

**Taschenbuch  
der  
Statistik**



# Taschenbuch der Statistik

Prof. Dr. Horst Rinne

4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage

Verlag  
Harri  
Deutsch 

Dr. Horst Rinne ist emeritierter Professor für Statistik und Ökonometrie am Fachbereich Wirtschaftswissenschaften der Justus-Liebig-Universität Gießen. Er ist Autor zahlreicher Monographien über Ökonometrie, Zeitreihenanalyse sowie statistische Qualitätssicherung.

Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH  
Gräbstraße 47  
60486 Frankfurt am Main  
verlag@harri-deutsch.de  
www.harri-deutsch.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

**ISBN 978-3-8171-1827-4**

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.

Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches – oder von Teilen daraus – sind vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet werden.  
Zu widerhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Der Inhalt des Werkes wurde sorgfältig erarbeitet. Dennoch übernehmen Autor und Verlag für die Richtigkeit von Angaben, Hinweisen und Ratschlägen sowie für eventuelle Druckfehler keine Haftung.

4., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage 2008  
©Wissenschaftlicher Verlag Harri Deutsch GmbH, Frankfurt am Main, 2008

Druck: Clausen & Bosse, Leck  
Printed in Germany

# Vorwort

Das *Taschenbuch der Statistik* ist ein gut ausgebautes Nachschlagewerk, aber kein Lehrbuch. Es präsentiert die Konzepte der Statistik in Form einer sehr ausführlich kommentierten Formelsammlung, gestützt durch zahlreiche Abbildungen und Tabellen sowie gelegentliche Beispiele. Das Spektrum reicht von der deskriptiven Statistik und explorativen Datenanalyse [Teil A] über die Wahrscheinlichkeitsrechnung [Teil B] und die Inferenzstatistik (Schätzen und Testen) [Teil C] bis zu speziellen Methoden der Statistik [Teil D]. Ein umfangreicher Anhang mit Verteilungstabellen, Nomogrammen, Formeln und Konzepten der Linearen Algebra, einem deutschen und englischen Stichwortverzeichnis sowie einem Symbol- und Abkürzungsverzeichnis erleichtern das Arbeiten mit diesem Buch.

Es richtet sich an Studierende der Wirtschafts-, Sozial-, Ingenieur- und Naturwissenschaften, die in ihrer Ausbildung Statistik-Kurse belegen müssen. Es werden sowohl Studienanfänger angesprochen als auch Studierende, die sich auf die Statistik — etwa als Wahl- oder Vertiefungsfach — spezialisieren wollen.

Mit dieser Auflage konnte das *Taschenbuch der Statistik* erneut verbessert, wesentlich erweitert und damit auf den neuesten Stand der Forschung gebracht werden.

- In Teil B wurde der Abschnitt 3.13 über Verteilungsfamilien ausgebaut,
- in Teil C der Abschnitt 4.2 über die Statistische Entscheidungstheorie und
- in Teil D der Abschnitt 1.1.1.2 über die Nichtskalare Kovarianzmatrix der latenten Variablen.

Auf Wunsch vieler Leser sind in Teil D mehrere große Erweiterungen vorgenommen worden. So sind neu entstanden:

- der Abschnitt 1.1.4 über die GMM-Schätzung, wodurch die früheren Abschnitte 1.1.4 und 1.1.5 zu 1.1.5 und 1.1.6 wurden,
- das Kapitel 5 über die Zeitreihenprognose nach BOX/JENKINS,
- das Kapitel 6 über die Statistische Qualitätssicherung und
- das Kapitel 7 über Life-Testing, Erneuerung und Zuverlässigkeit.

Die Aufnahme von D7 machte eine Überarbeitung und Erweiterung von B3.5.3 (Geordnete Zufallsvariablen) und C2.3.5 (Graphische Verfahren im Wahrscheinlichkeitsnetz) erforderlich.

Darüber hinaus wurden Fehler, auf die mich dankenswerter Weise Leser aufmerksam gemacht haben, korrigiert, sowie eine Vielzahl kleinerer Verbesserungen und Ergänzungen eingebracht und Aktualisierungen vorgenommen

Trotz aller Bemühungen lassen sich Fehler und Unzulänglichkeiten in einem so umfangreichen Referenzwerk nicht völlig ausschließen. Ich bitte die Leser um Unterstützung beim Aufspüren der „Schadstellen“ und Benachrichtigung auf postalischem Weg (Prof. Dr. Horst Rinne, c/o Justus-Liebig-Universität Gießen, Professur für Statistik und Ökonometrie, Licher Straße 64, D-35394 Gießen) oder per e-mail ([horst.rinne@wirtschaft.uni-giessen.de](mailto:horst.rinne@wirtschaft.uni-giessen.de)).

Über die hoffentlich wenigen Korrekturen werden die Leser laufend auf der Web-Site (<http://www.uni-giessen.de/fb02/statistik>) informiert.

Gießen, im Januar 2008

Prof. em. Dr. Horst Rinne



# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xxiii
Einleitung	1
<b>TEIL A: Deskriptive Statistik und explorative Datenanalyse</b>	<b>3</b>
<b>1 Grundlegende Konzepte</b>	<b>3</b>
1.1 Statistische Einheiten	3
1.2 Skalen und statistische Merkmale	4
1.3 Phasen einer statistischen Analyse	9
1.3.1 Datengewinnung	9
1.3.2 Datenaufbereitung	11
1.3.2.1 Reihen, Gruppen, Größenklassen und Häufigkeitsverteilungen	11
1.3.2.2 Tabellen und Tabellenaufbau	14
1.3.2.3 Systematische Verzeichnisse	15
1.3.3 Datenkontrolle	16
1.3.3.1 Arten statistischer Fehler	16
1.3.3.2 Kontrollverfahren	19
1.3.3.3 Fehlerrechnung	19
1.3.4 Datenpräsentation und Datenanalyse	20
<b>2 Univariate Datensätze</b>	<b>22</b>
2.1 Verteilungskonzepte	22
2.1.1 Nominales Merkmal	22
2.1.2 Ordinales Merkmal	25
2.1.3 Kardinales Merkmal	28
2.1.3.1 Diskreter Fall ohne Klassierung	29
2.1.3.2 Stetiger Fall ohne Klassierung	29
2.1.3.3 Klassierte Daten	30
2.2 Konzepte zur Parameterkonstruktion	31
2.2.1 Empirische Perzentile	31
2.2.2 Empirische Momente	35
2.3 Parameter univariater Datensätze	36
2.3.1 Lageparameter	36
2.3.2 Streuungsparameter	42
2.3.3 Schiefeparameter	47
2.3.4 Wölbungsparameter	48
2.4 Ausgewählte Graphiken	49
<b>3 Bivariate Datensätze</b>	<b>53</b>
3.1 Verteilungs- und Parameterkonzepte	53
3.2 Statistische Unabhängigkeit	61

