

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Erste Schritte</b>	<b>1</b>
1.1	Vorstellung	1
1.1.1	Was ist R?	1
1.1.2	Typographische Konventionen	3
1.1.3	Wo erhalte ich R und Dokumentation zu R?	4
1.1.4	Installation von R unter Windows	5
1.2	Grundlegende Elemente	6
1.2.1	Starten und beenden, die Konsole	6
1.2.2	Einstellungen	9
1.2.3	Umgang mit dem Workspace	10
1.2.4	Einfache Arithmetik	11
1.2.5	Funktionen mit Argumenten aufrufen	13
1.2.6	Hilfe-Funktionen	14
1.2.7	Zusatzpakete verwenden	15
1.3	Datenstrukturen: Klassen, Objekte, Datentypen	17
1.3.1	Objekte benennen	18
1.3.2	Zuweisungen an Objekte	19
1.3.3	Objekte ausgeben	20
1.3.4	Objekte anzeigen lassen und entfernen	20
1.3.5	Datentypen	20
1.3.6	Logische Werte, Operatoren und Verknüpfungen	22
<b>2</b>	<b>Elementare Dateneingabe und -verarbeitung</b>	<b>25</b>
2.1	Vektoren	25
2.1.1	Vektoren erzeugen	25
2.1.2	Elemente auswählen und verändern	26
2.1.3	Datentypen in Vektoren	28
2.1.4	Reihenfolge von Elementen kontrollieren	29
2.1.5	Elemente benennen	30
2.1.6	Elemente löschen	31
2.1.7	Rechenoperationen mit Vektoren	31
2.2	Logische Operatoren	35

2.2.1	Logische Operatoren zum Vergleich von Vektoren . . . .	35
2.2.2	Logische Indexvektoren . . . . .	37
2.2.3	Werte ersetzen oder recodieren . . . . .	38
2.3	Mengen . . . . .	40
2.3.1	Duplizierte Werte behandeln . . . . .	40
2.3.2	Mengenoperationen . . . . .	41
2.3.3	Kombinatorik . . . . .	42
2.4	Numerische Sequenzen und feste Wertefolgen erzeugen . . . . .	44
2.4.1	Numerische Sequenzen erstellen . . . . .	44
2.4.2	Wertefolgen wiederholen . . . . .	46
2.5	Zufallszahlen und zufällige Reihenfolgen generieren . . . . .	46
2.5.1	Zufällig aus einer Urne ziehen . . . . .	47
2.5.2	Zufallszahlen aus bestimmten Verteilungen erzeugen . .	47
2.5.3	Unterauswahl einer Datenmenge bilden . . . . .	48
2.5.4	Zufällige Reihenfolgen erstellen . . . . .	49
2.6	Deskriptive Kennwerte numerischer Vektoren . . . . .	49
2.6.1	Summen, Differenzen und Produkte . . . . .	50
2.6.2	Extremwerte . . . . .	51
2.6.3	Mittelwert, Median und Modalwert . . . . .	52
2.6.4	Quartile, Quantile, Interquartilabstand . . . . .	53
2.6.5	Varianz, Streuung, Schiefe und Wölbung . . . . .	54
2.6.6	Kovarianz, Korrelation und Partialkorrelation . . . . .	55
2.6.7	Funktionen auf geordnete Paare von Werten anwenden .	57
2.7	Gruppierungsfaktoren . . . . .	57
2.7.1	Ungeordnete Faktoren . . . . .	58
2.7.2	Faktorstufen hinzufügen, entfernen und zusammenfassen . . . . .	60
2.7.3	Geordnete Faktoren . . . . .	61
2.7.4	Reihenfolge von Faktorstufen . . . . .	61
2.7.5	Faktoren nach Muster erstellen . . . . .	63
2.7.6	Quantitative Variablen in Faktoren umwandeln . . . . .	64
2.7.7	Funktionen getrennt nach Gruppen anwenden . . . . .	64
2.8	Matrizen . . . . .	66
2.8.1	Datentypen in Matrizen . . . . .	67
2.8.2	Dimensionierung, Zeilen und Spalten . . . . .	68
2.8.3	Elemente auswählen und verändern . . . . .	70
2.8.4	Weitere Wege, um Elemente auszuwählen und zu verändern . . . . .	71
2.8.5	Matrizen verbinden . . . . .	72
2.8.6	Randkennwerte . . . . .	73
2.8.7	Beliebige Funktionen auf Matrizen anwenden . . . . .	73
2.8.8	Matrix zeilen- oder spaltenweise mit Kennwerten verrechnen . . . . .	74
2.8.9	Kovarianz- und Korrelationsmatrizen . . . . .	75
2.8.10	Matrizen sortieren . . . . .	76

2.9	Lineare Algebra	78
2.9.1	Matrix-Algebra	78
2.9.2	Lineare Gleichungssysteme lösen	81
2.9.3	Norm und Abstand von Vektoren und Matrizen	81
2.9.4	Orthogonale Projektion	85
2.9.5	Kennwerte und Zerlegungen von Matrizen	86
2.10	Arrays	90
2.11	Häufigkeitsauszählungen	91
2.11.1	Einfache Tabellen absoluter und relativer Häufigkeiten	91
2.11.2	Häufigkeiten natürlicher Zahlen	93
2.11.3	Iterationen zählen	94
2.11.4	Absolute, relative und bedingte relative Häufigkeiten in Kreuztabellen	94
2.11.5	Randkennwerte von Kreuztabellen	97
2.11.6	Kumulierte relative Häufigkeiten und Prozentrang	98
2.12	Codierung, Identifikation und Behandlung fehlender Werte	100
2.12.1	Fehlende Werte codieren und ihr Vorhandensein prüfen	101
2.12.2	Fehlende Werte ersetzen oder umcodieren	102
2.12.3	Behandlung fehlender Werte bei der Berechnung einfacher Kennwerte	103
2.12.4	Behandlung fehlender Werte in Matrizen	104
2.12.5	Behandlung fehlender Werte beim Sortieren von Daten	106
2.13	Zeichenketten verarbeiten	106
2.13.1	Objekte in Zeichenketten umwandeln	107
2.13.2	Zeichenketten erstellen und ausgeben	107
2.13.3	Zeichenketten manipulieren	109
2.13.4	Zeichenfolgen finden	111
2.13.5	Zeichenfolgen ersetzen	112
2.13.6	Zeichenketten als Befehl ausführen	113
2.14	Datum und Uhrzeit	113
2.14.1	Datum	114
2.14.2	Uhrzeit	115
<b>3</b>	<b>Datensätze</b>	<b>117</b>
3.1	Listen	117
3.1.1	Komponenten auswählen und verändern	117
3.1.2	Listen mit mehreren Ebenen	120
3.2	Datensätze	121
3.2.1	Datentypen in Datensätzen	123
3.2.2	Elemente auswählen und verändern	124
3.2.3	Datensätze in den Suchpfad einfügen	126
3.2.4	Namen von Variablen und Beobachtungen	127
3.2.5	Variablen einem Datensatz hinzufügen oder aus diesem entfernen	128

3.2.6	Teilmengen von Daten auswählen .....	130
3.2.7	Organisationsform von Daten ändern .....	133
3.2.8	Organisationsform eines Datensatzes ändern .....	134
3.2.9	Datensätze teilen .....	138
3.2.10	Datensätze zusammenfügen .....	139
3.2.11	Funktionen auf Variablen anwenden .....	143
3.2.12	Funktionen für mehrere Variablen anwenden .....	145
3.2.13	Funktionen getrennt nach Gruppen anwenden .....	146
3.2.14	Doppelte und fehlende Werte .....	147
3.2.15	Datensätze sortieren .....	149
<b>4</b>	<b>Befehle und Daten verwalten .....</b>	<b>151</b>
4.1	Befehlssequenzen im Editor bearbeiten .....	151
4.2	Daten importieren und exportieren .....	153
4.2.1	Daten in der Konsole einlesen .....	153
4.2.2	Daten im Editor eingeben .....	154
4.2.3	Im Textformat gespeicherte Daten .....	155
4.2.4	R-Objekte .....	157
4.2.5	Daten mit anderen Programmen austauschen .....	157
<b>5</b>	<b>Hilfsmittel für die Inferenzstatistik .....</b>	<b>163</b>
5.1	Lineare Modelle formulieren .....	163
5.2	Funktionen von Zufallsvariablen .....	165
5.2.1	Dichtefunktionen .....	166
5.2.2	Verteilungsfunktionen .....	167
5.2.3	Quantilfunktionen .....	168
5.3	Behandlung fehlender Werte in inferenzstatistischen Tests .....	169
<b>6</b>	<b>Nonparametrische Methoden .....</b>	<b>171</b>
6.1	Anpassungstests .....	171
6.1.1	Binomialtest .....	172
6.1.2	Test auf Zufälligkeit (Runs Test) .....	174
6.1.3	Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest .....	176
6.1.4	$\chi^2$ -Test auf eine feste Verteilung .....	179
6.1.5	$\chi^2$ -Test auf eine Verteilungsklasse .....	180
6.2	Analyse von gemeinsamen Häufigkeiten kategorialer Variablen ..	181
6.2.1	$\chi^2$ -Test auf Unabhängigkeit .....	182
6.2.2	$\chi^2$ -Test auf Gleichheit von Verteilungen .....	183
6.2.3	$\chi^2$ -Test für mehrere Auftretenswahrscheinlichkeiten ..	184
6.2.4	Fishers exakter Test auf Unabhängigkeit .....	185
6.2.5	Fishers exakter Test auf Gleichheit von Verteilungen ..	186
6.2.6	Kennwerte für $2 \times 2$ Kontingenztafeln .....	187
6.3	Maße für Zusammenhang und Übereinstimmung kategorialer Daten .....	189

6.3.1	Zusammenhang ordinaler Variablen: Spearmans $\rho$ und Kendalls $\tau$ .....	189
6.3.2	Weitere Zusammenhangsmaße: $\varphi$ , Cramérs $V$ , Kontingenzkoeffizient, Goodman und Kruskals $\gamma$ , Somers' $d$ , ICC, $r_{WG}$ .....	191
6.3.3	Inter-Rater-Übereinstimmung: Cohens $\kappa$ , Fleiss' $\kappa$ , Kendalls $W$ .....	192
6.4	Tests auf Übereinstimmung von Verteilungen .....	199
6.4.1	Vorzeichen-Test .....	199
6.4.2	Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test für eine Stichprobe ..	200
6.4.3	Wald-Wolfowitz-Test für zwei Stichproben .....	203
6.4.4	Kolmogorov-Smirnov-Test für zwei Stichproben .....	203
6.4.5	Wilcoxon-Rangsummen-Test/Mann-Whitney- $U$ -Test für zwei unabhängige Stichproben .....	205
6.4.6	Wilcoxon-Test für zwei abhängige Stichproben .....	207
6.4.7	Kruskal-Wallis- $H$ -Test für unabhängige Stichproben ..	207
6.4.8	Friedman-Rangsummen-Test für abhängige Stichproben	208
6.4.9	Cochran- $Q$ -Test für abhängige Stichproben .....	210
6.4.10	Bowker-Test für zwei abhängige Stichproben .....	211
6.4.11	McNemar-Test für zwei abhängige Stichproben .....	213
6.4.12	Stuart-Maxwell-Test für zwei abhängige Stichproben ..	214
<b>7</b>	<b>Korrelation und Regressionsanalyse .....</b>	<b>217</b>
7.1	Test auf Korrelation .....	217
7.2	Einfache lineare Regression .....	218
7.2.1	Regressionsanalyse .....	221
7.2.2	Regressionsdiagnostik .....	224
7.2.3	Vorhersage bei Anwendung auf andere Daten .....	225
7.2.4	Partialkorrelation .....	227
7.2.5	Kreuzvalidierung .....	227
7.3	Multiple lineare Regression .....	228
7.3.1	Modell verändern .....	230
7.3.2	Modell auswählen .....	231
7.3.3	Auf Multikollinearität prüfen .....	232
7.4	Logistische Regression .....	233
<b>8</b>	<b>Parametrische Tests für Dispersions- und Lageparameter von Verteilungen .....</b>	<b>239</b>
8.1	Tests auf Varianzhomogenität .....	239
8.1.1	$F$ -Test auf Varianzhomogenität bei zwei Stichproben ..	239
8.1.2	Fligner-Killeen-Test und Bartlett-Test .....	241
8.1.3	Levene-Test .....	241
8.2	$t$ -Tests .....	242
8.2.1	$t$ -Test für eine Stichprobe .....	242

8.2.2	$t$ -Test für zwei unabhängige Stichproben	243
8.2.3	$t$ -Test für zwei abhängige Stichproben	245
8.3	Einfaktorielle Varianzanalyse (CR- $p$ )	246
8.3.1	Regression und Varianzanalyse als lineare Modelle	246
8.3.2	Auswertung mit <code>oneway.test()</code>	248
8.3.3	Auswertung mit <code>aov()</code>	249
8.3.4	Graphische Prüfung der Voraussetzungen	251
8.3.5	Auswertung mit <code>anova()</code>	252
8.3.6	Einzelvergleiche (Kontraste)	254
8.4	Einfaktorielle Varianzanalyse mit abhängigen Gruppen (RB- $p$ )	261
8.4.1	Univariat formulierte Auswertung mit <code>aov()</code>	262
8.4.2	Zirkularität der Kovarianzmatrix prüfen	264
8.4.3	Multivariat formulierte Auswertung mit <code>Anova()</code>	266
8.4.4	Einzelvergleiche (Kontraste)	268
8.5	Zweifaktorielle Varianzanalyse (CRF- $pq$ )	268
8.5.1	Auswertung mit <code>aov()</code>	269
8.5.2	Quadratsummen vom Typ I und III	271
8.5.3	Beliebige a-priori Kontraste	275
8.5.4	Beliebige post-hoc Kontraste nach Scheffé	278
8.6	Zweifaktorielle Varianzanalyse mit zwei Intra-Gruppen Faktoren (RBF- $pq$ )	279
8.6.1	Univariat formulierte Auswertung mit <code>aov()</code>	280
8.6.2	Zirkularität der Kovarianzmatrizen prüfen	283
8.6.3	Multivariat formulierte Auswertung mit <code>Anova()</code>	284
8.6.4	Einzelvergleiche (Kontraste)	285
8.7	Zweifaktorielle Varianzanalyse mit Split-Plot-Design (SPF- $p \cdot q$ )	286
8.7.1	Univariat formulierte Auswertung mit <code>aov()</code>	286
8.7.2	Voraussetzungen und Prüfen der Zirkularität	287
8.7.3	Multivariat formulierte Auswertung mit <code>Anova()</code>	288
8.7.4	Einzelvergleiche (Kontraste)	289
8.7.5	Erweiterung auf dreifaktorielles SPF- $p \cdot qr$ Design	290
8.7.6	Erweiterung auf dreifaktorielles SPF- $pq \cdot r$ Design	291
8.8	Kovarianzanalyse	292
8.8.1	Test der Effekte von Gruppenzugehörigkeit und Kovariate	292
8.8.2	Beliebige a-priori Kontraste	297
8.8.3	Beliebige post-hoc Kontraste nach Scheffé	299
8.9	Power und notwendige Stichprobengrößen berechnen	299
8.9.1	Binomialtest	300
8.9.2	$t$ -Test	301
8.9.3	Einfaktorielle Varianzanalyse	304

<b>9</b>	<b>Multivariate Verfahren</b>	309
9.1	Multivariate Multiple Regression	309

9.2	Hauptkomponentenanalyse .....	311
9.3	Faktorenanalyse .....	317
9.4	Multidimensionale Skalierung .....	323
9.5	Hotellings $T^2$ .....	325
9.5.1	Test für eine Stichprobe .....	325
9.5.2	Test für zwei Stichproben .....	327
9.6	Multivariate Varianzanalyse (MANOVA) .....	329
9.6.1	Einfaktorielle MANOVA .....	329
9.6.2	Mehrfaktorielle MANOVA .....	332
<b>10</b>	<b>Diagramme erstellen .....</b>	<b>335</b>
10.1	Graphik-Devices .....	335
10.1.1	Aufbau und Verwaltung von Graphik-Devices .....	335
10.1.2	Graphiken speichern .....	337
10.2	Streu- und Liniendiagramme .....	339
10.2.1	Streudiagramme mit <code>plot()</code> .....	339
10.2.2	Datenpunkte eines Streudiagramms identifizieren .....	342
10.2.3	Streudiagramme mit <code>matplot()</code> .....	342
10.3	Diagramme formatieren .....	343
10.3.1	Graphikelemente formatieren .....	343
10.3.2	Farben spezifizieren .....	346
10.3.3	Achsen formatieren .....	348
10.4	Säulen- und Punktdiagramme .....	348
10.4.1	Einfache Säulendiagramme .....	349
10.4.2	Gruppierte und gestapelte Säulendiagramme .....	350
10.4.3	Cleveland Dotchart .....	352
10.5	Elemente einem bestehenden Diagramm hinzufügen .....	354
10.5.1	Koordinaten in einem Diagramm identifizieren .....	354
10.5.2	Punkte .....	355
10.5.3	Linien .....	355
10.5.4	Polygone .....	358
10.5.5	Funktionsgraphen .....	362
10.5.6	Text und mathematische Formeln .....	362
10.5.7	Achsen .....	365
10.5.8	Fehlerbalken .....	366
10.6	Verteilungsdiagramme .....	369
10.6.1	Histogramm und Schätzung der Dichtefunktion .....	369
10.6.2	Stamm-Blatt-Diagramm .....	371
10.6.3	Box-Whisker-Plot .....	372
10.6.4	<code>stripchart()</code> .....	374
10.6.5	Quantil-Quantil-Diagramme .....	375
10.6.6	Empirische kumulative Häufigkeitsverteilungen .....	376
10.6.7	Kreisdiagramm .....	377
10.6.8	Gemeinsame Verteilung zweier Variablen .....	378

10.7	Datenpunkte interpolieren .....	381
10.7.1	Lineare Interpolation und polynomiale Glätter .....	381
10.7.2	Splines .....	382
10.8	Multivariate Daten visualisieren .....	383
10.8.1	Höhenlinien und variable Datenpunktsymbole .....	384
10.8.2	Dreidimensionale Gitter und Streudiagramme .....	387
10.8.3	Simultane Darstellung mehrerer Diagramme gleichen Typs .....	388
10.8.4	Matrix aus Streudiagrammen .....	390
10.9	Mehrere Diagramme in einem Graphik-Device darstellen .....	393
10.9.1	layout() .....	393
10.9.2	par(mfrow, mfcol, fig) .....	395
10.9.3	split.screen() .....	398
<b>11</b>	<b>R als Programmiersprache .....</b>	<b>401</b>
11.1	Eigene Funktionen erstellen .....	401
11.1.1	Funktionskopf mit Argumentliste .....	402
11.1.2	Funktionsrumpf mit Befehlen .....	403
11.1.3	Rückgabewert .....	403
11.1.4	Eigene Funktionen verwenden .....	404
11.1.5	Generische Funktionen .....	405
11.2	Kontrollstrukturen .....	407
11.2.1	Bedingungen zur Fallunterscheidung prüfen .....	407
11.2.2	Schleifen .....	409
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>413</b>
	<b>Sachverzeichnis .....</b>	<b>419</b>