

## **Tandem 4**

# **Analyse von Zeittrends in zwei mehrjährigen Versuchen mit Reis-basierten Rotationssystemen**

Versuchsansteller: **Soe Soe Thein, A. Bürkert, M. Finckh**

Biometriker: **H.-P. Piepho**

## **Versuchsfragen**

- Unterscheiden sich die Anbausysteme im Zeittrend?
- Behandlungseffekte je Saison

## **Biometrische Herausforderungen**

- Zwei der drei Systeme haben keinen Reis in Saison 2, sondern eine Nicht-Reis-Frucht  $\Rightarrow$  nur 2 Reisernten pro Jahr
- Saisonale Schwankungen müssen von Jahreseffekten getrennt werden

# Faktoren

## Behandlungs-Faktoren:

CS (Cropping System): 1 = Rice-Rice-Rice,  
2 = Rice-Greengram-Rice,  
3 = Rice-Fallow-Rice

CR (Crop Residues): 0 = burning,  
1 = incorporation

N (Nitrogen): 1 = manure only,  
2 = manure+2\*20 N (kg/ha),  
3 = manure+4\*10 N,  
4 = manure+4\*20 N

## **Design:**

- Spaltanlage mit CS in Großteilstücken (MAIN) in vollst. Blöcken (BLOCK)
- CR und N in Kleinteilstücken (SUB) innerhalb Großteilstücken (MAIN)

## **Block Faktoren:**

BLOCK:	Block
MAIN:	Großteilstück
SUB:	Kleinteilstück

## **"Wiederholte Faktoren" (Repeated factors):**

YEAR:	1, 2 (, 3)
-------	------------

SEASON:	1, (2,) 3
---------	-----------

**Tab. 1:** Vier Operatoren für einfache Modell-Syntax (Nelder & McCullagh, 1989)

### **Punkt Operator (•)**

---

- (i)  $A \bullet B = B \bullet A$  (Kommutativgesetz)
- (ii)  $(A \bullet B) \bullet C = A \bullet (B \bullet C)$  (Assoziativgesetz)
- (iii)  $(A \bullet C) \bullet (B \bullet C) = A \bullet B \bullet C$

### **Produkt-Term-Operator [pt(.)]**

---

- (i)  $\text{pt}(M) = A \bullet B \bullet C \bullet \dots$

= Produkt Term aller Faktoren (A, B, C, ... ) in Modell M

## Schachtelungs-Operator (/)

---

(i)  $A/B = A + A \bullet B$  (A und B sind Faktoren)

(ii)  $A/B = A + \text{pt}(A) \bullet B$  (A und B können Modelle sein)

(iii)  $A/(B/C) = (A/B)/C$

(iv)  $A/(B+C) = A/B + A/C$

## Kreuz-Operator ( $\times$ )

---

(i)  $A \times B = A + B + A \bullet B$

(ii)  $A \times (B+C) = A + B + C + A \bullet B + A \bullet C$

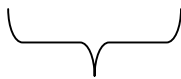
(iii)  $(A \times B)/C = A \times B + A \bullet B \bullet C$


## (1) Behandlungsmodell

$$CS \times CR \times N = CS + CR + N + CS \bullet CR + CS \bullet N + CR \bullet N + CS \bullet CR \bullet N$$

## (2) Nicht-wiederholtes Blockmodell

$$\text{BLOCK}/\text{MAIN}/\text{SUB} = \text{BLOCK} : \text{BLOCK} \bullet \text{MAIN} + \underline{\text{BLOCK} \bullet \text{MAIN} \bullet \text{SUB}}$$

  
fest

  
zufällig

⇒ Beide Teile ergeben das Modell für die Auswertung einer Saison

### **(3) Gibt es Interaktionen zwischen Block- und Behandlungsfaktoren?**

Nein

### **(4) Modell für wiederholte Faktoren**

$$\text{YEAR} \times \text{SEASON} = \text{YEAR} + \text{SEASON} + \text{YEAR} \bullet \text{SEASON}$$

Beide Faktoren fest, da nur wenige Stufen

### **(5) Wiederholtes-cum-Behandlungsmodell**

$$(\text{CS} \times \text{CR} \times \text{N}) \times (\text{YEAR} \times \text{SEASON})$$



## (6) Schachtele wiederholtes Modell in festen Effekten des nicht-wiederholten Blockmodells

BLOCK/(YEAR×SEASON)

$$= \text{BLOCK} + \text{BLOCK} \bullet \text{YEAR} + \text{BLOCK} \bullet \text{SEASON} + \text{BLOCK} \bullet \text{YEAR} \bullet \text{SEASON}$$

