Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	viii
Verzeichnis der Übersichten	xxi
Abbildungsverzeichnis	xxiv
Tabellenverzeichnis	xxix
1 Grundlagen zur Planung	1
1.1 Definition und Aufgaben der Statistik	1
1.2 Wissenschaftliche Arbeitstechnik	4
1.2.1 Daten und Modelle	4
1.2.2 Kreisprozesse	5
1.2.3 Modelle in der Statistik	7
1.3 Statistik und wissenschaftliche Methode	9
1.3.1 Wiederholbare Erfahrungen	9
1.3.2 Inferenz: Deduktion und Induktion	10
1.3.3 Beobachtungsstudien	11
1.3.3.1 Hinweise zu einer Befragung	12
1.3.3.2 Hinweise zu einer Erhebung	13
1.3.4 Systematische Fehler (Bias)	14
1.3.5 Fehlende Angaben	15
1.3.6 Deskriptiver Ansatz	16
1.3.6.1 Merkmale und Dimensionalität	17
1.3.6.2 Data Editing	17
1.3.7 Explorativer Ansatz	18
1.3.8 Konfirmativer Ansatz	19
1.3.9 Grundgesamtheit und Stichprobe	20
1.3.9.1 Offene und geschlossene Grundgesamtheiten	21
1.3.10 Stichproben	21
1.3.11 Zufallsstichproben	22
1.4 Datenanalyse	23
1.4.1 Merkmalsarten	23

1.4.2	Von Beobachtungen zu Daten - Skalierung	24
1.4.2.1	Zulässige Skalentransformationen	26
1.4.3	Datenstruktur, Datengewinnung und Datenerfassung	28
2	Grundlagen aus der Mathematik	31
2.1	Logische und relationale Operatoren	31
2.2	Mengen	32
2.2.1	Begriffsbildung	32
2.2.2	Mengenoperationen	33
2.3	(Grund-) Rechenarten	35
2.3.1	Summen und Produkte	35
2.3.1.1	Das Summenzeichen	35
2.3.1.2	Spezielle Summen	38
2.3.1.3	Multiplikation und Division; Fakultät	39
2.3.2	Potenzen und Wurzeln	40
2.3.3	Logarithmen	42
2.3.4	Rundungen	43
2.3.5	Rechnen mit fehlerbehafteten Zahlen	45
2.4	Einführung in die Matrixalgebra	46
2.4.1	Definition und Schreibweise	46
2.4.2	Matrixoperationen	47
2.4.2.1	Matrixaddition und -subtraktion	47
2.4.2.2	Matrixmultiplikation	48
2.4.3	Determinanten	50
2.4.4	Die Inverse Matrix	51
2.4.5	Lineare Abhängigkeit, Rang einer Matrix	51
2.4.6	Lineare Gleichungssysteme	52
2.4.7	Eigenwerte und Eigenvektoren	53
2.5	Funktionen	54
2.5.1	Lineare Funktionen	54
2.5.2	Nichtlineare Funktionen	55
2.5.2.1	Polynomfunktionen	55
2.5.3	Periodische Funktionen	56
2.5.4	Exponentialfunktion und logarithmische Funktion	57
2.5.4.1	Wachstumsfunktionen	58
2.5.5	Fläche unter einer Funktion: Integral	59
2.6	Kombinatorik	61
2.6.1	Permutationen	61
2.6.2	Binomialkoeffizient	62
2.6.2.1	Rechnen mit dem Binomialkoeffizienten - weitere Formeln	63
2.6.3	Kombinationen	64
2.6.4	Zerlegung einer Menge	66
2.6.5	Bootstrap-Stichproben	67
2.6.6	Das Pascalsche Dreieck	67
2.6.7	Der Multinomialkoeffizient	69
3	Deskriptive Statistik	70
3.1	Häufigkeiten	71
3.1.1	Absolute und relative Häufigkeiten	71
3.1.2	Sinnvolle Quotienten: Verhältniszahlen	73
3.1.3	Prozentwerte	75
3.1.4	Balken- und Kreisdiagramme	76

3.1.5	Tabellen	77
3.1.5.1	Rechteckdiagramm und Mosaikplot	78
3.1.6	Bedingte Häufigkeiten	78
3.1.6.1	Simpson's Paradox (Vergleich von Anteilswerten)	79
3.1.6.2	Assoziationsmaße für Kontingenztafeln	79
3.2	Beschreibung von Ordinaldaten	81
3.2.1	Medianwert und andere Quantile	82
3.2.2	Klassierte Beobachtungen: Berechnung von Quantilen	84
3.2.3	Streuung ordinal skalierten Daten	85
3.2.4	Punktdiagramm und Box-Plot	85
3.2.5	Korrelationskoeffizient nach Kendall	87
3.2.6	Partielle Rangkorrelation	89
3.3	Beschreibung von metrischen Daten	92
3.3.1	Arithmetischer Mittelwert	92
3.3.2	Standardabweichung, Varianz	94
3.3.3	Ergänzung und Kombination von Mittelwerten und Varianzen	96
3.3.4	Variationskoeffizient	97
3.3.5	Der Streubereich um den Mittelwert	97
3.3.6	Mittelwert und Standardabweichung aus klassierten Messwerten	98
