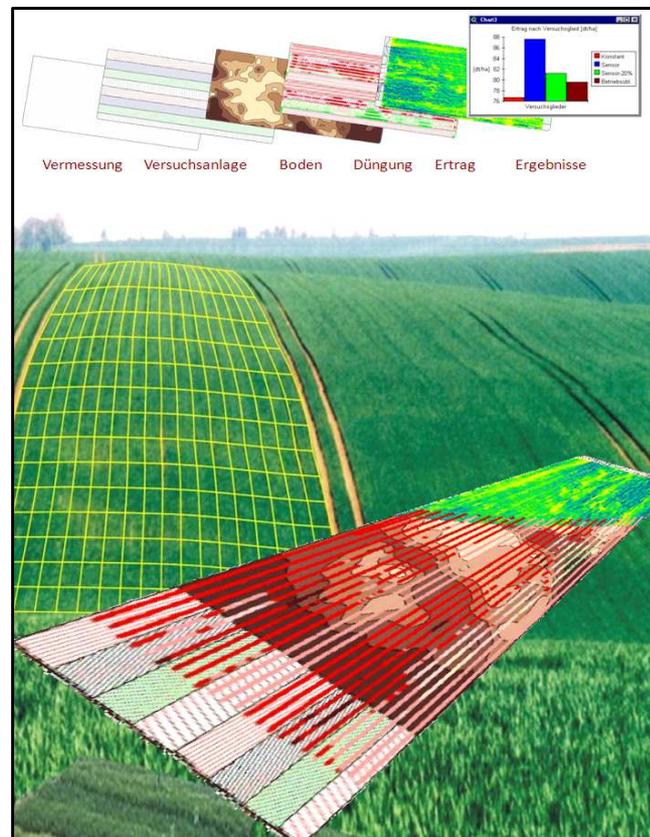




On-Farm Research



Hagen Piotraschke
Peer Leithold

On-Farm Research

Dezember 2007

Hagen Piotraschke und Peer Leithold sind Mitarbeiter der Fa. Agri Con GmbH, Precision Farming Company, Im Wiesengrund 4, 04749 Jahna, Tel. 034324-52430, Fax: 034324-52440, Email: contact@agrimon.de

Herausgeber:

Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft (RKL)

Prof. Dr. Yves Reckleben

Am Kamp 13, 24768 Rendsburg, Tel. 04331-847940, Fax: 04331-847950

Internet: www.rkl-info.de; E-mail: mail@rkl-info.de

Sonderdruck aus der Kartei für Rationalisierung 4.0

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit Zustimmung des Herausgebers

Was ist das RKL?

Das Rationalisierungs-Kuratorium für Landwirtschaft ist ein bundesweit tätiges Beratungsunternehmen mit dem Ziel, Erfahrungen zu allen Fragen der Rationalisierung in der Landwirtschaft zu vermitteln. Dazu gibt das RKL Schriften heraus, die sich mit jeweils einem Schwerpunktthema befassen. In vertraulichen Rundschreiben werden Tipps und Erfahrungen von Praktikern weitergegeben. Auf Anforderung werden auch einzelbetriebliche Beratungen durchgeführt. Dem RKL sind fast 1400 Betriebe aus dem ganzen Bundesgebiet angeschlossen.

Wer mehr will als andere, muss zuerst mehr wissen. Das RKL gibt Ihnen wichtige Anregungen und Informationen.

Gliederung.....	Seite
1. Warum keine klassischen Versuchspartellen?.....	1330
2. Technische Voraussetzungen	1331
2.1 Ertragsmessung.....	1331
2.2 GPS-Empfänger.....	1332
2.3 Applikationsdaten.....	1332
2.4 Geografisches Informationssystem.....	1333
3. Versuchsplanung und –anlage	1333
4. Einbeziehung von Standort- und Bestandseigenschaften.....	1335
4.1 Bodenphysik	1335
4.2 Relief.....	1336
4.3 Bodenchemie	1336
4.4 Bestand.....	1337
5. Durchführung der pflanzenbaulichen Arbeiten bis zur Ernte	1338
6. Aufbereitung der Versuchsdaten	1339
7. Versuchsauswertung mit Tabellenkalkulation oder Geostatistik..	1342
7.1 Auswertung mit Excel & Co.....	1342
7.2 Auswertung mit Geostatistik	1343
8. Datenverarbeitung in Eigen- oder Dienstleistung.....	1346

Viele Landwirte würden pflanzenbauliche Feldversuche auch selbst in ihrem Betrieb durchführen, sofern sich dies nur mit der vorhandenen Technik innerhalb der gewohnten Arbeitsabläufe realisieren ließe.

Über den reinen Erkenntnisgewinn hinaus kann die Entscheidung beispielsweise für eine optimierte Fungizid- oder Düngestrategie durchaus sowohl erhebliche Ertragssteigerungen als auch Einsparungen von Betriebsmitteln zur Folge haben. Dies gilt umso mehr, wenn derartige Entscheidungsprozesse nicht nur allgemeinen Empfehlungen (etwa von Seiten der Hersteller) folgen, sondern auf eigenen Versuchen am konkreten Standort basieren und damit auch den betriebsspezifischen Bedingungen (Boden, Klima usw.) entsprechen. Vor allem dann, wenn Ackerbaubetriebe Precision-Farming-Techniken (z.B. teilflächenspezifische Düngung) in ihre Produktionsprozesse integrieren bzw. entsprechende Investitionen planen, besteht sehr häufig der Wunsch, diese vorher im eigenen Feldversuch zu prüfen.

In diesem Beitrag wird beschrieben, wie solche betrieblichen Feldversuche mit den Methoden der so genannten *On-Farm Research* (OFR) geplant, durchgeführt und ausgewertet werden können. Der technische und arbeitsorganisatorische Aufwand

hierfür soll dabei auch die Möglichkeiten eines kleineren Ackerbaubetriebs nicht überschreiten, jedoch insbesondere für flächenstarke Betriebe mit größeren Schlägen vergleichsweise gering sein. Ein grundlegendes Merkmal von OFR-Feldversuchen – und der Hauptunterschied zu Versuchen im klassischen Feldversuchswesen – ist die Abbildung der jeweiligen Versuchsfrage auf ungeteilte Schläge in voller Größe, die bei möglichst allen Arbeitsgängen dann auch durchgängig bewirtschaftet werden sollten. Die Versuchsfläche wird hierbei also nicht in kleine Einzelparzellen (mit idealerweise völlig identischen Standorteigenschaften) aufgeteilt und dann ausschließlich parzellenweise bearbeitet. Eine Parzellierung erfolgt bei OFR-Versuchen zumeist „virtuell“ und ist daher mit dem bloßen Auge auf der Fläche auch nicht unbedingt erkennbar.

Die auf dem Versuchsschlag vorhandenen und messbaren Unterschiede der Standort- und/oder Bestandseigenschaften (z. B. Boden, Relief, Biomasse bei Versuchsbeginn) werden bei OFR-Versuchen nach Möglichkeit vollständig in die Planung, Durchführung und Auswertung des Versuches einbezogen.

