

## Kapitelverzeichnis

Einführung und Grundlagen .....	1
KAPITEL I: Aufbereitung und Darstellung von Datenmaterial – Descriptive Statistik .....	15
KAPITEL II: Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung .....	91
KAPITEL III: Statistische Schlußweisen .....	123
KAPITEL IV: Spezielle Verteilungen und statistische Schlüsse über Kenngrößen von Verteilungen mittels einer Meßreihe (Stichprobe) .....	143
KAPITEL V: Aspekte der Datengewinnung – Stichprobentheorie, Meßfehler, Ausreißertests, Datentransformationen, Versuchsplanung, Klinische Versuche, Skalierung .....	269
KAPITEL VI: Qualitätskontrolle .....	381
KAPITEL VII: Analyse diskreten Datenmaterials in Form von Kontingenztafeln .....	407
KAPITEL VIII: Vergleich zweier Meßreihen (Stichproben) .....	505
KAPITEL IX: Die Korrelation von Merkmalen .....	545
KAPITEL X: Regressionsanalyse .....	569
KAPITEL XI: Varianzanalyse .....	609
KAPITEL XII: Zeitreihenanalyse .....	637
KAPITEL XIII: Analyse von Lebensdauern und Zuverlässigkeit von Systemen .....	745
KAPITEL XIV: Explorative Datenanalyse (EDA) und Robuste Verfahren .....	825
ANHANG .....	887

# Inhaltsverzeichnis

<i>Einführung und Grundlagen</i> .....	1
1. Was ist Statistik .....	1
2. Das Experiment .....	3
3. Die Erhebung .....	5
4. Zur Statistik und ihren philosophischen Voraussetzungen .....	7
5. Zur Geschichte der Statistik .....	10
 <b>Kapitel I: Aufbereitung und Darstellung von Datenmaterial –</b>	
<b>    Descriptive Statistik</b> .....	15
<i>    1. Grundlegende Begriffe und Überblick</i> .....	15
1.1. Untersuchungseinheiten, Merkmale und Merkmalsausprägungen .....	15
1.2. Charakterisierung von Merkmalen .....	16
1.3. Grundgesamtheit und Stichprobe .....	18
1.4. Überblick über die Methoden der deskriptiven Statistik .....	19
<i>    2. Der Häufigkeitsbegriff</i> .....	20
2.1. Absolute und relative Häufigkeiten .....	20
2.2. Die graphische Darstellung von Häufigkeiten .....	21
2.3. Die empirische Verteilungsfunktion .....	23
<i>    3. Der Häufigkeitsbegriff bei Klassenbildung</i> .....	24
3.1. Die Klassenbildung .....	26
3.2. Absolute und relative Häufigkeiten bei Klassenbildung .....	26
3.3. Die graphische Darstellung von Häufigkeiten bei Klassenbildung .....	27
3.4. Die empirische Verteilungsfunktion bei Klassenbildung .....	28
<i>    4. Lagemaße von Häufigkeitsverteilungen</i> .....	31
4.1. Das arithmetische Mittel .....	31
4.2. Der Median und das $\alpha$ -Quantil .....	32
4.2.1. Der Median einer Beobachtungsreihe .....	32
4.2.2. Das $\alpha$ -Quantil einer Beobachtungsreihe .....	34
4.3. Der Modalwert .....	35
4.4. Das geometrische Mittel und das harmonische Mittel .....	35
4.5. Einige Bemerkungen zu den Lagemaßen .....	37
<i>    5. Streuungsmaße von Häufigkeitsverteilungen</i> .....	40
5.1. Die Spannweite .....	40
5.2. Der Quartilsabstand .....	41
5.3. Die mittlere absolute Abweichung vom Median .....	42
5.4. Varianz, Standardabweichung und Variationskoeffizient .....	43
5.4.1. Die Varianz .....	44
5.4.2. Die Standardabweichung .....	46
5.4.3. Der Variationskoeffizient .....	47
5.5. Die Schiefe und der Exzeß .....	47
5.5.1. Die Schiefe einer Häufigkeitsverteilung .....	47
5.5.2. Der Exzeß einer Häufigkeitsverteilung .....	49

<i>6. Konzentrationsmaße für Häufigkeitsverteilungen</i> .....	50
6.1. Die Lorenzkurve .....	50
6.2. Das Lorenzsche Konzentrationsmaß; der Gini-Koeffizient .....	52
<i>7. Verhältniszahlen</i> .....	55
7.1. Gliederungszahlen .....	55
7.2. Beziehungszahlen .....	56
7.2.1. Verursachungszahlen .....	56
7.2.2. Entsprechungszahlen .....	56
7.3. Indexzahlen .....	57
7.3.1. Meßzahlen .....	57
7.3.2. Standardisierung von Meßzahlen, Sterbeziffern .....	60
7.3.3. Zusammengesetzte Indexzahlen .....	62
A. Der Wertindex .....	62
B. Preisindizes nach Laspeyres und nach Paasche .....	63
C. Ein Beispiel .....	63
D. Mengenindizes nach Laspeyres und nach Paasche .....	65
E. Preisbereinigung; Deflationierung .....	65
F. Preis- und Mengenindizes als gewogene Mittel von Meßzahlen: Subindizes .....	66
7.3.4. Vergleich von Preisindizes nach Laspeyres und nach Paasche; der Fishersche Idealindex; der Preisindex nach Lowe .....	70
<i>8. Die empirische Ausfallrate</i> .....	70
<i>9. Darstellung zweidimensionalen Zahlenmaterials und deskriptive Korrelationsrechnung</i> .....	72
9.1. Die Kontingenztafel .....	72
9.2. Der Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson .....	73
9.3. Der Fechnersche Korrelationskoeffizient .....	78
9.4. Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient .....	79
9.5. Der Kendallsche Rangkorrelationskoeffizient .....	81
9.6. Der Yulesche Assoziationskoeffizient für die Vierfeldertafel .....	82
<i>10. Praktische Berechnung einiger Kenngrößen</i> .....	83
10.1. Berechnung des arithmetischen Mittels und der Standardabweichung ..	83
10.2. Berechnung der mittleren absoluten Abweichung vom Median .....	87
<b>Kapitel II: Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung</b> .....	91
<i>1. Ereignisse und Zufallsexperimente</i> .....	91
<i>2. Wahrscheinlichkeiten</i> .....	93
<i>3. Kombinatorik und Beispiele für die Berechnung von Laplace-Wahrscheinlichkeiten</i> .....	96
3.1. Permutationen .....	96
3.2. Kombinationen .....	96
3.3. Beispiele zur Berechnung von Laplace-Wahrscheinlichkeiten .....	97
<i>4. Bedingte Wahrscheinlichkeiten und Unabhängigkeit</i> .....	98

