

# **Wiederholungen in landwirtschaftlichen Feldversuchen**

Grundsatzvortrag

Dr. Paul Schmidt



# Agenda

1. **Grundlagen: Warum Wiederholungen?** *Versuchseinheit und Mindestanforderungen*
2. **Pseudo-Wiederholungen** *Messwiederholungen innerhalb einer Versuchseinheit*
3. **Echte Wiederholungen** *Randomisation als Grundprinzip*
4. **Die Grauzone** *Confounding durch unvollständige Randomisation*
5. **Multi-Environment Trials** *Wiederholungen über Standorte hinweg*
6. **Kernbotschaften & Diskussion**



# 1. Grundlagen



# Was ist eine Versuchseinheit?



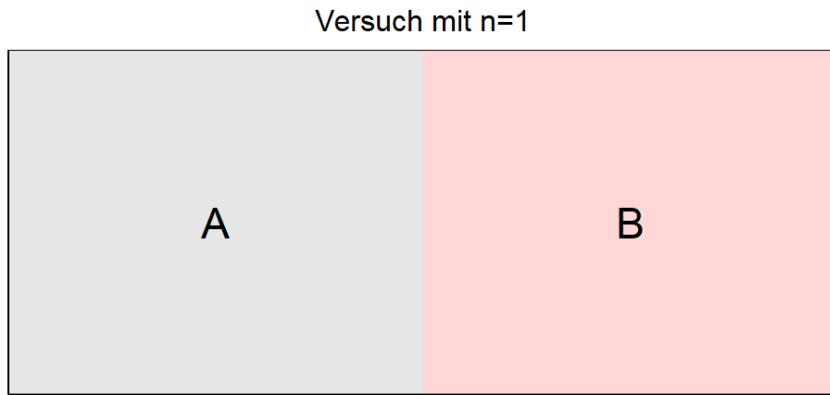
## Hinweis

Die **kleinste Einheit**, der eine Behandlung **unabhängig** zugewiesen werden kann und an der eine Beobachtung gemacht wird.

### Im Feldversuch:

- In der Regel ist die **Parzelle** unsere Versuchseinheit

# Wieso Wiederholungen?



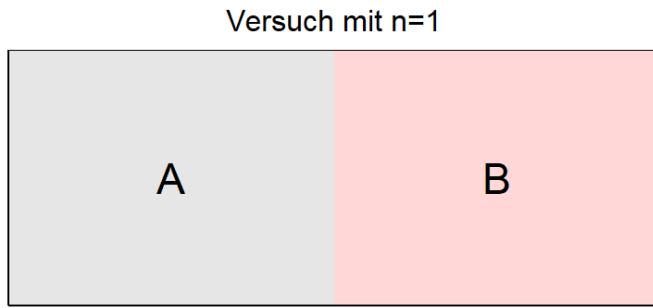
**Ergebnisse:**

Behandlung	Wert
A	10
B	8

**Was können wir aussagen?**

- A ist größer als B
- Keine Ahnung über Streuung!
- Keine statistische Auswertung möglich

# “keine Statistik möglich”?



**Werte:** A = 10, B = 8

- **Varianz** ✗
- **Standardabweichung** ✗
- **Standardfehler** ✗
- **Vertrauensintervalle** ✗
- **t-Test** (oder andere Tests) ✗
- Mittelwert, Minimum, Maximum? → Sinnlos bei nur einem Wert ✗

# Mindestanforderungen für Auswertbarkeit

## ! Wichtig

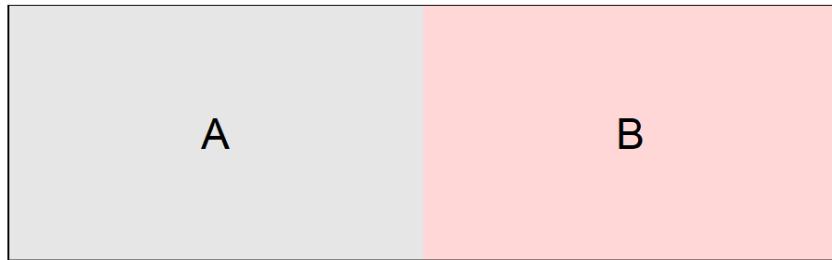
**Streng genommen: Mindestens 2 echte Wiederholungen pro Behandlung erforderlich!**

