

## **OFE-Feldversuch des hessischen Pflanzenschutzdienstes zur Wirkung eines Fungizideinsatzes zur Rapsblüte auf den Ertrag von Winterraps**

*On-Farm-Experiment mit georeferenzierten Daten, bei denen kein Prüfglied mit teilflächenspezifischer Applikation existiert*

### **Zusammenfassung**

In einem vom Hessischen Pflanzenschutzdienst in Kooperation mit einem Landwirt auf einer Praxisfläche angelegten Einzelversuch wurde die Wirkung von zwei Fungiziden zur Blütenbehandlung in Winterraps im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle untersucht. Als Versuchsanlage wurde eine randomisierte Blockanlage mit Großparzellen in drei Wiederholungen gewählt. In jeder Parzelle wurde durch streifenweise Kernbeerntung der Parzellen mit einem praxisüblichen Mähdrescher eine große Zahl Einzelmessungen mit georeferenzierter online-Ertragserfassung erhalten. Hinsichtlich der im OFR-Leitfaden vorgenommenen Klassifizierung handelt es sich um ein *On-Farm-Experiment mit georeferenzierten Daten, bei denen kein Prüfglied mit teilflächenspezifischer Applikation existiert*. Die kalibrierten Werte aus der Ertragserfassung wurden mit einem geostatistischen Modell verrechnet. Dieses Modell erlaubte eine optimale Nutzung aller zur Verfügung stehenden Informationen und zeigte eine höhere Vorhersagegüte als Modelle ohne explizite Modellierung der räumlichen Korrelationsstruktur.

Durch Fungizideinsatz zur Blüte konnte gegenüber der Kontrolle ein signifikanter Mehrertrag erzielt werden. Zwischen den beiden eingesetzten handelsüblichen Fungiziden konnten keine Unterschiede in der Ertragswirkung nachgewiesen werden.

### Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung .....	1
Versuchsfrage und Gültigkeitsbereich.....	2
Planfaktoren und Störfaktoren .....	2
Versuchsanlage .....	2
Datenerhebung und Datenaufbereitung .....	3
Modellbildung und Modellselektion .....	6
Ergebnisse, Interpretation und Diskussion .....	18
Anhang .....	20

## Versuchsfrage und Gültigkeitsbereich

Der Versuchsansteller möchte Informationen erhalten über die Wirkung zweier Fungizide, appliziert zur Rapsblüte, auf den Kornertrag von Winterraps im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle. Die Nullhypothese lautet: *Ertrag unbehandelt = Ertrag nach Applikation von Fungizid 1 = Ertrag nach Applikation von Fungizid 2*. Es handelt sich um einen Einzelversuch. Der Gültigkeitsbereich ist daher auf die Bedingungen des Standortes und die Witterung des Versuchsjahres begrenzt. Neben dem Variantenvergleich diente der Versuch dem Ziel, Erfahrungen mit der Versuchsmethodik zu gewinnen.

## Planfaktoren und Störfaktoren

Behandlungseffekte = Drei Behandlungsvarianten: (1) Einsatz Fungizid *Proline* zur Vollblüte, (2) Einsatz Fungizid *Harvesan* zur Vollblüte, (3) unbehandelte Kontrolle. Ansonsten einheitliche, betriebsübliche Führung des Winterrapsbestands bis zum Zeitpunkt der Vollblüte (EC 65). Designeffekte = Drei Wiederholungen der Varianten in Blocks. Der Versuch wurde auf einer 6 ha großen Fläche (Lehm / toniger Lehm, 50-55 Bodenpunkte) angelegt. Bodenunterschiede sind zu erwarten, wurden jedoch nicht sensorisch erfasst.

## Versuchsanlage

Als Versuchsanlage wurde eine randomisierte vollständige Blockanlage mit drei Wiederholungen gewählt. Die Parzellenbreite betrug 30 m. Die Parzellenlängen orientierten sich an der Feldgeometrie: Nettoparzellenlänge westlich ca. 240 m, östlich, ca. 120 m. Die beiden Vorgewende (nicht zum Versuch gehörig) wiesen eine Breite von 27 m auf. (Abb. 1)

Der Landwirt legte die Varianten gemäß des Versuchsplanes (Abb.1) mit einer handelsüblichen 15 m Feldspritze an. Die Fungizide wurden am 22.04.2009 im Stadium der Vollblüte (EC 65) mit 400 l Wasser, bei einer Fahrgeschwindigkeit von 4 km/h unter Verwendung von 0,25er Düsen appliziert.



Abb. 1: Lage der Varianten. Rot umrandete Flächen bilden jeweils einen vollständigen Block. Blasen stellen Einzelmessungen der Ertragsfassung dar.

## Datenerhebung und Datenaufbereitung

Zur Ernte (27.07.2009) wurden die Parzellen im Kerndrusch mit GPS-Ertragserfassung (System Class/Agrocom) geerntet. Innerhalb einer Parzelle wurden 1 bis 3 Spuren gedroschen. In unserem Versuch wurde nur ein Mähdrescher verwendet, um systematische Fehler auf ein Minimum zu begrenzen. Die Ertragserfassung wurde anhand realer Wiegeungen kalibriert. Der Wert der auf einer Radlastwaage ermittelten Parzellenerträge wurde durch den jeweiligen Durchschnittswert der Sensordaten der entsprechenden Parzelle dividiert (Tab. 1). Mit dem resultierenden parzellenspezifischen Korrekturfaktor wurden die online-Messdaten der Ertragserfassung der einzelnen Parzellen adjustiert. Die hohe Schwankung der Korrekturfaktoren in Tab. 1 zeigt dass einerseits eine solche Kalibrierung unerlässlich ist, sie ist andererseits aber auch ein Hinweis darauf, dass entweder die Messung auf der Radlastwaage oder die Sensormessung oder beide relativ hohen Messfehlern unterliegen. Die jeweils ersten sechs Ertragsmesspunkte bei den Einfahrten in die Parzellen wurden verworfen, da hier erst ein kontinuierlicher Ertragsmessstrom aufgebaut wird und diese Werte nicht repräsentativ sind. Die Frischmassen wurden auf einen Trockensubstanzgehalt von 91 % korrigiert. Weitere Details zur Messtechnik des Mähdreschers sind im Anhang angegeben.

Eine varianzanalytische Prüfung der Parzellenerträge in Tab. 1 ergab für die Ermittlung mittels Radlastwaage einen signifikanten Mehrertrag der Fungizid behandelten Varianten 1 und 2 gegenüber der unbehandelten Kontrolle (Variante 3) (Tab. 2). Die Erträge der online Ertragserfassung zeigten dagegen keinen signifikanten Behandlungseffekt! Die Kalibrierwerte unterschieden sich zwischen den Varianten, jedoch ebenfalls nicht signifikant.

Tab. 1: Mittlerer Parzellenertrag nach online Ertragserfassung und Radlastwaage

Parzelle	Variante	Block	Mittlerer Ertrag online Ertragserfassung	Mittlerer Ertrag Radlastwaage	Kalibrierwert
1	1	1	5.77	5.49	0.95
2	2	1	5.91	5.46	0.92
3	3	1	5.20	4.76	0.92
4	1	2	4.74	5.40	1.14
5	3	2	5.42	4.54	0.84
6	2	2	5.76	5.40	0.94
7	3	3	5.41	4.49	0.83
8	1	3	6.20	5.38	0.87
9	2	3	6.04	5.77	0.96

Tab. 2: Mittelwerte der Varianten nach online Ertragserfassung und Radlastwaage

Variante	Mittlerer Ertrag online Ertragserfassung	Mittlerer Ertrag Radlastwaage	Kalibrierwert
1	5.57	5.42	0.986
2	5.90	5.54	0.939
3	5.34	4.59	0.861
LSD 5%	0.95	0.36	0.204

Grenzdifferenz für Variantenvergleich berechnet mit Modell "Randomisierte Blockanlage".

### Prüfung der Datenqualität

Der mittlere Ertrag der Parzellen nach Kalibrierung der Sensordaten lag zwischen 4.6 t/ha und 5.9 t/ha (Tab. 3). In jedem Block zeigte die Variante 3 „unbehandelte Kontrolle“ jeweils den geringsten Ertrag. Die Variationskoeffizienten innerhalb einer Parzelle lagen zwischen 4.7% und 8.9%. In den Parzellen 2, 4 und 9 traten einzelne sehr hohe Erträge auf (Abb. 2). Diese waren mehr als 3 Standardabweichungen von ihrem Mittelwert entfernt, wären also auf Basis eines 3-sigma-Tests als Ausreißer zu verwerfen gewesen. Da die Werte dennoch plausibel waren, wurden alle Werte für die weitere Auswertung berücksichtigt.