<i>5. Die Bayessche Formel</i> . . . . .	102
<i>6. Zufallsvariable und Verteilungen</i> . . . . .	103
<i>7. Unabhängigkeit und Funktionen von Zufallsvariablen</i> . . . . .	108
7.1. Unabhängigkeit von Zufallsvariablen . . . . .	108
7.2. Funktionen von Zufallsvariablen . . . . .	108
A. Lineare Transformation; Normalverteilung . . . . .	109
B. Summe; Faltung; Binomialverteilung . . . . .	109
C. Maximum . . . . .	111
D. Minimum . . . . .	111
<i>8. Kenngrößen von Zufallsvariablen</i> . . . . .	112
8.1. Lageparameter . . . . .	112
A. Der Erwartungswert . . . . .	112
B. Der Median und andere Quantile . . . . .	114
C. Der Modalwert . . . . .	116
8.2. Streuungsparameter . . . . .	116
A. Die Varianz und die Standardabweichung; standardisierte Zufallsvariable; Tschebyscheffsche Ungleichung . . . . .	116
B. Der Variationskoeffizient . . . . .	117
C. Der Quartilsabstand . . . . .	118
8.3. Momente von Zufallsvariablen; Schiefe; Exzeß . . . . .	118
8.4. Kovarianz und Korrelation von Zufallsvariablen . . . . .	119
<i>9. Grenzwertsätze</i> . . . . .	121
<b>Kapitel III: Statistische Schlußweisen</b> . . . . .	123
<i>1. Schätzen von Parametern</i> . . . . .	124
A. Momentenmethode . . . . .	126
B. Maximum-Likelihood-Methode . . . . .	126
C. Methode der kleinsten Quadrate . . . . .	128
<i>2. Konfidenzintervalle</i> . . . . .	129
<i>3. Prognose- und Toleranzintervalle</i> . . . . .	132
<i>4. Statistische Tests</i> . . . . .	133
<i>5. Beurteilungskriterien für statistische Tests</i> . . . . .	137
<i>6. Arten von Hypothesen und allgemeine Bemerkungen</i> . . . . .	138
<i>7. Nichtparametrische (verteilungsfreie) Verfahren</i> . . . . .	139
<i>8. Zufällige Auswahl, Randomisation</i> . . . . .	141
<i>9. Notation von Zufallsvariablen</i> . . . . .	142
<b>Kapitel IV: Spezielle Verteilungen und Statistische Schlüsse über Kenngrößen von Verteilungen mittels einer Meßreihe (Stichprobe)</b> . . . . .	143
<i>1. Die Normalverteilung und daraus abgeleitete Verteilungen</i> . . . . .	143
1.1. Die Normalverteilung und ihre Bedeutung . . . . .	143
1.2. Einige in enger Beziehung zur Normalverteilung stehende Verteilungen	148

1.2.1. Aus der Normalverteilung abgeleitete Verteilungen .....	148
A. Die gestutzte Normalverteilung .....	148
B. Die Lognormalverteilung .....	151
1.2.2. Prüfverteilungen .....	152
A. Die $\chi^2$ -Verteilung .....	152
B. Die t-Verteilung .....	154
C. Die F-Verteilung .....	156
1.3. Punktschätzungen und Konfidenz-, Prognose- und Toleranz- Intervalle bei normalverteilter Grundgesamtheit .....	157
1.3.1. Schätzen der Parameter $\mu$ und $\sigma^2$ .....	157
1.3.2. Konfidenzintervalle für $\mu$ , $\sigma^2$ und $\sigma$ .....	160
1.3.3. Prognose- und Toleranzintervalle .....	163
1.4. Bestimmung von benötigten Stichprobenumfängen bei Intervallschätzungen .....	166
1.4.1. Einhaltung absoluter Genauigkeiten .....	166
1.4.2. Einhaltung prozentualer Genauigkeiten .....	173
A. Das Variationszahlverfahren .....	173
B. Das Streuzahlverfahren .....	175
1.5. Testen von Parameter-Hypothesen und Bestimmung des benötigten Stichprobenumfangs .....	178
1.5.1. Testen von Hypothesen über die Parameter einer normal- verteilten Grundgesamtheit .....	178
A. Hypothesen über den Mittelwert $\mu$ .....	178
B. Hypothesen über die Varianz $\sigma^2$ .....	179
1.5.2. Bestimmung des Stichprobenumfangs $n$ beim Testen von Hypothesen über den Erwartungswert $\mu$ einer normal- verteilten Grundgesamtheit bei vorgegebenem Fehler 1. Art $\alpha$ und Fehler 2. Art $\beta$ .....	181
1.6. Anpassungstests an die Normalverteilung .....	182
A. Der $\chi^2$ -Anpassungstest .....	182
B. Der Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest .....	183
C. Ein Beispiel .....	186
C1. $\chi^2$ -Anpassungstest .....	186
C2. Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest .....	187
1.7. Weitere Verfahren zum Testen von Normalverteilungshypothesen .....	189
1.7.1. Test auf Schiefe und Exzeß .....	189
1.7.2. Überprüfung der Normalverteilungsannahme mit Hilfe von Wahrscheinlichkeitspapier .....	190
2. Die Gleichverteilung und die Dreiecksverteilung .....	192
2.1. Die stetige Gleichverteilung .....	192
2.1.1. Die eindimensionale Gleichverteilung und ihre Anwendung in der Computersimulation .....	192
2.1.2. Die zweidimensionale Gleichverteilung .....	194
2.2. Die Dreiecksverteilung .....	195
2.3. Punkt- und Intervallschätzungen für die Gleichverteilung .....	197
2.4. Der $\chi^2$ -Anpassungstest für die Gleichverteilung .....	198
3. Einige diskrete Verteilungen .....	199
3.1. Die Binomialverteilung .....	199
3.1.1. Punkt- und Intervallschätzung des Parameters $p$ .....	202