<b>3.3</b>	<b>Maße des Zusammenhangs</b>	<b>61</b>
3.3.1	Nominale Merkmale: Assoziationskoeffizienten	62
3.3.1.1	$\chi^2$ -orientierte Maße	62
3.3.1.2	Prädiktionsmaße	63
3.3.1.3	Entropie-orientierte Maße	64
3.3.1.4	Assoziationsmaße für die Vierfeldertafel	65
3.3.2	Ordinale Merkmale: Rangkorrelation und Konkordanzmessung	67
3.3.3	Kardinale Merkmale: Produktmomente und metrische Korrelation	73
3.3.4	Merkmale mit verschiedenem Skalenniveau	77
<b>3.4</b>	<b>Einfachregression</b>	<b>79</b>
3.4.1	Regression erster Art	79
3.4.2	Lineare Regression	80
3.4.3	Nichtlineare Regression	83
<b>4</b>	<b>Multivariate Datensätze</b>	<b>84</b>
4.1	Mehrdimensionale Verteilungen	84
4.2	Statistische Unabhängigkeit	86
4.3	Maße des Zusammenhangs und Parameter	86
4.4	Multiple lineare Regression und Polynomregression	88
4.5	Graphiken für multivariate Datensätze	92
<b>5</b>	<b>Verhältnis- und Indexzahlen</b>	<b>99</b>
5.1	Gliederungszahlen	99
5.2	Beziehungszahlen	100
5.3	Messzahlen	100
5.4	Indexzahlen	102
5.4.1	Grundlagen und Symbolik	102
5.4.2	Einige Indexformeln	103
5.4.3	Kaufkraftparitäten	109
<b>6</b>	<b>Konzentrationsmessung</b>	<b>112</b>
6.1	Grundbegriffe	112
6.2	Absolute Konzentration	113
6.3	Relative Konzentration oder Disparität	115
6.4	Armuts- und Wohlstandsmaße	118
<b>7</b>	<b>Bestands- und Ereignismassen</b>	<b>121</b>
7.1	Grundbegriffe	121
7.2	Geschlossene Massen	122
7.3	Offene Massen	125
7.4	Abgangsmodelle, insb. Sterbetafeln	127
<b>8</b>	<b>Elementare Zeitreihenanalyse und Zeitreihenprognose</b>	<b>141</b>
8.1	Definitionen und Klassifikationen	141
8.2	Zeitreihenkomponenten und ihre Verknüpfungen	143
8.3	Analyse von Zeitreihen	145
8.3.1	Zeitreihen ohne Saisonkomponente	145
8.3.1.1	Globale Trendmodelle	145
8.3.1.2	Lokale Trendmodelle	152



8.3.2	Zeitreihen mit Saisonkomponente . . . . .	153
8.3.2.1	Heuristische Verfahren . . . . .	153
8.3.2.2	Trend- und Saisonschätzung im Globalmodell . . . . .	154
8.3.2.3	Zerlegung mit gleitenden Durchschnitten im Lokalmodell . . . . .	157
<b>8.4</b>	<b>Prognose von Zeitreihen . . . . .</b>	<b>158</b>
8.4.1	Qualitative Prognoseverfahren . . . . .	159
8.4.2	Quantitative Prognoseverfahren . . . . .	159
8.4.2.1	Naive Prognosen und Extrapolationen eines Modells . . . . .	159
8.4.2.2	Exponentielles Glätten . . . . .	160
8.4.3	Prognosefehler . . . . .	162
8.4.3.1	Ursachen und Zweck . . . . .	162
8.4.3.2	Qualitative Prognosefehler . . . . .	163
8.4.3.3	Quantitative Prognosefehler . . . . .	165

**TEIL B: Wahrscheinlichkeitsrechnung 167**

<b>1</b>	<b>Kombinatorik . . . . .</b>	<b>167</b>
1.1	Permutationen und lexikographische Anordnung . . . . .	167
1.2	Variationen . . . . .	168
1.3	Kombinationen, Binomial- und Polynomialkoeffizienten . . . . .	169
<b>2</b>	<b>Konzepte der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .</b>	<b>173</b>
2.1	Zufallsexperiment und Ereignisse . . . . .	173
2.1.1	Definitionen . . . . .	173
2.1.2	Ereignisverknüpfungen . . . . .	173
2.1.3	Ereignisalgebren . . . . .	177
2.2	Wahrscheinlichkeitsbegriffe und Axiomatik . . . . .	178
2.3	Bedingte Wahrscheinlichkeiten . . . . .	180
2.4	Sätze der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	181
<b>3</b>	<b>Zufallsvariablen und ihre Verteilungen . . . . .</b>	<b>184</b>
3.1	Definition und Typen von Zufallsvariablen . . . . .	184
3.2	Eindimensionale Zufallsvariable . . . . .	185
3.2.1	Verteilungskonzepte . . . . .	185
3.2.2	Parameterkonzepte . . . . .	187
3.3	Zwei- und mehrdimensionale Zufallsvariable . . . . .	198
3.3.1	Verteilungskonzepte . . . . .	198
3.3.2	Parameterkonzepte . . . . .	201
3.4	Erzeugen von Zufallszahlen mit vorgegebener Verteilung . . . . .	204
3.4.1	Echte Zufallszahlen und ihre Generatoren . . . . .	205
3.4.2	Pseudozufallszahlen und ihre Generatoren . . . . .	206
3.4.3	Direkte Verfahren für eine vorgegebene Verteilung . . . . .	208
3.4.4	Indirekte Verfahren für eindimensionale stetige Verteilungen . . . . .	209
3.4.4.1	Inversion der Verteilungsfunktion . . . . .	209
3.4.4.2	Verwerfungsmethode . . . . .	210
3.4.4.3	Mischungsmethode . . . . .	210
3.4.5	Indirekte Verfahren für eindimensionale diskrete Verteilungen . . . . .	211
3.4.6	Indirekte Verfahren für zwei- und mehrdimensionale Verteilungen . . . . .	212
3.4.7	Spezielle Verfahren für einzelne Verteilungen . . . . .	213

