

Reduzierte Bodenbearbeitung in Feldversuchen

Dr. Andreas Büchse
Fachgebiet Bioinformatik
Institut für Pflanzenbau und Grünland
Universität Hohenheim

www.uni-hohenheim.de/bioinformatik/...

buechse@uni-hohenheim.de


Reduzierte Bodenbearbeitung in Feldversuchen

(1) Versuche bei
reduzierter
Boden-
bearbeitung

(2) Bodenbearbeitung als
Prüffaktor innerhalb eines
Feldversuches



(1) Versuche bei reduzierter Bodenbearbeitung



Prinzipiell keine Unterschiede in Anlage und Auswertung gegenüber wendender Bodenbearbeitung

(1) Versuche bei reduzierter Bodenbearbeitung

Hypothese 1

Größere zeitliche Differenzierung bei Aufgang / Jugendentwicklung

- Einzelpflanzenvariabilität größer
- Brauche größere Parzellen um das auszugleichen > größere Bodenunterschiede innerhalb Blocks!
- Versuchsfehler steigt ☹
- Mehr Wiederholungen notwendig!

(1) Versuche bei reduzierter Bodenbearbeitung

Hypothese 2

Latent vorhandene Bodenunterschiede treten infolge Pflugverzicht deutlicher in Erscheinung

- Versuchsfehler steigt ☹️
- Mehr Wiederholungen notwendig!

(1) Versuche bei reduzierter Bodenbearbeitung

Bewertung der Hypothesen

- Versuche mit reduzierter Bearbeitung haben nicht zwangsläufig höheren Fehler
- Sollte man überhaupt Versuche auf heterogenen Flächen durchführen?

(2) Bodenbearbeitung als Prüffaktor

Mindestgröße für Parzellen

- Einsetzen/Ausheben der Maschinen
- evtl. bestimmte Fahrgeschwindigkeit notwendig

➤ Brauche große (lange) Parzellen

(2) Bodenbearbeitung als Prüffaktor

(a) Streulagenversuch

Praxisschläge: Parzelle = Schlag

(b) Streifenversuche

ein Schlag aber sehr große Parzellen

(c) Randomisierte Versuchsanlagen

Mehrfaktorielle Versuche

Spalt- und Streifenanlagen

Anlagen in unvollständigen Blöcken

Beispiel für Streulagenversuch

Karten Ansicht Messen Koordinaten Zeichnen Objekte Extras Service Hilfe

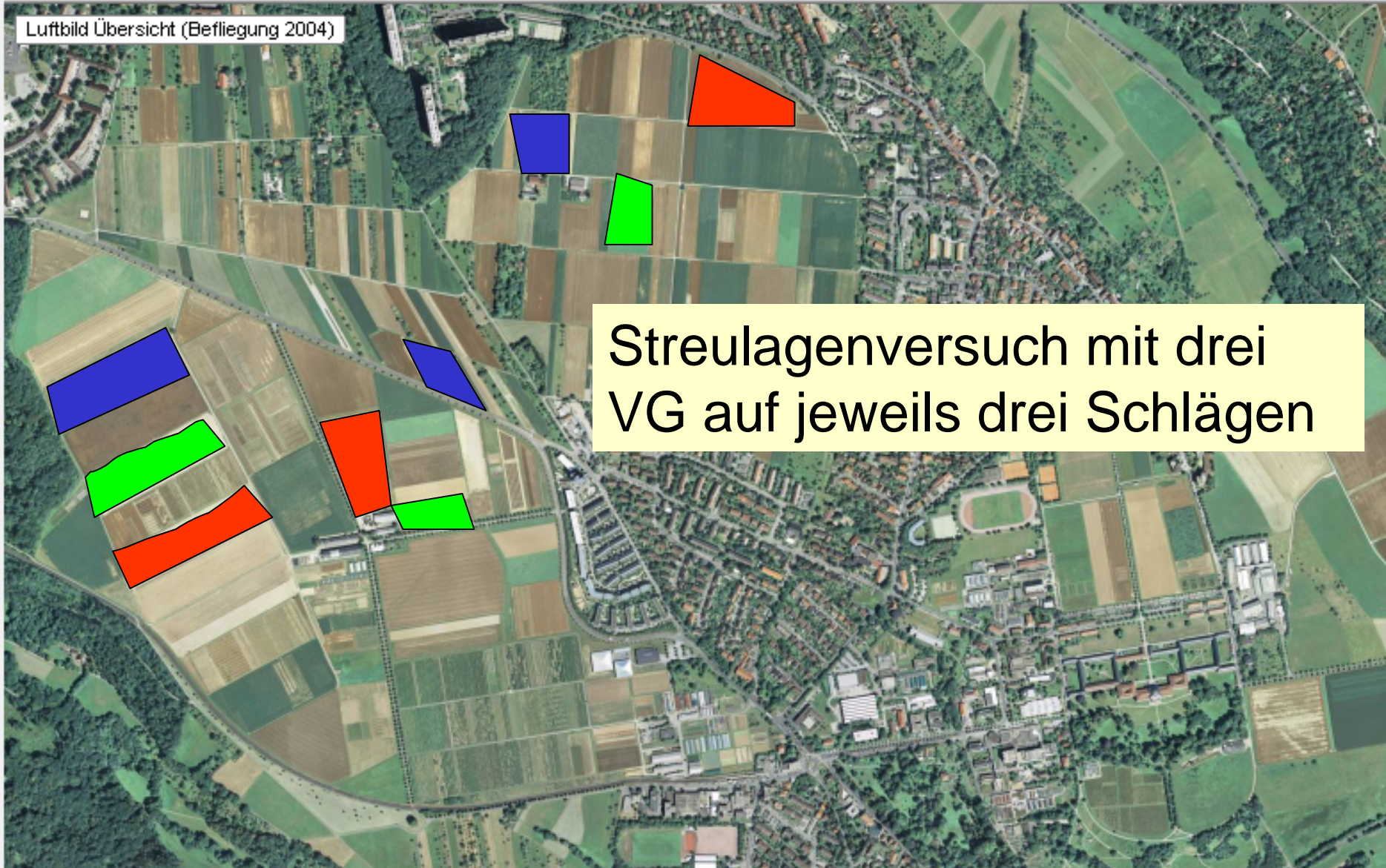
Luftbild Übersicht (Befliegung 2004)