3.1.2. Testen von Hypothesen über den Parameter p .....	205
3.1.3. Bestimmung des Stichprobenumfangs n beim Testen von Hypothesen über den Parameter p einer Binomialverteilung bei vorgegebenen Fehlern 1. und 2. Art .....	206
3.2. Die hypergeometrische Verteilung .....	207
3.2.1. Punktschätzungen für die Hypergeometrische Verteilung .....	208
3.3. Die Multinomialverteilung .....	209
3.3.1. Konfidenzbereich für die Multinomialverteilung .....	211
3.4. Die Poissonverteilung .....	212
3.4.1. Punkt- und Intervallschätzung für den Parameter $\lambda$ einer $Po(\lambda)$ -Verteilung .....	214
3.4.2. Test über den Parameter $\lambda$ einer $Po(\lambda)$ -Verteilung .....	214
3.4.3. Der $\chi^2$ -Anpassungstest für die Poissonverteilung .....	216
<b>4. Einige Lebensdauerverteilungen .....</b>	<b>218</b>
4.1. Die Exponentialverteilung .....	219
4.1.1. Punkt- und Intervallschätzung für den Parameter einer $Ex(\lambda)$ -Verteilung .....	220
4.1.2. Tests von Hypothesen über den Parameter einer $Ex(\lambda)$ - Verteilung .....	223
4.1.3. Der $\chi^2$ -Anpassungstest für die Exponentialverteilung .....	225
4.1.4. Der Kolmogoroff-Smirnov-Anpassungstest für die Exponentialverteilung .....	226
4.2. Die Weibullverteilung .....	230
4.2.1. Schätzen der Parameter $\alpha$ und $\beta$ der Weibullverteilung .....	232
4.3. Die IDB-Verteilung (Hjorth-Verteilung) .....	232
4.3.1. Schätzen der Parameter $\alpha$ , $\beta$ und $\gamma$ der IDB-Verteilung .....	234
4.4. Die Erlang-n-Verteilung .....	234
<b>5. Nichtparametrische Test- und Schätzmethoden im Ein-Stichproben-Fall ..</b>	<b>235</b>
5.1. Konfidenzintervalle und Tests für Quantile .....	235
5.1.1. Ein Konfidenzintervall für Quantile .....	236
5.1.2. Tests für Quantile .....	237
5.2. Nichtparametrische Toleranzintervalle .....	238
5.3. Konfidenzstreifen für eine unbekannte Verteilungsfunktion .....	240
5.4. Nichtparametrische Einstichproben-Lokationsvergleiche und Tests auf Trend .....	242
5.4.1. Der Zeichentest .....	242
5.4.2. Der Vorzeichenrangtest nach Wilcoxon .....	243
5.4.3. Tests auf Trend .....	247
A. Der Test von Cox und Stuart .....	247
B. Der Test nach Mann .....	249
<b>6. Sequentielle Quotiententests .....</b>	<b>251</b>
6.1. Der sequentielle Quotiententest für die Binomialverteilung .....	252
6.2. Sequentieller Quotiententest für den Erwartungswert einer Normalverteilung .....	259
6.3. Sequentieller Quotiententest für eine Exponentialverteilung .....	261

<b>Kapitel V: Aspekte der Datengewinnung – Stichprobentheorie, Meßfehler, Ausreißertests, Datentransformationen, Versuchsplanung, Klinische Versuche, Skalierung .....</b>	<b>269</b>
<i>1. Abriß der klassischen Stichprobentheorie am Beispiel der Inventur auf Stichprobenbasis .....</i>	269
1.1. Die Stichprobe .....	270
1.2. Überlegungen und Vorgehensweisen bei Stichprobenerhebungen .....	271
1.3. Verteilungsannahmen bei Stichprobenerhebungen .....	272
1.4. Die einfache Zufallsauswahl .....	273
1.5. Geschichtete Zufallsauswahl .....	278
1.5.1. Die optimale Aufteilung (Neyman-Tschuprow-Aufteilung) .....	282
1.5.2. Die proportionale Aufteilung .....	285
1.5.3. Aufteilung nach Auswahl der Stichprobe .....	286
1.5.4. Genauigkeitsvergleiche .....	287
1.6. Klumpenstichprobenverfahren .....	288
1.6.1. Einstufige Auswahlverfahren .....	289
1.6.2. Mehrstufige Auswahlverfahren .....	291
<i>2. Weitere Verfahren der Stichprobentheorie .....</i>	292
2.1. Ziehen mit und ohne Zurücklegen .....	292
2.2. Schätzen von Anteilen .....	293
2.3. Die systematische Stichprobe .....	295
2.4. Stichproben mit ungleichen Auswahlwahrscheinlichkeiten .....	297
2.5. Die Formel von Horwitz-Thompson .....	299
2.6. Verhältnis-, Differenzen- und Regressionsschätzung, gebundene und freie Hochrechnung .....	300
2.6.1. Die Verhältnisschätzung .....	300
2.6.2. Die Differenzenschätzung .....	303
2.6.3. Die Regressionsschätzung .....	303
2.7. Zweiphasige Problemstellungen .....	304
<i>3. Probleme bei der praktischen Durchführung einer Erhebung .....</i>	305
3.1. Die Abgrenzung der Grundgesamtheit .....	305
3.2. Endliche und unendliche sowie fiktive Grundgesamtheiten .....	306
3.3. Auswahltechniken und Erhebungsprobleme .....	307
3.4. Probleme im Zusammenhang mit Befragungen .....	309
3.4.1. Fragestellung und Fragebogen .....	309
3.4.2. Typen von Befragungen .....	310
3.4.3. Das Problem der Nichtbeantwortung .....	311
3.5. Vergleich zwischen den Schichten .....	313
3.6. Stichprobenverfahren in der Marktforschung .....	314
3.6.1. Marktforschung – Zielsetzungen und Problemstellungen .....	314
3.6.2. Beurteilungsstichproben in der Marktforschung .....	316
A. Typische Auswahl .....	316
B. Auswahl nach dem Konzentrationsprinzip .....	317
C. Quotenauswahl .....	318
3.7. Die Bedeutung der Stichprobenverfahren .....	320
<i>4. Theorie der Meßfehler, Ausreißertests, Datentransformationen .....</i>	320
4.1. Der Meßfehler bei der Datengewinnung .....	321

