

Kapitel 7: Varianzanalyse mit Messwiederholung

Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung _____	1
Durchführung einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf einem Faktor _	7
Durchführung einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf beiden Faktoren _____	13
Literatur _____	22

Durchführung einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung

Dieser Abschnitt zeigt die Durchführung der in Kapitel 7.1 behandelten einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit R. Als Beispiel für diese und die folgenden Abschnitte dient die Untersuchung, ob die wiederholte Durchführung eines motorischen Tests einen Einfluss auf die Leistung der Versuchspersonen hat. Die Messung wird insgesamt dreimal durchgeführt, die abhängige Variable ist die Anzahl korrekt getippter Fingersequenzen innerhalb von 30 Sekunden. Den Datensatz finden Sie in der Datei „Messwiederholung.sav“.

```
library(foreign)
messw <- read.spss("Messwiederholung.sav",
                  to.data.frame = TRUE)
```

Wenn Sie sich die Daten anschauen, fällt Ihnen sicherlich auf, dass es Personen mit fehlenden Werten auf den uns interessierenden Variablen gibt. Damit wir in R während den nächsten Rechnungen keine Probleme haben, werden wir den Datensatz filtern, sodass wir nur noch die vollständigen Fälle haben. Hierfür verwenden wir die Funktion `complete.cases()`. Wir geben zunächst den Namen unseres Datensatzes ein und geben dann in den eckigen Klammern an, dass alle vollständigen Zeilen aus unserem eingelesenen Datensatz ausgewählt werden sollen und nur die für uns relevanten Spalten, also „vp“, „Messung1“, „Messung2“ und „Messung3“.

```
messw.f <- messw[complete.cases(messw),
                c("vp", "Messung1", "Messung2", "Messung3")]
```

Alle weiteren Berechnungen werden wir nur noch mit diesem Datensatz durchführen.

Ein wichtiger Unterschied in R zwischen messwiederholten und nicht messwiederholten Analysen besteht in der Anordnung der Daten im Datenfenster. Im Fall der einfaktoriellen Varianzanalyse ohne Messwiederholung sind die experimentellen Bedingungen in einer Variable kodiert, eine zweite Variable beinhaltet die Werte der abhängigen Variablen. Bei der Messwiederholung ist jeder einzelne Messzeitpunkt in einer eigenen Variable bzw. Spalte im R Datenfenster eingetragen. Der Grundgedanke ist: In R stehen in einer Zeile alle Daten, die von ein und derselben Versuchsperson stammen. Gibt eine Versuchsperson mehrere Messwerte ab, so müssen diese auch in derselben Zeile eingetragen sein. In dem Datenfenster sind deshalb die drei Messzeitpunkte „Messung1“, Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

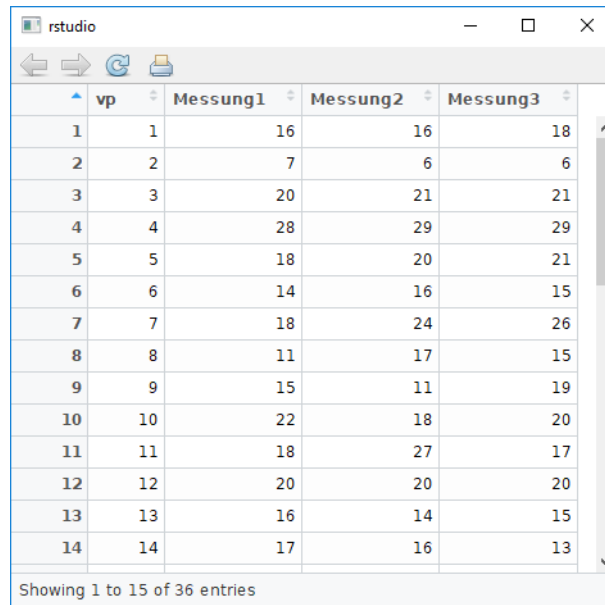
Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

„Messung“ und „Messung3“ als eigene Variablen zu sehen. Die Versuchsperson 1 hat in der ersten Messung 16 Sequenzen, in der zweiten ebenfalls 16 und in der dritten Messung 18 Sequenzen innerhalb von 30 Sekunden richtig eingegeben.



	vp	Messung1	Messung2	Messung3
1	1	16	16	18
2	2	7	6	6
3	3	20	21	21
4	4	28	29	29
5	5	18	20	21
6	6	14	16	15
7	7	18	24	26
8	8	11	17	15
9	9	15	11	19
10	10	22	18	20
11	11	18	27	17
12	12	20	20	20
13	13	16	14	15
14	14	17	16	13

Zunächst müssen einige Vorbereitungen getroffen werden, bevor wir mit der Analyse beginnen können. Wir verwenden die Funktion `melt()` des Pakets `reshape`, um dafür zu sorgen, dass der Datensatz in eine Form gebracht werden kann, um die messwiederholte Varianzanalyse in R berechnen zu können. Ziel ist es einen Datensatz zu erzeugen, der aus drei Spalten besteht. In der ersten Spalte steht die Nummer der Versuchsperson, in der nächsten der Messzeitpunkt und in der letzten der dazugehörige Wert. Da es insgesamt 36 Versuchspersonen sind, werden wir nun aufgrund der drei Zeitpunkte, drei Zeilen für jede Versuchsperson haben. Hierfür geben wir zunächst den gefilterten Datensatz an. Mit dem Argument `id` geben wir an, zu welcher Person der Wert gehört und mit `measured` werden die gemessenen Variablen angegeben. Mit der Funktion `names()` werden dann die per Standard eingestellten Variablennamen verändert. Zum besseren Verständnis, was genau gemacht wurde, wurde mit `order()` der Datensatz nach den Versuchspersonen sortiert.

```
install.packages("reshape")  
library(reshape)
```

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

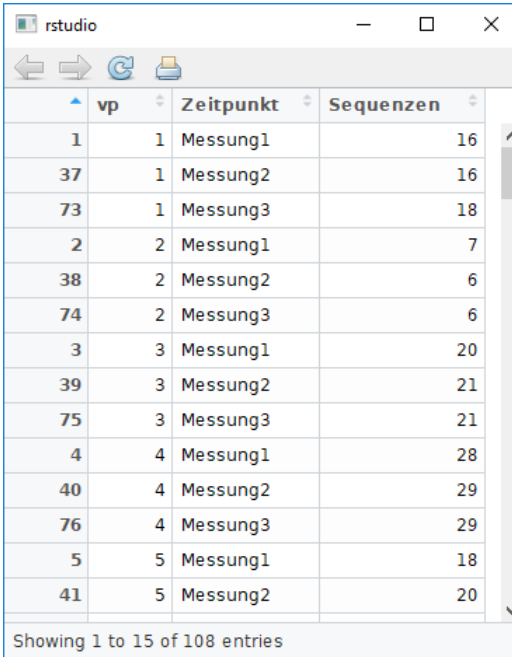
© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

```
messw.2 <- melt(messw.f, id = "vp",
               measured = c("Messung1",
                            "Messung2",
                            "Messung3"))
names(messw.2) <- c("vp",
                   "Zeitpunkt",
                   "Sequenzen")
messw.2 <- messw.2[order(messw.2$vp),]
```

