

# Inhaltsverzeichnis

	Datenblatt A für die Übungsbeispiele .....	2
	Datenblatt B für die Übungsbeispiele .....	3
<b>0</b>	<b>Zur Zielsetzung und Benutzung dieses Buches .....</b>	<b>5</b>
<b>1</b>	<b>Gegenstand und Zielsetzung der biomedizinischen Datenanalyse .....</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Versuchsplanung .....</b>	<b>12</b>
2.1	Vermeidung systematischer Fehler .....	13
2.1.1	Forderung nach zufälligen Stichproben .....	13
<b>P-2.1.1</b>	Erzeugung zufälliger Stichproben .....	13
2.1.2	Forderung nach Strukturgleichheit in den Faktorstufen .....	14
<b>P-2.1.2</b>	Randomisierung (Zufallszuteilung) der Faktorstufen .....	15
2.1.3	Forderung nach Beobachtungsgleichheit (Blindversuch, Doppelblindversuch) .....	16
2.2	Reduzierung zufälliger Fehler .....	16
2.2.1	Einschränkung von Stichprobe und Grundgesamtheit (Selektion), „geschichtete“ Stichproben .....	17
2.2.2	Zusammenfassung von Beobachtungseinheiten (Blockbildung) .....	18
2.2.3	Stichprobenumfang .....	18
2.3	Experiment / prospektive Erhebung / retrospektive Erhebung .....	19
<b>3</b>	<b>Deskriptive Statistik .....</b>	<b>21</b>
3.1	Qualitative / quantitative / diskrete / kontinuierliche Daten .....	21
3.2	Absolute / relative Häufigkeiten .....	23
<b>P-3.2.1</b>	Darstellung von Häufigkeiten qualitativer und quantitativer diskreter Daten .....	24
<b>P-3.2.2</b>	Darstellung von Häufigkeiten kontinuierlicher Daten .....	25
<b>P-3.3</b>	Verbundhäufigkeiten, Kontingenztafeln .....	27
3.4	Empirische Dichtefunktion / empirische Verteilungsfunktion .....	28
<b>P-3.4.1</b>	Ermittlung der empirischen Verteilungsfunktion für diskrete Daten .....	29
<b>P-3.4.2</b>	Ermittlung der empirischen Dichtefunktion und der empirischen Verteilungsfunktion für klassierte Daten .....	30
3.5	Lagemaße (Lokalisationsmaße) .....	32
3.5.1	Der arithmetische Mittelwert .....	32
<b>P-3.5.1</b>	Ermittlung des arithmetischen Mittelwertes für nichtklassierte und klassierte Daten; Zusammenfassung von Meßreihen .....	32
3.5.2	Empirischer Median (Zentralwert) .....	33
<b>P-3.5.2</b>	Ermittlung des empirischen Medians bei geradem und ungeradem Stichprobenumfang .....	33