Beispiel für Streulagenversuch

Karten Ansicht Messen Koordinaten Zeichnen Objekte Extras Service Hilfe

Luftbild Übersicht (Befliegung 2004)

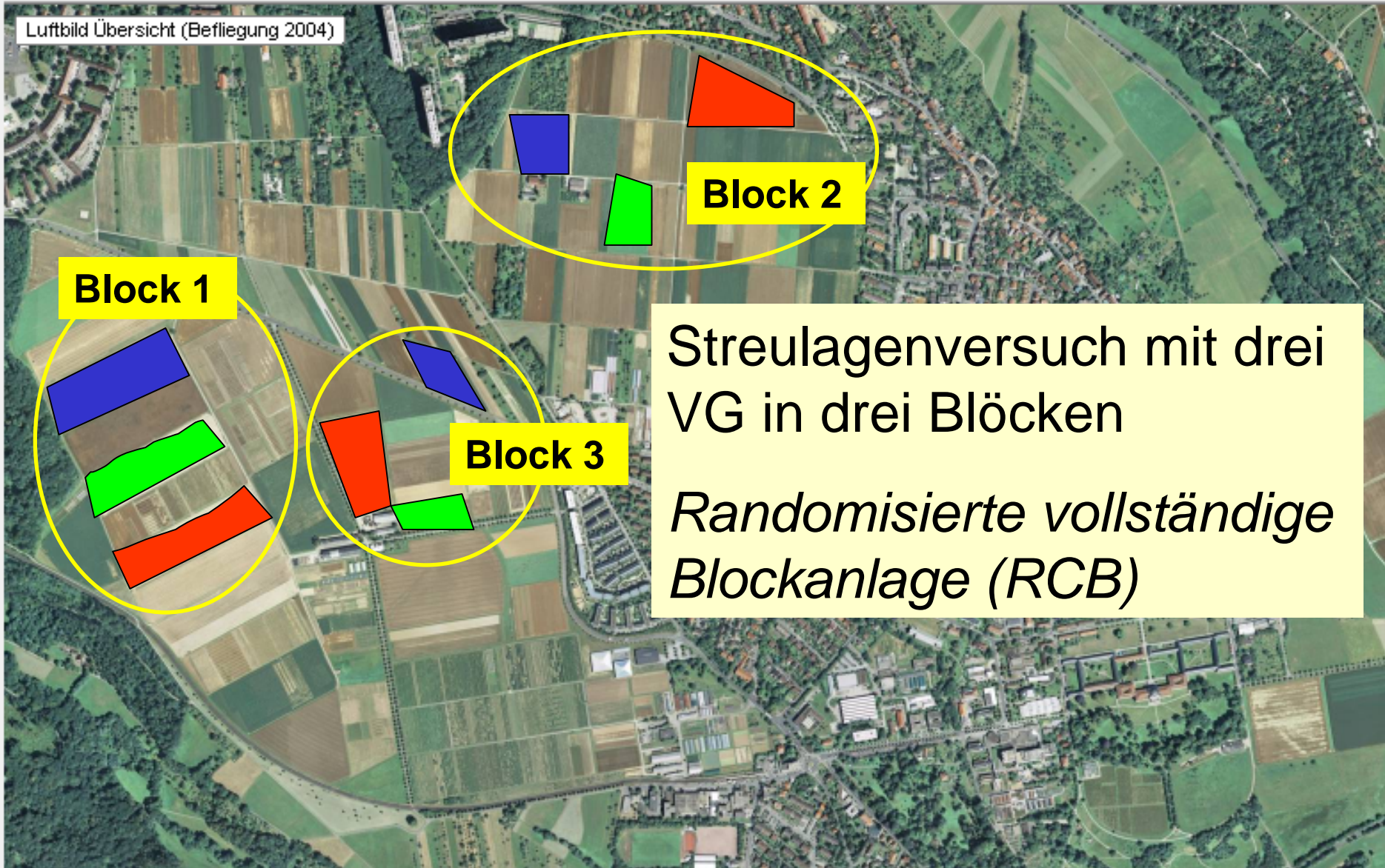


Streulagenversuch mit drei
VG auf jeweils drei Schlägen

Beispiel für Streulagenversuch

Karten Ansicht Messen Koordinaten Zeichnen Objekte Extras Service Hilfe

Luftbild Übersicht (Befliegung 2004)



