

<b>Vorwort</b>	<b>v</b>
<b>1 Einführung</b>	<b>1</b>
1.1 Wo braucht man Statistik? . . . . .	1
1.2 Was macht man mit Statistik? . . . . .	11
1.3 Was steht am Anfang? . . . . .	14
1.3.1 Statistische Einheiten, Merkmale und Gesamtheiten . . . . .	14
1.3.2 Merkmalstypen . . . . .	16
Stetige und diskrete Merkmale . . . . .	16
Skalen . . . . .	17
Quantitative und qualitative Merkmale . . . . .	19
1.4 Wie gewinnt man Daten? . . . . .	20
1.4.1 Elemente der Versuchsplanung . . . . .	21
1.4.2 Datengewinnung und Erhebungsarten . . . . .	23
Einfache Zufallsstichproben . . . . .	25
Geschichtete Zufallsstichproben . . . . .	26
Klumpenstichprobe . . . . .	26
Mehrstufige Auswahlverfahren . . . . .	27
Bewußte Auswahlverfahren . . . . .	27
Studiendesigns . . . . .	28
1.5 Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	28
1.6 Aufgaben . . . . .	29
<b>2 Univariate Deskription und Exploration von Daten</b>	<b>31</b>
2.1 Verteilungen und ihre Darstellungen . . . . .	31
2.1.1 Häufigkeiten . . . . .	32
2.1.2 Graphische Darstellungen . . . . .	35
Stab- und Kreisdiagramme . . . . .	35
Stamm-Blatt-Diagramme . . . . .	37
Histogramme . . . . .	40
Unimodale und multimodale Verteilungen . . . . .	46

	Symmetrie und Schiefe . . . . .	48
2.1.3	Kumulierte Häufigkeitsverteilung und empirische Verteilungsfunktion . . . . .	49
2.2	Beschreibung von Verteilungen . . . . .	52
2.2.1	Lagemaße . . . . .	53
	Arithmetisches Mittel . . . . .	53
	Median . . . . .	55
	Modus . . . . .	56
	Berechnung der Lagemaße bei gruppierten Daten . . . . .	58
	Lageregeln . . . . .	60
	Das geometrische Mittel . . . . .	61
	Das harmonische Mittel . . . . .	63
	Das getrimmte Mittel . . . . .	64
2.2.2	Quantile und Box-Plot . . . . .	64
2.2.3	Standardabweichung, Varianz und Variationskoeffizient . . . . .	69
2.2.4	Maßzahlen für Schiefe und Wölbung . . . . .	74
2.3	Konzentrationsmaße . . . . .	76
2.3.1	Relative Konzentration: Lorenzkurve und Gini-Koeffizient . . . . .	77
	Lorenzkurve aus den geordneten Daten . . . . .	77
	Lorenzkurve bei gruppierten Daten . . . . .	80
	Gini-Koeffizient . . . . .	81
2.3.2	Alternative Konzentrationsmaße . . . . .	85
	Konzentrationsrate $CR_g$ . . . . .	85
	Herfindahl-Index . . . . .	86
2.4	Dichtekurven und Normalverteilung . . . . .	87
2.4.1	Dichtekurven . . . . .	87
2.4.2	Normalverteilungen . . . . .	90
	*Normal-Quantil-Plots . . . . .	95
*2.4.3	Approximation von Dichtekurven . . . . .	98
2.5	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	102
2.6	Aufgaben . . . . .	104
<b>3</b>	<b>Multivariate Deskription und Exploration</b> . . . . .	<b>109</b>
3.1	Diskrete und gruppierte Merkmale . . . . .	109
3.1.1	Zweidimensionale Daten: Die Kontingenztabelle . . . . .	109
3.1.2	Bedingte Häufigkeiten . . . . .	115
3.2	Zusammenhangsanalyse in Kontingenztabelle . . . . .	119
3.2.1	Chancen und relative Chancen . . . . .	119
3.2.2	Kontingenz- und $\chi^2$ -Koeffizient . . . . .	122
3.3	Graphische Darstellungen quantitativer Merkmale . . . . .	127