Tab. 3: Mittlerer Ertrag, Minimum, Maximum und Standardabweichung je Parzelle (kalibrierte online Ertragserfassung)

Parzelle	Block	Variante	N	Mean	Minimum	Maximum	StdDev	CV	z_min	z_max
1	1	1	32	5.61	5.15	6.22	0.26	4.7%	-1.75	2.32
2	1	2	32	5.58	4.81	6.70	0.33	5.9%	-2.33	3.38
3	1	3	23	4.87	4.40	5.43	0.32	6.6%	-1.47	1.74
4	2	1	55	5.54	5.01	6.87	0.34	6.2%	-1.54	3.86
5	2	3	51	4.65	3.60	5.82	0.41	8.9%	-2.54	2.83
6	2	2	38	5.48	4.89	6.42	0.34	6.3%	-1.73	2.72
7	3	3	61	4.60	3.99	5.43	0.41	8.8%	-1.51	2.05
8	3	1	40	5.50	4.70	6.47	0.48	8.7%	-1.67	2.03
9	3	2	35	5.88	5.35	6.91	0.31	5.3%	-1.70	3.29

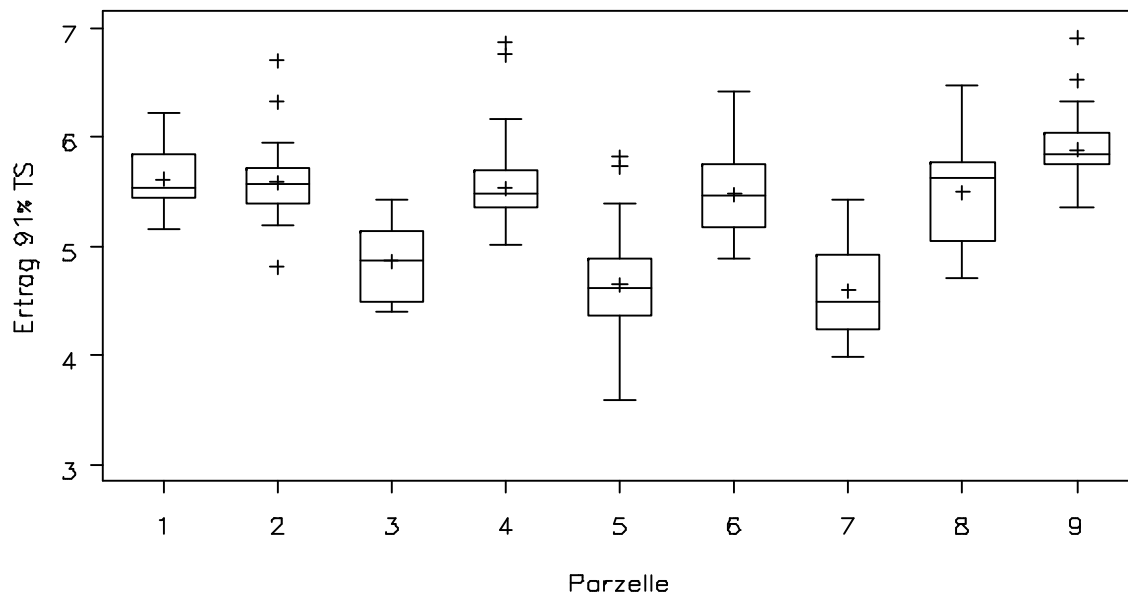


Abb. 2: Boxplot der Erträge [t/ha] in den Parzellen.

### Aufbereitung der Geo-Daten

Für die spätere Modellierung räumlicher Korrelationen ist es vorteilhaft, das Koordinatensystem durch Translation und Rotation so zu modifizieren, dass die wesentlichen Arbeitsrichtungen möglichst parallel oder senkrecht zu den Achsen des Koordinatensystems stehen

und der untere linke Punkt die Koordinaten 0;0 aufweist. Die Drehung wurde im vorliegenden Fall so gewählt, dass in der ersten Spur die Messpunkte im Wesentlichen nur in y-Richtung variieren.

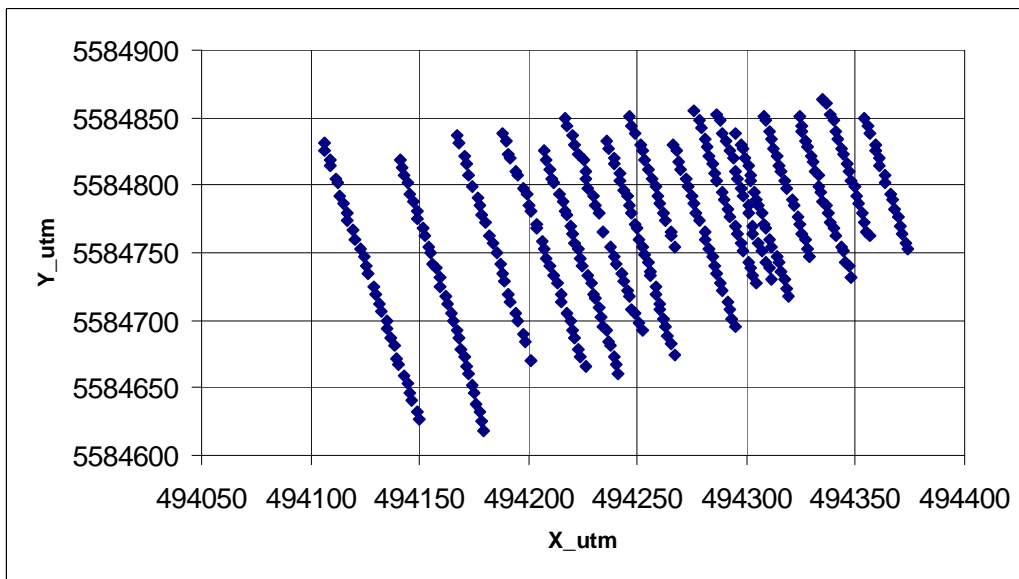


Abb. 3: Messpunkte mit ursprünglichen UTM-Koordinaten

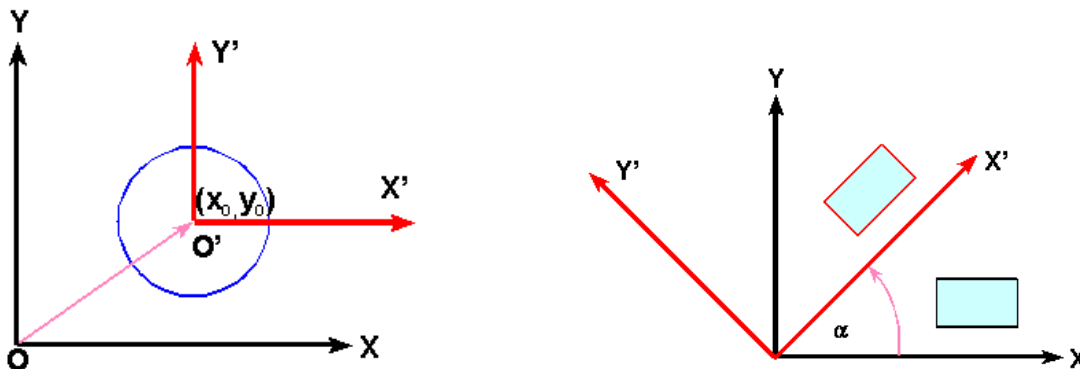


Abb. 4: Translation (links) und Rotation (rechts)

Die Translation wird folgendermaßen berechnet:  $x' = x - x_0$  ;  $y' = y - y_0$

Das neue Koordinatensystem (O',X',Y') hat seinen Nullpunkt dann im Punkt (x<sub>0</sub>, y<sub>0</sub>) des alten Koordinatensystems (O,X,Y).

Die Rotation wird folgendermaßen berechnet:  $x' = x \cos \alpha + y \sin \alpha$  ;  $y' = -x \sin \alpha + y \cos \alpha$

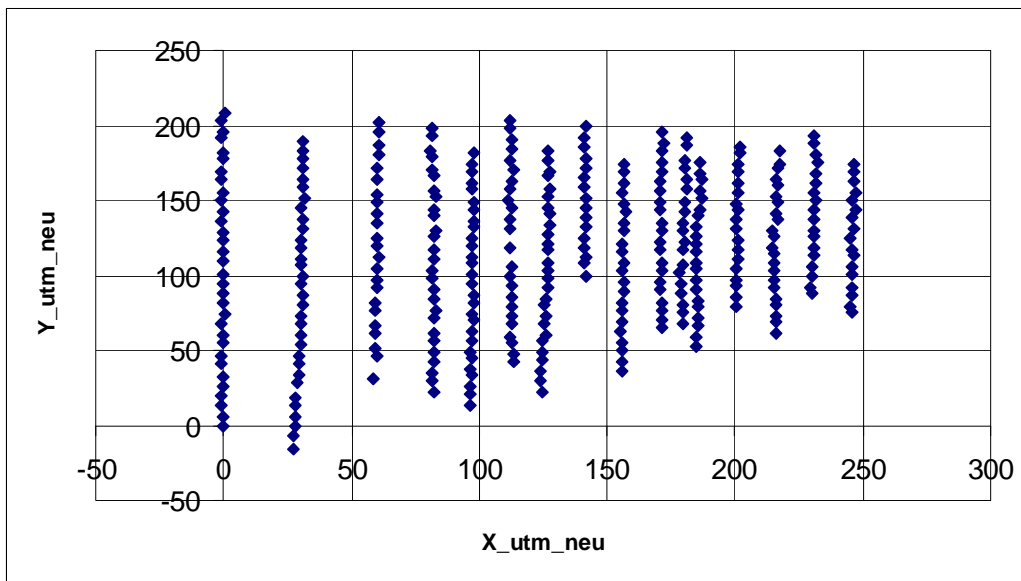


Abb. 5: Messpunkte nach Koordinaten-Transformation

### Modellbildung und Modellselektion

Wiederholte Messungen innerhalb einer Parzelle können nicht als unabhängige Beobachtungen (echte Wiederholungen) betrachtet werden. Die weitere Auswertung muss daher entweder mit den Parzellenmittelwerten erfolgen oder die Korrelation zwischen den einzelnen Messpunkten einer Parzelle muss im Rahmen eines Gemischten Linearen Modells berücksichtigt werden. Wir verwendeten hierfür die REML-Methode innerhalb der Prozedur MIXED der Statistik-Software SAS 9.2. Standardfehler und Freiheitsgrade wurden mit dem in dieser Software verfügbaren Verfahren nach Kenward & Roger (2009) berechnet. Zunächst wurden folgende Modelle für die Erwartungswertstruktur verglichen:

- (EW 0) Ausschließliche Modellierung des fixen Varianteneffekts.

```
class VARIANTE
model Ertrag_Feuchtekorrigiert = VARIANTE
```

- (EW 1) Mittelwertbildung je Parzelle und Modell *Blockanlage* als auf der realen Versuchsanlage gegründetes Basis-Modell.

```
class VARIANTE BLOCK
model Mittelwert_Ertrag_Feuchtekorrigiert = VARIANTE BLOCK
```

- (EW 2) „*Spaltanlage*“ mit Blocks, mit Parzellen als Großteilstücken und mit einzelnen Messpunkten als Kleinteilstücken innerhalb der Parzellen. Für alle Paare von Messpunkten innerhalb einer Parzelle wird unabhängig von der räumlichen Distanz und Richtung die gleiche Korrelation angenommen.

```
class VARIANTE BLOCK PARZELLE
model Ertrag_Feuchtekorrigiert = VARIANTE BLOCK
random PARZELLE
```

- (EW 3) „*Spalt-Spaltanlage*“ mit Blocks, mit Parzellen als Großteilstücken, mit Druschspuren innerhalb der Parzellen als Mittelteilstücken und einzelnen Messpunkten als

Kleinteilstücken innerhalb der Druschspuren. Für alle Paare von Messpunkten innerhalb einer Druschspur wird unabhängig von der räumlichen Distanz die gleiche Korrelation angenommen.

```
class VARIANTE BLOCK PARZELLE DRUSCHSPUR
model Ertrag_Feuchtekorrigiert = VARIANTE BLOCK
random PARZELLE PARZELLE*DRUSCHSPUR
```

Modell (EW 3) ist intuitiv aufgrund der tatsächlichen Versuchsdurchführung als gutes Ausgangsmodell anzusehen. Als Maß dafür, ob Modell (EW 3) tatsächlich eine höhere Güte als Modell (EW 2) aufweist wurden das Akaike-Information-Criterion (AIC) und das Schwarz's-Bayesian-Information-Criterion (BIC) betrachtet. Tab. 4 zeigt die Überlegenheit des Spalt-Spaltanlagen-Modells.

Tab. 4: Vergleich der Modelle Spaltanlage und Spalt-Spaltanlage

Modell	AIC	BIC	$S^2_{\text{Parzelle}}$	$S^2_{\text{Druschspur*Parzelle}}$	$S^2_{\text{Fehler}}$
Spaltanlage (EW2)	344.8	345.2	0.1379		0.0224
Spalt-Spaltanlage (EW3)	278.8	279.2	0	0.06127	0.1085
Spalt-Spaltanlage (EW3) mit nobound option	280.6	281.2	-0.01014	0.06726	0.1085

Die Annahme homogener Korrelationen innerhalb eines Teilstücks ist eine restriktive und vermutlich unrealistische Annahme. Besser wäre es, für die Korrelationsstruktur einen geostatistischen Ansatz zu wählen. Gemäß den Empfehlungen im Leitfaden OFR wurde an dieser Stelle jedoch zunächst einmal versucht, die Erwartungswertstruktur des Modells zu optimieren. Anhand der Residuen der Modelle (EW 0) bis (EW 3) wurde geprüft, ob groß- oder kleinräumige Trends zu modellieren sind oder ob systematische Effekte vorliegen. Hierzu wurden die Residuen gegen die räumlichen Koordinaten geplottet. Ferner wurde mittels Residuenplots untersucht ob Normalverteilung der Residuen und Varianzhomogenität gegeben ist. Dieses wurde durch ein Histogramm, einen QQ-Plot sowie einen Plot der Residuen gegen die Erwartungswerte geprüft.

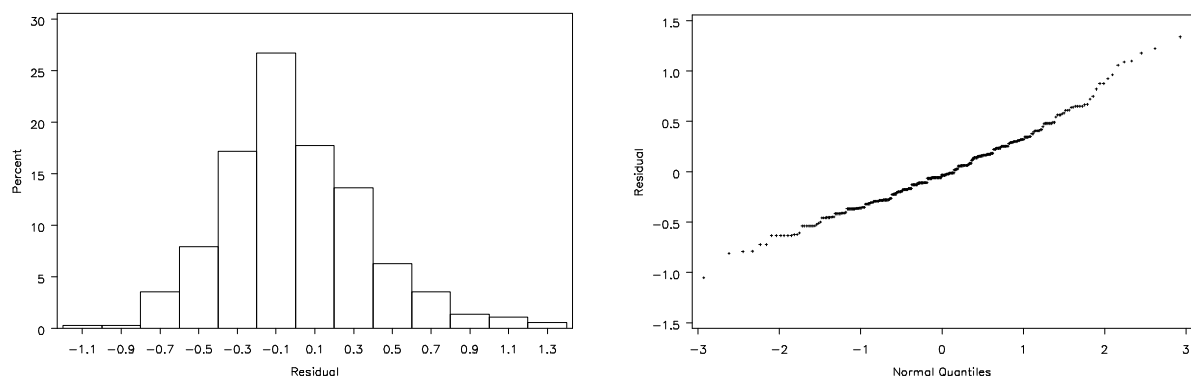


Abb. 6: Histogramm und QQ-Plot der Residuen aus Modell (EW 2) - Spaltanlage

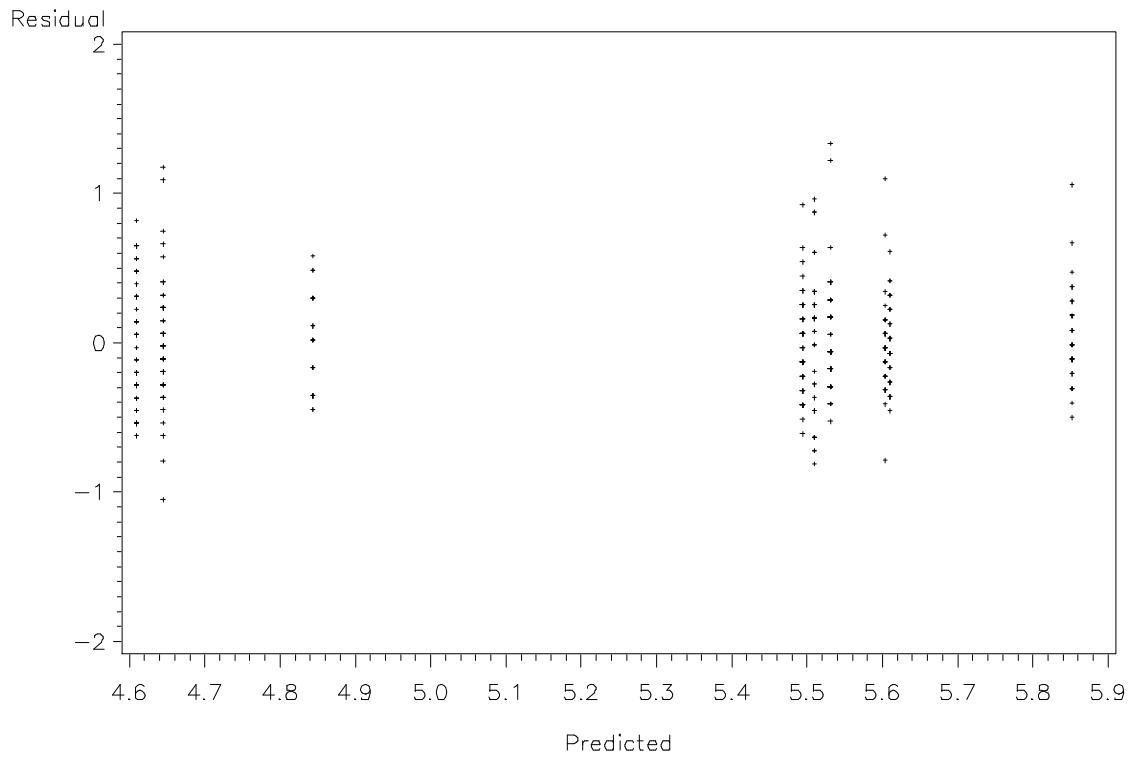


Abb. 7: Plot der Residuen gegen die Erwartungswerte aus Modell (EW 2) – Spaltanlage