Block 1

Block 2

Block 3

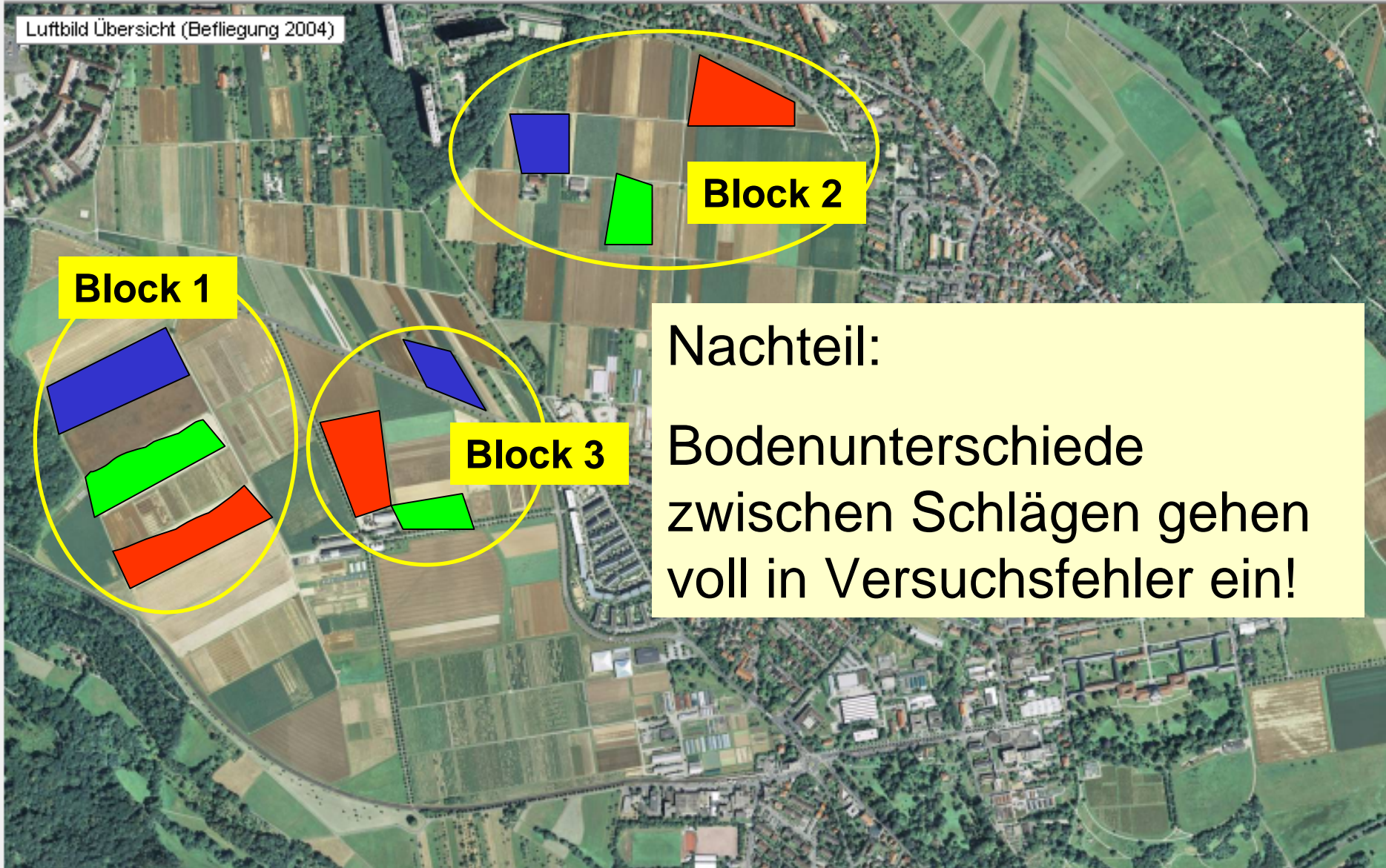
Streulagenversuch mit drei
VG in drei Blöcken

*Randomisierte vollständige
Blockanlage (RCB)*

Beispiel für Streulagenversuch

Karten Ansicht Messen Koordinaten Zeichnen Objekte Extras Service Hilfe

Luftbild Übersicht (Befliegung 2004)



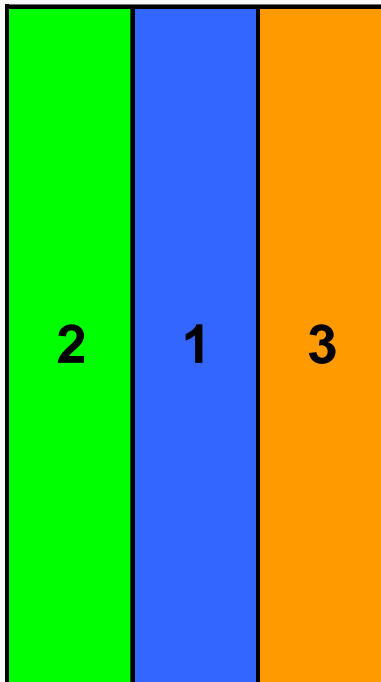
Nachteil:

Bodenunterschiede
zwischen Schlägen gehen
voll in Versuchsfehler ein!