- Erst ab **n=2** sind all diese Maße überhaupt möglich bzw. sinnvoll
- Mit steigendem n (3, 4, 5, ...) werden die Ergebnisse prinzipiell zuverlässiger und präziser



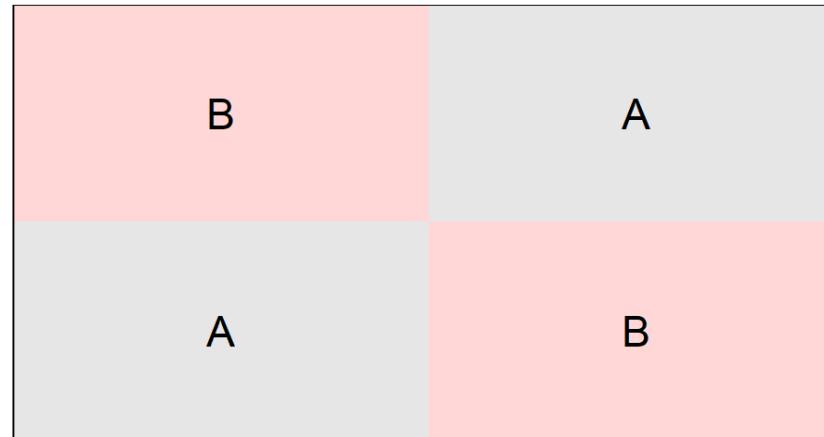
# Vergleich: n=1 vs. n=2

Versuch mit n=1

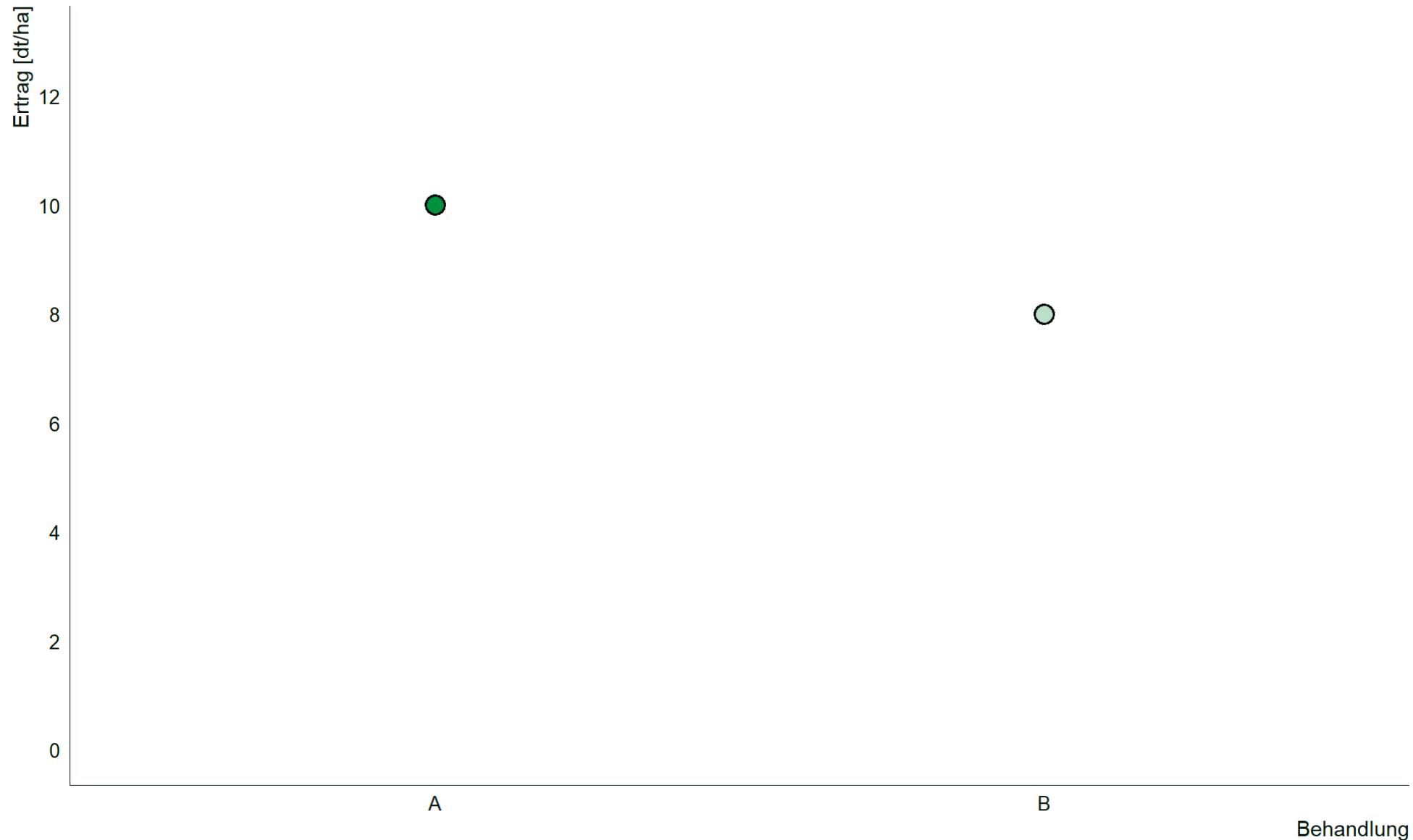


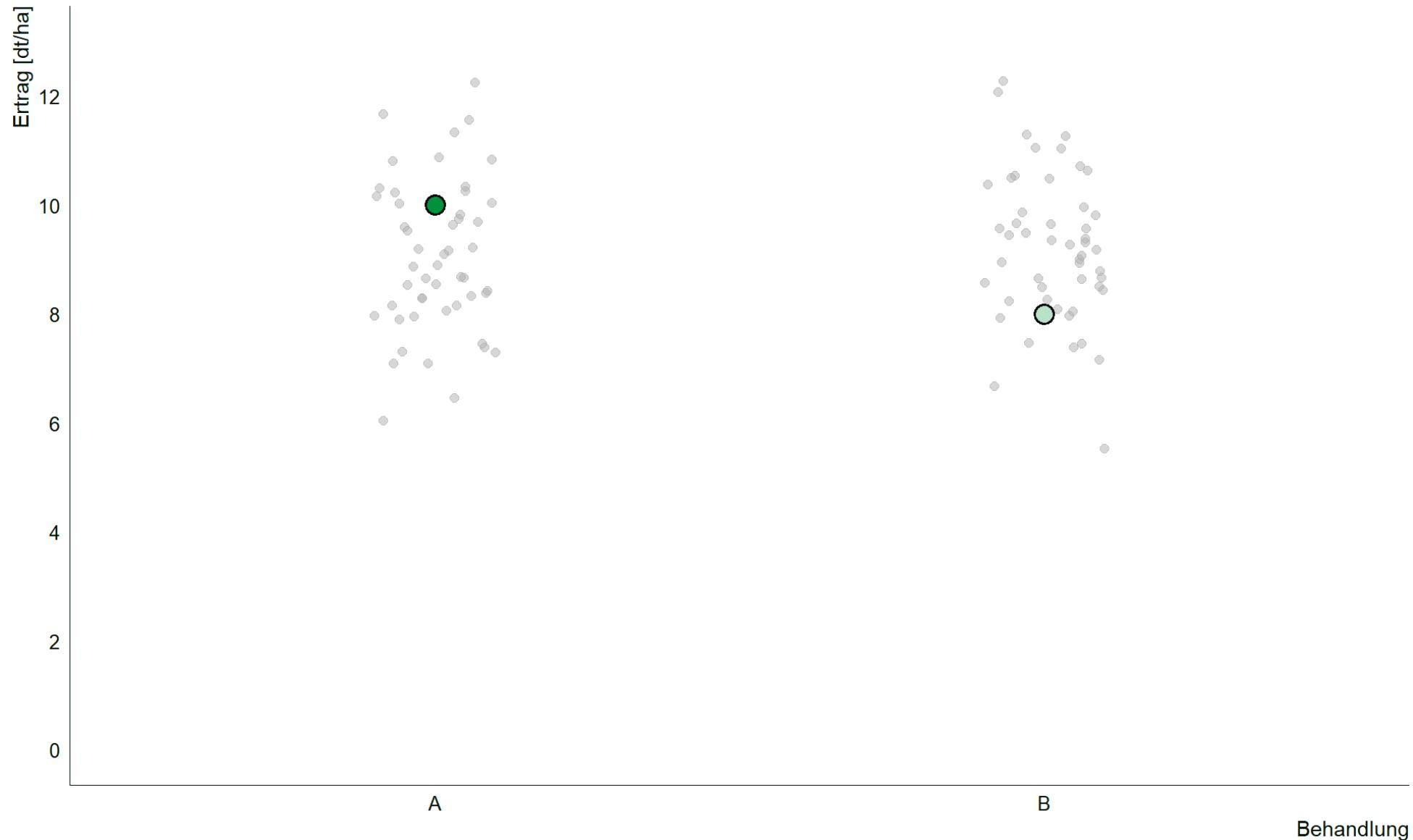
**Werte:** A = 10, B = 8

Versuch mit n=2



**Werte:** A = 10, 11; B = 7, 8





# Warum “echte” Wiederholungen?

Wir haben bis jetzt gesagt:

- $n=1$  pro Behandlung: **Keine Statistik möglich**
- $n \geq 2$  pro Behandlung: **Statistik möglich**



**Aber Achtung!**

Mehrere Werte zu haben, heißt nicht automatisch mehrere **echte Wiederholungen** zu haben!

→ Was macht den Unterschied zwischen **echten Wiederholungen und Pseudo-Wiederholungen?**

# 2. Pseudo- Wiederholungen



# Was sind Pseudo-Wiederholungen?



## Pseudo-Wiederholungen

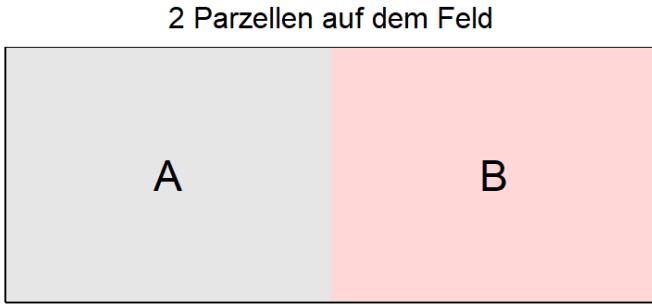
