

# Inhaltsverzeichnis\*

▷	Vorbemerkungen: Empirische Forschung und Statistik . . . . .	1
---	---	---

## Teil I Elementarstatistik

▷	Einleitung . . . . .	14
---	----------------------	----

### **Kapitel 1 Deskriptive Statistik . . . . . 15**

▷	1.1	Messtheoretische Vorbemerkungen . . . . .	15
▷	1.2	Tabellarische Darstellung der Daten . . . . .	27
▷	1.3	Graphische Darstellung der Daten . . . . .	30
▷	1.4	Statistische Kennwerte . . . . .	34
▷	1.4.1	Maße der zentralen Tendenz . . . . .	35
▷	1.4.2	Dispersionsmaße . . . . .	39
▷	1.4.3	z-Werte . . . . .	44
	1.4.4	Schiefe und Exzess . . . . .	45
		Übungsaufgaben . . . . .	46

### **Kapitel 2 Wahrscheinlichkeitstheorie und Wahrscheinlichkeitsverteilungen . . . . . 49**

▷	2.1	Grundbegriffe der Wahrscheinlichkeitsrechnung . . . . .	49
▷	2.1.1	Zufallsexperimente und zufällige Ereignisse . . . . .	50
▷	2.1.2	Relative Häufigkeiten und Wahrscheinlichkeiten . . . . .	52
	2.2	Variationen, Permutationen, Kombinationen . . . . .	59
▷	2.3	Wahrscheinlichkeitsfunktionen und Verteilungsfunktionen . . . . .	62
	2.4	Diskrete Verteilungen . . . . .	65
	2.4.1	Binomialverteilung . . . . .	65

---

\* Die mit einem ▷ versehenen Textteile werden zusammen mit den Einleitungen zu den Kapiteln dem Anfänger als Erstlektüre empfohlen.

	2.4.2	Hypergeometrische Verteilung . . . . .	70
	2.4.3	Poisson-Verteilung . . . . .	71
	2.4.4	Weitere diskrete Verteilungen . . . . .	72
	2.5	Stetige Verteilungen . . . . .	73
▷	2.5.1	Normalverteilung . . . . .	73
	2.5.2	$\chi^2$ -Verteilung . . . . .	79
	2.5.3	t-Verteilung . . . . .	81
	2.5.4	F-Verteilung . . . . .	81
	2.5.5	Vergleich von F-, t-, $\chi^2$ - und Normalverteilung . . . . .	82
		Übungsaufgaben . . . . .	83

### **Kapitel 3 Stichprobe und Grundgesamtheit** 85

▷	3.1	Stichprobenarten . . . . .	86
▷	3.2	Die Stichprobenkennwerteverteilung . . . . .	89
▷	3.2.1	Die Streuung der Stichprobenkennwerteverteilung . . . . .	90
▷	3.2.2	Die Form der Stichprobenkennwerteverteilung . . . . .	93
▷	3.2.3	Der Mittelwert der Stichprobenkennwerteverteilung . . . . .	94
	3.3	Kriterien der Parameterschätzung . . . . .	95
	3.4	Methoden der Parameterschätzung . . . . .	98
▷	3.5	Intervallschätzung . . . . .	100
▷	3.6	Bedeutung des Stichprobenumfangs . . . . .	104
		Übungsaufgaben . . . . .	106

### **Kapitel 4 Formulierung und Überprüfung von Hypothesen** 107

▷	4.1	Alternativhypothesen . . . . .	108
▷	4.2	Die Nullhypothese . . . . .	109
▷	4.3	Fehlerarten bei statistischen Entscheidungen . . . . .	110
▷	4.4	Signifikanzaussagen . . . . .	111
▷	4.5	Einseitige und zweiseitige Tests . . . . .	116
▷	4.6	Statistische Signifikanz und praktische Bedeutsamkeit . . . . .	119
▷	4.7	$\alpha$ -Fehler, $\beta$ -Fehler und Teststärke . . . . .	121
▷	4.8	Bedeutung der Stichprobengröße . . . . .	125

▷	4.9	Praktische Hinweise . . . . .	128
▷	4.10	Multiples Testen . . . . .	129
	4.11	Monte-Carlo-Studien und die Bootstrap-Technik . . . . .	130
		Übungsaufgaben . . . . .	133

