

# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort zur vierten Auflage</b> . . . . .	v
<b>Liste der Beispiele</b> . . . . .	xv
<b>Liste der Programme</b> . . . . .	xix
<b>1 Einleitung</b> . . . . .	1
1.1 Typische Aufgaben der Datenanalyse . . . . .	1
1.2 Zum Aufbau dieses Buches . . . . .	2
1.3 Zu den Programmen . . . . .	5
<b>2 Wahrscheinlichkeiten</b> . . . . .	8
2.1 Experimente, Ereignisse, Stichprobenraum . . . . .	8
2.2 Begriff der Wahrscheinlichkeit . . . . .	9
2.3 Regeln der Wahrscheinlichkeitsrechnung. Bedingte Wahrscheinlichkeit . . . . .	11
2.4 Beispiele . . . . .	12
2.4.1 Wahrscheinlichkeit für das Auftreten der Augenzahl $n$ beim Wurf von zwei Würfeln . . . . .	12
2.4.2 Lotto 6 aus 49 . . . . .	13
2.4.3 Drei-Türen-Spiel . . . . .	14
2.5 Aufgaben . . . . .	14
2.6 Hinweise und Lösungen . . . . .	16
<b>3 Zufallsvariable. Verteilungen</b> . . . . .	18
3.1 Zufallsvariable . . . . .	18
3.2 Verteilungen einer Zufallsvariablen . . . . .	18
3.3 Funktion einer Zufallsvariablen, Erwartungswert, Streuung, Momente . . . . .	20
3.4 Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichte von 2 Veränderlichen. Bedingte Wahrscheinlichkeit . . . . .	28
3.5 Erwartungswerte, Varianz, Kovarianz und Korrelation . . . . .	30
3.6 Mehr als 2 Veränderliche, Vektor- und Matrixschreibweise . . . . .	33
3.7 Transformation der Variablen . . . . .	36
3.8 Lineare und orthogonale Transformation. Fehlerfortpflanzung . . . . .	38
3.9 Aufgaben . . . . .	43
3.10 Hinweise und Lösungen . . . . .	45

<b>4</b>	<b>Rechnererzeugte Zufallszahlen. Die Monte-Carlo-Methode</b>	49
4.1	Zufallszahlen	49
4.2	Zahlendarstellung im Rechner	50
4.3	Linear kongruente Generatoren	52
4.4	Multiplikativ linear kongruente Generatoren	53
4.5	Qualität eines MLCG. Spektraltest	55
4.6	Implementation und Portabilität eines MLCG	58
4.7	Kombination mehrerer MLCG	61
4.8	Programm zur Erzeugung gleichverteilter Zufallszahlen	63
4.9	Erzeugung beliebig verteilter Zufallszahlen	65
4.9.1	Erzeugung durch Transformation der Gleichverteilung	65
4.9.2	Erzeugung nach dem von Neumannschen Rückweisungsverfahren	68
4.10	Erzeugung normalverteilter Zufallszahlen	72
4.11	Erzeugung von Zufallszahlen entsprechend einer $n$ -dimensionalen Normalverteilung	74
4.12	Die Monte-Carlo-Methode zur Integration	75
4.13	Die Monte-Carlo-Methode zur Simulation	77
4.14	Programmbeispiele	80
4.15	Programmieraufgaben	82
<b>5</b>	<b>Verschiedene wichtige Verteilungen und Sätze</b>	86
5.1	Binomial- und Multinomialverteilung	86
5.2	Häufigkeit. Das Gesetz der großen Zahl	89
5.3	Hypergeometrische Verteilung	91
5.4	Poisson-Verteilung	94
5.5	Die charakteristische Funktion einer Verteilung	98
5.6	Die standardisierte Normalverteilung	100
5.7	Die Normal- oder Gauß-Verteilung	102
5.8	Zahlenmäßiges Verhalten der Normalverteilung	103
5.9	Der zentrale Grenzwertsatz	106
5.10	Normalverteilung mehrerer Veränderlicher	110
5.11	Faltung von Verteilungen	116
5.11.1	Faltungsintegrale	116
5.11.2	Faltungen mit der Normalverteilung	119
5.12	Programmbeispiele	122
5.13	Aufgaben	124
5.14	Programmieraufgaben	126
5.15	Hinweise und Lösungen	127