(will für jede Stufe des wiederholten Faktors eigene Blockeffekte)

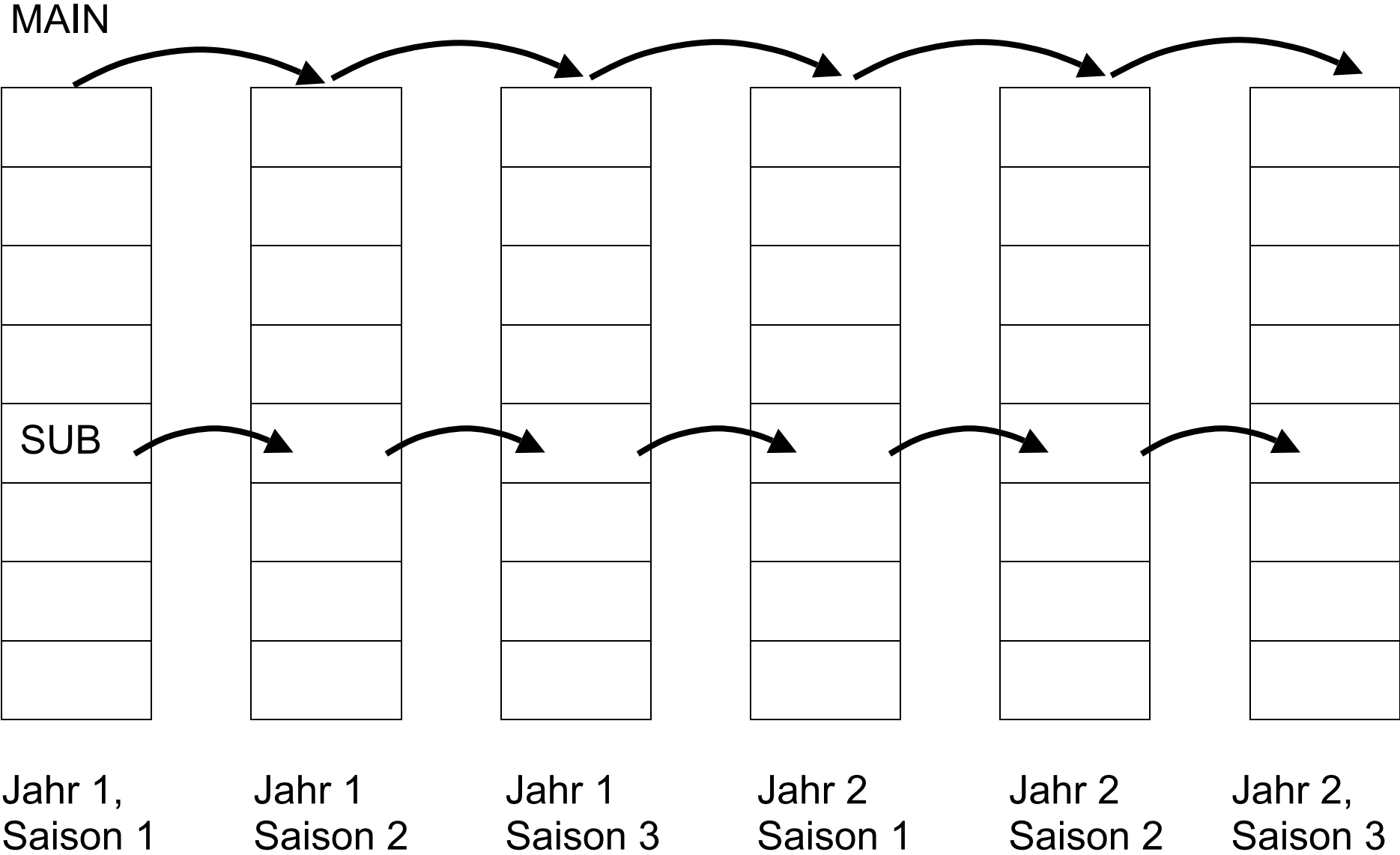
## (7) Wiederholte Fehlereffekte

$$\text{BLOCK} \bullet \text{MAIN} \bullet \text{pt}(\text{YEAR} \times \text{SEASON}) = \mathbf{BLOCK \bullet MAIN \bullet YEAR \bullet SEASON}$$

