



Matthias Rudolf
Johannes Buse

Multivariate Verfahren

Eine praxisorientierte Einführung
mit Anwendungsbeispielen

3., überarbeitete Auflage



 hogrefe

Multivariate Verfahren

Matthias Rudolf
Johannes Buse

Multivariate Verfahren

Eine praxisorientierte Einführung mit Anwendungsbeispielen

3., überarbeitete Auflage



Dr. rer. nat. Matthias Rudolf, geb. 1959. 1978-1983 Studium der Mathematik. 1989 Promotion. 1983-1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Wissenschaftsbereich Physiologie bzw. am Institut für Humanbiologie und Biopsychologie der TU Dresden. Seit 1999 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Allgemeine Psychologie, Biopsychologie und Methoden der Psychologie der TU Dresden. Forschungsschwerpunkte: Multivariate statistische Verfahren in der Psychologie, Analyse physiologischer Zeitreihen, Psychometrische Fragebogenentwicklung. Lehrinhalte: Multivariate Statistik, Biostatistik, Statistische Datenanalyse mit SPSS bzw. mit R.

Dr. rer. nat. Johannes Buse (geb. Müller), geb. 1973. 1994-2001 Studium der Psychologie. 2007 Promotion. 2002-2007 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Klinische, Diagnostische und Differentielle Psychologie der TU Dresden. 2007-2011 Koordination und Betreuung internationaler Freiwilligendienste. 2011-2017 Ausbildung zum Psychologischen Psychotherapeuten und Arbeit im Uniklinikum Dresden (2012-2013) und Städtischen Klinikum Dresden Neustadt (2013-2016). Seit 2018 Psychologischer Psychotherapeut in einer Psychotherapeutischen Praxis.



Informationen und Zusatzmaterialien zu diesem Buch finden Sie unter www.hogrefe.de/buecher/lehrbuecher/psychlehrbuchplus

Die beiden Voraufagen des Buches erschienen unter der Autorenschaft von Matthias Rudolf und Johannes Müller. Der Titel lautete jeweils: „Multivariate Verfahren – Eine praxisorientierte Einführung mit Anwendungsbeispielen in SPSS“.

Copyright-Hinweis:

Das E-Book einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlags unzulässig und strafbar.

Der Nutzer verpflichtet sich, die Urheberrechte anzuerkennen und einzuhalten.

Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG
Merkelstraße 3
37085 Göttingen
Deutschland
Tel. +49 551 999 50 0
Fax +49 551 999 50 111
info@hogrefe.de
www.hogrefe.de

Umschlagabbildung: © iStok.com by Getty Images/Antonio Guillem

Satz: ARThür Grafik-Design & Kunst, Weimar

Format: PDF

3., überarbeitete Auflage 2020

© 2004, 2012, 2020 Hogrefe Verlag GmbH & Co. KG, Göttingen

(E-Book-ISBN [PDF] 978-3-8409-2900-7; E-Book-ISBN [EPUB] 978-3-8444-2900-8)

ISBN 978-3-8017-2900-4

<https://doi.org/10.1026/02900-000>

Nutzungsbedingungen:

Der Erwerber erhält ein einfaches und nicht übertragbares Nutzungsrecht, das ihn zum privaten Gebrauch des E-Books und all der dazugehörigen Dateien berechtigt.

Der Inhalt dieses E-Books darf von dem Kunden vorbehaltlich abweichender zwingender gesetzlicher Regeln weder inhaltlich noch redaktionell verändert werden. Insbesondere darf er Urheberrechtsvermerke, Markenzeichen, digitale Wasserzeichen und andere Rechtsvorbehalte im abgerufenen Inhalt nicht entfernen.

Der Nutzer ist nicht berechtigt, das E-Book – auch nicht auszugsweise – anderen Personen zugänglich zu machen, insbesondere es weiterzuleiten, zu verleihen oder zu vermieten.

Das entgeltliche oder unentgeltliche Einstellen des E-Books ins Internet oder in andere Netzwerke, der Weiterverkauf und/oder jede Art der Nutzung zu kommerziellen Zwecken sind nicht zulässig.