**Kapitel 5 Verfahren zur Überprüfung von Unterschiedshypothesen . . . 135**

▷	5.1	Verfahren für Intervalldaten . . . . .	136
▷	5.1.1	Vergleich eines Stichprobenmittelwertes mit einem Populationsparameter . . . . .	136
▷	5.1.2	Vergleich zweier Stichprobenmittel- werte aus unabhängigen Stichproben (t-Test) .	140
▷	5.1.3	Vergleich zweier Stichprobenmittel- werte aus abhängigen Stichproben (t-Test) . . . . .	143
	5.1.4	Vergleich einer Stichprobenvarianz mit einer Populationsvarianz . . . . .	146
▷	5.1.5	Vergleich zweier Stichprobenvarianzen (F-Test) . . . . .	148
	5.2	Verfahren für Ordinaldaten . . . . .	150
	5.2.1	Vergleich von zwei unabhängigen Stichproben hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz (U-Test von Mann-Whitney) . . . . .	150
	5.2.2	Vergleich von zwei abhängigen Stichproben hinsichtlich ihrer zentralen Tendenz (Wilcoxon-Test) . . . . .	153
▷	5.3	Verfahren für Nominaldaten . . . . .	154
▷	5.3.1	Vergleich der Häufigkeiten eines zweifach gestuften Merkmals . . . . .	156
▷	5.3.2	Vergleich der Häufigkeiten eines k-fach gestuften Merkmals . . . . .	162
▷	5.3.3	Vergleich der Häufigkeiten von zwei alternativen Merkmalen . . . . .	168
▷	5.3.4	Vergleich der Häufigkeiten von zwei mehrfach gestuften Merkmalen . . . . .	172
	5.3.5	Vergleich der Häufigkeiten von m alternativ oder mehrfach gestuften Merkmalen (Konfigurationsfrequenzanalyse) . . . . .	175
▷	5.3.6	Allgemeine Bemerkungen zu den $\chi^2$ -Techniken . . . . .	176
		Übungsaufgaben . . . . .	177

## **Kapitel 6 Verfahren zur Überprüfung von Zusammenhangshypothesen . 181**

▷ 6.1	Merkmalsvorhersagen . . . . .	182
▷ 6.1.1	Lineare Regression . . . . .	183
▷ 6.1.2	Statistische Absicherung . . . . .	191
6.1.3	Nonlineare Regression . . . . .	196
▷ 6.2	Merkmalszusammenhänge . . . . .	201
▷ 6.2.1	Kovarianz und Korrelation . . . . .	203
▷ 6.2.2	Überprüfung von Korrelationshypothesen . . . . .	213
▷ 6.3	Spezielle Korrelationstechniken . . . . .	224
6.3.1	Korrelation zweier Intervallskalen . . . . .	224
6.3.2	Korrelation einer Intervallskala mit einem dichotomen Merkmal . . . . .	224
6.3.3	Korrelation einer Intervallskala mit einer Ordinalskala . . . . .	227
6.3.4	Korrelation für zwei dichotome Variablen . . . . .	227
6.3.5	Korrelation eines dichotomen Merkmals mit einer Ordinalskala (biseriale Rangkorrelation) . . . . .	231
6.3.6	Korrelation zweier Ordinalskalen . . . . .	232
6.3.7	„Korrelation“ zweier Nominalskalen (Kontingenzkoeffizient) . . . . .	234
▷ 6.4	Korrelation und Kausalität . . . . .	235
	Übungsaufgaben . . . . .	236

## **Teil II Varianzanalytische Methoden**

▷	Einleitung . . . . .	243
---	----------------------	-----

## **Kapitel 7 Einfaktorielle Versuchspläne . . . . 247**

▷ 7.1	Grundprinzip der einfaktoriellen Varianzanalyse . . . . .	248
7.2	Ungleiche Stichprobengrößen . . . . .	260
7.3	Einzelvergleiche . . . . .	263
7.3.1	Konstruktionsprinzipien . . . . .	263
7.3.2	Zerlegung der Treatmentquadratsumme . . . . .	267
7.3.3	$\alpha$ -Fehler-Korrektur . . . . .	271
7.3.4	Einzelvergleiche a priori oder a posteriori? . . . . .	272
7.3.5	Scheffé-Test . . . . .	274
7.4	Trendtests . . . . .	276
7.4.1	Äquidistante Stufen . . . . .	276
7.4.2	Beliebige Abstufungen . . . . .	281