<b>6</b>	<b>Stichproben</b>	131
6.1	Zufällige Stichprobe. Verteilungsfunktion einer Stichprobe. Schätzungen	131
6.2	Stichproben aus kontinuierlichen Grundgesamtheiten. Mittelwert und Varianz einer Stichprobe	134
6.3	Graphische Darstellung von Stichproben. Histogramme und Streudiagramme	138
6.4	Stichproben aus zerlegten Grundgesamtheiten	149
6.5	Stichproben ohne Zurücklegen aus endlichen diskreten Grundgesamtheiten. Mittlere quadratische Abweichung. Freiheitsgrade	153
6.6	Stichproben aus Gauß-Verteilungen. $\chi^2$ -Verteilung	156
6.7	$\chi^2$ und empirische Varianz	161
6.8	Abzählung als Stichprobe. Kleine Stichproben	162
6.9	Kleine Stichproben mit Untergrund	168
6.10	Bestimmung eines Quotienten kleiner Ereigniszahlen	172
6.11	Quotient kleiner Ereigniszahlen mit Untergrund	173
6.12	Programmbeispiele	178
6.13	Aufgaben	180
6.14	Hinweise und Lösungen	182
<b>7</b>	<b>Die Methode der „Maximum Likelihood“</b>	185
7.1	Likelihood-Quotient. Likelihood-Funktion	185
7.2	Die Maximum-Likelihood-Methode	187
7.3	Informationsungleichung. Schätzungen kleinster Varianz. Erschöpfende Schätzungen	189
7.4	Asymptotische Eigenschaften von Likelihood-Funktion und Maximum-Likelihood-Schätzung	196
7.5	Gleichzeitige Schätzung mehrerer Parameter. Konfidenzbereich	199
7.6	Programmbeispiele	204
7.7	Programmieraufgaben	205
7.8	Aufgaben	206
7.9	Hinweise und Lösungen	207
<b>8</b>	<b>Prüfung statistischer Hypothesen (Tests)</b>	210
8.1	Einführung	210
8.2	$F$ -Test über die Gleichheit zweier Streuungen	212
8.3	Students Test. Vergleich von Mittelwerten	216
8.4	Begriffe der allgemeinen Testtheorie	220
8.5	Der Satz von Neyman–Pearson und Anwendungen	225
8.6	Die Likelihood-Quotienten-Methode	228
8.7	Der $\chi^2$ -Test über die Güte einer Anpassung	233

8.7.1	$\chi^2$ -Test mit maximaler Zahl von Freiheitsgraden . . . . .	233
8.7.2	$\chi^2$ -Test mit verminderter Zahl von Freiheitsgraden . . . . .	234
8.7.3	$\chi^2$ -Test und empirische Häufigkeitsverteilung . . . . .	235
8.8	Kontingenztafel . . . . .	237
8.9	Vierfeldertest . . . . .	239
8.10	Programmbeispiele . . . . .	239
8.11	Aufgaben . . . . .	242
8.12	Hinweise und Lösungen . . . . .	243
<b>9</b>	<b>Die Methode der kleinsten Quadrate . . . . .</b>	<b>246</b>
9.1	Direkte Messungen gleicher oder verschiedener Genauigkeit . . . . .	246
9.2	Indirekte Messungen. Linearer Fall . . . . .	251
9.3	Anpassung einer Geraden . . . . .	255
9.4	Programme zur Anpassung linearer Funktionen der Unbekannten . . . . .	258
9.4.1	Anpassung eines Polynoms . . . . .	259
9.4.2	Anpassung einer beliebigen linearen Funktion . . . . .	262
9.5	Indirekte Messungen. Nichtlinearer Fall . . . . .	265
9.6	Programme zur Anpassung nichtlinearer Funktionen . . . . .	266
9.6.1	Iteration mit Schrittverkleinerung . . . . .	267
9.6.2	Iteration nach Marquardt . . . . .	276
9.7	Eigenschaften der Lösung nach kleinsten Quadraten. $\chi^2$ -Test . . . . .	283
9.8	Konfidenzbereich und asymmetrische Fehler im nichtlinearen Fall . . . . .	285
9.9	Bedingte Messungen . . . . .	293
9.9.1	Die Methode der Elemente . . . . .	293
9.9.2	Die Methode der Lagrangeschen Multiplikatoren . . . . .	296
9.10	Der allgemeine Fall der Anpassung nach kleinsten Quadraten . . . . .	300
9.11	Programm für den allgemeinen Fall kleinster Quadrate . . . . .	303
9.12	Bearbeitung bedingter Messungen mit dem Programm für den allgemeinen Fall . . . . .	310
9.13	Konfidenzbereich und unsymmetrische Fehler im allgemeinen Fall . . . . .	311
9.14	Programmbeispiele . . . . .	317
9.15	Programmieraufgaben . . . . .	320
<b>10</b>	<b>Minimierung einer Funktion . . . . .</b>	<b>329</b>
10.1	Überblick. Numerische Genauigkeit . . . . .	329
10.2	Parabel durch drei Punkte . . . . .	335
10.3	Funktion von $n$ Variablen auf einer Geraden im $n$ -dimensionalen Raum . . . . .	337
10.4	Einschließung des Minimums . . . . .	339
10.5	Minimum-Suche mit dem goldenen Schnitt . . . . .	342
10.6	Minimum-Suche mit quadratischer Interpolation . . . . .	346
10.7	Minimierung entlang einer Richtung in $n$ Dimensionen . . . . .	350