1. Warum keine klassischen Versuchsparzellen?

In den meisten Fällen ist die Zielgröße von Feldversuchen der geerntete Ertrag. Im herkömmlichen Feldversuchswesen werden daher die Parzellen einzeln abgeerntet und dabei die Erntemengen je Parzelle oder zumindest je Versuchsglied bestimmt. Diese Vorgehensweise erfordert nicht nur einen erheblichen logistischen Mehraufwand, sondern zumeist auch den Einsatz von Spezialmaschinen (z.B. Parzellenmähdrescher). Bei Feldversuchen auf klassischen Kleinparzellen sind jedoch nicht nur die Erntearbeiten auf spezielle Maschinen und Arbeitsvorgänge angewiesen, sondern praktisch alle pflanzenbaulichen Maßnahmen von der Saat über die Düngung bis zum Pflanzenschutz. Aus diesem Grund werden derartige Anbauversuche üblicherweise auch nur von spezialisierten Versuchsanstellern in entsprechenden Parzellengärten durchgeführt. Hinzu kommt, dass beim Anlegen der Parzellen eine hinreichende Homogenität gewährleistet werden muss, damit standortbedingte Störfaktoren (z.B. unterschiedliche Bodeneigenschaften) möglichst gar keinen oder zumindest einen für alle Versuchsglieder gleichen Einfluss auf die Versuchsparameter ausüben.



Abb. 1: Klassische Parzellenversuchsanlage

Das klassische Feldversuchswesen auf Kleinparzellen beruht auf sicheren und langjährig bewährten Methoden zur Versuchsdurchführung und -auswertung, erfordert jedoch einen technischen und personellen Aufwand, der von landwirtschaftlichen Produktionsbetrieben nicht oder nur in Ausnahmefällen erbracht werden kann. Daher muss ein betriebliches Feldversuchswesen möglichst weitgehend solche Methoden und Techniken nutzen, die auch in den normalen Arbeitsabläufen zum Einsatz kommen bzw. auf diesen beruhen. Der heutige Stand der Technik ermöglicht dies.

2. Technische Voraussetzungen

2.1 Ertragsmessung

Bei OFR-Versuchen kann ohne weiteres die vorhandene Erntetechnik verwendet werden, sofern diese über die Möglichkeit zur Messung der Erntemenge verfügt (Ertragskartierung). Die bei aktuellen Mähdreschern bereits ab Werk eingebauten Systeme zur Ertragskartierung arbeiten inzwischen schon so genau, dass damit auch die Ertragsmessungen für OFR-Feldversuche realisierbar sind. Um die bei der Ertragskartierung gespeicherten Daten später in einem geografischen Informationssystem (GIS) den Versuchsgliedern zuordnen zu können, wird jeder einzelne Datensatz schon bei der Messung zusammen mit seinen räumlichen Koordinaten gespeichert. Hierzu enthalten Mähdrescher mit eingebauter

Ertragskartierung bereits einen GPS-Empfänger (oder zumindest den Anschluss dafür).

2.2 GPS-Empfänger

Mindestens zur Vermessung der Versuchsglieder wird zudem noch ein weiterer GPS-Empfänger benötigt. Das kann im einfachsten Falle eine „GPS-Maus“ mit integriertem Datenspeicher sein, alternativ lassen sich handelsübliche GPS-Empfänger über Kabel oder Bluetooth-Nahfunk mit einem tragbaren Rechner (Notebook, PDA, Smartphone o.ä.) verbinden. Zum Aufzeichnen der so genannten „Tracks“ (beispielsweise von Schlagumrissen oder Fahrspuren) sind eventuell auch GPS-Handgeräte verwendbar. Im Hinblick auf die Messgenauigkeit von derartigen GPS-Empfängern muss jedoch grundsätzlich mit möglichen Abweichungen von mehreren Metern gerechnet werden. Auch das EGNOS-Korrektursignal ist noch kein Garant für hohe Genauigkeit und Stabilität. Extreme Ausreißer oder ein „Einfrieren“ der gemessenen Positionsdaten bei geringen Geschwindigkeiten sind dabei ebenso möglich – die Eignung des jeweiligen Empfängers für diesen Zweck sollte daher unbedingt bereits vor Versuchsbeginn sichergestellt werden. Am besten sind jedoch selbstverständlich solche hochpräzisen GPS-Empfänger geeignet, wie sie beispielsweise zur professionellen Flächenvermessung oder zur ackerbaulichen Parallelführung verwendet werden. Deren Genauigkeit liegt mit Hilfe von kommerziellen Korrektursignalen oder infolge des Einsatzes so genannter RTK-Stationen stets im Dezimeter- bis Zentimeterbereich.

2.3 Applikationsdaten

Wenn im Rahmen der Versuchsdurchführung auch eine variable Ausbringung von Betriebsmitteln (z.B. Saatgut, Dünger, Pflanzenschutzmittel) stattfinden und diese Variation in die Versuchsauswertung einfließen soll, müssen diese Daten ebenfalls entsprechend geokodiert sein, also entweder mit einzelnen Punktkoordinaten verknüpft werden oder innerhalb von bereits bekannten Teilflächen (Polygonen) liegen.

Kombinierte Mess- und Steuerungssysteme, die in Echtzeit aus gemessenen Bestandseigenschaften über entsprechende Regelalgorithmen Befehle zur Steuerung von Ausbringungsgeräten herleiten (z.B. YARA N-Sensor), sollten dabei über die Möglichkeit verfügen, die gemessenen Werte und ausgebrachten Mengen zusammen mit den von einem angeschlossenen GPS-Empfänger gelieferten Geokoordinaten zu speichern. Werden hingegen vorbereitete Applikationskarten

(z.B. Saat- oder Streukarten) abgearbeitet, so können diese bei der späteren Versuchsauswertung im GIS weitere Berücksichtigung finden.

2.4 Geografisches Informationssystem

Die Zusammenführung und Aufbereitung aller versuchsrelevanten Daten in einem GIS ist praktisch in allen Fällen erforderlich, bevor aus ihnen das eigentliche Versuchsergebnis berechnet werden kann. Die hierfür nötige Software (z.B. ESRI ArcGIS, SStoolbox) verlangt jedoch zumeist einen recht hohen Anschaffungs- und Einarbeitungsaufwand.

Möglicherweise sind die benötigten GIS-Funktionen schon in der bereits vorhandenen Agrarsoftware (z.B. Schlagkartei mit integriertem GIS) enthalten; alternativ und/oder zusätzlich ist jedoch auch die Inanspruchnahme entsprechender Spezialdienstleister möglich.

3. Versuchsplanung und -anlage

Neben einer möglichst genauen Messung der Zielgröße – typischerweise die Erntemenge – ist eine angemessene Abbildung der Versuchsfrage auf die Versuchsfläche („Versuchsdesign“) entscheidend für die Aussagekraft der Versuchsergebnisse. Wenn beispielsweise zwei verschiedene Sorten von Winterweizen miteinander verglichen werden sollen, so ist für diese zwei Versuchsglieder eine Planung zu realisieren, mit der einerseits die Standorteigenschaften des Schlages, andererseits jedoch auch die arbeitsorganisatorischen Notwendigkeiten hinreichend berücksichtigt werden. Letzteres bedeutet hier vor allem: Die Aussaat (und auch die weitere Bewirtschaftung des Schlages) sollte mit der betriebsüblichen Technik und möglichst weitgehend in der gewohnten Weise durchführbar sein. Wenn nun jedoch der Schlag lediglich in zwei Hälften mit je einer Sorte bestellt wird und eine Hälfte davon bei der Ernte einen deutlich höheren Ertrag als die andere hat, dann kann dieser Ertragsvorteil möglicherweise in der besseren bzw. besser geeigneten Sorte begründet sein. Es ist so aber auch nicht auszuschließen, dass dieser Mehrertrag lediglich eine Folge der Standorteigenschaften (Boden, Relief usw.) ist, wenn die eine Schlaghälfte in deren Summe gegenüber der anderen Hälfte bevorteilt ist. Eine praxisgerechte Lösung für dieses Problem besteht dann üblicherweise darin, jedes Versuchsglied streifenweise so in mehrere Wiederholungen zu „zerlegen“, dass die Unterschiede der Standorteigenschaften möglichst gleich auf beide Versuchsglieder verteilt sind. Diese Streifen sollten abwechselnd und parallel zu den der Versuchsfrage entsprechenden