Das Anfertigen von Vervielfältigungen, das Ausdrucken oder Speichern auf anderen Wiedergabegeräten ist nur für den persönlichen Gebrauch gestattet. Dritten darf dadurch kein Zugang ermöglicht werden.

Die Übernahme des gesamten E-Books in eine eigene Print- und/oder Online-Publikation ist nicht gestattet. Die Inhalte des E-Books dürfen nur zu privaten Zwecken und nur auszugsweise kopiert werden.

Diese Bestimmungen gelten gegebenenfalls auch für zum E-Book gehörende Audiodateien.

Anmerkung:

Sofern der Printausgabe eine CD-ROM beigelegt ist, sind die Materialien/Arbeitsblätter, die sich darauf befinden, bereits Bestandteil dieses E-Books.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur dritten Auflage	9
Kapitel 1: Einführung in die Arbeit mit SPSS	13
1.1 Dateneingabe	16
1.2 Beispiele einfacher Datenanalysen	24
1.3 Zur Arbeit mit der SPSS-Syntax	35
Kapitel 2: Regressionsanalyse	41
2.1 Einfache lineare Regression	45
2.1.1 Methode der kleinsten Quadrate	45
2.1.2 Voraussetzungen	49
2.1.3 Varianzzerlegung und Bestimmtheitsmaß	50
2.1.4 Tests und Vorhersage	52
2.2 Multiple lineare Regression	55
2.2.1 Modell und prinzipielle Vorgehensweise	55
2.2.2 Interpretation der Ergebnisse	56
2.2.3 Merkmalsselektionsverfahren und hierarchische Regression	64
2.2.4 Moderator- und Mediatoranalyse	69
2.3 Anwendungsbeispiel in SPSS	78
2.3.1 Einfache lineare Regression	79
2.3.2 Multiple lineare Regression	83
2.3.3 Redundanz und Suppression	86
2.3.4 Merkmalsselektionsverfahren	90
2.3.5 Hierarchische Regression	100
2.3.6 Moderator- und Mediatoranalyse	102
Kapitel 3: Varianzanalyse	109
3.1 Einfaktorielle Varianzanalyse	113
3.1.1 Modell	113
3.1.2 Voraussetzungen	115
3.1.3 Statistische Hypothesen	117
3.1.4 Quadratsummenzerlegung und Signifikanzprüfung	118
3.1.5 Vorgehensweise nach dem Allgemeinen linearen Modell	121
3.1.6 Multiple Vergleiche	123
3.2 Zweifaktorielle Varianzanalyse	125
3.2.1 Modell, Voraussetzungen und statistische Hypothesen	125
3.2.2 Quadratsummenzerlegung und Signifikanzprüfung	126

3.2.3	Vorgehensweise nach dem Allgemeinen linearen Modell	132
3.3	Kovarianzanalyse	133
3.4	Multivariate Varianzanalyse	134
3.5	Varianzanalyse mit Messwiederholungen	137
3.5.1	Typische Anwendungssituationen	137
3.5.2	Verwendung linearer Kontraste	138
3.5.3	Signifikanzprüfung	141
3.6	Anwendungsbeispiel in SPSS	142
3.6.1	Einfaktorielle Varianzanalyse	142
3.6.2	Zweifaktorielle Varianzanalyse	149
3.6.3	Kovarianzanalyse	153
3.6.4	Multivariate Varianzanalyse	154
3.6.5	Varianzanalyse mit Messwiederholungen	156
Kapitel 4: Diskriminanzanalyse		169
4.1	Lineare Diskriminanzanalyse bei zwei Gruppen	172
4.1.1	Grundprinzip	172
4.1.2	Schätzung der Diskriminanzfunktion	175
4.1.3	Kenngößen und statistische Tests	178
4.1.4	Voraussetzungen und Anwendungsempfehlungen	180
4.1.5	Klassifikation: Zuordnung neuer Probanden	182
4.2	Lineare Diskriminanzanalyse bei mehr als zwei Gruppen	186
4.2.1	Grundprinzip und Vorgehensweise	186
4.2.2	Klassifikation im Mehr-Gruppen-Fall	190
4.3	Anwendungsbeispiel in SPSS	192
4.3.1	Diskriminanzanalyse bei zwei Gruppen	193
4.3.2	Diskriminanzanalyse bei mehr als zwei Gruppen	196
Kapitel 5: Logistische Regression		205
5.1	Odds Ratio	208
5.2	Modell der logistischen Regression	212
5.2.1	Modellgleichung	212
5.2.2	Voraussetzungen	214
5.3	Schätzungen, Tests und Modellgüte	215
5.3.1	Parameterschätzungen	215
5.3.2	Statistische Tests	220
5.3.3	Beurteilung der Modellgüte	220
5.4	Anwendungsbeispiel in SPSS	222
5.4.1	Berechnung des Odds Ratio	222
5.4.2	Logistische Regression mit einem Prädiktor	224
5.4.3	Logistische Regression mit mehreren Prädiktoren	235