	7.4.3	Monotone Trends . . . . .	282
▷	7.5	Voraussetzungen der einfaktoriellen Varianzanalyse . . . . .	284
		Übungsaufgaben . . . . .	287
		<b>Kapitel 8 Mehrfaktorielle Versuchspläne . . .</b>	<b>289</b>
▷	8.1	Zweifaktorielle Varianzanalyse . . . . .	290
	8.2	Einzelvergleiche . . . . .	305
	8.3	Drei- und mehrfaktorielle Varianzanalysen . . . . .	312
	8.4	Ungleiche Stichprobengrößen . . . . .	321
	8.5	Varianzanalyse mit einem Untersuchungsobjekt pro Faktorstufenkombination ( $n=1$ ) . . . . .	325
	8.6	Voraussetzungen mehrfaktorieller Versuchspläne . . . . .	328
		Übungsaufgaben . . . . .	329
		<b>Kapitel 9 Versuchspläne mit Messwiederholungen . . . . .</b>	<b>331</b>
▷	9.1	Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen . . . . .	331
	9.2	Mehrfaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholungen . . . . .	336
	9.3	Voraussetzungen der Varianzanalyse mit Messwiederholungen . . . . .	352
		Übungsaufgaben . . . . .	359
		<b>Kapitel 10 Kovarianzanalyse . . . . .</b>	<b>361</b>
▷	10.1	Einfaktorielle Kovarianzanalyse . . . . .	362
	10.2	Voraussetzungen der Kovarianzanalyse . . . . .	369
	10.3	Mehrfaktorielle Kovarianzanalyse . . . . .	373
	10.4	Kovarianzanalyse mit Messwiederholungen . . . . .	376
		Übungsaufgaben . . . . .	385
		<b>Kapitel 11 Unvollständige, mehrfaktorielle Versuchspläne . .</b>	<b>387</b>
	11.1	Hierarchische und teilhierarchische Versuchspläne . . . . .	388
	11.2	Lateinische Quadrate . . . . .	396
	11.3	Griechisch-lateinische Quadrate . . . . .	400
	11.4	Quadratische Anordnungen mit Messwiederholungen . . . . .	403
		Übungsaufgaben . . . . .	408

<b>Kapitel 12 Theoretische Grundlagen der Varianzanalyse</b> . . . . .	411
12.1 Einfaktorielle Varianzanalyse . . . . .	411
12.2 Zwei- und mehrfaktorielle Varianzanalysen . . . . .	416
12.3 Varianzanalysen mit Messwiederholungen . . . . .	423
12.4 Kovarianzanalyse . . . . .	427
12.5 Unvollständige, mehrfaktorielle Varianzanalysen . . . . .	428
12.6 Allgemeine Regeln für die Bestimmung der Erwartungswerte von Varianzen . . . . .	430
Übungsaufgaben . . . . .	436
 <b>Teil III Multivariate Methoden</b>	
▷ Einleitung . . . . .	439
<b>Kapitel 13 Partialkorrelation und Multiple Korrelation</b> . . . . .	443
▷ 13.1 Partialkorrelation . . . . .	443
13.2 Multiple Korrelation und Regression . . . . .	448
▷ 13.2.1 Grundprinzip und Interpretation . . . . .	448
13.2.2 Multikollinearität und Suppressionseffekte . . . . .	452
13.2.3 Mathematischer Hintergrund . . . . .	465
13.3 Lineare Strukturgleichungsmodelle . . . . .	471
Übungsaufgaben . . . . .	481
<b>Kapitel 14 Das allgemeine lineare Modell (ALM)</b> . . . . .	483
14.1 Codierung nominaler Variablen . . . . .	483
14.2 Spezialfälle des ALM . . . . .	488
14.2.1 t-Test für unabhängige Stichproben . . . . .	489
14.2.2 Einfaktorielle Varianzanalyse . . . . .	490
14.2.3 Zwei- und mehrfaktorielle Varianzanalyse (gleiche Stichprobenumfänge) . . . . .	491
14.2.4 Zwei- und mehrfaktorielle Varianzanalyse (ungleiche Stichprobenumfänge) . . . . .	494
14.2.5 Kovarianzanalyse . . . . .	498
14.2.6 Hierarchische Varianzanalyse . . . . .	500
14.2.7 Lateinisches Quadrat . . . . .	501

14.2.8	t-Test für abhängige Stichproben . . . . .	502
14.2.9	Varianzanalyse mit Messwiederholungen . . . . .	503
14.2.10	4-Felder- $\chi^2$ -Test . . . . .	505
14.2.11	$k \times 2$ - $\chi^2$ -Test . . . . .	507
14.2.12	Mehrebenenanalyse . . . . .	508
	Übungsaufgaben . . . . .	509

**Kapitel 15 Faktorenanalyse . . . . . 511**

▷ 15.1	Faktorenanalyse im Überblick . . . . .	511
▷ 15.2	Grundprinzip und Interpretation der Hauptkomponentenanalyse . . . . .	516
15.3	Rechnerische Durchführung der Hauptkomponentenanalyse . . . . .	524
15.4	Kriterien für die Anzahl der Faktoren . . . . .	543
15.5	Rotationskriterien . . . . .	547
15.6	Weitere faktorenanalytische Ansätze . . . . .	556
	Übungsaufgaben . . . . .	563