Der Datensatz sieht dann folgendermaßen aus:



vp	Zeitpunkt	Sequenzen
1	Messung1	16
37	Messung2	16
73	Messung3	18
2	Messung1	7
38	Messung2	6
74	Messung3	6
3	Messung1	20
39	Messung2	21
75	Messung3	21
4	Messung1	28
40	Messung2	29
76	Messung3	29
5	Messung1	18
41	Messung2	20

Um sich die deskriptiven Statistiken ausgeben zu lassen, verwenden wir die Funktion `describeBy()` des Pakets `psych`.

```
library(psych)
describeBy(messw.2$Sequenzen, messw.2$Zeitpunkt)
```

Die Analyse führen wir mit der Funktion `ezANOVA()` des Pakets `ez` durch. Sie geben dafür den eben erstellten Datensatz ein, danach die abhängige Variable, die Versuchspersonennummer und den Innersubjektfaktor.

```
install.packages("ez")
library(ez)
```

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

```
messw.anova <- ezANOVA(messw.2, dv = .(Sequenzen), wid = .(vp),  
  within = .(Zeitpunkt),  
  detailed = TRUE, type = 3)
```

messw.anova

Im Fall der Messwiederholung ist es zusätzlich sinnvoll, eine Post Hoc Analyse zwischen den Stufen des messwiederholten Faktors durchzuführen. Hierfür verwenden wir die Funktion `pairwise.t.test()`. Das Argument `paired` setzen wir auf `TRUE`, da die Messungen voneinander abhängig sind. Dann sollten Sie die Anpassung des Konfidenzintervalls über das Argument `p.adjust.method` auf „Bonferroni“ stellen. Die Bonferroni Korrektur ist die einfachste, aber auch die konservativste Korrektur für die Kumulierung des α -Niveaus im Fall des multiplen Testens einer Hypothese. Bei der Bonferroni Korrektur wird das gewünschte Gesamtsignifikanzniveau durch die Anzahl benötigter Einzeltests dividiert. Daraus resultiert das korrigierte Signifikanzniveau für jeden Einzelvergleich. Die Kumulierung des α -Fehlers der einzelnen Tests kann nun nicht mehr das Gesamtsignifikanzniveau übersteigen. Allerdings hat diese Art des Post Hoc Tests nur eine geringe Teststärke, da nicht alle Daten in die Einzelvergleiche mit eingehen. Die Post Hoc Analyse mit Hilfe des Tukey Tests ist besonders bei Faktoren mit mehreren Stufen sinnvoller, mit der Funktion `pairwise.t.test()` allerdings nicht möglich (vgl. Kap. 7.1.9).

```
pairwise.t.test(messw.2$Sequenzen, messw.2$Zeitpunkt,  
  paired = TRUE, p.adjust.method = "bonferroni")
```

Nun werden wir den Output schrittweise durchgehen.

Descriptive statistics by group

group: Messung1

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	16.56	4.93	17	16.53	4.45	4	28	24	-0.05	0.36	0.82

group: Messung2

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	17.28	5.22	16.5	17.2	3.71	5	29	24	0.14	0.38	0.87

group: Messung3

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	18.25	4.79	19	18.33	3.71	6	29	23	-0.28	0.7	0.8

Diese Tabelle enthält unter anderem die Versuchspersonenanzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen der Stufen des messwiederholten Faktors und Standardfehler des Mittelwerts für die einzelnen Messzeitpunkte. Es ist hier zu beachten, dass die 36 Versuchspersonen natürlich in jeder der drei Messungen dieselben sind. Deskriptiv haben die Versuchspersonen bei

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

der ersten Messung 16,56, bei der zweiten Messung 17,28 und bei der dritten 18,25 Sequenzen korrekt eingegeben. Ist dieser Leistungsanstieg signifikant?

```

$`Mauchly's Test for Sphericity`
      Effect          W          p p<.05
2 zeitpunkt 0.9045551 0.1817169

$`Sphericity Corrections`
      Effect          GGe          p[GG] p[GG]<.05          HFe          p[HF] p[HF]<.05
2 zeitpunkt 0.9128711 0.03947086          * 0.9604845 0.03697117          *
    
```

Dieser Abschnitt der messwiederholten Varianzanalyse zeigt die Ergebnisse des Mauchly-Tests auf Sphärizität. Ein signifikantes Ergebnis spricht für eine Verletzung der Sphärizitätsannahme, d.h., die Varianzen der Differenzen zwischen jeweils zwei Faktorstufen sind nicht homogen. Ist der Mauchly-Test auf Sphärizität signifikant, sollten Sie bei kleinen Stichproben auf jeden Fall ein Korrekturverfahren verwenden, z.B. die von R als „Greenhouse-Geisser“ („GGe“) bezeichnete Korrektur. Allerdings ist der Mauchly-Test auf Sphärizität nur unter Vorbehalt interpretierbar: Bei einer geringen Anzahl von Versuchspersonen hat der Test eine geringe Teststärke, so dass eine Verletzung der Sphärizität vorliegen kann, ohne dass der Mauchly-Test signifikant wird. Bei einer hohen Anzahl von Versuchspersonen ist der Test zu sensitiv, d.h., er kann ein signifikantes Ergebnis zeigen, obwohl keine Verletzung der Annahme vorliegt. Bei Zweifeln an dem Zutreffen der Sphärizität und besonders bei kleinen Stichprobenumfängen empfehlen wir deshalb auch dann die unten aufgeführten Korrekturen zu verwenden, wenn der Mauchly-Test auf Sphärizität nicht signifikant ist. In unserem Fall wird der Test deutlich nicht signifikant.

```

$ANOVA
      Effect DFn DFd          SSn          Ssd          F          p p<.05          ges
1 (Intercept) 1 35 32552.08333 2088.9167 545.413292 6.242336e-23          * 0.92585497
2 zeitpunkt 2 70 52.05556 517.9444 3.517645 3.501800e-02          * 0.01957773
    
```

Diese Tabelle beinhaltet die für unsere Zwecke entscheidende Auswertung der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung.