Mehrere Messungen, die nicht unabhängig voneinander sind.

Oft: Mehrfache Messungen **innerhalb derselben Versuchseinheit/Parzelle**

Oft synonym verwendet:

- Unechte Wiederholungen
- Messwiederholungen
- Mehrfachmessungen
- Subsamples
- Nested observations
- Pseudoreplikate

# Beispiel: 10 Messungen $\neq$ n=10



## Szenario:

Wir gehen in dieses Feld und messen in jeder Parzelle **10× die Pflanzenhöhe** (mit Meterstab an verschiedenen Stellen).

## Ergebnis:

- 20 Messwerte insgesamt
- **NICHT** n=10 pro Behandlung!
- Immer noch nur **n=1** pro Behandlung
- Innerhalb jeder echten Wiederholung je 10 Pseudo-Wiederholungen

### ! Wichtig

Mehrfach dieselbe Parzelle beproben  $\neq$  Mehrere Parzellen haben!



# Intuitive Analogie

**3 Blutabnahmen bei 3 verschiedenen Menschen:**

→  **3 unabhängige Wiederholungen**

**3 Blutabnahmen bei 1 Person (an 3 Stellen):**

→  **Nur 1 unabhängige Einheit (Person)**

# Besonders relevant bei On-Farm-Versuchen

**Warum sind Pseudo-Wiederholungen hier besonders häufig?**

**1. Moderne Sensortechnik** ermöglicht viele Messungen:

- GPS-basierte Probenahme; Drohnen mit Multispektralkameras; Mähdrescher-Sensoren; Bodensensoren:

**2. Sehr große Parzellen/Streifen:**

- Hohe Variabilität **innerhalb** einer Parzelle
- Mehrere Messungen **sinnvoll** zur besseren Charakterisierung

**3. Praktische Einschränkungen:**

- Nur wenige Wiederholungen realisierbar (Fläche, Kosten, Landwirt-Akzeptanz)
- Viele Messungen innerhalb als **vermeintliche** Kompensation



# Wieso Pseudo-Wiederholungen?

-  **Höhere Präzision** der Schätzung für diese Parzelle
-  **Räumliche Modellierung** möglich (z.B. Geostatistik)
-  **Systematische Trends** innerhalb der Parzelle erfassbar

 **Aber: Grenzen beachten!**

Pseudo-Wiederholungen können echte Wiederholungen NICHT ersetzen.