3.5.3	Empirischer Modalwert (Dichtemittel) .....	34
3.5.4	Lagebeziehungen zwischen Modalwert, Median und arithmetischem Mittelwert .....	
3.5.5	Der geometrische Mittelwert .....	
3.5.6	Das harmonische Mittel .....	
3.6	Streuungsmaße (Dispersionsmaße) .....	
3.6.1	Lineare Streuungsmaße .....	37
3.6.2	Die empirische Standardabweichung und die empirische Varianz .....	37
<b>P-3.6.2</b>	Ermittlung der empirischen Standardabweichung bzw. Varianz bei nichtklassierten Daten; Zusammenfassung von Meßreihen .....	38
3.6.3	Der Variationskoeffizient .....	40
3.6.4	Die Spannweite .....	40
3.7	Funktionale Abhängigkeit von Variablen .....	41
3.7.1	Lineare / nichtlineare Regression .....	42
3.7.1.1	Der lineare Regressionskoeffizient .....	44
3.7.1.2	Regression von y auf x / Regression von x auf y .....	44
<b>P-3.7.1.2</b>	Ermittlung der empirischen linearen Regressionskoeffizienten und der Restvarianz .....	47
3.7.1.3	Der empirische lineare Korrelationskoeffizient .....	48
<b>P-3.7.1.3</b>	Ermittlung des empirischen linearen Korrelationskoeffizienten .....	50
<b>P-3.7.1.4</b>	Der Spearman'sche Rangkorrelationskoeffizient .....	51
3.7.1.5	Multiple und partielle Korrelationskoeffizienten .....	53
3.7.1.6	Faktorenanalyse .....	54
3.7.2	Nichtlineare Regression und Korrelation; Transformationen .....	54
<b>P-3.7.2</b>	Quadratische Regression .....	55
<b>4</b>	<b>Analytische Statistik</b>	
4.1	Grundlagen .....	57
4.1.1	Ereignisse, Zufallsvariable .....	57
4.1.2	Wahrscheinlichkeitsbegriff, Unabhängigkeitsbegriff .....	58
4.1.3	Gleichwahrscheinliche Ereignisse .....	60
4.1.3.1	Variationen / Kombinationen .....	60
<b>P-4.1.3.1</b>	Ermittlung von Wahrscheinlichkeiten bei gleichwahrscheinlichen Ereignissen .....	61
4.1.4	Häufigkeit / Wahrscheinlichkeit .....	62
<b>P-4.2</b>	Rechenoperationen mit Wahrscheinlichkeiten .....	62
4.3	Abhängige Ereignisse, bedingte Wahrscheinlichkeiten .....	64
<b>P-4.3.1</b>	Diagnosehilfe auf der Grundlage des Bayes-Theorems .....	66
4.4	Verteilungsdichtefunktionen / Verteilungsfunktionen .....	68
4.4.1	Diskrete / kontinuierliche Verteilungen .....	68
4.4.2	Quantile (Fraktile) .....	71
4.4.3	Lageparameter .....	71
<b>P-4.4.3</b>	Erwartungswert des arithmetischen Mittelwertes .....	72

4.4.4	Streuungsparameter .....	73
<b>P-4.4.4</b>	Varianz und Standardabweichung	
	des arithmetischen Mittelwertes .....	73
	Spezielle Verteilungen .....	74
4.5:1	Normalverteilung .....	74
5.1	Wahrscheinlichkeitspapier .....	76
5.2	Standardnormalverteilung .....	78
<b>P-4.5.2</b>	Benutzung der Tabellen der standardisierten Normalverteilung	79
4.5.3	Gleichverteilung .....	81
4.5.4	Binomialverteilung / Polynomialverteilung .....	82
<b>P-4.5.4</b>	Praktische Aufgabenstellungen mit	
	binomialverteilten Zufallsvariablen .....	83
4.5.5	Poisson-Verteilung .....	85
4.5.6	Hypergeometrische Verteilung .....	87
4.5.7	t-Verteilung (Student-Verteilung), Freiheitsgrad .....	87
4.5.8	$\chi^2$ -Verteilung .....	89
4.5.9	F-Verteilung (Fisher-Verteilung) .....	90
4.5.10	Zusammenhang zwischen den	
