

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

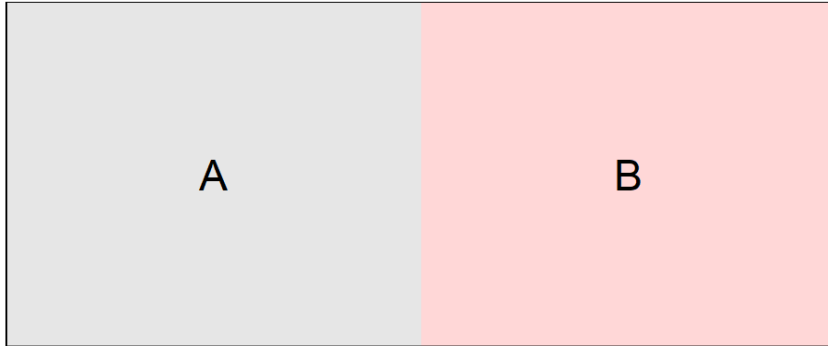
Die **kleinste Einheit**, der eine Behandlung **unabhängig** zugewiesen werden kann und an der eine Beobachtung gemacht wird.

Im Feldversuch:

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

Wieso Wiederholungen?

Versuch mit $n=1$



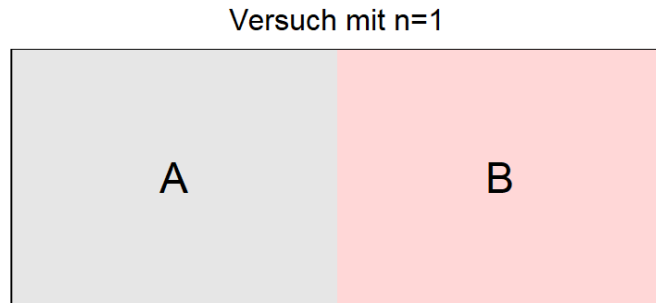
Ergebnisse:

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

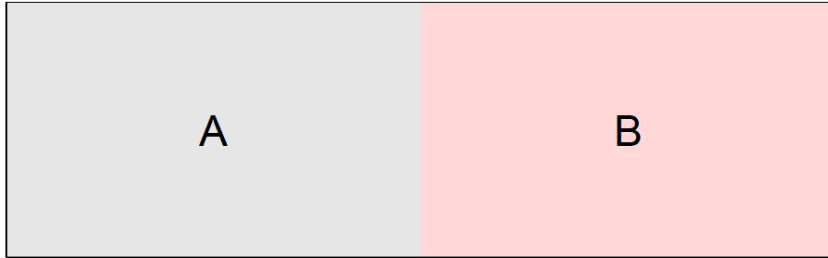
! Wichtig

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

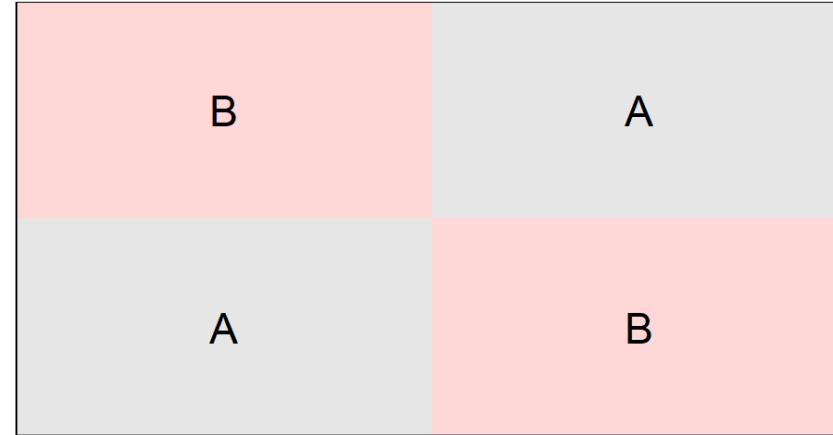
Vergleich: n=1 vs. n=2

Versuch mit n=1

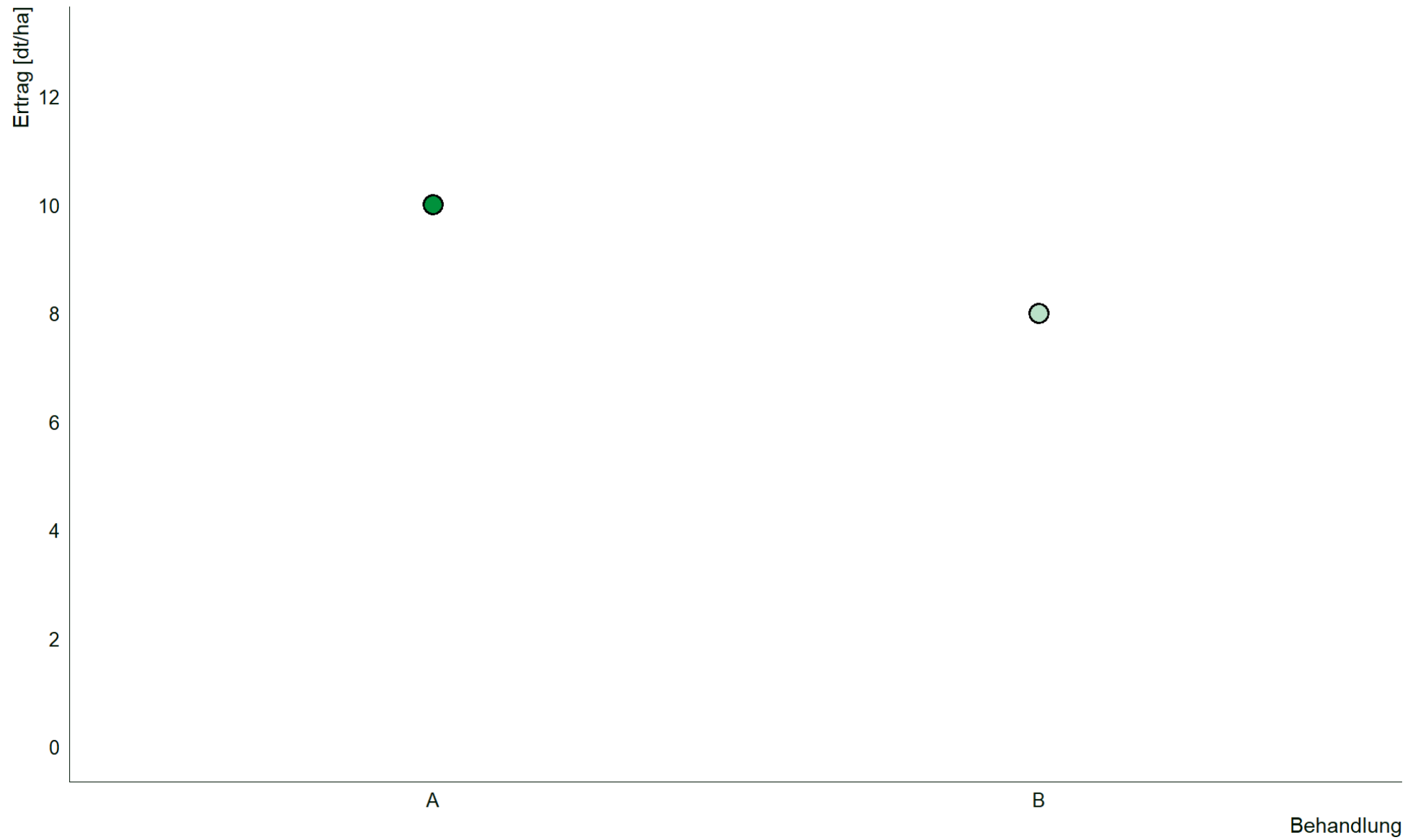


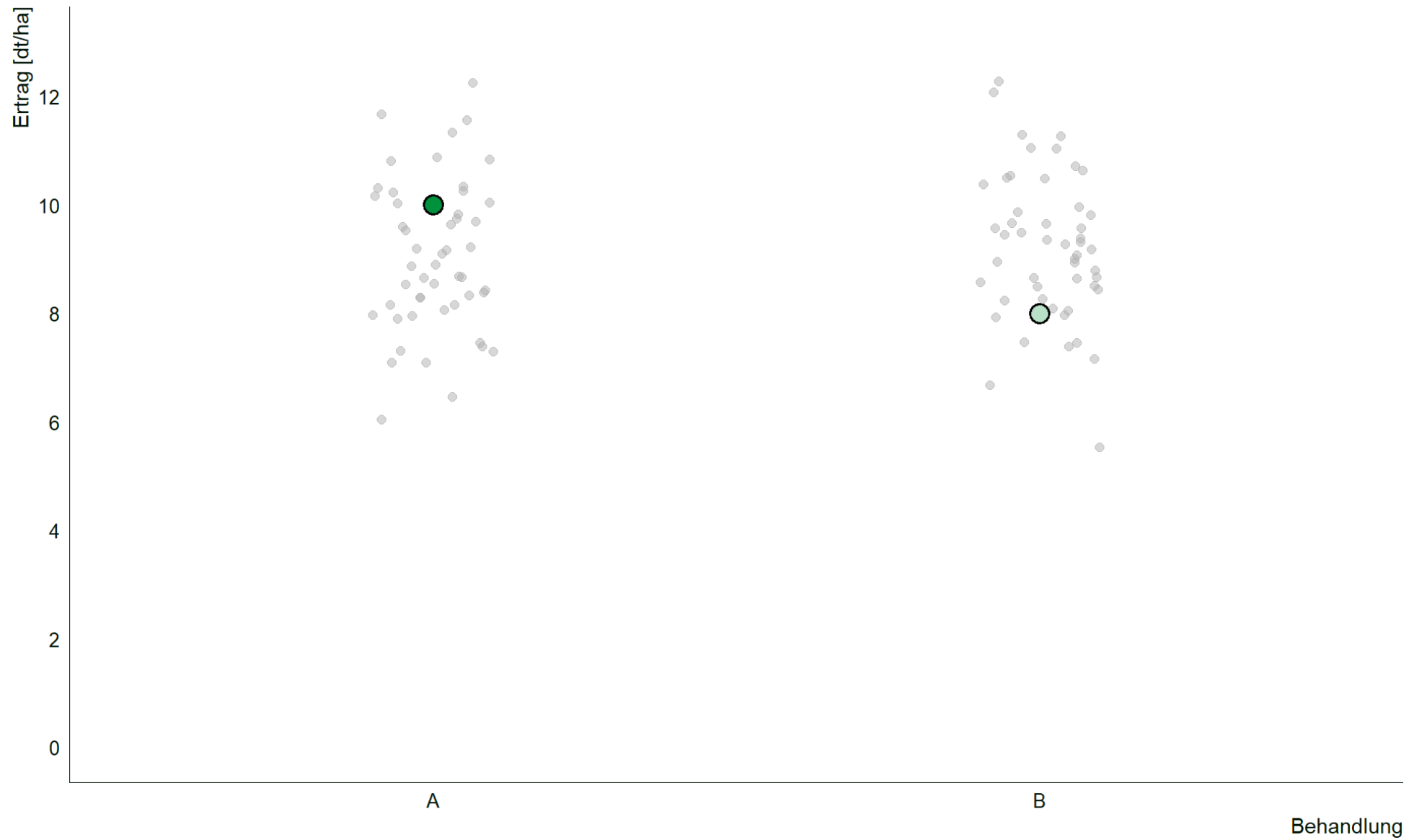
Werte: A = 10, B = 8

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.

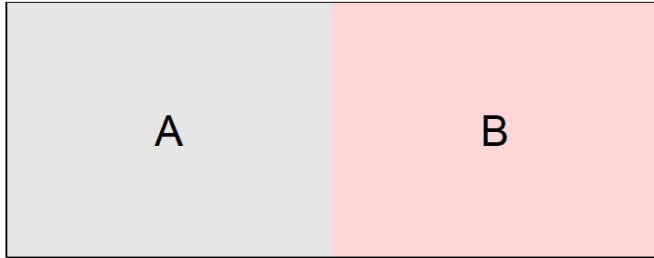
Oft: Mehrfache Messungen **innerhalb derselben Versuchseinheit/Parzelle**

Oft synonym verwendet:

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

Beispiel: 10 Messungen \neq $n=10$

2 Parzellen auf dem Feld



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.