3.3.7	Das gewogene arithmetische Mittel und die gewogene Varianz	98
3.3.8	Geometrischer Mittelwert	100
3.3.9	Harmonischer Mittelwert	104
3.4	Fehlerrechnung	107
3.4.1	Fehler in Messungen; Präzision und Richtigkeit	107
3.4.2	Standardfehler von Mehrfachbestimmungen	109
3.4.3	Fehlerfortpflanzung	110
3.4.4	Präzision von Messungen	111
3.5	Häufigkeitsverteilung	114
3.5.1	Histogramm	114
3.5.2	Pareto-Diagramm	117
3.6	Konzentrationsmaße: Herfindahl-Index und Gini-Koeffizient	119
3.7	Maßzahlen für den Zusammenhang metrischer Daten	121
3.7.1	Typisierung korrelativer Zusammenhänge	121
3.7.2	Punktwolken	124
3.7.3	Empirische Kovarianz	125
3.7.4	Empirischer Korrelationskoeffizient	125
3.7.5	Autokorrelation	128
3.7.6	Reliabilitätsanalyse	130
3.7.7	Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman	132
3.7.8	Partieller Korrelationskoeffizient	133
3.7.9	Lineare Regression	135
3.7.10	Spezielle Schätzungen der Regressionsgeraden	138
3.7.10.1	Das Bartlett-Verfahren	139
3.7.10.2	Das Kerrich-Verfahren	140
3.7.10.3	Orthogonale kleinste Quadrate	140
3.7.11	Robuste lineare Regression	141
3.7.12	Nichtlineare Regression	144
3.7.12.1	Einige linearisierende Transformationen	150
3.8	Nichtparametrische Regression	153
3.8.1	Regressogramm, gleitende Mittelwerte und Kernschätzer	153
3.8.2	Kubische Spline-Interpolation	155

4	Wahrscheinlichkeiten	158
4.1	Zufallsexperiment, Ereignis	159
4.2	Begriff der Wahrscheinlichkeit	162
4.2.1	Definition nach Laplace	162
4.2.1.1	Relative Häufigkeit und Wahrscheinlichkeit	163
4.2.1.2	Chancen (Odds)	164
4.2.2	Axiome nach Kolmogoroff	165
4.2.3	Additionssatz	166
4.2.3.1	Einschluss- und Ausschlussformel (Siebformel)	167
4.2.4	Paradoxon der ersten Ziffer (Benford's Law)	170
4.3	Bedingte Wahrscheinlichkeiten, stochastische Unabhängigkeit	171
4.3.1	Bedingte Wahrscheinlichkeit	171
4.3.1.1	Multiplikationssatz	171
4.3.1.2	Risikomaße [wird durch Abschnitt 7.7.3 ergänzt]	173
4.3.1.3	Wahrscheinlichkeiten aus einer Sterbetafel	174
4.3.1.4	Baumdiagramm und Pfadregeln	175
4.3.2	Stochastische Unabhängigkeit	176
4.3.2.1	Stochastische Unabhängigkeit für drei und mehr Ereignisse	178
4.3.2.2	Unvereinbarkeit und stochastische Unabhängigkeit	179
4.3.2.3	Ungleichungen nach Bonferroni	179
4.3.2.4	Bedingte Wahrscheinlichkeiten und Korrelation	180
4.3.2.5	Dreizehn Beispiele zur stochastischen Unabhängigkeit	180
4.4	Bayessches Theorem	184
4.4.1	Bayessches Theorem und Pfadregel	186
4.4.2	Acht Beispiele zum Bayesschen Theorem	187
4.5	Der diagnostische Test	189
4.5.1	ROC - Analyse	194
4.5.2	Der Likelihoodquotient	196
4.5.3	Entscheidungsanalyse nach A.J. Vickers	198
4.6	Maßzahlen in der Epidemiologie	199
4.6.1	Prävalenz und Inzidenz	200
4.6.2	Der Impfeffekt	202
4.6.3	Standardisierte Raten am Beispiel der Mortalität	203
5	Zufallsvariablen, Verteilungen	206
5.1	Die Zufallsvariable	206
5.1.1	Wahrscheinlichkeitsfunktion, Wahrscheinlichkeitsdichte und Verteilungsfunktion	207
5.1.1.1	Rechenregeln zur Verteilungsfunktion	211
5.1.1.2	Empirische Verteilungsfunktion	212
5.2	Maßzahlen zur Kennzeichnung einer Verteilung	212
5.2.1	Erwartungswert	213
5.2.2	Varianz	215
5.2.2.1	Ungleichungen mit Wahrscheinlichkeiten	217
5.2.3	Momente: Schiefe und Exzess	219
5.2.3.1	Berechnung der empirischen Momente	220
5.2.3.2	Potenzmomente	221
5.2.3.3	Quantilmaße zu Schiefe und Exzess	225
5.3	Diskrete Verteilungen	226
5.3.1	Das Urnenmodell	226
5.3.2	Gleichverteilung	228
5.3.3	Binomialverteilung	229