In der zweiten Zeile für den Faktor Zeitpunkt steht die Wahrscheinlichkeit des F -Werts von $F_{(2;70)} = 3,518$ unter der Nullhypothese für den Fall, dass die Annahme der Sphärizität nicht verletzt ist. Die Wahrscheinlichkeit von $p = 0,035$ ist kleiner als das Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$, der Unterschied zwischen den drei Messungen ist signifikant. Allerdings könnte es sein, dass die Sphärizität der Daten verletzt war, obwohl der Mauchly-Test auf Sphärizität ein solche Verletzung nicht angezeigt hat. Hier könnten wir z.B. die mit „Greenhouse-Geisser“ bezeichnete Korrektur der Freiheitsgrade verwenden. Alle aufgeführten Korrekturen verringern die Freiheitsgrade des F -Werts, während der F -Wert identisch bleibt. Diese Korrektur führt dazu, dass der F -Wert unter der Nullhypothese wahrscheinlicher wird. Wie Sie der vorigen Tabelle des Mauchly-Tests entnehmen können, ist die bei „Greenhouse-Geisser“ angegebene Wahrscheinlichkeit des F -Werts $p = 0,039$ („p[GG]“). Der Einfluss der Messwiederholung auf die Leistung in dem motorischen Leistungstest ist also auch nach dieser Korrektur der Freiheitsgrade signifikant. Die Schätzung des

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

R-Ergänzungen

Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

empirischen Effekts auf Stichprobenebene gibt R mit $\eta_G^2 = 0,02$ an. Dabei handelt es sich um das generalisierte Eta-Quadrat.

Die letzte Tabelle bezieht sich auf den Post Hoc Vergleich zwischen den einzelnen Messzeitpunkten des messwiederholten Faktors. Aus der Tabelle wird deutlich, dass sich die Messung 1 von der Messung 2 nicht signifikant unterscheidet, während der Unterschied zwischen Messung 1 und 3 knapp über dem Signifikanzniveau von 5% liegt.

```
Pairwise comparisons using paired t tests

data:  messw.2$Sequenzen and messw.2$Zeitpunkt

      Messung1 Messung2
Messung2 0.923    -
Messung3 0.053    0.231

P value adjustment method: bonferroni
```

Hier zeigt sich, dass das Korrekturverfahren nach Bonferroni ein konservatives und weniger teststarkes Post Hoc Verfahren bietet als der Tukey HSD Test, der hier einen signifikanten Unterschied zwischen den Messungen 2 und 3 findet (vgl. Kap. 7.1.9).

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

Durchführung einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf einem Faktor

Dieser Abschnitt zeigt die Durchführung der in Kapitel 7.2 behandelten zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung mit R. Als Beispiel dient ebenfalls die Untersuchung, in der untersucht wurde, ob die dreimalig wiederholte Durchführung eines motorischen Tests einen Einfluss auf die Leistung der Versuchspersonen hat. Zusätzlich soll hier nun auch der Einfluss des Geschlechts der Versuchspersonen auf die motorische Leistung und eine mögliche Wechselwirkung zwischen den beiden Faktoren untersucht werden.

```
library(foreign)
messw <- read.spss("Messwiederholung.sav",
                  to.data.frame = TRUE)
```

Erneut werden wir den Datensatz aufgrund der fehlenden Werte mit der Funktion `complete.cases()` filtern. Wir geben zunächst den Namen unseres Datensatzes ein und geben dann in den eckigen Klammern an, dass alle vollständigen Zeilen aus unserem eingelesenen Datensatz ausgewählt werden sollen und nur die für uns relevanten Spalten, also „vp“, „Geschlecht“, „Messung1“, „Messung2“ und „Messung3“.

```
messw.z.f <- messw[complete.cases(messw),
                  c("vp", "Geschlecht",
                    "Messung1", "Messung2", "Messung3")]
```

Alle weiteren Berechnungen werden wir nur noch mit diesem Datensatz durchführen.

Es müssen wieder einige Vorbereitungen getroffen werden, bevor wir mit der Analyse beginnen können. Wir verwenden erneut die Funktion `melt()` des Pakets `reshape`, um einen Datensatz zu erzeugen, der diesmal aus vier Spalten besteht. In der ersten Spalte steht die Nummer der Versuchsperson, in der nächsten das Geschlecht, danach der Messzeitpunkt und in der letzten der dazugehörige Wert. Da es insgesamt 36 Versuchspersonen sind, werden wir nun aufgrund der drei Zeitpunkte, drei Zeilen für jede Versuchsperson haben. Hierfür geben wir zunächst den gefilterten Datensatz an. Mit dem Argument `id` geben wir an, zu welcher Person und Geschlecht der Wert gehört und mit `measured` werden die gemessenen Variablen angegeben. Mit der Funktion `names()` werden dann die per Standard eingestellten Variablennamen verändert. Zum besseren Verständnis, was genau gemacht wurde, wurde mit `order()` der Datensatz nach den Versuchspersonen sortiert.

```
library(reshape)
messw.z.2 <- melt(messw.z.f, id = c("vp", "Geschlecht"),
                 measured = c("Geschlecht", "Messung1",
                              "Messung2", "Messung3"))
names(messw.z.2) <- c("vp", "Geschlecht", "Zeitpunkt", "Sequenzen")
messw.z.2 <- messw.z.2[order(messw.z.2$vp),]
```

Der Datensatz sieht nun folgendermaßen aus:

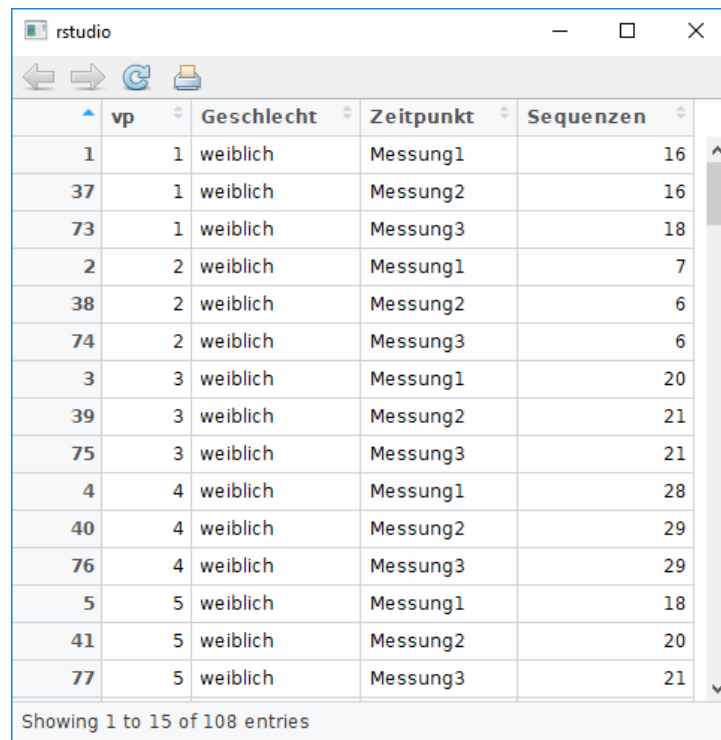
Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.



	vp	Geschlecht	Zeitpunkt	Sequenzen
1	1	weiblich	Messung1	16
37	1	weiblich	Messung2	16
73	1	weiblich	Messung3	18
2	2	weiblich	Messung1	7
38	2	weiblich	Messung2	6
74	2	weiblich	Messung3	6
3	3	weiblich	Messung1	20
39	3	weiblich	Messung2	21
75	3	weiblich	Messung3	21
4	4	weiblich	Messung1	28
40	4	weiblich	Messung2	29
76	4	weiblich	Messung3	29
5	5	weiblich	Messung1	18
41	5	weiblich	Messung2	20
77	5	weiblich	Messung3	21