Kapitel 6: Analyse mehrdimensionaler Häufigkeitstabellen	243
6.1 Häufigkeitsanalyse in zweidimensionalen Kreuztabellen	246
6.2 Loglineare Modelle	251
6.2.1 Prinzip der loglinearen Modellierung	252
6.2.2 Hierarchische loglineare Modelle	254
6.3 Anwendungsbeispiel in SPSS	256
6.3.1 Kreuztabellen	256
6.3.2 Loglineare Modelle	260
Kapitel 7: Zeitreihenanalyse	269
7.1 Zeitreihendarstellung und Stationarität	273
7.1.1 Zeitreihendarstellung	273
7.1.2 Stationarität von Zeitreihen	275
7.2 Trendanalyse	276
7.2.1 Nichtparametrische Glättungsverfahren	276
7.2.2 Parametrische Trendanalyse	279
7.3 Schwingungsanalyse	280
7.3.1 Autokorrelationsanalyse	280
7.3.2 Spektralanalyse	283
7.4 Überblick über weitere Methoden der Zeitreihenanalyse	287
7.5 Anwendungsbeispiel in SPSS	289
7.5.1 Darstellung der Zeitreihe	290
7.5.2 Trendanalyse	292
7.5.3 Schwingungsanalyse	298
7.5.4 Analysen nach Therapiebeginn	306
Kapitel 8: Clusteranalyse	311
8.1 Vorgehensweise	314
8.1.1 Distanz- und Ähnlichkeitsmaße	314
8.1.2 Clusterbildung: Average-Linkage-Methode	319
8.2 Interpretation einer hierarchischen Clusterlösung	323
8.3 Anwendungsbeispiel in SPSS	325
8.3.1 Clusteranalyse mit zwei Variablen und fünf Probanden	325
8.3.2 Clusteranalyse mit fünf Variablen und 20 Probanden	332
Kapitel 9: Faktorenanalyse	341
9.1 Modell und Voraussetzungen der Faktorenanalyse	345
9.2 Hauptkomponentenmethode	347
9.2.1 Prinzip der Faktorextraktion	347
9.2.2 Kennwerte der Faktorenanalyse	348
9.3 Bestimmung der Anzahl der Faktoren	351

9.4	Varimax-Rotation	354
9.5	Interpretation und Güte der Faktorenlösung	357
9.5.1	Interpretation der Faktorenlösung	357
9.5.2	Analyse der Kommunalitäten	358
9.6	Anwendungsbeispiel in SPSS	360
9.6.1	Vollständiges Modell	360
9.6.2	Extraktion und Rotation der Faktoren	366
 Kapitel 10: Lineare Strukturgleichungsmodelle		375
10.1	Korrelationen und Kausalität	379
10.2	Pfaddiagramme und lineare Strukturgleichungen	384
10.3	Struktur- und Messmodell	386
10.4	Modellspezifikationen	390
10.5	Schätzungen, Tests und Gütekriterien	393
10.5.1	Parameterschätzungen	393
10.5.2	Beurteilung der Schätzergebnisse	395
10.6	Anwendungsbeispiel in AMOS	399
10.6.1	Einführung in die grafische Oberfläche von AMOS	400
10.6.2	Pfaddiagramme mit beobachteten Variablen	407
10.6.3	Strukturgleichungsmodelle mit latenten Variablen	423
 Anhang		
	Glossar	439
	Inhalt der Website	448
	Literatur	450
	Sachregister	455