5.3.3.1	Bernoulli-Versuch	229
5.3.3.2	Binomial-Verteilung	230
5.3.3.3	Approximation der Binomialverteilung durch die Standardnormalverteilung	237
5.3.3.4	Approximation der Binomialverteilung durch die Poisson-Verteilung	239
5.3.4	Multinomialverteilung (Polynomialverteilung)	240
5.3.5	Poisson-Verteilung	242
5.3.5.1	Der Dispersionsindex	248
5.3.5.2	Approximation der Poissonverteilung durch die Standardnormalverteilung	250
5.3.6	Negative Binomialverteilung	251
5.3.7	Geometrische Verteilung	255
5.3.8	Hypergeometrische Verteilung	257
5.3.8.1	Approximationen der Hypergeometrischen Verteilung	261
5.3.9	Negative Hypergeometrische Verteilung	261
5.4	Stetige Verteilungen	263
5.4.1	Gleichverteilung	263
5.4.2	Standard-Beta-Verteilung	264
5.4.3	Normalverteilung	269
5.4.3.1	Zentrale Schwankungsintervalle der Standardnormalverteilung ..	274
5.4.3.2	Hinweise und Beispiele zur Normalverteilung	276
5.4.3.3	Zentraler Grenzwertsatz	281
5.4.4	Halbnormalverteilung	282
5.4.5	Gestutzte Normalverteilung	285
5.4.6	Lognormalverteilung	287
5.4.6.1	Schätzung der Maßzahlen einer Lognormalverteilung	290
5.4.6.2	Empirische Maßzahlen einer Lognormalverteilung	291
5.4.7	Exponentialverteilung	293
5.4.8	Weibull-Verteilung	295
5.4.9	Extremwertverteilung Typ I (Gumbel-Verteilung)	297
5.4.10	Gamma-Verteilung	300
5.5	Testverteilungen	303
5.5.1	Student-Verteilung (t-Verteilung)	303
5.5.1.1	Nichtzentrale t-Verteilung	307
5.5.2	Chiquadrat-Verteilung	308
5.5.2.1	Nichtzentrale Chiquadrat-Verteilung	311
5.5.3	Fisher-Verteilung (F-Verteilung)	312
5.5.4	Interpolation von Tabellenwerten und P-Werten	314
5.5.4.1	Interpolieren von Zwischenwerten der F -Verteilung	318
5.6	Verteilung zweidimensionaler Zufallsvariablen	321
5.6.1	Modellbildung	321
5.6.1.1	Einführendes Beispiel	321
5.6.1.2	Verteilungsfunktion	321
5.6.2	Randverteilungen und Unabhängigkeit	323
5.6.2.1	Bedingte Verteilung und Unabhängigkeit	325
5.6.2.2	Satz von Bayes für Zufallsvariablen	326
5.6.3	Korrelationskoeffizient	327
5.6.4	Zweidimensionale Normalverteilung	328

6	Schätzen	330
6.1	Stichproben-Erhebung	330
6.2	Zufallsstichproben und Zufallszahlen	331
6.2.1	Spezielle Stichprobenverfahren	336
6.3	Das Schätzen von Parametern	339
6.3.1	Vorbemerkungen	340
6.3.1.1	Der Schluss von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit	340
6.3.1.2	Punktschätzung und Intervallschätzung	340
6.3.1.3	Schätzwert und Schätzfunktion	341
6.3.2	Wünschenswerte Eigenschaften von Schätzfunktionen	341
6.3.2.1	Unverzerrte Schätzfunktion für die Varianz	342
6.3.3	Gesetz der großen Zahlen	343
6.3.4	Der mittlere quadratische Fehler	343
6.4	Schätzverfahren für Maßzahlen einer Verteilung	345
6.4.1	Momentenmethode	345
6.4.2	Schätzung nach der größten Erwartung (MLE)	346
6.4.2.1	ML-Schätzer zur Binomialverteilung	348
6.4.2.2	ML-Schätzer zur Negativen Binomialverteilung	348
6.4.2.3	ML-Schätzer zur Poisson-Verteilung	350
6.4.2.4	ML-Schätzer zur Normalverteilung	351
6.4.2.5	ML-Schätzer zur gestutzten Normalverteilung	352
6.4.3	Schätzung nach dem kleinsten Fehler (OLS)	353
6.5	Intervallschätzung - Konfidenzintervalle	354
6.6	Konfidenzintervall für Anteilswerte	357
6.6.1	Approximation durch die Normalverteilung	361
6.6.2	Nullergebnisse bzw. Vollergebnisse	363
6.6.3	Schnellschätzung der Vertrauensgrenzen anhand einer beobachteten relativen Häufigkeit nach Clopper und Pearson	364
6.6.4	Konfidenzintervall für die Differenz zweier Anteile	365
6.6.5	Konfidenzintervall für das Verhältnis zweier Anteile	367