Streifenversuche

ein Schlag aber sehr große Parzellen

wenn nur 1 Wdh -> Demonstrationsversuch

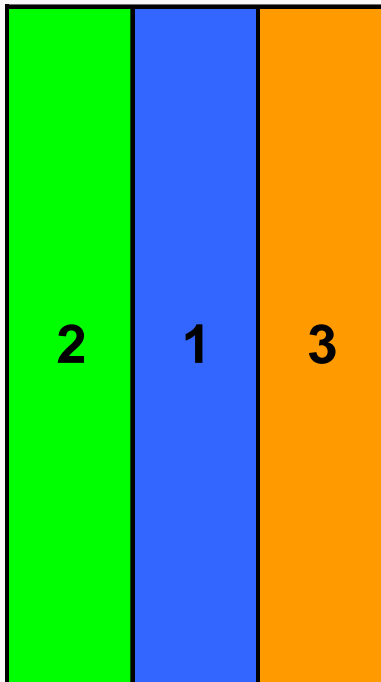


- 1 = gepflügt**
- 2 = gegrubbert**
- 3 = Direktsaat**

Streifenversuche

ein Schlag aber sehr große Parzellen

wenn nur 1 Wdh -> Demonstrationsversuch



- 1 = gepflügt
- 2 = gegrubbert
- 3 = Direktsaat

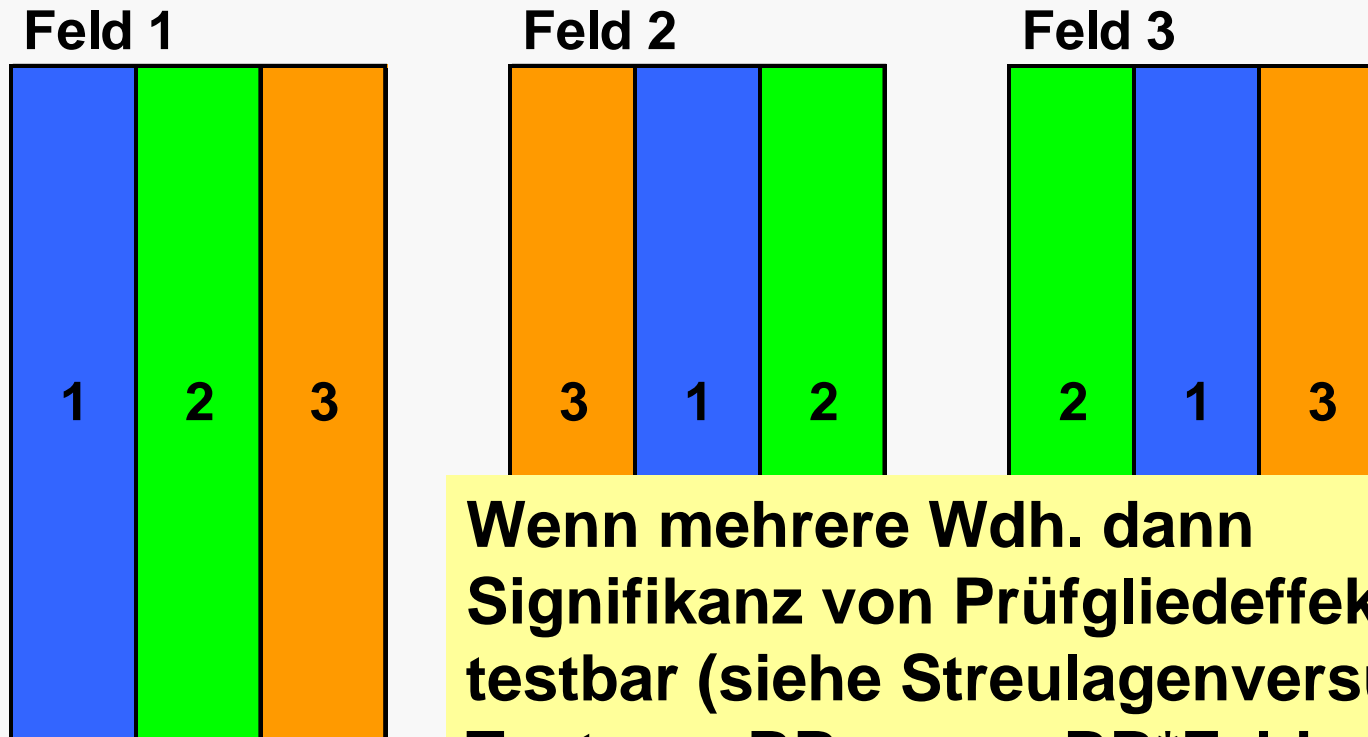
Kein Signifikanztest sinnvoll

**Prüfgliedeffekte mit
Bodenunterschieden vermengt**

Streifenversuche mit Wiederholungen

Schlag = Wiederholung

Randomisierte vollständige Blockanlage

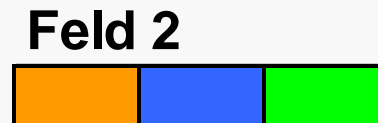
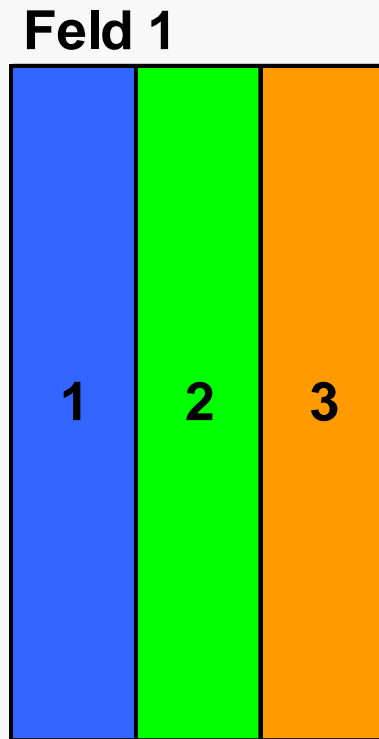


**Wenn mehrere Wdh. dann
Signifikanz von Prüfgliedeffekten
testbar (siehe Streulagenversuch),
Test von BB gegen BB*Feld**

Streifenversuche mit Wiederholungen

Schlag = Wiederholung

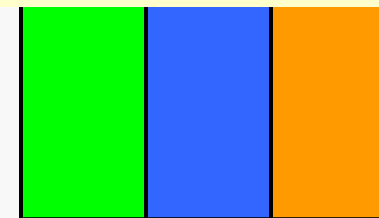
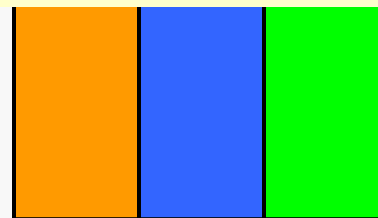
Randomisierte vollständige Blockanlage



Jeder Schlag ein Block:

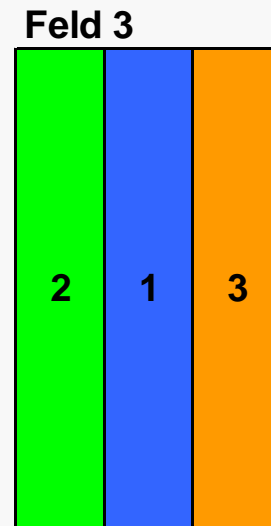
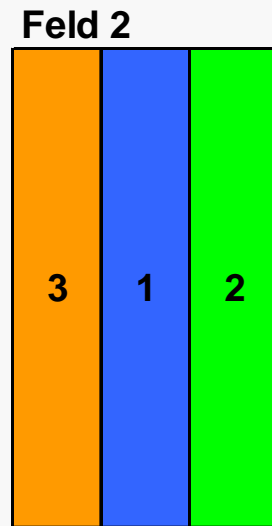
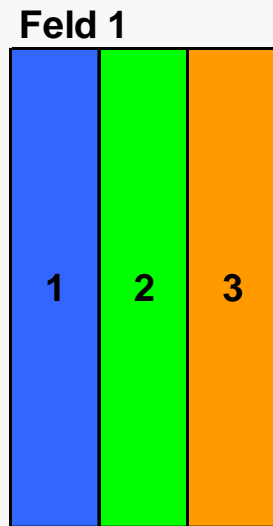
Bodenunterschiede zwischen Schlägen gehen nicht in Versuchsfehler ein!

Interaktion Schlag*VG geht in Fehler ein!



Varianzanalyse

9 Parzellen = 8 Freiheitsgrade, 4 Fehler-FG



Ursache	FG
Felder	2
Varianten	2
Fehler	4
Total	8

Tabellenwerte der t-Verteilung

$$LSD = t_{Tab[FG;\alpha]} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot MQ_{Fehler}}{r}}$$

FG-Fehler	$\alpha = 0,05$	relativ zu 10 FG
1	12,71	570%
2	4,30	193%
3	3,18	143%
4	2,78	125%
5	2,57	115%
10	2,23	100%
20	2,09	94%
100	1,98	89%
1000	1,96	88%

Versuche so planen, dass mind. 5, besser 10 Fehler-FG erreicht werden

Mehrfaktorielle Versuche

3 Bodenbearb., 9 Sorten, 3 BB-Parzellen

2	3	8
5	6	9
6	7	2
7	1	4
8	9	6
9	4	3
1	2	5
3	8	1
4	5	7

Varianz-Ursache	MQ	FG
BB + Parzelle	MQ_{BB}	2
Sorten	MQ_{Sorten}	8
Fehler + Parz*Sorten + BB*Sorten	MQ_{Fehler}	16
Total (3 x 9 -1)		26

$$F_{Sorten} = \frac{MQ_{Sorten}}{MQ_{Fehler}}$$

$$F_{BB} = \frac{MQ_{BB}}{MQ_{Fehler}}$$

- Test von Sorten ist sinnvoll, aber konservativ, da Fehler mit Interaktion Sorte*BB vermengt
- Interaktion Sorte x BB ist nicht prüfbar
- Test von BB ist möglich, aber sagt nichts aus

3 Bodenbearb., 9 Sorten, 6 BB-Parzellen

Wdh 1			Wdh 2		
2	3	8	8	9	5
5	6	9	4	3	1
6	7	2	2	8	6
Spaltanlage					
8	9	6	1	6	3
9	4	3	6	4	7
1	2	5	3	2	8
3	8	1	7	1	2
4	5	7	9	5	9

Varianz-Ursache	MQ	FG
BB	MQ_{BB}	2
Wdh	MQ_{Wdh}	1
BB*Wdh = Großteilstück	MQ_{BB*Wdh}	2
Sorten	MQ_{Sorten}	8
Sorten*BB	$MQ_{Sorten*BB}$	16
Sorten*BB*Wdh = Kleinteilstück	MQ_{Fehler}	24
Total [2 x (3 x 9)] - 1		53

$$F_{BB} = \frac{MQ_{BB}}{MQ_{BB*Wdh}}$$

$$F_{Sorten} = \frac{MQ_{Sorten}}{MQ_{Fehler}}$$

$$F_{Sorten*BB} = \frac{MQ_{Sorten*BB}}{MQ_{Fehler}}$$

- Test BB 2 Zähler- und 2 Nenner-FG ($F_{Tab} = 19,0$)
- Test Sorte 8 Zähler- und 24 Nenn.-FG ($F_{Tab} = 2,36$)
- Test Interaktion mit 16, 24 FG ($F_{Tab} = 2,09$)

Güte des Tests für die Bodenbearbeitung

- Test Sortenhaupteffekt mit hoher Power
- Test Interaktion mit hoher Power
- Test des BB-Haupteffekt mit geringer Power

Freiheitsgrade für den Großteilstückfehler

	Stufen Großteilstückfaktor			
Wdh	2	3	4	5
2	1	2	3	4
3	2	4	6	8
4	3	6	9	12
5	4	8	12	16
6	5	10	15	20

Grenzdifferenz für Vergleich der Stufen des Großteilstückfaktors (A)

$$LSD = t_{Tab[FG;\alpha]} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot MQ_{ra}}{rb}}$$

Anzahl Freiheitsgrade = $(a-1)(r-1)$ *hier: 2*

MQ_{ra} Großteilstückfehler ($BB * Wdh$)

rb Anzahl Parzellen je
Großteilstückfaktorstufe (= Anzahl
Kleinteilstückfaktorstufen \times Anzahl
Wiederholungen) *hier: 18*

Grenzdifferenz für Vergleich der Stufen des Kleinteilstückfaktors (B)

$$LSD = t_{Tab[FG;\alpha]} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot MQ_e}{ra}}$$

Anzahl Freiheitsgr. = $a(b-1)(r-1)$ *hier: 24*

MQ_e Kleinteilstück- bzw. Restfehler

ra Anzahl Parzellen je

Kleinteilstückfaktorstufe (= Anzahl Großteilstückfaktorstufen x Anzahl Wiederholungen) *hier: 6*

Grenzdifferenz für Vergleich der Stufen des Kleinteilstückfaktors (B) auf gleicher Stufe des Großteilstückfaktors (A)

$$LSD = t_{Tab[FG;\alpha]} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot MQ_e}{r}}$$

Anzahl Freiheitsgr. = $a(b-1)(r-1)$ *hier: 24*

MQ_e *Kleinteilstück- bzw. Restfehler*

r *Anzahl Wiederholungen hier: 2*

Grenzdifferenz für Vergleiche von Kleinteilstückfaktorstufen (A) auf unterschiedlichen Großteilstückfaktorstufen (B)

$$LSD = t_{Tab[FG;\alpha]} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot [MQ_{ra} + (b-1) \cdot MQ_e]}{rb}}$$

$$FG = \frac{a \cdot (r-1) \cdot (a-1) \cdot [(b-1) \cdot MQ_e + MQ_{ra}]^2}{(a-1) \cdot (b-1) \cdot MQ_e^2 + (a) \cdot MQ_{ra}^2} \quad (\text{Satterthwaite})$$

MQ_{ra} Großteilstückfehler

MQ_e Kleinteilstück- bzw. Restfehler

a Anzahl Großteilstückfaktorstufen

b Anzahl Kleinteilstückfaktorstufen

r Anzahl Wiederholungen

Zweifaktorielle Serie (Typ 1)

- Mehrere Standorte
- An jedem Ort ein Versuch je Bodenbearbeitung
 - ein Versuch gepflügt
 - ein Versuch gegrubbert
 - ein Versuch no-till
- Nur eine Wdh. der Sorten pro Ort*BB

Zweifaktorielle Serie (Typ 1)

Ort 1

2	3	8
5	6	9
6	7	2
7	1	4
8	9	6
9	4	3
1	2	5
3	8	1
4	5	7

Ort 2

8	9	5
4	3	1
2	8	6
5	7	4
1	6	3
6	4	7
3	2	8
7	1	2
9	5	9

Design ähnlich Spaltanlage, aber:

- erwarte Interaktion Sorte*Ort
- Orte zufälliger Faktor

Varianz-Ursache	MQ	FG
BB	MQ_{BB}	2
Ort (random)	MQ_{Ort}	1
BB*Ort (random)	MQ_{BB*Ort}	2
Sorten	MQ_{Sorten}	8
Sorten*BB	$MQ_{Sorten*BB}$	16
Sorten*Ort (random)	$MQ_{Sorten*Ort}$	8
Sorten*BB*Ort (random)	MQ_{Fehler}	16
Total [2 x (3 x 9)] -1		53

Zweifaktorielle Serie (Typ 2)

- Mehrere Standorte
- An jedem Ort ein Versuch je Bodenbearbeitung
 - ein Versuch gepflügt
 - ein Versuch gegrubbert
 - ein Versuch no-till
- **mehrere Wdh.** der Sorten pro Ort*BB

Zweifaktorielle Serie (Typ 2)

Ort 1				Ort 2							
V1		V2		V3		V1		V2		V3	
W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2
2	3	8	8	9	5						
5	6	9	4	3	1						
6	7	2	2	8	6						
7	1	4	5	7	4						
8	9	6	1	6	3						
9	4	3	6	4	7						
1	2	5	3	2	8						
3	8	1	7	1	2						
4	5	7	9	5	9						

Zweifaktorielle Serie (Typ 2)

Ort 1						Ort 2					
V1		V2		V3		V1		V2		V3	
W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2	W1	W2
2	3	8	8	9	5						
5	6	9	4	3	1						
6											
7											
8											
9											
1											
3											
4											
		Varianz-Ursache						MQ			FG
		BB						MQ_{BB}			2
		Ort (random)						MQ_{Ort}			1
		BB*Ort (random)						MQ_{BB*Ort}			2
		BB*Wdh*Ort = Großteilstücke						$MQ_{BB*Wdh*Ort}$			6
		Sorten						MQ_{Sorten}			8
		Sorten*BB						$MQ_{Sorten*BB}$			16
		Sorten*Ort (random)						$MQ_{Sorten*Ort}$			8
		Sorten*BB*Ort (random)						$MQ_{Sorten*BB*Ort}$			16
		Sorten*BB*Ort*Wdh = Kleinteilstücke						MQ_{Fehler}			48
		Total									107

Zweifaktorielle Serie (Typ 3): Serie von Spaltanlagen

Ort 1

Wdh 1

2	3	8
5	6	9
6	7	2
7	1	4
8	9	6
9	4	3
1	2	5
3	8	1
4	5	7

Wdh 2

8	9	5
4	3	1
2	8	6
5	7	4
1	6	3
6	4	7
3	2	8
7	1	2
9	5	9

Ort 2

Wdh 1

Wdh 2

Bodenbearbeitung: Blau, Grün, Rot
Sorten 1-9

Zweifaktorielle Serie (Typ 3): Serie von Spaltanlagen

Ort 1			Ort 2		
Wdh 1	Wdh 2		Wdh 1	Wdh 2	
2	3	8	8	9	5
5	6	9	4	3	1
6	Varianz-Ursache			MQ	FG
7	BB			MQ_{BB}	2
8	Ort (random)			MQ_{Ort}	1
9	BB*Ort (random)			MQ_{BB*Ort}	2
1	Wdh*Ort (random)			$MQ_{Wdh*Ort}$	2
3	BB*Wdh*Ort = Großteilstücke			$MQ_{BB*Wdh*Ort}$	4
4	Sorten			MQ_{Sorten}	8
	Sorten*BB			$MQ_{Sorten*BB}$	16
	Sorten*Ort (random)			$MQ_{Sorten*Ort}$	8
	Sorten*BB*Ort (random)			$MQ_{Sorten*BB*Ort}$	16
	Sorten*BB*Ort*Wdh = Kleinteilstücke			MQ_{Fehler}	48
	Total				107

Keine Vermengungen mehr, alles vernünftig testbar!

3-faktorielle Versuche

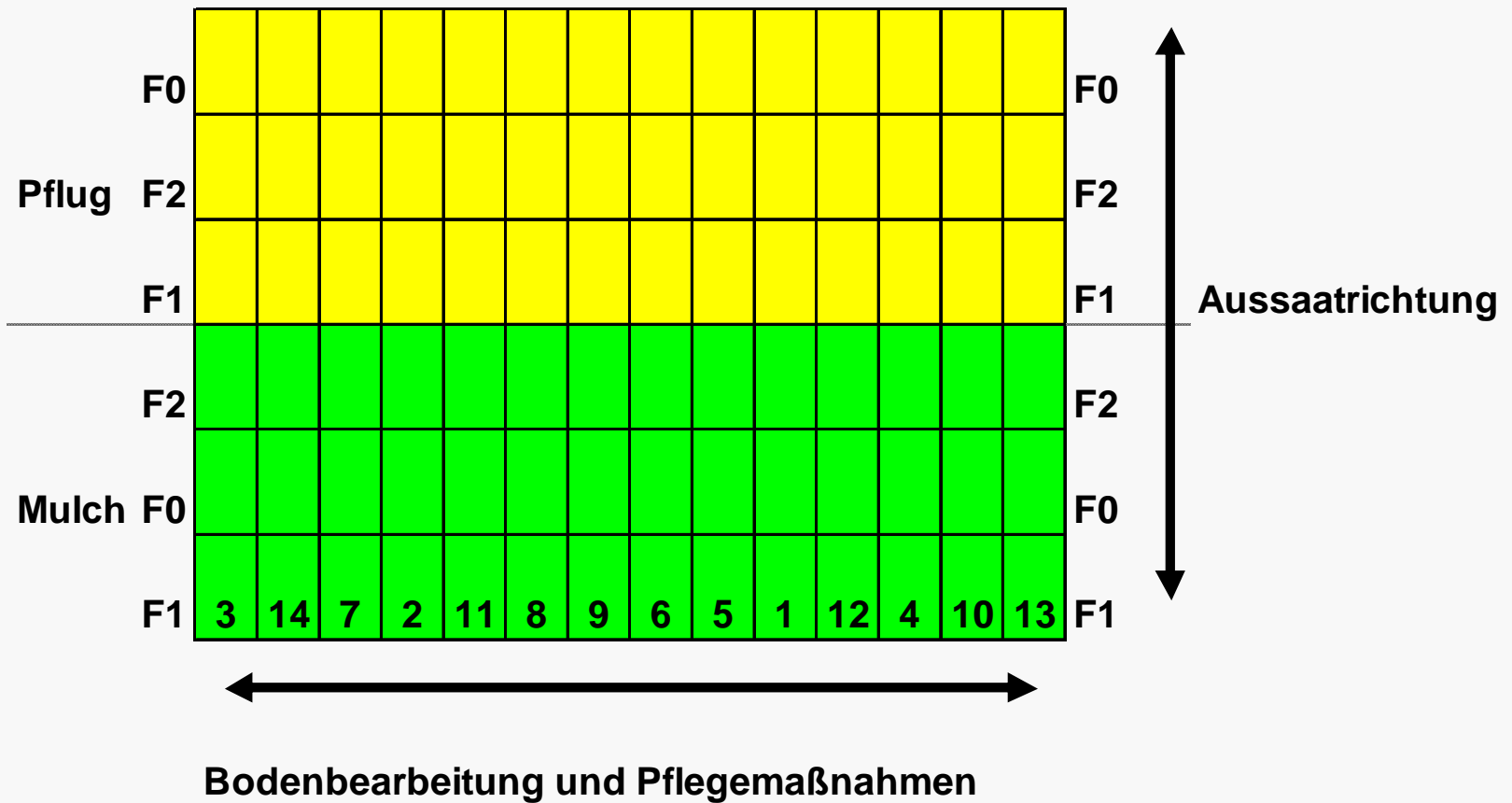
Bodenbearbeitung

Intensität

Sorte

Mögliches Design: Spalt-Spaltanlage

3-faktorieller Versuch



Fungizidbehandlung = F0/F1/F2

Spalt-Spaltanlage

4 Wiederholungen, Bodenbearbeitung in Zeilen, Fungizidbehandlung (F0/F1/F2) in Unterzeilen, Sorten in Kleinteilstücken

F0																F0
F2																F2
F1																F1
F2																F2
F0																F0
F1	3	14	7	2	11	8	9	6	5	1	12	4	10	13	F1	

F2																F2
F0																F0
F1																F1
F1																F1
F0																F0
F0																F0
F2																F2

F1																F1
F0																F0
F2																F2
F0																F0
F2																F2
F1																F1

F2																F2
F0																F0
F1																F1
F2																F2
F0																F0
F1																F1

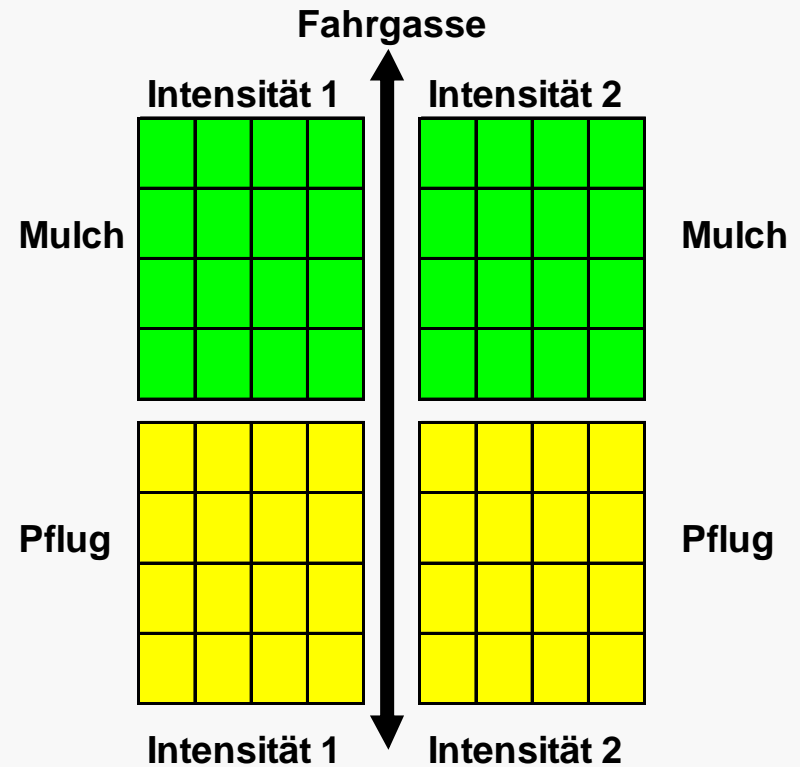
Spalt-Spaltanlage

4 Wiederholungen, Bodenbearbeitung in Zeilen, Fungizidbehandlung (F0/F1/F2) in Unterzeilen, Sorten in Kleinteilstücken

F0	Varianz-Ursache														MQ	FG	F2
F2	Wdh														MQ_{Wdh}	3	F0
F1	BB														MQ_{BB}	1	F1
F2	BB*Wdh = Zeilenfehler														MQ_{BB*Wdh}	3	F1
F0	Fungi														MQ_{Fungi}	2	F0
F1	3	14	BB*Fungi												$MQ_{BB*Fungi}$	2	F2
	BB*Fungi*Wdh = Unterzeilenfehler														$MQ_{BB*Fungi*Wdh}$	12	
F1	Sorten														MQ_{Sorten}	13	F2
F0	Sorten*BB														$MQ_{Sorten*BB}$	13	F0
F2	Sorten*Fungi														$MQ_{Sorten*Fungi}$	26	F1
F0	Sorten*BB*Fungi														$MQ_{Sorten*BB*Fungi}$	26	F2
F2	Sorten*BB*Fungi*Wdh = Kleinteilst.														MQ_{Fehler}	234	F0
F1	Total															335	F1

Streifen-Spaltanlagen und sonstige Gemeinheiten...