# Echte Wiederholungen



# Was sind echte Wiederholungen?



## Echte Wiederholungen / Unabhängige Wiederholungen

Mehrere Messungen, die **nicht** unabhängig voneinander sind.

Oft: Mehrere Werte von ordentlich randomisierte Parzellen.

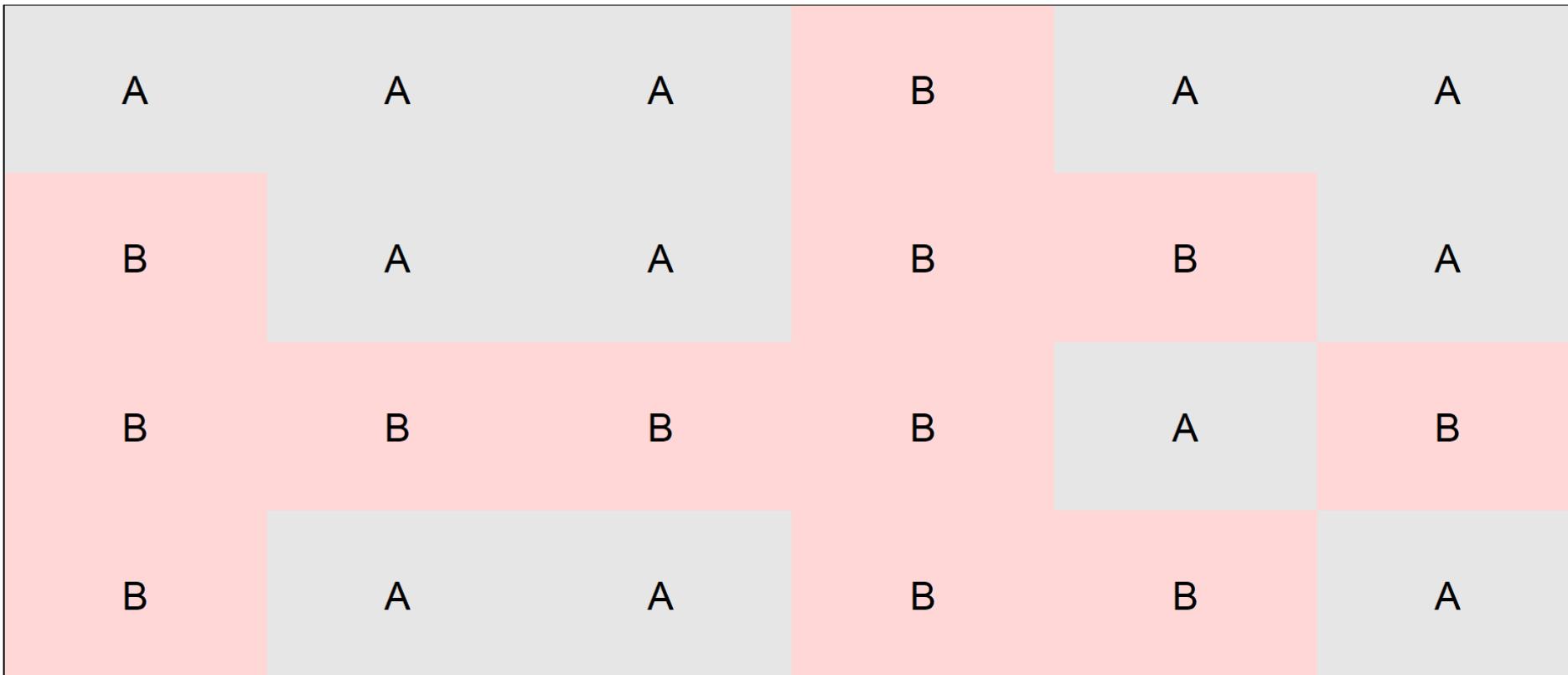
# Unabhängigkeit?