<b>3.5</b>	<b>Transformationen und Funktionen von Zufallsvariablen</b>	213
3.5.1	Transformationen eindimensionaler Zufallsvariablen	213
3.5.2	Funktionen mehrerer Zufallsvariablen	220
3.5.3	Geordnete Zufallsvariablen	223
3.5.4	Mischungen	229
<b>3.6</b>	<b>Ungleichungen für Zufallsvariablen</b>	231
3.6.1	Allgemeine Ungleichungen	231
3.6.2	Ungleichungen für Momente	235
3.6.3	Ungleichungen für Wahrscheinlichkeiten	238
3.6.3.1	Ungleichungen betreffend eine Zufallsvariable	238
3.6.3.2	Ungleichungen betreffend mehrere Zufallsvariablen	240
<b>3.7</b>	<b>Lineare Verteilungen</b>	242
3.7.1	Gleich- oder Rechtecksverteilung – $Re(a;b)$	242
3.7.2	Dreiecksverteilungen	246
3.7.2.1	Linkssteile Dreiecksverteilung – $Ld(a;b)$	246
3.7.2.2	Rechtssteile Dreiecksverteilung – $Rd(a;b)$	248
3.7.2.3	Symmetrische Dreiecksverteilung – $Sd(a;b)$	250
3.7.2.4	Asymmetrische Dreiecksverteilung – $Ad(a;b;c)$	250
3.7.3	Trapez-Verteilung – $Tr(a;b;c;d)$	253
3.7.4	Symmetrische V-Verteilung – $Sv(a;b)$	254
<b>3.8</b>	<b>Verteilungen im Urnenmodell</b>	255
3.8.1	Das Urnenmodell	255
3.8.2	BERNOULLI-VERTEILUNG – $Be(P)$	256
3.8.3	Binomial- und negative Binomialverteilung	258
3.8.3.1	Binomialverteilung – $Bi(n;P)$	258
3.8.3.2	Negative Binomialverteilung – $Nb(\Lambda; \tilde{P})$	262
3.8.4	Hypergeometrische und negative hypergeometrische Verteilung	267
3.8.4.1	Hypergeometrische Verteilung – $Hy(n; N; M)$	267
3.8.4.2	Negative hypergeometrische Verteilung – $Nh(c; N; M)$	272
3.8.5	PÓLYA-Verteilung – $Py(n; N; M; S)$	273
3.8.6	Multi- oder Polynomialverteilung – $Mn(n; P_1; \dots; P_m)$	277
3.8.7	Multivariate hypergeometrische Verteilung – $Mh(n; N; M_1; \dots; M_m)$	279
<b>3.9</b>	<b>Verteilungen im Warteschlangenmodell</b>	282
3.9.1	Warteschlangenmodell und Verweilzeit	282
3.9.2	POISSON-Verteilung – $Po(\lambda)$	283
3.9.3	Exponentialverteilung – $Ex(\lambda)$	288
3.9.4	Gamma- und ERLANG-Verteilung – $Ga(\lambda; c)$	291
3.9.5	WEIBULL-Verteilung – $We(a; b; c)$	295
<b>3.10</b>	<b>Normalverteilung und verwandte Verteilungen</b>	298
3.10.1	Eindimensionale Normalverteilung – $No(\mu; \sigma^2)$	298
3.10.2	Lognormale Verteilung – $Ln(\mu^*; \sigma^{*2})$	306
3.10.3	Zweidimensionale Normalverteilung – $Nz(\mu_X; \mu_Y; \sigma_X^2; \sigma_Y^2; \rho)$	310
3.10.4	Mehrdimensionale Normalverteilung – $Nm(\mu; \Sigma)$	317
3.10.5	$\chi^2$ -Verteilungen	319
3.10.5.1	Zentrale $\chi^2$ -Verteilung – $\chi^2(\nu)$	319
3.10.5.2	Dezentrale $\chi^2$ -Verteilung – $\chi^2(\nu; \lambda)$	323
3.10.6	$t$ -Verteilungen	326
3.10.6.1	Zentrale $t$ -Verteilung – $t(\nu)$	326
3.10.6.2	Dezentrale $t$ -Verteilung – $t(\nu; \delta)$	328