Fahrspuren (bei Sortenversuchen in Saatrichtung, bei PSM- und Düngungsversuchen entlang der Fahrgassen) angelegt sein. Die Streifenbreite beträgt zumeist zwei bis vier Fahrgassenabstände (bzw. eine entsprechend höhere Anzahl von Saatsbreiten). Damit eine genügend hohe Anzahl von Wiederholungen (mindestens vier) erreicht wird, sollte der Gesamtschlag bei zwei Versuchsgliedern nicht kleiner als 30 ha sein (bzw. je Versuchsglied mindestens 15 ha). Streifen, auf denen sich Teilflächen mit stark abweichenden Standorteigenschaften befinden (z.B. Moorsenken, verfüllte Sölle, alte Mietenplätze), sind dabei möglichst zu vermeiden – diese werden zwar mit eingerichtet und bearbeitet, von der späteren Versuchsauswertung jedoch ausgeschlossen. Die einzelnen Streifen müssen nicht unbedingt abgesteckt werden, in der Praxis hat es sich jedoch bewährt, den Anfang eines jeden neuen Streifens sicherheitshalber zu markieren. Nach Festlegung der Streifen sollten entweder deren Grenzen oder die zugrunde liegenden Fahrgassen mit dem GPS-Empfänger vermessen werden.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft einen Schlag, auf dem zwei verschiedene Düngungsstrategien (die blauen Linien entsprechen den Fahrspuren der Düngung) miteinander verglichen wurden. Die GPS-Messpunkte der Fahrspuren sowie die Vermessung des Schlagumrisses wurden in ein GIS eingelesen, worin sich dann die Grenzen der Versuchsglieder bzw. ihrer Wiederholungen einzeichnen ließen (jeweils drei Fahrspuren in einem Streifen):

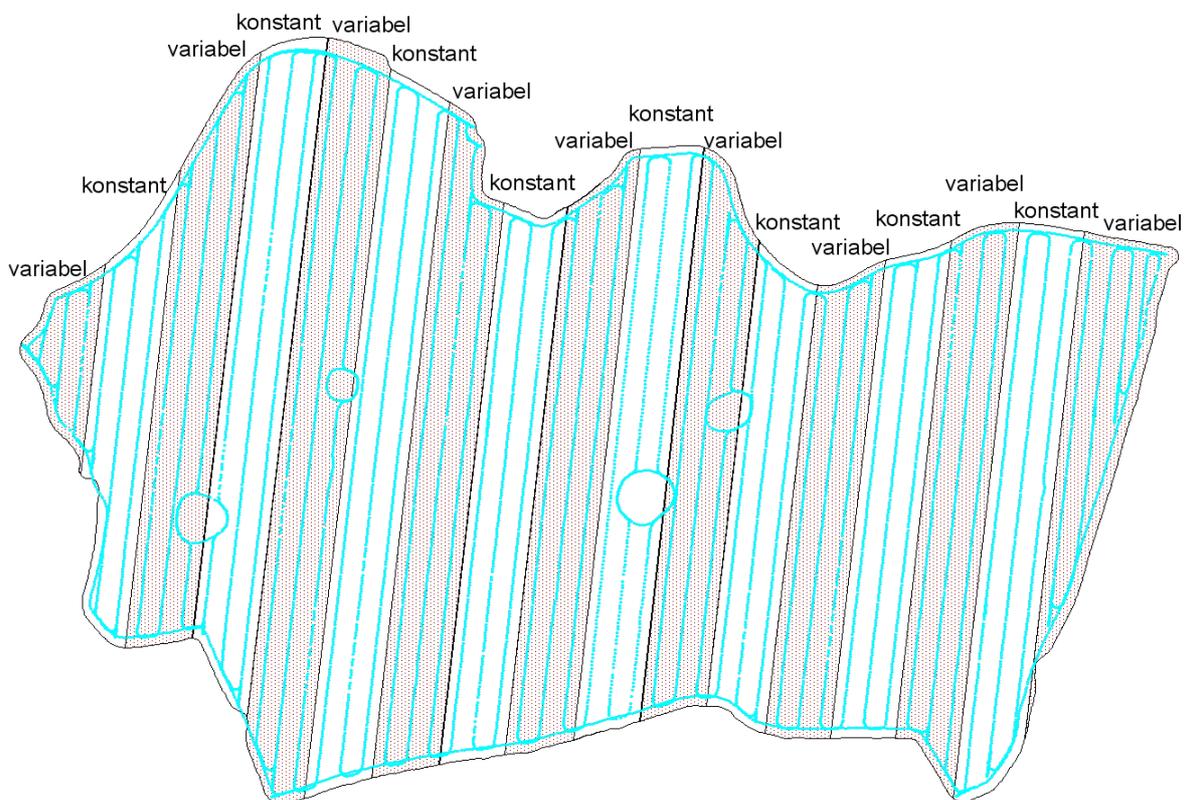


Abb. 2: Versuchsanlage

4. Einbeziehung von Standort- und Bestandseigenschaften

Auch wenn bereits bei der Versuchsplanung und -anlage versucht werden sollte, die innerhalb des Versuchsschlages bestehenden Standortunterschiede (z.B. Bodeneigenschaften, Relief) möglichst gleichmäßig auf die Versuchsglieder zu verteilen, kann eine völlige Gleichverteilung der versuchsrelevanten Standortparameter wohl nur in den seltensten Fällen auch erreicht werden. Daher ist es sinnvoll bzw. notwendig, möglichst viele dieser Standorteigenschaften zu messen und deren Messwerte mit ihrem räumlichen Bezug (Lage innerhalb der Versuchsglieder) bei der Versuchsauswertung zu berücksichtigen.

4.1 Bodenphysik

Eine preiswerte und räumlich hoch aufgelöste Datenquelle bezüglich der Bodeneigenschaften ist der so genannte „Boden-Scanner“ (EM38), mit dem die scheinbare elektrische Leitfähigkeit des Bodens bis in eine Tiefe von ungefähr einem Meter gemessen werden kann. Sofern der Bodenwassergehalt innerhalb der Schlagfläche während der Messung hinreichend konstant ist, ist die Kartierung der elektrischen Bodenleitfähigkeit zur Bestimmung der Textur (des Tongehaltes) gut geeignet. Damit ermöglicht das EM38-Messgerät schnell und günstig eine flächendeckende Bestimmung relativer Unterschiede der Bodenart auf der gesamten Versuchsfläche. Die folgenden Abbildungen zeigen das auf einem Schlitten montierte Messgerät sowie die im GIS dargestellte Kartierung der Messwerte:

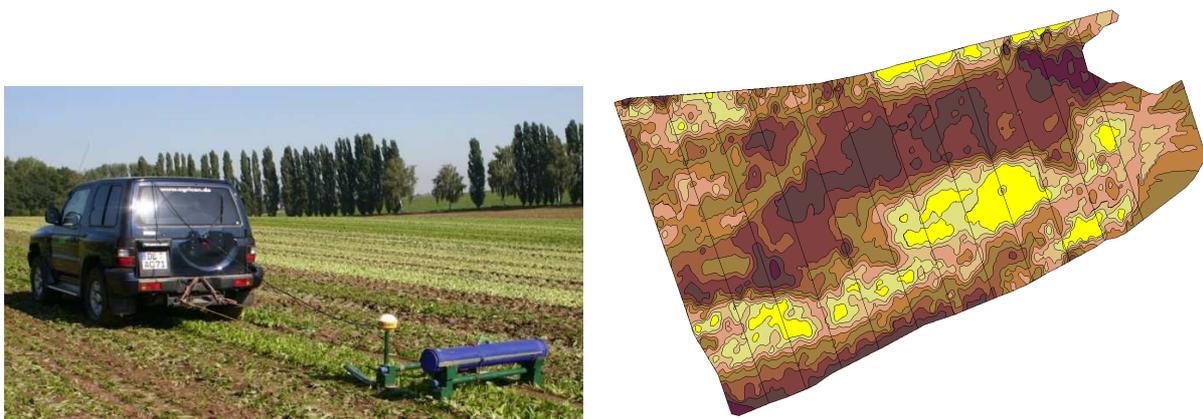


Abb. 3: BodenScanner (EM38); rechts: BodenScanner-Karte

4.2 Relief

Wenn bei der Messung mit dem EM38 ein hinreichend präziser GPS-Empfänger verwendet wird, ist auch das damit gemessene Relief (GPS-Altitude) in der Versuchsauswertung nutzbar. Oft zeigt sich dabei sogar ein sehr enger Zusammenhang der Ertragsverteilung auf der Schlagfläche mit dem Relief (siehe Abbildung: links Relief, rechts Ertrag).