4.2. Das Gaußsche Fehlerfortpflanzungsgesetz .....	326
4.3. Kontrolle und Erfassung von Meßfehlern .....	332
4.3.1. Kontrolle und Ermittlung systematischer Fehler .....	332
4.3.2. Die Verwendung von Kontrollkarten .....	335
4.3.3. Ringversuche: Inter- und Intralaboratorielle Vergleiche .....	337
4.3.4. Präzision, Spezifität, Richtigkeit und Sensibilität von Meß- und Analyseverfahren .....	341
4.4. Das Ausreißerproblem .....	343
A. Der David-Hartley-Pearson-Test .....	344
B. Der Grubbs-Test .....	345
C. Dixon's r-Statistiken .....	346
D. Test auf ein Ausreißerpaar .....	347
4.5. Transformationen .....	349
A. Die reziproke Transformation .....	349
B. Die Wurzel-Transformation .....	349
C. Die Logarithmische Transformation .....	351
D. Die Box-Cox-Transformation .....	352
E. Die Arcus-Sinus-Transformation .....	352
F. Die Fishersche Z-Transformation .....	354
5. Allgemeine Aspekte der Planung von Versuchen .....	354
6. Anlage von klinischen Versuchen .....	363
6.1. Ethische Probleme bei klinischen Versuchen .....	366
6.2. Auswahl und Zuordnung von Versuchspersonen .....	367
6.2.1. Die retrospektive Zuordnung .....	368
6.2.2. Zuordnung auf freiwilliger Basis .....	369
6.2.3. Pseudaleatorische und aleatorische Zuordnung .....	370
6.2.4. Einige weitere Zuordnungsverfahren .....	370
6.3. Die Vergleichbarkeit der Versuchsergebnisse .....	370
6.4. Auto- und Heterosuggestion, Blindversuche .....	371
6.5. Sequentielle Studien .....	372
6.6. Ein Beispiel .....	373
7. Skalierung von Merkmalsausprägungen und Testergebnissen .....	374
<b>Kapitel VI: Qualitätskontrolle .....</b>	<b>381</b>
1. Stichprobenpläne in der Eingangs- und Endkontrolle .....	381
1.1. Einfache Stichprobenpläne für qualitative Merkmale .....	383
A. Vorgabe zweier Punkte der Operationscharakteristik .....	384
B. Vorgabe des Indifferenzpunktes und der Steilheit .....	387
1.2. Mehrfache und sequentielle Stichprobenpläne für qualitative Merkmale .....	389
A. Doppelte Stichprobenpläne .....	390
B. Sequentielle Stichprobenpläne .....	392
1.3. Stichprobenpläne für quantitative Merkmale .....	395
2. Laufende Kontrolle der Produktion (Kontrollkarten) .....	401
2.1. Laufende Kontrolle bei quantitativen Merkmalen .....	401
2.2. Laufende Kontrolle bei qualitativen Merkmalen .....	404
3. Kontinuierliche Stichprobenpläne .....	406

<b>Kapitel VII: Analyse diskreten Datenmaterials in Form von Kontingenztafeln</b>	<b>407</b>
<i>1. Die <math>2 \times 2</math>-Felder-Tafel</i>	411
1.1. Hypothesen für die $2 \times 2$ -Felder-Tafel	412
A. Die Unabhängigkeitshypothese	412
B. Die Homogenitätshypothese	412
C. Beziehungen zwischen den Hypothesen	412
1.2. Tests auf Unabhängigkeit in der $2 \times 2$ -Tafel	413
1.2.1. Der $\chi^2$ -Test	413
1.2.2. Exakte Tests	414
A. Ein exakter Test, der auf größere Kontingenztafeln übertragbar ist	414
B. Der exakte Test von Fisher	416
1.2.3. Einseitige Hypothesen in $2 \times 2$ -Tafeln	416
1.3. Tests auf Homogenität in der $2 \times 2$ -Tafel	418
1.3.1. Die Durchführung der Tests	418
1.3.2. Der erforderliche Stichprobenumfang	419
A. Die Formel mittels Approximation der Gütfunktion des $\chi^2$ -Tests	419
B. Die Arcus-Sinus-Formel	420
C. Die Formel nach Casagrande/Pike/Smith	420
D. Exakte Stichprobenumfänge	421
1.4. Tests auf Symmetrie in der $2 \times 2$ -Tafel	422
1.4.1. Der McNemar-Test	423
1.4.2. Cochran's Q	423
<i>2. Loglineare Modelle und Tests für <math>r \times s</math>-Tafeln</i>	425
2.1. Das loglineare Modell für die $r \times s$ -Tafel	425
2.1.1. Entwicklung des Modells am Beispiel der $2 \times 2$ -Tafel	425
A. Aufstellung des Modells	425
B. Schätzen der Parameter	427
C. Die approximative Varianz der Schätzungen	428
D. Die Interpretation der Parameter	428
2.1.2. Das Modell für die allgemeine $r \times s$ -Tafel	429
2.2. Hypothesen und Tests in $r \times s$ -Tafeln	432
2.2.1. Einige Hypothesen für $r \times s$ -Tafeln	433
A. Die Unabhängigkeits- bzw. Homogenitätshypothese	433
B. Die bedingte Gleichverteilungshypothese	434
C. Die totale Gleichverteilungshypothese	434
2.2.2. Einige Testverfahren für $r \times s$ -Tafeln	435
A. $\chi^2$ - und Likelihood-Quotienten-Test	435
B. Die Statistiken $\tau_A$ und $\tau_B$	439
C. Der Test auf Symmetrie nach Bowker	440
<i>3. Assoziationsmaße für <math>2 \times 2</math> und <math>r \times s</math>-Tafeln</i>	442
3.1. Assoziationsmaße in der $2 \times 2$ -Kontingenztafel	442
3.1.1. Assoziationsmaße, die in Beziehung zum cross-product ratio q stehen	442
A. Die Eigenschaften des cross-product ratio	442
B. Der Q-Koeffizient von Yule	443
C. Der Verbundenheitskoeffizient von Yule	444
D. Punkt- und Intervallschätzungen für die Yuleschen Assoziationsmaße	444