**Kapitel 16 Clusteranalyse . . . . . 565**

16.1	Ähnlichkeits- und Distanzmaße . . . . .	566
16.1.1	Nominalskalierte Merkmale . . . . .	567
16.1.2	Ordinalskalierte Merkmale . . . . .	568
16.1.3	Kardinalskalierte Merkmale . . . . .	568
16.1.4	Gemischt-skalierte Merkmale . . . . .	570
▷ 16.2	Übersicht clusteranalytischer Verfahren . . . . .	571
16.2.1	Hierarchische Verfahren . . . . .	571
16.2.2	Nicht-hierarchische Verfahren . . . . .	573
16.3	Durchführung einer Clusteranalyse . . . . .	575
16.3.1	Die Ward-Methode . . . . .	575
16.3.2	Die k-means-Methode . . . . .	578
16.4	Evaluation clusteranalytischer Lösungen . . . . .	580
	Übungsaufgaben . . . . .	584

**Kapitel 17 Multivariate Mittelwert-  
vergleiche . . . . . 585**

▷ 17.1	Mehrfache univariate Analysen oder eine multivariate Analyse? . . . . .	585
17.2	Vergleich einer Stichprobe mit einer Population . . . . .	586
17.3	Vergleich zweier Stichproben . . . . .	588
17.4	Einfaktorielle Varianzanalyse mit Messwiederholungen . . . . .	590

17.5	Einfaktorielle, multivariate Varianzanalyse . . . . .	592
17.6	Mehrfaktorielle, multivariate Varianzanalyse . . . . .	598
	Übungsaufgaben . . . . .	602

**Kapitel 18 Diskriminanzanalyse . . . . . 605**

▷ 18.1	Grundprinzip und Interpretation der Diskriminanzanalyse . . . . .	606
18.2	Mathematischer Hintergrund . . . . .	612
18.3	Mehrfaktorielle Diskriminanzanalyse . . . . .	617
18.4	Klassifikation . . . . .	617
	Übungsaufgaben . . . . .	626

**Kapitel 19 Kanonische Korrelationsanalyse . 627**

▷ 19.1	Grundprinzip und Interpretation . . . . .	628
19.2	Mathematischer Hintergrund . . . . .	634
19.3	Die kanonische Korrelation: Ein allgemeiner Lösungsansatz . . . . .	639
19.4	Schlussbemerkung . . . . .	644
	Übungsaufgaben . . . . .	645

**Anhang**

	Lösungen der Übungsaufgaben . . . . .	649
A.	Das Rechnen mit dem Summenzeichen . . . . .	703
B.	Das Rechnen mit Erwartungswerten . . . . .	705
C.	Das Rechnen mit Matrizen . . . . .	713
D.	Maximierung mit Nebenbedingungen . . . . .	725
E.	Statistik mit SPSS . . . . .	727
F.	Verzeichnis der wichtigsten Abkürzungen und Symbole . . . . .	781
G.	Glossar . . . . .	787
H.	Formelverzeichnis . . . . .	801

**Tabellen . . . . . 807**

Tabelle A.	Binomialverteilungen . . . . .	807
Tabelle B.	Verteilungsfunktion der Standardnormalverteilung . . . . .	812
Tabelle C.	Verteilungsfunktion der $\chi^2$ -Verteilungen . . . . .	817



## Inhaltsverzeichnis

Tabelle D.	Verteilungsfunktion der t-Verteilungen und zweiseitige Signifikanzgrenzen für Produkt-Moment-Korrelationen . . . . .	819
Tabelle E.	Verteilungsfunktion der F-Verteilungen . .	820
Tabelle F.	U-Test-Tabelle . . . . .	826
Tabelle G.	Tabelle der kritischen Werte für den Wilcoxon-Test . . . . .	829
Tabelle H.	Fishers Z-Werte . . . . .	830
Tabelle I.	c-Koeffizienten für Trendtests (orthogonale Polynome) . . . . .	831

Tabelle K.	Kritische Werte der $F_{\max}$ -Verteilungen . . . . .	832
Tabelle L.	Normal-Rang-Transformationen . . . . .	833
<b>Literaturverzeichnis</b> . . . . .		<b>835</b>
<b>Namenverzeichnis</b> . . . . .		<b>863</b>
<b>Sachverzeichnis</b> . . . . .		<b>873</b>