

On-Farm Experiment mit georeferenzierten Daten und teilflächenspezifischer Applikation

Christel Richter und Heinrich Thöle¹⁾

N-Düngungsversuch zu Wintergerste auf einem Alluvialstandort
mit 2 Varianten bei der 3. N-Gabe:

- 1 konventionelle einheitliche Düngung
- 2 teilflächenspezifische variable Düngung

Vor Versuchsbeginn beide Prüfglieder: 1. und 2. Gabe mit $70 + 45 \text{ kg N ha}^{-1}$

¹⁾ Bearbeitet im Rahmen eines Forschungsprojektes 2005 - 2007 beim ATB

Fachhypothese für die teilflächenspezifische Düngung und den gegebenen Standort:

Besser etablierte Bestände können erhöhte N-Gaben zum Fahnenblattstadium in höhere Erträge umsetzen.

Bewertung des Bestandes



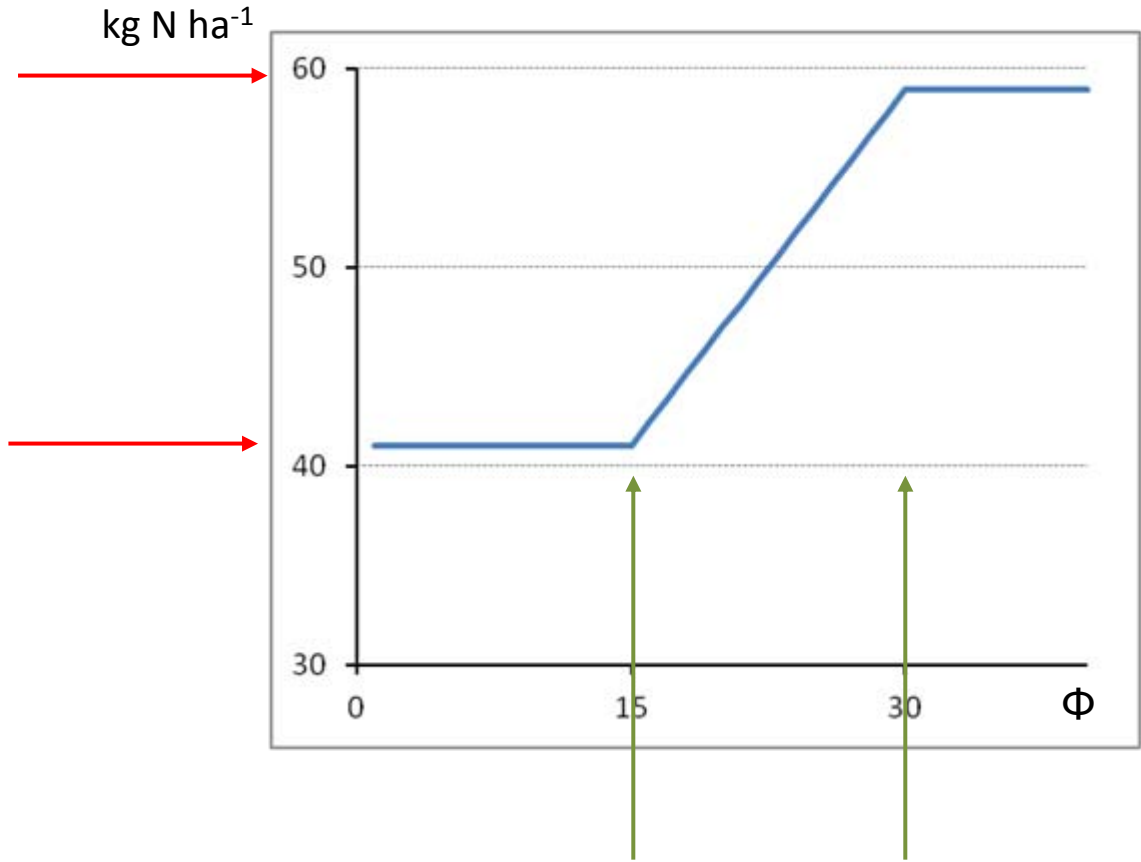
Ansicht des Crop-Meters im Traktor-Frontanbau (ADAMEK ATB 2005)

Auslenkungswinkel Φ



Biomasse

Definition der Prüfglieder



einheitliche
Gabe = 41 kg N ha⁻¹

$$\text{teilfl Gabe (kg N ha}^{-1}\text{)} = \begin{cases} 41 & \text{wenn } \Phi < 15^\circ \\ 1.2\Phi + 23 & \text{wenn } 15^\circ \leq \Phi \leq 30^\circ \\ 59 & \text{wenn } \Phi > 30^\circ \end{cases}$$

Versuchsfrage:

Führt der gewählte teilflächenspezifische Applikationsalgorithmus bei der gegebenen Sorte auf dem konkreten Feld zu höheren Kornerträgen als die einheitliche Düngung?

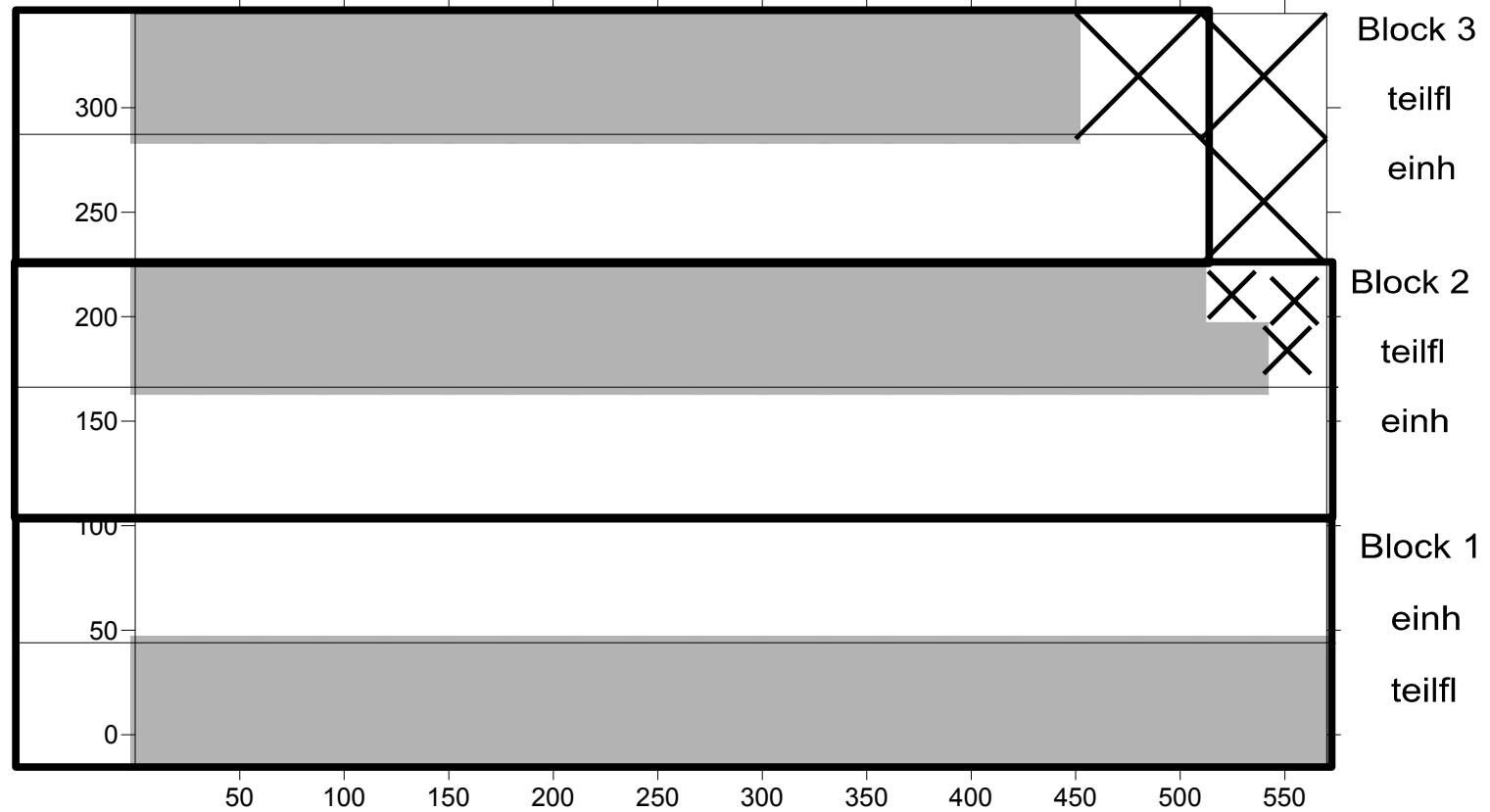
statistische Hypothese für den Kornertrag:

$$H_0 : \mu_{\text{einh}} = \mu_{\text{teilfl}} \quad H_A : \mu_{\text{einh}} < \mu_{\text{teilfl}}$$

Aussagebereich:

- konkreter Applikationsalgorithmus unter Nutzung des Crop-Meters
- konkreter Schlag
- konkrete Witterungsbedingungen
- alle weiteren Konstantfaktoren