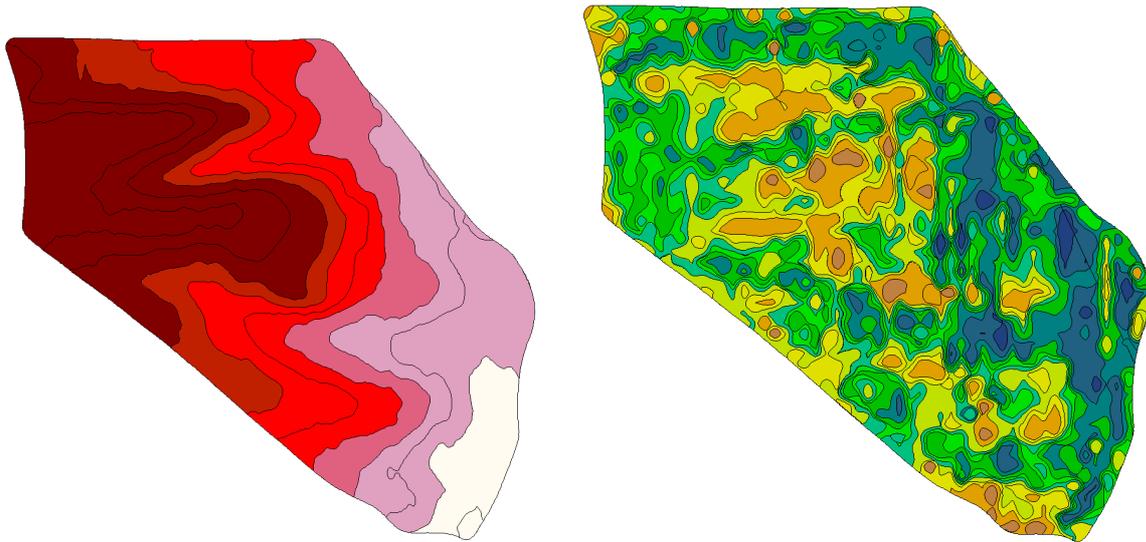


Abb. 4: links: Reliefkarte; rechts: Ertragskarte

4.3 Bodenchemie

Wenn der Schlag mit einem hinreichend engen Probenahmeraster (möglichst kleiner als 5 ha je Teilfläche) auf Nährstoffgehalte und/oder weitere bodenchemische Parameter (z.B. pH-Wert) beprobt wurde und vom Beprober zu den Ergebnissen der Laboranalyse entweder die Probenahmepunkte mit ihren Geokoordinaten oder Verteilungskarten als Polygone mitgeliefert werden, können diese als weitere Störfaktoren in die Versuchsauswertung einfließen. Die folgende Abbildung zeigt die Technik zur geokodierten Bodenbeprobung sowie eine Verteilungskarte von pH-Werten innerhalb eines Schlags:

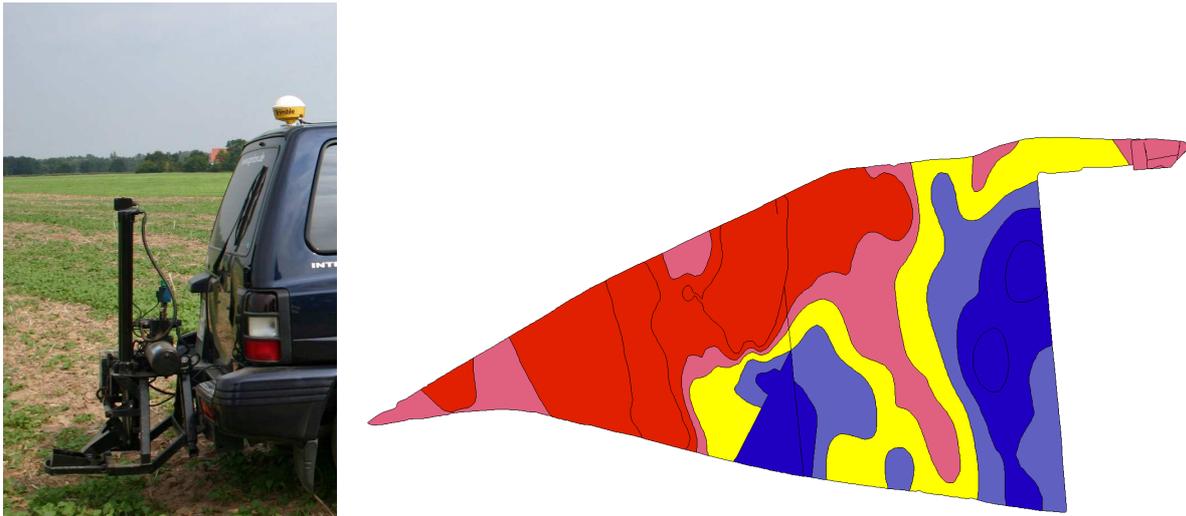


Abb. 5: links: Bodenprobenentnahmegrät; rechts: pH-Karte

4.4 Bestand

Das Problem einer möglichen Ungleichverteilung von versuchsrelevanten Parametern betrifft jedoch nicht nur den Standort, sondern auch den Pflanzenbestand, sofern der Prüffaktor (die Versuchsfrage) erst mitten in der Vegetationsperiode wirksam wird. Dies ist beispielsweise der Fall, wenn im Versuch die Ertragswirksamkeit verschiedener Fungizid- oder Düngestrategien (ab der zweiten Stickstoffgabe) untersucht werden soll. Dann beginnt der eigentliche Versuch auf einem zumeist schon in sich heterogenen Bestand, bei dem der Einfluss des Prüffaktors auf die Zielgröße durchaus auch vollständig von den Unterschieden bei Auflauf, Frostschäden usw. überdeckt werden kann. Daher empfiehlt sich bei derartigen Versuchen auch eine – zumindest relative – Messung der Biomasseverteilung auf der Versuchsfläche. Eine solche Messung kann z.B. mit dem YARA N-Sensor ohne allzu viel zusätzlichen Aufwand (zeitgleich mit Dünger- oder PSM-Ausbringung durchführbar) realisiert werden. Dieser optisch-spektralanalytische Sensor misst berührungslos und bei normaler Arbeitsgeschwindigkeit die Biomasse und deren Stickstoffaufnahme in einem Messbereich von ungefähr 5 bis 10 Meter rechts und links der Fahrspur.