E. Eigenschaften der Yuleschen Assoziationsmaße .....	446
3.1.2. Assoziationsmaße, die in Beziehung zum Korrelationskoeffizienten $\varrho$ stehen .....	446
A. Der Korrelationskoeffizient $\varrho$ (Phikoeffizient) und seine Eigenschaften .....	446
B. Der Pearsonsche Kontingenzkoeffizient .....	449
3.2. Assoziationsmaße in allgemeinen 2-dimensionalen Kontingenztafeln ..	450
3.2.1. Assoziationsmaße, die in Beziehung zur $\chi^2$ -Statistik stehen ..	451
A. Der Pearsonsche Kontingenzkoeffizient für die $r \times s$ -Tafel ..	451
B. Der korrigierte Pearsonsche Kontingenzkoeffizient .....	451
C. Das Assoziationsmaß von Tschuprow .....	451
D. Das Assoziationsmaß von Cramér .....	452
E. Schätzung der Varianzen der Assoziationsmaße .....	452
F. Ein Beispiel .....	452
3.2.2. Die $\lambda$ - und die $\tau$ -Maße .....	455
A. Die $\lambda$ -Maße $\lambda_A$ , $\lambda_B$ und $\lambda$ .....	456
B. Die $\tau$ -Maße $\tau_A$ , $\tau_B$ und $\tau$ .....	459
4. Loglineare Modelle und Tests für mehrdimensionale Kontingenztafeln ..	464
4.1. Die Parameter des saturierten Modells .....	465
A. Schätzen der Parameter des saturierten Modells .....	466
B. Varianz- und Intervallschätzungen für die Parameter des saturierten Modells .....	471
4.2. Testen von Hypothesen über die Parameter des saturierten Modells ..	477
4.2.1. Ein iteratives Verfahren zur Schätzung erwarteter Häufigkeiten unter einer Hypothese .....	477
4.2.2. Die Bestimmung der Freiheitsgrade .....	485
4.2.3. Die Partitionierung der Teststatistiken .....	488
5. Verteilungsannahmen, Logit-Modell und Adjustieren bei Kontingenztafeln ..	492
5.1. Kontingenztafeln und Verteilungen .....	492
5.1.1. Verteilungsannahmen bei Kontingenztafeln .....	492
5.1.2. Vergleich der Parameter mehrerer diskreter Verteilungen .....	495
A. Vergleich der Parameter von $s$ Poissonverteilungen .....	495
B. Vergleich der Parameter verschiedener Binomialverteilungen .....	496
C. Vergleich der Parameter mehrerer Multinomialverteilungen .....	498
5.2. Das Logit-Modell bei Kontingenztafeln .....	498
5.3. Adjustieren von Kontingenztafeln .....	501
<b>Kapitel VIII: Vergleich zweier Meßreihen (Stichproben)</b> .....	505
1. Vergleich zweier unabhängiger Meßreihen .....	505
1.1. Lokationsvergleiche bei normalverteilter Grundgesamtheit .....	505
1.1.1. Tests und Konfidenzintervalle bei bekannten Varianzen $\sigma_1^2$ und $\sigma_2^2$ der Grundgesamtheiten .....	505
1.1.2. Tests und Konfidenzintervalle bei unbekannten aber gleichen Varianzen $\sigma_1^2$ und $\sigma_2^2$ der beiden Grundgesamtheiten ..	508
1.1.3. Tests und Konfidenzintervalle bei unbekannten und ungleichen Varianzen $\sigma_1^2$ und $\sigma_2^2$ der beiden Grundgesamtheiten ..	510
1.1.4. Bestimmung von Stichprobenumfängen bei Tests und Konfidenzintervallen .....	511