	Wahrscheinlichkeitsverteilungen .....	90
4.6	Schätzverfahren .....	91
4.6.1	Schätzwerte .....	91
4.6.2	Konfidenzintervalle .....	92
<b>P-4.6.2.1</b>	Konfidenzintervall für den Erwartungswert	
	einer Normalverteilung .....	93
<b>P-4.6.2.2</b>	Konfidenzintervall für den Median .....	95
<b>P-4.6.2.3</b>	Konfidenzintervall für die Streuung .....	96
<b>P-4.6.2.4</b>	Konfidenzintervall für die Grundwahrscheinlichkeit einer	
	Binomialverteilung .....	98
<b>P-4.6.2.5</b>	Konfidenzintervall für den Regressionskoeffizienten und	
	den Achsenabschnitt .....	99
<b>P-4.6.2.6</b>	Konfidenzbereich für die Regressionsgerade .....	101
<b>P-4.6.2.7</b>	Konfidenzintervall für den Korrelationskoeffizienten .....	103
4.7	Testverfahren .....	105
4.7.1	Problemstellung und Formulierung der Ausgangshypothesen	105
4.7.2	Wahl des Signifikanzniveaus (der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha$ )	107
4.7.3	Erhebung des Datenmaterials .....	108
4.7.4	Wahl des statistischen Tests .....	108
4.7.5	Die Testdurchführung .....	111
4.7.6	Die Testentscheidung .....	112
4.7.7	Entscheidungsfehler: Fehler 1. Art $\alpha$ und Fehler 2. Art $\beta$ ....	113
4.7.8	Teststärke / Effizienz .....	115
4.8	Klassische / sequentielle Testverfahren .....	117
<b>P-4.9</b>	Transformation auf die Normalverteilung .....	117
<b>P-4.10</b>	Klassische Tests, Übungen zur Auswahl und Anwendung ...	120
<b>P-4.10.1</b>	Ein-Stichproben-Tests .....	124

<b>P-4.10.1.1</b>	Parametrischer Ein-Stichproben-Test: t-Test .....	124
<b>P-4.10.1.2</b>	Nichtparametrischer Ein-Stichproben-Test: Vorzeichentest ...	127
<b>P-4.10.1.3</b>	Lokations-Kompatibilitätstest nach Locks .....	130
<b>P-4.10.1.4</b>	Ein-Stichproben-Test für Streuungsparameter: $\chi^2$ -Test .....	133
<b>P-4.10.1.5</b>	Dispersions-Kompatibilitätstest nach Locks .....	136
<b>P-4.10.1.6</b>	Ein-Stichproben-t-Test des Regressionskoeffizienten gegen Null .....	139
<b>P-4.10.1.7</b>	Ein-Stichproben-t-Test zum Vergleich empirischer Regressionskoeffizienten und Achsenabschnitte mit ihren Parametern .....	141
<b>P-4.10.1.8</b>	Linearitätstest für die Regression .....	144
<b>P-4.10.1.9</b>	Ein-Stichproben-t-Test für den Korrelationskoeffizienten ...	147
<b>P-4.10.1.10</b>	Test für die Korrelation nicht normalverteilter Variablen (Spearman'scher Rangkorrelationskoeffizient) .....	150
<b>P-4.10.1.11</b>	$\chi^2$ -Anpassungstest .....	153
<b>P-4.10.1.12</b>	Kolmogoroff-Smirnoff-Anpassungstest .....	156
<b>P-4.10.2</b>	Zwei-Stichproben-Tests .....	160
<b>P-4.10.2.1</b>	Zwei-Stichproben-t-Test für unverbundene Stichproben ...	160
<b>P-4.10.2.2</b>	Zwei-Stichproben-t-Test für paarige Stichproben .....	163
<b>P-4.10.2.3</b>	Nichtparametrischer Zwei-Stichproben-Test für unverbundene Stichproben: U-Test (Mann-Whitney-Wilcoxon) .....	167
<b>P-4.10.2.4</b>	Nichtparametrischer Test für paarige Stichproben: Wilcoxon-Test .....	172
<b>P-4.10.2.5</b>	Zwei-Stichproben-Test für Streuungsparameter: F-Test .....	177
<b>P-4.10.2.6</b>	Zwei-Stichproben-t-Test für Regressionskoeffizienten .....	180