Die Messwerte des N-Sensors haben primär die Aufgabe, eine bedarfsgerechte Regelung der N-Düngung in Echtzeit zu ermöglichen, sie werden vom Messgerät jedoch auch gespeichert und stehen somit für eine Berücksichtigung als Störfaktoren in OFR-Versuchen zur Verfügung. Die folgende Abbildung zeigt einen auf dem Schlepperdach montierten N-Sensor sowie die Verteilungskarte des damit gemessenen Spektralindex der Stickstoffaufnahme auf einem Schlag:

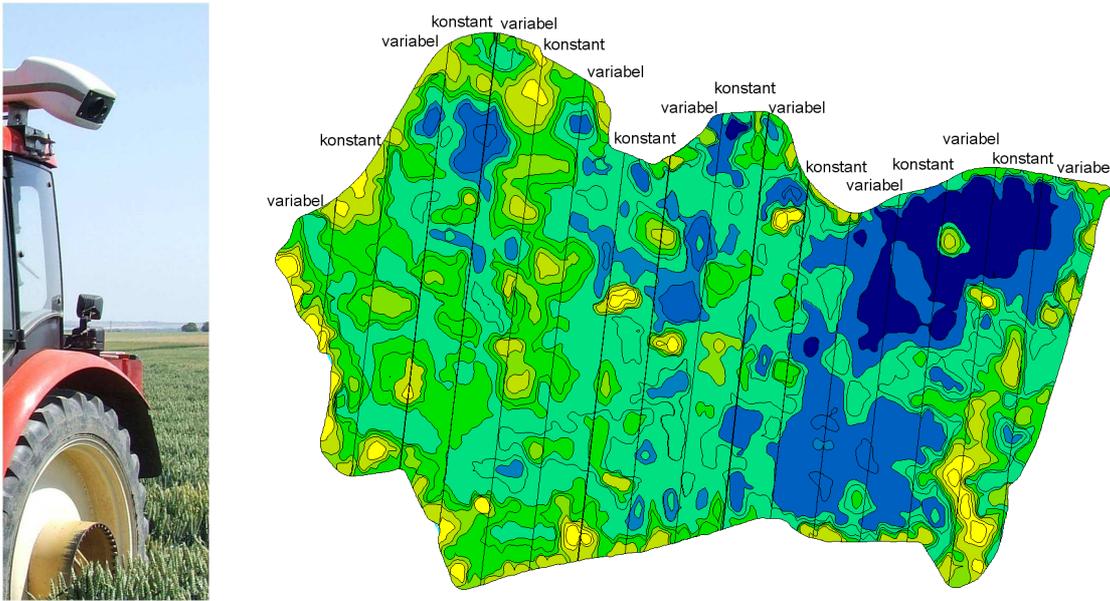


Abb. 6: links: YARA N-Sensor ALS; rechts: Karte

5. Durchführung der pflanzenbaulichen Arbeiten bis zur Ernte

Alle Bewirtschaftungsarbeiten, die nicht aufgrund der Versuchsfrage ohnehin in den Versuchsgliedern unterschiedlich durchgeführt werden müssen, sollten nach Möglichkeit ganzflächig in gleicher Weise und dabei auch ohne eine weitere Berücksichtigung der Versuchsglieder stattfinden. Dies betrifft insbesondere auch die Durchführung des Mähdruschs – die einzelnen Streifen müssen also nicht gesondert abgeerntet werden. Sofern überhaupt die Möglichkeit besteht, die gesamte Versuchsfläche in einem Durchgang und idealerweise mit nur einem Mähdrescher abzuernten, sollte dies auch realisiert werden. Kommen hingegen mehrere Mähdrescher auf der Versuchsfläche zum Einsatz, wäre eine solche Arbeitsorganisation sinnvoll, bei der jeder Drescher ungefähr gleiche Anteile an den Versuchsgliedern aberntet. Beim Mähdrusch ist weiterhin unbedingt darauf zu achten, entweder tatsächlich mit voller Schneidwerksbreite zu fahren oder die Übergänge von und zu Teilbreiten möglichst lückenlos und verzögerungsfrei zu dokumentieren.

Wenn im Betrieb ein N-Sensor verfügbar ist, so kann dieser auch zur Bestandsüberwachung während der Hauptwachstumszeit genutzt werden. Insbesondere im Zeitabschnitt bis zur Abreife lassen sich eventuelle Unterschiede zwischen den Versuchsgliedern so auch schon vor der Ernte anhand der Kartierung von Biomasse und Stickstoffaufnahme erkennen. Dies dient zugleich der

Vorbereitung des Erntezeitpunkts, der unter Umständen nicht für alle Versuchsglieder gleichermaßen günstig gewählt werden kann.

6. Aufbereitung der Versuchsdaten

Wenn der pflanzenbauliche Teil des Versuchs – üblicherweise mit der Ernte – abgeschlossen ist, sollten alle versuchsrelevanten Daten soweit vorhanden sein, dass sie ins GIS eingelesen und dort aufbereitet werden können. Je nachdem, mit welchem Ertragskartiersystem die Ertragsdaten geschrieben wurden, ist eventuell noch eine Formatumwandlung der Rohdaten vom Mähdrescher in ein Standardformat (z.B. ESRI Shape oder CSV) notwendig. Hierzu liefern die Hersteller von Ertragskartiersystemen zumeist auch ein entsprechendes Spezialprogramm für den Windows-PC mit aus. Sofern die Zielgröße des Versuchs der in den Versuchsgliedern geerntete Ertrag ist, müssen die Ertragsdaten vor der eigentlichen Versuchsauswertung noch im GIS aufbereitet werden, damit die darin praktisch immer enthaltenen Datensätze mit Fehlmessungen entfernt werden können. Dabei empfiehlt sich nicht nur eine tabellarische Datensicht zur Kontrolle auf Extremwerte, sondern auch eine grafische Ansicht im GIS, mit der die räumliche Werteverteilung beispielsweise durch eine entsprechende farbliche Darstellung der Ertragsmesspunkte visuell verdeutlicht wird. Die folgenden Abbildungen zeigen beispielhaft den Ausschnitt einer Ertragskartierung (links roh, rechts bereinigt):

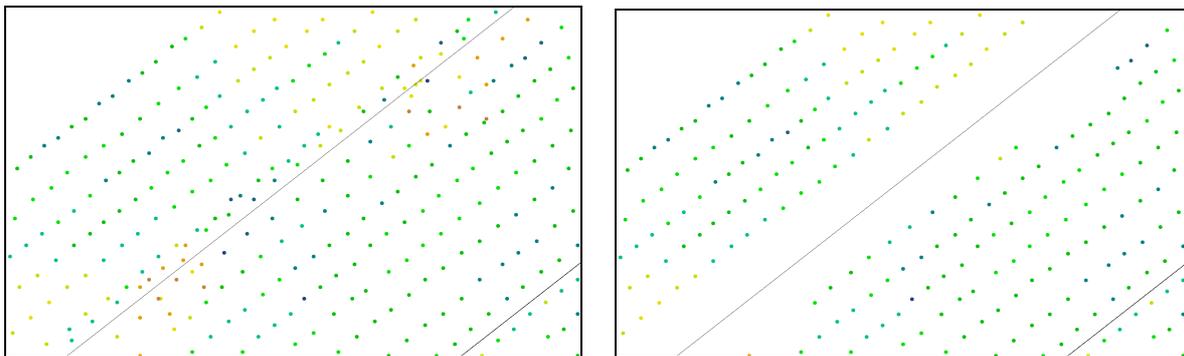


Abb. 7: links: Ertragsrohdaten; rechts: um Messfehler bereinigter Ertragsdatensatz

Aus den Rohdaten der Ertragskartierung sind weiterhin die Bereiche des Vorgewendes zu entfernen. Bei einer visuellen Kontrolle der Ertragsdaten sollte auch darauf geachtet werden, ob sich einzelne Spuren sehr stark von ihren Nachbarspuren unterscheiden. Diejenigen Datensätze, in denen der Mähdrusch mit Teilbreite infolge einer entsprechenden Einstellung des Drescherfahrers vermerkt ist, sollten ebenfalls entfernt werden, da eine Hochrechnung der Werte entsprechend

des Verhältnisses der Teilbreite zur Gesamtarbeitsbreite meist zu Ergebnissen von zweifelhafter Plausibilität führt.