6.6.6	Mindestumfang einer Stichprobe zur Schätzung eines Anteils	369
6.6.7	Simultane Konfidenzintervalle für multinomiale Anteile	372
6.7	Konfidenzintervalle für den Erwartungswert einer Poisson-Verteilung	373
6.7.1	Zentrale („exakte“) Konfidenzintervalle für den Erwartungswert	374
6.7.2	Nicht-zentrale (kürzeste) Konfidenzintervalle nach Crow und Gardner	375
6.7.3	Konfidenzintervall für das Verhältnis zweier Raten (Poisson-Verteilung)	377
6.7.4	Konfidenzintervalle für standardisierte Raten	378
6.8	Konfidenzintervalle für den Erwartungswert bei Normalverteilung	381
6.8.1	Vertrauenswahrscheinlichkeit und Irrtumswahrscheinlichkeit	381
6.8.2	Konfidenzintervall für den Erwartungswert einer Normalverteilung	383
6.8.3	Konfidenzintervall für die Differenz zweier Erwartungswerte	386
6.8.4	Konfidenzintervall für den Erwartungswert aus Paardifferenzen	387
6.8.5	Konfidenzintervall für das Verhältnis zweier Erwartungswerte	388
6.8.6	Konfidenzintervall für Verhältniszahlen	389
6.8.7	Konfidenzintervall für den Erwartungswert einer Lognormalverteilung	390
6.9	Konfidenzintervalle für die mittlere absolute Abweichung	391
6.10	Konfidenzintervalle für den Median	392
6.10.1	Konfidenzintervalle für die Differenz und den Quotienten von Medianen	396
6.10.2	Verteilungsunabhängige Konfidenzintervalle für beliebige Quantile	398
6.10.3	90%-Konfidenzintervalle für Referenzwerte	399
6.11	Konfidenzintervalle nach dem Bootstrap-Verfahren	402

6.12	Konfidenzintervalle für die Varianz bzw. die Standardabweichung	405
6.12.1	Konfidenzintervalle für den Variationskoeffizienten	408
6.12.2	Konfidenzintervalle für den Quotienten zweier Varianzen	409
6.13	Weibull-Verteilung	410
6.13.1	Bestimmung der Parameter	410
6.13.2	Konfidenzintervall für die Weibull-Gerade	412
6.14	Konfidenzintervalle für die Parameter einer linearen Regression	413
6.14.1	Die Schätzung einiger Standardabweichungen	413
6.14.2	Konfidenzintervalle für den Regressionskoeffizienten, für den Achsenabschnitt und für die Restvarianz	417
6.14.3	Konfidenzintervalle und Prädiktionsintervalle für die Regressionsgerade	419
6.14.4	Inverse Prädiktion aus einer linearen Regression	422
6.15	Konfidenzintervall für den Korrelationskoeffizienten nach Pearson	423
6.16	Übereinstimmung und Präzision von Messwerten	425
6.16.1	Übereinstimmung von Messwertreihen nach Bland-Altman	425
6.16.2	Regressionsverfahren zur Übereinstimmung zweier Messwertreihen	428
6.16.3	Vergleich der Präzision und der Genauigkeit zweier Messwertreihen	431
6.16.4	Der Konkordanz-Korrelationskoeffizient nach Lin	432
6.16.5	Intraklassen-Korrelation: Interrater-Reliabilität	434
6.17	Toleranzgrenzen	437
6.17.1	Verteilungsunabhängige Toleranzgrenzen	439
6.18	Voraussageintervalle (Prädiktionsintervalle)	441
6.18.1	Voraussageintervalle für den Mittelwert aus künftigen Beobachtungen	441
6.18.2	Voraussageintervalle für alle künftigen Beobachtungen	442
6.18.3	Voraussageintervalle für die Standardabweichung aus künftigen Beobachtungen	443
6.19	Bayes-Schätzung	444
6.19.1	A-priori Verteilungen (Prior)	447
6.19.2	Parameterschätzung nach Bayes	449
7	Hypothesentest	454
7.1	Der statistische Test	454
7.1.1	Entscheidungsprinzipien	455
7.1.2	Statistische Hypothesen und Testentscheidungen	456
7.1.3	Die Formulierung von Hypothesen	460
7.1.3.1	Alternativhypothese als Gegensatz zur Nullhypothese	460
7.1.3.2	Durch Daten angeregte Hypothesen	460
7.1.4	Der P -Wert nach R.A. Fisher	461
7.1.5	Wie oft wird eine wahre Nullhypothese abgelehnt?	463