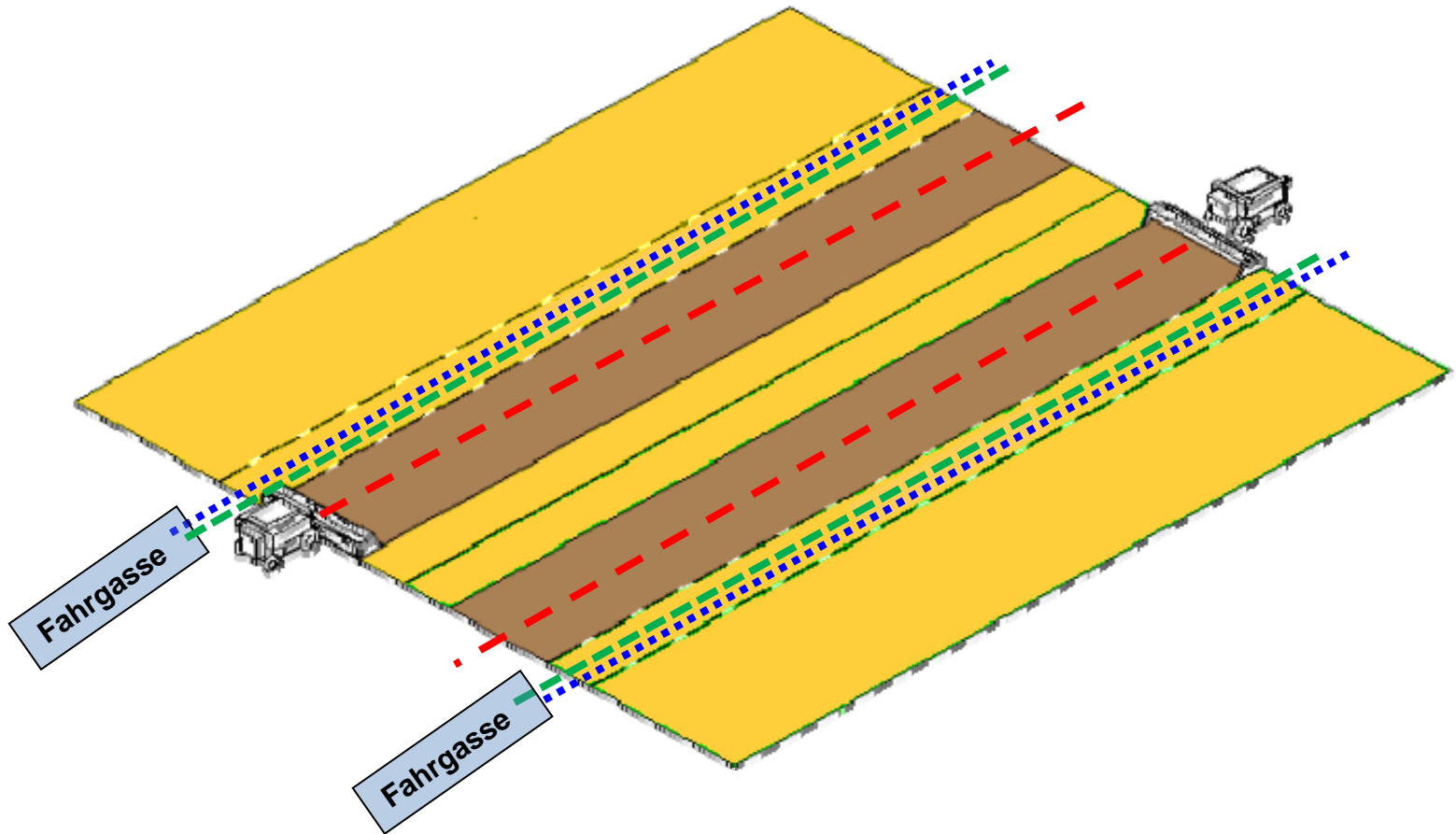
Versuchsanlage: Randomisierte Blockanlage



erfasste Merkmale – alle positionsabhängig -

- Auslenkungswinkel in beiden Prüfgliedern (Momentanwerte alle 2 sec)
→ realisierte Düngerapplikation entsprechend Algorithmus berechnet
 - elektrische Leitfähigkeit (Mittelwerte aus 1000 Werten/sec)
 - Kornfrischmasse
 - Kornfeuchte
- } alle 5 sec

Merkmalerfassung auf einer Parzelle



- Winkelmessung
- - - - - Messung der scheinbaren elektrischen Leitfähigkeit
- - - - - Ertragsmessung

Datenaufbereitung / Plausibilitätsanalysen

Düngerdaten

- Berechnung der Fahrgeschwindigkeiten v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)
- Entfernung aller Datensätze mit $v \leq 0$, sowie v nicht im Intervall $\bar{v} \pm 2s_v$
- Entfernung aller Datensätze aus Vorgewende
- Kontrollwägungen je Fahrspur und Vergleich mit Düngerstreuer-Jobrechner

Ertragsdaten

- Entfernung aller Datensätze mit Ertrags- und/oder Feuchtwerten = 0
- Berechnung der Fahrgeschwindigkeiten v ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) und Entfernung aller Datensätze mit $v = 0$
- Nachkalibrierung der Erträge auf Basis Kontrollwägung je Kerndruschstreifen
- weitere Plausibilitätsanalysen
- Umrechnung auf 14% Feuchte

scheinbare elektrische Leitfähigkeit

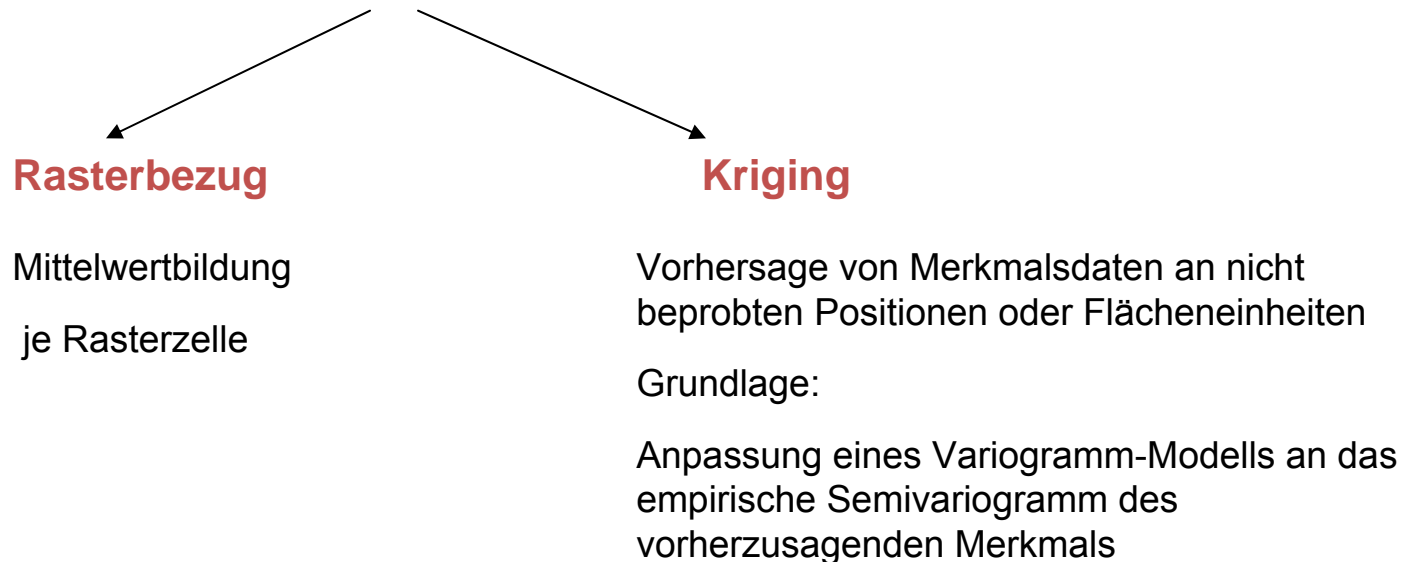
- Plausibilitätsanalysen
- Umrechnung auf 25⁰ Bodentemperatur → EC25

Aggregation und Zusammenführung von Merkmalsdaten

Notwendig, wenn Applikations-, Ertrags-, Kovariablendaten

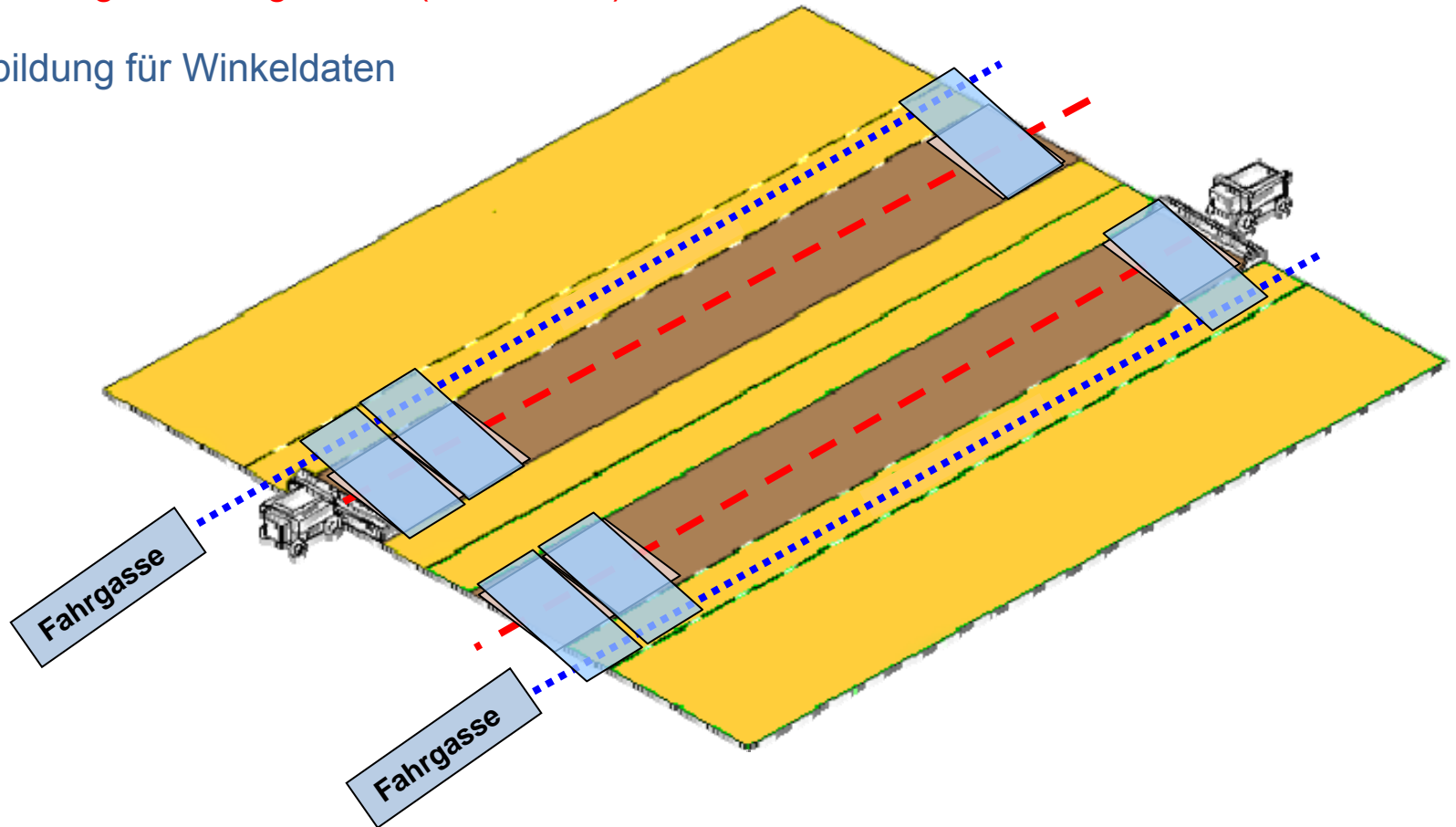
- an nicht exakt gleichen Positionen und/oder
- in unterschiedlicher Intensität erfasst wurden

und die Georeferenzierung genutzt werden soll.