Ebenso zu entfernen sind solche Spuren, die entweder direkt auf einer Grenze zwischen verschiedenen Versuchsgliedern liegen oder von einer solchen Grenze nicht weit genug entfernt sind. Die Entscheidung über den notwendigen Abstand der zu berücksichtigenden Daten zu den Grenzen der Versuchsglieder ist dabei nicht zuletzt davon abhängig, mit welcher Genauigkeit die entsprechenden Geokoordinaten erzeugt wurden.

Grundsätzlich sollten möglichst nur vollständige (oder zumindest längere) Spuren mit voller Schneidwerksbreite in Hauptarbeitsrichtung, welche den Versuchsgliedern eindeutig zugeordnet werden können, in der Ertragskartierung verbleiben – auch wenn damit die entsprechende Datenmenge möglicherweise stark reduziert wird. Die folgenden Abbildungen zeigen eine Ertragskartierung, die nach diesen Grundsätzen aufbereitet wurde (links roh, rechts bereinigt):

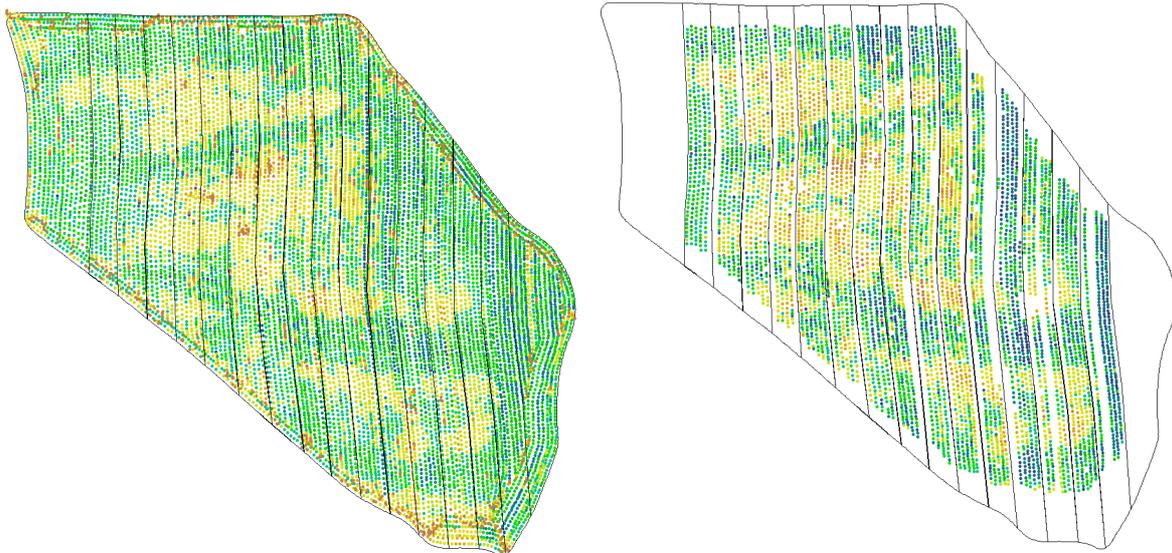


Abb. 8: links: Ertragsrohdaten; rechts: Ertragsdaten um Messfehler (z.B. Vorgewende) bereinigt

Wenn die Versuchsfäche von mehreren Mähdreschern abgeerntet wurde und dabei die Ertragskartierungen der einzelnen Drescher jeweils möglichst gleichmäßig zwischen den Versuchsgliedern verteilt sind, sollte eine Überprüfung der Ertragsdaten daraufhin erfolgen, ob hier möglicherweise Unterschiede bei der Kalibrierung zu divergierenden Ertragsmitteln geführt hat. Eventuell abweichende Ertragsdaten einzelner Mähdrescher müssten dann an das Gesamtmittel aller Ertragsdaten angeglichen werden.

Im nächsten Schritt der Datenaufbereitung sind alle versuchsrelevanten Daten (z.B. Werte von EM38-Messung, Bodenbeprobung, Bestandsanalyse mit dem N-Sensor, „as-applied“-Aufzeichnung teilflächenspezifischer Dünger- und/oder PSM-Ausbringung) über ihren räumlichen Bezug zur Zielgröße des Versuchs (üblicherweise der Ertrag) mit dieser zu verknüpfen. Dabei wird für jeden Messpunkt der Zielgröße jeweils der nächstliegende Punkt aller weiteren Versuchsfaktoren gesucht und dessen Messwert dem Datensatz hinzugefügt. Hierfür muss im GIS eine entsprechende Funktion („Join“) verfügbar sein.

Die folgende Abbildung zeigt beispielhaft die im GIS übereinander gelegten Messpunkte der Ertragskartierung (Kreise), der EM38-Messung (Quadrate) sowie der Messung mit dem N-Sensor (Dreiecke):

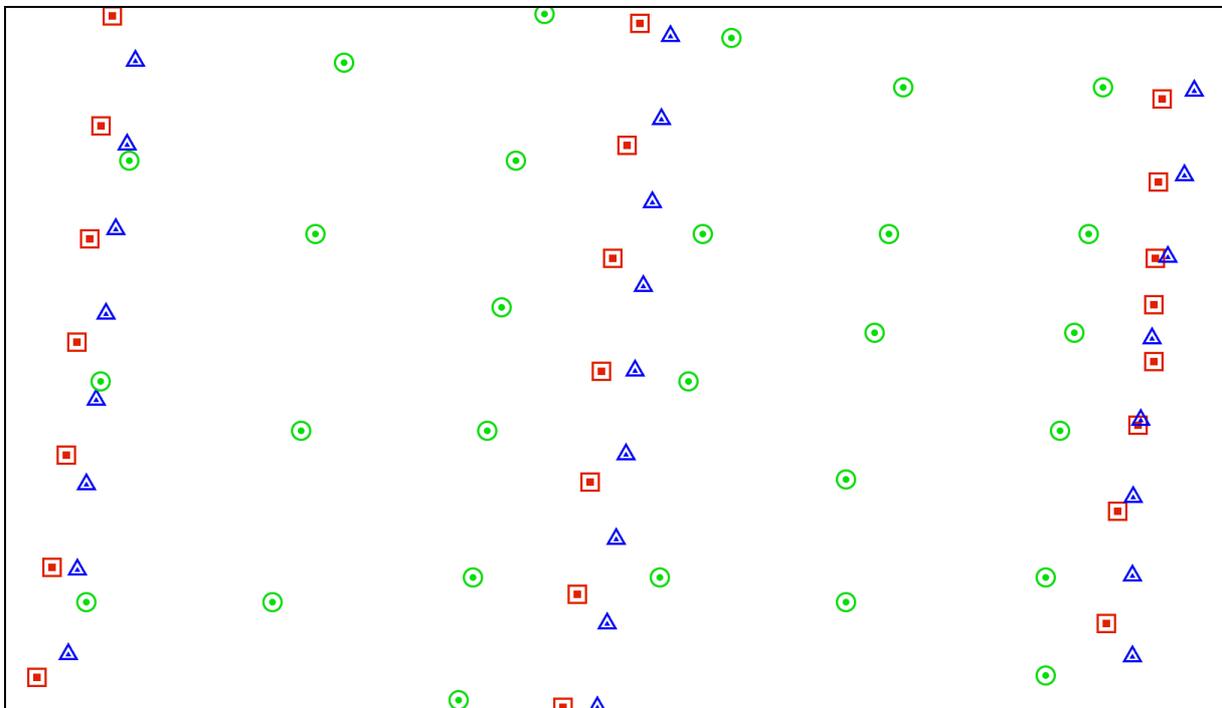


Abb. 9: Datensätze

Als Endergebnis der Datenaufbereitung sollte schließlich eine einzige Datentabelle vorliegen, die zeilenweise alle Messpunkte der Zielgröße und spaltenweise die über ihren räumlichen Bezug zugeordneten Messwerte aller versuchsrelevanten Daten enthält (siehe Abb. 10):