Vorwort zur dritten Auflage

Mit der Weiterentwicklung der statistischen Programmpakete stehen immer komplexere multivariate Verfahren für die Auswertungen empirischer Untersuchungen zur Verfügung. Die Programme sind in Handbüchern und in Sekundärliteratur ausführlich beschrieben, wobei aber die Grundgedanken der umgesetzten Verfahren oft nur sehr knapp dargestellt werden. Gleichzeitig gibt es teilweise sehr umfangreiche Darstellungen zur Theorie der multivariaten Methoden, die keinen oder nur einen geringen Bezug zur Umsetzung der Methoden in Statistik-Programmen aufweisen.

In der vorliegenden dritten Auflage dieses Lehrbuches haben wir das bewährte Konzept beibehalten, wichtige multivariate Verfahren nachvollziehbar, praxisorientiert und mit direktem Bezug zur Anwendung von Statistiksoftware (SPSS, AMOS) darzustellen. Damit wird der Leser unmittelbar zur praktischen Anwendung der behandelten Verfahren auf eigene Fragestellungen befähigt.

Wir haben alle Kapitel des Buches überarbeitet, aktualisiert und in mehreren Details erweitert sowie Ungenauigkeiten und Fehler korrigiert. Die Abschnitte zur Arbeit mit der Statistiksoftware haben wir komplett überarbeitet. Sie basieren nun auf den Programmversionen SPSS 25 (IBM SPSS Statistics 25) und AMOS 25 (IBM SPSS Amos 25). Zusätzlich stellen wir kommentierte R-Skripte zur Umsetzung aller Methoden zur Verfügung. Auch für die Neuauflage des Buches können wir die Website auf der Internetplattform „psychlehrbuchplus“ des Hogrefe Verlages nutzen.

Alle Kapitel können weitgehend unabhängig voneinander studiert werden. Die Verfahren jedes Kapitels werden an speziell konstruierten Datensätzen erläutert, anhand derer sich wesentliche Aspekte der behandelten Verfahren demonstrieren lassen. Reale Datensätze aus der psychologischen Forschungspraxis und Vorschläge für deren Auswertung sind auf der Website zum Buch enthalten.

Kapitel 1 wendet sich vor allem an diejenigen Leser, die bisher noch keine bzw. nur geringe Erfahrungen im Umgang mit SPSS gesammelt haben. Anhand eines kleinen Anwendungsbeispiels kann im Selbststudium ohne weitere Hilfe ein erster Einblick in die Arbeitsweise von SPSS gewonnen werden. Dabei wird auf wichtige Funktionen der Dateneingabe und auf die Durchführung einfacher Analysen eingegangen. Zusätzlich wird eine Einführung in die Arbeit mit der SPSS-Syntax gegeben. Nach dem Studium von Kapitel 1 kann die in den folgenden Kapiteln beschriebene Umsetzung der Verfahren in SPSS nachvollzogen werden.

Die Kapitel 2 bis 9 folgen einem einheitlichen Aufbau. Zu Beginn jedes Kapitels wird ein kleines Anwendungsbeispiel vorgestellt, anhand dessen dann die wesent-

lichen Ziele und Vorgehensweisen der jeweils behandelten Verfahren dargestellt werden. Auf mathematische Abhandlungen bzw. Beweise wird ebenso wie auf Darstellungen in Matrixschreibweise nahezu vollständig verzichtet. Im zweiten Teil der Kapitel wird die Umsetzung der Verfahren in SPSS beschrieben. Dabei werden sämtliche zuvor dargestellten Analyseschritte erneut unter Verwendung des Anwendungsbeispiels mit SPSS nachvollzogen und erklärt. Durch diese Redundanz soll einerseits das Verständnis der Verfahren vertieft werden. Andererseits kann hierdurch die Umsetzung der Verfahren in SPSS auch weitgehend unabhängig von der jeweils vorangehenden theoretischen Darstellung gelesen werden.