3.10.7	<i>F</i> -Verteilungen . . . . .	330
3.10.7.1	Zentrale <i>F</i> -Verteilung – $F_i(\nu_1; \nu_2)$ . . . . .	330
3.10.7.2	Dezentrale <i>F</i> -Verteilung – $F_i(\nu_1; \nu_2; \lambda)$ . . . . .	334
3.10.8	WISHART-Verteilung – $Wi(\Sigma; m; \nu)$ . . . . .	336
3.10.9	HOTELLING's- $T^2$ -Verteilung – $Ht(m; n)$ . . . . .	338
3.10.10	WILKS'- $\Lambda$ -Verteilung – $Wl(m; \nu_1; \nu_2)$ . . . . .	339
<b>3.11</b>	<b>Weitere stetige Verteilungen</b> . . . . .	<b>340</b>
3.11.1	Beta-Verteilung – $Bt(c; d)$ . . . . .	340
3.11.2	CAUCHY-Verteilung – $Ca(a; b)$ . . . . .	347
3.11.3	DIRICHLET-Verteilung – $Di(c_0; c_1; \dots; c_m)$ . . . . .	350
3.11.4	Extremwertverteilungen . . . . .	351
3.11.4.1	Extremwertverteilung vom Typ I – $EwI(a; b)$ . . . . .	352
3.11.4.2	Extremwertverteilung vom Typ II – $EwII(a; b; c)$ . . . . .	354
3.11.4.3	Extremwertverteilung vom Typ III – $EwIII(a; b; c)$ . . . . .	355
3.11.5	LAPLACE-Verteilung – $Lp(a; b)$ . . . . .	355
3.11.6	Logistische Verteilung – $Lo(a; b)$ . . . . .	357
3.11.7	PARETO-Verteilung – $Pa(a; b; c)$ . . . . .	361
3.11.8	Potenz-Verteilung – $Pt(a; b; c)$ . . . . .	363
3.11.9	VON-MISES-Verteilung – $Vm(a; b)$ . . . . .	366
3.11.10	WALD-Verteilung (Inverse GAUSS-Verteilung) – $Wa(a; b)$ . . . . .	367
<b>3.12</b>	<b>Weitere diskrete Verteilungen</b> . . . . .	<b>369</b>
3.12.1	Einpunkt-Verteilung – $Ep(x_0)$ . . . . .	369
3.12.2	Gleichverteilung – $Gl(a; b; L)$ . . . . .	371
3.12.3	Koinzidenz-, Belegungs- und Iterationsverteilungen . . . . .	374
3.12.4	Logarithmische Verteilung – $Lg(\theta)$ . . . . .	376
3.12.5	Potenzreihen-Verteilung – $Pr(c)$ . . . . .	379
3.12.6	Zeta-Verteilung – $Ze(\theta)$ . . . . .	380
3.12.7	Zweipunkt-Verteilung – $Zp(x_1; x_2; P)$ . . . . .	383
<b>3.13</b>	<b>Verteilungsfamilien</b> . . . . .	<b>384</b>
3.13.1	Location-Scale-Verteilungen . . . . .	384
3.13.2	Verteilungsklassen für Lebensdauer und Verweilzeit . . . . .	385
3.13.3	Stabile Verteilungen . . . . .	388
3.13.4	IDD-Variable . . . . .	390
3.13.5	Exponentialfamilien . . . . .	390
3.13.6	CORNISH-FISHER- und EDGEWORTH-Reihendarstellungen . . . . .	392
3.13.7	GRAM-CHARLIER-Reihendarstellungen . . . . .	393
3.13.8	PEARSON's-Verteilungssystem . . . . .	394
3.13.9	BURR's Verteilungssystem . . . . .	395
3.13.10	JOHNSON's Verteilungssystem . . . . .	396
3.13.11	TUKEY's $\lambda$ -Verteilungen . . . . .	397
<b>4</b>	<b>Stochastische Prozesse im Überblick</b> . . . . .	<b>398</b>
<b>4.1</b>	<b>Definition und Kennzeichnung</b> . . . . .	<b>398</b>
<b>4.2</b>	<b>Typen und Beispiele</b> . . . . .	<b>402</b>
4.2.1	Stationäre Prozesse . . . . .	402
4.2.2	MARKOV-Prozesse . . . . .	406
4.2.3	Prozesse mit unabhängigen Zuwächsen . . . . .	408
4.2.4	Martingale . . . . .	412
4.2.5	Lineare Prozesse . . . . .	412
<b>4.3</b>	<b>MARKOV-Ketten</b> . . . . .	<b>415</b>

<b>5</b>	<b>Stochastische Konvergenz, Grenzwertsätze</b>	<b>420</b>
5.1	Konvergenzarten	420
5.2	Gesetze der großen Zahlen	422
5.3	Zentrale Grenzwertsätze	426
<b>TEIL C: Inferentielle Statistik</b>		<b>429</b>
<b>1</b>	<b>Grundkonzepte der Inferenzstatistik</b>	<b>429</b>
1.1	Statistische Theorien im Überblick	429
1.2	Zufallsstichproben	430
1.2.1	Einstufige Stichproben	431
1.2.2	Zweistufige Stichproben und ihre Sonderformen	432
1.2.3	Realisierung von Zufallsstichproben	434
1.3	Stichprobenvektor und Stichprobenfunktionen	437
1.4	Likelihood-Funktion	439
<b>2</b>	<b>Schätztheorie</b>	<b>444</b>
2.1	Punktschätzung	444
2.1.1	Eigenschaften von Schätzfunktionen	444
2.1.1.1	Erwartungs- und Mediantreue	445
2.1.1.2	Effizienz	446
2.1.1.3	Konsistenz	449
2.1.1.4	Suffizienz	450
2.1.1.5	Normalität und Linearität	454
2.1.1.6	Robustheit	454
2.1.1.7	Klassen von Schätzern nach ihren Eigenschaften	456
2.1.2	Konstruktionsprinzipien für Schätzfunktionen	456
2.1.2.1	Delta-Methode	456
2.1.2.2	Momentenmethode	457
2.1.2.3	Perzentilmethode	458
2.1.2.4	Maximum-Likelihood-Methode	459
2.1.2.5	Kleinst-Quadrate-Methode	464
2.1.2.6	$\chi^2$ -Minimum-Methode	465
2.2	Intervallschätzung	465
2.2.1	Schwankungs- und Schätzfehlerintervalle	465
2.2.2	Konfidenzintervalle	467
2.2.3	BONFERRONI-Konfidenzintervalle und gemeinsame Konfidenzbereiche	473
2.2.4	Toleranzintervalle (Statistische Anteilsbereiche)	474
2.3	Weitere Schätzverfahren	482
2.3.1	Sequentielle Schätzung	482
2.3.2	Robuste Schätzung	483
2.3.3	Resampling Techniken	489
2.3.4	Nichtparametrische Dichteschätzung	492
2.3.5	Graphische Verfahren im Wahrscheinlichkeitsnetz	497
<b>3</b>	<b>Testtheorie</b>	<b>504</b>
3.1	Grundbegriffe der Testtheorie	504
3.1.1	Ablauf eines Tests	504
3.1.2	Beurteilung eines Tests	507