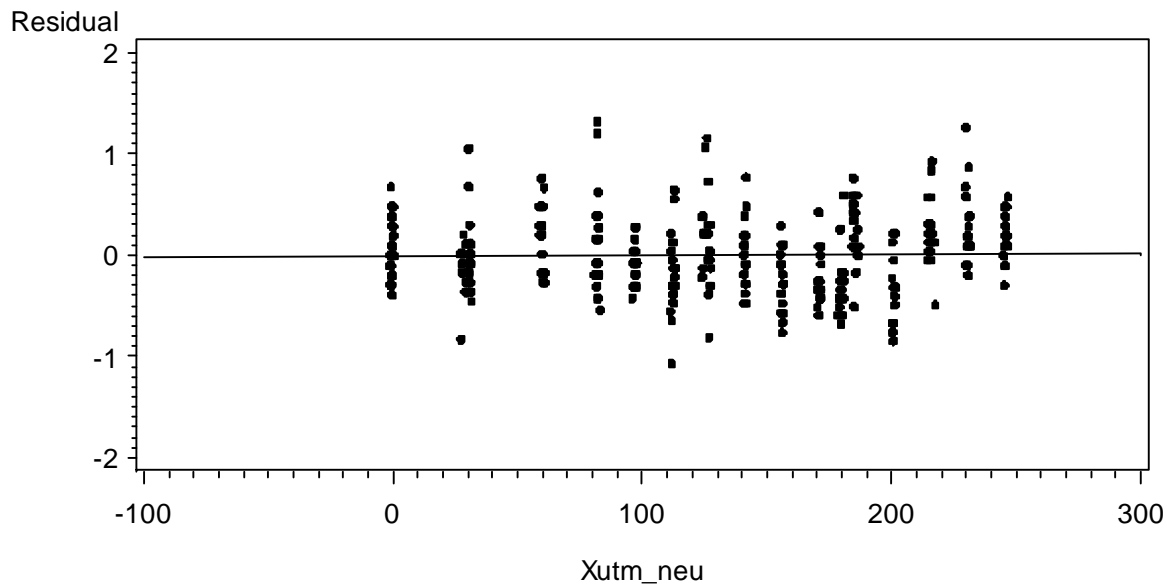


Abb. 8: Residuen aus Modell (EW 0) – nur Varianteneffekt - gegen die x-Koordinate



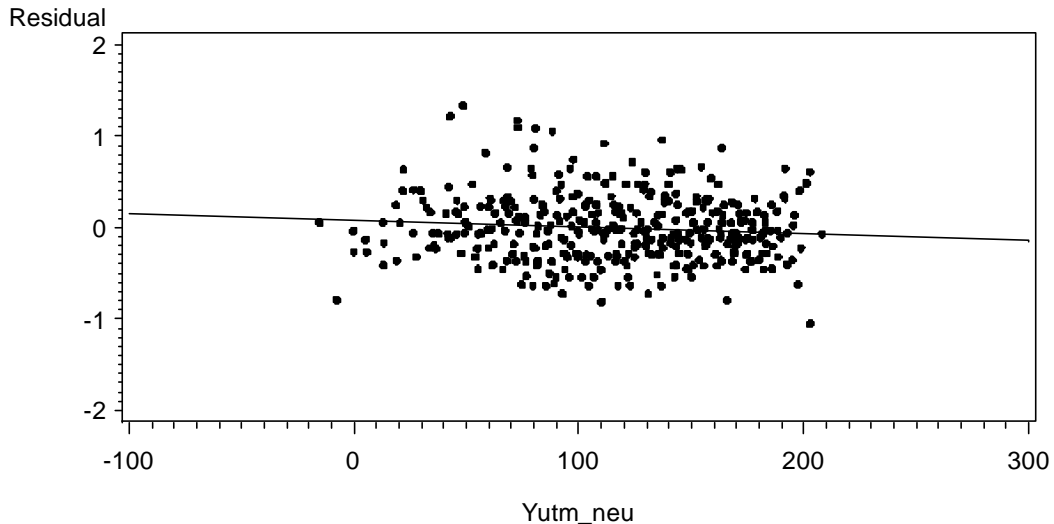


Abb. 9: Residuen aus Modell (EW 2) – Spaltanlage - gegen die y-Koordinate

Abb. 8 zeigt, dass in x-Richtung kein genereller Trend sichtbar war. Da bei der vorliegenden Versuchsanlage die Blocks in x-Richtung (quer zur Aussaatrichtung) lagen, würden mögliche Trends in x-Richtung durch diese Blocks größtenteils absorbiert werden können. Da es sich bei den Blocks um Designeffekte eines geplanten Versuchs handelt und als Versicherung gegen eventuelle unerkannt gebliebene Trends wurden alle Modelle mit Blockeffekten angepasst. Wir verzichteten auf eine darüber hinaus gehende Anpassung eines Trends in x-Richtung. Als problematisch erwies sich jedoch die Modellierung des in Abb. 9 erkennbaren schwachen Trends in y-Richtung. Bei Betrachtung der Residuen auf Parzellenebene zeigte sich zudem, dass sich die Druschspuren bezüglich dieses Trends sehr unterschiedlich verhielten, was auf zufällige Spureffekte aber auch auf systematische Druschrichtungseffekte hindeuten könnte (Abb. 10 a-i). Wir erweiterten das Modell Spalt-Spaltanlage (EW 3) daher und prüften den Effekt der folgenden Kovariablen:

- a) Allgemeiner Effekt der Druschrichtung
- b) Allgemeine Steigung in Richtung y-Koordinate
- c) Interaktion Druschrichtung\*y-Koordinate
- d) Spurspezifische Steigung in y-Richtung

Um zu entscheiden, welche der Kovariablen in das Modell aufgenommen werden sollen, wurde Modell (EW 3) herangezogen und im fixen Teil des Modells erweitert. Die Schätzung erfolgte mit PROC MIXED mit der Methode ML. Dann wurde der AIC und BIC verglichen.

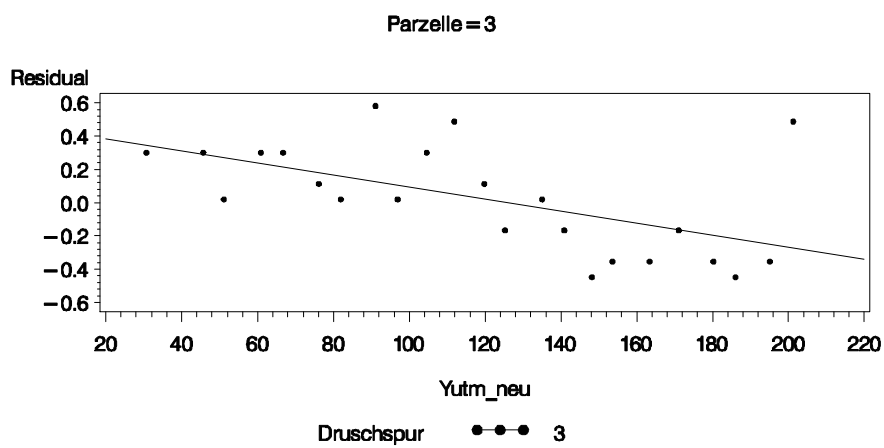
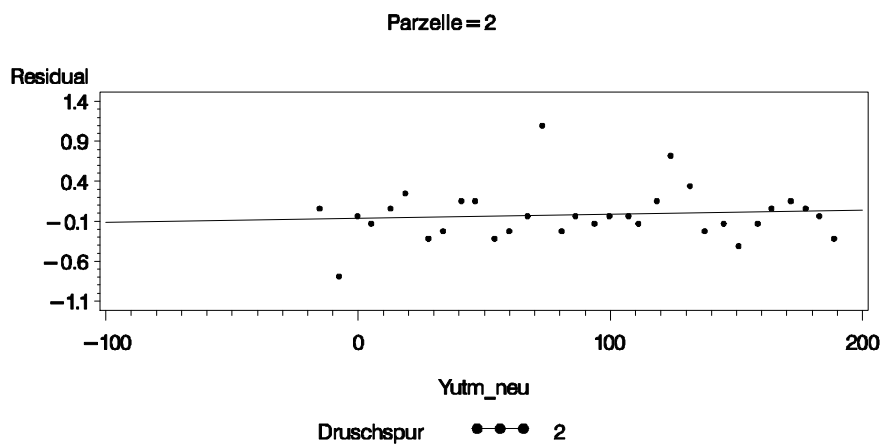
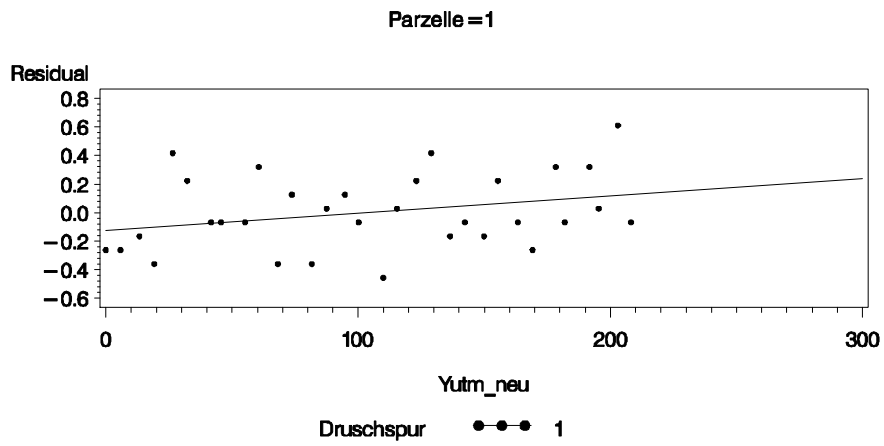


Abb. 10 a-i: Residuen aus Modell (2) mit fixem Block- und Varianteneffekt sowie zufälligem Parzelleneffekt gegen die y-Koordinate.