<b>P-4.10.2.7</b>	Zwei-Stichproben-Test für Korrelationskoeffizienten .....	184
<b>P-4.10.2.8</b>	Zwei-Stichproben-Test für Verteilungsfunktionen nach Kolmogoroff-Smirnoff .....	187
<b>P-4.10.2.9</b>	$\chi^2$ -Test zum Vergleich der Grundwahrscheinlichkeiten zweier Binomialverteilungen .....	189
<b>P-4.10.3</b>	Mehr-Stichproben-Tests .....	190
<b>P-4.10.3.1</b>	Mehr-Stichproben-Test für mehrere Erwartungswerte: Varianzanalyse (Einfachklassifikation) .....	190
<b>4.10.3.2</b>	Varianzanalyse (Mehrfachklassifikation) .....	194
<b>P-4.10.3.3</b>	Multiple Vergleiche nach Scheffé .....	195
<b>P-4.10.3.4</b>	Nichtparametrischer Mehr-Stichproben-Test für unverbundene Stichproben: H-Test (Kruskal-Wallis-Test) ...	199
<b>P-4.10.3.5</b>	Nichtparametrische multiple Vergleiche für unverbundene Stichproben nach Nemenyi .....	203
<b>P-4.10.3.6</b>	Nichtparametrischer Mehr-Stichproben-Test für verbundene Stichproben: Friedman-Test .....	206
<b>P-4.10.3.7</b>	Nichtparametrische multiple Vergleiche mehrerer abhängiger Stichproben nach Wilcoxon und Wilcox .....	209
<b>P-4.10.3.8</b>	Mehr-Stichproben-Test für Streuungsparameter: Bartlett-Test	211

P-4.10.3.9	Mehr-Stichproben-Test für Korrelationskoeffizienten	215
P-4.10.3.10	$\chi^2$ -Test zum Vergleich der Grundwahrscheinlichkeiten von Polynomialverteilungen	217
P-4.10.4	Tests auf Unabhängigkeit	218
P-4.10.4.1	$\chi^2$ -Test für Kontingenztafeln	218
P-4.10.4.2	$\chi^2$ -Test für Vierfeldertafeln	222
P-4.11	Sequentielle Tests	226
P-4.11.1	Sequentieller Test der Grundwahrscheinlichkeit einer Binomialverteilung	226
P-4.11.2	Zweiseitiger sequentieller Test der Differenz der Grundwahrscheinlichkeiten zweier Binomialverteilungen	229
P-4.11.3	Sequentieller Test für den Erwartungswert einer Normalverteilung unbekannter Varianz: Sequentieller t-Test nach Wald	234
P-4.11.4	Sequentieller t-Test der Differenz zweier Erwartungswerte bei paarigen Stichproben (Normalverteilungen unbekannter Varianz)	236
P-4.11.5	Sequentieller Test der Standardabweichung einer Normalverteilung bei unbekanntem Erwartungswert der Grundgesamtheit	239
P-5	<b>Ermittlung minimaler Stichprobenumfänge</b>	242
P-5.1	Ermittlung minimaler Stichprobenumfänge für Schätzungen	242
P-5.1.1	Minimaler Stichprobenumfang für die Schätzung eines Erwartungswertes	242
P-5.1.2	Minimaler Stichprobenumfang für die Schätzung der Standardabweichung	242
P-5.1.3	Minimaler Stichprobenumfang für die Schätzung von Wahrscheinlichkeiten	243
P-5.2	Ermittlung minimaler Stichprobenumfänge für Testverfahren	244
P-5.2.1	Minimaler Stichprobenumfang für den Vergleich zweier Mittelwerte (t-Test)	244
P-5.2.2	Minimale Stichprobenumfänge für den Vergleich zweier Varianzen (F-Test)	246
P-5.2.3	Minimale Stichprobenumfänge für die Varianzanalyse	247
P-5.2.4	Minimale Stichprobenumfänge für den $\chi^2$ -Vierfelder-Test	250
P-6	<b>Tabellen</b>	252
P-7	<b>Entscheidungsdiagramme: Auswahl der adäquaten Methode</b>	288
8	<b>Liste der Symbole</b>	310
9	<b>Literatur</b>	312
10	<b>Register</b>	315