3.1.3	Hypothesenformulierung . . . . .	511
3.1.4	Likelihood-Quotienten-Tests . . . . .	514
3.1.5	WALD- und LAGRANGE-Multiplikatoren-Tests . . . . .	518
3.1.6	Sequentieller Likelihood-Quotienten-Test . . . . .	519
3.1.7	Randomisierte Tests . . . . .	524
<b>3.2</b>	<b>Verteilungsgebundene Parametertests</b> . . . . .	<b>525</b>
3.2.1	Tests für einen Mittelwert . . . . .	525
3.2.2	Tests zum Vergleich von Mittelwerten bei Normalverteilungen . . . . .	527
3.2.3	Tests zum Vergleich von Mittelwerten bei POISSON-Verteilungen . . . . .	530
3.2.4	Tests für einen Anteilswert (Binomialtest) . . . . .	530
3.2.5	Tests zum Vergleich von Anteilswerten . . . . .	531
3.2.6	Tests für eine Varianz . . . . .	532
3.2.7	Tests zum Vergleich von Varianzen . . . . .	534
3.2.8	Tests für Korrelationskoeffizienten . . . . .	535
<b>3.3</b>	<b>Verteilungsfreie Parametertests</b> . . . . .	<b>536</b>
3.3.1	Einstichproben-Lagetests . . . . .	536
3.3.1.1	Randomisierungstest für den Median einer symmetrischen Verteilung . . . . .	536
3.3.1.2	Rangzahlen, Rangstatistiken und ihre Verteilung . . . . .	538
3.3.1.3	Allgemeiner Vorzeichen-Test . . . . .	540
3.3.1.4	WILCOXON's Vorzeichen-Rangtest . . . . .	541
3.3.2	Zweistichproben-Probleme bei unabhängigen Stichproben . . . . .	542
3.3.2.1	Definition und Verteilung der einschlägigen Rangstatistik . . . . .	542
3.3.2.2	Rangtests für Lagealternativen . . . . .	543
3.3.2.3	Rangtests für Streuungsalternativen . . . . .	546
3.3.3	Zweistichprobenprobleme bei verbundenen Stichproben . . . . .	550
3.3.3.1	Vorzeichen-Test . . . . .	550
3.3.3.2	WILCOXON-Test . . . . .	551
3.3.4	Mehrstichproben-Probleme . . . . .	552
3.3.4.1	KRUSKAL-WALLIS-Test bei unabhängigen Stichproben . . . . .	552
3.3.4.2	FRIEDMAN-Test bei verbundenen Stichproben . . . . .	554
<b>3.4</b>	<b>Weitere Testverfahren</b> . . . . .	<b>555</b>
3.4.1	Tests auf Ausreißer . . . . .	555
3.4.2	Tests auf Zufälligkeit . . . . .	561
3.4.3	Tests auf Unabhängigkeit . . . . .	566
3.4.3.1	$\chi^2$ -Unabhängigkeitstest . . . . .	566
3.4.3.2	Exakter FISHER-YATES-Test . . . . .	567
3.4.3.3	Rangkorrelationstest . . . . .	569
3.4.4	Homogenitätstests . . . . .	572
3.4.4.1	$\chi^2$ -Homogenitätstest . . . . .	572
3.4.4.2	KOLMOGOROV-SMIRNOV-Homogenitätstest . . . . .	573
3.4.5	Anpassungstests . . . . .	576
3.4.5.1	$\chi^2$ -Anpassungstest . . . . .	576
3.4.5.2	KOLMOGOROV-SMIRNOV-Anpassungstest . . . . .	577
3.4.5.3	Tests auf Normalverteilung . . . . .	578
<b>4</b>	<b>Weitere Inferenztheorien</b> . . . . .	<b>586</b>
<b>4.1</b>	<b>BAYES-Inferenz</b> . . . . .	<b>586</b>
4.1.1	BAYES-Rückschluss . . . . .	586
4.1.2	Konjugierte Verteilungen . . . . .	588
4.1.3	Empirische BAYES-Methoden . . . . .	591

4.2 Statistische Entscheidungstheorie . . . . . 592  
 4.3 Likelihoodinferenz . . . . . 598  
 4.4 Fiduzialinferenz . . . . . 598  
 4.5 Strukturinferenz . . . . . 599

**TEIL D: Spezielle Methoden und Spezialgebiete der Statistik 601**

**1 Regressionsanalyse 601**  
 1.1 **Lineare Regression 601**  
 1.1.1 Deterministische Regressoren und beliebig verteilte Störvariable . . . . . 603  
     1.1.1.1 Skalare Kovarianzmatrix der Störvariablen . . . . . 603  
     1.1.1.2 Nichtskalare Kovarianzmatrix der Störvariablen . . . . . 608  
 1.1.2 Deterministische Regressoren und normalverteilte Störvariable . . . . . 611  
     1.1.2.1 Skalare Kovarianzmatrix der Störvariablen . . . . . 611  
     1.1.2.2 Nichtskalare Kovarianzmatrix der latenten Variablen . . . . . 615  
 1.1.3 Stochastische Regressoren . . . . . 616  
 1.1.4 GMM-Schätzung . . . . . 617  
     1.1.4.1 OLS als Momentenproblem . . . . . 617  
     1.1.4.2 IV-Schätzung als Momentenproblem . . . . . 618  
     1.1.4.3 Eigenschaften des GMM-Schätzers . . . . . 619  
 1.1.5 Autokorrelation der Störvariablen . . . . . 620  
     1.1.5.1 Tests auf Autokorrelationsfreiheit . . . . . 620  
     1.1.5.2 Schätzung bei Autokorrelation . . . . . 625  
 1.1.6 Heteroskedastizität der Störvariablen . . . . . 626  
     1.1.6.1 Tests auf Homoskedastizität . . . . . 627  
     1.1.6.2 Schätzung bei Heteroskedastizität . . . . . 629  
 1.1.7 Beurteilung der Regressoren und der funktionalen Form . . . . . 631  
 1.1.8 Multikollinearität . . . . . 635  
     1.1.8.1 Folgen, Entdeckung und Messung von Multikollinearität . . . . . 635  
     1.1.8.2 Überwindung von Multikollinearität . . . . . 637  
 1.1.9 Multivariate Regression . . . . . 640  
 1.2 **Nichtlineare Regression 643**  
     1.2.1 OLS- und ML-Schätzung . . . . . 644  
     1.2.2 Berechnung der Schätzwerte . . . . . 646  
         1.2.2.1 GAUSS-NEWTON-Methode . . . . . 646  
         1.2.2.2 NEWTON-RAPHSON-Methode . . . . . 647  
     1.2.3 Intervallschätzung und Tests . . . . . 649  
**2 Varianzanalyse 650**  
 2.1 **Terminologie und Systematisierung 650**  
 2.2 **Einfache ANOVA 651**  
     2.2.1 Deskriptive Auswertung . . . . . 652  
     2.2.2 Das Modell mit festen Effekten . . . . . 652  
     2.2.3 Das Modell mit zufälligen Effekten . . . . . 657  
 2.3 **Zweifache ANOVA 660**  
     2.3.1 Balancierte Kreuzklassifikation . . . . . 660  
         2.3.1.1 Deskriptive Auswertung . . . . . 660  
         2.3.1.2 Das Modell mit festen Effekten . . . . . 662  
         2.3.1.3 Das Modell mit zufälligen Effekten . . . . . 665