Um sich die deskriptiven Statistiken ausgeben zu lassen, verwenden wir die Funktion `describeBy()` des Pakets `psych`. Da wir die Werte jeweils für ein Geschlecht zu einem Zeitpunkt haben möchten, verwenden wir die Funktion `list()`.

```
library(psych)
describeBy(messw.z.2$Sequenzen,
           list(messw.z.2$Geschlecht, messw.z.2$Zeitpunkt))
```

Die Analyse führen wir wieder mit der Funktion `ezANOVA()` des Pakets `ez` durch. Sie geben dafür den eben erstellten Datensatz ein, danach die abhängige Variable, die Versuchspersonennummer und den Innersubjektfaktor. Der Unterschied gegenüber dem Vorgehen bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung besteht lediglich darin, dass wir nun zusätzlich das Argument `between` mit dem nicht messwiederholten Faktor „Geschlecht“ ergänzen.

```
library(ez)
messw.z.anova <- ezANOVA(messw.z.2, dv = .(Sequenzen), wid = .(vp),
                        between = .(Geschlecht),
                        within = .(Zeitpunkt),
                        detailed = TRUE, type = 3)
messw.z.anova
```

R bietet auch die Möglichkeit, eine Post Hoc Analyse der Wechselwirkung durchzuführen. Hierfür verwenden wir wieder die Funktion `pairwise.t.test()`. Das Argument `paired` setzen wir auf `TRUE`, da die Messungen voneinander abhängig sind. Dann sollten Sie die Anpassung des

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

Konfidenzintervalls über das Argument `p.adjust.method` auf „Bonferroni“ stellen. Mit der Funktion `interaction()` geben wir die Interaktion an. Die Post Hoc Analyse für den messwiederholten Faktor können Sie sich analog zu dem Vorgehen aus dem vorigen Abschnitt der einfaktoriellen Varianzanalyse ausgeben lassen.

```
pairwise.t.test(messw.z.2$Sequenzen, messw.z.2$Zeitpunkt,
               paired = TRUE, p.adjust.method = "bonferroni")
pairwise.t.test(messw.z.2$Sequenzen,
               interaction(messw.z.2$Zeitpunkt,
                          messw.z.2$Geschlecht),
               paired = TRUE, p.adjust.method = "bonferroni")
```

Mithilfe des Pakets `ggplot2` können Sie sich die Wechselwirkung der beiden Faktoren grafisch anzeigen lassen.

```
library(ggplot2)
messw.d <- ggplot(messw.z.2, aes(messw.z.2$Zeitpunkt,
                               messw.z.2$Sequenzen,
                               color = messw.z.2$Geschlecht,
                               group = messw.z.2$Geschlecht)) +
  stat_summary(fun.y = mean, geom = "point") +
  stat_summary(fun.y = mean, geom = "line") +
  labs(title = "Interaktionsdiagramm",
       x = "Zeitpunkt",
       y = "Mittelwert der Anzahl getippter Sequenzen",
       color = "Geschlecht")
messw.d
```

Diese Tabelle enthält unter anderem die Versuchspersonenanzahlen, Mittelwerte, Standardabweichungen der Stufen des messwiederholten Faktors und Standardfehler des Mittelwerts für die einzelnen Messzeitpunkte.

Diese Tabelle zeigt die deskriptiven Statistiken (u. a. Versuchspersonenanzahl, Mittelwerte, Standardabweichungen und Standardfehler) für die Stufen der Faktoren und ihrer Bedingungskombinationen. Der Aufbau dieser Tabelle wurde bereits in den R Ergänzungen zu Kapitel 6 beschrieben.

```
Descriptive statistics by group
: männlich
: Messung1
  vars n mean sd median trimmed mad min max range skew kurtosis se
x1    1 18 15.22 4.31    16 15.44 2.97  4 23    19 -0.62    0.49 1.01
-----
-----
```

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

R-Ergänzungen

Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

```
: weiblich
: Messung1
  vars n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 18 17.89 5.27    18   17.94 4.45   7 28   21 0.02   -0.38 1.24
-----

: männlich
: Messung2
  vars n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 18   16 4.55    16    16 2.97   5 27   22 0.07    1.1 1.07
-----

: weiblich
: Messung2
  vars n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 18 18.56 5.65    18   18.69 3.71   6 29   23 -0.04   -0.21 1.33
-----

: männlich
: Messung3
  vars n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 18 16.83 3.63    17   17.12 2.97   7 22   15 -0.77    0.66 0.86
-----

: weiblich
: Messung3
  vars n mean  sd median trimmed  mad min max range skew kurtosis  se
x1    1 18 19.67 5.46    20   19.94 2.97   6 29   23 -0.56    0.46 1.29
```

Der Mauchly-Test für Sphärizität zeigt ein ähnliches Ergebnis wie im Fall der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung. Der Test prüft den Messzeitpunkt und die Interaktion auf eine mögliche Verletzung der Sphärizität, da die Annahme der Sphärizität nur bei der Messwiederholung eine Rolle spielt, weswegen es keinen Test für die Variable „Geschlecht“ gibt.

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

```
$`Mauchly's Test for Sphericity`
      Effect          W          p p<.05
3      Zeitpunkt 0.9040073 0.1891634
4 Geschlecht:Zeitpunkt 0.9040073 0.1891634

$`Sphericity Corrections`
      Effect          GGe          p[GG] p[GG]<.05          HFe          p[HF] p[HF]<.05
3      Zeitpunkt 0.9124148 0.04310371          * 0.9614407 0.04043686          *
4 Geschlecht:Zeitpunkt 0.9124148 0.96974661          0.9614407 0.97416036
```

Die folgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für alle Arten von Effekten. Dies gilt natürlich für den Haupteffekt des messwiederholten Faktors Zeitpunkt und des nicht messwiederholten Faktors „Geschlecht“, aber auch für die Wechselwirkung zwischen dem Faktor Zeitpunkt und dem nicht messwiederholten Faktor „Geschlecht“.

```
$ANOVA
      Effect DFn DFd          SSn          SSd          F          p p<.05          ges
1      (Intercept) 1 34 3.255208e+04 1894.2407 584.2820342 5.364872e-23          * 0.9310193604
2      Geschlecht 1 34 1.946759e+02 1894.2407 3.4942662 7.021511e-02          0.0746883692
3      Zeitpunkt 2 68 5.205556e+01 517.5926 3.4194633 3.845620e-02          * 0.0211273957
4 Geschlecht:Zeitpunkt 2 68 3.518519e-01 517.5926 0.0231127 9.771600e-01          0.0001458644
```

Wie schon im Fall der einfaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung zeigt sich für den Faktor Zeitpunkt (dreimalige Wiederholung des motorischen Tests) ein signifikantes Ergebnis. Dies gilt selbst für die mit „Greenhouse-Geisser“ bezeichnete Korrektur der Freiheitsgrade. Die Wechselwirkung zwischen dem Faktor Zeitpunkt und dem Geschlecht ist dagegen nicht signifikant. Ob es in diesem Fall möglich ist, einen inhaltlich relevanten Effekt der Wechselwirkung abzulehnen und die Nullhypothese anzunehmen, kann erst eine a posteriori Powerberechnung zeigen (siehe G*Power Ergänzungen zu diesem Kapitel). Bei der Testung des nicht messwiederholten Haupteffekts „Geschlecht“ zeigt sich zwar kein signifikantes Ergebnis, aber ein statistischer Trend ($p < 0,1$, „marginal signifikant“).