<b>1.2. Verteilungsfreie Lokationsvergleiche . . . . .</b>	<b>513</b>
1.2.1. Der Wilcoxon-Rangsummentest, der U-Test von Mann-Whitney . . . . .	513
1.2.2. Der Kolmogoroff-Smirnov-Test . . . . .	520
<b>1.3. Dispersionsvergleiche bei normalverteilten Grundgesamtheiten – Tests und Konfidenzintervalle . . . . .</b>	<b>524</b>
<b>1.4. Verteilungsfreie Dispersionsvergleiche . . . . .</b>	<b>526</b>
1.4.1. Der Test von Ansari-Bradley-Freund, der Siegel-Tukey-Test . . . . .	526
1.4.2. Der Test von Moses . . . . .	529
<b>1.5. Test auf Trend . . . . .</b>	<b>531</b>
<b>2. Vergleich zweier abhängiger Meßreihen . . . . .</b>	<b>533</b>
<b>2.1. Lokationsvergleiche bei normalverteilten Grundgesamtheiten – Tests, Konfidenzintervalle und Bestimmung der Stichprobenumfänge . . . . .</b>	<b>534</b>
A. Die Varianz $\sigma_d^2$ ist bekannt . . . . .	534
B. Die Varianz $\sigma_d^2$ ist unbekannt . . . . .	536
<b>2.2. Dispersionsvergleiche bei normalverteilten Grundgesamtheiten . . . . .</b>	<b>538</b>
<b>2.3. Verteilungsfreie Lokationsvergleiche . . . . .</b>	<b>539</b>
<b>Kapitel IX: Die Korrelation von Merkmalen . . . . .</b>	<b>545</b>
<b>1. Die Korrelation zweier normalverteilter Merkmale . . . . .</b>	<b>546</b>
<b>2. Die Rangkorrelation zweier Merkmale . . . . .</b>	<b>553</b>
2.1. Der Spearmansche Rangkorrelationskoeffizient . . . . .	553
2.2. Der Kendallsche Rangkorrelationskoeffizient . . . . .	559
<b>3. Die partielle Korrelation . . . . .</b>	<b>561</b>
3.1. Die partielle Korrelation zwischen normalverteilten Merkmalen . . . . .	561
3.2. Der partielle Rangkorrelationskoeffizient nach Kendall . . . . .	563
<b>4. Die bi-partielle Korrelation . . . . .</b>	<b>563</b>
<b>5. Die multiple Korrelation . . . . .</b>	<b>564</b>
<b>6. Ein Test auf Unabhängigkeit von <math>p</math> Meßreihen . . . . .</b>	<b>567</b>
<b>Kapitel X: Regressionsanalyse . . . . .</b>	<b>569</b>
<b>1. Lineare Regression . . . . .</b>	<b>573</b>
1.1. Die Methode der kleinsten Quadrate . . . . .	574
1.2. Schätzen der Fehlervarianz $\sigma^2$ . . . . .	578
1.3. Zusammenhang zwischen Regressions- und Korrelationsrechnung; das Bestimmtheitsmaß . . . . .	578
1.4. Konfidenzintervalle und Testen von Hypothesen über die unbekannten Parameter $\alpha$ , $\beta$ und $\sigma^2$ . . . . .	580
1.5. Konfidenz- und Prognosestreifen . . . . .	582
1.6. Regression durch einen vorgegebenen Punkt, Regression ohne Absolutglied (eigentlich-lineare Regression) . . . . .	584
<b>2. Residualanalyse . . . . .</b>	<b>585</b>
<b>3. Transformationen auf Linearität . . . . .</b>	<b>587</b>

<i>4. Nichtlineare Regression und Schätzen des Maximums (Minimums) einer quadratischen Regressionsfunktion .....</i>	589
<i>5. Multiple Regression .....</i>	595
<i>6. Regression bei Fehlern in den Variablen .....</i>	601
A. Die Varianz $\sigma_1^2$ ist bekannt .....	601
B. Die Varianz $\sigma_2^2$ ist bekannt .....	602
C. Der Quotient der Varianzen $\sigma_1^2$ und $\sigma_2^2$ ist bekannt .....	603
D. Das Berkson-Modell .....	604
<i>7. Regressionsgerade nach Wald .....</i>	605
<b>Kapitel XI: Varianzanalyse .....</b>	609
<i>1. Vergleich von p unabhängigen Meßreihen (Stichproben) – einfache Varianzanalyse, vollständig randomisierter Versuchsplan .....</i>	610
1.1. Testen auf signifikante Lokationsunterschiede .....	611
A. Der F-Test (normalverteilte Grundgesamtheit) .....	611
B. Der Test von Kruskal und Wallis .....	613
1.2. Simultane Vergleiche von p Mittelwerten .....	614
A. Die Tests von Scheffé und Tukey .....	616
A 1. Scheffé-Test .....	616
A 2. Tukey-Test .....	616
B. Der Test von Steel und Dwass .....	616
1.3. Dispersionsvergleiche .....	617
A. Der Bartlett-Test .....	617
B. Der Levene-Test .....	617
C. Scheffé's $\chi^2$ -Test .....	617
1.4. Modellbetrachtung .....	619
<i>2. Das einfache Blockexperiment .....</i>	619
2.1. Verfahren bei normalverteilter Grundgesamtheit .....	620
2.2. Verteilungsfreie Verfahren .....	622
<i>3. Zweifache Varianzanalyse mit mehreren Beobachtungen pro Faktorstufenkombination (pro Zelle) .....</i>	624
3.1. Modell mit Wechselwirkungen zwischen den Faktoren A und B .....	625
3.2. Modell ohne Wechselwirkungen zwischen den Faktoren .....	627
<i>4. Die Komponenten der Streuung – Modelle der Varianzanalyse mit zufälligen Effekten (Modell II) .....</i>	629
4.1. Die einfach hierarchische Klassifikation .....	630
4.2. Ein nicht-klassisches Varianzanalysemmodell aus der Geodäsie .....	634
<b>Kapitel XII: Zeitreihenanalyse .....</b>	637
<i>1. Deskriptive Methoden der Zeitreihenanalyse .....</i>	640
1.1. Die Komponenten einer Zeitreihe .....	640
1.2. Nichtlineare Trendmodelle – Trendschätzung mittels nicht-linearer Regression .....	642

1.2.1. Die logistische Funktion .....	642
1.2.2. Die Mitscherlich-Funktion und die Gompertz-Kurve .....	648
1.2.3. Die allometrische Funktion .....	654
1.3. Trend- und Saison-Schätzung bzw. -Elimination durch Glättung bzw. Filterung .....	660
1.3.1. Gleitende Durchschnitte .....	660
1.3.2. Polynome und Splines .....	666
1.3.3. Die Differenzenmethode .....	668
1.3.4. Exponentielles Glätten .....	672
1.3.5. Lineare Filter .....	673
1.4. Autokovarianzen, Autokorrelationen und partielle Autokorrelationen .....	675
<b>2. Selbsterklärende Zeitreihenmodelle und die Methode     von Box und Jenkins .....</b>	<b>678</b>
2.1. Autoregressive Prozesse (AR-Prozesse) .....	678
2.2. Moving average Prozesse (MA-Prozesse) .....	681
2.3. Gemischte Prozesse (ARMA-Prozesse) .....	682
2.4. Instationäre stochastische Prozesse, ARIMA- und SARIMA-Prozesse, Box-Cox-Transformation .....	684
2.5. Die Methode von Box und Jenkins .....	686
2.5.1. Modellidentifikation .....	686
2.5.2. Schätzen der Modellparameter .....	688
2.5.3. Modellüberprüfung .....	690
2.5.4. Prognose und Prognosegüte .....	691
2.6. Ein Beispiel zur Methode von Box und Jenkins .....	694
<b>3. Die Spektralanalyse .....</b>	<b>699</b>
3.1. Komplexe Zahlen .....	700
3.2. Spektrum und Spektraldichte .....	701
3.3. Spektraldichten gefilterter Prozesse .....	703
3.4. Schätzen der Spektraldichte .....	709
3.4.1. Das Periodogramm und das Stichprobenspektrum .....	709
3.4.2. Geglättete Spektraldichteschätzungen, Spektral- und lag-Fenster .....	711
3.4.3. Ein Beispiel zum Stichprobenspektrum .....	715
3.5. Die harmonische Analyse einer Zeitreihe .....	717
3.6. Das Berliner Verfahren zur Saisonbereinigung .....	722
<b>4. Analyse des Zusammenhangs zweier Zeitreihen .....</b>	<b>727</b>
4.1. Analyse im Zeitbereich .....	728
4.2. Analyse im Frequenzbereich – Kreuzspektralanalyse .....	728
4.2.1. Das Kreuzspektrum .....	729
4.2.2. Schätzung kreuzspektraler Größen .....	734
<b>5. Gemischte Regressions-Zeitreihen-Modelle .....</b>	<b>735</b>
5.1. Regressionsmodelle mit korrelierten Fehlern .....	736
5.1.1. Allgemeine Vorgehensweise .....	736
5.1.2. Regressionsmodelle mit AR(1)-Fehler-Prozeß .....	737