2.3.1.4	Das Modell mit gemischten Effekten	667
2.3.1.5	Der Sonderfall ohne Wiederholung	668
2.3.2	Balancierte hierarchische Klassifikation	669
<b>3</b>	<b>Multivariate Verfahren</b>	<b>674</b>
3.1	Distanzmessung	674
3.2	Diskriminanzanalyse	680
3.2.1	Diskriminanzanalyse bei Normalverteilung	681
3.2.2	Diskriminanzanalyse nach FISHER	685
3.2.3	Trennmaße und Variablenselektion	688
3.3	Clusteranalyse	689
3.3.1	Klassifikationstypen	689
3.3.2	Bewertung einer Klassifikation	692
3.3.3	Hierarchische Klassifikation	694
3.3.4	Nichthierarchische Klassifikation	696
3.3.5	Kritische Bemerkungen	699
3.4	Hauptkomponentenanalyse	699
3.4.1	Definition und Berechnung von Hauptkomponenten	699
3.4.2	Interpretation, Anzahl und Anwendungen der Hauptkomponenten	702
3.5	Faktorenanalyse	707
3.5.1	Das faktorenanalytische Modell	707
3.5.2	Faktorenlösung	710
3.5.3	Faktorrotation	712
3.5.4	Kritische Bemerkungen	715
3.6	Kanonische Korrelationsanalyse	716
<b>4</b>	<b>Stichprobentheorie</b>	<b>721</b>
4.1	Einstufig Auswahl	721
4.1.1	Einfache Zufallsstichprobe	722
4.1.1.1	Notation und Grundlagen	722
4.1.1.2	Hochrechnung	724
4.1.1.3	Bestimmung des Stichprobenumfangs	725
4.1.2	Systematische Auswahl	726
4.1.3	Auswahl mit ungleichen Wahrscheinlichkeiten	726
4.2	Geschichtete einfache Auswahl	728
4.2.1	Notation und Grundlagen	728
4.2.2	Aufteilung des Stichprobenumfangs	730
4.2.3	Hochrechnungsverfahren	731
4.2.4	Nachträgliche Schichtung	734
4.2.5	Einfache Klumpenauswahl	734
4.3	Zweistufig Auswahlverfahren	736
<b>5</b>	<b>Zeitreihenprognose nach BOX/JENKINS</b>	<b>737</b>
5.1	Modelltypen	737
5.1.1	Stationäre stochastische Prozesse	737
5.1.1.1	AKR, PAKR und deren Schätzung	738
5.1.1.2	MA-Prozesse	740
5.1.1.3	AR-Prozesse	747
5.1.1.4	ARMA-Prozesse	755

5.1.2	Trendmodelle . . . . .	759
5.1.2.1	Deterministische Trendmodelle . . . . .	759
5.1.2.2	Stochastische Trendmodelle und ARIMA-Prozesse . . . . .	760
5.1.3	Saisonmodelle und SARIMA-Modelle . . . . .	767
<b>5.2</b>	<b>Identifikation und Spezifikation</b> . . . . .	<b>771</b>
5.2.1	Stationarisierung einer Zeitreihe . . . . .	771
5.2.1.1	Vorarbeiten . . . . .	771
5.2.1.2	Wahl eines Differenzenfilters . . . . .	772
5.2.1.3	Einheitswurzeltests . . . . .	773
5.2.2	Festlegung der AR- und MA-Polynomgrade . . . . .	776
<b>5.3</b>	<b>Parameterschätzung</b> . . . . .	<b>778</b>
5.3.1	Momentenmethode . . . . .	778
5.3.2	Maximum-Likelihood-Methode . . . . .	780
<b>5.4</b>	<b>Modelldiagnose und Evaluierung</b> . . . . .	<b>784</b>
5.4.1	Diagnostische Tests . . . . .	784
5.4.2	Selektionskriterien . . . . .	786
<b>5.5</b>	<b>Prognose</b> . . . . .	<b>788</b>
5.5.1	MMSE-Prognose . . . . .	788
5.5.2	Prognoseformeln für einige Modelle . . . . .	789
5.5.3	Aktualisierung von Prognosen . . . . .	795
<b>6</b>	<b>Statistische Qualitätssicherung</b> . . . . .	<b>796</b>
<b>6.1</b>	<b>Prozess- und Produktplanung (Preline oder Offline Control)</b> . . . . .	<b>796</b>
6.1.1	Faktorielle Versuche . . . . .	797
6.1.2	Vollständige $2^k$ -Pläne . . . . .	799
6.1.2.1	Symbolik . . . . .	799
6.1.2.2	$2^2$ -Design . . . . .	800
6.1.2.3	$2^k$ -Design für $k \geq 3$ . . . . .	803
6.1.2.4	Einfache Durchführung des $2^k$ -Designs . . . . .	806
6.1.2.5	Blockbildung und Vermengung . . . . .	806
6.1.3	Teilfaktorpläne . . . . .	807
6.1.3.1	Halber $2^k$ -Design . . . . .	807
6.1.3.2	$2^{k-p}$ -Designs . . . . .	809
<b>6.2</b>	<b>Prozesssteuerung (Online Control)</b> . . . . .	<b>809</b>
6.2.1	Prozessfähigkeitsmessung . . . . .	809
6.2.1.1	Ausschussanteil als Unfähigkeitskennzahl . . . . .	811
6.2.1.2	Fähigkeitsindizes bei normalverteiltem Qualitätsmerkmal . . . . .	814
6.2.1.3	Fähigkeitsindizes bei nicht-normalverteiltem Qualitätsmerkmal . . . . .	819
6.2.1.4	Fähigkeitsindizes im multivariaten Fall . . . . .	820
6.2.2	Qualitätsregelkarten . . . . .	821
6.2.2.1	Aufbau und Arten von QRK . . . . .	821
6.2.2.2	SHEWHART-Karten für die zählende Prüfung . . . . .	825
6.2.2.3	SHEWHART-Karten für die messende Prüfung . . . . .	828
6.2.2.4	Karten für ein Merkmal mit Toleranzen . . . . .	837
6.2.2.5	Karten mit Gedächtnis . . . . .	841
<b>6.3</b>	<b>Annahmeprüfung (Postline Control)</b> . . . . .	<b>843</b>
6.3.1	Aufgaben und Arten von Prüfplänen . . . . .	843
6.3.2	Zählende Annahmeprüfung . . . . .	844
6.3.2.1	Einfache Prüfpläne . . . . .	844
6.3.2.2	Doppelte, mehrfache und sequentielle Prüfpläne . . . . .	850