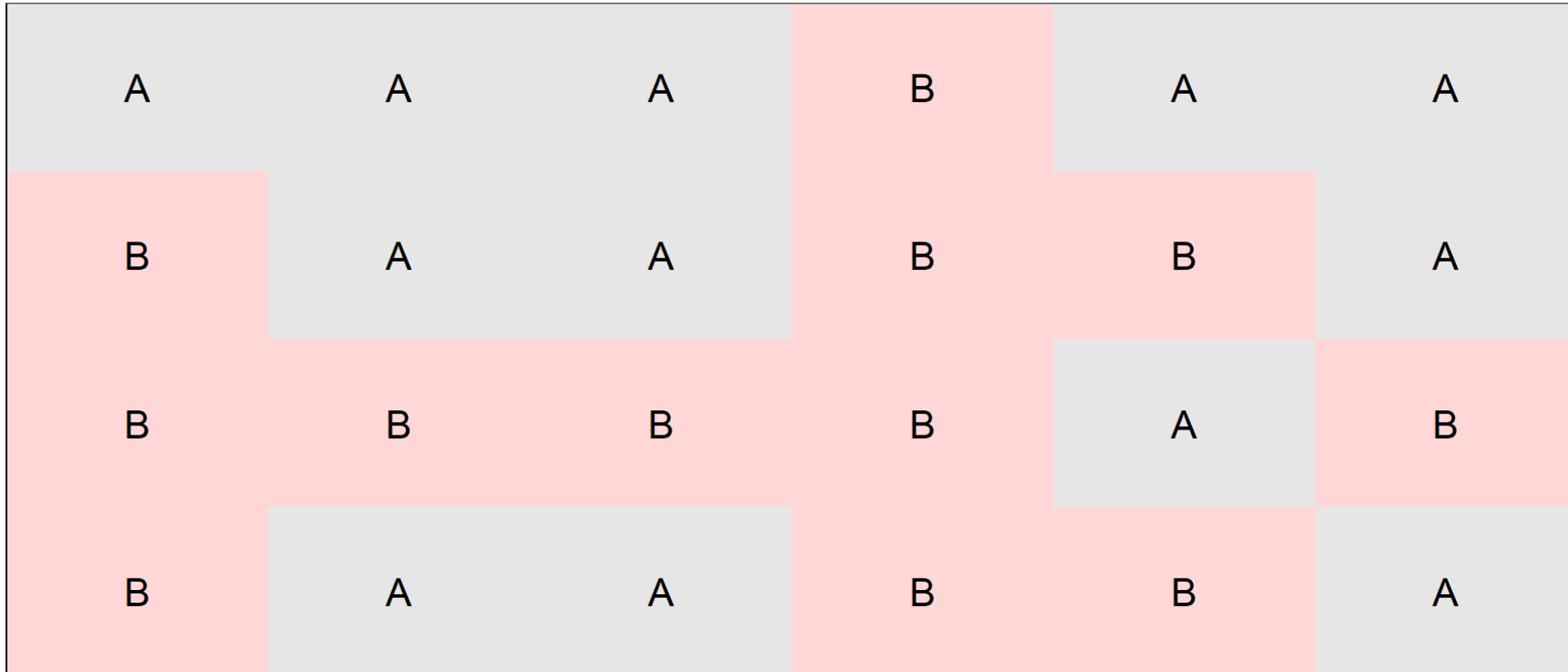
Oft: Mehrere Werte von ordentlich randomisierte Parzellen.