A. Die Cochrane-Orcutt-Methode .....	738
B. Der Durbin-Watson-Test .....	740
C. Prognose und Prognosegüte .....	741
D. Ein Beispiel .....	741
5.2. Autoregressive Regressionsmodelle .....	744
<b>Kapitel XIII: Analyse von Lebensdauern und Zuverlässigkeit von Systemen .</b>	<b>745</b>
1. <i>Die Zuverlässigkeit von Komponenten und Systemen</i> .....	746
1.1. Die Zuverlässigkeit elementarer Systeme .....	746
1.2. Zuverlässigkeitsschaltbilder .....	748
1.3. Darstellung monotoner Systeme mittels minimaler Pfade und minimaler Schnitte .....	750
1.4. Systemstrukturfunktion und Systemzuverlässigkeitfunktion .....	751
1.4.1. Die Strukturfunktion monotoner Systeme .....	751
A. Bestimmung einer Strukturfunktion mittels disjunktiver Normal- form .....	752
B. Bestimmung einer Strukturfunktion mittels minimaler Pfad- oder Schnittmengen .....	754
C. Gewinnung des Zuverlässigkeitsschaltbildes zu einer Struktur- funktion .....	755
1.4.2. Die Zuverlässigkeitfunktion monotoner Systeme .....	756
1.5. Stochastische Assoziiertheit von Systemkomponenten .....	759
1.6. Klassifizierung der Zuverlässigkeitfunktionen monotoner Systeme mit Komponenten gleicher Zuverlässigkeit .....	759
1.7. Methoden zur Erhöhung der Zuverlässigkeit – Redundanz bei Komponenten und Systemen, Systeme mit heißer und kalter Reserve ..	760
1.8. Systeme mit mehr als zwei Zuständen (Multi-State-Systems) .....	763
1.8.1. Die Bestimmung des Systemzustandes mittels minimaler Pfad- oder Schnittmengen .....	763
1.8.2. Kritische Pfadvektoren bei Multi-State-Systemen .....	764
1.9. Die Fehlerbaumanalyse .....	765
1.10. Systembetrachtungen bei mehrphasigen Missionen .....	769
1.10.1. Mehrphasige Missionen .....	769
1.10.2. Phasenzuverlässigkeiten und Missionszuverlässigkeit .....	770
1.10.3. Die Transformation mehrphasiger Missionen .....	772
2. <i>Klassen von Lebensdauerverteilungen</i> .....	774
2.1. IFR- und DFR-Verteilungen .....	776
2.1.1. Die Verteilungsklassen IFR und DFR .....	776
2.1.2. IFR- und DFR-Tests .....	777
A. Der Proschan-Pyke-Test .....	777
B. Der cttot-Test nach Epstein .....	778
2.2. NBU- und NWU-Verteilungen .....	779
2.2.1. Die Verteilungsklassen NBU und NWU .....	779
2.2.2. NBU- und NWU-Tests: Der Hollander-Proschan-Test .....	780
2.3. IFRA- und DFRA-Verteilungen .....	782
2.3.1. Die Verteilungsklassen IFRA und DFRA .....	782
2.3.2. IFRA- und DFRA-Tests: Der cttot-Test .....	784
2.4. NBUE- und NWUE-Verteilungen .....	784
2.4.1. Die Verteilungsklassen NBUE und NWUE .....	784