Aggregation und Zusammenführung von Merkmalsdaten

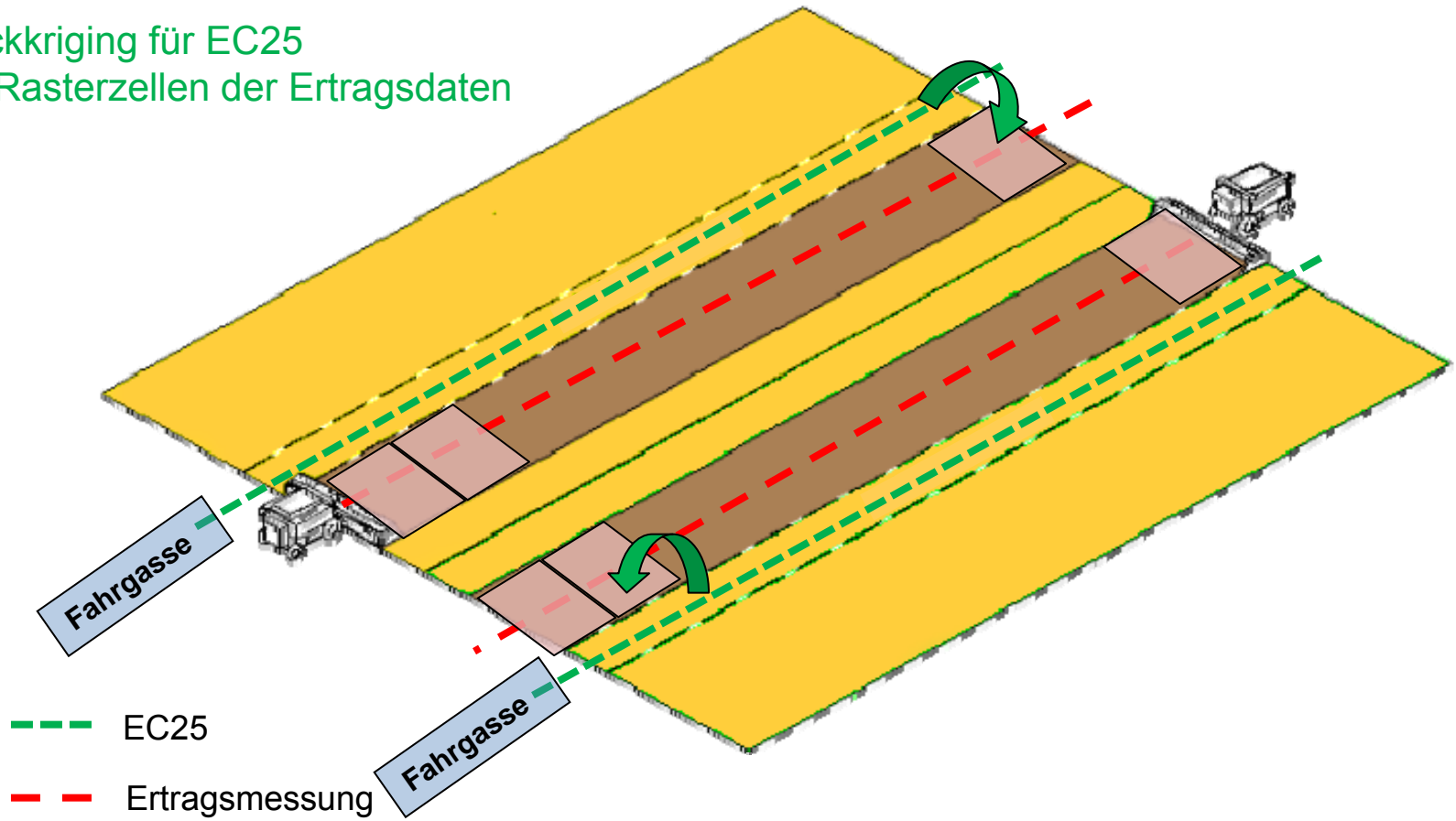
- Rasterbildung für Ertragsdaten (30m x30m)
- Rasterbildung für Winkeldaten



- Winkelmessung
- - - Ertragsmessung

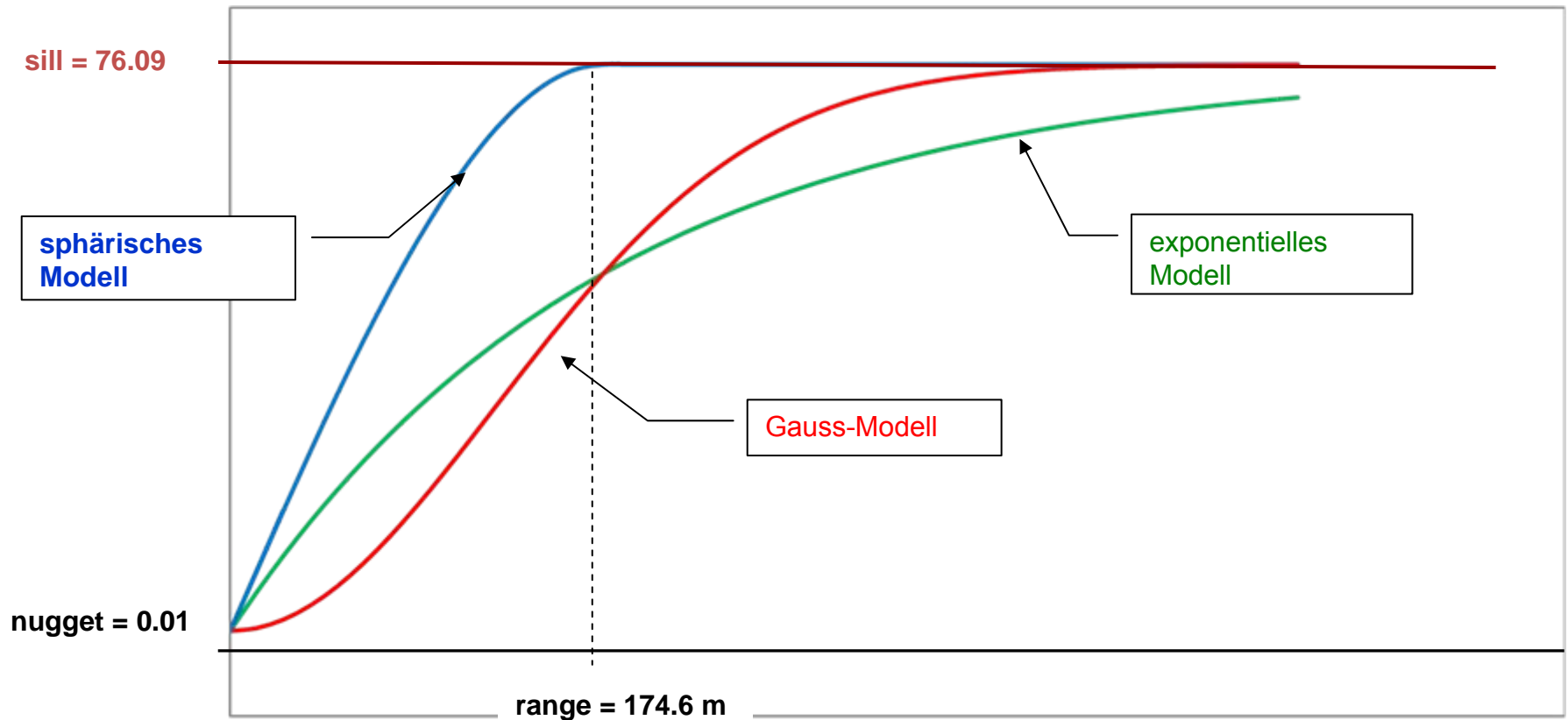
Aggregation und Zusammenführung von Merkmalsdaten

Blockkriging für EC25
auf Rasterzellen der Ertragsdaten



Blockkriging für EC25 auf Rasterzellen der Ertragsdaten

Grundlage: Anpassung eines Variogramm-Modells an das empirische Semivariogramm des vorherzusagenden Merkmals (EC25)



*Für Kriging bestmögliche Variogrammanpassung nahe des Ursprungs
hier: sphärisches Modell am besten angepasst*

Anzahl der Werte nach Datenaufbereitung

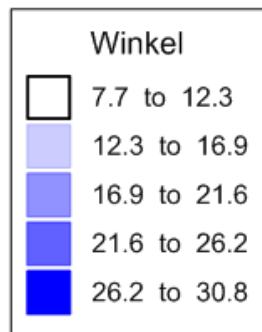
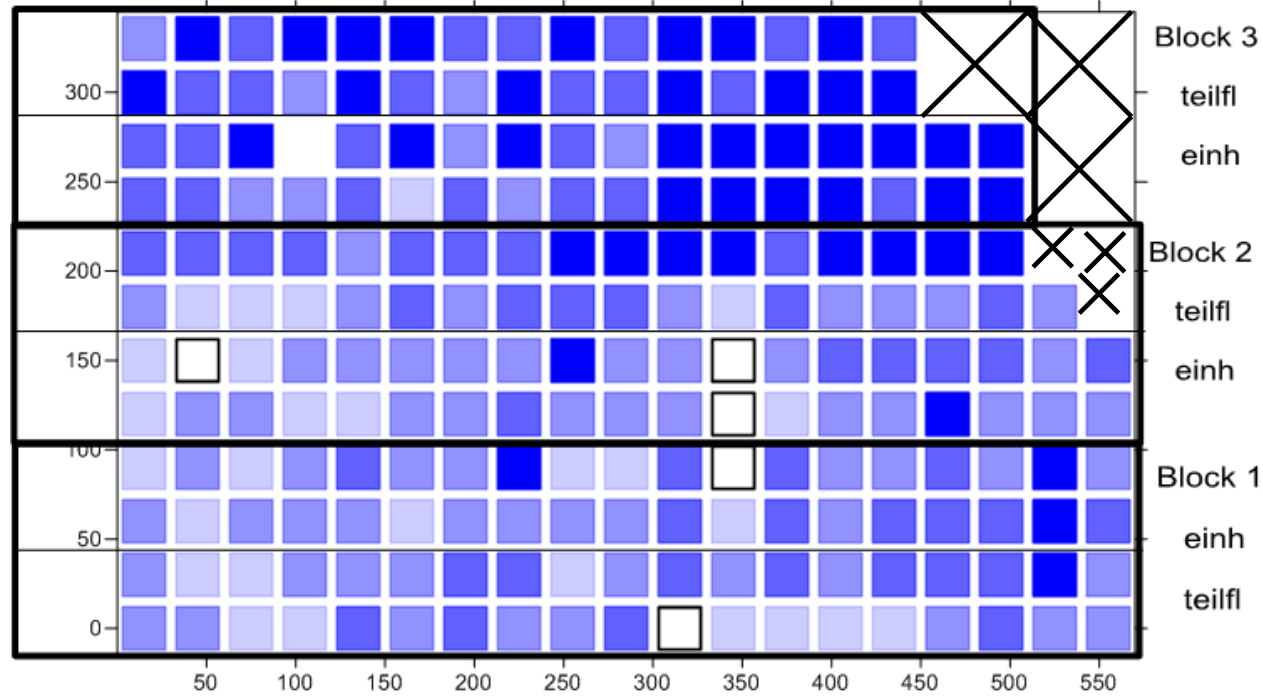
vor Aggregation:

- Winkel (Düngung) N = 820
- Ertrag N = 1028
- EC25 N = 6360

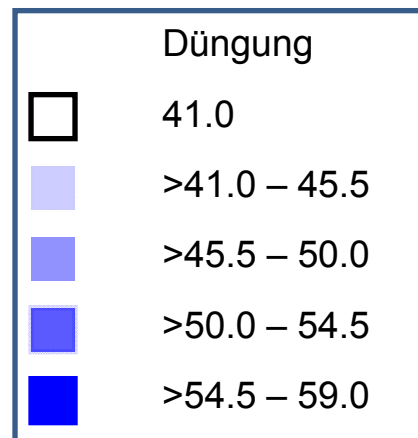
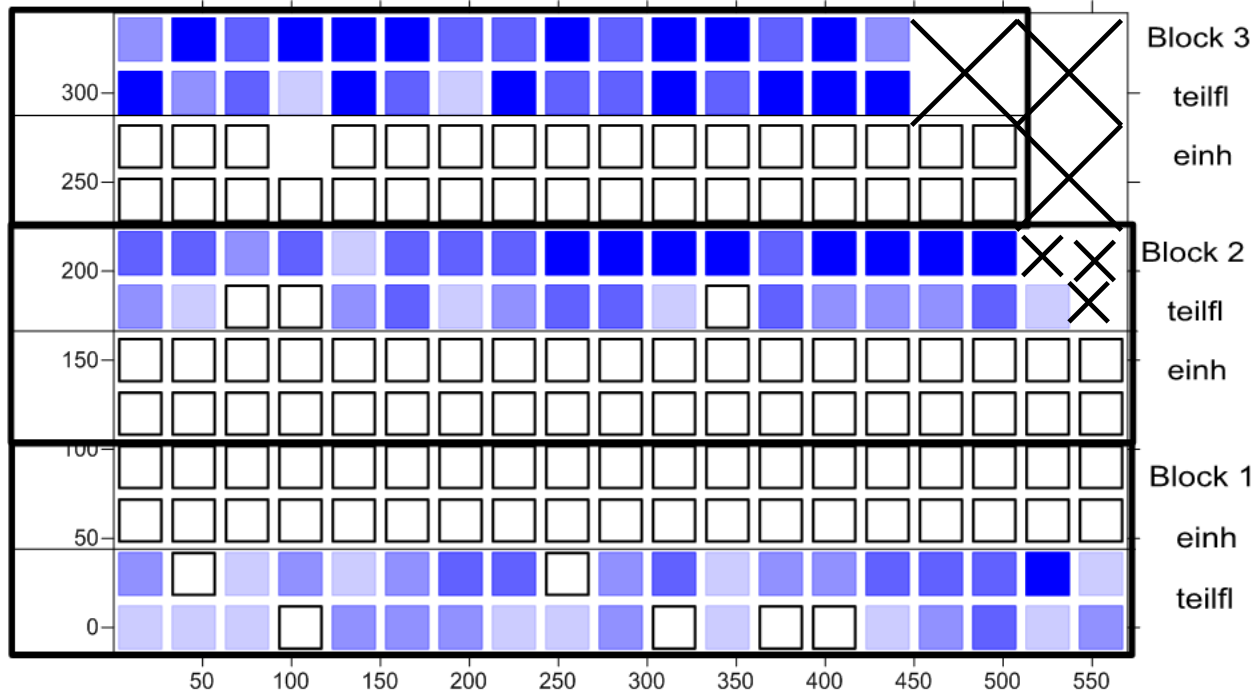
nach Aggregation:

für alle N = 212
($n_{\text{einh}} = 109$, $n_{\text{teifl}} = 103$)

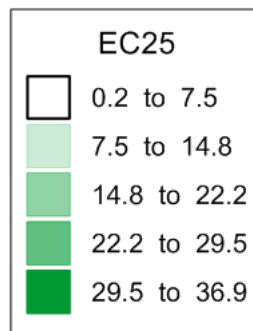
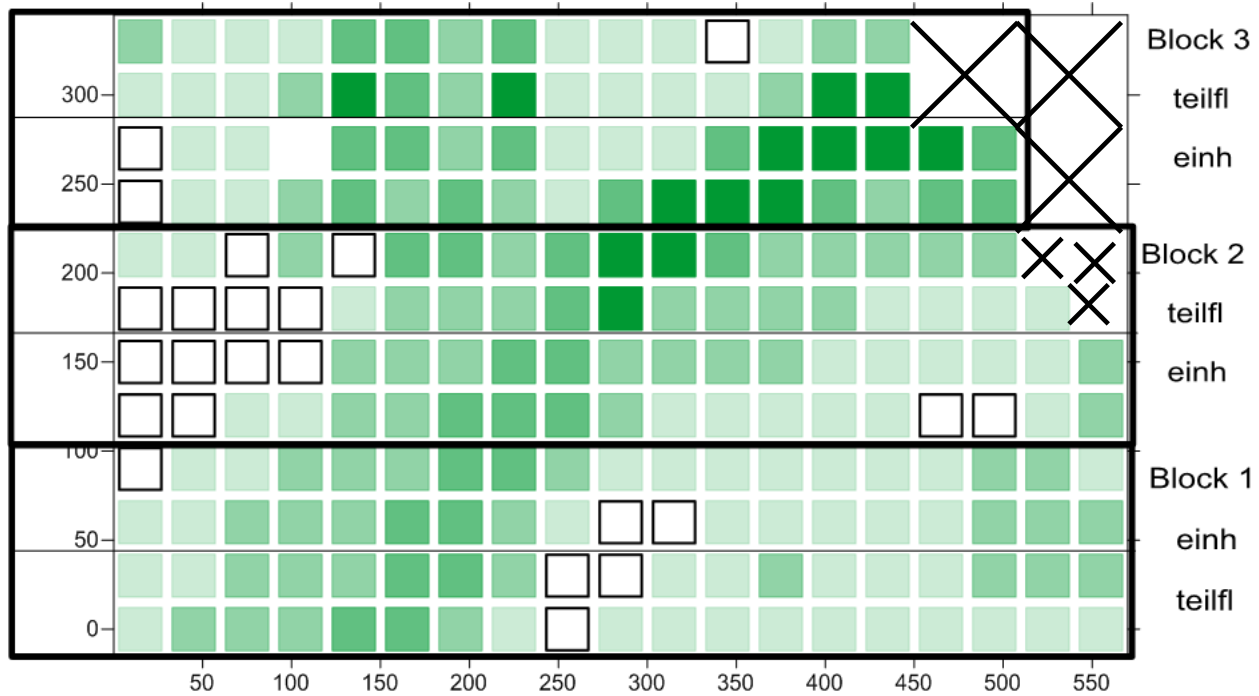
Winkel nach Aggregation (°)



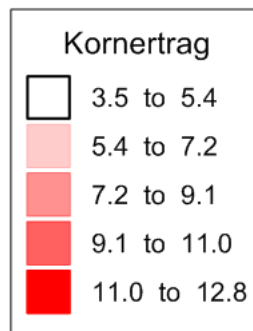
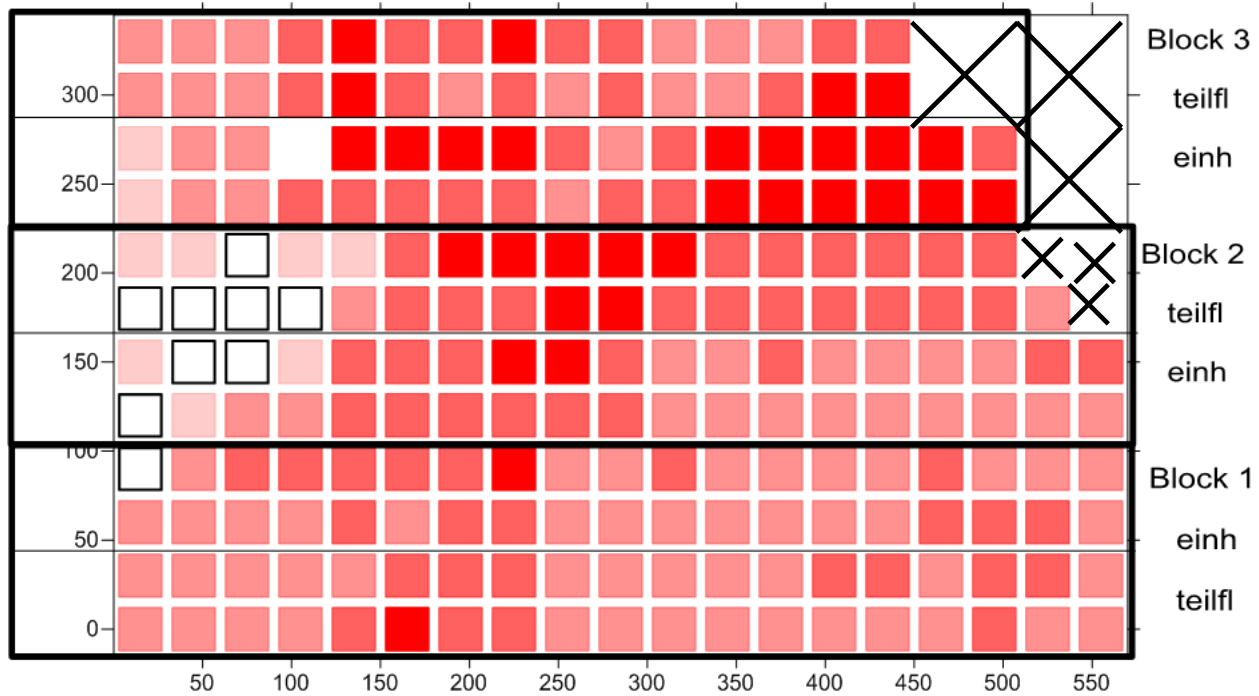
Düngung nach Aggregation (kg ha⁻¹)



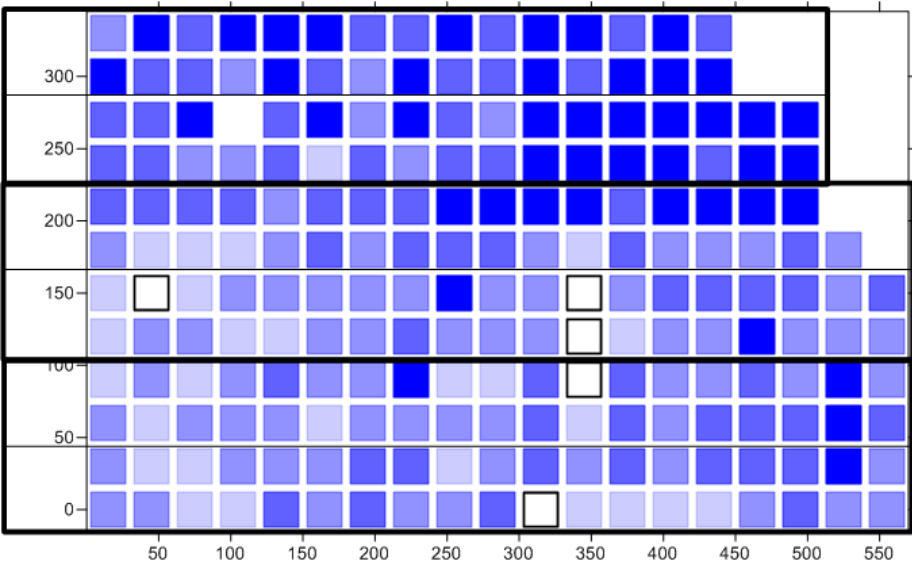
EC25 nach Aggregation (mS m⁻¹)