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

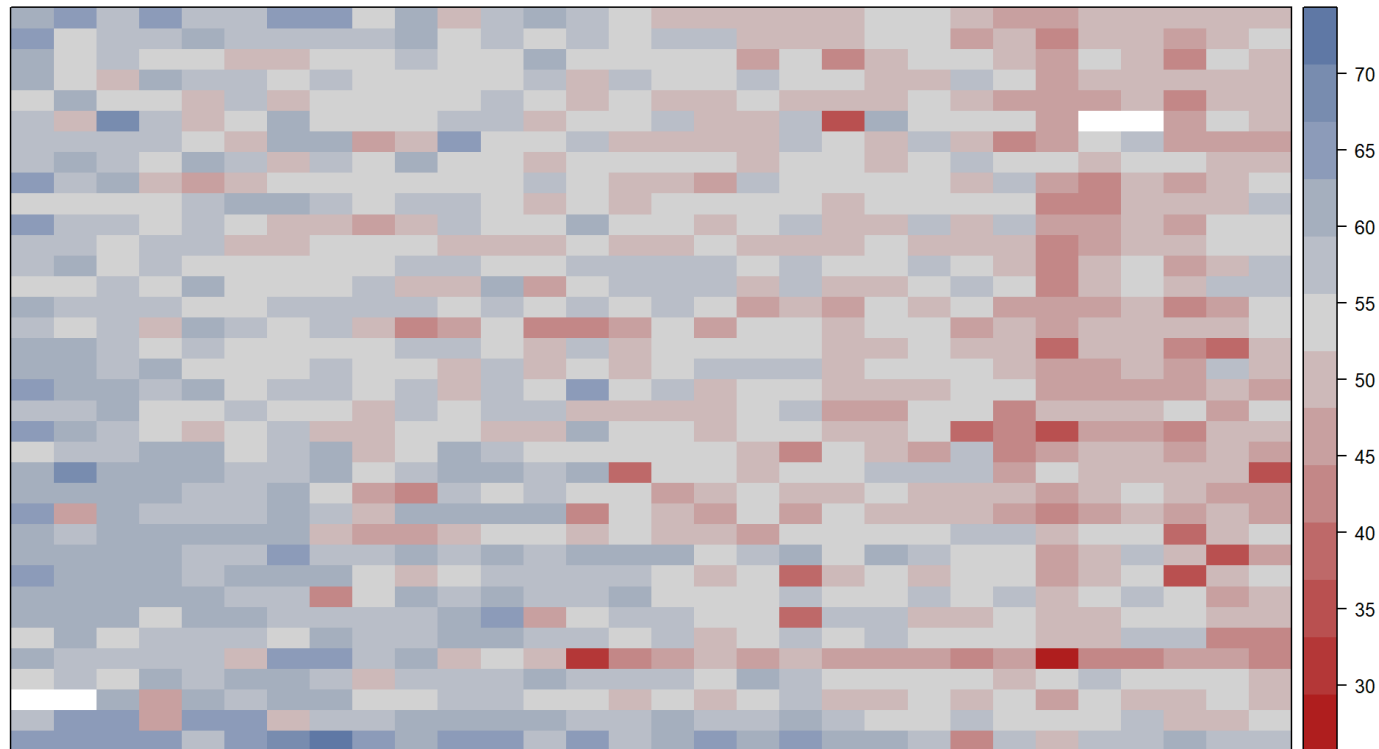


Daten aus Blindversuch

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.

Ertragsvariabilität trotz identischer Behandlung



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)

B	A
A	B

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

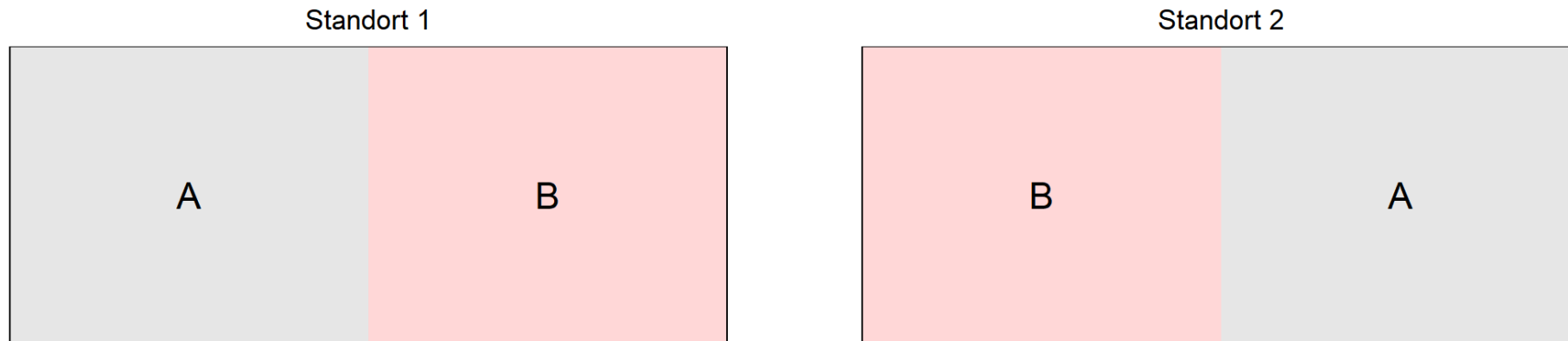
Standort 2

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 ❌

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