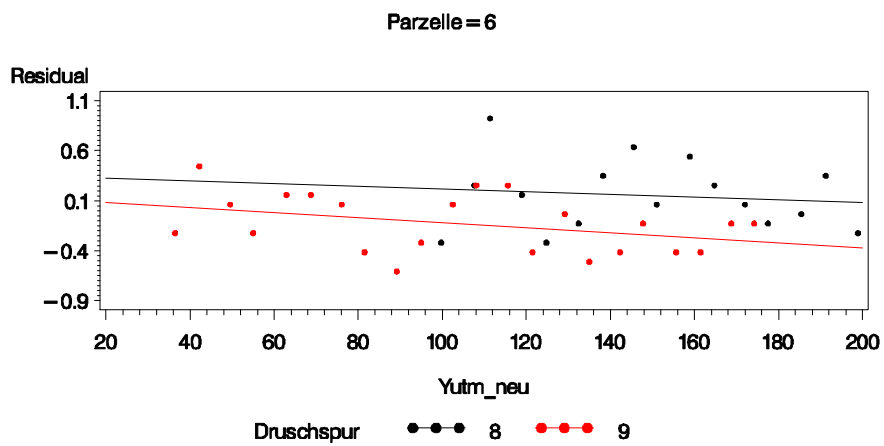
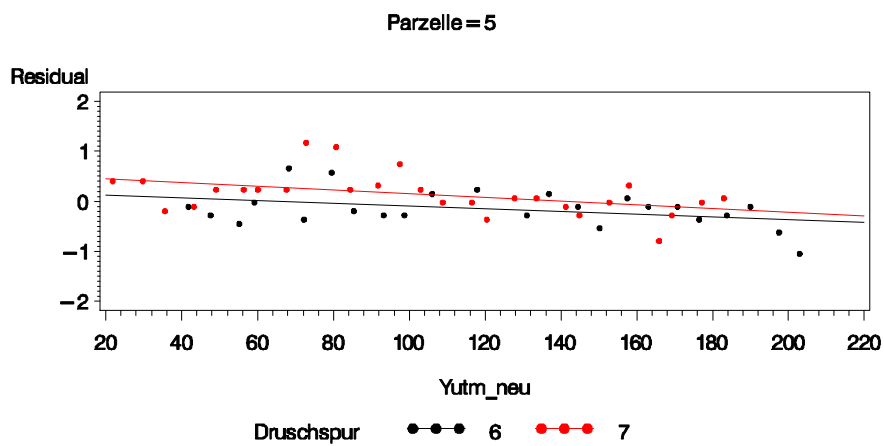
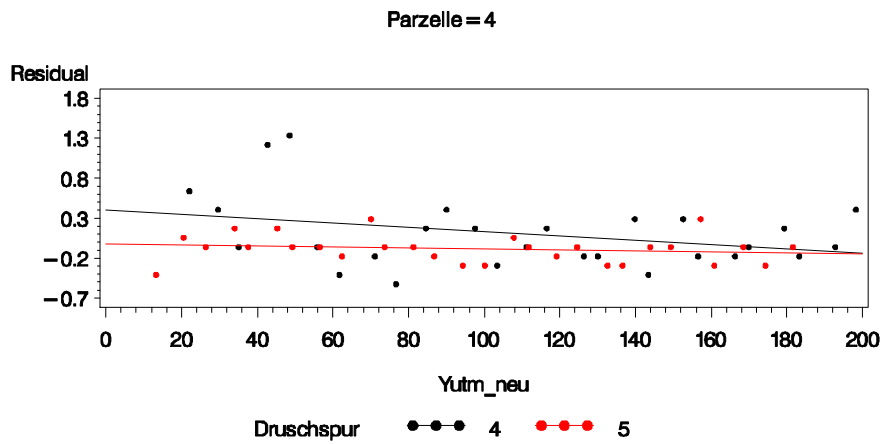


Abb. 10 a-i: Residuen aus Modell (2) mit fixem Block- und Varianteneffekt sowie zufälligem Parzelleneffekt gegen die y-Koordinate.

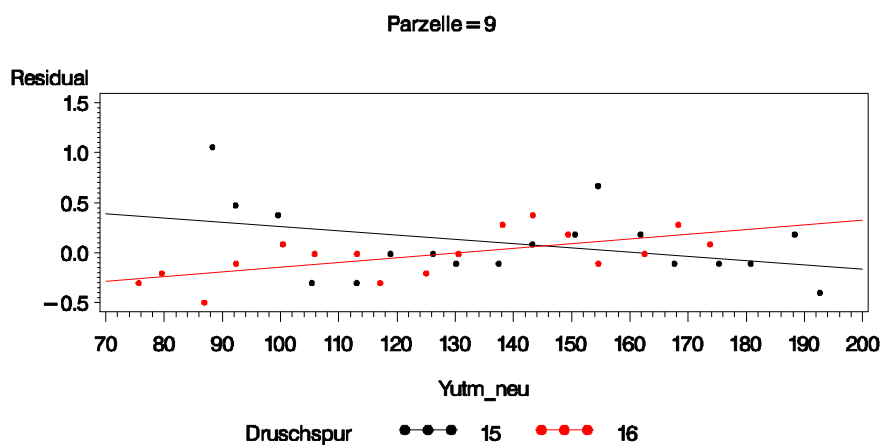
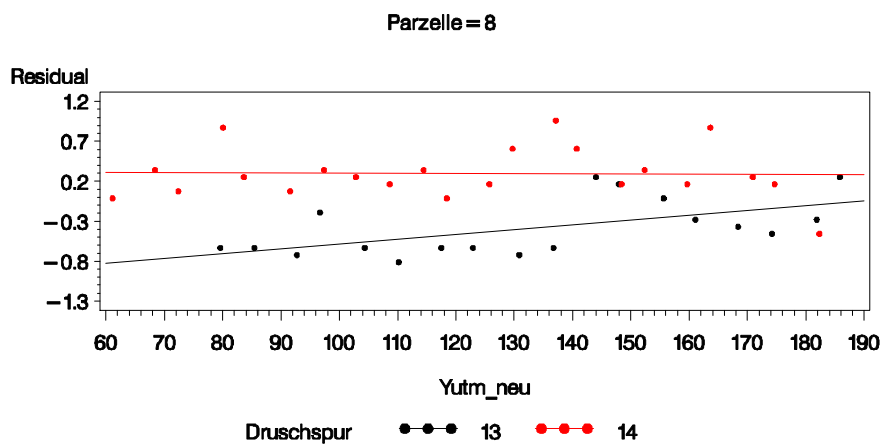
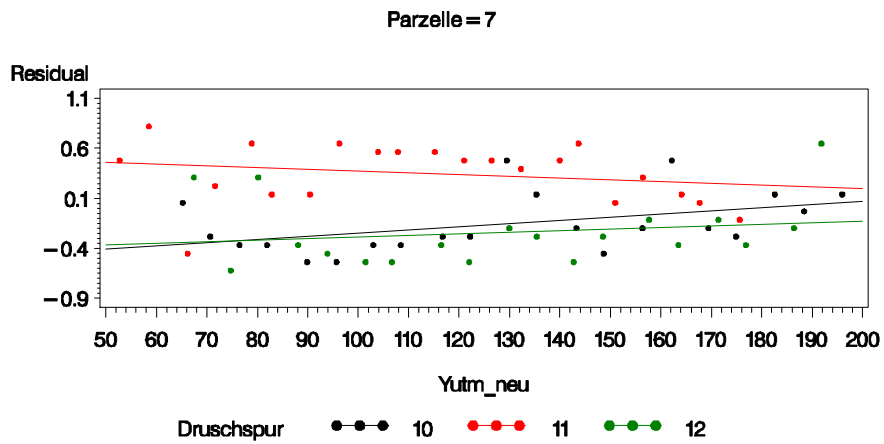


Abb. 10 a-i: Residuen aus Modell (2) mit fixem Block- und Varianteneffekt sowie zufälligem Parzelleneffekt gegen die y-Koordinate.