7.1.6	Statistischer Test - Schritt für Schritt	464
7.1.6.1	Der Likelihood-Quotient; das Neyman-Pearson Lemma	467
7.1.7	Powerfunktion und Operationscharakteristik	469
7.1.8	Die Operationscharakteristik	474
7.1.8.1	Die OC-Kurve in der Qualitätskontrolle	474
7.1.9	Test auf Überlegenheit, Äquivalenz und Nichtunterlegenheit	477
7.1.10	Verteilungsunabhängige Verfahren	478
7.2	Tests der Verteilung (Anpassungstests, goodness-of-fit)	481
7.2.1	Der Quotient R/s	483
7.2.2	Überprüfung des 3. und 4. Momentes	484
7.2.3	Der Quantile-Quantile Plot	486
7.2.4	Box-Cox-Transformation	488
7.2.5	Der Chiquadrat-Anpassungstest	490

7.2.6	Kolmogoroff-Smirnoff Anpassungstest	494
7.2.6.1	Anpassung an eine Poisson-Verteilung	497
7.2.7	Shapiro-Wilk Test	498
7.2.8	Anderson-Darling Test	499
7.2.9	Ausreißerproblem	500
7.2.9.1	Grubbs-Test für Ausreißer	502
7.2.9.2	Q-Test nach Dixon für kleine Stichproben	503
7.2.9.3	Standardisierte Extremabweichungen	504
7.3	Einstichprobenverfahren	505
7.3.1	Hypothesen zu Wahrscheinlichkeiten	505
7.3.1.1	Binomialtest	505
7.3.1.2	Binomialtest - Approximation durch die Normalverteilung	507
7.3.1.3	Binomialtest - Fallzahlabstschätzung	509
7.3.1.4	Binomialtest: Likelihood-Quotienten-Test	511
7.3.2	Hypothesen zu Erwartungswerten, die sich auf einen empirischen Mittelwert beziehen	513
7.3.2.1	Einstichproben-t-Test	513
7.3.2.2	Fallzahlabstschätzung zum Einstichproben-t-Test	515
7.3.2.3	Einstichprobentest auf Äquivalenz	517
7.3.3	Einstichproben-Median-Test	518
7.3.4	Vergleich einer empirischen Varianz mit ihrem Parameter	520
7.3.5	Asymptotischer Test für den Variationskoeffizienten	521
7.3.6	Prüfung der Zufallsmäßigkeit einer Folge von Alternativdaten oder von Messwerten	522
7.3.6.1	Die sukzessive Differenzenstreuung	522
7.3.6.2	Der Iterationstest für die Prüfung, ob eine Folge von Alternativdaten oder von Messwerten zufallsgemäß ist	523
7.3.6.3	Phasenhäufigkeitstest von Wallis und Moore	526
7.3.6.4	Der Vorzeichen-Trendtest von Cox und Stuart	527
7.3.6.5	Variabilität der zentralen Tendenz	528
7.3.7	Prüfung der Erwartungswerte von Poisson-Verteilungen	529
7.3.7.1	Fallzahl und Power zum Einstichproben-Lambda-Test	531
7.3.7.2	Stichprobenumfang zur Prüfung einer Defektrate	532
7.4	Zweistichprobenverfahren	533
7.4.1	Vergleich zweier Varianzen (F-Test)	533
7.4.1.1	Varianzvergleich bei kleinem bis mittlerem Stichprobenumfang	534
7.4.1.2	Varianzvergleich bei mittlerem bis großem Stichprobenumfang	535
7.4.1.3	Varianzvergleich bei großem bis sehr großem Stichprobenumfang	536
7.4.1.4	Stichprobenumfang und Power für den F-Test	536
7.4.1.5	Vergleich der Streuung zweier kleiner Stichproben nach Pillai und Buenaventura	537
7.4.1.6	Vergleich zweier Variationskoeffizienten	537
7.4.2	Rangdispersionstest von Siegel und Tukey	540
7.4.3	Ansari-Bradley Test	544
7.4.4	t-Test für unabhängige Stichproben	546
7.4.4.1	Unbekannte aber gleiche Varianzen	546
7.4.4.2	t-Test bei unbekanntem Varianzen, die möglicherweise ungleich sind	551
7.4.4.3	Fallzahlabstschätzung für den t-Test: zwei unabhängige Stichproben	553
7.4.4.4	Bootstrap: t-Test Variante	558

7.4.4.5	Multivariater t -Test: Hotelling's T^2	559
7.4.5	t -Test für Paardifferenzen	561
7.4.5.1	Gepaarte Beobachtungen	561
7.4.5.2	Absolute oder prozentuale Veränderungen	562
7.4.5.3	t -Test für paarweise angeordnete Messwerte	563
7.4.5.4	Prüfung der Gleichheit zweier Varianzen paariger Stichproben ..	565
7.4.6	Wilcoxon-Rangsummentest für zwei unabhängige Stichproben (U-Test) .	566