6.3.3	Messende Annahmeprüfung . . . . .	853
6.3.3.1	Prüfpläne mit einem Grenzwert bei bekannter Varianz . . . . .	854
6.3.3.2	Prüfpläne mit einem Grenzwert bei unbekannter Varianz . . . . .	854
6.3.3.3	Prüfpläne mit zwei Grenzwerten . . . . .	855
<b>7</b>	<b>Life-Testing, Erneuerung und Zuverlässigkeit</b>	<b>856</b>
<b>7.1</b>	<b>Lebensdauer und verwandte Konzepte</b> . . . . .	<b>856</b>
7.1.1	Deskription der unbedingten Lebensdauer . . . . .	857
7.1.2	Lebens- oder Nutzungspotenzial . . . . .	860
7.1.3	Formen bedingter Lebensdauer . . . . .	863
7.1.3.1	Restlebensdauer . . . . .	863
7.1.3.2	Frühhausfallzeit . . . . .	865
7.1.3.3	Interimslebensdauer . . . . .	866
<b>7.2</b>	<b>Klassen von Lebensdauerverteilungen</b> . . . . .	<b>867</b>
7.2.1	Verteilungen nach dem Verhalten der Hazardrate . . . . .	868
7.2.2	Verteilungen nach der Eigenschaft „neu besser (schlechter) als gebraucht“ . . . . .	870
7.2.3	Weitere Alterungskriterien . . . . .	870
<b>7.3</b>	<b>Parametrische Lebensdauerverteilungen</b> . . . . .	<b>872</b>
7.3.1	Bekanntere Verteilungen . . . . .	872
7.3.2	Weniger bekannte Verteilungen . . . . .	880
<b>7.4</b>	<b>Lebensdauerprüfpläne</b> . . . . .	<b>885</b>
7.4.1	Felddaten versus Labordaten . . . . .	885
7.4.2	Statistisch relevante Eigenschaften von Lebensdauerprüfplänen . . . . .	885
7.4.3	Einstufige Pläne mit direkter zeitlicher Limitierung . . . . .	887
7.4.4	Einstufige Pläne mit indirekter zeitlicher Limitierung . . . . .	889
7.4.5	Mehrfache oder progressive Zensurierung . . . . .	891
<b>7.5</b>	<b>Graphische Auswertung von Lebensdauerdaten</b> . . . . .	<b>893</b>
7.5.1	Arbeiten mit einem Wahrscheinlichkeitsnetz . . . . .	893
7.5.2	Hazard-Plotting . . . . .	895
7.5.3	TTT-Plotting . . . . .	897
<b>7.6</b>	<b>Numerische Auswertung von Lebensdauerdaten</b> . . . . .	<b>898</b>
7.6.1	ML-Schätzung . . . . .	899
7.6.2	Lineare Schätzung . . . . .	901
<b>7.7</b>	<b>Erneuerungstheorie</b> . . . . .	<b>903</b>
7.7.1	Erneuerungsprozesse: Definition und Arten . . . . .	903
7.7.2	Prozessvariable von Erneuerungsprozessen . . . . .	904
<b>7.8</b>	<b>Zuverlässigkeitstheorie</b> . . . . .	<b>909</b>
7.8.1	Zuverlässigkeitsparameter . . . . .	909
7.8.2	Strukturierte Systeme und ihre Zuverlässigkeit . . . . .	909
7.8.3	Systemfunktionen . . . . .	916
<b>TEIL E: Anhänge</b>		<b>921</b>
<b>1</b>	<b>Tabellen</b>	<b>921</b>
<b>2</b>	<b>Nomogramme</b>	<b>963</b>
<b>3</b>	<b>Lineare Algebra</b>	<b>974</b>
3.1	Definition und Typen von Matrizen, Transposition . . . . .	974
3.2	Addition und Subtraktion von Matrizen . . . . .	976

---

3.3	Matrizenmultiplikation	976
3.4	Spur einer Matrix	978
3.5	Determinanten	978
3.6	Rang einer Matrix und lineare Abhängigkeit von Vektoren	979
3.7	Inverse Matrix und Pseudoinverse	979
3.8	Lineare Gleichungssysteme	981
3.9	KRONECKER-Produkt	982
3.10	Eigenwerte und Eigenvektoren	983
3.11	Ähnliche Matrizen und Matrizen diagonalisierung	984
3.12	Orthogonale Matrizen	985
3.13	Idempotente Matrizen	985
3.14	Quadratische Formen, definite und semidefinite Matrizen	985
3.15	Vektorisierung von Matrizen	986
3.16	Vektor- und Matrixdifferentiation	987
3.17	Extremwerte ohne und mit Nebenbedingungen	990
<b>4</b>	<b>Symbole und Abkürzungen</b>	<b>992</b>
4.1	Griechisches Alphabet	992
4.2	Zeichen und Symbole der Mathematik	992
4.2.1	Mengenlehre	992
4.2.2	Logik	994
4.2.3	Beziehungszeichen	994
4.2.4	Algebra, Arithmetik, Zahlentheorie	995
4.2.5	Analysis	997
4.2.6	Konstanten	999
4.2.7	Zahlwörter, Vorsilben für Vielfache und Teile von Einheiten	1000
4.3	Zeichen, Symbole und Abkürzungen der Statistik	1000
4.3.1	Ausgewählte Notationen der deskriptiven Statistik	1000
4.3.2	Ausgewählte Notationen der Wahrscheinlichkeitsrechnung und der statistischen Inferenz	1003
<b>5</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>1008</b>
<b>6</b>	<b>Englische Fachbegriffe</b>	<b>1028</b>
<b>7</b>	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>1039</b>