Die anschließenden Tabellen zeigen den aus dem vorangegangenen Abschnitt zur einfaktoriellen Varianzanalyse bekannten Post Hoc Test mit Bonferroni Korrektur für den messwiederholten Faktor Zeitpunkt und die Interaktion. Schließlich finden Sie die grafische Darstellung der Wechselwirkung.

```
pairwise comparisons using paired t tests

data: messw.z.2$Sequenzen and messw.z.2$Zeitpunkt

      Messung1 Messung2
Messung2 0.923      -
Messung3 0.053      0.231
```

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

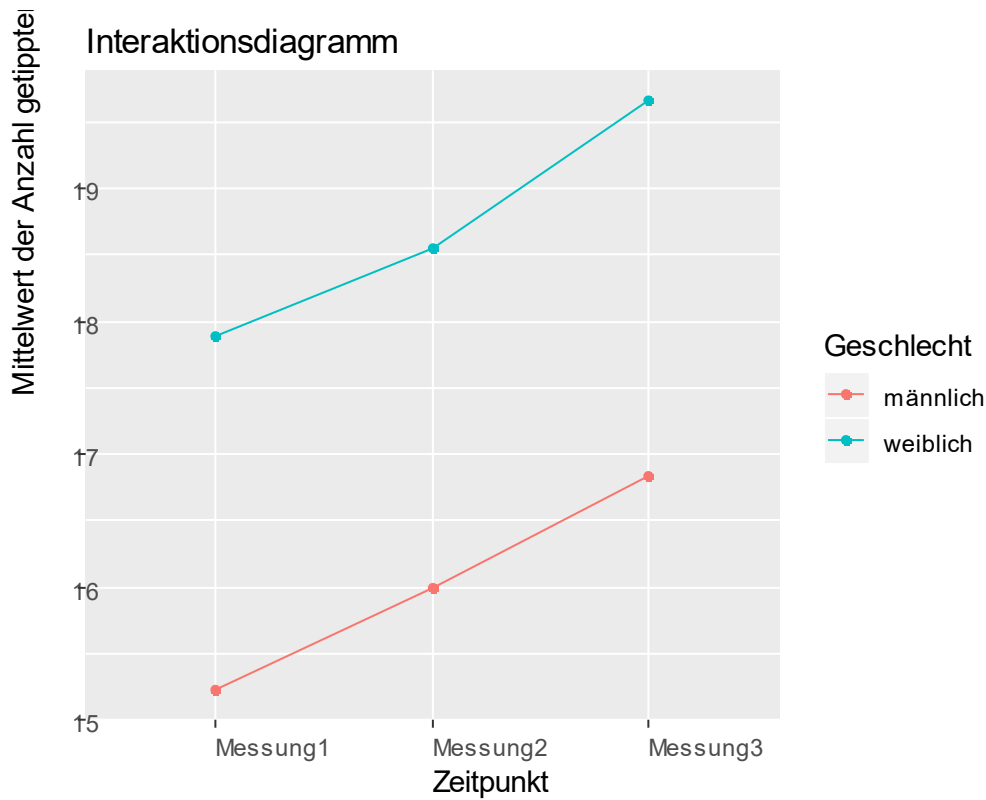
P value adjustment method: bonferroni

```
Pairwise comparisons using paired t tests

data: messw.z.2$Sequenzen and interaction(messw.z.2$Zeitpunkt, messw.z.2$Geschlecht)

      Messung1.männlich Messung2.männlich Messung3.männlich Messung1.weiblich Messung2.weiblich
Messung2.männlich 1.000          -          -          -          -
Messung3.männlich 1.000          1.000        -          -          -
Messung1.weiblich 1.000          1.000        1.000        -          -
Messung2.weiblich 0.335          1.000        1.000        1.000        -
Messung3.weiblich 0.088          0.174        0.719        0.791        0.840

P value adjustment method: bonferroni
```



Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

Durchführung einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf beiden Faktoren

Zum Abschluss beschreiben wir hier die Durchführung der in Kapitel 7.3 behandelten zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung auf beiden Faktoren mit R. Als Beispiel dient ebenfalls die Untersuchung, in der untersucht wird, ob die dreimalig wiederholte Durchführung eines motorischen Tests einen Einfluss auf die Leistung der Versuchspersonen hat. Ein Forscher möchte zusätzlich testen, ob ein bestimmtes Medikament die Leistung der Versuchspersonen in dem motorischen Test verändert. Er lässt deshalb die Versuchspersonen den motorischen Test dreimal unter dem Einfluss des Medikaments ausführen, und an einem anderen Tag gibt er denselben Versuchspersonen ein Placebo. In diesem Design ist also nicht nur der Faktor „Testwiederholung“ messwiederholt, sondern auch der Faktor „Medikament“ (Medikament vs. Placebo).

Jede Versuchsperson gibt in dieser Studie insgesamt sechs Messwerte ab, drei unter dem Medikament, und drei unter Placebo. Da in R alle Daten einer Versuchsperson in einer Zeile stehen müssen, erhalten wir insgesamt sechs Variablen. Entsprechend bereiten wir den Datensatz für die Analyse vor. In dem Beispieldatensatz stehen die Werte für die drei Messungen in der Placebobedingung in den bereits bekannten Variablen „Messung1“, „Messung2“ und „Messung3“, die Werte unter dem Einfluss des Medikaments finden sich in den Variablen „Medikament1“, „Medikament2“ und „Medikament3“.

```
library(foreign)
messw <- read.spss("Messwiederholung.sav",
                  to.data.frame = TRUE)
messw.z1.f <- messw[complete.cases(messw),
                  c("vp", "Messung1", "Messung2", "Messung3",
                    "Medikament1", "Medikament2", "Medikament3")]
```