BLOCK•MAIN•SUB•pt(YEAR×SEASON)

$$= \mathbf{BLOCK \bullet MAIN \bullet SUB \bullet YEAR \bullet SEASON}$$

# Ein Großteilstück (MAIN) mit 8 Kleinteilstücken (SUB)



**(8) Volles Modell zusammenstellen aus (5), (6) und (7)**

CS × CR × N × YEAR × SEASON

+ BLOCK + BLOCK\*YEAR + BLOCK•SEASON + BLOCK•YEAR•SEASON

: ***BLOCK•MAIN•YEAR•SEASON + BLOCK•MAIN•SUB•YEAR•SEASON***

Umsetzung in SAS PROC MIXED:

```
proc mixed;  
class CR CS N YEAR SEASON BLOCK MAIN SUB;  
model grain=CR|CS|N|YEAR|SEASON  
          BLOCK*YEAR  BLOCK*SEASON  BLOCK*YEAR*SEASON;  
random YEAR*SEASON/sub=BLOCK*MAIN type=cs;  
repeated YEAR*SEASON/sub=BLOCK*MAIN*SUB type=un(1);  
run;
```

# Wahl des Varianz-Kovarianz-Modells für 2 Fehlerterme

Merkmal: Kornertrag  
Ort: Yezin

Main-plot	Sub-plot	AIC (smaller-is-better)
CS	CS	6345.2
CS	CSH	6303.5
CS	ID	6360.8
CS	DIAG	6306.6
CS	SUB+DIAG	6299.6
AR(1)	AR(1)	6359.0
AR(1)	ARH(1)	6316.8

$$V = \text{var} \begin{pmatrix} \text{Zeitpunkt1} \\ \text{Zeitpunkt2} \\ \text{Zeitpunkt3} \end{pmatrix}$$

Compound symmetry (CS)

$$V = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & \rho & \rho \\ \rho & 1 & \rho \\ \rho & \rho & 1 \end{pmatrix}$$

Autoregressive AR(1)

$$V = \sigma^2 \begin{pmatrix} 1 & \rho & \rho^2 \\ \rho & 1 & \rho \\ \rho^2 & \rho & 1 \end{pmatrix}$$

Heterogeneous CS

$$V = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho \\ \sigma_3\sigma_1\rho & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

Heterogeneous AR(1)

$$V = \begin{pmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_1\sigma_2\rho & \sigma_1\sigma_3\rho^2 \\ \sigma_2\sigma_1\rho & \sigma_2^2 & \sigma_2\sigma_3\rho \\ \sigma_3\sigma_1\rho^2 & \sigma_3\sigma_2\rho & \sigma_3^2 \end{pmatrix}$$

# Log-Transformation

Main-plot	Sub-plot	AIC (smaller-is-better)
CS	CS	229.7
CS	sub+diag	-73.7
AR(1)	AR(1)	235.8
AR(1)	ARH(1)	-56.6

⇒ Log-Transformation beseitigt nicht die Varianzheterogenität

# Schätzen des Zeittrends

- Nur 2-3 Jahre  $\Rightarrow$  lineare Regression gegen Jahr
- Schätze zunächst Trends pro Saison
- Addiere dann Steigungen über die Saisons je Anbausystem (CS)

CS=1: Trends für Saison 1, 2 und 3

CS=2: Trends für Saison 1 und 3

CS=3: Trends für Saison 1 und 3

$b_i$  = Steigung für Saison  $i$

= Änderung des Reisertrages pro Jahr in Saison  $i$  (kg/ha)

Änderung des jährlichen Reisertrages pro Jahr (kg/ha)

System 1:  $(b_1 + b_2 + b_3)$

System 2:  $(b_1 + b_3)$

System 3:  $(b_1 + b_3)$

# Modell mit Zeittrend

- Kodierung der Zeitvariable:

T=0 für YEAR=1

T=1 für YEAR=2

T=2 für YEAR=3

- Muss feste Blockeffekte pro Jahr und Saison berücksichtigen

CS × CR × N × T × SEASON

+ BLOCK•T•SEASON

+ **BLOCK•MAIN•YEAR•SEASON** + **BLOCK•SUB•YEAR•SEASON**



# Test-Strategie

- Test der Interaktionen von T mit Behandlungsfaktoren CS, CR und N
- Reduziere um nicht-signifikante Interaktionen mit T
- CS wird in jedem Fall im Modell gelassen, da Faktor von vorrangigem Interesse
- Schätze behandlungsspezifische Steigungen
- Kenward-Roger Methode zur Bestimmung der Freiheitsgrade