# Abbildungsverzeichnis

0/1	Gliederung der Statistik als Methodenlehre . . . . .	2
A1/1	Aufbau einer Tabelle in Anlehnung an DIN 55301 . . . . .	15
A1/2	Gliederung der statistischen Maßzahlen . . . . .	21
A2/1a	Stabdiagramm . . . . .	23
A2/1b	Balkendiagramm . . . . .	23
A2/2a	Rechteckdiagramm (horizontal) . . . . .	24
A2/2b	Rechteckdiagramm (vertikal) . . . . .	24
A2/3a	Kreisdiagramm . . . . .	24
A2/3b	Kreisdiagramm (Hervorhebung) . . . . .	24
A2/4a	PARETO-Diagramm . . . . .	25
A2/4b	PARETO-Diagramm (gestapelt) . . . . .	25
A2/5	Empirische Verteilungsfunktion, empirische komplementäre Verteilungsfunktion, Funktion der relativen Häufigkeiten . . . . .	27
A2/6	Histogramm (oben) und Verteilungspolygon (unten) . . . . .	32
A2/7a	Perzentilermittlung bei einer Verteilungsfunktion in Treppenform . . . . .	34
A2/7b	Perzentilermittlung bei einer Verteilungsfunktion in Form eines Polygonzuges . . . . .	34
A2/8	Symmetrische Verteilungen . . . . .	47
A2/9	Linkssteile Verteilung . . . . .	47
A2/10	Rechtssteile Verteilung . . . . .	47
A2/11	Fünf-Zahlen-Zusammenfassung . . . . .	49
A2/12	Box-Plot . . . . .	50
A2/13	Multipler gekerbter Box-Plot . . . . .	50
A2/14	Stamm-und-Blatt-Darstellung* . . . . .	51
A2/15	QQ-Plots für je zwei gleich lange Stichproben ( $n = 20$ ) aus: . . . . .	52
A3/1a	3D-Stabdiagramm . . . . .	55
A3/1b	3D-Treppenfunktion . . . . .	55
A3/2a	3D-Histogramm . . . . .	56
A3/2b	3D-Polygonzug . . . . .	56
A3/3	Streuungsdiagramme zweier ordinaler Merkmale und der zugehörigen Rangzahlen . . . . .	68
A3/4	Streuungsdiagramm und Kovarianz . . . . .	75
A3/5	Kovarianz bei verschiedenen Arten der Beziehung zwischen zwei Merkmalen . . . . .	76
A3/6	Erläuterungen der KQ-Methode . . . . .	80
A4/1	Trivariate Häufigkeitsverteilung und weitere, daraus abgeleitete Häufigkeitsverteilungen . . . . .	85
A4/2	Regressionsebene und Beobachtungswerte . . . . .	89
A4/3	Symbolischer Scatterplot (Drittes Merkmal qualitativ) . . . . .	93
A4/4	Symbolischer Scatterplot (Drittes Merkmal kardinal) . . . . .	93
A4/5	SEBER-Plot . . . . .	94
A4/6	Scatterplot-Matrix . . . . .	94
A4/7	Casement-Plot . . . . .	95
A4/8	3D-Scatterplot . . . . .	95

A4/9	Prof Ikurven . . . . .	96
A4/10	ANDREWS–Waves . . . . .	96
A4/11	Sternen–Plot . . . . .	97
A4/12	Sonnen–Plot . . . . .	97
A4/13	Glyphen . . . . .	97
A4/14	FLURY–RIEDWYL–Gesichter . . . . .	98
A5/1	Einteilung der Verhältniszahlen . . . . .	99
A5/2	Einteilung der dynamischen Messzahlen nach dem Basistyp . . . . .	101
A6/1	Konzentrationskurve . . . . .	113
A6/2	LORENZ–Kurve und Konzentrationsfläche bei unklassierten Daten . . . . .	116
A7/1	BECKER–Diagramm (oben) und Bestandsfunktion (unten) bei bekannten individuellen Verweilzeiten . . . . .	123
A7/2	Bestandsfunktion und ihre lineare Approximation bei geschlossener Masse . . . . .	124
A7/3	Erläuterung einiger Größen aus der Sterbetafel . . . . .	128
A7/4	Sterbewahrscheinlichkeiten aus den Sterbetafel 1986/88 und 2001/03 . . . . .	140
A7/5	Mittlere Restlebensdauer aus den Sterbetafeln 1986/88 und 2001/03 . . . . .	140
A8/1	Komponenten einer Zeitreihe . . . . .	144
A8/2	Verläufe von Polynomen nullten bis fünften Grades . . . . .	146
A8/3	Verläufe von Potenz- und Wurzelfunktionen ( $a = 0,01^b$ ) . . . . .	147
A8/4	Verläufe von Exponentialfunktionen . . . . .	148
A8/5	Verläufe Wachstumsfunktionen mit Sättigungsgrenzen . . . . .	149
A8/6	Entwicklung der US–Bevölkerung (in Mio.) zwischen 1790 und 2000 sowie Modellierung und Prognose durch Wachstumsfunktionen mit Sättigungsgrenze . . . . .	151
A8/7	Idee der lokalen Geradenanpassung . . . . .	152
A8/8	P–R–Diagramm für Jahreswachstumsrate (in v. H.) des Staatsverbrauchs (Prognosen des Sachverständigenrats zur Begutachtung der gesamtwirtschaftlichen Entwicklung) . . . . .	164
B1/1	Konzepte der Kombinatorik im Überblick . . . . .	171
B2/1	Operationen mit Ereignissen im VENN–Diagramm . . . . .	175
B2/2	Disjunkte Ereignisse . . . . .	176
B2/3	$A$ zieht $B$ nach sich . . . . .	176
B2/4	$A = B$ . . . . .	176
B2/5	Vollständiges Ereignissystem . . . . .	176
B2/6	Wahrscheinlichkeit als Mengenfunktion (diskreter Fall) . . . . .	178
B2/7	Wahrscheinlichkeit als Mengenfunktion (stetiger Fall) . . . . .	178
B2/8	Totale Wahrscheinlichkeit . . . . .	183
B3/1	Zufallsvariable beim dreimaligen Werfen einer fairen Münze . . . . .	184
B3/2	Beziehung zwischen Wahrscheinlichkeits- und Verteilungsfunktion . . . . .	186
B3/3	Beziehung zwischen Dichte- und Verteilungsfunktion . . . . .	187
B3/4	Wirkung der Funktionsparameter anhand der WEIBULL–Dichte . . . . .	188
B3/5	Gebiete im $\mathbb{R}^2$ und zugehörige Wahrscheinlichkeiten . . . . .	198
B3/6	Reguläre Polyeder . . . . .	205
B3/7	Scheibe mit zehn gleich großen Sektoren . . . . .	206