- **Ziel:** Mehrere **unabhängige** Werte zur gleichen Behandlung
  - Werte sollen möglichst nicht korreliert/abhängig voneinander sein
- **Mittel:** Randomisation
  - Jede Versuchseinheit (Parzelle) hat die **gleiche Chance**, jede Behandlung zu bekommen
  - Zufällige Zuweisung ist unsere **Versicherung gegen Abhängigkeit**
  - Verhindert systematische räumliche Muster



# Randomisiert = Gut

Vollständig randomisiertes Design (CRD)  
Behandlungen sind zufällig über das Feld verteilt



# Systematisch = Problematisch

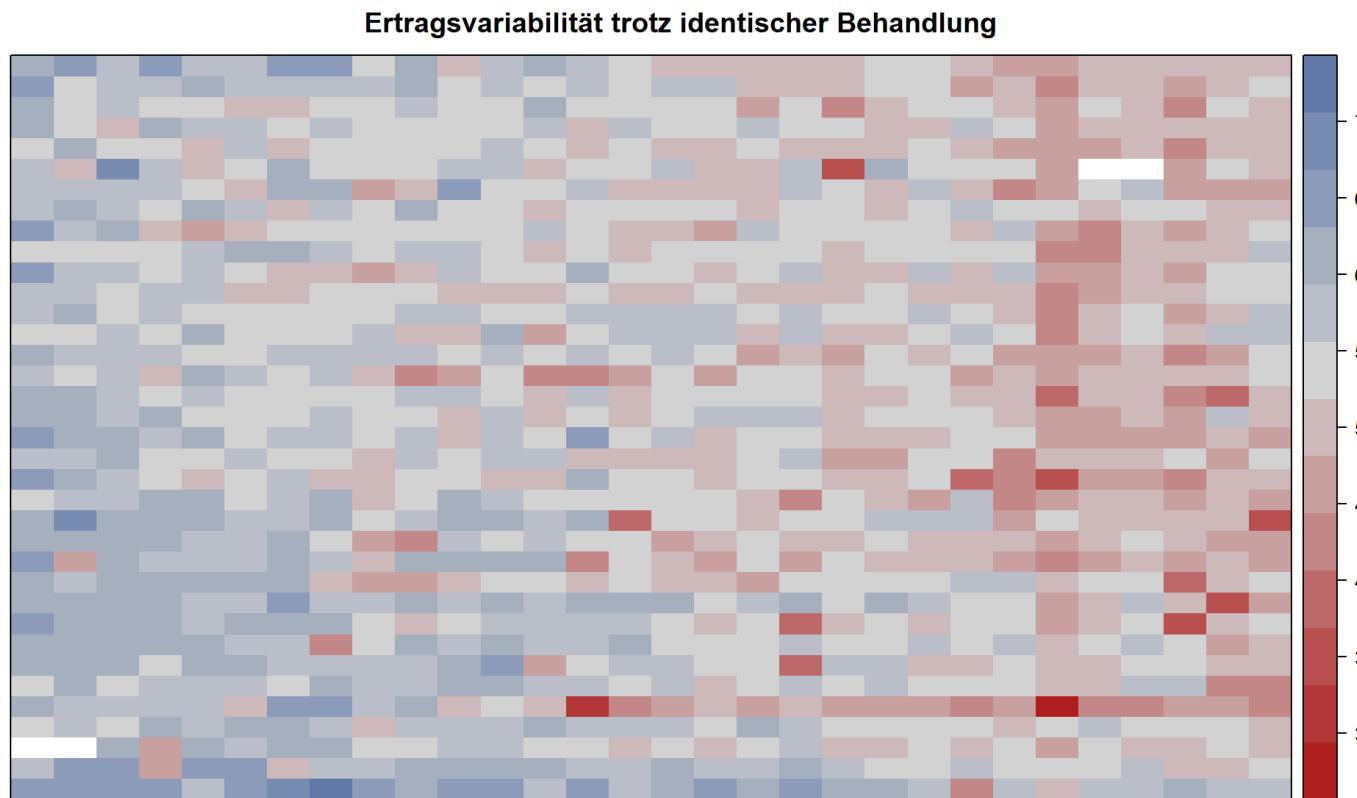
Systematisches Design  
Behandlungen sind nicht randomisiert

A	A	A	B	B	B
A	A	A	B	B	B
A	A	A	B	B	B
A	A	A	B	B	B

# Daten aus Blindversuch

**Datenquelle:** Piepho, H.P. & Williams, E.R. (2010). Linear variance models for plant breeding trials. *Plant Breeding*, 129(1), 1–8.

Alle Parzellen erhielten die **identische Behandlung**, um die natürliche räumliche Variabilität des Feldes zu erfassen.

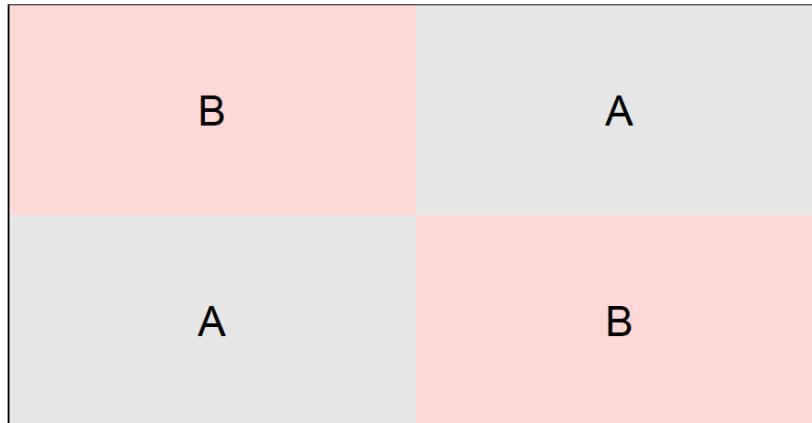


# Fazit bis hierhin

Systematisch --- 24 Parzellen

A	A	A	B	B	B
A	A	A	B	B	B
A	A	A	B	B	B
A	A	A	B	B	B

Randomisiert --- 4 Parzellen (n=2)



**Das rechte Design ist trotz weniger Parzellen/Messwerte dem linken vorzuziehen!**

- Pseudo-Wiederholungen (Messwiederholungen) sind **hilfreich**, aber kein **Ersatz** für echte Wiederholungen
- **Erst** echte, unabhängige Wiederholungen sicherstellen
- **Dann** können Pseudo-Wiederholungen als wertvolle **Ergänzung** dienen



# Okay

Ja, danke für den Auffrischer...

...aber das stellt doch auch niemand in Frage?!



# 3. Die (vermeintliche) Grauzone



# Typisches Szenario

- Zweifaktorieller Versuch
  - Faktor 1
    - 2 Stufen: A, B
  - Faktor 2
    - 3 Stufen: 1, 2, 3
- Es gibt demnach 6 Kombinationen (A1, A2, A3, B1, B2, B3)
- Mindestanforderung: 2 echte Wiederholungen, also 12 Parzellen
- Tatsächlich: Ein Faktor schwer zu randomisieren, also Spaltanlage (Split-Plot)



**Zweifaktorieller Versuch: Faktor 1 (A/B) × Faktor 2 (1/2/3)**  
**Füllfarbe: Je Stufe Faktor 2**

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

**Zweifaktorieller Versuch: Faktor 1 (A/B) × Faktor 2 (1/2/3)**  
**Füllfarbe: Je Stufenkombination**

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

**Zweifaktorieller Versuch: Faktor 1 (A/B) × Faktor 2 (1/2/3)**  
**Füllfarbe: Je Stufe Faktor 1; Textfarbe: Je Stufe Faktor 2**

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

# Problem: Nur bei einem Faktor echte Wiederholungen

Faktor 2 (1/2/3)

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

Faktor 1 (A/B)

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

Für Faktor 2 (1/2/3):

- Echte Wiederholungen pro Stufe
- Randomisiert
- Statistische Auswertung
- keine Pseudowiederholungen

Für Faktor 1 (A/B):

- n=1 Echte Wiederholung pro Stufe
- Systematisch (2 Hälften)
- Statistische Auswertung
- je 9 Pseudowiederholungen



# Lösung 1

Problemfall:

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

Lösungsvorschlag 1:

B2	A3	A1	B1	A2	B1
B3	A2	A3	B2	A3	B3
B1	A1	A2	B3	A1	B2



# Lösung 2

Problemfall:

A1	A3	A2	B3	B1	B2
A2	A1	A3	B3	B2	B1
A1	A3	A2	B2	B1	B3

Lösungsvorschlag 2:

B3	B3	B2	A3	A3	A2
B1	B3	B1	A1	A3	A1
B3	B2	B3	A3	A2	A3
A1	A2	A1	B1	B2	B1
A2	A3	A2	B2	B3	B2
A1	A2	A1	B1	B2	B1



# 4. Versuchsserien



# Mehrere Standorte

Wiederholen kann man auch über verschiedene Orte:

Standort 1

A1	A2	A1	B1	B2	B1
A2	A3	A2	B2	B3	B2
A1	A2	A1	B1	B2	B1

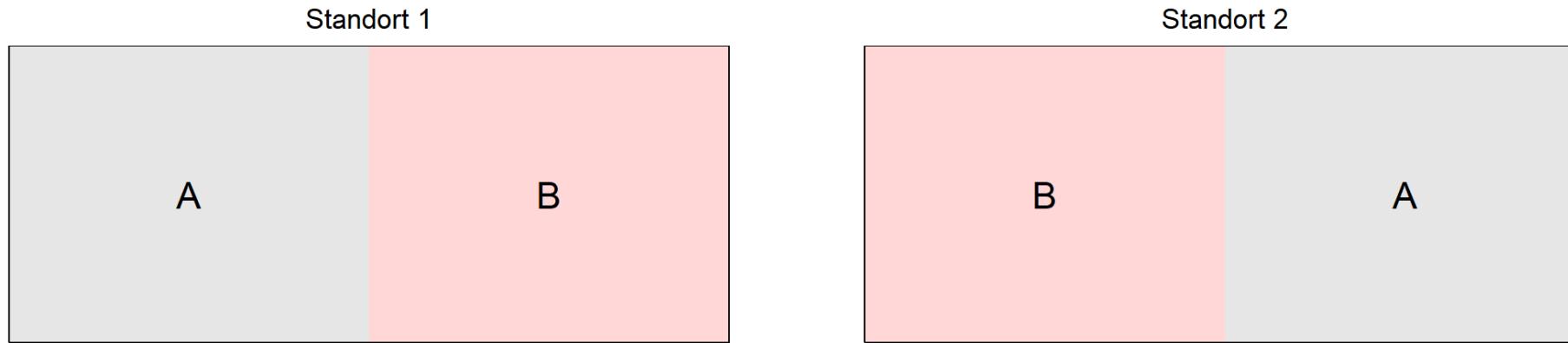
Standort 2

B3	B3	B2	A3	A3	A2
B1	B3	B1	A1	A3	A1
B3	B2	B3	A3	A2	A3

Das Prinzip bleibt gleich: Wiederholung auf der Ebene “Standort”

# Oder noch simpler:

Das funktioniert auch mit dem einfachsten Design:



**Pro Standort:** Keine statistische Auswertung möglich X

**Über beide Standorte hinweg:**  $n=2$  für jede Behandlung → Statistische Auswertung möglich ✓ Ein Ort entspricht einem vollständigen Block

i Aber

**Behandlung × Umwelt Interaktion:** Behandlungen können je nach Standort unterschiedlich wirken!

Diese Annahme treffen wir für Blöcke am selben Ort nicht.



# Kernbotschaften



## Take-Home Messages

1. **Echte Wiederholungen** entstehen durch Randomisation – nicht durch viele Messwerte
2. **Pseudo-Wiederholungen** sind wertvoll, aber kein Ersatz für echte Wiederholungen
3. **Jeder Faktor** im Versuch braucht eigene echte Wiederholungen
4. **Standorte/Jahre** können als Wiederholungen dienen – aber Interaktionen beachten!

### Vor der Auswertung fragen:

- Was ist meine Versuchseinheit?
- Wurde randomisiert?
- Habe ich  $n \geq 2$  pro Behandlung?

### Im Zweifel:

- Lieber weniger Behandlungen mit echten Wiederholungen als viele Behandlungen ohne Randomisation