### Type 3 Tests of Fixed Effects

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
CR	1	74.1	1.23	0.2719
CS	2	14.6	3.47	0.0586
CR*CS	2	126	1.40	0.2506
N	3	74.1	21.93	<.0001
CR*N	3	74.1	1.49	0.2231
CS*N	6	126	0.36	0.9006
CR*CS*N	6	126	0.50	0.8046
t	1	26.1	100.53	<.0001
t*CR	1	74.4	0.14	0.7118
t*CS	2	27.6	2.33	0.1161
t*CR*CS	2	119	0.77	0.4670
t*N	3	74.4	3.22	0.0276
t*CR*N	3	74.4	1.50	0.2213
t*CS*N	6	119	0.31	0.9312

t*CR*CS*N	6	119	0.30	0.9354
Season	2	34.1	42.67	<.0001
CR*Season	2	57.7	1.50	0.2309
CS*Season	2	36	0.84	0.4402
CR*CS*Season	2	126	1.83	0.1654
N*Season	6	66.5	6.56	<.0001
CR*N*Season	6	66.5	0.35	0.9065
CS*N*Season	6	126	0.81	0.5674
CR*CS*N*Season	6	126	0.94	0.4703
t*Season	2	26.1	81.30	<.0001
t*CR*Season	2	59.7	0.95	0.3923
t*CS*Season	2	27.6	1.02	0.3727
t*CR*CS*Season	2	119	1.44	0.2411
t*N*Season	6	68.8	7.36	<.0001
t*CR*N*Season	6	68.8	0.62	0.7131
t*CS*N*Season	6	119	0.81	0.5679
t*CR*CS*N*Season	6	119	0.66	0.6787
t*Season*Block	7	21.3	0.89	0.5306

# SAS Anweisungen für Zeittrend

```
proc mixed data=y;
class cr cs n year season block main sub;
model grain=cr*cs*n*season cr*t*season n*t*season
        block*season*t/ddfm=kr solution;
random year*season/sub=block*main type=cs;
random          int/sub=block*main*sub type=vc;
repeated year*season/sub=block*main*sub type=un(1);
estimate 'cr=1 n=1' cr*t*season 4 4 4          n*t*season 4 4 4
        block*t*season 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
        /divisor=4;
estimate 'cr=1 vs cr=2' cr*t*season 1 1 1 -1 -1 -1;
estimate 'N=1 vs N=2'   n*t*season 1 1 1 -1 -1 -1;
```

- Schätzbarkeit:

Das Mittel der Blockeffekte einer Saison der behandlungsspezifischen Steigung hinzuaddieren

- 4 Blöcke in Jahr 1, 3 Blöcke in Jahr 2 und 3

# Geschätzte Zeitrends (kg je ha und Jahr)

Mit Season = 2

Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
cr=0 n=1	-4877.23	556.22	42.9	-8.77	<.0001
cr=0 n=2	-6201.09	556.22	42.9	-11.15	<.0001
cr=0 n=3	-5927.81	556.22	42.9	-10.66	<.0001
cr=0 n=4	-6181.35	556.22	42.9	-11.11	<.0001
cr=1 n=1	-4119.59	556.22	42.9	-7.41	<.0001
cr=1 n=2	-5443.46	556.22	42.9	-9.79	<.0001
cr=1 n=3	-5170.17	556.22	42.9	-9.30	<.0001
cr=1 n=4	-5423.72	556.22	42.9	-9.75	<.0001

## Vergleiche der Zeitrends (kg je ha und Jahr)

Mit Season = 2

Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
cr=1 vs cr=2	-757.63	268.55	67.9	-2.82	0.0063
N=1 vs N=2	1323.87	379.79	67.9	3.49	0.0009
N=1 vs N=3	1050.58	379.79	67.9	2.77	0.0073
N=1 vs N=4	1304.13	379.79	67.9	3.43	0.0010
N=2 vs N=3	-273.29	379.79	67.9	-0.72	0.4743
N=2 vs N=4	-19.7417	379.79	67.9	-0.05	0.9587
N=3 vs N=4	253.55	379.79	67.9	0.67	0.5067

## Geschätzte Zeitrends (kg je ha und Jahr)

Ohne Season = 2

Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
cr=1 n=1	-1709.82	307.44	47.5	-5.56	<.0001
cr=1 n=2	-1771.56	307.44	47.5	-5.76	<.0001
cr=1 n=3	-1517.40	307.44	47.5	-4.94	<.0001
cr=1 n=4	-1258.20	307.44	47.5	-4.09	0.0002
cr=2 n=1	-1423.75	307.44	47.5	-4.63	<.0001
cr=2 n=2	-1485.49	307.44	47.5	-4.83	<.0001
cr=2 n=3	-1231.33	307.44	47.5	-4.01	0.0002
cr=2 n=4	-972.12	307.44	47.5	-3.16	0.0027

