

# Wiederholungen in landwirtschaftlichen Feldversuchen

Nuancen, Probleme und häufige Fallstricke

Dr. Paul Schmidt

2025-11-28

Workshop On-Farm-Experimente | 28.11.2025

## Navigation

Nutzen Sie die **Pfeiltasten** oder klicken Sie auf die **drei Balken** (≡) unten links, um durch die Folien zu navigieren.

Falls Sie die PDF-Version lesen: Die interaktive Online-Version finden Sie unter [schmidtpaul.github.io/vortrag\\_wdh](https://schmidtpaul.github.io/vortrag_wdh)

# Agenda

1. **Echte/Unabhängige Wiederholungen** *Randomisation als Grundprinzip*
2. **Pseudo-Wiederholungen** *Messwiederholungen innerhalb einer Versuchseinheit*
3. **Die Grauzone** *Confounding durch unvollständige Randomisation*
4. **Multi-Environment Trials** *Wiederholungen über Standorte hinweg*
5. **Kernbotschaften & Diskussion**

# 1. Echte/Unabhängige Wiederholungen

# Was ist eine Versuchseinheit?

## Definition: Versuchseinheit (Experimental Unit)

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
- Manchmal kann es aber auch anders sein (z.B. ganze Felder, Pflanzreihen, etc.)

# **Warum brauchen wir überhaupt Wiederholungen?**

**Problem mit nur einer Beobachtung pro Behandlung:**

Versuch mit  $n=1$ 

## Ergebnisse:

| Behandlung | Wert |
|------------|------|
| A          | 10   |
| B          | 8    |

## Was können wir aussagen?

- A ist größer als B ✓
- Aber: **Keine Ahnung über Streuung!** ✗
- → Keine statistische Auswertung möglich

# Mindestanforderungen für Auswertbarkeit

## Absolute Minimum

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

## Warum mindestens 2?

- Mit **n=1**: Keine Variabilität schätzbar → Keine Statistik möglich
- Mit **n=2**: Gerade so auswertbar, aber sehr schwach
- **n=3, 4, 5, ...**: Besser, stabiler, mehr Power
- In der Praxis: Oft 3-4 Wiederholungen als Standard

## Was ermöglichen echte Wiederholungen?

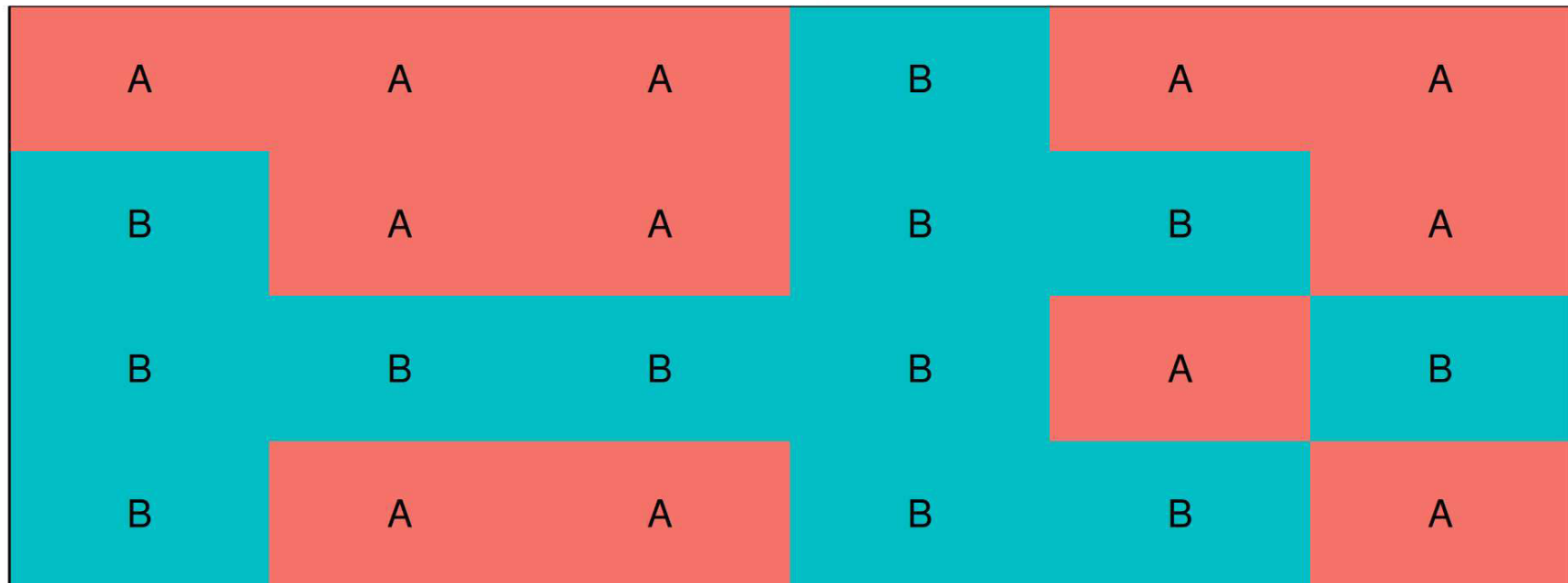
- Schätzung der Variabilität **innerhalb** einer Behandlung
- Statistische Tests und Konfidenzintervalle
- Aussagen über Signifikanz von Unterschieden

