Psychotherapieforschung

MSc Klinische Psychologie und Psychotherapie

SoSe 2025

Prof. Dr. Dirk Ostwald

(5) Parallelgruppen-Pretest-Posttest-Designs

Einführung

Posttest-Varianzanalyse

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Change-Score-Varianzanalyse

Mixed-Model-Analyse

Selbstkontrollfragen

Kontrollgruppe

Pretest
T0

Posttest
T1

Treatmentgruppe

Pretest
T0

Posttest
T1

Einführung

Parallelgruppen-Pretest-Posttest-Design

- Randomisierte Aufteilung von n Proband:innen auf Kontrollgruppe und Treatmentgruppe
- Messung der Zielvariablen vor (Pretest, T0, Baseline) und nach (Posttest, T1) Intervention

Einfachste Form eines Between-Group Longitudinaldesigns

- Generalisierung zur mehr Messzeitpunkten vor und nach Randomisierung möglich (S:T-Designs)
- Generalisierung zur mehr als zwei Leveln des Gruppenfaktors möglich
- Generalisierung zur mehr als einem Gruppenfaktor möglich

Aktuelle RCT-Parallelgruppen-Longitudinaldesigns sind oft primär an T0 und T1 interessiert

Anwendungsbeispiel

y_{i0} und y_{i1} als Bezeichner für Pre- und Posttestdaten von Proband:in i

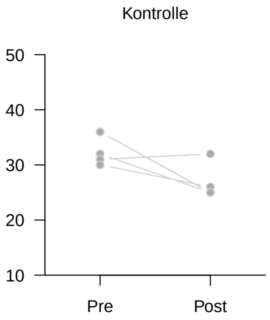
n_1 und n_2 als Bezeichner für Anzahl der Proband:innen in Kontroll- bzw Treatmentgruppe

$n = n_1 + n_2$ Proband:innen insgesamt

ID	Gruppe	Pre	Post
1	Kontrolle	30	31
2	Kontrolle	31	34
3	Kontrolle	37	34
4	Kontrolle	38	25
5	Kontrolle	34	32
6	Treatment	37	18
7	Treatment	33	22
8	Treatment	36	26
9	Treatment	35	29
10	Treatment	37	28

Anwendungsbeispiel

- y_{i0} und y_{i1} als Bezeichner für Pre- und Posttestdaten von Proband:in i
- n_1 und n_2 als Bezeichner für Anzahl der Proband:innen in Kontroll- bzw Treatmentgruppe
- $n = n_1 + n_2$ Proband:innen insgesamt



Überblick

Posttest-Varianzanalyse

- Bedeutung

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

- Bedeutung

Change-Score-Varianzanalyse

- Bedeutung

Mixed-Model-Analyse

- Bedeutung

Methodische Vergleichsarbeiten zu den hier vorgestellen Analyseverfahren geben u.a. , Laird (1983), Crager (1987), Frison and Pocock (1992), Oakes and Feldman (2001), Yang and Tsiatis (2001), Senn (2006), Winkens et al. (2007), Chen (2006), O Connell et al. (2017), (**funatogawa20101?**), (**funatogawa2022?**)

Lehrbuchkapitel zu den hier vorgestellen Analyseverfahren finden sich u.a. in Fitzmaurice, Laird, and Ware (2011), Maxwell, Delaney, and Kelley (2018)

Repeated-measures ANOVA für Pretest-Posttest-Designs

- Winer (1971) gibt einen ausführlichen Überblick zu Repeated-Measures ANOVA
- Argumente gegen den Einsatz von RM-ANOVA bei Pretest-Posttest Designs liefern Huck and McLean (1975), Brogan and Kutner (1980), (**jennings1988?**), McCulloch and Searle (2001)

Einführung

Posttest-Varianzanalyse

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Change-Score-Varianzanalyse

Mixed-Model-Analyse

Selbstkontrollfragen

Posttest-Varianzanalyse

Posttest-Varianzanalyse

- Nichtberücksichtigung der Pretestdaten
- Einfaktorielle Varianzanalyse/Zweistichproben-T-Test-Analyse im Rahmen des Allgemeinen Linearen Modells
- Posttestdaten können Mittelwerte über mehrere Posttestmessungen sein
- Generell nicht empfohlen, Betrachtung hier nur zur Vergleichszwecken
- Vgl. Frison and Pocock (1992) (POST), O Connell et al. (2017) (ANOVA-POST), Tango (2017), Kapitel 2.1

Posttest-Varianzanalyse

Strukturelle Modellform

Für $i = 1, ..., n$ Proband:innen seien y_{i1} die Posttest-Daten. Dann hat das Posttest-Varianzanalysemodell die Strukturelle Modellform

$$y_{i1} = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \tag{1}$$

mit

- $x_i := 0$ für Proband:in i in Kontrollgruppe
- $x_i := 1$ für Proband:in i in Treatmentgruppe
- $\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2)$

Parameterbedeutungen

β_0	Erwartungswert der Kontrollgruppen-Posttestdaten
β_1	Ewartungswertunterschied zwischen Kontrollgruppen und Treatmentgruppen-Posttestdaten
σ^2	Posttestdatenvariabilität

Posttest-Varianzanalyse

Designmatrixform für das Anwendungsbeispiel

$$
y = X\beta + \varepsilon \Leftrightarrow \begin{pmatrix} y_{11} \\ y_{21} \\ y_{31} \\ y_{41} \\ y_{51} \\ y_{61} \\ y_{71} \\ y_{81} \\ y_{91} \\ y_{101} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \\ \varepsilon_7 \\ \varepsilon_8 \\ \varepsilon_9 \\ \varepsilon_{10} \end{pmatrix} \tag{2}
$$

mit

$$
\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \text{ u.i.v. für } i = 1, ..., n \Leftrightarrow \varepsilon \sim N(0_{10}, \sigma^2 I_{10}) \tag{3}
$$

Posttest-Varianzanalyse

Modellevaluation für das Anwendungsbeispiel

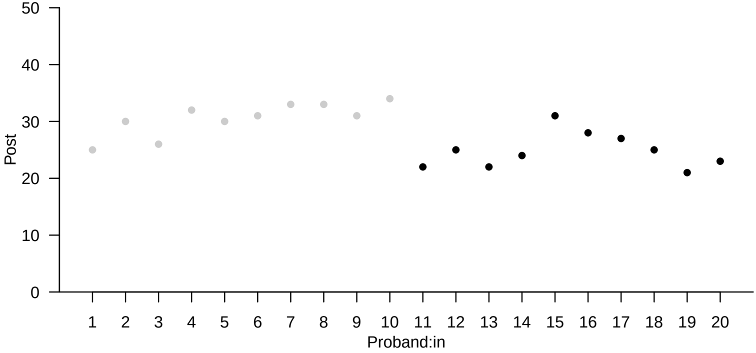
```
D   = read.csv("./5_Daten/ld-pre-post.csv", row.names = 1)  # Dateneinlesen
M   = lm(Post ~ Gruppe, data = D)                           # Modellformulierung und -schätzung
round(summary(M)$coefficients,2)                            # Parameterschätzer
```

```
               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)        31.2       1.86   16.80     0.00
GruppeTreatment    -6.6       2.63   -2.51     0.04
```

$\Rightarrow$ Geschätzter Ewartungswertunterschied zwischen Treatment- und Kontrollgruppe: -3.4 ($\pm$ 2.23)

Posttest-Varianzanalyse

Visualisierung für das Andwendungsbeispiel



• Kontrollgruppe • Treatmentgruppe, —, — $\hat{y} = X\hat{\beta}$

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

- Kovarianzanalyse der Posttestdaten mit Pretestdaten als Kovariate im Rahmen des ALM
- Vgl. Crager (1987), Frison and Pocock (1992), Chen (2006), Senn (2006)

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Strukturelle Modellform

Für $i = 1, ..., n$ Proband:innen seien y_{i0} und y_{i1} die Pretest- bzw. Posttest Daten. Dann hat das Kovarianzanalysemodell mit Pretest-Kovariaten die Strukturelle Modellform

$$y_{i1} = \beta_0 + \beta_1 x_i + \beta_2 y_{i0} + \varepsilon_i \tag{4}$$

mit

- $x_i := 0$ für Proband:in i in Kontrollgruppe
- $x_i := 1$ für Proband:in i in Treatmentgruppe
- $\varepsilon_i \sim N\left(0, \sigma^2\right)$

Parameterbedeutungen

β_0	Erwartungswert der Kontrollgruppe
β_1	Ewartungswertunterschied zwischen Kontrollgruppe und Treatmentgruppe
β_2	Steigungsparameter der Pretest-Kovariaten
σ^2	Variabilität der Differenzen von Posttest- und Pretest-Daten

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Designmatrixform für das Anwendungsbeispiel

$$y = X\beta + \varepsilon \Leftrightarrow \begin{pmatrix} y_{11} \\ y_{21} \\ y_{31} \\ y_{41} \\ y_{51} \\ y_{61} \\ y_{71} \\ y_{81} \\ y_{91} \\ y_{101} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & y_{10} \\ 1 & 0 & y_{20} \\ 1 & 0 & y_{30} \\ 1 & 0 & y_{40} \\ 1 & 0 & y_{50} \\ 1 & 1 & y_{60} \\ 1 & 1 & y_{70} \\ 1 & 1 & y_{80} \\ 1 & 1 & y_{90} \\ 1 & 1 & y_{100} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \\ \beta_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \\ \varepsilon_7 \\ \varepsilon_8 \\ \varepsilon_9 \\ \varepsilon_{10} \end{pmatrix} \tag{5}$$

mit

$$\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \text{ u.i.v. für } i = 1, ..., n \Leftrightarrow \varepsilon \sim N(0_{10}, \sigma^2 I_{10}) \tag{6}$$

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

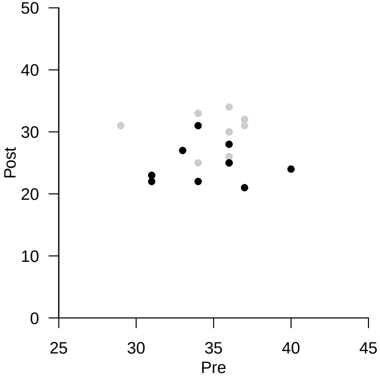
Modellevaluation für das Anwendungsbeispiel

```
D   = read.csv("./5_Daten/ld-pre-post.csv", row.names = 1)  # Dateneinlesen
M   = lm(Post ~ Gruppe  + Pre, data = D)                     # Modellformulierung und -schätzung
round(summary(M)$coefficients,2)                             # Parameterschätzer
```

```
               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)       44.42      18.74    2.37     0.05
GruppeTreatment   -5.98       2.85   -2.10     0.07
Pre               -0.39       0.55   -0.71     0.50
```

$\Rightarrow$ Geschätzter Ewartungswertunterschied zwischen Treatment- und Kontrollgruppe: -3.95 ($\pm$ 1.54)

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten



• Kontrollgruppe, • Treatmentgruppe, —, — $\hat{y} = X\hat{\beta}$,

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Adjustierte Gruppenmittelwerte

Maxwell, Delaney, and Kelley (2018), Kapitel 9, Goodnight and Harvey (1978), Searle, Speed, and Milliken (1980), Lenth (2016)

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Quasiexperimentelle Designs ohne Randomisierung

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Bei randomisierten Parallelgruppen-Pretest-Posttestdesigns $\mu_{10} = \mu_{20}$ kein großer Effekt

Einführung

Posttest-Varianzanalyse

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Change-Score-Varianzanalyse

Mixed-Model-Analyse

Selbstkontrollfragen

Change-Score-Varianzanalyse

- Einfaktorielle Varianzanalyse/Zweistichproben-T-Test-Analyse der Post-Pre-Differenzen

Change-Score-Varianzanalyse

Strukturelle Modellform

Für $i = 1, ..., n$ Proband:innen seien y_{i0} und y_{i1} die Pretest- bzw. Posttest Daten. Weiterhin seien

$$y_{i1} - y_{i0} \tag{7}$$

die Differenzem von Posttest- und Pretest-Daten. Dann hat das Change-Score-Analyse-Modell die Strukturelle Modellform

$$y_{i1} - y_{i0} = \beta_0 + \beta_1 x_i + \varepsilon_i \tag{8}$$

mit

- $x_i := 0$ für Proband:in i in Kontrollgruppe
- $x_i := 1$ für Proband:in i in Treatmentgruppe
- $\varepsilon_i \sim N\left(0, \sigma^2\right)$

Parameterbedeutungen

β_0	Erwartungswert der Kontrollgruppe
β_1	Ewartungswertunterschied zwischen Kontrollgruppe und Treatmentgruppe
σ^2	Variabilität der Differenzen von Posttest- und Pretest-Daten

Designmatrixform für das Anwendungsbeispiel

$$
y = X\beta + \varepsilon \Leftrightarrow \begin{pmatrix} y_{11} - y_{10} \\ y_{21} - y_{20} \\ y_{31} - y_{30} \\ y_{41} - y_{40} \\ y_{51} - y_{50} \\ y_{61} - y_{60} \\ y_{71} - y_{70} \\ y_{81} - y_{80} \\ y_{91} - y_{90} \\ y_{101} - y_{100} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 0 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \beta_0 \\ \beta_1 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \varepsilon_3 \\ \varepsilon_4 \\ \varepsilon_5 \\ \varepsilon_6 \\ \varepsilon_7 \\ \varepsilon_8 \\ \varepsilon_9 \\ \varepsilon_{10} \end{pmatrix} \quad (9)
$$

mit

$$
\varepsilon_i \sim N(0, \sigma^2) \text{ u.i.v. für } i = 1, ..., n \Leftrightarrow \varepsilon \sim N(0_{10}, \sigma^2 I_{10}) \quad (10)
$$

Change-Score-Varianzanalyse

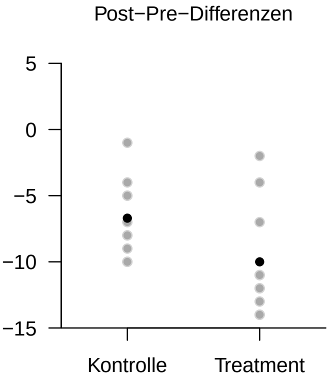
Modellevaluation für das Anwendungsbeispiel

```
D   = read.csv("./5_Daten/ld-pre-post.csv", row.names = 1)  # Dateneinlesen
D$D = D$Post - D$Pre                                        # Change-Score Berechnung
M   = lm(D ~ Gruppe, data = D)                              # Modellformulierung und -schätzung
round(summary(M)$coefficients,2)                            # Parameterschätzer
```

```
               Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)        -2.8       2.48   -1.13     0.29
GruppeTreatment    -8.2       3.51   -2.33     0.05
```

$\Rightarrow$ Geschätzter Erwartungswertunterschied zwischen Treatment- und Kontrollgruppe: -4.00 ($\pm$ 1.64)

Change-Score-Varianzanalyse



Lord Paradox

Einführung

Posttest-Varianzanalyse

Posttest-Kovarianzanalyse mit Pretest-Kovariaten

Change-Score-Varianzanalyse

Mixed-Model-Analyse

Selbstkontrollfragen

Ma, Mazumdar, and Memtsoudis (2012), Detry and Ma (2016), Yu et al. (2022)

Referenzen I

Brogan, Donna R, and Michael H Kutner. 1980. "Comparative Analyses of Pretest-Posttest Research Designs." *The American Statistician* 34 (4): 229–32.

Chen, Xun. 2006. "The Adjustment of Random Baseline Measurements in Treatment Effect Estimation." *Journal of Statistical Planning and Inference* 136 (12): 4161–75. https://doi.org/10.1016/j.jspi.2005.08.046.

Crager, Michael R. 1987. "Analysis of Covariance in Parallel-Group Clinical Trials with Pretreatment Baselines." *Biometrics* 43 (4): 895. https://doi.org/10.2307/2531543.

Detry, Michelle A., and Yan Ma. 2016. "Analyzing Repeated Measurements Using Mixed Models." *JAMA* 315 (4): 407. https://doi.org/10.1001/jama.2015.19394.

Fitzmaurice, Garrett M., Nan M. Laird, and James H. Ware. 2011. *Applied Longitudinal Analysis*. 2nd ed. Wiley Series in Probability and Statistics. Hoboken, N.J: Wiley.

Frison, Lars, and Stuart J. Pocock. 1992. "Repeated Measures in Clinical Trials: Analysis Using Mean Summary Statistics and Its Implications for Design." *Statistics in Medicine* 11 (13): 1685–1704. https://doi.org/10.1002/sim.4780111304.

Goodnight, James, and Walter R Harvey. 1978. "Least Squares Means in the Fixed Effects General Linear Model - SAS Technical Report." SAS Institute.

Huck, Schuyler W., and Robert A. McLean. 1975. "Using a Repeated Measures ANOVA to Analyze the Data from a Pretest-Posttest Design: A Potentially Confusing Task." *Psychological Bulletin* 82 (4): 511–18. https://doi.org/10.1037/h0076767.

Laird, Nan. 1983. "Further Comparative Analyses of Pretest-Posttest Research Designs." *The American Statistician* 37 (4a): 329–30. https://doi.org/10.1080/00031305.1983.10483133.

Referenzen II

Lenth, Russell V. 2016. "Least-Squares Means: The *R* Package **Lsmeans**." *Journal of Statistical Software* 69 (1). https://doi.org/10.18637/jss.v069.i01.

Ma, Yan, Madhu Mazumdar, and Stavros G. Memtsoudis. 2012. "Beyond Repeated-Measures Analysis of Variance: Advanced Statistical Methods for the Analysis of Longitudinal Data in Anesthesia Research." *Regional Anesthesia and Pain Medicine* 37 (1): 99–105. https://doi.org/10.1097/AAP.0b013e31823ebc74.

Maxwell, Scott E., Harold D. Delaney, and Ken Kelley. 2018. *Designing Experiments and Analyzing Data: A Model Comparison Perspective*. Third edition. New York London: Routledge, Taylor & Francis Group.

McCulloch, Charles E., and S. R. Searle. 2001. *Generalized, Linear, and Mixed Models*. Wiley Series in Probability and Statistics. Applied Probability and Statistics Section. New York: John Wiley & Sons.

O Connell, Nathaniel S, Lin Dai, Yunyun Jiang, Jaime L Speiser, Ralph Ward, Wei Wei, Rachel Carroll, and Mulugeta Gebregziabher. 2017. "Methods for Analysis of Pre-Post Data in Clinical Research: A Comparison of Five Common Methods." *Journal of Biometrics & Biostatistics* 08 (01). https://doi.org/10.4172/2155-6180.1000334.

Oakes, J. Michael, and Henry A. Feldman. 2001. "Statistical Power for Nonequivalent Pretest-Posttest Designs: The Impact of Change-Score Versus ANCOVA Models." *Evaluation Review* 25 (1): 3–28. https://doi.org/10.1177/0193841X0102500101.

Searle, S R, F M Speed, and G A Milliken. 1980. "Population Marginal Means in the Linear Model: An Alternative to Least Squares Means." *The American Statistician* 34 (4): 216–22.

Senn, Stephen. 2006. "Change from Baseline and Analysis of Covariance Revisited." *Statistics in Medicine* 25 (24): 4334–44. https://doi.org/10.1002/sim.2682.

Tango, Toshiro. 2017. *Repeated Measures Design with Generalized Linear Mixed Models for Randomized Controlled Trials*. 0th ed. Chapman and Hall/CRC. https://doi.org/10.1201/9781315152097.

Referenzen III

Winer, B J. 1971. *Statistical Principles in Experimental Design*.

Winkens, Bjorn, Gerard J. P. Van Breukelen, Hubert J. A. Schouten, and Martijn P. F. Berger. 2007. "Randomized Clinical Trials with a Pre- and a Post-Treatment Measurement: Repeated Measures Versus ANCOVA Models." *Contemporary Clinical Trials* 28 (6): 713–19. https://doi.org/10.1016/j.cct.2007.04.002.

Yang, Li, and Anastasios A Tsiatis. 2001. "Efficiency Study of Estimators for a Treatment Effect in a Pretest–Posttest Trial." *The American Statistician* 55 (4): 314–21. https://doi.org/10.1198/000313001753272466.

Yu, Zhaoxia, Michele Guindani, Steven F. Grieco, Lujia Chen, Todd C. Holmes, and Xiangmin Xu. 2022. "Beyond t Test and ANOVA: Applications of Mixed-Effects Models for More Rigorous Statistical Analysis in Neuroscience Research." *Neuron* 110 (1): 21–35. https://doi.org/10.1016/j.neuron.2021.10.030.