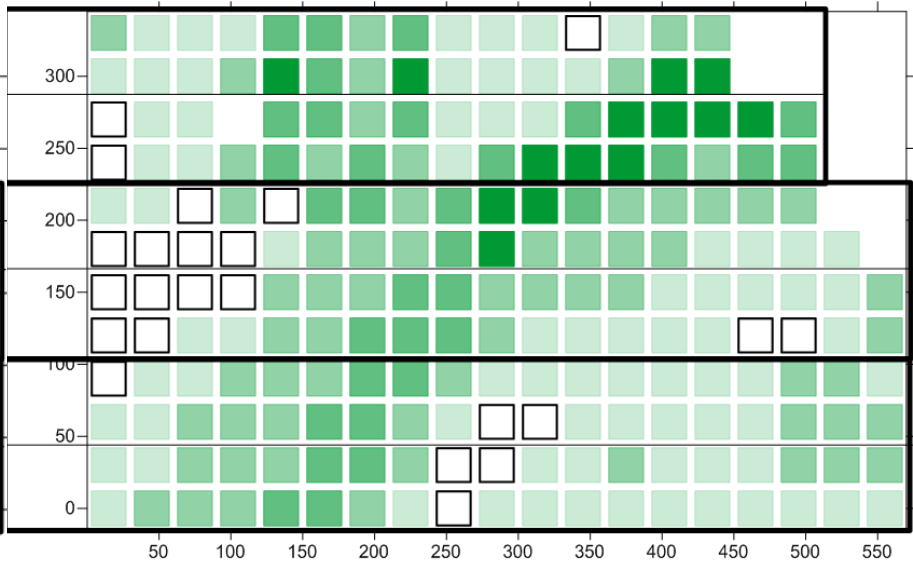
Kornertrag nach Aggregation (t ha⁻¹)



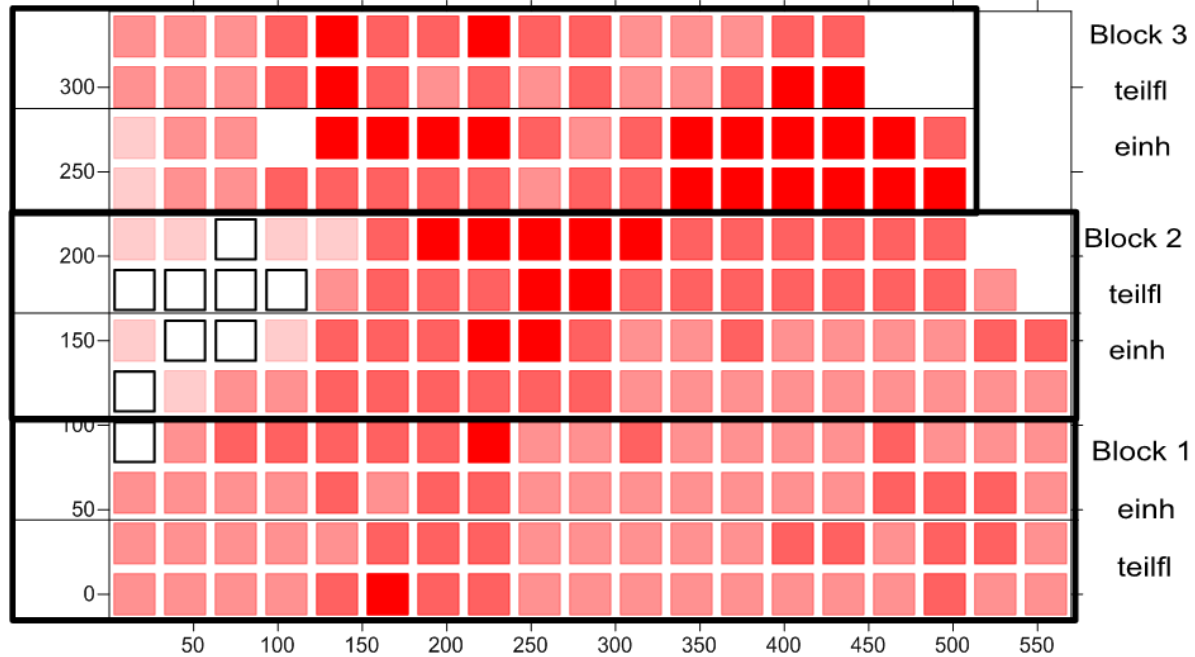
Winkel



EC25



Kornertrag



Ansätze zur Bewertung der Behandlungen

- (1) Mittelwertbildung über alle Einzelwerte je Parzelle =
klassische Blockanlage („Lackmus-Test“)



- (2) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle ohne
Berücksichtigung der Georeferenzierung



Zwischenschritt: Sollten Kovariablen berücksichtigt werden?



- (3) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der
Georeferenzierung
 - (3a) ohne geostatistischen Ansatz, aber mit Kovariablen
 - (3b) mit geostatistischem Ansatz (mit oder ohne Kovariablen)

(1) Mittelwertbildung über alle Einzelwerte je Parzelle = klassische Blockanlage

```
proc univariate data=cropm;  
var ertrag;  
by pg block;  
output out = mw mean=etrmw;  
run;
```

```
proc mixed data = mw method=reml;  
class pg block;  
model etrmw = pg block;  
lsmeans pg/pdiff;  
run;
```

Achtung: zweiseitiger t-Test; für einseitigen t-Test p-Wert umrechnen

	AICC _{REML}	Mittelwert einh	Mittelwert teilfl	Differenz teilfl - einh	s.e.d.	p-Wert t-Test Prüfglieder	p-Wert F-Test Block
Ertrag	11.1	9.2391	9.1410	-0.0981	0.3753	0.5909	0.2410

einseitiger t-Test

(2) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle ohne Berücksichtigung der Georeferenzierung - mit und ohne Varianzhomogenität der Prüfglieder -

Varianzhomogenität

```
proc mixed data=cropm method=reml;
class pg block parzelle;
model ertrag = pg block / ddfm=kr(firstorder);
random parzelle;
lsmeans pg/pdiff;
run;
```

Varianzheterogenität

```
proc mixed data=cropm method=reml;
class pg block parzelle;
model ertrag = pg block / ddfm=kr(firstorder);
random parzelle;
repeated / group = pg;
lsmeans pg/pdiff;
run;
```

	Varianzhomogenität	AICC _{REML}	Varianz Parzelle	Restvarianz einh	Restvarianz teilfl
Ertrag	ja	824.6	0.1265	2.7662	
	nein	824.4	0.1254	2.3668	3.1897



Durchschnittliche Kovarianz innerhalb der Parzellen

(2) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle ohne Berücksichtigung der Georeferenzierung - mit und ohne Varianzhomogenität der Prüfglieder -

	Varianzhomogenität	Mittelwert einh	Mittelwert teilfl	Differenz teilfl - einh	s.e.d.	p-Wert t-Test Prüfglieder	p-Wert F-Test Block
Ertrag	ja	9.2335	9.1476	-0.0859	0.3703	0.5807 ¹⁾	0.2360
	nein	9.2343	9.1486	-0.0857	0.3699	0.5806¹⁾	0.2360



einseitiger t-Test

Darf das Ergebnis interpretiert werden?

Waren die Ausgangsbedingungen für beide Prüfglieder gleich

(ceteris-paribus-Prinzip)?

Zwischenschritt: Sollten Kovariablen berücksichtigt werden?

- (a) Waren die Ausgangsbedingungen für beide Prüfglieder im Mittel gleich (ceteris paribus-Prinzip)?

Überprüfung an Hand von EC25 und Winkel

Bei vorhandener Georeferenzierung:

- (b) Gibt es Kovariablen, die einen Teil der Variabilität des Ertrages erklären und deren Einfluss eliminiert werden soll?
- (c) Als Voraussetzung für geostatistische Ansätze:
Existiert für den Ertrag ein globaler Trend auf der Fläche, der seine geostatistische Analyse verbieten würde und durch Kovariablen erklärt werden kann?

Theoretisch mögliche Kovariablen: räumliche Koordinaten, EC25,
Winkel

Zwischenschritt: Sollten Kovariablen berücksichtigt werden?

- (a) Waren die Ausgangsbedingungen für beide Prüfglieder gleich (ceteris paribus-Prinzip)?

	Varianz-homogenität	AICC _{REML}	Varianz Parzelle	Restvarianz einh	Restvarianz teilfl
Winkel	ja	1175.4	2.6211	14.7891	
	nein	1177.4	2.6216	15.0342	14.5292
EC25	ja	1449.9	7.6066	55.4699	
	nein	1451.8	7.6122	57.3897	53.4343

	Varianz-homogenität	Mittelwert einh	Mittelwert teilfl	Differenz teilfl - einh	s.e.d.	p-Wert t-Test Prüfglieder	p-Wert F-Test Block
Winkel	ja	21.5099	22.4935	0.9836	1.4244	0.5605	0.1545
	nein	21.5099	22.4935	0.9836	1.4244	0.5605	0.1546
EC25	ja	16.1082	15.9704	-0.1378	2.4753	0.9607	0.3954
	nein	16.1076	15.9695	-0.1380	2.4756	0.9607	0.3978



zweiseitiger t-Test

Zwischenschritt: Sollten Kovariablen berücksichtigt werden?

(a) Waren die Ausgangsbedingungen für beide Prüfglieder gleich (ceteris paribus-Prinzip)?



- Im Mittel sind die Winkel- und EC25-Werte für beide PGer zu Beginn des Versuchs identisch gewesen.
- Die Variabilität innerhalb der Parzellen ist bei beiden PGern gleich.
 - homogene Ausgangsbedingungen
 - **Ergebnisse aus (2) interpretierbar.**

Bei vorhandener Georeferenzierung:

(b) Gibt es Kovariablen, die einen Teil der Variabilität des Ertrages erklären und deren Einfluss eliminiert werden soll?