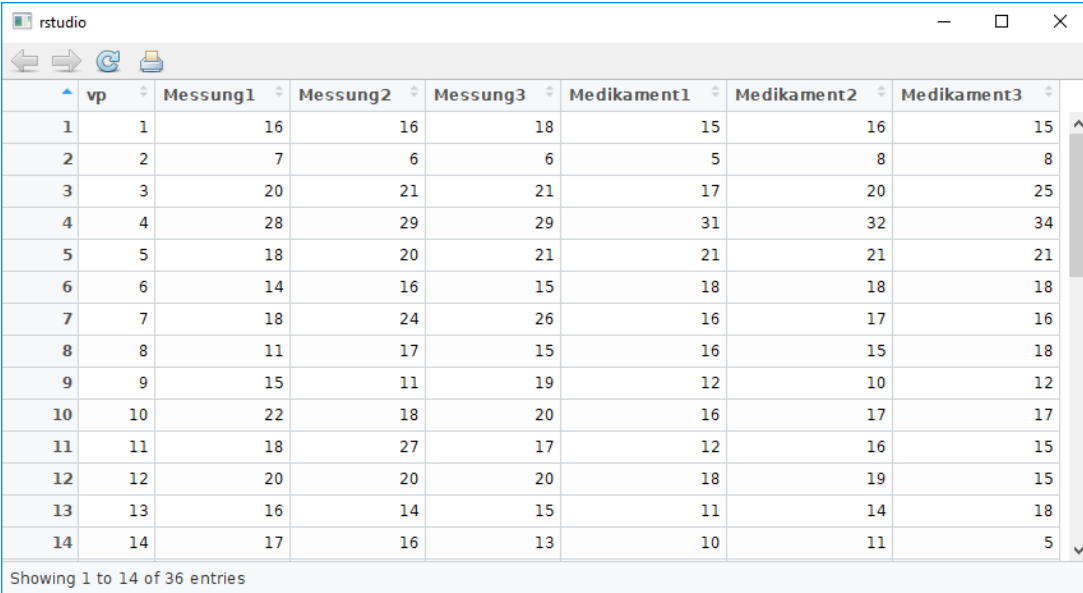
Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.



The screenshot shows the RStudio interface with a data table. The table has 8 columns: 'vp', 'Messung1', 'Messung2', 'Messung3', 'Medikament1', 'Medikament2', and 'Medikament3'. The rows are numbered 1 to 14. The 'vp' column contains values from 1 to 14. The other columns contain numerical values. The status bar at the bottom indicates 'Showing 1 to 14 of 36 entries'.

	vp	Messung1	Messung2	Messung3	Medikament1	Medikament2	Medikament3
1	1	16	16	18	15	16	15
2	2	7	6	6	5	8	8
3	3	20	21	21	17	20	25
4	4	28	29	29	31	32	34
5	5	18	20	21	21	21	21
6	6	14	16	15	18	18	18
7	7	18	24	26	16	17	16
8	8	11	17	15	16	15	18
9	9	15	11	19	12	10	12
10	10	22	18	20	16	17	17
11	11	18	27	17	12	16	15
12	12	20	20	20	18	19	15
13	13	16	14	15	11	14	18
14	14	17	16	13	10	11	5

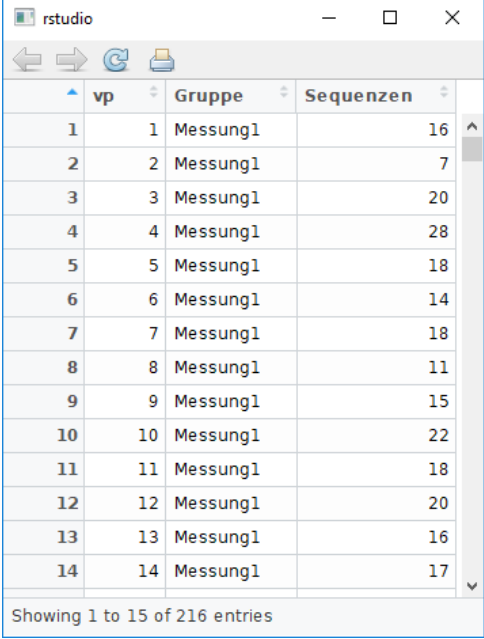
Für die Durchführung einer zweifaktoriellen Varianzanalyse mit Messwiederholung müssen wir wieder den Datensatz mit der Funktion `melt()` des Pakets `reshape` anpassen. Sortieren Sie die Daten noch nicht.

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

```
library(reshape)
messw.z1.2 <- melt(messw.z1.f, id = c("vp"),
                  measured = c("Messung1", "Messung2", "Messung3",
                              "Medikament1", "Medikament2",
                              "Medikament3"))
names(messw.z1.2) <- c("vp", "Gruppe", "Sequenzen")
```



	vp	Gruppe	Sequenzen
1	1	Messung1	16
2	2	Messung1	7
3	3	Messung1	20
4	4	Messung1	28
5	5	Messung1	18
6	6	Messung1	14
7	7	Messung1	18
8	8	Messung1	11
9	9	Messung1	15
10	10	Messung1	22
11	11	Messung1	18
12	12	Messung1	20
13	13	Messung1	16
14	14	Messung1	17

Showing 1 to 15 of 216 entries

Die Analyse können wir jedoch noch nicht durchführen, da in der Variable „Bedingung“ beide Faktoren zusammengefasst wurden. Daher müssen nun zwei weitere Variablen erstellt werden, um zwischen dem Messzeitpunkt und Placebo/Medikament differenzieren zu können. Hierfür verwenden wir die Funktion `gl()`, um die Werte der Variablen nach einem bestimmten Muster zu vergeben.

```
messw.z1.2$Zeitpunkt <- gl(3, 36, labels = c("Zeitpunkt1",
                                             "Zeitpunkt2",
                                             "Zeitpunkt3"))
messw.z1.2$Bedingung <- gl(2, 108, labels = c("Placebo",
                                              "Medikament"))
```

Wir haben nun die beiden neuen Variablen „Zeitpunkt“ und „Bedingung“ erstellt. Zuerst wird die Anzahl der Stufen angegeben, dann die Anzahl der Wiederholungen und danach die Bezeichnungen.

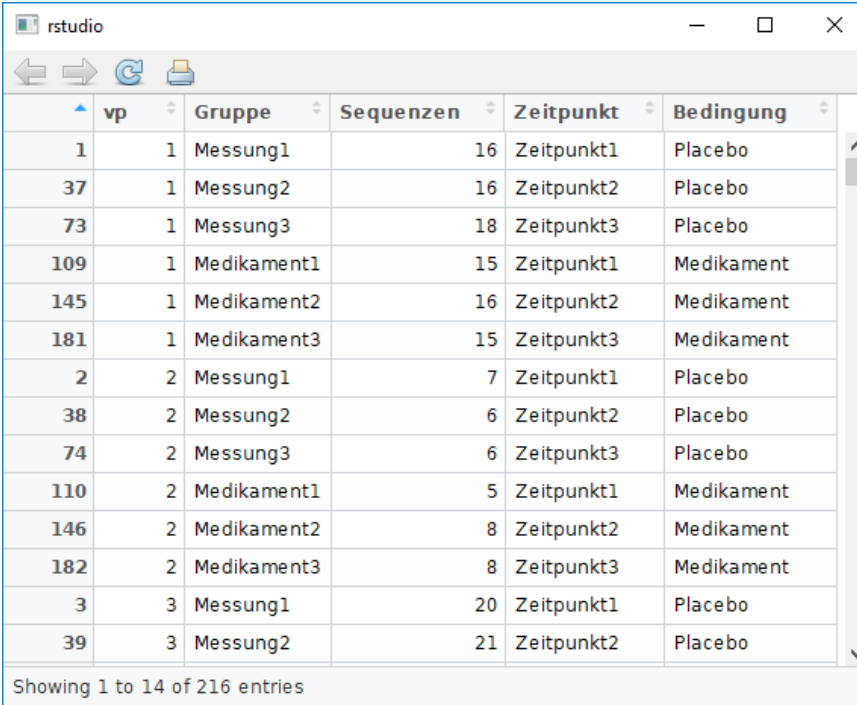
Geordnet sieht der Datensatz folgendermaßen aus:

```
messw.z1.2 <- messw.z1.2[order(messw.z1.2$vp),]
```