Tab. 5: Vergleich verschiedener Untermodelle von (EW 3) mit Kovariablen

	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3	EW3
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
Dr.-richtung		x		x	x		x		x		
y-Koordinate			x	x	x			x	x	x	
y*Dr.-richt.					x				x	x	x
y-Koord.*						x	x	x	x	x	x
Spur											
AIC	276.3	277.1	274.8	275.9	277.9	261.0	262.8	261.0	260.8	259.0	257.0
(method=ML)											
BIC	277.7	278.7	276.4	277.7	279.9	265.3	267.3	265.3	265.1	263.1	260.9
(method=ML)											

Modelle mit spurspezifischem Trend in y-Richtung schnitten deutlich besser ab. Dieses Resultat deckt sich mit dem Bild was sich aus dem spurspezifischen Plot der Residuen ergab (Abb. 10).

An dieser Stelle wurden Überlegungen angestellt, ob die Kovariablen tatsächlich Teil der Erwartungswertstruktur sein sollen bzw. müssen. Die Parzelleneffekte, die Spureffekte und die spurspezifischen Trends in den Parzellen sind Ergebnis einer Zufallsauswahl bzw. Resultat der Randomisation. Um dem Versuchsergebnis zumindest einen Aussagebereich für den gewählten Schlag im Versuchsjahr geben zu können, wurde an dieser Stelle entschieden, die Spureffekte nicht in den festen Teil des Modells zu integrieren sondern als zufällige Effekte zu modellieren<sup>1</sup>. Da diese Zufälligkeit auch die spurspezifischen Trends betrifft, haben wir ein Modell vor uns welches auch als „*random regression*“ bekannt ist. Es ist zu berücksichtigen, dass die zufälligen parzellenspezifischen Steigungen und die Spureffekte als solche (die zufälligen Achsenabschnitte) korreliert sind. Dieses kann mit einer unstrukturierten Varianz-Kovarianzmatrix im *Random*-statement von PROC MIXED abgebildet werden. Die Kovariablen müssen evtl. neu skaliert werden um die unstrukturierte Kovarianzmatrix besser schätzbar zu machen, d.h. das REML-Verfahren zur Konvergenz zu bringen. Die Skalierung verändert hierbei das Modell im Kern nicht, es wird nur umformuliert. Zunächst wurde nur die y-Koordinate als spurspezifische Kovariable aufgenommen, die übrigen Kovariablen blieben außen vor. Das Modell mit dieser Erweiterung der Kovarianzstruktur bezeichnen wir im Folgenden als (EW 4).

<sup>1</sup> Es muss darauf hingewiesen werden, dass dieser Wechsel einer Kovariablen von der Erwartungswertstruktur in den zufälligen Teil des Modells an dieser Stelle eine gewisse Inkonsistenz der Modellbildung darstellt. Aufgrund der fehlenden Systematik der Koordinaten- und Spureffekte erscheint uns unser Vorgehen in diesem Fall angemessen. Bei anderer Datenstruktur und anderem Versuchsdesign mag eine solche Entscheidung weniger angemessen sein.

(EW 4) *Spalt-Spaltanlage mit Random Regression*: Blocks, Parzellen als Großteilstücken, Druschspuren innerhalb der Parzellen als Mittelteilstücken und einzelnen Messpunkten als Kleinteilstücken innerhalb der Druschspuren. Für alle Paare von Messpunkten innerhalb einer Druschspur wird unabhängig von der räumlichen Distanz die gleiche Korrelation angenommen. Es werden Trends in Richtung der y-Koordinate berücksichtigt.

```

data raps2; set raps;
y = yutm_neu / 100;

Class VARIANTE BLOCK PARZELLE DRUSCHSPUR RICHTUNG
model Ertrag_Feuchtekorrigiert = VARIANTE BLOCK
random PARZELLE
random int y / subject=PARZELLE*DRUSCHSPUR type=un

```

Da dieses Modell sich lediglich im zweiten *Random*-statement von Modell (EW 3) unterscheidet, können diese beiden Modelle wieder mit AIC und BIC nach Methode REML verglichen werden. Modell (EW 4) ist deutlich überlegen. Auf (EW 4) aufbauend könnte nun wiederum mittels AIC und BIC bei Verwendung von Methode ML geprüft werden, welche weiteren Kovariablen ins Modell sollen (Tab. 7). Aufgrund von Konvergenz-Problemen war dieser Ansatz nicht durchführbar. Stattdessen wurde ein Wald-F-Test mit Methode REML für Modell EW4d durchgeführt (Tab. 8). Die nichtsignifikanten Kovariablen Richtung, y-Koordinate und deren Interaktion wurde anschließend aus dem Modell entfernt. Damit wurde Modell (EW4) mit spurspezifischen Trends aber ohne weitere Kovariable als Siegermodell gewählt.

Nachdem ein gutes Modell für die Erwartungswertstruktur und Trends gefunden ist, muss berücksichtigt werden, dass die Fehler innerhalb einer Druschspur nicht gleichmäßig stark korreliert sind, sondern dass diese Korrelation von der räumlichen Entfernung abhängt. Das Variogramm (Abb. 11) zeigt die Bedeutung der räumlichen Korrelation. Da selbst bei geringsten Entfernungen eine Semivarianz deutlich größer als Null geschätzt wird, sollte das geostatistische Modell einen Nugget-Effekt enthalten.

Für die räumliche Struktur stehen wiederum verschiedenen Modelle zur Verfügung (Power, Exponentiell, Sphärisch, Gauss). Diese Modelle können nach AIC und BIC bei Verwendung der REML-Methode verglichen werden. Um Konvergenzprobleme soweit wie möglich zu vermeiden, wurde die auf null geschätzte Varianzkomponente „Parzelle“ jeweils nicht berücksichtigt. Als Basismodell wurde die Spalt-Spaltanlage mit Random Regression verwendet. Das Geostatistische Modell mit Korrelationsstruktur „Gaussian“ passte am besten (Tab. 10).

Tab. 6: Vergleich der Modelle Spaltanlage, Spalt-Spaltanlage und Random Regression

Modell	AIC	BIC	S <sup>2</sup> <sub>Parzelle</sub>	S <sup>2</sup> <sub>Druschspur*Parzelle</sub>	S <sup>2</sup> <sub>Fehler</sub>
Spaltanlage (EW2)	344.8	345.2	0.1379		0.0224
Spalt-Spaltanlage (EW3)	278.8	279.2	0	0.0613	0.1085
Spalt-Spaltanlage (EW3) mit nobound option	280.6	281.2	-0.01014	0.0673	0.1085
Random Regression (EW 4)	259.4	260.2	0	0.3380	0.0993

Tab. 7: Vergleich verschiedener Untermodelle von (EW 4) mit Kovariablen

	EW4	EW4a	EW4b	EW4c	EW4d
Druschrichtung		X		X	X
y-Koordinate			X	X	X
y-Koordinate * Druschrichtung					X
Spur*y-Koordinate	X	X	X	X	X
AIC (method=ML)	Keine Konvergenz				
BIC (method=ML)	Keine Konvergenz				

Tab. 8: Ergebnis Modell EW4d, Wald F-Test für Kovariablen

Covariance Parameter Estimates					
Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Parzelle		0	.	.	.
UN(1,1)	Parzelle*Druschspur	0.3536	0.16680	2.12	0.0170
UN(2,1)	Parzelle*Druschspur	-0.1470	0.07390	-1.99	0.0466
UN(2,2)	Parzelle*Druschspur	0.0600	0.03371	1.78	0.0376
Residual		0.0993	0.00765	12.99	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
VARIANTE	2	6.56	67.84	<.0001
BLOCK	2	5.24	7.67	0.0277
Richtung	1	11	0.41	0.5341
Yutm_neu	1	12.2	0.75	0.4021
Yutm_neu*Richtung	1	11.5	0.25	0.6235

Tab. 9: Ergebnis Modell EW4, nach Ausschluss der Kovariablen

Covariance Parameter Estimates					
Cov Parm	Subject	Estimate	Standard Error	Z Value	Pr Z
Parzelle		0	.	.	.
UN(1,1)	Parzelle*Druschspur	0.3380	0.1484	2.28	0.0114
UN(2,1)	Parzelle*Druschspur	-0.1395	0.06536	-2.13	0.0328
UN(2,2)	Parzelle*Druschspur	0.05597	0.02965	1.89	0.0295
Residual		0.09926	0.007625	13.02	<.0001

Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
VARIANTE	2	5.75	79.95	<.0001
BLOCK	2	5.13	8.77	0.0221