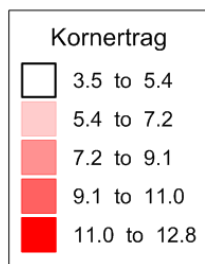
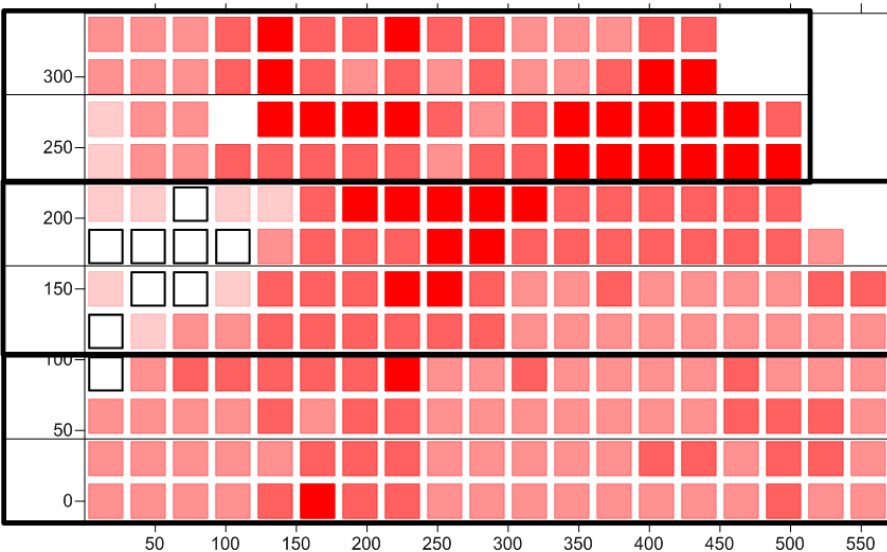
(c) Als Voraussetzung für geostatistische Ansätze:
Existiert für den Ertrag ein globaler Trend auf der Fläche, der eine geostatistische Analyse verbieten würde?

Theoretisch mögliche Kovariablen: räumliche Koordinaten, EC25,
Winkel

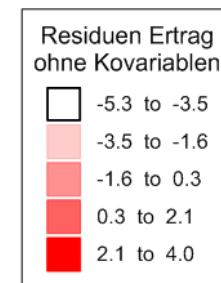
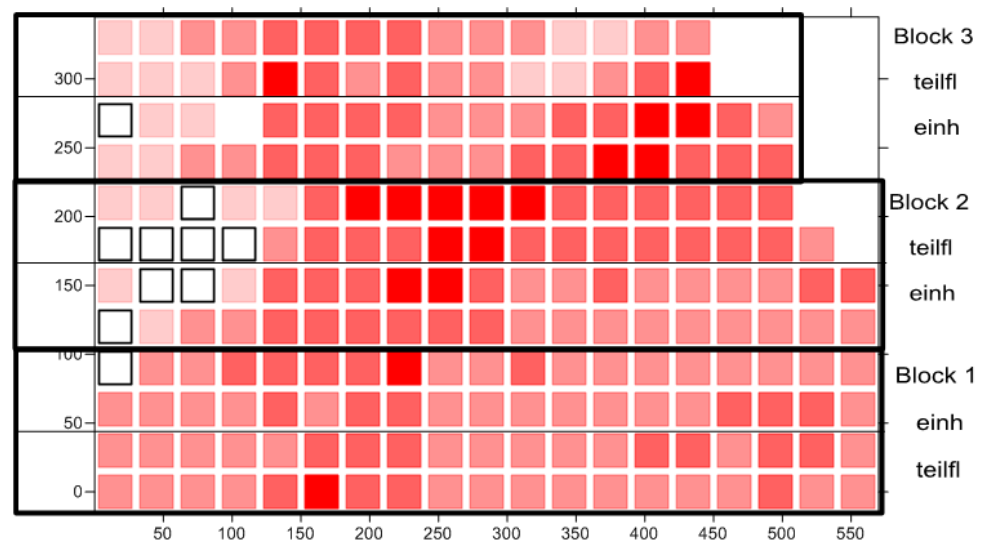
!!! Generell Vorsicht bei der Einbeziehung von Kovariablen !!!

Zwischenschritt: Sollten Kovariablen berücksichtigt werden?

Originalwerte



Residuen nach Eliminierung von PG- und Blockeffekten



Residuen stark durch EC25 beeinflusst

!!! Generell Vorsicht bei der Einbeziehung von Kovariablen !!!

Theoretisch mögliche Kovariablen: räumliche Koordinaten, EC25, Winkel

aber: alle Variablen entfallen, die ursächlich mit der Definition der Prüfglieder zusammenhängen

- Winkel
- EC25 ?

Es wäre denkbar:

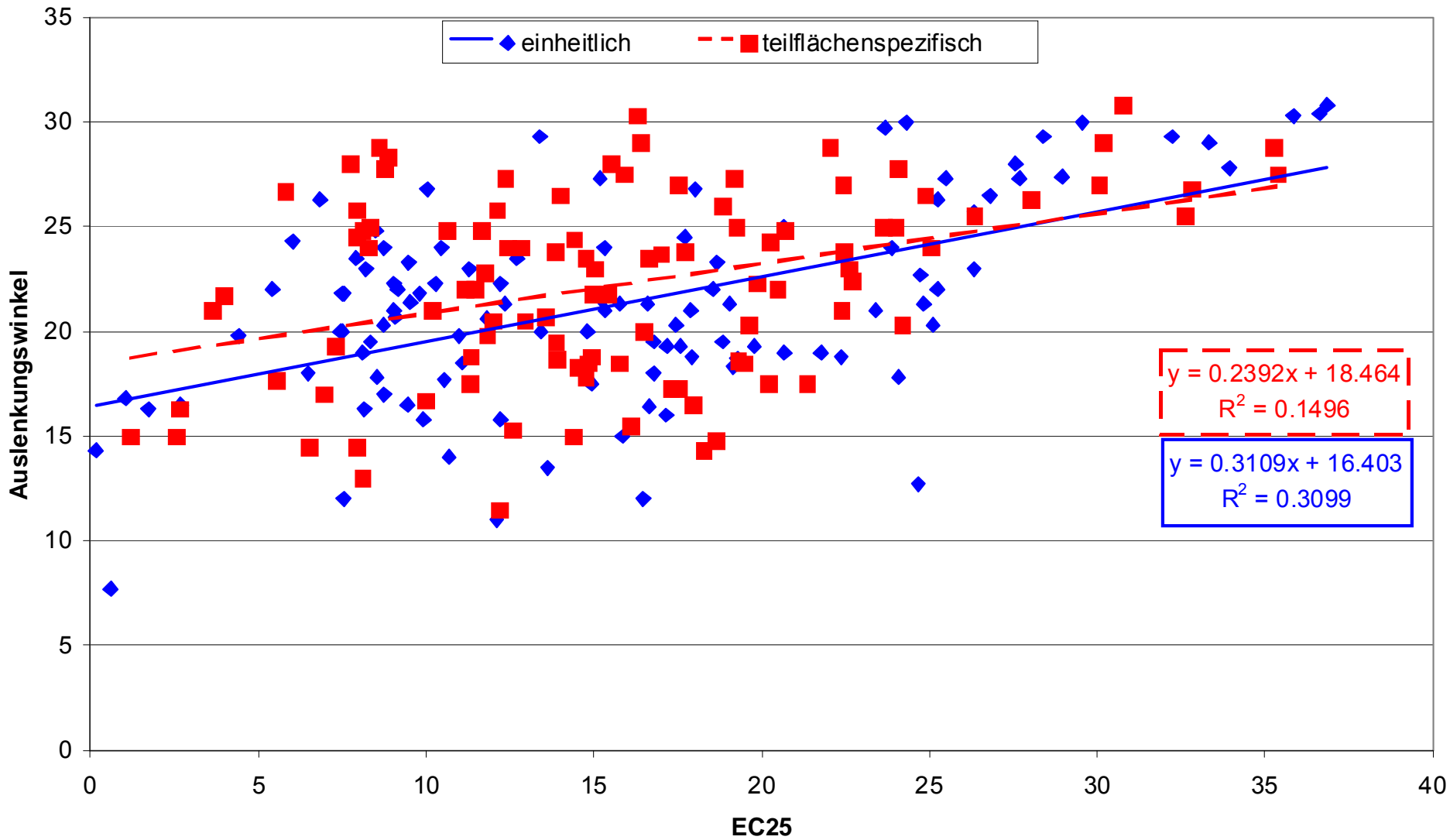
• *für PG teilfl:* EC25 → Winkel ~ Düngung → Ertrag

• *für PG einh:* EC25 → Winkel

↓

Ertrag

Es wäre denkbar: EC25 → Winkel



Zusammenhang bei PG teilfl sehr schwach



EC25 als Kovariable in Betracht zu ziehen

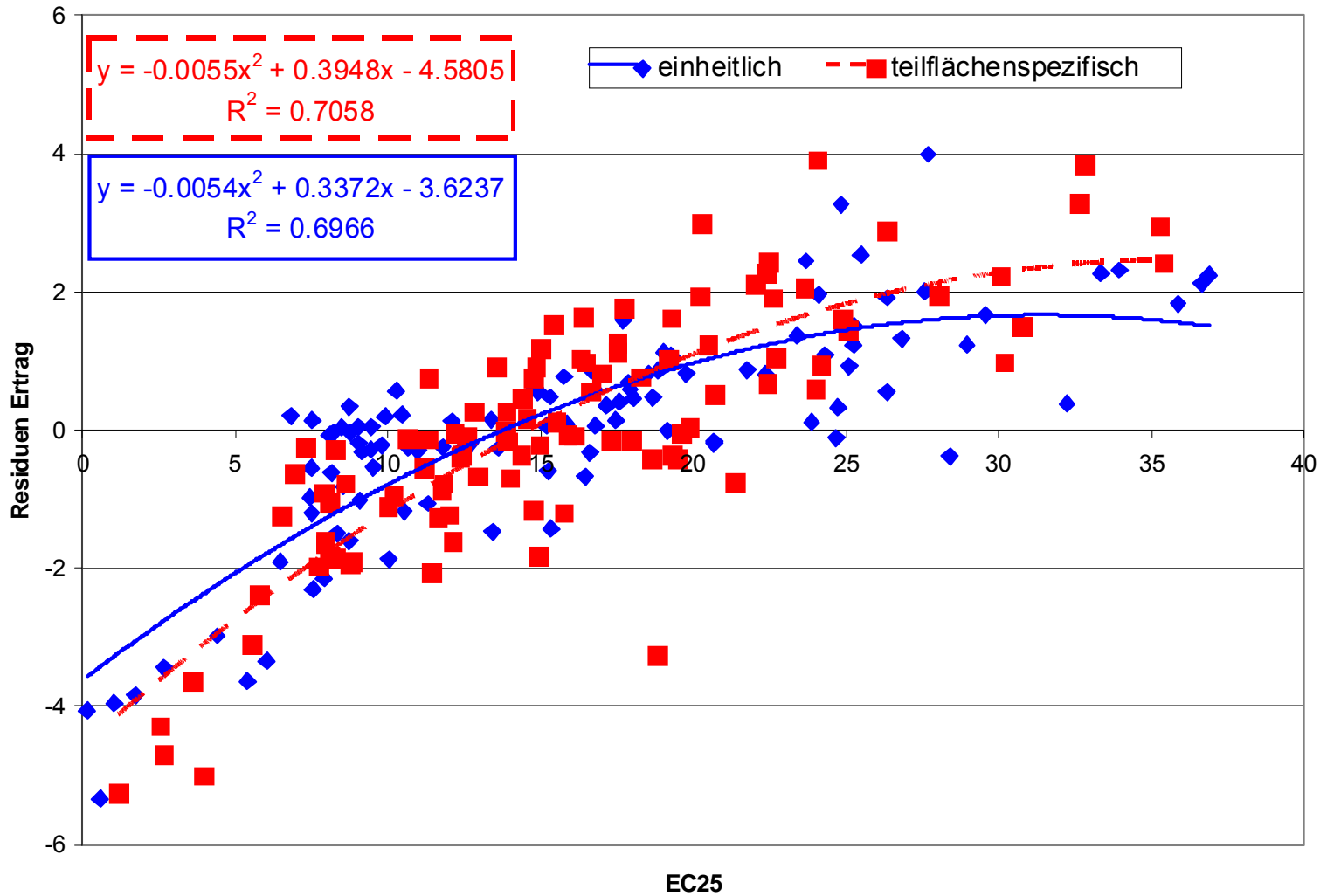
(3) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der Georeferenzierung (3a) ohne geostatistischen Ansatz (mit Kovariablen)

- (3a) erfordert nur dann die konkreten Positionsangaben, wenn die Parzellenkoordinaten als Kovariablen benutzt werden.
- Werden ausschließlich andere Kovariablen genutzt, so ist nur entscheidend, dass die Daten von der gleichen Rasterzelle stammen.

Zwecks Minimierung des Analysenaufwands:

→ *graphische Darstellung der Residuen des Ertrags in Abhängigkeit von den potentiellen Kovariablen*

Wie könnte der Zusammenhang EC25 → Residuen des Ertrages beschrieben werden?



(3) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der Georeferenzierung
(3a) ohne geostatistischen Ansatz (mit Kovariablen)

geprüfte Kovariablen: x , x^2 , y , y^2 , $x*y$, EC25 und EC25²
(auch pg-spezifisch geprüft, z.B. durch EC25*pg)

Betrachtung des möglichen Informationsgewinns bei gleichzeitiger Bestrafung der Anzahl der Kovariablen → ML-Methode notwendig

Modell mit Varianzhomogenität für PGer im Folgenden besser angepasst:

```
proc mixed data=cropm method=ml;
class pg block;
model ertrag = pg block x xx y yy xy ec ecec ec*pg/ddfm=kr(firstorder);
random parzelle;
lsmeans pg/pdiff;
run;
```

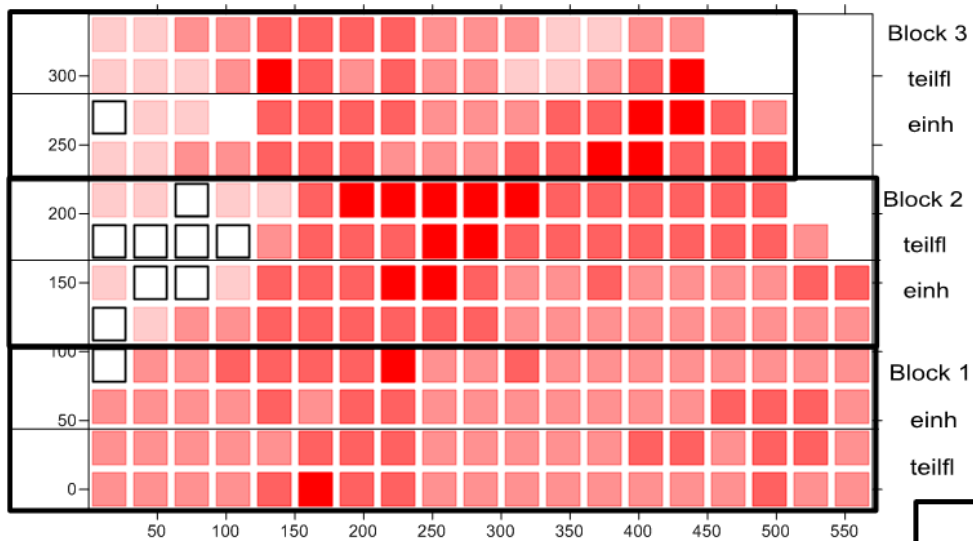
Ausgewählte Ergebnisse:

- ohne Kovariablen (entspricht Ansatz(2)) $AICC_{ML} = 826.8$ (entspricht Ansatz(2))
- mit EC25 und EC25² $AICC_{ML} = 559.8$
- mit EC25, EC25², x und x^2 $AICC_{ML} = 492.4$

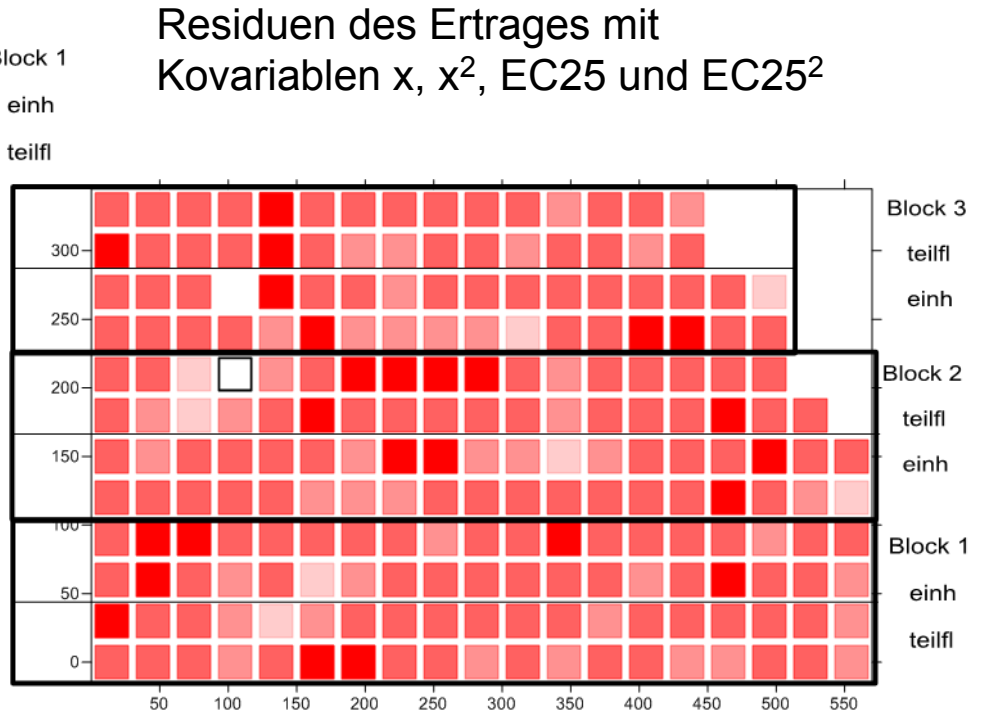
Alle Regressionskoeffizienten der Kovariablen mit $p < 0.0001$.



Die hier bestimmten Kovariablen sollten im Ansatz (3b) verwendet werden.



Residuen des Ertrages
ohne Kovariablen



Residuen des Ertrages mit
Kovariablen x , x^2 , $EC25$ und $EC25^2$

(3) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der Georeferenzierung (3b) mit geostatistischem Ansatz (mit oder ohne Kovariablen)

Auswertung mit REML unter Einbeziehung der Kovariablen mit homogenen Varianzen der Prüfglieder unter Nutzung

- verschiedener räumlicher Modelle und
- verschiedener Einflussphären der Korrelation
 - Parzelle `subject = parzelle`
 - Block `subject = block`
 - gesamter Versuch `subject = intercept`

Beispiel:

```
proc mixed data=cropm method=reml;  
class pg block;  
model ertrag = pg block x xx ec25 ec/ ddfm=kr(firstorder);  
repeated / type=sp(sphga1) (x y) subject = block2;  
lsmeans pg/pdiff;  
run;
```

- 1 räumliches Modell; hier: sphärisch anisotrop
- 2 entsprechende Einflussphäre

**mögliche
räumliche
Kovarianzstrukturen**

SAS – Hilfe

Help and Documentation

Table 46.6: Spatial Covariance Structures

Structure	Description	Parms	(i,j) th element
SP(EXP)(<i>c-list</i>)	Exponential	2	$\sigma^2 [\exp(-d_{ij}/\theta)]$
SP(EXPA)(<i>c-list</i>)	Anisotropic Exponential	$2c + 1$	$\sigma^2 \prod_{k=1}^c \exp[-\theta_k d(i, j, k)^{p_k}]$
SP(EXPGA)(<i>c, c₂</i>)	2D Exponential, Geometrically Anisotropic	4	$\sigma^2 [\exp(-d_{ij}(\theta, \lambda)/\rho)]$
SP(GAU)(<i>c-list</i>)	Gaussian	2	$\sigma^2 [\exp(-d_{ij}^2/\rho^2)]$
SP(GAUGA)(<i>c, c₂</i>)	2D Gaussian, Geometrically Anisotropic	4	$\sigma^2 [\exp(-d_{ij}(\theta, \lambda)^2/\rho^2)]$
SP(LIN)(<i>c-list</i>)	Linear	2	$\sigma^2 (1 - \rho d_{ij}) \ 1(\rho d_{ij} \leq 1)$
SP(LINL)(<i>c-list</i>)	Linear log	2	$\sigma^2 (1 - \rho \log(d_{ij}))$ $\times 1(\rho \log(d_{ij}) \leq 1)$
SP(MATERN)(<i>c-list</i>)	Matérn	3	$\sigma^2 \frac{1}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{d_{ij}}{2\rho}\right)^\nu 2K_\nu(d_{ij}/\rho)$
SP(MATHSW)(<i>c-list</i>)	Matérn (Handcock-Stein-Wallis)	3	$\sigma^2 \frac{1}{\Gamma(\nu)} \left(\frac{d_{ij}\sqrt{\nu}}{\rho}\right)^\nu 2K_\nu\left(\frac{2d_{ij}\sqrt{\nu}}{\rho}\right)$
SP(POW)(<i>c-list</i>)	Power	2	$\sigma^2 \rho^{d_{ij}}$
SP(POWA)(<i>c-list</i>)	Anisotropic Power	$c+1$	$\sigma^2 \rho_1^{d(i,j,1)} \rho_2^{d(i,j,2)} \dots \rho_c^{d(i,j,c)}$
SP(SPH)(<i>c-list</i>)	Spherical	2	$\sigma^2 [1 - (\frac{3d_{ij}}{2\rho}) + (\frac{d_{ij}^3}{2\rho^3})] \ 1(d_{ij} \leq \rho)$
SP(SPHGA)(<i>c, c₂</i>)	2D Spherical, Geometrically Anisotropic	4	$\sigma^2 [1 - (\frac{3d_{ij}(\theta, \lambda)}{2\rho}) + (\frac{d_{ij}(\theta, \lambda)^3}{2\rho^3})]$ $\times 1(d_{ij}(\theta, \lambda) \leq \rho)$

Vergleich der Modellanpassung bei Nutzung der Einzelwerte: Ansätze (2) und (3)

Ansatz	Kovariable / Varianzhomogenität	subject	AICC _{REML} (AICC _{ML})
(2)	Ohne / heterogen	-	824.6 (826.8)
(3a)	x, x ² , EC25, EC25 ² / homogen	-	546.4 (492.4)
(3b) sphärisch anisotrop am besten angepasst	<i>Ohne / homogen</i>	<i>Parzelle</i>	<i>566.5</i>
		<i>Block</i>	<i>533.1</i>
		<i>intercept</i>	<i>559.9</i>
	x, x ² , EC25, EC25 ² / homogen	Parzelle	472.8
		Block	468.4
		intercept	489.8

Vergleich der Modellanpassung bei Nutzung der Einzelwerte: Ansätze (2) und (3)

Ansatz	Kovariable / Varianzhomogenität	subject	AICC _{REML} (AICC _{ML})
(2)	Ohne / heterogen	-	824.6 (826.8)
(3a)	x, x ² , EC25, EC25 ² / homogen	-	546.4 (492.4)
(3b) sphärisch anisotrop am besten angepasst	Ohne / homogen	Parzelle	566.5
		Block	533.1
		intercept	559.9
	x, x ² , EC25, EC25 ² / homogen	Parzelle	472.8
		Block	468.4
		intercept	489.8

Ausgewählte Ergebnisse für die Ansätze (1) bis (3)

Ansatz	Kovaria- blen / Var.hom.	AICC _{REML}	Mittelwert einh	Mittelwert teilfl	Differenz teilfl - einh	s.e.d.	p-Wert t-Test Prüfglieder	p-Wert F-Test Block
(1)	ohne/ homogen	11.1	9.2391	9.1410	-0.0981	0.3753	0.5909	0.2410
(2)	ohne / heterogen	824.4	9.2343	9.1486	-0.0857	0.3699	0.5806	0.2360
(3a)	x, x ² , EC25, EC25 ² / homogen	546.4	9.2381	9.0968	-0.1413	0.1045	0.9110	0.0078
(3b) für: sphärisch anisotrop und subject = block	<i>ohne / homogen</i>	<i>533.1</i>	<i>8.9550</i>	<i>8.8338</i>	<i>-0.1212</i>	<i>0.1788</i>	<i>0.7497</i>	<i>0.6259</i>
	x, x ² , EC25, EC25 ² / homogen	468.4	9.2580	9.1184	-0.1396	0.1604	0.8064	0.5600



(4) Ansatz zur detaillierten Bewertung der Behandlungen

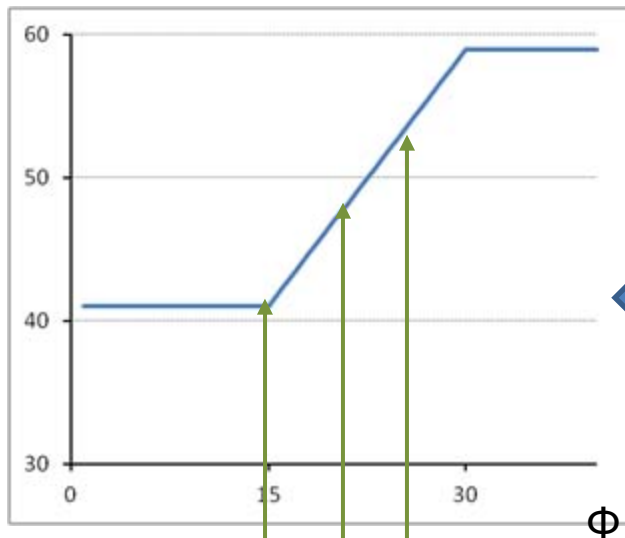
Klassifizierung der Auslenkungswinkel (zusätzlicher Faktor)

Ziel: Vergleich der Prüfglieder je Winkelklasse

$$\text{Winkelklasse} = \begin{cases} 1 & \text{wenn } \Phi \leq 15^\circ \\ 2 & \text{wenn } 15^\circ < \Phi \leq 20^\circ \\ 3 & \text{wenn } 20^\circ < \Phi \leq 25^\circ \\ 4 & \text{wenn } \Phi > 25^\circ \end{cases}$$

Resultierende Stichprobenumfänge

Winkel- klasse \ PG	1	2	3	4	Σ
einheitlich	8	33	45	23	109
teilfl	6	27	37	33	103
Σ	14	60	82	56	212

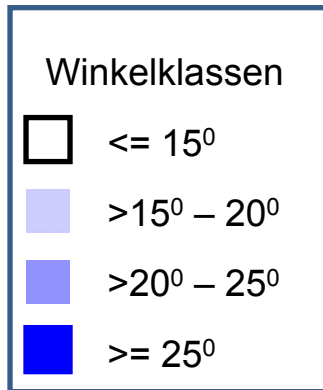
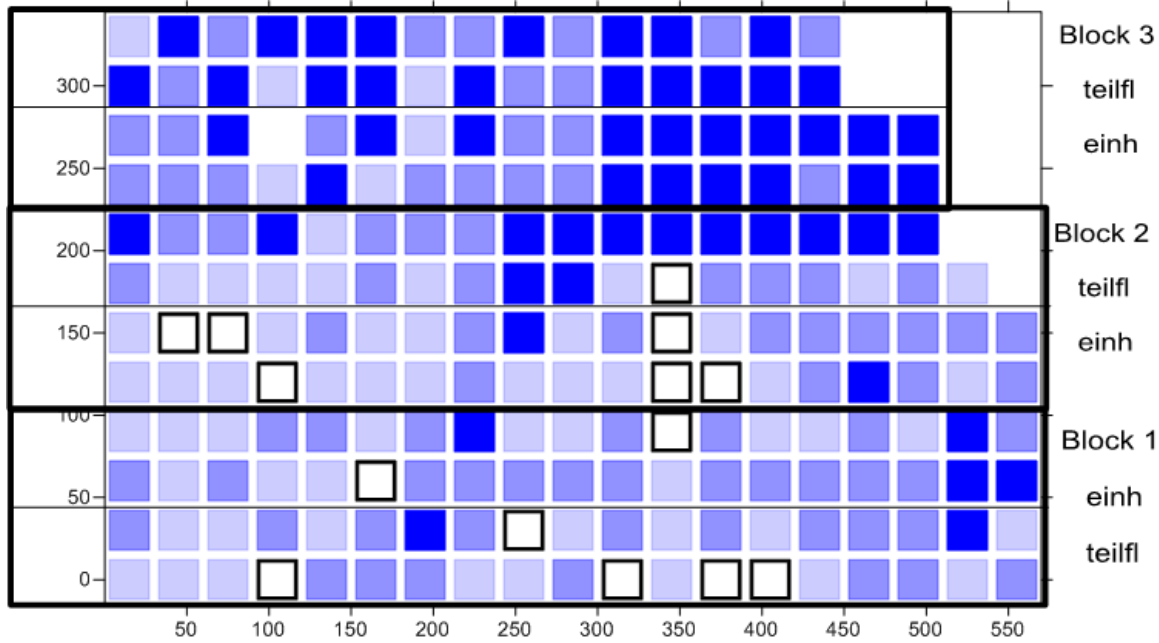


einheitliche
Gabe = 41 kg N ha⁻¹

Winkelklasse:

1 2 3 4

Klassifizierung der Auslenkungswinkel (zusätzlicher Faktor)



Resultierende Stichprobenumfänge

Winkel- klasse \ PG	1	2	3	4	Σ
einheitlich	8	33	45	23	109
teilfl	6	27	37	33	103
Σ	14	60	82	56	212

Zweifaktorielle Betrachtung

- Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der Georeferenzierung mit und ohne Kovariablen
- bestangepasstes räumliches Modell: sphärisch anisotrop

```
proc mixed data=cropm method=reml;
class pg winkkl block;
model ertrag = pg winkkl pg*winkkl block x xx ec25 ec/ ddfm=kr(firstorder);
repeated / type=sp(sphga) (x y) subject = block;
lsmeans pg/pdiff;
run;
```

	AICC _{REML}	Subject	Variationsursache	p-Wert F-Test
Ohne Kovariablen	518.9	block	PG	0.5466
			Winkelklasse	0.0003
			WW PG x Winkelklasse	0.3416
			Block	0.7589
mit EC25, EC25 ² , x, x ²	470.6	block	PG	0.5683
			Winkelklasse	0.0808
			WW PG x Winkelklasse	0.7238
			Block	0.6708
			x	<.0001
			x ²	0.0028
			EC25	<.0001
			EC25 ²	<.0001

Vergleich der Winkelklassen im Mittel der Prüfglieder

	Mittelwerte je Winkelklasse und einseitiger t-Test ¹⁾			
Ohne Kovariablen	1	2	3	4
	8.33 a	8.64 a	8.89 b	9.31 c
mit EC25, EC25 ² , x, x ²	1	2	3	4
	8.82 a	9.10 b	9.21 bc	9.34 c

1) $\mu_i < \mu_j$ für alle $i < j$ und $i, j = 1, 2, 3, 4$ Winkelklasse

Vergleich der Prüfglieder je Winkelklasse

	Winkelklasse	Mittelwert einh	Mittelwert teilfl	Differenz teilfl-einh	s.e.d.	t-Test Prüfglieder p-Wert
Ohne Kovariablen	1	8.3439	8.3206	-0.0232	0.4136	0.9553 ¹⁾
	2	8.7428	8.5358	-0.2070	0.2362	0.8086 ²⁾
	3	8.8515	8.9358	0.0843	0.2015	0.3385 ²⁾
	4	9.4681	9.1484	-0.3198	0.2521	0.8962 ²⁾
mit EC25, EC25 ² , x, x ²	1	8.7730	8.8766	-0.1036	0.3436	0.7633 ¹⁾
	2	9.2121	8.9937	-0.2184	0.2064	0.8968 ²⁾
	3	9.2559	9.1607	-0.0952	0.1840	0.6968 ²⁾
	4	9.4309	9.2392	-0.1917	0.2217	0.8055 ²⁾

¹⁾zweiseitiger t-Test ²⁾ einseitiger t-Test

Zusammenfassung der Analysenschritte

- (1) Mittelwertbildung über alle Einzelwerte je Parzelle = klassische Blockanlage
- (2) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle ohne Berücksichtigung der Georeferenzierung
- (3) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der Georeferenzierung
 - (3a) ohne geostatistischen Ansatz, aber mit Kovariablen
 - (3b) mit geostatistischem Ansatz (mit oder ohne Kovariablen)
- (4) Nutzung der Einzelwerte je Parzelle unter Berücksichtigung der Georeferenzierung bei Klassifizierung der N-Düngung
 - (4a) ohne geostatistischen Ansatz, aber mit Kovariablen
 - (4b) mit geostatistischem Ansatz (mit oder ohne Kovariablen)

mittlere Aussage für den gewählten Algorithmus

detailliertere Aussage

Analyse gerechtfertigt auf Grund der Randomisation (Basisauswertung)



Nutzung der Information aus wiederholten Messungen bei konstanter Korrelation in Parzellen



Reduzierung der Restvariabilität (u.U. Vermeidung von Verzerrungen der PG-Differenz)



Nutzung der Information aus wiederholten Messungen bei flexiblem Ansatz für die Korrelation



wie zuvor und zusätzlich:
Information über die Wirkungsweise des gewählten Applikationsalgorithmus