7.4.6.1	Der U -Test bei Rangaufteilung	574
7.4.6.2	Effektstärke im Vergleich unabhängiger Stichproben	576
7.4.6.3	Fallzahlabschätzung für den U -Test	579
7.4.7	Wilcoxon-Paardifferenzentest	581
7.4.7.1	Konfidenzintervall für den Median aus Paardifferenzen	585
7.4.7.2	Der Maximum-Test für Paardifferenzen	585
7.4.7.3	Der Vorzeichentest von Dixon und Mood	586
7.4.7.4	Stichprobenumfang für den Vorzeichentest / Wilcoxon-Test für Paardifferenzen	588
7.4.8	Vergleich zweier Erwartungswerte aus Poisson-Verteilungen	589
7.4.9	Vergleich zweier unabhängiger Stichproben nach Kolmogoroff/Smirnov .	592
7.4.9.1	Cramér-von Mises Test	595
7.4.10	Einige weitere verteilungsunabhängige Verfahren für den Vergleich unabhängiger Stichproben	597
7.4.10.1	Der Zwei-Stichproben Dispersionstest: Count Five	597
7.4.10.2	Rosenbaumsche Schnelltests	598
7.4.10.3	Permutationstest, Randomisierungstest	599
7.4.10.4	Der Vergleich zweier unabhängiger Stichproben: Schnelltest nach Tukey	603
7.4.10.5	Der Median-Test	604
7.4.11	Zweistichprobentest auf Äquivalenz	606
7.4.11.1	Test auf Bioäquivalenz	607
7.5	Mehrfacher Hypothesentest	609
7.5.1	Multiples Testproblem	609
7.5.2	Adjustierung von P -Werten	612
7.5.3	Kombination von P -Werten aus gleichgerichteten einseitigen Tests	617
7.6	Mehrstichprobenverfahren, varianzanalytische Methoden	619
7.6.1	Prüfung der Gleichheit mehrerer Varianzen aus normalverteilten Grundgesamtheiten	619
7.6.1.1	Prüfung der Gleichheit mehrerer Varianzen nach Hartley	619
7.6.1.2	Prüfung der Gleichheit mehrerer Varianzen nach Cochran	621
7.6.1.3	Prüfung der Gleichheit mehrerer Varianzen nach Bartlett	622
7.6.1.4	Robuster Test auf Varianzhomogenität nach Levene in der Brown-Forsythe-Version	624
7.6.2	Transformation zur Stabilisierung der Varianz	625
7.6.3	Einfache Varianzanalyse (ANOVA, analysis of variance)	627
7.6.3.1	Permutationstest zur Varianzanalyse	631
7.6.3.2	Stichprobenumfänge und Power für den varianzanalytischen Mittelwertvergleich	632
7.6.4	Multiple paarweise Vergleiche und weitere Mittelwertvergleiche	634
7.6.4.1	Multiple Vergleiche nach Tukey-Kramer	634
7.6.4.2	Multiple Vergleiche nach Games-Howell	637
7.6.4.3	Multiple Vergleiche mit einer Kontrolle nach Dunnett	639
7.6.4.4	Multiple Vergleiche: Auswahl des „Besten“ nach Hsu	641

7.6.4.5	Bereichsschätzung für μ_{max} und Auswahl der „besten“ $\bar{x}_i$	644
7.6.4.6	Multipler Vergleich von Mittelwerten mit dem Gesamtmittel: Maximum-Modulus-Ansatz	644
7.6.4.7	Beurteilung linearer Kontraste nach Scheffé	646
7.6.4.8	Bildung homogener Gruppen von Mittelwerten anhand des nach Hayter modifizierten LSD-Tests, eines Lücken-Tests für geordnete μ_i	650
7.6.5	H-Test von Kruskal und Wallis	651
7.6.5.1	Multiple paarweise Vergleiche mittlerer Ränge	654
7.6.5.2	H -Test mit Stichproben-Untergruppen	658
7.6.5.3	H-Test-Variante: Vergleich eines Standards mit mehreren Behandlungen	659
7.6.5.4	Trendtest nach Jonckheere: Vergleich mehrerer geordneter Verteilungsfunktionen, zugleich ein Trendtest für Mediane	660
7.6.6	Varianzanalyse für Messwiederholungen (Blockvarianzanalyse)	663
7.6.7	Friedman-Test	665
7.6.7.1	Multiple paarweise Vergleiche mit einer Kontrolle	668
7.6.7.2	Multiple paarweise Vergleiche nach Wilcoxon und Wilcox	670
7.6.7.3	Page-Test für geordnete Alternativen	673
7.6.7.4	Spannweitenrangtest nach Quade	675
7.6.8	Zweifache Varianzanalyse	677
7.6.9	Analyse von wiederholten Messungen	682
7.6.9.1	Typisierung wiederholter Messungen	682