	A	B	D	F	G	H	I	J	K	L
1	System	Ertrag	EM38	HOEHE	BIOMASSE	N2	N3	NGESAMT	NEFFIZIENZ	
37680	konstant	53,30	107,27	100,33	7,18	70	43	202	0,02639	
37681	Sensor	54,80	107,44	100,82	10,50	59	44	192	0,02854	
37682	Sensor	55,20	107,44	100,82	10,50	59	44	192	0,02875	
37683	Sensor	59,60	107,44	100,82	10,29	60	45	194	0,03072	
37684	Sensor	47,20	107,44	100,82	10,29	60	45	194	0,02433	
37685	Sensor	52,80	107,44	100,82	10,50	59	44	192	0,02750	
37686	Sensor	53,80	107,44	100,82	10,50	59	44	192	0,02802	
37687	Sensor	55,30	107,44	100,82	10,29	60	45	194	0,02851	
37688	Sensor	54,00	107,44	100,82	10,29	60	45	194	0,02784	
37689	Sensor	57,10	108,13	100,59	7,72	80	40	209	0,02732	
37690	Sensor	56,00	108,13	100,59	8,39	74	40	203	0,02759	
37691	Sensor	56,70	108,13	100,59	8,39	74	40	203	0,02793	
37692										
37693										

Abb. 10: Datentabellen aller Datensätze

7. Versuchsauswertung mit Tabellenkalkulation oder Geostatistik

Das Versuchsergebnis kann aus der Gesamtdatentabelle auf zwei verschiedenen Wegen berechnet werden. Beide – nachfolgend erläuterte – Wege sind ergänzend oder alternativ durchführbar. Die erste Methode erfordert lediglich die Verwendung einer allgemein gebräuchlichen Software zur Tabellenkalkulation (z.B. Excel oder StarOffice bzw. OpenOffice), die zweite Methode hingegen spezielle Programme zur geostatistischen Datenanalyse und entsprechende Fachkenntnisse.

7.1 Auswertung mit Excel & Co.

Bei Verwendung der Tabellenkalkulation gilt es zunächst einmal, denjenigen Versuchsfaktor herauszufinden, der unabhängig von der Versuchsfrage den größten Einfluss auf die Zielgröße hat. Das können beispielsweise die Messwerte vom EM38 oder vom N-Sensor sein. Hierzu wird für alle in Frage kommenden Faktoren deren Korrelation mit der Zielgröße berechnet. In den Programmen zur Tabellenkalkulation lassen sich dafür solche Funktionen wie *BESTIMMTHEITSMASS* (Quadrat des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten), *KORREL* (Korrelationskoeffizient zweier Reihen von Merkmalsausprägungen) oder *PEARSON* (Pearsonscher Korrelationskoeffizient) verwenden.

Die folgende Tabelle zeigt die Korrelationen (nach Pearson) der auf einem Versuchsschlag von 2007 gemessenen Faktoren, wobei die Biomasseverteilung (N-Sensor) mit einem Wert von 0,34 den engsten Bezug zum Ertrag hat:

Tab. 1: Korrelationen

	Ertrag	Relief	EM38	N-Sensor
Ertrag		-0,12	0,09	0,34
Relief	-0,12		-0,06	-0,30
EM38	0,09	-0,06		0,08
N-Sensor	0,34	-0,30	0,08	

Der Versuchsfaktor mit der größten Korrelation zur Zielgröße wird dann dazu genutzt, die Datensätze nicht nur nach der Versuchsfrage (z.B. Düngestrategie A und Düngestrategie B), sondern auch nach dem einflussreichsten Störfaktor zu klassifizieren. Dazu wird der Wertebereich dieses Störfaktors in mehrere Bereiche unterteilt (z.B. sehr geringe, geringe, mittlere, hohe sowie sehr hohe scheinbare elektrische Bodenleitfähigkeit). Die Zielgröße ist damit sowohl nach Versuchsglied als auch nach Störgröße auswertbar – alle Messpunkte, die sowohl im gleichen Versuchsglied als auch in der gleichen Störfaktorklasse liegen, können jetzt zusammengefasst werden. Die folgende Tabelle zeigt beispielhaft das Ergebnis einer solchen Auswertung, bei der die Erträge der Versuchsglieder um den Einfluss der scheinbaren elektrischen Bodenleitfähigkeit („BodenScanner“-Klassen BSK 1-5) bereinigt wurden:

Tab. 2: Auswahl nach BodenScanner-Klassen (EM38-Klassen)

		BSK 1	BSK 2	BSK 3	BSK 4	BSK 5	Mittelwerte
Konstant	Anzahl Ertragsmesspunkte	4355	3848	4020	3800	3640	
	Mittelwert Ertrag (dt/ha)	53,80	57,63	57,39	58,61	61,77	57,84
Sensor	Anzahl Ertragsmesspunkte	3145	3652	3480	3700	4050	
	Mittelwert Ertrag (dt/ha)	56,80	59,57	60,05	61,32	62,66	60,08

Die Ergebnisse einer solchen – vergleichsweise sehr einfachen – Auswertungsmethode widerspiegeln in den meisten Fällen hinreichend genau das tatsächliche Geschehen auf der Versuchsfläche, das haben schon Hunderte Praxisversuche der Agri Con deutlich gezeigt. Trotzdem besteht hierbei jedoch grundsätzlich das Problem, dass sowohl die zwischen benachbarten Messpunkten existierenden räumlichen Abhängigkeiten (Autokorrelation) als auch die Signifikanzen der Ergebnisse unberücksichtigt bleiben.

7.2 Auswertung mit Geostatistik

Aus diesem Grunde wurde von Agri Con eine völlig neue Methode konzipiert, realisiert und bereits in zahlreichen Versuchsauswertungen erprobt. Diese beruht auf geostatistischen Untersuchungsmethoden (Semivariogramm, Parameterschätzung

mit verallgemeinerten kleinsten Quadraten, Varianzanalyse) und hat für die Auswertung von OFR-Feldversuchen vor allem folgende Vorteile:

- Die räumliche Verteilung der Messpunkte auf der Versuchsfläche wird angemessen berücksichtigt (weiter voneinander entfernte Messpunkte werden stärker gewichtet).
- Es können gleichzeitig bis zu zwei experimentelle Faktoren, deren eventuelle Interaktion sowie beliebig viele weitere (voneinander unabhängige) Störgrößen darauf geprüft werden, welchen Einfluss sie auf die Zielgröße (z.B. den Ertrag) ausüben.
- Für jeden Faktor wird nicht nur die Höhe seiner Einflussnahme auf die Zielgröße berechnet, sondern auch die so genannte Signifikanz (ein Ausdruck der Wahrscheinlichkeit, dass Unterschiede bzw. Zusammenhänge nur zufällig bestehen).

Im Verlauf einer solchen Versuchsauswertung ermittelt das Programm dabei, welcher Anteil der Gesamtvarianz auf kleinräumige Variabilität und/oder Messfehler der Zielgröße entfällt („range“ und „nugget“).