10.8	Simplex-Minimierung in $n$ Dimensionen . . . . .	351
10.9	Minimierung entlang der Koordinatenrichtungen . . . . .	357
10.10	Konjugierte Richtungen . . . . .	358
10.11	Minimierung entlang ausgewählter Richtungen . . . . .	360
10.12	Minimierung in Richtung des steilsten Abfalls . . . . .	363
10.13	Minimierung entlang konjugierter Gradientenrichtungen . . . . .	364
10.14	Minimierung mit quadratischer Form . . . . .	368
10.15	Marquardt-Minimierung . . . . .	370
10.16	Zur Auswahl einer Minimierungsmethode . . . . .	374
10.17	Fehlerbetrachtungen . . . . .	375
10.18	Beispiele . . . . .	381
10.19	Programmbeispiele . . . . .	389
10.20	Programmieraufgaben . . . . .	391
<b>11</b>	<b>Varianzanalyse</b> . . . . .	<b>394</b>
11.1	Einfache Varianzanalyse . . . . .	394
11.2	Doppelte Varianzanalyse . . . . .	398
11.3	Programmbeispiele . . . . .	409
11.4	Programmieraufgaben . . . . .	409
<b>12</b>	<b>Lineare und polynomiale Regression</b> . . . . .	<b>411</b>
12.1	Orthogonale Polynome . . . . .	411
12.2	Regressionslinie. Konfidenzintervall . . . . .	417
12.3	Regression bei unbekanntem Fehlern . . . . .	418
12.4	Programmbeispiele . . . . .	420
12.5	Programmieraufgaben . . . . .	423
<b>13</b>	<b>Zeitreihenanalyse</b> . . . . .	<b>425</b>
13.1	Zeitreihen. Trend . . . . .	425
13.2	Gleitende Mittelwerte . . . . .	426
13.3	Randeffekte . . . . .	429
13.4	Konfidenzintervall . . . . .	430
13.5	Programm für Zeitreihenanalyse. Beispiele . . . . .	432
13.6	Programmbeispiele . . . . .	435
13.7	Programmieraufgaben . . . . .	436
<b>A</b>	<b>Matrizenrechnung</b> . . . . .	<b>438</b>
A.1	Definitionen. Einfache Operationen. . . . .	439
A.2	Vektorraum, Unterraum, Rang einer Matrix . . . . .	441
A.3	Programme für einfache Matrix- und Vektoroperationen . . . . .	445
A.4	Orthogonale Transformationen . . . . .	456
A.4.1	Givens-Transformation . . . . .	456
A.4.2	Householder-Transformation . . . . .	459

A.4.3	Vorzeicheninversion . . . . .	463
A.4.4	Permutations-Transformation . . . . .	463
A.5	Determinanten . . . . .	464
A.6	Matrixgleichungen. Kleinste Quadrate . . . . .	466
A.7	Inverse Matrix . . . . .	469
A.8	Gaußscher Algorithmus . . . . .	471
A.9	LR-Zerlegung . . . . .	475
A.10	Cholesky-Zerlegung . . . . .	476
A.11	Pseudoinverse Matrix . . . . .	481
A.12	Eigenwerte und Eigenvektoren . . . . .	482
A.13	Singulärwertzerlegung . . . . .	485
A.14	Singulärwertanalyse . . . . .	487
A.15	Algorithmus zur Singulärwertzerlegung . . . . .	491
A.15.1	Strategie . . . . .	491
A.15.2	Bidiagonalisierung . . . . .	494
A.15.3	Diagonalisierung . . . . .	497
A.15.4	Ordnung der Singulärwerte und Permutation . . . . .	504
A.15.5	Singulärwertanalyse . . . . .	505
A.16	Kleinste Quadrate mit Gewichten . . . . .	507
A.17	Kleinste Quadrate mit Skalenwechsel . . . . .	507
A.18	Modifikation der kleinsten Quadrate nach Marquardt . . . . .	509
A.19	Kleinste Quadrate mit Nebenbedingungen . . . . .	512
A.20	Programmbeispiele zu einfachen Matrix- und Vektoroperationen . . . . .	517
A.21	Programmbeispiele zu orthogonalen Transformationen . . . . .	518
A.22	Programmbeispiele zur Lösung von Matrixgleichungen . . . . .	519
<b>B</b>	<b>Elemente der Kombinatorik . . . . .</b>	<b>523</b>
<b>C</b>	<b>Formeln und Programme für statistische Funktionen . . . . .</b>	<b>525</b>
C.1	Binomialverteilung . . . . .	525
C.2	Hypergeometrische Verteilung . . . . .	526
C.3	Poisson-Verteilung . . . . .	528
C.4	Normalverteilung . . . . .	530
C.5	$\chi^2$ -Verteilung . . . . .	534
C.6	$F$ -Verteilung . . . . .	536
C.7	$t$ -Verteilung . . . . .	538
C.8	Programmbeispiele . . . . .	540
C.9	Programmieraufgaben . . . . .	540