Auch in Kapitel 10 wird zunächst ein Überblick über die Theorie linearer Strukturgleichungsmodelle gegeben. Anschließend erfolgt eine grundlegende Einführung in die Arbeit mit AMOS. Die Arbeit mit der grafischen Oberfläche dieses Programms zur Analyse von linearen Strukturgleichungsmodellen unterscheidet sich deutlich von der Vorgehensweise in SPSS. Danach werden auch in diesem Kapitel die dargestellten Methoden anhand der Beispieldaten in AMOS umgesetzt und die Ergebnisse des Programms erläutert.

Auf der Website zum Buch sind alle Datenbeispiele enthalten. Daneben ist zu jedem der Kapitel 2 bis 10 ein Datensatz beigefügt, den uns Kollegen aus ihrer Forschungspraxis zur Verfügung gestellt haben. Die Themen reichen von arbeitspsychologischen bis zu epidemiologischen Untersuchungen. Die Auswertungen dieser Datensätze mit den jeweiligen multivariaten Verfahren bilden den zentralen Inhalt der Website zum Buch. Der Anwender der Methoden hat dadurch die Möglichkeit, seine Kenntnisse in der Arbeit mit SPSS bzw. AMOS anhand eines praktischen Beispiels zu vertiefen. Zusätzlich sind SPSS-Syntaxdateien und kommentierte R-Skripte für die Umsetzung der behandelten Verfahren anhand der Anwendungsbeispiele aus dem Buch sowie zur Bearbeitung der Praxisbeispiele enthalten.

Obwohl die Darstellungen zu den behandelten Verfahren so einfach wie möglich gehalten sind, sind zum Studium dieses Buches Grundkenntnisse in deskriptiver und in Inferenzstatistik notwendig.

Auch bei der Arbeit an der dritten Auflage des Lehrbuches sind wir in vielfältiger Weise unterstützt worden. Wir bedanken uns bei allen Kolleginnen und Kollegen, die das Manuskript des Buches sorgfältig geprüft haben und uns zahlreiche Hinweise und Vorschläge zur Verbesserung der Darstellungen gegeben haben. Allen Kolleginnen und Kollegen, die uns ihre Daten zur Verfügung gestellt haben oder uns bei der Erstellung von Grafiken geholfen haben, danken wir ebenfalls herzlich. Ganz besonders danken wir den Studierenden Adriana Böttcher, Marlon Esmeier, Judith Herbers, Viviane Lange, Maria Reichert und Peggy Wehner, die uns bei der Erarbeitung der R-Skripte, bei der Erstellung der SPSS-Syntaxdateien, bei der Übertragung der Praxisaufgaben auf die aktuelle SPSS-Version und durch Korrekturlesen des Manuskripts sehr geholfen haben.

Wir bedanken uns beim Hogrefe Verlag, speziell bei Frau Dipl.-Psych. Kathrin Rothauge und bei Frau Sarah Haase, für die erneut stets angenehme und konstruktive Zusammenarbeit.

Dresden, Sommer 2019

Matthias Rudolf
Johannes Buse



Kapitel 1

Einführung in die Arbeit mit SPSS

Inhaltsübersicht

1.1	Dateneingabe.....	16
1.2	Beispiele einfacher Datenanalysen	24
1.3	Zur Arbeit mit der SPSS-Syntax	35

In diesem einführenden Kapitel wird anhand eines Datenbeispiels ein grundlegender Einblick in die Dateneingabe und -verwaltung mit SPSS für Windows gegeben. Am Beispiel einfacher Analysen wird exemplarisch die Funktionsweise von SPSS demonstriert. Damit sollen auch diejenigen Leser, die bisher noch nicht mit SPSS gearbeitet haben, in die Lage versetzt werden, die folgenden Kapitel problemlos durchzuarbeiten und die behandelten multivariaten Verfahren mit SPSS umzusetzen.

