

Statistik II

Einheit 9: Mixed Designs

19.06.2024 | Prof. Dr. Stephan Goerigk

Mixed Designs

Kurzvorstellung

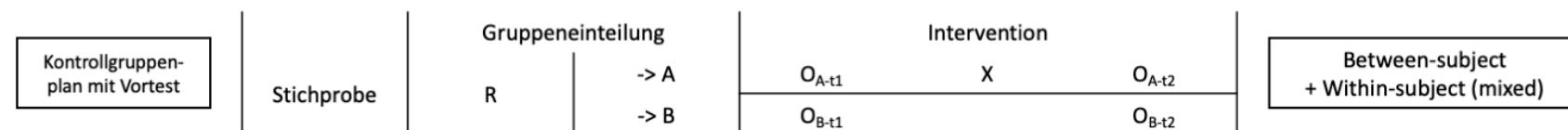
Mixed Designs:

- Mixed = Mischung aus Messwiederholung und Gruppenvergleich
- Within-Person + Between-Person Faktoren im selben Modell
- Zeit + Gruppenzugehörigkeit (und deren Interaktion) als unabhängige Variablen (UVs)

Verwendung:

- Klassischer Experimentaufbau in der Psychologie
- Zeit: Prä vs. Post; Gruppe: Experimentalgruppe vs. Kontrollgruppe
- Klinische Studien: Randomisiert-kontrolliertes Trial (RCT)

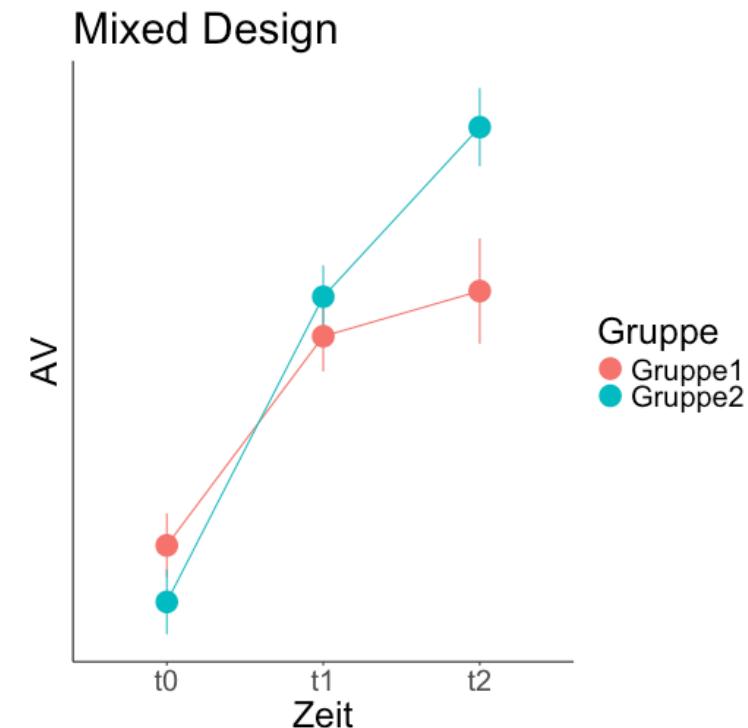
Wir kennen diesen Aufbau von den Studiendesigns:



Mixed Designs

Kurzvorstellung

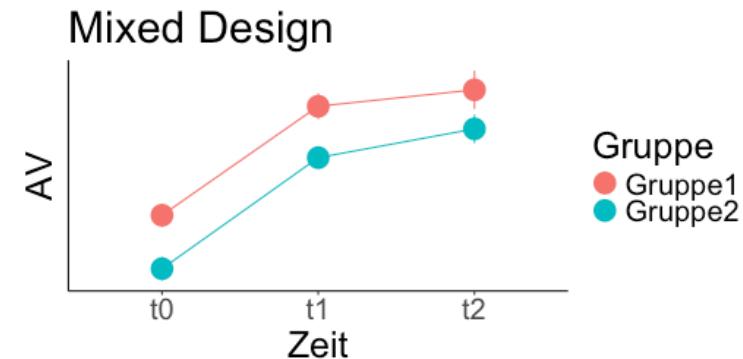
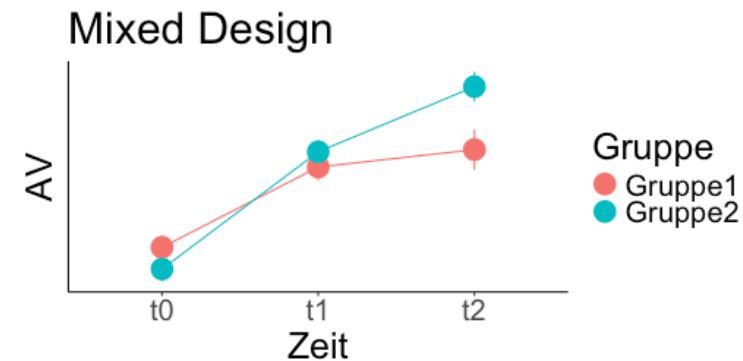
- Design:
 - Jede Person wird zu mehreren Zeitpunkten erfasst (Zeit)
 - Einige Personen sind einer Gruppe zugeordnet, andere einer anderen Gruppe
- Gründe:
 - Unterschiedliche Entwicklung über Zeit in unterschiedlichen Gruppen
 - Durch Vorher-Nachher Vergleich kann Veränderung abgebildet werden
- Messwiederholte Daten sind **abhängig** voneinander
- Gruppenvergleiche sind **unabhängig** voneinander