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature



vp	Gruppe	Sequenzen	Zeitpunkt	Bedingung	
1	1	Messung1	16	Zeitpunkt1	Placebo
37	1	Messung2	16	Zeitpunkt2	Placebo
73	1	Messung3	18	Zeitpunkt3	Placebo
109	1	Medikament1	15	Zeitpunkt1	Medikament
145	1	Medikament2	16	Zeitpunkt2	Medikament
181	1	Medikament3	15	Zeitpunkt3	Medikament
2	2	Messung1	7	Zeitpunkt1	Placebo
38	2	Messung2	6	Zeitpunkt2	Placebo
74	2	Messung3	6	Zeitpunkt3	Placebo
110	2	Medikament1	5	Zeitpunkt1	Medikament
146	2	Medikament2	8	Zeitpunkt2	Medikament
182	2	Medikament3	8	Zeitpunkt3	Medikament
3	3	Messung1	20	Zeitpunkt1	Placebo
39	3	Messung2	21	Zeitpunkt2	Placebo

Showing 1 to 14 of 216 entries

Jede Versuchsperson hat nun insgesamt sechs Einträge. Die deskriptiven Statistiken erhalten Sie wieder über `describeBy()` des Pakets `psych`. Dabei greifen wir auf die zusammengefasste Variable „Gruppe“ zurück.

```
library(psych)
```

```
describeBy(messw.z1.2$Sequenzen, messw.z1.2$Gruppe)
```

Als nächstes führen wir die Varianzanalyse durch. Wir gehen genauso vor wie bisher, dieses Mal haben wir jedoch keinen Zwischensubjektfaktor, sondern zwei Innersubjektfaktoren.

```
library(ez)
```

```
messw.z1.anova <- ezANOVA(messw.z1.2, dv = .(Sequenzen),
                          wid = .(vp),
                          within = .(Bedingung, Zeitpunkt),
                          detailed = TRUE, type = 3)
```

```
messw.z1.anova
```

Die Post Hoc Analyse wird wieder mit `pairwise.t.test()` durchgeführt. Für die Variable „Bedingung“ erübrigt sich eine Post Hoc Analyse, da sie nur zwei Ausprägungen hat. Allerdings können wir eine Post Hoc Analyse für den Haupteffekt „Zeitpunkt“ und die Interaktion berechnen. Für die Interaktion können wir wieder direkt die Variable „Gruppe“ verwenden, da die beiden Faktoren dort bereits zusammengefasst sind.

```
pairwise.t.test(messw.z1.2$Sequenzen, messw.z1.2$Zeitpunkt,
                paired = TRUE, p.adjust.method = "bonferroni")
pairwise.t.test(messw.z1.2$Sequenzen, messw.z1.2$Gruppe,
```

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

```
paired = TRUE, p.adjust.method = "bonferroni")
```

Mit ggplot können Sie sich noch die Wechselwirkung der Faktoren grafisch anzeigen lassen.

```
library(ggplot2)
messw.d1 <- ggplot(messw.z1.2, aes(messw.z1.2$Zeitpunkt,
                                messw.z1.2$Sequenzen,
                                color = messw.z1.2$Bedingung,
                                group = messw.z1.2$Bedingung)) +
  stat_summary(fun.y = mean, geom = "point") +
  stat_summary(fun.y = mean, geom = "line") +
  labs(title = "Interaktionsdiagramm",
       x = "Zeitpunkt",
       y = "Mittelwert der Anzahl getippter Sequenzen",
       color = "Bedingung")
messw.d1
```

Sie erhalten folgende Outputs, die wir im Einzelnen durchgehen werden:

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

Descriptive statistics by group

group: Messung1

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	16.56	4.93	17	16.53	4.45	4	28	24	-0.05	0.36	0.82

group: Messung2

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	17.28	5.22	16.5	17.2	3.71	5	29	24	0.14	0.38	0.87

group: Messung3

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	18.25	4.79	19	18.33	3.71	6	29	23	-0.28	0.7	0.8

group: Medikament1

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	14.75	5.32	15	14.77	5.19	1	31	30	0.16	1.35	0.89

group: Medikament2

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	16.44	5.14	17	16.5	4.45	3	32	29	0.11	1.24	0.86

group: Medikament3

	vars	n	mean	sd	median	trimmed	mad	min	max	range	skew	kurtosis	se
x1	1	36	16.92	5.58	17.5	16.97	5.19	5	34	29	0.25	1.01	0.93

Diese Tabelle zeigt die deskriptiven Statistiken der einzelnen Variablen.

\$`Mauchly's Test for Sphericity`

	Effect	W	p	p<.05
3	Zeitpunkt	0.9498034	0.4166519	
4	Bedingung:Zeitpunkt	0.9438598	0.3744788	

\$`Sphericity Corrections`

	Effect	GGe	p[GG]	p[GG]<.05	HFe	p[HF]	p[HF]<.05
3	Zeitpunkt	0.9522027	6.444462e-05	*	1.005551	4.575557e-05	*
4	Bedingung:Zeitpunkt	0.9468440	4.818792e-01		0.999398	4.887184e-01	

Der Mauchly-Test auf Sphärizität liefert kein Ergebnis für den messwiederholten Faktor „Bedingung“, da dieser Faktor nur zwei Stufen hat und in diesem Fall die Sphärizitätsannahme nie

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

verletzt sein kann. Für den Faktor Zeitpunkt und die Wechselwirkung zeigt der Test kein signifikantes Ergebnis an. Dies spricht (unter aller Vorsicht) eher dafür, dass die Sphäritätsannahme sowohl für den Faktor Zeitpunkt als auch für die Wechselwirkung zutrifft.

Die folgende Tabelle liefert die für uns zentralen Ergebnisse der messwiederholten Varianzanalyse.