3.3.1	Streudiagramm . . . . .	128
3.3.2	Zweidimensionale Histogramme und Dichten . . . . .	130
3.3.3	Mehrdimensionale Darstellungen . . . . .	133
3.4	Zusammenhangsmaße bei metrischen Merkmalen . . . . .	134
3.4.1	Empirischer Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson . . . . .	134
3.4.2	Spearman's Korrelationskoeffizient . . . . .	141
3.4.3	Invarianzeigenschaften . . . . .	146
3.5	Korrelation und Kausalität . . . . .	147
3.6	Regression . . . . .	152
3.6.1	Das lineare Regressionsmodell . . . . .	152
3.6.2	Die Berechnung der Ausgleichsgeraden . . . . .	153
3.6.3	Bestimmtheitsmaß und Residualanalyse . . . . .	158
*3.6.4	Nichtlineare Regression . . . . .	165
3.7	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	167
3.8	Aufgaben . . . . .	169
<b>4</b>	<b>Wahrscheinlichkeitsrechnung</b>	<b>173</b>
4.1	Definition und Begriff der Wahrscheinlichkeit . . . . .	174
4.1.1	Mengen und Mengenoperationen . . . . .	175
4.1.2	Zufallereignisse . . . . .	179
4.1.3	Wahrscheinlichkeiten . . . . .	181
4.2	Zur empirischen Interpretation von Wahrscheinlichkeiten . . . . .	187
4.2.1	Die Laplace-Wahrscheinlichkeit . . . . .	188
4.2.2	Objektive Wahrscheinlichkeiten als Grenzwert relativer Häufigkeiten . . . . .	191
4.2.3	Subjektive Wahrscheinlichkeiten . . . . .	194
4.3	Zufallsstichproben und Kombinatorik . . . . .	195
4.3.1	Modell mit Zurücklegen . . . . .	196
4.3.2	Modell ohne Zurücklegen . . . . .	197
4.3.3	Permutationen . . . . .	198
4.3.4	Modell ohne Zurücklegen und ohne Berücksichtigung der Reihenfolge . . . . .	199
4.4	Bedingte Wahrscheinlichkeiten . . . . .	202
4.5	Unabhängigkeit von zwei Ereignissen . . . . .	206
4.6	Totale Wahrscheinlichkeit . . . . .	209
4.7	Der Satz von Bayes . . . . .	211
4.8	Unendliche Grundgesamtheiten . . . . .	216
4.9	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	219
4.10	Aufgaben . . . . .	220

<b>5</b>	<b>Diskrete Zufallsvariablen</b>	<b>223</b>
5.1	Zufallsvariablen . . . . .	224
5.2	Verteilungen und Parameter von diskreten Zufallsvariablen . . . . .	227
5.2.1	Definition und Verteilung . . . . .	227
	Diskrete Gleichverteilung . . . . .	234
	Geometrische Verteilung . . . . .	234
5.2.2	Unabhängigkeit von diskreten Zufallsvariablen . . . . .	238
5.2.3	Lageparameter, Quantile und Streuungsparameter einer diskreten Verteilung . . . . .	242
	Erwartungswert . . . . .	242
5.2.4	Weitere Lageparameter . . . . .	247
	Varianz und Standardabweichung . . . . .	248
5.3	Spezielle diskrete Verteilungsmodelle . . . . .	252
5.3.1	Die Binomialverteilung . . . . .	253
5.3.2	Die hypergeometrische Verteilung . . . . .	258
5.3.3	Die Poisson-Verteilung . . . . .	260
5.4	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	265
5.5	Aufgaben . . . . .	267
<b>6</b>	<b>Stetige Zufallsvariablen</b>	<b>269</b>
6.1	Definition und Verteilung . . . . .	269
	Unabhängigkeit von stetigen Zufallsvariablen . . . . .	275
	Exponentialverteilung . . . . .	279
6.2	Lageparameter, Quantile und Varianz von stetigen Zufallsvariablen . . . . .	282
	Erwartungswert . . . . .	282
	Modus . . . . .	286
	Median und Quantile . . . . .	286
	Varianz . . . . .	288
	Standardisierung von Zufallsvariablen . . . . .	291
	Symmetrie und Schiefe . . . . .	291
6.3	Spezielle stetige Verteilungsmodelle . . . . .	293
6.3.1	Die Normalverteilung . . . . .	293
	Quantile . . . . .	296
6.3.2	Die logarithmische Normalverteilung . . . . .	301
6.3.3	Chi-Quadrat-, Student- und Fisher-Verteilung . . . . .	301
	Die Chi-Quadrat-Verteilung . . . . .	302
	Die Student-Verteilung . . . . .	303
	Die Fisher-Verteilung . . . . .	305
6.4	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	307
6.5	Aufgaben . . . . .	308