# Randomisation ist entscheidend!

- Parzellen müssen **zufällig verteilt** über das Feld liegen
- Dürfen auch nebeneinander liegen - **wenn die Randomisation dies ergab**
- **NICHT** systematisch direkt nebeneinander angeordnet
- Vollständig zufällige Zuweisung:
  - Welche Parzelle?
  - Welche Behandlung?
  - Welche Wiederholung?

# Visualisierung: Gutes Design

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

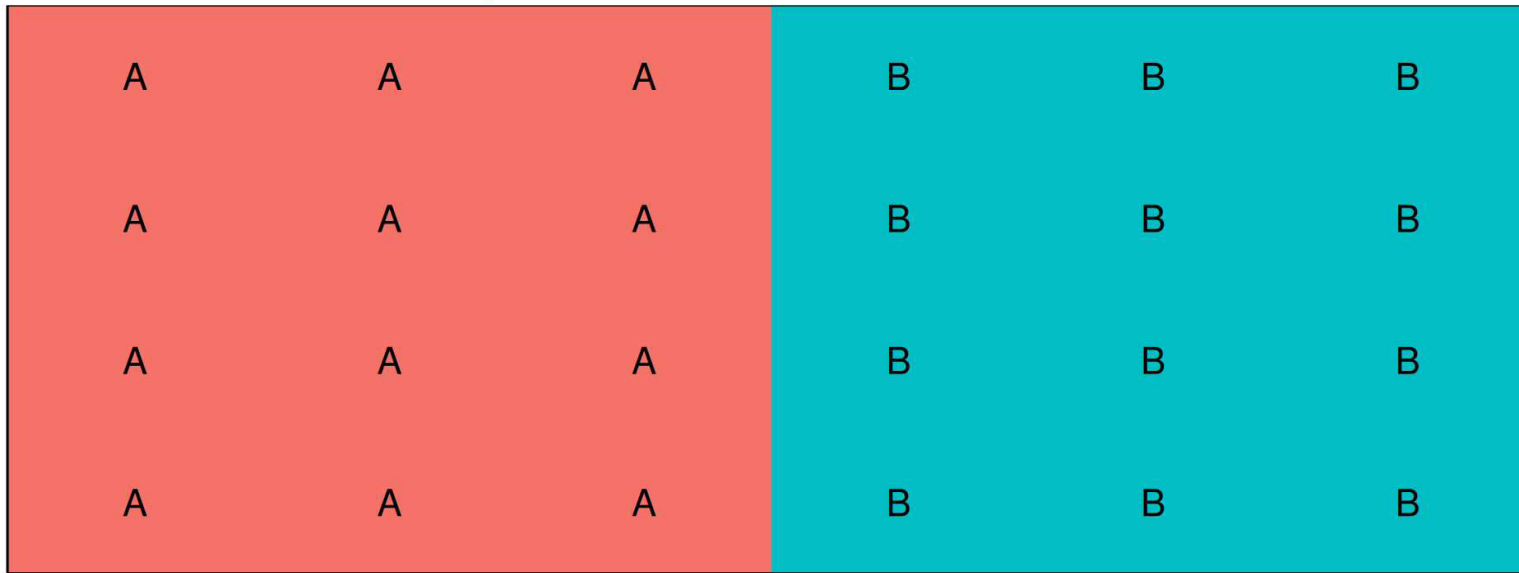


a 1 ■ A ■ B

✓ Räumlich unabhängig = Statistisch unabhängig

# Visualisierung: Schlechtes Design

Systematisches Design  
Behandlungen sind nicht randomisiert - PROBLEMATISCH!



a 1 ■ A ■ B

X Systematische Anordnung = Confounding mit räumlichen Effekten

# Kernaussage

## ★ Take-Home Message

**Echte, unabhängige Wiederholungen** sind die Grundlage für statistische Auswertungen.

Sie erfordern:

- ✓ Randomisation
- ✓ Räumliche Unabhängigkeit
- ✓ Statistische Unabhängigkeit

# 2. Pseudo- Wiederholungen

# Definition



## Pseudo-Wiederholungen (Messwiederholungen)

Mehrfache Messungen **innerhalb derselben Versuchseinheit** (Parzelle)

## Das Problem:

→ Messungen innerhalb derselben Parzelle sind **nicht unabhängig** voneinander

# Beispiel 1: Einfache Messung

## Szenario:

- 10 Parzellen auf dem Feld
- 3 Messungen der Pflanzenhöhe pro Parzelle (mit Meterstab an 3 Stellen)

## Ergebnis:

- ✓ 30 Messwerte
- ✗ Aber **NICHT** 30 unabhängige Wiederholungen!
- ✓ Sondern nur **10 unabhängige Wiederholungen** (Parzellen)

### ! Important

Die 3 Messungen pro Parzelle teilen sich dieselbe Umwelt, denselben Boden, dieselbe Bewirtschaftung → **keine Unabhängigkeit**

# Beispiel 2: Moderne Sensortechnik

## Szenario:

- Traktor mit GPS-basierter Sensortechnik
- Viele Messpunkte pro Meter innerhalb einer Parzelle
- Koordinaten-basierte Datenerfassung (z.B. Ertragskartierung)

## Ergebnis:

- ✓ Sehr hohe Datenmenge (Hunderte/Tausende Messpunkte)
- ✗ Aber begrenzte **statistische Unabhängigkeit**
- Die Parzelle bleibt die Versuchseinheit!

### In der Praxis

Diese Daten sind wertvoll für räumliche Analysen und Präzision, aber man muss die Hierarchie der Daten bei der Auswertung berücksichtigen.

Workshop On-Farm-Experimente | 28.11.2025

# Intuitive Analogie

**3 Blutabnahmen bei 3 verschiedenen Menschen:**

→ ✓ 3 unabhängige Wiederholungen

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

→ ✗ Nur 1 unabhängige Einheit (Person)

**Jeder versteht intuitiv: Das ist nicht dasselbe!**

# Kernaussage

## ★ Take-Home Message

### **Messwiederholungen sind keine echten Wiederholungen.**

- Sie erhöhen die Präzision der Messung
- Sie reduzieren Messfehler
- **Aber:** Sie erhöhen NICHT die Anzahl unabhängiger Wiederholungen
- Bei der Analyse muss die hierarchische Struktur berücksichtigt werden

# 3. Die Grauzone

# Das Problem: Pseudo-Split-Plot

 Häufig in der Praxis!

Unvollständige oder systematische Randomisation führt zu versteckten Pseudo-Wiederholungen

## Typisches Szenario:

- Zweifaktorieller Versuch: Faktor A × Faktor B
- Versuch, ein Split-Plot-Design anzulegen
- **Aber:** Faktor A ist NICHT randomisiert, sondern systematisch angeordnet

# Konkretes Beispiel: Nord vs. Süd

Problematisches Layout

|    |                       |    |    |
|----|-----------------------|----|----|
| B1 | B2                    | B1 | B2 |
| B1 | NÖRDLICHE HALBTE (A1) |    | B2 |
| B1 | B2                    | B1 | B2 |
| B1 | B2                    | B1 | B2 |
| B1 | B2                    | B1 | B2 |
| B1 | B2                    | B1 | B2 |
| B1 | B2                    | B1 | B2 |
| B1 | SÜDLICHE HALBTE (A2)  |    | B2 |
| B1 | B2                    | B1 | B2 |

## Was wir sehen:

- Faktor B (B1, B2) ist randomisiert ✓
- Faktor A ist systematisch (Nord vs. Süd)  
X

## Das Problem:

- Gesamte Nordhälfte = A1
- Gesamte Südhälfte = A2
- → **n=1** pro Stufe von Faktor A!



**! Important**

**Systematische räumliche Struktur = Fehlende Unabhängigkeit**

Das gilt auf **allen Ebenen** des Versuchsdesigns!