In der Varianzanalyse (ANOVA) schließlich wird jeder Faktor mit einem so genannten F-Test geprüft; ist der damit errechnete so genannte p-Wert kleiner als 0,05 (dies entspricht einem Signifikanzniveau von 95%), so kann daraus geschlossen werden, dass der entsprechende Faktor einen tatsächlichen Einfluss auf die Zielgröße hat.

Das nachfolgend dargestellte Beispiel zeigt die Ergebnisse eines Praxisversuchs, bei dem der mit einer teilflächenspezifisch variablen N-Düngung erzielte Ertrag mit dem einer konstanten N-Düngung verglichen wurde (je Versuchsglied abwechselnd fünf Streifen von jeweils drei Arbeitsbreiten).

Die bereinigte Ertragskartierung enthielt 4870 Messpunkte innerhalb des Versuchsglieds „konstante N-Düngung“ (Mittelwert 63,71 dt/ha) sowie 4479 Messpunkte innerhalb des Versuchsglieds „variable N-Düngung“ (Mittelwert 68,58 dt/ha).

Die einzige gemessene Störgröße war die Bestandsheterogenität zu Versuchsbeginn (spektralanalytische Untersuchung der Biomasse bzw. ihrer N-Aufnahme mit dem N-Sensor auf dem gesamten Schlag vor Beginn der differenzierten Düngung im Versuchsglied „variable N-Düngung“ am 31.03.2007). Nach Durchführung der geostatistischen Datenauswertung liegen folgende Versuchsergebnisse vor:

Die experimentellen Faktoren haben insgesamt einen zum 5%-Niveau signifikanten Einfluss auf den Ertrag (Wald-Test: p-Wert <0,001).

- Der Faktor „variable N-Düngung“ wirkt sich zum 5%-Niveau signifikant auf den Ertrag aus (Likelihood-Ratio-Test: p-Wert <0,001).
- In Relation zum Referenzfaktor „konstante N-Düngung“ bewirkte der isolierte Faktor „variable N-Düngung“ einen hoch signifikanten Mehrertrag von 2,47 dt/ha.
- Die zu Versuchsbeginn gemessene Bestandsheterogenität (S1-Index) erklärt hoch signifikant eine Ertragsdifferenz von 1,79 dt/ha.

Die folgende Tabelle zeigt die Parameterschätzung sowie die Ergebnisse der Signifikanztests im linearen Modell mit verallgemeinerten kleinsten Quadraten:

Tab. 3: Signifikanzanalyse

Versuchsfaktor	Wert	Standardabweichung	p-Wert	Signifikanz
variable N-Düngung	2,47	0,74	0,0008	***
Bestandsheterogenität	1,79	0,14	<0,0001	***

Das folgende Diagramm verdeutlicht das Ergebnis dieser Auswertung:

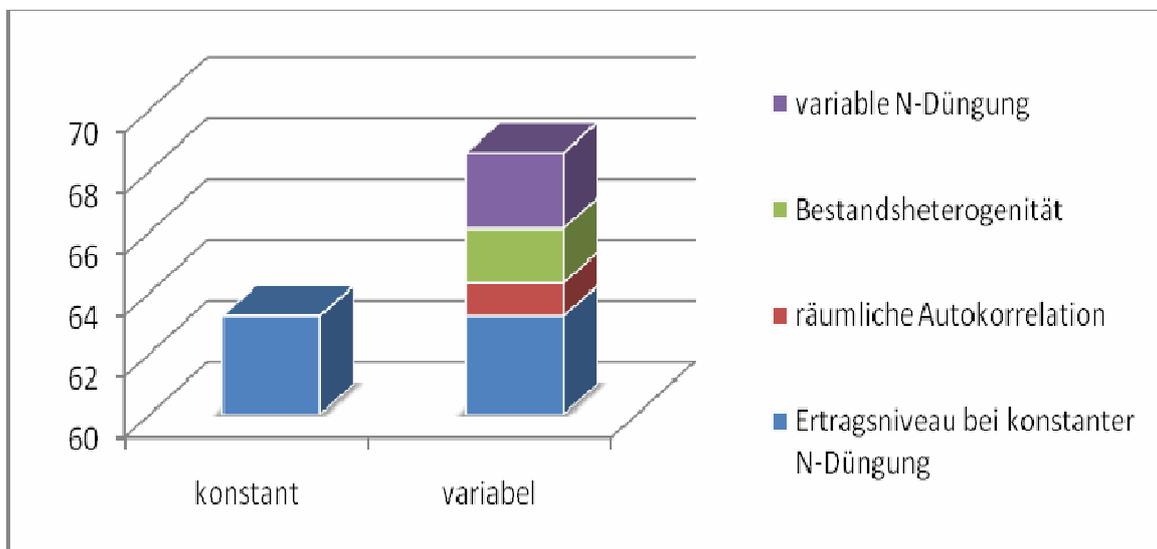


Abb. 14: Ergebnis der Auswertung nach OFR-Methodik

Die Differenz von 4,87 dt/ha zwischen den Ertragsmittelwerten beider Versuchsglieder beruht größtenteils auf dem Einfluss des Hauptversuchsfaktors („variable N-Düngung“). Ein weiterer Teil dieser Differenz kann durch die Bestandsunterschiede zu Versuchsbeginn erklärt werden. Ein kleinerer Rest

schließlich beruht auf der räumlichen Verteilung (Autokorrelation) der Ertragsmesspunkte oder weiteren (unbekannten) Einflussgrößen. Der variablen N-Düngung kann somit direkt eine Ertragssteigerung um 3,9 % zugerechnet werden.

8. Datenverarbeitung in Eigen- oder Dienstleistung

Die bisherigen Ausführungen haben die vollständige Durchführbarkeit von betrieblichen Feldversuchen mit den Methoden der *On-Farm Research* für Betriebe und/oder deren Berater aufgezeigt. Sofern die Mindestanforderungen an die hierfür benötigte Technik erfüllt sind, können derartige Versuche völlig selbständig geplant, angelegt und bis zur Ernte durchgeführt werden. Auch die notwendige Aufbereitung und Zusammenführung der Versuchsdaten in einem GIS kann in Eigenleistung erfolgen, wenn ein dazu geeignetes Programm zur Verfügung steht. Selbst die Versuchsauswertung (mittels eines Programms zur Tabellenkalkulation) muss nicht unbedingt einem Dienstleister übertragen werden. Damit besteht insgesamt eine äußerst kostengünstige Möglichkeit zur regelmäßigen bzw. wiederholten Durchführung von Feldversuchen im eigenen Betrieb. Wer hingegen nur einmalig einen solchen Versuch realisieren und hierfür nicht erst ein GIS erwerben und sich darin einarbeiten will, kann für diesen Teil der Datenverarbeitung auch einen entsprechend qualifizierten Dienstleister beauftragen. Entscheidend für die kostengünstige Durchführbarkeit von OFR-Feldversuchen ist und bleibt dabei immer die Tatsache, dass der größte Teil des Versuchs sozusagen „nebenbei“ innerhalb der betriebsüblichen pflanzenbaulichen Arbeiten stattfindet.

Angesichts der zunehmenden wirtschaftlichen Bedeutung höherer Erträge (bzw. geringerer Ertragsausfälle) sind Landwirtschaftsbetriebe insbesondere dann, wenn der Einsatz besonders ertrags- und/oder qualitätswirksamer Betriebsmittel (v.a. Dünge- und Pflanzenschutzmittel) zu optimieren ist, auf die Ergebnisse von Praxisversuchen angewiesen. Mit *On-Farm Research* haben die Betriebe nunmehr auch selbst die Möglichkeit, derartige Versuche in Eigenregie zu realisieren.