<b>D</b>	<b>Die Gamma-Funktion und verwandte Funktionen. Methoden und Programme zu ihrer Berechnung</b>	542
D.1	Die Eulersche Gamma-Funktion	542
D.2	Fakultät und Binomialkoeffizient	546
D.3	Beta-Funktion	547
D.4	Berechnung von Kettenbrüchen	547
D.5	Unvollständige Gamma-Funktion	549
D.6	Unvollständige Beta-Funktion	551
D.7	Programmbeispiele	554
D.8	Programmieraufgaben	554
<b>E</b>	<b>Hilfsprogramme</b>	555
E.1	Numerische Differentiation	555
E.2	Numerische Bestimmung von Nullstellen	561
<b>F</b>	<b>Das graphische Programmpaket GRPACK</b>	564
F.1	Vorbemerkung	564
F.2	Steuerprogramme	565
F.3	Koordinatensysteme, Transformationen und Transformationsprogramme	566
F.3.1	Koordinatensysteme	566
F.3.2	Lineare Transformationen. Fenster-Darstellungsfeld.	567
F.4	Transformationsprogramme	569
F.5	Zeichenprogramme	571
F.6	Graphische Hilfsstrukturen	577
F.7	Text innerhalb der Graphik	579
F.8	Programme zur Erzeugung einer vollständigen Graphik	582
F.9	Graphische Arbeitsstationen	584
F.9.1	Typen von Arbeitsstationen. Initialisierungsdatei. Farbindex	584
F.9.2	Computer-Bildschirm oder Fenster	585
F.9.3	Dateien zum späteren Drucken oder Plotten	586
F.9.4	Feststellung der Nummern der Arbeitsstationen	587
F.9.5	Fehler-Datei. Datei-Verwaltung	588
F.10	Programmbeispiele	588
<b>G</b>	<b>Programm-Installation und technische Hinweise</b>	593
G.1	Die CD-ROM	593
G.2	Verschiedene Compiler und Betriebssysteme	594
G.3	Benutzung von C-Programmen	596
G.4	Programmieren für WINDOWS 95/WINDOWS NT	598
G.4.1	Vorbemerkungen	598
G.4.2	Hauptprogramm	599

G.4.3	Anwendungsprogramm . . . . .	600
G.5	Installation der Programme . . . . .	601
G.6	Die Verzeichnisstruktur für DOS und WINDOWS . . . . .	602
G.6.1	Das Unterverzeichnis \DATAN\DATSRC . . . . .	603
G.6.2	Das Unterverzeichnis \DATAN\EXASRC . . . . .	603
G.6.3	Das Unterverzeichnis \DATAN\SOLSRC . . . . .	603
G.6.4	Das Unterverzeichnis \DATAN\DLIB. Die Datenanalyse-Bibliothek . . . . .	603
G.6.5	Das Unterverzeichnis \DATAN\GLIB. Die Graphik-Bibliothek . . . . .	603
G.7	Die Verzeichnisstruktur für Linux . . . . .	604
G.7.1	Das Verzeichnis /usr/local/datan . . . . .	604
G.7.2	Bibliotheken . . . . .	605
G.7.3	„Shell“-Dateien . . . . .	605
G.8	Veränderung der Datenanalyse-Bibliothek . . . . .	605
G.9	Compilation, Bindung und Ausführung von Programmen . . . . .	606
G.10	Dimensionsbeschränkungen in einigen Programmen . . . . .	606
<b>H</b>	<b>Formelsammlung . . . . .</b>	<b>608</b>
<b>I</b>	<b>Statistische Tafeln . . . . .</b>	<b>622</b>
	<b>Literatur . . . . .</b>	<b>634</b>
	<b>Register der Programme . . . . .</b>	<b>639</b>
	<b>Register . . . . .</b>	<b>641</b>