Die Darstellung wird dabei auf die wichtigsten und in fast allen Anwendungen notwendigen Funktionen der Dateneingabe und des Datenmanagements beschränkt. Ausführlichere Einführungen in die Arbeitsweise und die Funktionen von SPSS geben die teilweise sehr umfangreichen Bücher zu SPSS von Bühl (2016), Janssen und Laatz (2017) sowie Brosius (2018). Alle weiteren notwendigen Analyseschritte für die Umsetzung der in diesem Buch beschriebenen multivariaten Verfahren in SPSS werden in den folgenden Kapiteln ausführlich dargestellt.

In Abschnitt 1.3 wird einführend die Arbeit mit der SPSS-Syntax vorgestellt, mit der SPSS-Befehle automatisiert abgearbeitet werden können. Auf der Website zum Buch werden die Syntax-Befehle von allen in diesem Buch behandelten Verfahren angegeben. Ausführliche Einführungen in die SPSS-Syntax geben Zöfel (2002), Brosius (2008) und Sarstedt et al. (2010).

Anwendungsbeispiel: Konzentrationstest

In einem Konzentrationstest sollen in einer Vielzahl unterschiedlicher Zeichen möglichst schnell und fehlerfrei bestimmte Zeichen erkannt und durchgestrichen werden. Es liegen die Daten von zehn Probanden vor, die diesen Test bearbeitet haben. In Tabelle 1.1 sind die erhobenen Variablen dargestellt.

Die Variablen wurden zu Demonstrationszwecken in zwei Datenmengen aufgeteilt. Die erste Datenmenge enthält die personenbezogenen Angaben Alter, Geschlecht, Gewicht und Größe. Die zweite Datenmenge beinhaltet die Ergebnisse des Konzentrationstests. Hierbei sind sowohl die Bearbeitungsgeschwindigkeit, die durch die Anzahl der bearbeiteten Zeichen pro Minute erfasst wird, als auch die Anzahl der insgesamt unterlaufenen Fehler von Bedeutung. Zusätzlich wurde nach dem Test ein Fragebogen zum aktuellen Befinden vorgelegt. In Tabelle 1.2 sind die Daten der ersten und in Tabelle 1.3 die Daten der zweiten Datenmenge abgebildet. Die erste Spalte enthält jeweils die fortlaufende Nummer des Probanden (Pb).

In den folgenden Abschnitten wird dargestellt, wie die Daten in SPSS einzugeben sind. Dabei werden unter anderem die wichtigsten Funktionen zur Definition der Variablen, zur Datenspeicherung sowie zum Zusammenfügen von Dateien vorgestellt. Außerdem werden exemplarisch einige deskriptive Analysen (Häufigkeitstabellen, statistische Maßzahlen) sowie die bivariate Korrelationsanalyse beschrieben.

Tabelle 1.1: Liste der Variablen zum Beispiel „Konzentrationstest“

Variable	Label	Bemerkungen
Erste Datenmenge: Personenbezogene Daten		
Nummer	Probandennummer	
Alter	Alter	in Jahren
Geschlecht	Geschlecht	0 = weiblich, 1 = männlich
Gewicht	Gewicht	in Kilogramm
Größe	Größe	in Zentimetern
Zweite Datenmenge: Testbezogene Daten		
Nummer	Probandennummer	
Geschwindigkeit	Zeichen pro Minute	Anzahl bearbeiteter Zeichen pro Minute
Fehler	Fehlerzahl	Anzahl der unterlaufenen Fehler insgesamt
Befinden	Befinden	Selbsteinschätzung nach dem Test (Skala von 0 bis 15)

Tabelle 1.2: Personenbezogene Daten

Pb	Alter	Geschlecht	Gewicht	Größe
1	17	0	50	157
2	34	0	65	165
3	35	0	62	160
4	36	0	57	156
5	18	0	78	170
6	22	1	70	170
7	27	1	75	185
8	228	1	80	180
9	24	1	95	190
10	21	1	80	195