\$ANOVA									
	Effect	DFn	DFd	SSn	SSd	F	p	p<.05	ges
1	(Intercept)	1	35	60233.560185	4097.2731	514.5311358	1.627890e-22	*	0.914752894
2	Bedingung	1	35	94.671296	689.4954	4.8056818	3.510665e-02	*	0.016585950
3	Zeitpunkt	2	70	137.009259	414.6574	11.5645446	4.575557e-05	*	0.023826623
4	Bedingung:Zeitpunkt	2	70	8.509259	411.8241	0.7231828	4.887947e-01		0.001513629

Es gibt einen signifikanten Unterschied in der motorischen Leistung zwischen der Medikamentbedingung und der Placebobedingung ($p < 0,05$). Da der Faktor nur zwei Stufen hat, kann die Sphärität nicht verletzt sein, insofern ist auch keine Korrektur der Freiheitsgrade möglich. Aus den Mittelwerten der deskriptiven Statistiken lässt sich die Richtung des Unterschieds ableiten. Die Versuchspersonen waren unter dem Einfluss des Medikaments in dem motorischen Test signifikant langsamer als in der Placebobedingung.

Neben dem Haupteffekt „Bedingung“ zeigt sich auch ein signifikanter Haupteffekt der wiederholten Durchführung des motorischen Tests. Der empirische Effekt $\eta_G^2 = 0,024$ erscheint größer als der Effekt für den Faktor „Bedingung“ ($\eta_G^2 = 0,017$). Die Wechselwirkung ist dagegen nicht signifikant ($p > 0,10$).

Bitte beachten Sie in der Tabelle die drei unterschiedlichen Residualvarianzen bzw. Fehlervarianzen, die zur Berechnung der einzelnen F -Werte verwendet werden (siehe Spalte „SSd“). Diese beziehen sich auch auf die Freiheitsgrade. Genauere Erläuterungen und Informationen zur Berechnung dieser Freiheitsgrade finden Sie in Kapitel 7.3.

In der anschließenden Tabelle finden Sie Informationen über den Haupteffekt des Faktors Zeitpunkt. Unabhängig von dem Faktor „Bedingung“ waren die Versuchspersonen in der zweiten und dritten Messung signifikant schneller als in der ersten Messung, während sich die Leistung zwischen der zweiten und dritten Messung nicht unterschied.

```
Pairwise comparisons using paired t tests

data: messw.z1.2$Sequenzen and messw.z1.2$Zeitpunkt

      Zeitpunkt1 Zeitpunkt2
Zeitpunkt2 0.0093      -
Zeitpunkt3 0.0001      0.1844

P value adjustment method: bonferroni
```

In der letzten Tabelle sieht man die Poc Hoc Analyse der Interaktion. Innerhalb der Placebobedingung gibt es keine bedeutsamen Unterschiede. Allerdings waren die

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

Versuchspersonen unter dem Einfluss des Medikaments sowohl zur zweiten als auch zur dritten Messung schneller als zur ersten Messung.

```

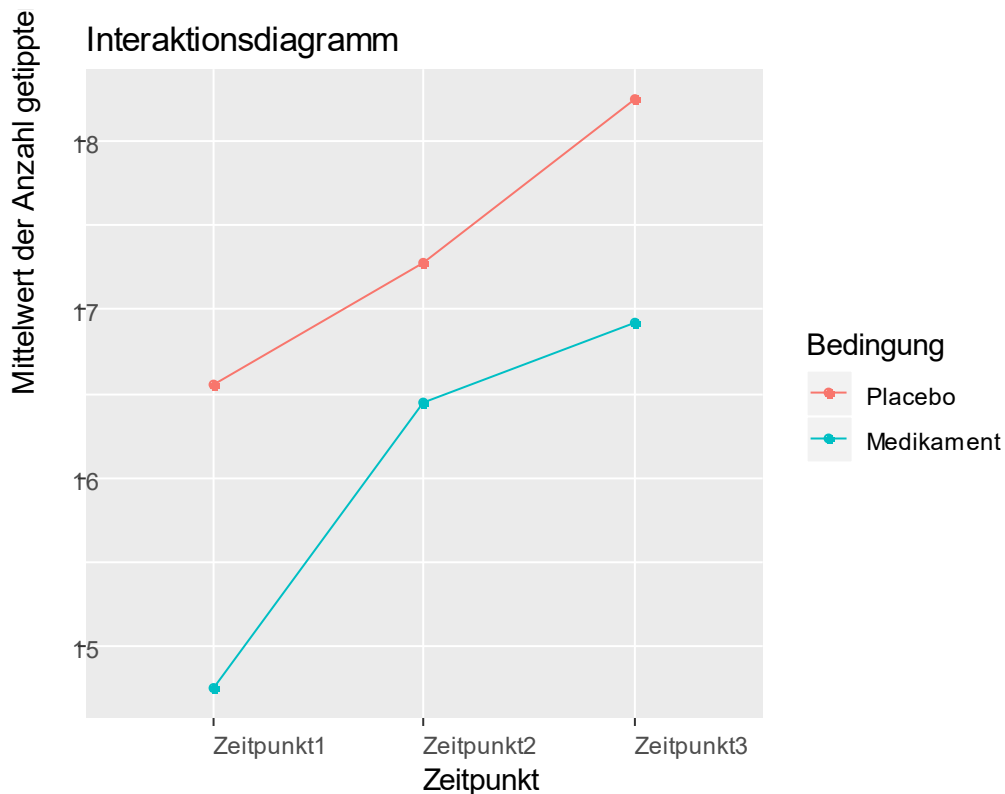
Pairwise comparisons using paired t tests

data: messw.z1.2$Sequenzen and messw.z1.2$Gruppe

      Messung1 Messung2 Messung3 Medikament1 Medikament2
Messung2  1.00000    -        -        -        -
Messung3  0.26260  1.00000    -        -        -
Medikament1 0.14452  0.06928  0.00060    -        -
Medikament2 1.00000  1.00000  0.32840  0.00064    -
Medikament3 1.00000  1.00000  1.00000  0.00590  1.00000

P value adjustment method: bonferroni
    
```

Abschließend erhalten Sie das Diagramm der Wechselwirkung, die allerdings in diesem Beispiel nicht signifikant wird. Die beiden untersuchten Faktoren interagieren also nicht signifikant miteinander. Eine a posteriori Berechnung der Teststärke für diese Wechselwirkung finden Sie in den G*Power-Ergänzungen zu diesem Kapitel.



Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Frieze, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature

R-Ergänzungen

Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2* (5. Auflage). Heidelberg: Springer.

Literatur

Bortz, J., & Schuster, C. (2010). *Statistik für Human- und Sozialwissenschaftler* (7. Aufl.). Heidelberg: Springer.

Quelle: <https://lehrbuch-psychologie.springer.com/content/zu-den-spss-r-und-gpower-aufgaben-und-ergaenzungen>

Aus: Rasch, Friese, Hofmann & Naumann (2021). *Quantitative Methoden. Band 2*, 5. Auflage. Heidelberg: Springer.

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature