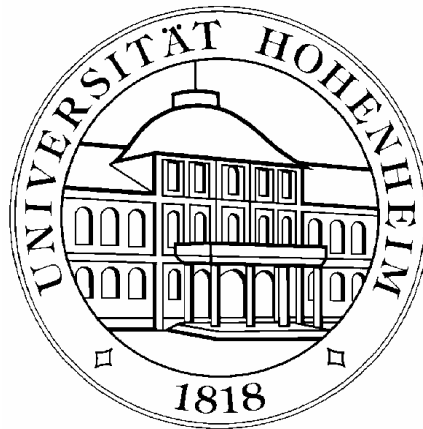


Prinzipien der Versuchsdurchführung und Konsequenzen bei deren Verletzung (Zu den Grundsätzen der Versuchsplanung)

Hans-Peter Piepho

Institut für Kulturpflanzenwissenschaften
Fachgebiet Biostatistik
Universität Hohenheim



Die drei Grundsätze

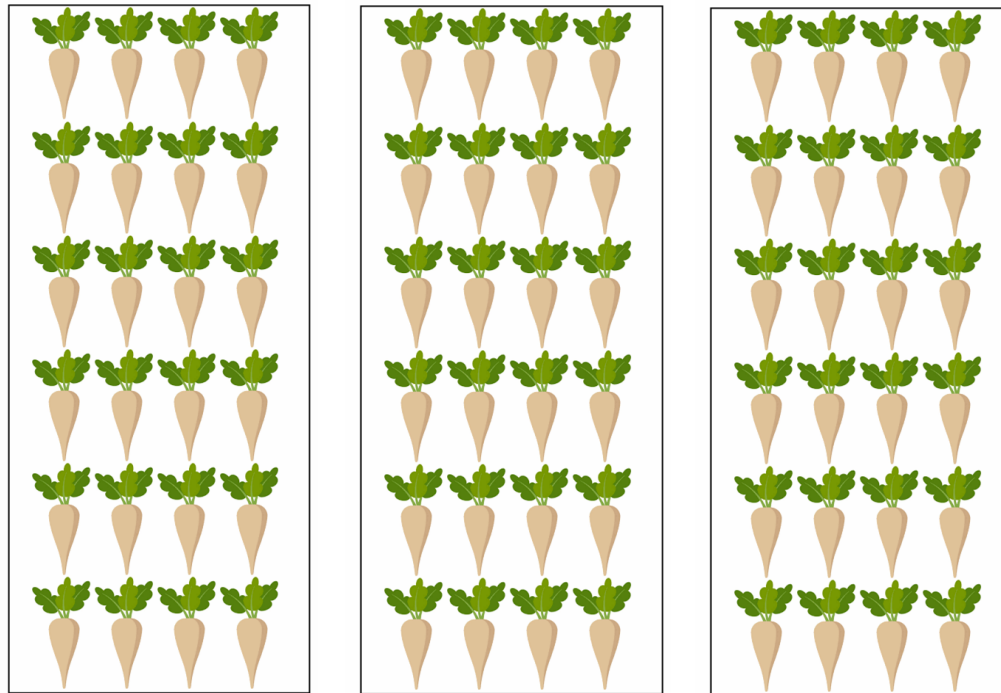
1. Wiederholung
2. Randomisation
3. Blockbildung

1. Wiederholung

- Ohne Wiederholungen kann die Fehlervarianz nicht geschätzt werden
- Keine Basis zur Durchführung von Tests (Varianzanalyse, t-Tests)
- Keine Basis zur Berechnung von Vertrauensintervallen

1. Wiederholung

Beispiel „unechte“ Wiederholungen (Pseudo-Replikate):



Herbizid 1

Herbizid 2

Herbizid 3

- Versuch mit Zuckerrüben
- Drei Herbizide
- Für jede Behandlung eine Parzelle

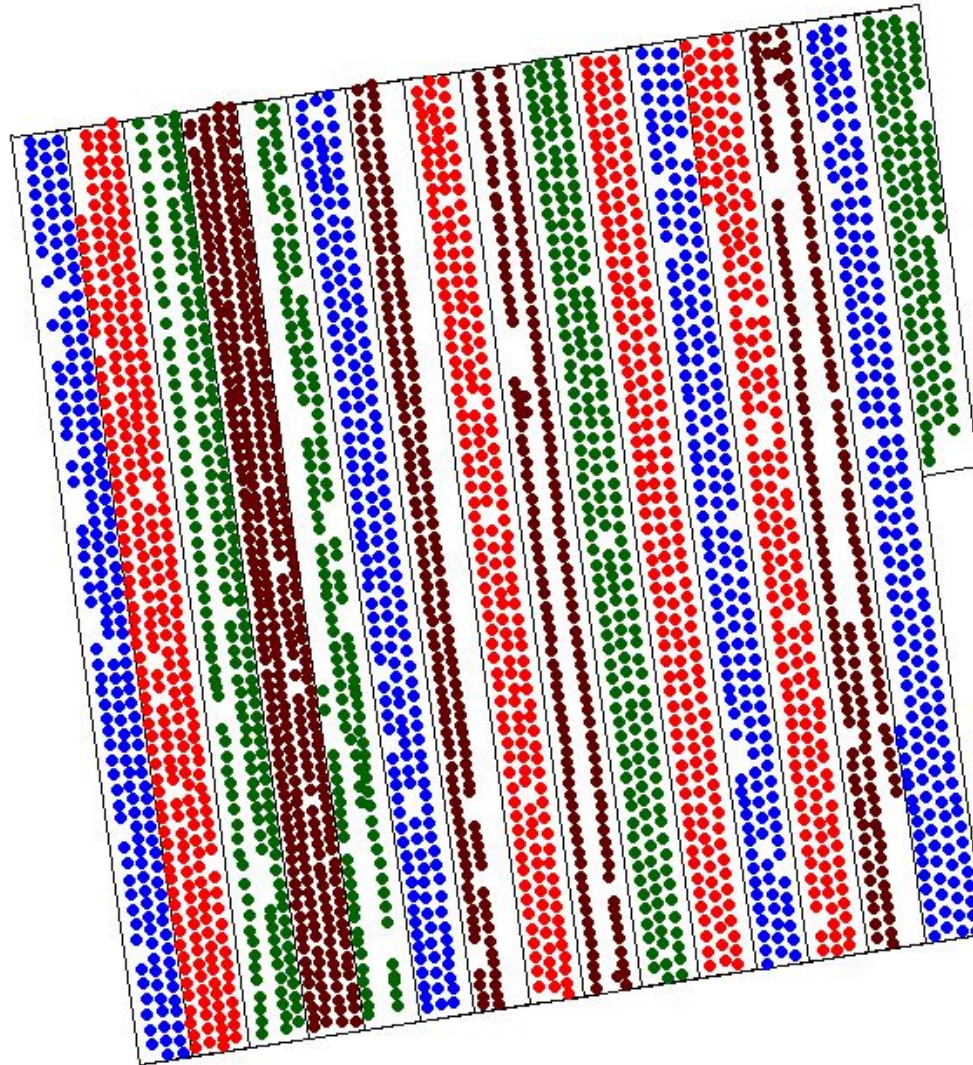
Abb. 1: Ein Plan ohne echte Wiederholung.

1. Wiederholung



Abb. 2: Ein Plan mit zwei (!) echten Wiederholungen je Behandlung (Herbizid).

1. Wiederholung



Versuch Goldbach 2010
(A. Kunick, Agri Con GmbH)

2. Randomisation

- Zufallsmäßige Zuordnung der Behandlungen zu den Versuchseinheiten

- Grundlage dafür, dass die Fehler e im linearen Modell

$$y = X\beta + e$$

als stochastisch unabhängig betrachtet werden können

- Bodenunterschiede und sonstige Umwelteinflüsse werden „gerecht“ verteilt

2. Randomisation

Beispiel:

- Versuch mit 5 Sorten (A, B, C, D, E)
- 4 Wiederholungen
- vollständig randomisierte Anlage
- 20 Parzellen (Versuchseinheiten, Feldstücke)

2. Randomisation

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16
17	18	19	20

2. Randomisation

1 B	2 D	3 D	4 E
5 C	6 E	7 A	8 B
9 A	10 C	11 E	12 A
13 D	14 D	15 A	16 B
17 B	18 C	19 E	20 C

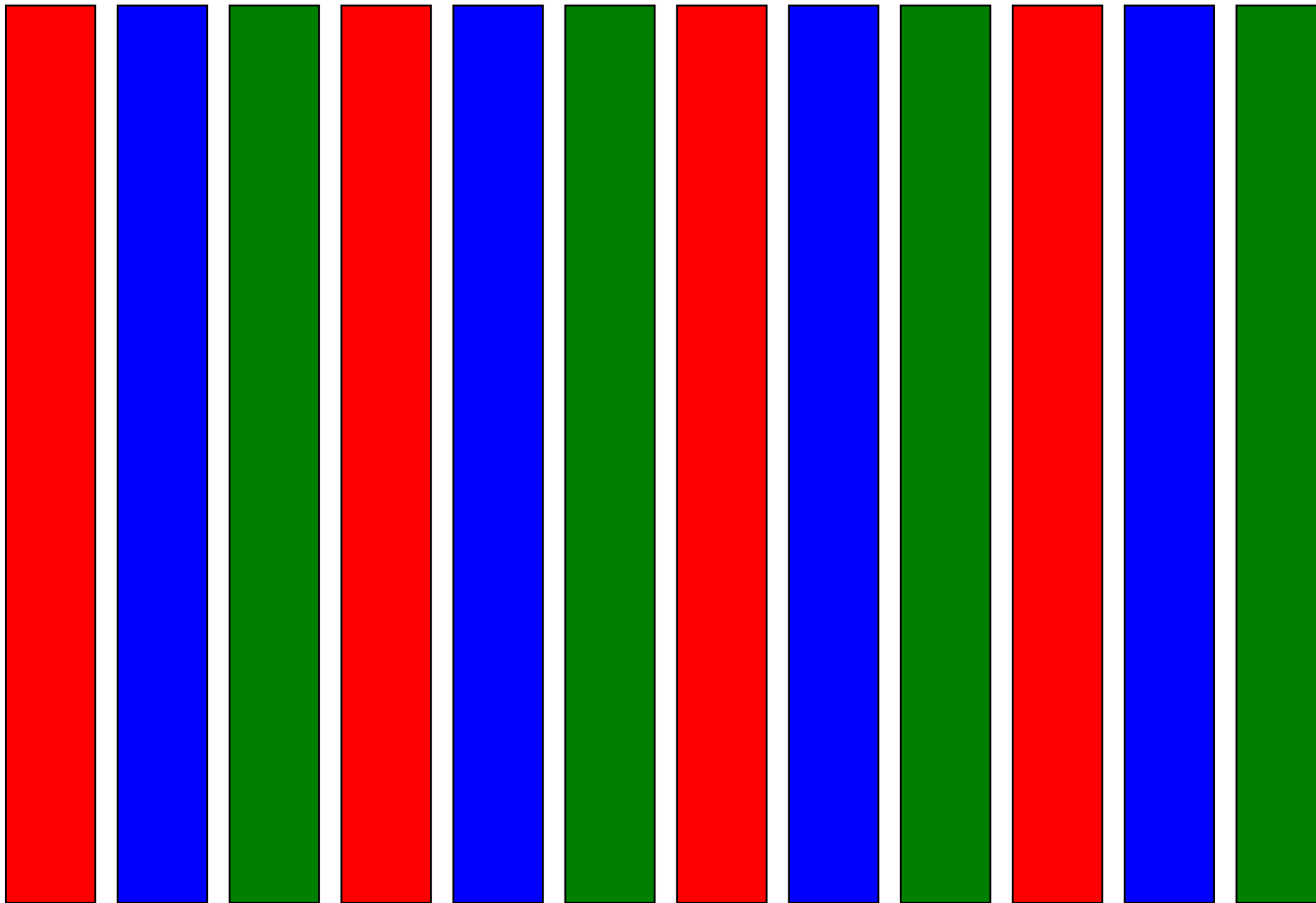
2. Randomisation

1 A	2 A	3 A	4 A
5 B	6 B	7 B	8 B
9 C	10 C	11 C	12 C
13 D	14 D	15 D	16 D
17 E	18 E	19 E	20 E

Systematische Anlage

2. Randomisation

Systematische „Block-Anlage“ für drei Varianten



2. Randomisation

Selbe Vergleichssorte auf allen Parzellen ("Blindversuch")

1 31	2 23	3 17	4 13
5 46	6 29	7 22	8 10
9 53	10 47	11 38	12 21
13 68	14 57	15 43	16 32
17 72	18 61	19 56	20 44

2. Randomisation

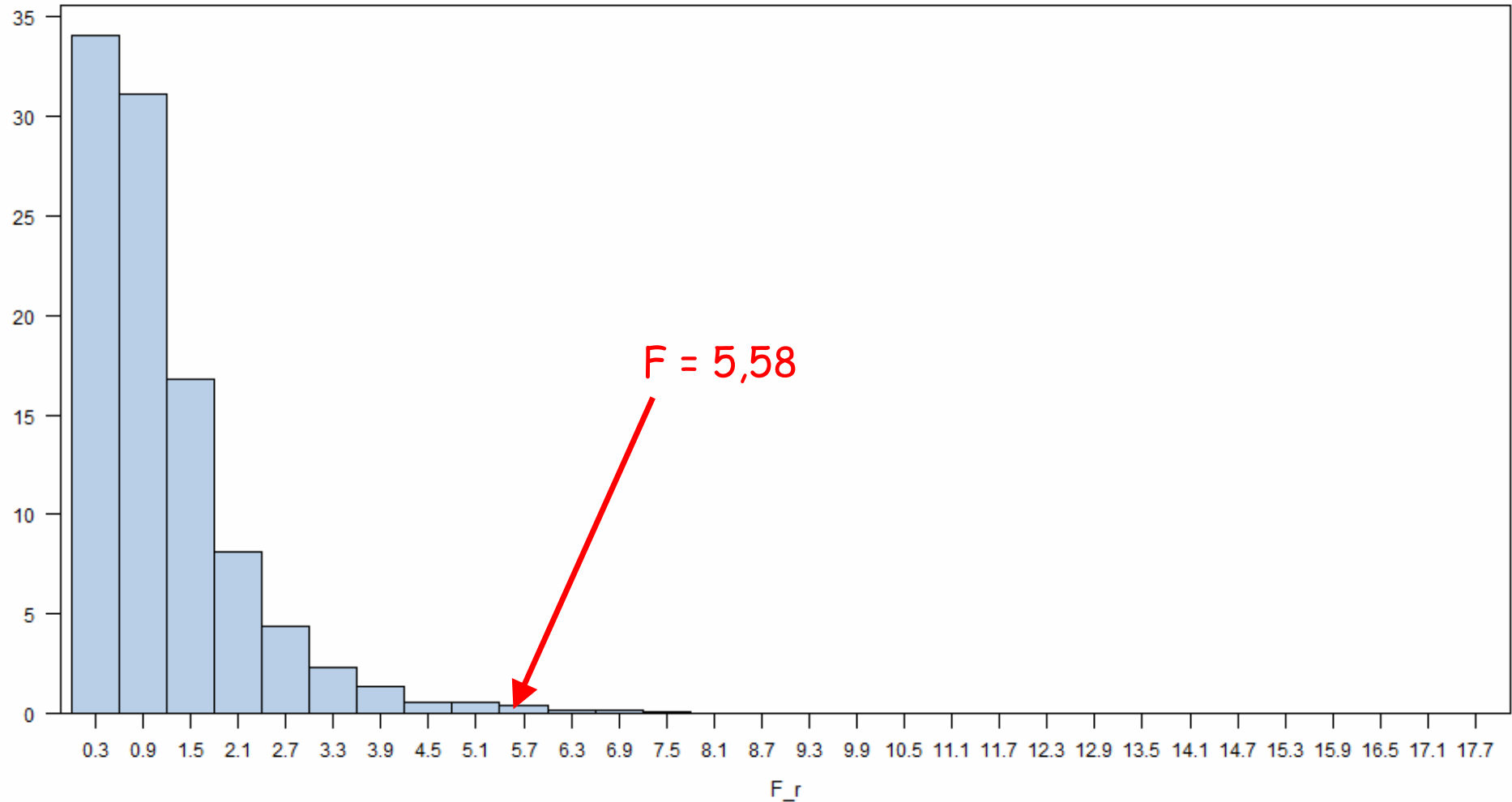
Systematische Zuordnung der Sortenbezeichnungen A, B, C, D und E

1 31	2 23	3 17	4 13	21.00	} Mittelwerte
5 46	6 29	7 22	8 10	26.75	
9 53	10 47	11 38	12 21	39.75	
13 68	14 57	15 43	16 32	50.00	
17 72	18 61	19 56	20 44	58.25	

- Hier simuliert: H_0 : Es gibt in Wirklichkeit keine echten Sortenunterschiede!
- Aber: $F = 5.58$ ($p = 0.0059$)
z.B. Differenz Sorte 1 – Sorte 5 = -37.25 ($p = 0.0011$)

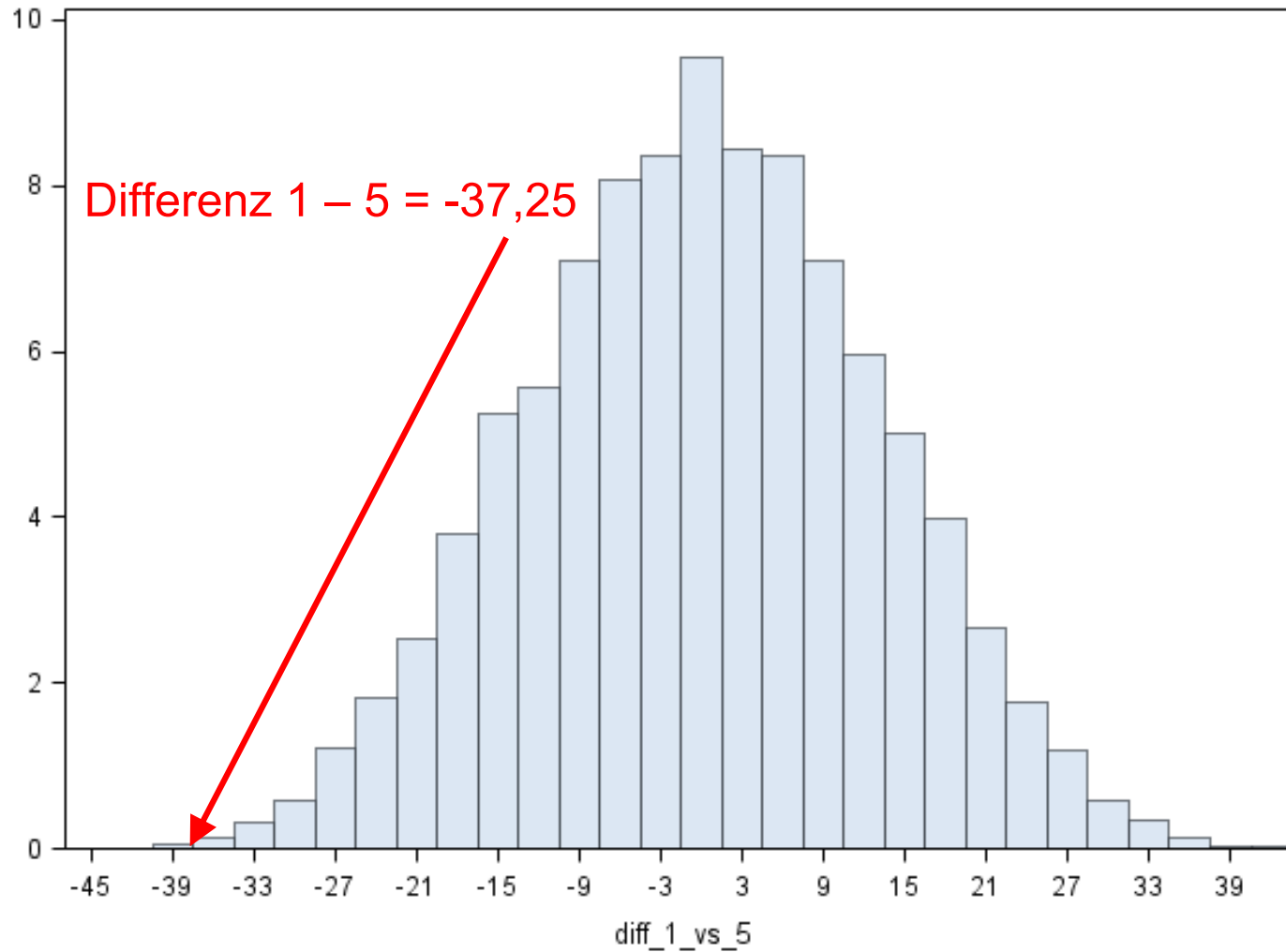
2. Randomisation

Randomisationsverteilung der F-Statistik der Varianzanalyse

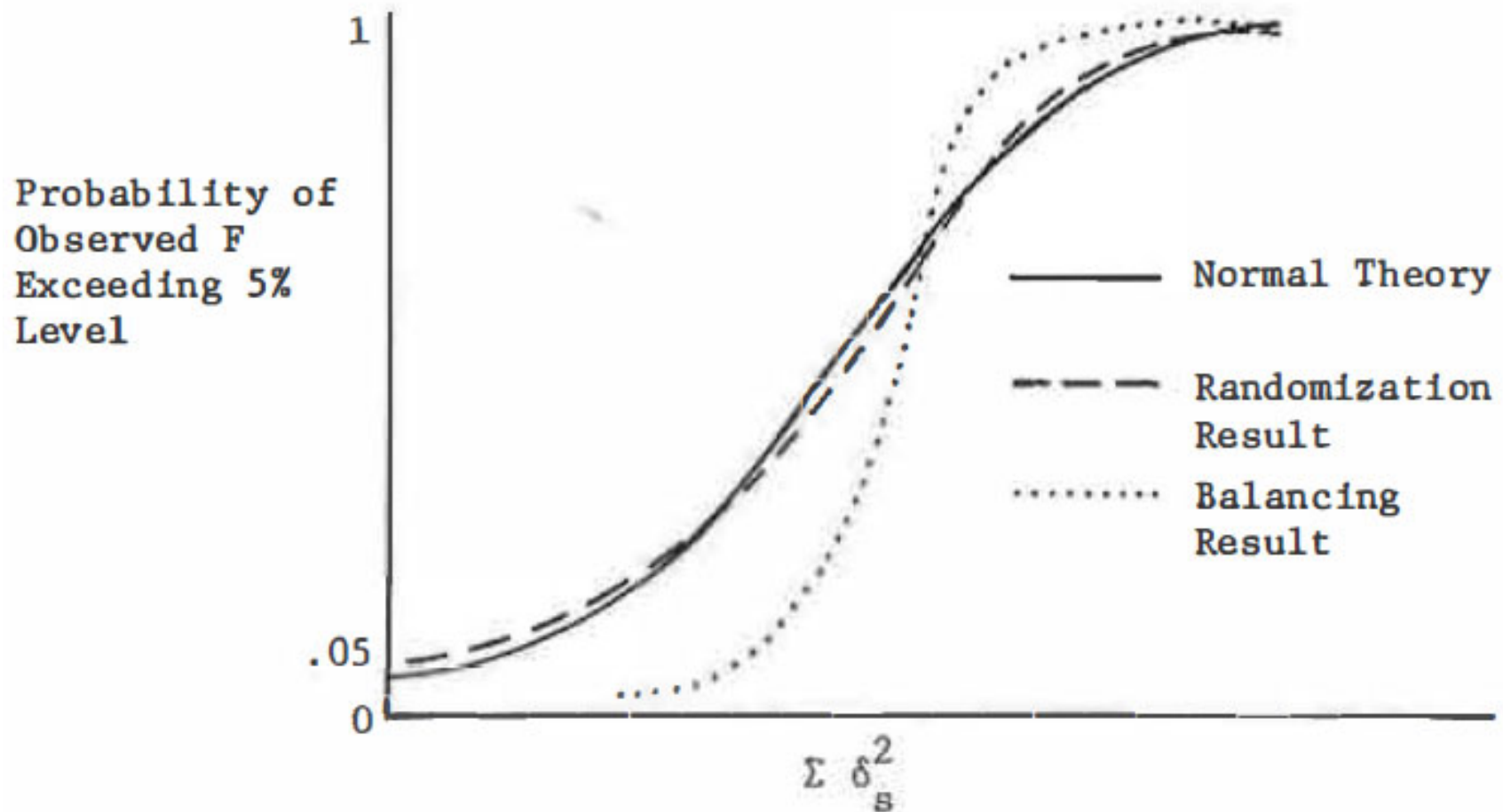


2. Randomisation

Randomisationsverteilung der Mittelwertdifferenz der Sorten 1 und 5



2. Randomisation



(Pickard 1980 Randomization and Design II. In: Fienberg et al. (eds.) R.A. Fisher: An appreciation. Lecture Notes in Statistics $\Rightarrow$ E.S. Pearson & F. Yates 1938)

2. Randomisation

Randomisationsbasierte Auswertung

- Brauche für jede Randomisationseinheit einen Fehlerterm (Parzellenfehler, Groß- und Kleinteilstückfehler etc.)
- Kann **zusätzlich** Geostatistik für wiederholte Messungen innerhalb Parzelle draufsetzen

Aber: **Geostatistik kann keine fehlende Randomisation heilen!!**

2. Randomisation

Elementare Auswertung

- Berechne Mittelwerte pro Randomisationseinheit (Parzelle, Schlag, Streifen etc.)
- Klassische Varianzanalyse der Mittelwerte pro Randomisationseinheit

Wenn diese Art der Auswertung nicht möglich ist wegen fehlender Wiederholungen, dann ist der Versuchsplan inadäquat!

⇒ Lackmus-Test für OFE Versuchsplan

2. Randomisation

Modellierung für Messwiederholungen pro Randomisationseinheit

- Da Messwiederholungen in selber Parzelle nicht randomisiert werden können, muss die **positive Korrelation** der Beobachtungen von derselben Parzelle berücksichtigt werden

2 Fälle:

- Räumliche Koordinaten der Messwiederholungen nicht bekannt
⇒ gemischtes Modell mit konstanter Korrelation innerhalb Parzelle
(entspricht Modell mit zufälligem Parzelleneffekt)
- Räumliche Koordinaten der Messwiederholungen bekannt
⇒ kann zusätzlich Geostatistik einbauen

2. Randomisation

Drei Möglichkeiten für geostatistische Modellierung für Messwiederholungen pro Randomisationseinheit

- Nur Korrelation von Messpunkten innerhalb derselben Parzelle
- Nur Korrelation von Messpunkten innerhalb desselben Blocks
- Korrelation von allen Messpunkten

Anmerkungen

- Modellierung der Korrelation über die Parzelle (Randomisationseinheit) hinaus erhöht den Aufwand (Modellselektion etc.)
- Designeffekte für Randomisationseinheiten sollten auf jeden Fall im Modell bleiben (Können aber auf Null geschätzt werden!)

3. Blockbildung

Block 1	5	4	6	2	1	3
Block 2	4	5	6	3	2	1
Block 3	2	6	4	3	1	5
Block 4	6	1	4	2	3	5

GRADIENT

4. Fazit

- Die drei Grundsätze der Versuchsplanung sind universell gültig
- Sie sollten grundsätzlich auch in On-Farm Versuchen beachtet werden
- Wiederholte Messungen innerhalb derselben Randomisationseinheit (Schlag, Parzelle etc.) sind Pseudoreplikate
- Wenn Messwiederholungen pro Randomisationseinheit analysiert werden, muss die Abhängigkeit von wiederholten Messungen innerhalb derselben Randomisationseinheit unbedingt berücksichtigt werden. Minimum: zufälliger Effekt für Randomisationseinheit
- Geostatistik kann fehlende Randomisation nicht ersetzen
- Lackmus-Test: Analyse von Mittelwerten pro Randomisationseinheit muss möglich sein

Literatur

CSIRO PUBLISHING

Crop & Pasture Science, 2011, **62**, 721–735
<http://dx.doi.org/10.1071/CP11175>

Review

Statistical aspects of on-farm experimentation

*Hans-Peter Piepho^{A,F}, Christel Richter^B, Joachim Spilke^C, Karin Hartung^A, Arndt Kunick^D,
and Heinrich Thöle^E*

^AUniversity of Hohenheim, Institute of Crop Science, Fruwirthstrasse 23, 70599 Stuttgart, Germany.

^BHumboldt-Universität zu Berlin, Faculty of Agriculture and Horticulture, Department of Crop and Animal Sciences, 10115 Berlin, Germany.

^CMartin-Luther-University Halle-Wittenberg, Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Biometrics and Informatics in Agriculture Group, Karl-Freiherr-von-Fritsch-Str. 4, 06120 Halle, Germany.

^DAgri Con GmbH, Precision Farming Company, Im Wiesengrund 4, 04749 Jahna, Germany.

^EJulius-Kühn-Institut, Institute for Biosafety of Genetically Modified Plants, Messeweg 11/12, 38104 Braunschweig, Germany.

^FCorresponding author. Email: piepho@uni-hohenheim.de

Literatur



J Agro Crop Sci (2013) ISSN 0931-2250

MISCELLANEOUS

Why Randomize Agricultural Experiments?

H. P. Piepho¹, J. Möhring¹ & E. R. Williams²

¹ Bioinformatics Unit, Institute of Crop Science, University of Hohenheim Stuttgart, Germany

² Statistical Consulting Unit, The Australian National University Canberra, ACT, Australia

Keywords

experimental design; field trial; linear model;
randomization; statistics; uniformity trial

Correspondence

H. P. Piepho
Bioinformatics Unit
Institute of Crop Science
University of Hohenheim
Fruwirthstrasse 23
70599 Stuttgart
Germany
Tel.: +49 711 459 22386
Fax: +94 711 459 24345
Email: piepho@uni-hohenheim.de

Accepted March 1, 2013

doi:10.1111/jac.12026

Abstract

This study illustrates the importance of randomization using two hypothetical field trials, one with a marked systematic trend and the other with a more erratic spatial pattern. The insights from these two examples are reinforced by analysis of a uniformity trial and a small simulation study. Results illustrate that both model-based spatial analysis and randomization-based analysis assuming independent errors are valid with full randomization but may be invalidated when randomization is lacking. It is concluded that randomization provides protection against different forms of spatial trend. The examples given in the study serve as a general reminder that agricultural experiments should be randomized whenever possible.