## Vergleiche der Zeitrends (kg je ha und Jahr)

Ohne Season = 2

Label	Estimate	Standard Error	DF	t Value	Pr >  t
cr=1 vs cr=2	-286.07	155.00	164	-1.85	0.0668
N=1 vs N=2	61.7426	219.20	164	0.28	0.7786
N=1 vs N=3	-192.42	219.20	164	-0.88	0.3813
N=1 vs N=4	-451.62	219.20	164	-2.06	0.0410
N=2 vs N=3	-254.16	219.20	164	-1.16	0.2480
N=2 vs N=4	-513.37	219.20	164	-2.34	0.0204
N=3 vs N=4	-259.20	219.20	164	-1.18	0.2387



# Zeittrends für Cropping System

```
proc mixed;
class cr cs n year season block main sub s;
model grain=cr*cs*n*season
        cr*t*season
        n*t*season
        cs*t*season
block*season*t/ddfm=kr solution;
random s/sub=block*main type=cs;
random int/sub=block*main*sub type=vc;
repeated s/sub=block*main*sub type=un(1);
estimate 'cs=1 mit season 2'
        cs*t*season 4 4 4 0 0 0
        cr*t*season 2 2 2 2 2 2
        n*t*season 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
        block*t*season 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1/divisor=4;
estimate 'cs=2 vs cs=3'
        cs*t*season 0 0 0 4 4 -4 -4/divisor=4;
run;
```

# Ergebnis

Label	Estimate	Standard Error	Pr >  t
cs=1 mit season 2	-5458.70	657.07	<.0001
cs=1 ohne season 2	-1461.86	491.12	0.0062
cs=2	-1428.32	491.12	0.0073
cs=3	-1376.16	491.12	0.0094
cs=1 ohne season 2 vs cs=2	-33.5348	694.55	0.9619
cs=1 ohne season 2 vs cs=3	-85.7002	694.55	0.9027
cs=2 vs cs=3	-52.1654	694.55	0.9407
cs=1 mit season 2 vs cs=2	-4030.38	820.33	<.0001
cs=1 mit season 2 vs cs=3	-4082.54	820.33	<.0001

# Etwas größere Verallgemeinerbarkeit

$YEAR \times SEASON = YEAR + SEASON : YEAR \bullet SEASON$

$YEAR \bullet SEASON$  als Fehlerterm:

$YEAR \bullet SEASON$ ,  
 $YEAR \bullet SEASON \bullet N$   
 $YEAR \bullet SEASON \bullet CR$   
Etc.

sind zufällig!

[Noch besser wäre: Alles zufällig! Brauche aber mehr Jahre!]

## Wald Tests

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
CR	1	1	0.05	0.8636
CS	2	149	0.10	0.9045
CR*CS	2	452	0.00	0.9987
N	3	1	7.47	0.2613
CR*N	3	1	0.41	0.7835
CS*N	6	452	0.44	0.8551
CR*CS*N	6	1	0.24	0.9114
t	1	3.45	4.59	0.1098
t*CR	1	1	0.15	0.7630
t*CS	2	452	0.23	0.7973
t*CR*CS	2	452	0.11	0.8987
t*N	3	1	0.21	0.8817

## Wald Tests (cont'd)

Effect	Num DF	Den DF	F Value	Pr > F
t*CR*N	3	1	0.15	0.9187
t*CS*N	6	452	0.26	0.9567
t*CR*CS*N	6	1	0.18	0.9433
Season	2	4.91	4.27	0.0842
CR*Season	2	1	0.33	0.7783
CS*Season	2	452	0.15	0.8568
CR*CS*Season	2	452	0.01	0.9943
N*Season	6	8.35	0.50	0.7963
CR*N*Season	6	1	0.21	0.9304
CS*N*Season	6	452	0.16	0.9868
CR*CS*N*Season	6	1	0.09	0.9857
t*Block	3	1	1.74	0.4965
Season*Block	9	25.9	0.72	0.6824

# Schlussfolgerungen

- Kann mit gemischten Modellen Zeittrends untersuchen
- Bei festen Jahreseffekten einige signifikante Trendunterschiede
- Wenn Jahr x Saison zufällig, werden Fehlerterme größer
- Habe nur 2-3 Jahre betrachtet
- Bräuchte deutlich mehr Jahre
- Könnte dann Faktor Jahr (Streuung um Regression) zufällig nehmen
- Könnte nichtlineare Trends untersuchen

# Literatur

Piepho, H.P., Büchse, A., Emrich, K. (2003): A hitchhiker's guide to the mixed model analysis of randomized experiments. *Journal of Agronomy and Crop Science* **189**, 310-322.

Piepho, H. P., Büchse, A., Richter, C. (2004): A mixed modelling approach to randomized experiments with repeated measures. *Journal of Agronomy and Crop Science* (im Druck)