<b>7</b>	<b>Mehr über Zufallsvariablen und Verteilungen</b>	<b>311</b>
7.1	Gesetz der großen Zahlen und Grenzwertsätze . . . . .	311
7.1.1	Das Gesetz der großen Zahlen und der Hauptsatz der Statistik . . . . .	313
7.1.2	Der zentrale Grenzwertsatz . . . . .	315
7.2	Approximation von Verteilungen . . . . .	318
*7.3	Zufallszahlen und Simulation . . . . .	321
*7.4	Einige Ergänzungen . . . . .	324
7.4.1	Zufallsvariablen als Abbildungen . . . . .	324
7.4.2	Verteilungsfunktion und ihre Eigenschaften . . . . .	326
7.4.3	Ungleichung von Tschebyscheff . . . . .	328
7.4.4	Maßzahlen für Schiefe und Wölbung . . . . .	330
7.5	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	331
7.6	Aufgaben . . . . .	332
<b>8</b>	<b>Mehrdimensionale Zufallsvariablen</b>	<b>335</b>
8.1	Begriff mehrdimensionaler Zufallsvariablen . . . . .	335
8.2	Zweidimensionale diskrete Zufallsvariablen . . . . .	338
8.3	Zweidimensionale stetige Zufallsvariablen . . . . .	344
8.4	Unabhängigkeit von Zufallsvariablen . . . . .	346
8.5	Kovarianz und Korrelation . . . . .	349
8.6	Die zweidimensionale Normalverteilung . . . . .	357
8.7	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	361
8.8	Aufgaben . . . . .	361
<b>9</b>	<b>Parameterschätzung</b>	<b>363</b>
9.1	Punktschätzung . . . . .	364
9.2	Eigenschaften von Schätzstatistiken . . . . .	366
9.2.1	Erwartungstreue . . . . .	367
9.2.2	Erwartete mittlere quadratische Abweichung und Konsistenz . . . . .	370
9.2.3	Wirksamste Schätzstatistiken . . . . .	374
9.3	Konstruktion von Schätzfunktionen . . . . .	376
9.3.1	Maximum Likelihood-Schätzung . . . . .	376
9.3.2	Kleinste-Quadrate-Schätzung . . . . .	379
9.3.3	Bayes-Schätzung . . . . .	380
9.4	Intervallschätzung . . . . .	385
9.4.1	Konfidenzintervalle für Erwartungswert und Varianz . . . . .	387
9.4.2	Konfidenzintervalle für den Anteilswert . . . . .	392
9.5	Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	393
9.6	Aufgaben . . . . .	394