- **Zeilenfehler,
Spaltenfehler,
Zeile*Spalte**
- **Versuche mit 1
Wiederholung je Ort
analog zu
zweifaktoriellen
Versuchen**
- **viele zufällige Effekte**
- **komplexe Tests und
LSD-Formeln**



Hinweise für komplexe mehrfaktorielle Versuche


- **Software für Gemischte Modelle notwendig (SAS, ASReml, R, GenStat, AgroBase??? ...)**
- **Uni-Hohenheim entwickelt Software-Paket auf ASReml-Basis (Projekt „GabiBrain“)**
- **PlabStat F-Tests korrekt, LSD oftmals nicht**
- **Nutzer muss das Modell korrekt aufschreiben:**
 - **Beispiele in Lehrbüchern i.a. nur Standarddesigns, Serien unbefriedigend behandelt**
 - **jede Randomisationseinheit ein Fehlerterm (Großteilstücke, Mittelteilstücke, Kleinteilstücke)**
 - **in Serien Ort und Jahr zufällig, alle Interaktionen mit Ort und Jahr ebenfalls**
 - **siehe *Piepho, Büchse & Emrich, JACS 2004; Piepho, Büchse & Richter, JACS 2005***

Auswertung zweifaktorielle Serie über Mittelwerte

```
"Mehrfaktorielle Verrechnung"  
"Orte für die Verrechnung: 1, 4, 3, 2, 6, 8,"  
'FACTORS' ORTE=6 Beh=4 Sorte=10  
'MODEL' O + B + S + OB + OS + BS + OBS  
'RANDOM' O  
'ANOVA/0111' 1 1 1  
'MEANS' SB OS  
'TBT_TABLE' B S BS  
'VARIABLE_NAMES' 1kEr  
'RUN'
```


PlabStat-Output

Source	DF	SS	MS	Var.cp	s(V.cp)	F	DFNM	DFDN	s.e.	LSD5
O	5	38933.2958	7786.6592	194.5784	104.0536	2209.97**	5	135	0.30	0.83
B	3	4030.6551	1343.5517	19.7295	14.1917	8.41**	3	15	1.63	4.92
S	9	749.5578	83.2842	1.9045	1.5145	2.22*	9	45	1.25	3.56
BO	15	2396.7173	159.7812	15.6258	5.4806	45.35**	15	135	0.59	1.66
SO	45	1690.8785	37.5751	8.5129	1.9407	10.66**	45	135	0.94	2.62
SB	27	221.6098	8.2078	0.7807	0.3662	2.33**	27	135	0.77	2.14
SBO	135	475.6624	3.5234	3.5234	0.4257					
Total	239	48498.3766								



Auswertung mit SAS, PROC MIXED:

Vergleich zwischen Sorten bei gleicher Behandlung = 3.99

Vergleich zwischen Sorten bei unterschiedlicher Behandlung = 6.14

Vergleich zwischen Behandlungen bei gleicher Sorte = 5.25

PlabStat rechnet so, als wenn alle Effekte fix wären > Aussage begrenzt auf Prüfumwelten, keine Prognose möglich!

Ausblick Geostatistik

- Versuche zu Bodenbearbeitung: große Flächen
- Bedingungen innerhalb der Blöcke nicht mehr homogen
- benachbarte Messungen korreliert, entfernte unkorreliert

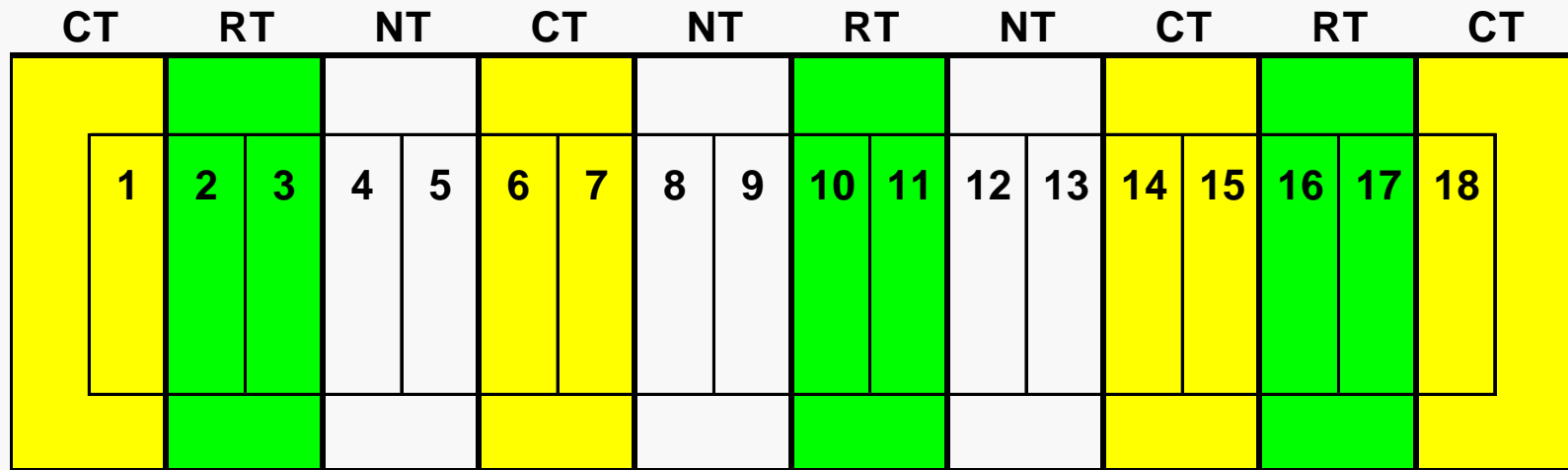
Ansatzpunkte:

- a) Modelliere räumliche Trends mittels Geostatistik, Prüfgliedeffekte können hinsichtlich Trend adjustiert werden
- b) GIS / georeferenzierte Daten / Ertragskarten für Planung nutzen (Lage[^], Ausrichtung der Parzellen, Blöcke)

Weitere Idee:

Unvollst. Blöcke für Großteilstückfaktor mit Blockgröße $k=2$

Unvollständige Blöcke



CT = conventional tillage, RT = reduced tillage, NT = no-tillage

Paare (1,2), (3,4) usw. bilden jeweils unvollständigen Block

VAN ES et al. (1989): *Application of Regionalized Variable Theory to Large-Plot Field Experiments. Soil Sci. Soc. Am. J. 53:1178-1183*

LOPEZ & ARRUE (1995): *Efficiency of an Incomplete Block Design Based on Geostatistics for Tillage Exp.. Soil Sci. Soc. Am. J. 59:1104-1111*

Vielen Dank