7.6.9.2	ANOVA für wiederholte Messungen (gemischte Modelle)	686
7.6.10	Prinzipien der Versuchsplanung	687
7.7	Die Analyse von Häufigkeiten	694
7.7.1	Vergleich zweier relativer Häufigkeiten	695
7.7.2	Analyse von Vierfeldertafeln	698
7.7.2.1	Fallzahl und Power zum Vierfeldertest	703
7.7.2.2	Minimales n für den Vierfeldertest	705
7.7.2.3	Vorsicht vor Trugschlüssen beim Vierfeldertest	706
7.7.3	Spezielle Risiko- und Effektmaße	707
7.7.3.1	Odds Ratio und relatives Risiko	707
7.7.3.2	Konfidenzintervalle für das Relative Risiko ψ und für die Odds Ratio ω	710
7.7.3.3	Stichprobenumfänge für die Schätzung von Odds Ratio ω und Relativem Risiko ψ	712
7.7.3.4	Der expositionsbedingte Anteil Erkrankter: Population Attributable Risk	717
7.7.3.5	Number Needed to Treat (NNT)	719
7.7.4	Exakter Test nach R.A. Fisher	721
7.7.5	Äquivalenz zweier Binomialwahrscheinlichkeiten	724
7.7.6	Der von McNemar modifizierte Vorzeichentest	727
7.7.7	Test nach Mantel-Haenszel	732
7.7.7.1	Breslow-Day-Test	734
7.7.7.2	Die Kombination von Vierfeldertafeln	737
7.7.8	Der $k \times 2$ -Felder-Chiquadrat-Test nach Brandt und Snedecor	739
7.7.8.1	Multipler Vergleich von Anteilen (Marascuilo-Prozedur)	743
7.7.8.2	Homogenitätstest nach Ryan (Lückentest)	745
7.7.8.3	Power- und Fallzahlab-schätzung zum $k \cdot 2$ -Felder-Test	746
7.7.9	Cochran-Armitage Test auf linearen Trend	747

7.7.10	Vergleich mehrerer Anteile mit einem vorgegebenen Anteilswert (Standard)	751
7.7.11	Die Analyse von Kontingenztafeln	753
7.7.11.1	Kontingenzkoeffizient - Stärke des Zusammenhangs	761
7.7.11.2	Fallzahl und Power für die Analyse von Kontingenztafeln	763
7.7.11.3	Lokalisation der stochastischen Abhängigkeit nach Hommel	764
7.7.11.4	Simultane Paarvergleiche nach Royen	765
7.7.12	Bowker-Test auf Symmetrie in quadratischen Mehrfeldertafeln	769
7.7.13	Marginalhomogenitätstest nach Lehmacher	770
7.7.14	Stuart-Maxwell-Test auf Homogenität der Randverteilungen	771
7.7.15	Q-Test nach Cochran	773
7.7.15.1	Simultane Konfidenzintervalle für paarweise Differenzen von Erfolgsanteilen	775
7.7.16	Cohen's Kappa-Koeffizient κ	776
7.7.16.1	Das gewichtete Kappa	779
7.7.16.2	Das Kappa für mehrfache Beurteilungen (Multi-Rater)	781
7.7.17	Krippendorff's Alpha	783
7.7.18	Kendall's Konkordanzkoeffizient W	784
7.8	Hypothesentests zur Korrelation und Regression	786
7.8.1	Hypothesentest zum Korrelationskoeffizienten (Pearson)	787
7.8.1.1	z -Transformation nach R.A. Fisher	791
7.8.1.2	Korrelation bei Mehrfachbeobachtungen	794
7.8.1.3	Fallzahl und Power zum Korrelationskoeffizienten	797
7.8.1.4	Der Vergleich mehrerer Korrelationskoeffizienten	799
7.8.2	Prüfung des Rang-Korrelationskoeffizienten nach Spearman (Rho-S)	800
7.8.3	Prüfung des Rang-Korrelationskoeffizienten nach Kendall (Tau)	802
7.8.4	Hypothesentests zu den Parametern einer Regression	805
7.8.4.1	Prüfung der Linearität einer Regression	805
7.8.4.2	Chow-Test: „Strukturbruch“ in einer linearen Regression	806
7.8.4.3	Durbin-Watson-Test: Autokorrelation in den Residuen	808
7.8.4.4	Prüfung des Regressionskoeffizienten gegen Null	811
7.8.4.5	Prüfung der Differenz zwischen einem geschätzten und einem hypothetischen Regressionskoeffizienten	811
7.8.4.6	Prüfung der Differenz zwischen einem geschätzten und einem hypothetischen Achsenabschnitt	812
7.8.4.7	Vergleich zweier Regressionskoeffizienten	812
7.8.4.8	Vergleich zweier Achsenabschnitte	814
8	Statistische Modellbildung	815
8.1	Einführung	815