<b>10 Testen von Hypothesen</b>	<b>397</b>
10.1 Der Binomial- und der Gauß-Test . . . . .	397
10.1.1 Der exakte Binomialtest . . . . .	401
10.1.2 Der approximative Binomialtest . . . . .	404
10.1.3 Der Gauß-Test . . . . .	408
10.2 Prinzipien des Testens . . . . .	411
10.2.1 Fehlentscheidungen . . . . .	415
10.2.2 Statistische Tests und Konfidenzintervalle . . . . .	418
10.2.3 Überschreitungswahrscheinlichkeit . . . . .	419
10.2.4 Gütefunktion . . . . .	420
*Multiple Testprobleme . . . . .	427
10.3 Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	428
10.4 Aufgaben . . . . .	430
<b>11 Spezielle Testprobleme</b>	<b>433</b>
11.1 Ein-Stichproben-Fall . . . . .	435
11.1.1 Tests zu Lagealternativen . . . . .	435
11.1.2 Anpassungstests . . . . .	445
11.2 Vergleiche aus unabhängigen Stichproben . . . . .	454
11.2.1 Tests zu Lagealternativen . . . . .	455
11.2.2 $\chi^2$ -Homogenitätstest . . . . .	462
11.3 Vergleiche aus verbundenen Stichproben . . . . .	465
11.4 Zusammenhangsanalyse . . . . .	466
11.4.1 $\chi^2$ -Unabhängigkeitstest . . . . .	467
11.4.2 Korrelation bei metrischen Merkmalen . . . . .	469
11.5 Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	471
11.6 Aufgaben . . . . .	472
<b>12 Regressionsanalyse</b>	<b>475</b>
12.1 Lineare Einfachregression . . . . .	476
12.1.1 Das Modell der linearen Einfachregression . . . . .	476
12.1.2 Schätzen, Testen und Prognose . . . . .	480
Schätzen . . . . .	480
Testen . . . . .	485
Prognose . . . . .	488
12.1.3 Residualanalyse . . . . .	490
12.2 Multiple lineare Regression . . . . .	493
12.2.1 Das multiple lineare Regressionsmodell . . . . .	494
12.2.2 Schätzen, Testen und Prognose . . . . .	496
Schätzen . . . . .	496

Testen . . . . .	499
Prognose . . . . .	502
*12.2.3 Multiple lineare Regression in Matrixnotation . . . . .	503
12.3 Binäre Regression . . . . .	506
*12.4 Nichtlineare und nichtparametrische Regression . . . . .	508
12.5 Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	513
12.6 Aufgaben . . . . .	514
<b>13 Varianzanalyse</b>	<b>517</b>
13.1 Einfaktorielle Varianzanalyse . . . . .	519
Modellformulierung (I) . . . . .	520
Modellformulierung (II) . . . . .	521
13.2 Zweifaktorielle Varianzanalyse mit festen Effekten . . . . .	528
Modellformulierung (I) . . . . .	530
Modellformulierung (II) . . . . .	531
13.3 Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	542
13.4 Aufgaben . . . . .	543
<b>14 Zeitreihen</b>	<b>547</b>
14.1 Indizes . . . . .	550
14.2 Komponentenmodelle . . . . .	553
14.3 Globale Regressionsansätze . . . . .	555
14.3.1 Trendbestimmung . . . . .	556
14.3.2 Bestimmung der Saisonkomponente . . . . .	557
14.4 Lokale Ansätze . . . . .	559
14.4.1 Trendbestimmung . . . . .	560
Gleitende Durchschnitte . . . . .	560
Lokale Regression . . . . .	561
*Spline-Glättung . . . . .	563
14.4.2 Bestimmung der Saisonkomponente . . . . .	566
Gleitende Durchschnitte und lokale Regression . . . . .	566
*Spline-Glättung . . . . .	568
14.5 Zusammenfassung und Bemerkungen . . . . .	569
14.6 Aufgaben . . . . .	569

<b>Tabellen</b>	<b>573</b>
A Standardnormalverteilung . . . . .	573
B Binomialverteilung . . . . .	574
C $\chi^2$ -Verteilung . . . . .	583
D Students <i>t</i> -Verteilung . . . . .	584
E <i>F</i> -Verteilung . . . . .	585
F Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test . . . . .	590
G Wilcoxon-Rangsummen-Test . . . . .	591
<b>Literatur</b>	<b>593</b>
<b>Verzeichnis der Beispiele</b>	<b>597</b>
<b>Sachregister</b>	<b>603</b>