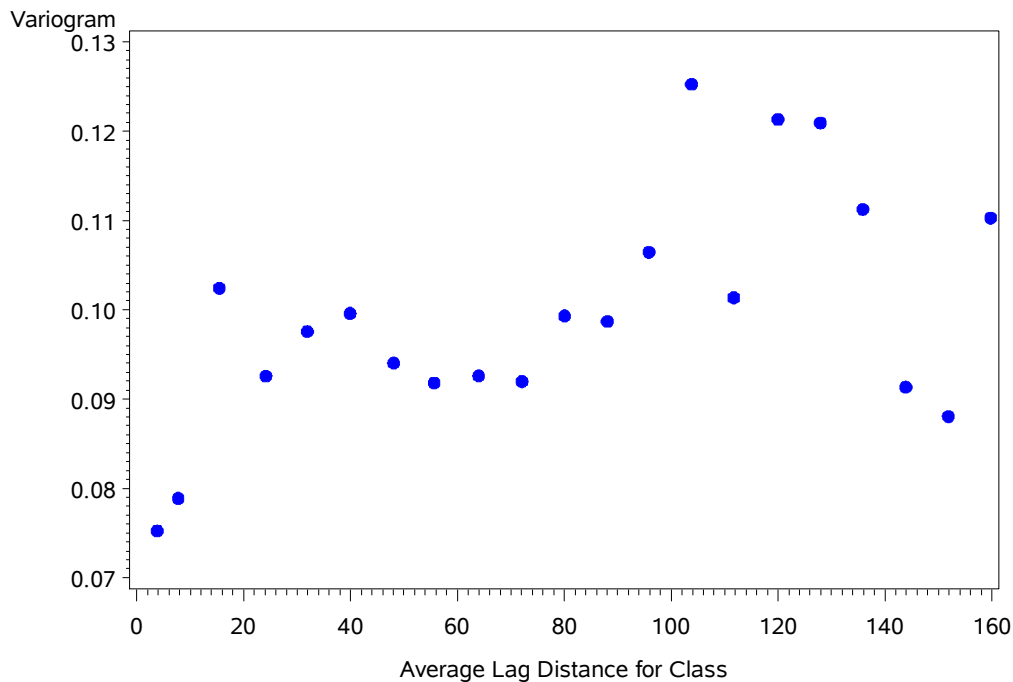


Abb. 11: Variogramm für Residuen von Modell EW4 in Druschrichtung

Tab.10: Vergleich verschiedener räumlicher Korrelationsstrukturen für Modell Spalt-Spalтанlage mit spurspezifischen Trends (EW4)

	Typ der räumlichen Korrelationsstruktur (alle Strukturen isotrop)	AIC <sup>1</sup>	BIC <sup>1</sup>
(EW4)	keine räumliche Struktur	259.4	262.5
(EW4 - power)	Power + nugget Effekt	n.c.	n.c.
(EW4 - exp)	Exponentiell + nugget Effekt	248.4	253.1
(EW4 - gau)	Gaussian + nugget Effekt	246.5	251.2
(EW4 - sph)	Sphärisch + nugget Effekt	255.6	260.2
(EW4 - lin)	Linear + nugget Effekt	n.c.	n.c.

<sup>1</sup> „smaller is better“; n.c. = no convergence.

(EW 4 – gau) Spalt-Spalтанlage mit Random Regression: Blocks, Parzellen als Großteilstücken, Druschspuren innerhalb der Parzellen als Mittelteilstücken und einzelnen Messpunkten als Kleinteilstücken innerhalb der Druschspuren. Für alle Paare von Messpunkten innerhalb einer Druschspur eine Korrelation in Abhängigkeit der räumlichen Distanz angenommen. Es werden Trends in Richtung der y-Koordinate berücksichtigt. Mit der option local wird ein *nugget*-Effekt modelliert

```
/*Wähle bestes Modell, berechne KI, AIC 246.5*/
Class VARIANTE BLOCK RICHTUNG PARZELLE DRUSCHSPUR
model Ertrag_Feuchtekorrigiert = BLOCK VARIANTE
  /ddfm=kr(firstorder) htype=3 htype=1 outp=RES
*random Parzelle;
random int y / subject=PARZELLE*DRUSCHSPUR type=un
repeated / subject=PARZELLE*DRUSCHSPUR type=sp(gau)(y) local
```



Tab.11: Varianz- und Kovarianzschätzungen sowie F-Tests für Modell Spalt-Spalanlage mit spurspezifischen Trends (EW4)

SPALT-SPALT-ANLAGE mit spurspezifischem Trend und Korrelationsstruktur Gaussian				
Cov Parm	Subject	Estimate		
UN(1,1)	Druschspur*Parzelle	0.3061		
UN(2,1)	Druschspur*Parzelle	-0.1262		
UN(2,2)	Druschspur*Parzelle	0.04798		
Variance	Druschspur*Parzelle	0.04358		
SP(GAU)	Druschspur*Parzelle	0.08734		
Residual		0.06088		
-2 Res Log Likelihood		234.5		
AIC (smaller is better)		246.5		
AICC (smaller is better)		246.8		
BIC (smaller is better)		251.2		
Type 3 Tests of Fixed Effects				
Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
BLOCK	2	4.57	6.68	0.0440
VARIANTE	2	4.74	77.07	0.0002

Tab.12: Zusammenfassung der Modellentwicklung

Modell-name	Feste Ef-fekte	Zufällige Effekte	AIC
EW2	Variante Block	Parzelle	344.0
EW3	Variante Block	Parzelle Parzelle*Druschspur	278.8
EW4	Variante Block	Parzelle Parzelle*Druschspur Spurspezifischer Trend in y-Richtung (Rand. Regression)	259.4
EW4 (gau)	Variante Block	Parzelle Parzelle*Druschspur Spurspezifischer Trend in y-Richtung (Rand. Regression) Räumliche Kovarianz innerhalb einer Druschspur nach Struktur „gaussian“ mit nugget effect	246.5

## Ergebnisse, Interpretation und Diskussion

Im gewählten Modell wurde die Differenz zwischen den beiden Fungiziden *Proline* und *Harvesan* auf nahe Null geschätzt (95%-Vertrauensintervall für Differenz -0.35 bis 0.34). Beide Varianten zeigten einen Ertrag von 5.6 t/ha. Der Ertragsgewinn durch die Fungizidbehandlung war für beide Fungizide signifikant. Die unbehandelte Kontrolle erbrachte lediglich einen Ertrag von 4.5 t/ha. Diese Ergebnisse decken sich mit den Ergebnissen des Modells Blockanlage. Auch wenn letztendlich ein komplexes Modell gewählt wurde, sollte das Ergebnis eines auf der Randomisationstheorie gegründeten Basismodells immer zum Vergleich dargestellt werden.

Tab. 13: Least-Square-Means aus Modell (EW4 - gau), Spalt-Spaltanlage, räumliche Korrelationsstruktur Gaussian.

VARIANTE	Estimate	Std Error	DF	Lower	Upper
1	5.61	0.079	2.16	5.29	5.92
2	5.61	0.084	9.16	5.42	5.80
3	4.50	0.068	7.78	4.35	4.66

Tab. 14: Differenzen zwischen LS-Means aus Modell (EW4 - gau), Spalt-Spaltanlage, räumliche Korrelationsstruktur Gaussian.

VARIANTE	VARIANTE	Estimate	Std Error	DF	t Value	Pr >  t	Lower	Upper	LSD <sub>5%</sub>
1	2	-0.005	0.122	3.84	-0.04	0.97	-0.35	0.34	0.34
1	3	1.106	0.105	4.58	10.58	0.0002	0.83	1.38	0.28
2	3	1.111	0.109	8.63	10.18	<.0001	0.86	1.36	0.25

Tab. 15: Least-Square-Means aus Modell (EW 1) Blockanlage - Parzellenmittelwerte

VARIANTE	Estimate	Std Error	DF	Lower	Upper
1	5.55	0.094	4	5.29	5.81
2	5.65	0.094	4	5.39	5.91
3	4.70	0.094	4	4.44	4.96

Tab. 16: Differenzen zwischen LS-Means aus Modell (1) Blockanlage - Parzellenmittelwerte

VARIANTE	VARIANTE	Estimate	Std Error	DF	t Value	Pr >  t	Lower	Upper	LSD <sub>5%</sub>
1	2	-0.10	0.13	4	-0.75	0.493	-0.47	0.27	0.37
1	3	0.85	0.13	4	6.38	0.003	0.48	1.21	0.37
2	3	0.95	0.13	4	7.13	0.002	0.58	1.31	0.37

### *Effizienz des Geostatistischen Modells gegenüber dem Basismodell „Blockanlage“*

Die Grenzdifferenz für Variantenvergleiche lag mit dem gewählten Modell bei durchschnittlich 0.29 t/ha im Vergleich zu 0.37 t/ha bei Auswertung als Block- oder Spaltanlage ohne Nutzung der räumlichen Information, was einer Effizienz von  $(0.37/0.29)^2 = 163\%$  entspricht. Für die gleiche Präzision hätte man bei der Blockanlage oder auch im Spaltanlagenmodell damit fünf statt drei Wiederholungen benötigt. Bei einem mittleren Ertragsniveau von rund 5.3 t/ha lag die relative Grenzdifferenz bei 5.5% und damit auf einem Niveau, das in Kleinparzellenversuchen bei Winterraps häufig nicht erreicht werden kann.

In diesem Fall lohnte sich also der hohe Aufwand für die geo-referenzierte Ertragserfassung und für die komplexe statistische Modellierung. Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass das nicht in jedem Fall so sein muss. Ein komplexes aber gut an die Daten passendes Modell kann auch durchaus eine höhere Grenzdifferenz aufweisen als ein einfaches Modell mit Parzellenmittelwerten.