# Kernaussage

## ★ Take-Home Message

### Vorsicht vor der Grauzone!

- Systematische Anordnung = versteckte Pseudo-Wiederholung
- Häufiger Fehler bei On-Farm-Versuchen
- Große Parzellenzahl  $\neq$  Viele unabhängige Wiederholungen

### Entscheidend ist:

- NICHT die Anzahl der Parzellen
- Sondern die **räumliche Unabhängigkeit** der Behandlungen

# 4. Multi-Environment Trials

# Wiederholungen über Standorte

## Szenario:

- Einzelner Standort: Keine (oder nur wenige) Wiederholungen möglich
- **Lösung:** Gleiche Behandlungen an mehreren Standorten

# Warum ist das problematisch?

1. **Alle A1-Parzellen** liegen in derselben Feldhälfte (Nord)
2. **Alle A2-Parzellen** liegen in derselben Feldhälfte (Süd)
3. Jeglicher Nord-Süd-Unterschied (Boden, Wasser, Mikroklima) ist **vollständig konfundiert** mit Faktor A
4. Wir können **nicht unterscheiden**:
  - Ist der Effekt aufgrund von Behandlung A?
  - Oder aufgrund der Lage (Nord vs. Süd)?

## Häufiger Trugschluss

*“Ich habe doch viele Parzellen!” “Ich habe doch A1×B1 mehrfach auf dem Feld!”*

→ **ABER:** Alle Instanzen von A1 teilen dieselbe räumliche Einheit = keine Unabhängigkeit

# Analogie zu Pseudo-Wiederholungen

## Pseudo-Wiederholungen:

- 1 Parzelle
- Mehrfache Messungen darin
- = Keine Unabhängigkeit

## Pseudo-Split-Plot:

- 1 Feldhälfte
- Mehrfache Parzellen darin
- = Keine Unabhängigkeit für Faktor A

 **Important**

**Systematische räumliche Struktur = Fehlende Unabhängigkeit**

Workshop On-Farm-Experimente | 28.11.2025

# Kernaussage

## ★ Take-Home Message

### Vorsicht vor der Grauzone!

- Systematische Anordnung = versteckte Pseudo-Wiederholung
- Häufiger Fehler bei On-Farm-Versuchen
- Große Parzellenzahl  $\neq$  Viele unabhängige Wiederholungen

### Entscheidend ist:

- NICHT die Anzahl der Parzellen
- Sondern die **räumliche Unabhängigkeit** der Behandlungen

# 4. Multi-Environment Trials

# Wiederholungen über Standorte

## Szenario:

- Einzelner Standort: Keine (oder nur wenige) Wiederholungen möglich
- **Lösung:** Gleiche Behandlungen an mehreren Standorten

### Vorteil

Erst durch mehrere Standorte wird die Auswertung möglich und robuster!

→ “Standort” wird zu einer weiteren Ebene im Design

# Statistische Überlegungen

## Wie behandeln wir “Standort” in der Analyse?

### 1. Als Block (Fixed Effect)?

- Wenn uns die spezifischen Standorte interessieren
- Wenn wir Aussagen über einzelne Standorte treffen wollen

### 2. Als Random Effect?

- Wenn Standorte eine Stichprobe aus einer größeren Population sind
- Wenn wir über die getesteten Standorte hinaus generalisieren wollen
- → Häufigerer Ansatz bei Multi-Environment Trials

#### Wichtig zu beachten

**Genotyp × Environment Interaktion:** Behandlungen können je nach Standort unterschiedlich wirken!

# Zusammenfassung

# Kernbotschaften

## 1. Echte Wiederholungen brauchen Randomisation

- Räumlich unabhängig = Statistisch unabhängig
- Nicht die Anzahl zählt, sondern die Unabhängigkeit

## 2. Messwiederholungen sind keine echten Wiederholungen

- Erhöhen Präzision, aber nicht Unabhängigkeit
- Hierarchische Struktur in der Analyse berücksichtigen

## 3. Vorsicht vor der Grauzone!

- Systematische Anordnung = Confounding
- Häufiger Fehler bei On-Farm-Versuchen
- Große Parzellenzahl  $\neq$  Viele unabhängige Wiederholungen

## 4. Die Randomisation ist entscheidend

- Auf allen Ebenen des Designs
- Räumliche Unabhängigkeit der Behandlungen sicherstellen

Workshop On-Farm-Experimente | 28.11.2025

# Offene Fragen für die Diskussion

- Wie geht man in der Praxis mit halb-systematischen Designs um?
- Wann sind Kompromisse vertretbar?
- Wie kommuniziert man diese Konzepte an Landwirte?
- Welche statistischen Ansätze gibt es für suboptimale Designs?
- Wie viele Wiederholungen sind “genug”?

# Vielen Dank!

## Fragen & Diskussion

### Kontakt

Dr. Paul Schmidt Biostatistiker

Workshop On-Farm-Experimente 28. November 2025

*Präsentation erstellt mit Quarto & Claude Code*