2.4.2. NBUE- und NWUE-Tests: Der Hollander-Proshan-Test . . . . .	784
2.5. Beziehungen zwischen den Verteilungsklassen . . . . .	786
2.6. Zensierte Lebensdauerprüfungen . . . . .	787
<i>3. Punkt- und Intervallschätzungen für die Parameter einiger spezieller Lebensdauerverteilungen</i> . . . . .	788
3.1. Das Modell exponentialverteilter Lebensdauern . . . . .	788
3.1.1. Punkt- und Intervallschätzungen bei fest vorgegebener Beobachtungsdauer $T_0$ . . . . .	788
A. Experimente mit Ersetzung ausgefallener Objekte . . . . .	788
B. Experimente ohne Ersetzung ausgefallener Objekte . . . . .	789
3.1.2. Punkt- und Intervallschätzungen bei fest vorgegebener Zahl von Ausfällen . . . . .	789
A. Experimente mit Ersetzung ausgefallener Objekte . . . . .	789
B. Experimente ohne Ersetzung ausgefallener Objekte . . . . .	790
3.2. Das Modell Weibull-verteilter Lebensdauern . . . . .	791
3.2.1. Schätzen der Parameter $\alpha$ und $\beta$ bei fest vorgegebener Anzahl von Ausfällen ohne Ersetzung . . . . .	791
3.2.2. Schätzen der Parameter $\alpha$ und $\beta$ bei unzensierten Lebensdauerprüfungen . . . . .	793
3.3. Das Modell der Lognormalverteilung . . . . .	793
3.4. Das Modell der Hjorth-Verteilung (IDB-Verteilung) . . . . .	794
<i>4. Zur Problematik zeitraffender Zuverlässigkeitssprüfung</i> . . . . .	794
4.1. Die Extrapolation der zeitraffenden Prüfung an Normalbedingungen . . . . .	796
4.1.1. Das Eyring-Modell . . . . .	796
4.1.2. Das Arrhenius-Modell . . . . .	796
4.1.3. Das verallgemeinerte Eyring-Modell . . . . .	799
4.2. Screening-Tests, Burn-Ins . . . . .	803
4.3. Labor- und Einsatzbedingungen . . . . .	803
4.3.1. Der Einfluß von Strahlungen auf den Alterungsprozeß . . . . .	803
4.3.2. Wertungsfaktoren für im Labor ermittelte Ausfallraten . . . . .	804
<i>5. Wartungs- und Erneuerungsüberlegungen</i> . . . . .	806
5.1. Wartung und Wartbarkeit, Erneuerung . . . . .	806
A. Die Wartbarkeit von Systemen . . . . .	806
B. Die Wartung von Systemen . . . . .	806
C. Die Erneuerung von Systemen . . . . .	807
5.2. Erneuerungsstrategien, Schranken der Erneuerungsfunktion . . . . .	807
A. Altersabhängige Erneuerungsstrategie und Gruppenerneuerungsstrategie . . . . .	807
B. Der Erneuerungsprozeß und die Erneuerungsfunktion . . . . .	807
C. Schranken der Erneuerungsfunktion . . . . .	808
5.3. Die Zuverlässigkeit von Straßenverkehrssignalanlagen – Ein Beispiel . . . . .	808
5.3.1. Straßenverkehrssignalanlagen-Systeme . . . . .	809
A. Das System ohne Reserve . . . . .	809
B. Das System mit heißer Reserve . . . . .	810
C. Systeme mit kalter Reserve . . . . .	811
C1. Das System mit kalter Macro-Reserve . . . . .	811
C2. Das System mit kalter Micro-Reserve . . . . .	812

5.3.2. Vergleich der Straßenverkehrssignalanlagen-Systeme .....	812
5.3.3. Die Wirtschaftlichkeit der Systeme .....	815
A. Inspektionszeiträume und Mindestzuverlässigkeit der Systeme .....	817
B. Systemkosten bei Mindestzuverlässigkeit der Systeme .....	818
<b>6. Verfügbarkeit von Systemen und Instandhaltungsstrategien .....</b>	<b>820</b>
<b>6.1. Die Verfügbarkeit von Systemen .....</b>	<b>820</b>
A. Momentane Verfügbarkeit und Dauerverfügbarkeit .....	820
B. Punkt- und Intervallschätzungen, Testen von Hypothesen über die Dauerverfügbarkeit .....	820
<b>6.2. Methoden zur Erhöhung der Verfügbarkeit .....</b>	<b>822</b>
A. Die Redundanzplanung .....	822
B. Die vorbeugende Instandsetzung .....	823
B 1. Bereitschafts- und Präventivstrategien .....	823
B 2. Periodische, sequentielle und optionale Strategien .....	823

**Kapitel XIV: Explorative Datenanalyse (EDA) und Robuste Verfahren .....** 825

<b>1. Verfahren für einzelne Merkmale in der EDA .....</b>	<b>827</b>
1.1. Empirische Kenngrößen .....	827
1.2. Empirische Kenngrößen bei gruppierten Daten .....	831
1.3. Datentransformationen .....	832
1.4. Box-Plots .....	835
1.5. Stamm- und -Blätter-Darstellungen .....	838
1.6. Histogramm und empirische Verteilungsfunktion .....	839
1.7. Empirische Dichten .....	840
1.8. Wurzeldiagramme .....	844
1.9. Q-Q-Plots zur Überprüfung von Verteilungsannahmen .....	847
<b>2. Verfahren für zwei Merkmale in der EDA .....</b>	<b>849</b>
2.1. Glätten zweidimensionaler Punktescharen .....	850
2.2. Explorative Regressionsgeraden .....	852
2.3. Linearisieren zweidimensionaler Punktescharen .....	854
<b>3. Verfahren für mehrdimensionale Daten in der EDA .....</b>	<b>857</b>
3.1. Der Scatter-Plot .....	858
3.2. Weitere explorative Verfahren für mehrdimensionale Daten .....	860
<b>4. Robuste Schätzungen .....</b>	<b>861</b>
4.1. Charakterisierung von Robustheitseigenschaften .....	862
4.1.1. Die Sensitivitätskurve .....	862
4.1.2. Die Einflußkurve .....	863
4.1.3. Der Bruchpunkt .....	864
4.2. Robuste Skalenschätzer .....	864
4.2.1. Der Median der absoluten Abweichungen vom Median .....	865
4.2.2. Der Quartilsabstand .....	866
4.3. M-Schätzer für die Lokation .....	866
4.3.1. Huber-k-Schätzer .....	869

4.3.2. Andrews' wave und Tukeys biweight .....	872
4.3.3. Die Berechnung von M-Schätzern.....	874
4.3.4. M-Schätzer für einige typische Beispiele.....	878
4.4. L-Schätzer für die Lokation .....	880
4.4.1. Das $\alpha$ -getrimmte Mittel.....	880
4.4.2. Das $\alpha$ -winsorisierte Mittel.....	881
4.4.3. Das $\alpha$ -Gastwirth-Cohen-Mittel .....	882
4.5. R-Schätzer für die Lokation .....	883
<i>Anhang</i> .....	887
1. Tabellenverzeichnis .....	887
1.1. Kritische Werte, Quantile .....	887
1.2. Weitere allgemeine Tabellen .....	888
2. Tabellenanhang .....	889
3. Griechisches Alphabet .....	907
4. Symbolverzeichnis .....	908
5. Literaturverzeichnis .....	912
6. Literaturhinweise zu den einzelnen Kapiteln .....	928
7. Sach- und Namensregister .....	929