8.2	Lineare Regressionsmodelle	819
8.2.1	Die einfache lineare Regression	819
8.2.2	Multiple lineare Regression	824
8.2.3	Überwindung von Multikollinearität in Regressionsmodellen	828
8.2.4	Analyse der Residuen im linearen Modell	829
8.2.5	Heteroskedastizität im linearen Modell	833
8.2.6	Hypothesentest und Konfidenzintervalle zum linearen Modell	834
8.2.7	Verfahren der Variablenauswahl	836
8.2.8	Nominalskalierte Einflussgrößen	839
8.3	Varianzanalyse im linearen Modell	840
8.3.1	Einfaktorielle Varianzanalyse	840
8.3.1.1	Erwartungswert-Parametrisierung	841
8.3.1.2	Effekt-Parametrisierung: Dummy-Codierung	842

8.3.1.3	Effekt-Parametrisierung: Effekt-Codierung	842
8.3.1.4	Varianzkomponenten - ANOVA	843
8.3.1.5	Klassenbildung von stetigen Einflussgrößen	845
8.3.2	Zweifaktorielle Varianzanalyse	846
8.4	Logistische Regression	849
8.4.1	Hypothesentest im logistischen Regressionsmodell	853
8.4.2	Multiple logistische Regression	854
8.4.3	Interpretation der Regressionskoeffizienten	857
8.4.4	Variablenauswahl im Rahmen der Modellbildung	859
8.4.5	Residuenanalyse	861
8.4.6	Pseudo-Bestimmtheitsmaße (Pseudo- R^2)	862
8.4.7	Güte der Klassifikation: ROC/AUC-Analyse	863
8.4.8	Propensity-Score Matching	864
8.5	Poisson-Regression und loglineare Modelle	866
8.5.1	Poisson-Regression	866
8.5.1.1	Dispersionsindex und Poisson-Regression	869
8.5.2	Poisson-Regression zum relativen Risiko aus Raten	869
8.5.3	Analyse von Kontingenztafeln	871
8.5.4	Loglineares Modell am Beispiel von 2 Faktoren	874
8.5.5	Dreidimensionale Kontingenztafeln	876
8.5.5.1	Modellbildung unter verschiedenen Restriktionen	876
8.5.5.2	Modellauswahl im loglinearen Ansatz	878
8.5.5.3	Fünf Einschränkungen und Hinweise zum loglinearen Modell	881
8.6	Modelle zu wiederholten Messungen	882
8.6.1	Varianzanalyse für wiederholte Messungen	882
8.6.2	Lineare gemischte Modelle	886
8.6.3	Analyse von Cluster-Daten	893
8.6.4	Verallgemeinerte Schätzgleichungen	898
8.7	Analyse von Überlebenszeiten	903
8.7.1	Kaplan-Meier Schätzung der Überlebensfunktion	905
8.7.2	Der Logrank-Test	910
8.7.3	Parametrische Regressionsmodelle für Überlebenszeiten	913
8.7.3.1	Exponentielles Regressionsmodell	914
8.7.3.2	Gompertz Regressionsmodell	916
8.7.3.3	Weibull Regressionsmodell	917
8.7.3.4	Loglogistisches Regressionsmodell	918
8.7.3.5	Modellwahl und Güte der Anpassung	919
8.7.3.6	AFT-Modelle (Accelerated Failure Time)	922
8.7.4	Das Proportional-Hazards Modell von Cox	924
8.7.4.1	Parameter-Schätzung zum Cox-Modell	924
8.7.4.2	Interpretation der Parameter	926
8.7.4.3	Modellbildung; zur Auswahl und Bewertung geeigneter Einflussgrößen	930
8.7.4.4	Residuenanalyse - Güte der Modellanpassung	932
9	Einführung in R	936
9.1	Das Konsolfenster	936
9.2	Hilfestellung in R	940
9.3	Objekte in R	941
9.3.1	Vektoren	941
9.3.2	Erzeugen von Vektoren und Dateneingabe	943
9.3.3	Faktoren in R, Klassenbildung	944

9.3.4	Erzeugen von Matrizen und Tabellen	944
9.3.5	Rechnen mit Matrizen in R am Beispiel der Herleitung einer Kovarianzmatrix	945
9.3.6	Tabellenstruktur: Daten in Rahmen (data.frame)	946
9.4	Fehlende Angaben	949
9.5	Auswahl und Sortierung von Daten	950
9.6	Ablaufsteuerung: logische Bedingungen und Funktionen in R	952
9.7	Einige mathematische und statistische Funktionen	956
9.8	Modellbildung in R	959
9.9	Einfache graphische Funktionen und Hilfsmittel	960
Literaturverzeichnis		965
Autorenverzeichnis		999
Sachverzeichnis		1007
Verzeichnis zu den Beispielen		1045
Verzeichnis zu R-Funktionen		1049