### *Bedeutung der Randomisation*

Bei einem Randomisationsverzicht wäre eine Auswertung als Spalt-Spalt-Anlage nicht valide gewesen. In diesem Fall hätte die Datenanalyse mit einem geostatistischen Modell über die gesamte Versuchsfläche erfolgen müssen, was je nach Datenlage oftmals nicht die beste Wahl sein wird. Valide Einhaltung der Grundsätze des landwirtschaftlichen Versuchswesens – Wiederholung, Blockbildung, Randomisation – und Geostatistische Modellierung schließen sich auch im On-Farm-Versuch keinesfalls aus, sondern sind immer sinnvoll zu kombinieren.

### *Bewertung des Systems On-Farm-Research als Alternative zu Kleinparzellenversuchen*

Als sehr problematisch erwies sich im vorgestellten Beispiel die Modellwahl. Dieses Problem ist ein generelles Merkmal georeferenzierter Daten. Aufgrund der Vielzahl möglicher Modelle muss bereits vor der Auswertung eine klare Strategie für die Modellwahl vereinbart worden sein, um willkürlichen Entscheidungen vorzubeugen. Obwohl bei dem dargestellten Versuch keine weiteren georeferenzierten Kovariablen wie Elektrische Leitfähigkeit oder Nährstoffgehalt des Bodens ermittelt worden waren, ergab sich schnell eine große Fülle möglicher Modelle. Die hohe Bedeutung der Spuren und das Vorliegen eines Trends in y-Richtung innerhalb der Spuren waren sogar bei einer ersten Auswertung trotz intensiver Beschäftigung mit den Daten übersehen worden. Vor diesem Hintergrund kann nicht genug betont werden, wie wichtig es ist, immer auf ein aufgrund sorgfältig durchgeführter Randomisation verfügbares Modell *a la* „Randomisierte Blockanlage“ zurückkommen zu können. Ein solches Basismodell sollte bei der Ergebnisinterpretation immer berücksichtigt werden, um sich gegen vorschnelle Fehlschlüsse abzusichern.

On-Farm-Versuche unter Nutzung einer Technik, die eine georeferenzierte Ertragsermittlung erlaubt, kann eine sinnvolle Ergänzung zu herkömmlichen Versuchen in Kleinparzellen sein. Für bestimmte Fragestellungen ist der Einsatz dieser Methodik sehr hilfreich, insbesondere für Systemversuche. Die Gefahr, aufgrund falscher Sensorik, Datenaufbereitung und Modellierung zu falschen Schlüssen zu kommen, ist aber gerade bei dieser neuen Technik sehr hoch.

Verbessert werden muss vor allem die Genauigkeit der Ertragssensorik. Nachkalibrierungen über die Radlastwaage sind momentan noch unerlässlich. In einem Versuch sollte wenn

möglich nur ein Mähdrescher zum Einsatz kommen. Falls der Einsatz mehrerer Drescher unvermeidbar ist, so ist auf die Kalibrierung nochmals erhöhte Aufmerksamkeit zu legen, wenn möglich sollte dann blockweise gedroschen werden.

Es ist zu prüfen, ob Spureffekte vermieden bzw. abgemildert werden können, wenn quer zur Anlage der Varianten gedroschen wird, so dass in einer Spur immer alle Varianten vorkommen. Dieses Verfahren erzeugt aber wiederum Probleme an den Parzellengrenzen. Verschleppungseffekte innerhalb der Erntemaschinen können dann zu systematischen Verzerrungen führen, sodass evt. dann Datenpunkte an den Übergangsstellen der Parzellengrenzen verworfen werden müssen

#### *Weitere Beispiele für „Mit On-Farm-Research“ bearbeitbare Fragestellungen*

- Wie reagiert eine Sorte auf Bodenunterschiede.
- Wirkung von Fungizidmaßnahmen in heterogenen Kulturen wie Raps
- Wie ist die relative Vorzüglichkeit unterschiedlicher Pflanzenschutzintensitäten in wechselnden Bodengüten zu beurteilen.
- Wie wirkt Düngung auf Ertrag in unterschiedlichen Bodengüten.
- Welche Auswirkung hat ein per Satellit kartierter Herbizidschaden auf den Ertrag von Maislinien etc.,z.B. zur Erstellung von Positivlisten von Maissorten gegenüber bestimmten Herbiziden
- Welchen Einfluss haben Bewässerungsintensität und –zeitpunkt auf Ertrag von Getreide
- Wie wirken sich Sekundärrohstoffdünger (Kompost) in unterschiedlichen Bodengüten auf Ertrag aus (Langzeitversuche)

#### **Literatur**

Littell, R.; Milliken, G.; Stroup, W.; Wolfinger, R.; Schabenberger, O. (2006): SAS for Mixed Models, 2nd Edition, SAS.

Kenward, M.G. & Roger, J.H. (2009): An improved approximation to the precision of fixed effects from restricted maximum likelihood. Computational Statistics & Data Analysis. Volume 53, 7, 2583-2595.

#### **Anhang**

##### Messtechnik der online-Ertrags erfassung und Vorbereitung des Mähdreschers

Mit einer in den Mähdrescher integrierten Ertragsmessung kann im Zusammenwirken mit einem Ortungssystem die lokale Ertragsermittlung realisiert und damit die Information über die Ertragsfähigkeit und Ertragsstruktur der Felder automatisiert und präzise gewonnen werden. Bevor ein Versuch mit Ertragskartierung gedroschen wird, ist es jedoch unbedingt notwendig, den Mähdrescher auf die bevorstehende Ertrags erfassung vorzubereiten, d.h. zu kalibrieren. Eine Aufarbeitung der Sensordaten nach der Ernte ist ebenfalls anzuraten.

In unserem Versuch wurde ein Claas Mähdrescher mit Volumenstrommessung am Elevator verwendet. Die Arbeitsweise ist im DLG Merkblatt 303 beschrieben: „Bei diesem Messprinzip

wird das Volumen des Erntestroms ermittelt und über das spezifische Gewicht (hl-Gewicht) zum Massestrom umgerechnet. Die Erfassung des Volumens erfolgt durch Ermittlung der Erntemengen auf den Elevatorpaddeln (offener Volumenstrom). Das von den Elevatorpaddeln geförderte Erntegut unterbricht den Lichtstrahl einer Lichtschranke, die sich im oberen Teil der Förderstromseite des Körnerelevators befindet. Aus der Länge der Dunkelphase und aus Kalibrierfunktionen werden die Höhe und daraus das Volumen der Erntegutschüttung auf den Paddeln berechnet. Als Nulltarawert dient die Verdunkelungsrate bei leer laufendem Elevator. Ein Neigungssensor soll den Einfluss einer ungleichförmigen Beladung der Elevatorpaddel am Hang (Quer- und z.T. auch Längsneigung) kompensieren. Mit Hilfe des hl-Gewichtes, das vorher bestimmt und eingegeben werden muss, leitet die Auswertelektronik den Massenstrom ab (t/h). Wie bei allen anderen Messsystemen wird dieser durch die Verrechnung mit der abgeernteten Fläche aus eingegebener Schnittbreite und gemessenem Fahrweg ermittelt.“ Die notwendigen Einstellungen und Eingaben wurden vor der Ernte des Versuchs durchgeführt. Das Erntegut jeder Parzelle wurde darüber hinaus auch noch einmal auf einer Radlastwaage real gewogen. Die Feuchte wurde ermittelt und der jeweilige Parzellenertrag wurde auf Standardfeuchte (9 %) umgerechnet.

#### Aufbereitung der Sensordaten für die weitere statistische Verrechnung:

Der jeweilige Wert der real auf der Radlastwaage ermittelten Parzellenerträge wurde durch den jeweiligen Durchschnittswert der Sensordaten der entsprechenden Parzelle dividiert. Mit den resultierenden parzellenspezifischen Korrekturfaktoren wurden dann die Messdaten der Ertragerfassung der einzelnen Parzellen multipliziert. Dadurch wurde das Ertragsniveau der Messdaten auf das Niveau der realen Wiegedaten angepasst. Die jeweils ersten sechs Ertragsmesspunkte bei den Einfahrten in die Parzellen wurden verworfen, da hier erst ein kontinuierlicher Ertragsmessstrom aufgebaut wird und diese Werte nicht repräsentativ sind. In unserem Versuch wurde nur ein Mähdrescher verwendet. Kämen mehrerer Mähdrescher auf dem gleichen Feld zum Einsatz, würde die Ertragsmessung unter Umständen mit verschiedenen Messsystemen durchgeführt. Bei Verwendung gleicher Messsysteme sind zumindest noch heterogene systematische Messfehler zu erwarten. Die Zusammenführung und Nachbearbeitung solcher Daten ist schwierig bis unmöglich. Auf jeden Fall sollten die unterschiedlichen Mähdrescher blockweise arbeiten. Damit können solche Fehler später dem Blockeffekt zugeschlagen werden. Eine Gegenwiegung des Erntegutes ist immer wichtig, wenn es um die Ermittlung der Realerträge geht. Wenn lediglich die relativen Unterschiede zwischen Varianten im Vordergrund stehen, sollten die Sensordaten ausreichend sein. Voraussetzung ist jedoch immer eine geeignete Kalibrierung des Messsystems.