Mixed Designs

Kurzvorstellung

- Graphische Darstellung i.d.R. mittels gruppenspezifischem Line-Graph
 - AV auf Y-Achse, Zeit auf X-Achse (UV1), Gruppenzugehörigkeit z.B. als Farben (UV2)
 - Punkte = Mittelwert der Gruppe G_j zu Zeitpunkt t_i
 - Eine Linie pro Gruppe
- Interpretation:
 - parallele Linien → gleiche Veränderung der Gruppen über Zeit
 - nicht parallele Linien → Gruppen verändern sich unterschiedlich



Statistische Auswertung von Mixed Designs

In der angewandten Statistik sind 2 Arten von Modellen zur Auswertung von Mixed Designs gängig:

1. Mixed ANOVA

- Basiert auf Prinzip der mehrfaktoriellen ANOVA
- Messwiederholung: alle Zeitpunkte stehen gleichberechtigt nebeneinander (jede Messung wird mit jeder verglichen)
- Statistisches Konzept: stationäre Mittelwertsvergleiche der Gruppen zu jedem Zeitpunkt
- Dieses Semester

2. Linear mixed model (Multilevel-Modell)

- Basiert auf Prinzip der Regression
- Messwiederholung: Zeitpunkte können in lineare Reihenfolge gebracht werden (Wachstumskurve → Veränderung = lineare Steigung)
- Statistisches Konzept: Vergleich der Steigungen einzelner Gruppen
- Erstes Semester Masterstudium

Mixed Designs

Anwendungsbeispiel

- Datensatz für $N = 10$ Patient:innen nach Schlaganfall
- 2 Gruppen mit $n = 5$: G1 lediglich Zuwendung, G2 erhält Training
- **Forschungsfrage:** Kann kognitives Training Merkfähigkeit stärker verbessern, als reine Zuwendung?
- Es wurden folgende Variablen gemessen:
 - Gedächtnisleistung (AV; 0-50 Punkte) → nach jeder Trainingseinheit gemessen
- Variable im Datensatz
 - Zeitpunkt (UV, 3 Messungen)
 - Gruppe (UV, 2 Stufen)

→ Numerische Frage: Unterschiedlicher Anstieg in Gruppen?

	id	Time	Score	Gruppe
1	1	t0	9	Gruppe1
2	2	t0	10	Gruppe1
6	1	t1	13	Gruppe1
7	2	t1	12	Gruppe1
11	1	t2	16	Gruppe1
12	2	t2	14	Gruppe1
16	6	t0	13	Gruppe2
17	7	t0	10	Gruppe2
21	6	t1	17	Gruppe2
22	7	t1	16	Gruppe2
26	6	t2	18	Gruppe2
27	7	t2	22	Gruppe2

Tabellarische Darstellung je für $n = 2$ Personen in jeder Gruppe (Platzgründe)

Formalisierung

- "Mixed"-Modelle sind Spezialformen mehrfaktorieller Modelle mit Interaktion
- Besonderheit: eine der beiden UVs ist Zeit

$$Y = \text{Zeit} + \text{Gruppe} + \text{Zeit} \cdot \text{Gruppe} + \varepsilon$$

Entsprechend können wir wieder **3 Arten von Effekten** unterscheiden:

- Haupteffekt Zeit
- Haupteffekt Gruppe
- Interaktion Zeit x Gruppe

Mixed Designs

Effektarten und prüfbare Hypothesen

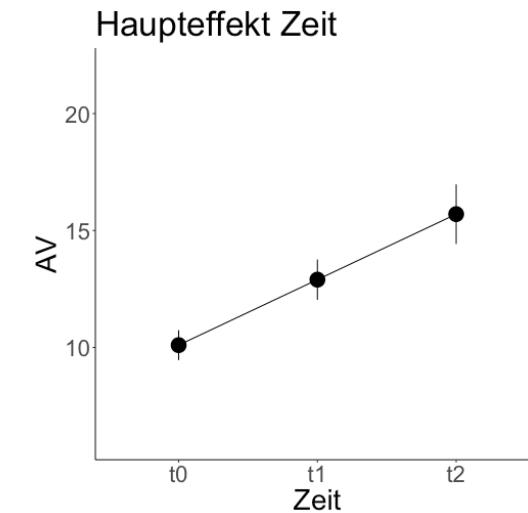
Haupteffekt Zeit:

$$Y = \text{Zeit} + \text{Gruppe} + \text{Zeit} \cdot \text{Gruppe} + \varepsilon$$



Time	Mittelwert	SD
t0	10.1	2.02
t1	12.9	2.73
t2	15.7	4.03

- H_1 : Unterschied zwischen t_0 , t_1 und t_2 (ungeachtet der Gruppenzugehörigkeit)



Mixed Designs

Effektarten und prüfbare Hypothesen

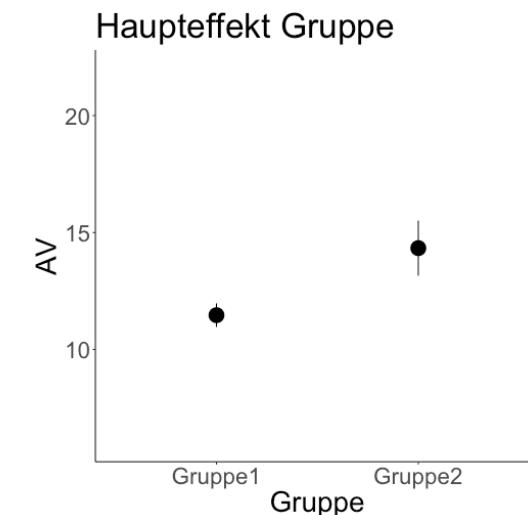
Haupteffekt Gruppe:

$$Y = Zeit + \text{Gruppe} + Zeit \cdot \text{Gruppe} + \varepsilon$$



Gruppe	Mittelwert	SD
Gruppe1	11.47	1.96
Gruppe2	14.33	4.56

- H_1 : Unterschied zwischen Gruppe₁ und Gruppe₂
(ungeachtet des Messzeitpunkts)



Mixed Designs

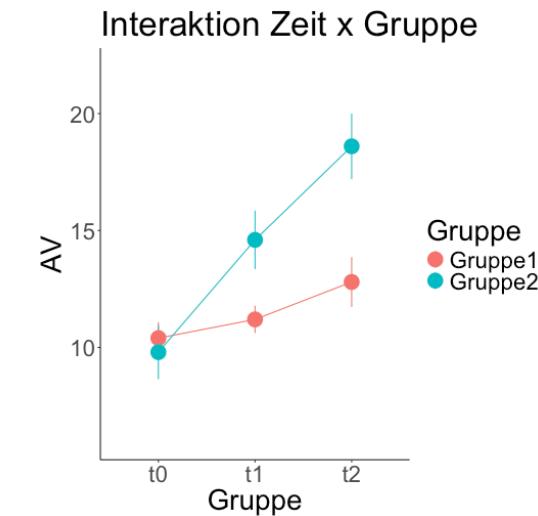
Effektarten und prüfbare Hypothesen

Interaktionseffekt Zeit x Gruppe:

$$Y = \text{Zeit} + \text{Gruppe} + \text{Zeit} \cdot \text{Gruppe} + \varepsilon$$



Time	Gruppe	Mittelwert	SD
t0	Gruppe1	10.4	1.52
t0	Gruppe2	9.8	2.59
t1	Gruppe1	11.2	1.30
t1	Gruppe2	14.6	2.79
t2	Gruppe1	12.8	2.39
t2	Gruppe2	18.6	3.13



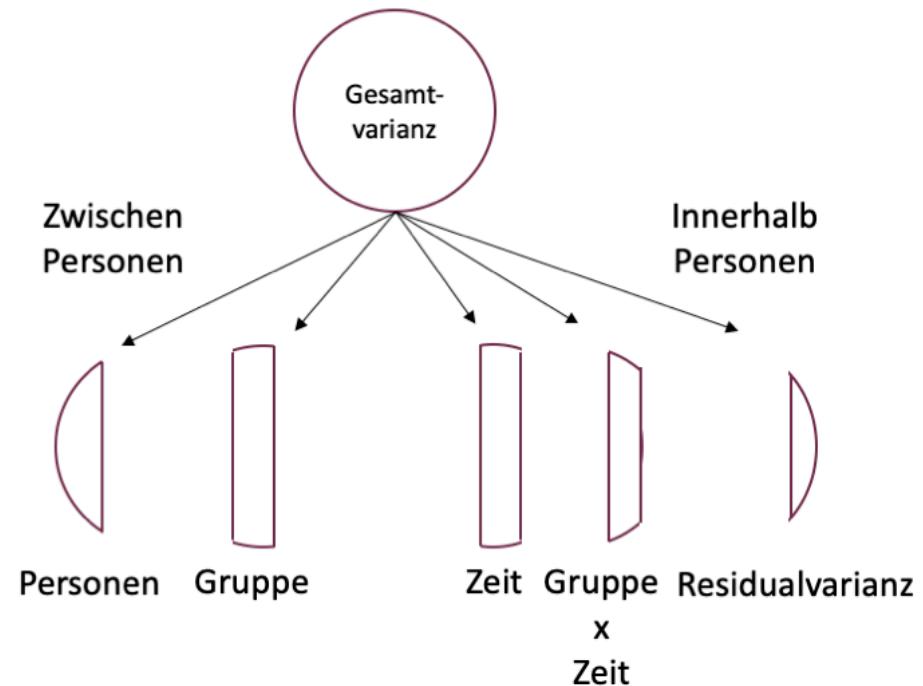
- H_1 : Gruppe₁ und Gruppe₂ unterscheiden sich im zeitlichen Verlauf.

Mixed Designs

Prinzip der Mixed ANOVA

Zerlegung der Gesamtvarianz:

- *Personen* = individuelle Unterschiede
- *Gruppe* = durchschnittlicher Gruppenunterschied
- *Zeit* = durchschnittlicher Unterschied über Zeit
- *Zeit x Gruppe* = unterschiedliche Veränderung über Zeit zwischen Gruppen
- *Residuum* = individuelle nicht erklärte Unterschiede über Zeit



Prinzip der Mixed ANOVA

Zerlegung der Gesamtvarianz:

Wir müssen uns wiederum fragen, weshalb Messungen der AV unterschiedlich (mit Varianz) ausfallen:

Variation zwischen Personen:

- Eigenschaften der Person selbst (Personenvarianz)
- Eigenschaften/Effekt der Gruppe (Gruppenzugehörigkeit)

Variation Messwiederholung:

- aufgrund in der Zwischenzeit erfolgter Intervention (oder einfach augrund des Vergehens von Zeit)
- unterschiedliche Reaktion auf in der Zwischenzeit erfolgter Intervention (oder einfach Vergehen von Zeit) innerhalb der Gruppen

Variation der Messwerte:

$$\sigma_{gesamt}^2 = \sigma_{Vpn}^2 + \sigma_{Zeit}^2 + \sigma_{Gruppe}^2 + \sigma_{Zeit \times Gruppe}^2 + \sigma_{Res}^2$$

Mixed Designs

Prinzip der Mixed ANOVA

Systematische Varianzen (Zeit, Gruppe, Zeit x Gruppe):

Die zu schätzenden, systematischen Varianzkomponenten sind:

- $\hat{\sigma}_{Gruppe}^2$
- $\hat{\sigma}_{Zeit}^2$
- $\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2$

Formeln nutzen folgende Parameter:

- p = Stufen der Gruppenvariable (i Stufen)
- q = Stufen der Zeitvariable (j Messzeitpunkte)
- n = Anzahl der Versuchspersonen

Prinzip der Mixed ANOVA

Systematische Varianzen (Zeit, Gruppe, Zeit x Gruppe):

- Schätzung erfolgt analog zur 2-faktoriellen ANOVA ohne Messwiederholung.
- Der Unterschied: Erwartungswerte der Schätzer unterscheiden sich:
- Erwartungswert von $\hat{\sigma}_{Gruppe}^2$ beinhaltet Effektvarianz, Varianz des Personenfaktors und Fehlervarianz

$$E(\hat{\sigma}_{Gruppe}^2) = n \cdot q \cdot \sigma_{Gruppe}^2 + q \cdot \sigma_{Vpn}^2 + \sigma_{Res}^2$$

- Erwartungswerte von $\hat{\sigma}_{Zeit}^2$ und $\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2$ beinhalten zusätzlich Wechselwirkung zwischen Personenfaktor und Zeit

$$E(\hat{\sigma}_{Zeit}^2) = n \cdot p \cdot \sigma_{Zeit}^2 + q \cdot \sigma_{Zeit \times Vpn}^2 + \sigma_{Res}^2$$

$$E(\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2) = n \cdot \sigma_{Zeit \times Gruppe}^2 + \sigma_{Zeit \times Vpn}^2 + \sigma_{Res}^2$$

Prinzip der Mixed ANOVA

Systematische Varianzen (Gruppe):

Berechnung:

$$\hat{\sigma}_{Gruppe}^2 = \frac{QS_{Gruppe}}{df_{Gruppe}}$$

Die Quadratsumme (QS) entspricht der quadrierten Abweichung der Mittelwerte (\bar{Gruppe}_i) vom Gesamtmittelwert (\bar{G}) multipliziert mit der Zellgröße n und der Anzahl der Stufen der Zeitvariable (Anzahl der Messwiederholungen):

$$\hat{\sigma}_{Gruppe}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p n \cdot q \cdot (\bar{Gruppe}_i - \bar{G})^2}{p - 1}$$

Prinzip der Mixed ANOVA

Systematische Varianzen (Zeit):

Berechnung:

$$\hat{\sigma}_{Zeit}^2 = \frac{QS_{Zeit}}{df_{Zeit}}$$

Die Quadratsumme (QS) entspricht der quadrierten Abweichung der Mittelwerte (\bar{Zeit}_j) vom Gesamtmittelwert (\bar{G}) multipliziert mit der Zellgröße n und der Anzahl der Stufen der Gruppenvariable:

$$\hat{\sigma}_{Zeit}^2 = \frac{\sum_{j=1}^q n \cdot p \cdot (\bar{Zeit}_j - \bar{G})^2}{q - 1}$$

Mixed Designs

Prinzip der Mixed ANOVA

Systematische Varianzen (Zeit x Gruppe):

Berechnung:

$$\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2 = \frac{QS_{Zeit \times Gruppe}}{df_{Zeit \times Gruppe}}$$

Die Quadratsumme entspricht der Differenz der beobachteten Zellmittelwerte und der erwarteten Zellmittelwerte

$$\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2 = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q n \cdot [\bar{GruppeZeit}_{ij} - (\bar{Gruppe}_i + \bar{Zeit}_j + \bar{G})]^2}{(p-1) \cdot (q-1)}$$

Laut Haupteffekten von Gruppe und Zeit erwartete Zellmittelwerte:

$$\bar{GruppeZeit}_{ij} = \bar{Gruppe}_i + \bar{Zeit}_j - \bar{G}$$

Prinzip der Mixed ANOVA

Prüfvarianzen:

- Logik F-Bruch: Teilen der Effektvarianz durch die nicht erklärte Varianz

$$F_{(df_1, df_2)} = \frac{\hat{\sigma}_{Effekt}^2}{\hat{\sigma}_{Prüf}^2}$$

→ Zähler und Nenner unterscheiden sich nur durch interessierenden Effekt (je stärker desto größer der Bruch, desto signifikanter der Test)

- Bislang konnte für Haupt- und Interaktionseffekte dieselbe Prüfvarianz im Nenner verwendet werden ($\hat{\sigma}_{Res}^2$)

- Problem im mixed Design:

- Erwartungswerte für Faktoren ohne Messwiederholung enthalten σ_{Vpn}^2
- Erwartungswerte für Faktoren mit Messwiederholung enthalten $\sigma_{Zeit \times Vpn}^2$

→ Für Faktoren mit vs. ohne Messwiederholung müssen unterschiedliche Prüfvarianzen für den Nenner des F-Bruchs gebildet werden

Prinzip der Mixed ANOVA

Prüfvarianz für Faktoren ohne Messwiederholung:

- Prüfvarianz für (*Zeit*) spielt hier keine Rolle
- Ziel: Abbilden der Variabilität der Personen in der Stichprobe (zwischen Personen)

Vorgehen:

- Für jede Vpn über alle Messzeitpunkte einen Durchschnitt bilden ($\bar{GruppeVpn}_{im}$)
- Dann den Gesamtmittelwert der Einzelgruppen von den gemittelten Werten über alle Zeitpunkte abziehen (unerklärte Varianz der Vpn)

$$\hat{\sigma}_{Prüf(Gruppe)}^2 = \hat{\sigma}_{Vpn}^2 = \frac{QS_{Vpn}}{df_{Vpn}} = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{m=1}^n q \cdot [\bar{GruppeVpn}_{im} - \bar{Gruppe}_i]^2}{p \cdot (n - 1)}$$

Prinzip der Mixed ANOVA

Prüfvarianz für Faktoren mit Messwiederholung:

- Messwiederholung Zeit und Zeit x Gruppe Interaktion identisch
- Ziel: Abbilden der Variabilität in der Veränderung der Personen (Variabilität innerhalb der Vpn)
- Unterschiede zwischen Vpn müssen auch berücksichtigt werden → auch $\bar{GruppeVpn}_{im}$ und (\bar{Gruppe}_i) gehen mit ein

$$\hat{\sigma}_{Prüf(Zeit \times Gruppe)}^2 = \hat{\sigma}_{Zeit \times Vpn}^2 = \frac{QS_{Zeit \times Vpn}}{df_{Zeit \times Vpn}} = \frac{\sum_{i=1}^p \sum_{j=1}^q \sum_{m=1}^n [x_{ijm} - (\bar{Gruppe} \bar{Zeit}_{ij} + \bar{GruppeVpn}_{im} - \bar{Gruppe}_i)]^2}{p \cdot (q-1) \cdot (n-1)}$$

Mixed Designs

Prinzip der Mixed ANOVA

Signifikanztests der Haupteffekte:

Haupteffekt Gruppe:

$$F_{Gruppe(df_{Gruppe}, df_{Vpn})} = \frac{\hat{\sigma}_{Gruppe}^2}{\hat{\sigma}_{Prüf(Gruppe)}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{Gruppe}^2}{\hat{\sigma}_{Vpn}^2}$$

mit $df_{Gruppe} = p - 1$ und $df_{Vpn} = p \cdot (n - 1)$

Haupteffekt Zeit:

$$F_{Zeit(df_{Zeit}, df_{Zeit \times Vpn})} = \frac{\hat{\sigma}_{Zeit}^2}{\hat{\sigma}_{Prüf(Zeit)}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{Zeit}^2}{\hat{\sigma}_{Zeit \times Vpn}^2}$$

mit $df_{Zeit} = q - 1$ und $df_{Zeit \times Vpn} = p \cdot (q - 1) \cdot (n - 1)$

Mixed Designs

Prinzip der Mixed ANOVA

Signifikanztest des Interaktionseffekts:

Interaktion:

$$F_{Zeit \times Gruppe}(df_{Zeit \times Gruppe}, df_{Zeit \times Vpn}) = \frac{\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2}{\hat{\sigma}_{Prüf(Zeit \times Gruppe)}^2} = \frac{\hat{\sigma}_{Zeit \times Gruppe}^2}{\hat{\sigma}_{Zeit \times Vpn}^2}$$

mit $df_{Zeit \times Gruppe} = (p - 1) \cdot (q - 1)$ und $df_{Zeit \times Vpn} = p \cdot (q - 1) \cdot (n - 1)$

Prinzip der Mixed ANOVA

Signifikanztests - Vorgehen:

Händisch:

1. Berechnung der empirischen F-Werte mittels der 3 F-Bruch Formeln für Haupt- und Interaktionseffekte
2. Nachschlagen der kritischen F-Werte in F-Tabelle mittels Zähler- und Nennerfreiheitsgraden
3. Vergleich empirischer F-Wert vs. kritischer F-Wert
4. Wenn $F_{emp} > F_{krit}$ → Test signifikant

In R (folgt auf nächster Folie):

1. Vergleich von P mit Signifikanzniveau ($\alpha = .05$)
2. Wenn $P < .05$ → Test signifikant

Mixed Designs

Anwendungsbespiel R

```
model = aov_ez(dv = "Score", within = c("Time"), between = "Gruppe", id = "id", data = df_long)
summary(model)
```

```
## 
## Univariate Type III Repeated-Measures ANOVA Assuming Sphericity
## 
##            Sum Sq num Df Error SS den Df F value    Pr(>F)
## (Intercept) 4992.3     1   92.4      8 432.2338 0.00000003004 ***
## Gruppe       61.6      1   92.4      8  5.3362  0.04969 *
## Time        156.8      2   43.6     16 28.7706 0.00000502007 ***
## Gruppe:Time 52.3      2   43.6     16  9.5902  0.00183 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## 
## Mauchly Tests for Sphericity
## 
##            Test statistic p-value
## Time          0.43765 0.055453
## Gruppe:Time   0.43765 0.055453
## 
## 
## Greenhouse-Geisser and Huynh-Feldt Corrections
## for Departure from Sphericity
## 
##            GG eps Pr(>F[GG])
## Time          0.64006 0.0001688 ***
## Gruppe:Time   0.64006 0.0081544 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
## 
##            HF eps Pr(>F[HF])
## Time          0.7084258 0.00008619566
## Gruppe:Time   0.7084258 0.00612281849
```

- **Sum Sq** = Quadratsumme Systematische Varianz
- **num Df** = Zähler-Freiheitsgrade
- **den Df** = Nenner-Freiheitsgrade
- **Error SS** = Quadratsumme Prüfvarianz
- **F value** = Empirischer F-Wert (Ergebnis des F-Bruchs)
- **Pr(>F)** = P-Wert (zu vergleichen mit $\alpha = .05$)

Mixed Designs

Anwendungsbespiel R

```
emmeans(model, pairwise ~ Time | Gruppe)$emmeans
```

```
## Gruppe = Gruppe1:  
##   Time emmean    SE df lower.CL upper.CL  
##   t0     10.4 0.949  8     8.21    12.6  
##   t1     11.2 0.975  8     8.95    13.4  
##   t2     12.8 1.245  8     9.93    15.7  
##  
## Gruppe = Gruppe2:  
##   Time emmean    SE df lower.CL upper.CL  
##   t0     9.8 0.949  8     7.61    12.0  
##   t1    14.6 0.975  8    12.35    16.8  
##   t2    18.6 1.245  8    15.73    21.5  
##  
## Confidence level used: 0.95
```

- Auf der linken Seite sehen wir die Mittelwerte (marginal means)
- Alle Kombinationen der Zeit x Gruppe Interaktion

```
emmeans(model, pairwise ~ Time | Gruppe)$contrasts
```

```
## Gruppe = Gruppe1:  
##   contrast estimate    SE df t.ratio p.value  
##   t0 - t1      -0.8 0.768  8  -1.042  0.5735  
##   t0 - t2      -2.4 1.378  8  -1.741  0.2490  
##   t1 - t2      -1.6 0.883  8  -1.812  0.2264  
##  
## Gruppe = Gruppe2:  
##   contrast estimate    SE df t.ratio p.value  
##   t0 - t1      -4.8 0.768  8  -6.249  0.0006  
##   t0 - t2      -8.8 1.378  8  -6.384  0.0005  
##   t1 - t2      -4.0 0.883  8  -4.529  0.0048  
##  
## P value adjustment: tukey method for comparing a family of 3 estimates
```

- Auf der rechten Seite sehen wir die Mittelwertsvergleiche
- Nach Gruppen getrennt dargestellt, um die Interaktion aufzuschlüsseln (unterschiedliche Zeiteffekte innerhalb der Gruppen)
- Interaktionseffekt getragen durch nicht-signifikanten vs. signifikanten Vergleich von t1 vs. t2

Überprüfung der Sphärizität - Mauchly-Test:

```
model = aov_ez(dv = "Score", within = c("Time"), between = "Gruppe", id = "id", data = df_long)
summary(model)

##
## Univariate Type III Repeated-Measures ANOVA Assuming Sphericity
##
##           Sum Sq num Df Error SS den Df F value    Pr(>F)
## (Intercept) 4992.3     1   92.4      8 432.2338 0.00000003004 ***
## Gruppe       61.6      1   92.4      8  5.3362  0.04969 *
## Time        156.8      2   43.6     16 28.7766 0.00000502007 ***
## Gruppe:Time  52.3      2   43.6     16  9.5982  0.00183 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
## Mauchly Tests for Sphericity
##
##           Test statistic p-value
## Time          0.43765 0.055453
## Gruppe:Time   0.43765 0.055453
##
## Greenhouse-Geisser and Huynh-Feldt Corrections
## for Departure from Sphericity
##
##           GG eps Pr(>F[GG])
## Time        0.64006 0.0001688 ***
## Gruppe:Time 0.64006 0.0081544 **
## ---
## Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1
##
##           HF eps Pr(>F[HF])
## Time        0.7084258 0.00008619566
## Gruppe:Time 0.7084258 0.00612281849
```

- Annahme: Homogenität der Varianzen zwischen den Faktorstufen
- Signifikanter Mauchly-Test → Varianzen inhomogen → keine Sphärizität
- Nur für Messwiederholungsfaktoren mit > 2 Messungen pro Person relevant
- Bei Sphärizitätsverletzung Korrekturverfahren anwenden (s.h. Einheit 8)
 - Greenhouse-Geisser Korrektur
 - Huynh-Feldt Korrektur

Mixed Designs

Effektstärke partiellels η^2 in R

```
ES = effectsize::eta_squared(model)
```

```
ES
```

```
## # Effect Size for ANOVA (Type III)
##
## Parameter | Eta2 (partial) |      95% CI
## -----
## Gruppe     |      0.40 | [0.00, 1.00]
## Time       |      0.78 | [0.58, 1.00]
## Gruppe:Time |      0.55 | [0.21, 1.00]
##
## - One-sided CIs: upper bound fixed at [1.00].
```

```
# Automatisches Anzeigen der Interpretation
```

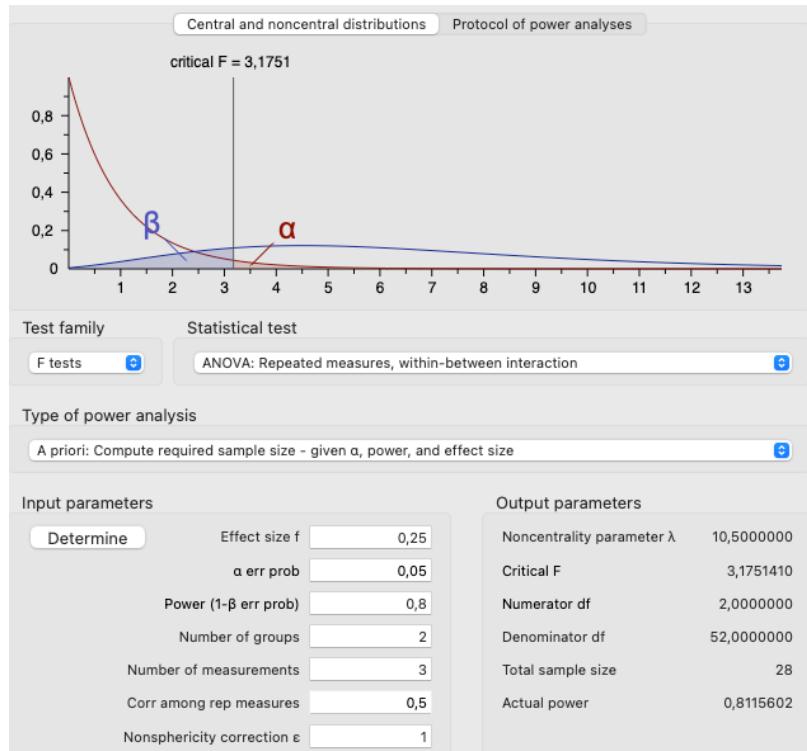
```
effectsize::interpret_eta_squared(ES)
```

```
## # Effect Size for ANOVA (Type III)
##
## Parameter | Eta2 (partial) |      95% CI | Interpretation
## -----
## Gruppe     |      0.40 | [0.00, 1.00] |      large
## Time       |      0.78 | [0.58, 1.00] |      large
## Gruppe:Time |      0.55 | [0.21, 1.00] |      large
##
## - One-sided CIs: upper bound fixed at [1.00].
## - Interpretation rule: field2013
```

- Partielles η^2 gibt Anteil aufgeklärter Gesamtvarianz in der Stichprobe für die Modellfaktoren an
- In diesem Fall: alle Effekte werden als "große/starke" Effektstärke eingeordnet

Mixed Designs

Stichprobenumfangsplanung



Folgende Parameter werden benötigt:

- angenommene Effektstärke (in Cohens f)
- Signifikanzniveau (α)
- gewünschte Teststärke/Power ($1 - \beta$)
- Anzahl Gruppen
- Anzahl Messzeitpunkte
- Durchschnittliche angenommene Korrelation zwischen Messzeitpunkten
- Sphärizitätskorrektur (i.d.R. nicht apriori geplant bzw. man hofft auf Sphärizität)

Take-aways

- **Mixed Designs** erlauben Prüfung von Hypothesen die Gruppenunterschiede und Messwiederholungen kombinieren.
- Von besonderem Interesse ist i.d.R. der Interaktionseffekt **Zeit x Gruppe**.
- Interaktionseffekt sagt aus, ob es **Gruppenunterschiede hinsichtlich der Veränderung** gab (Unterschied in Unterschieden).
- Es werden Variabilität Zwischen-Personen (**between-subject**) und Innerhalb-Personen (**within-subject**) unterscheiden
- Zum Prüfen der Effekte müssen separate **Prüfvarianzen** berechnet werden.
- Als Voraussetzung wird die **Spärizität** geprüft und ggf. korrigiert.
- Wenn Spärizität erfüllt ist, können Post-Hoc Vergleiche mittels **Tukey-Test** geprüft werden.