

---

# Inhaltsverzeichnis

|          |  |    |
|----------|--|----|
| <b>1</b> | <b>Statistische Grundbegriffe</b>            | 1  |
| 1.1      | Skalenniveaus von Merkmalen                  | 1  |
| 1.2      | Wahrscheinlichkeitsrechnung                  | 2  |
| 1.3      | Eindimensionale Verteilungen                 | 7  |
| 1.4      | Mehrdimensionale Verteilungen                | 9  |
| 1.5      | Momente, Quantile und weitere Maßzahlen      | 10 |
| 1.6      | Induktive Statistik: Schätzen von Parametern | 12 |
| 1.7      | Grundbegriffe der Testtheorie                | 14 |
| <b>2</b> | <b>Einführung in SAS</b>                     | 21 |
| 2.1      | BenutzerInnen-Oberfläche                     | 21 |
| 2.2      | Programmaufbau                               | 23 |
| 2.3      | Der DATA-Step                                | 25 |
| 2.3.1    | Temporäre und permanente Datensätze          | 25 |
| 2.3.2    | Aufbau eines Datensatzes                     | 26 |
| 2.3.3    | Datenerzeugung                               | 28 |
| 2.3.4    | Einlesen von Daten                           | 30 |
| 2.3.5    | Einlesen von externen Daten                  | 31 |
| 2.3.6    | Transformieren von Daten                     | 34 |
| 2.3.7    | Erzeugen von Zufallszahlen                   | 35 |
| 2.4      | Der PROC-Step                                | 37 |
| 2.4.1    | Optionen                                     | 37 |
| 2.4.2    | Anweisungen                                  | 38 |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 2.4.3    | Hilfsprozeduren .....                                   | 38        |
| 2.5      | Globale Anweisungen .....                               | 39        |
| 2.6      | Aufbereitung der Ergebnisse .....                       | 39        |
| 2.6.1    | Textausgaben .....                                      | 40        |
| 2.6.2    | Grafikprozeduren .....                                  | 42        |
| 2.6.3    | Grafiken gestalten und exportieren .....                | 45        |
| 2.6.4    | Das Output-Delivery-System (ODS) .....                  | 48        |
| 2.7      | Grundlagen der Statistik mit SAS .....                  | 48        |
| 2.7.1    | Eindimensionale Merkmale .....                          | 48        |
| 2.7.2    | Kontingenztafeln und Zusammenhangsmaße .....            | 52        |
| <b>3</b> | <b>Einführung in R</b> .....                            | <b>55</b> |
| 3.1      | Installation und Konfiguration .....                    | 55        |
| 3.2      | Grundlagen .....  | 57        |
| 3.2.1    | Zuweisungen .....                                       | 57        |
| 3.2.2    | Objekte und Workspace .....                             | 59        |
| 3.2.3    | Datentypen .....  | 59        |
| 3.2.4    | Hilfesystem .....                                       | 60        |
| 3.2.5    | Pakete .....  | 61        |
| 3.3      | Datenstrukturen .....                                   | 61        |
| 3.3.1    | Vektoren .....  | 62        |
| 3.3.2    | Matrizen .....  | 63        |
| 3.3.3    | Arrays .....  | 64        |
| 3.3.4    | Listen .....  | 64        |
| 3.3.5    | Data Frames, Datensätze .....                           | 65        |
| 3.4      | Konstrukte für den Programmablauf .....                 | 66        |
| 3.4.1    | Verzweigungen .....                                     | 68        |
| 3.4.2    | Schleifen .....   | 69        |
| 3.5      | Funktionen .....  | 71        |
| 3.6      | Datenimport und -export .....                           | 72        |
| 3.7      | Statistik mit R .....                                   | 74        |
| 3.8      | Grafiken in R .....                                     | 77        |
| 3.9      | Editoren und grafische Benutzeroberflächen (GUIs) ..... | 79        |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>4</b> | <b>Geordnete Statistiken und Rangstatistiken</b> .....                 | 81  |
| 4.1      | Bindungen.....   | 85  |
| 4.2      | Empirische und theoretische Verteilungsfunktion .....                  | 87  |
| 4.3      | Verteilung der Ränge .....   | 93  |
| 4.4      | Verteilung der Ordnungsstatistiken .....                               | 93  |
| 4.5      | Verteilung des Medians.....  | 99  |
| 4.6      | Konfidenzintervalle für Quantile .....                                 | 101 |
|          | Übungsaufgaben .....   | 104 |
| <b>5</b> | <b>Einstichprobenprobleme</b> .....                                    | 107 |
| 5.1      | Tests auf Verteilungsanpassung.....                                    | 108 |
| 5.1.1    | Kolmogorov-Smirnov-Test .....  | 108 |
| 5.1.2    | Lilliefors-Test .....  | 112 |
| 5.1.3    | Chi-Quadrat-Test .....   | 114 |
| 5.1.4    | Anderson-Darling-Test .....  | 116 |
| 5.1.5    | Cramér-von-Mises-Test .....  | 119 |
| 5.1.6    | Shapiro-Wilk-Test .....  | 121 |
| 5.1.7    | Übersicht Tests auf Verteilungsanpassung .....                         | 122 |
| 5.1.8    | Test auf Verteilungsanpassung in SAS.....                              | 124 |
| 5.1.9    | Test auf Verteilungsanpassung in R .....                               | 126 |
| 5.2      | Binomialtest .....   | 129 |
| 5.3      | Lineare Rangtests .....  | 134 |
| 5.3.1    | Das allgemeine Prinzip linearer Rangstatistiken .....                  | 134 |
| 5.3.2    | Der Vorzeichentest (Sign-Test) .....                                   | 135 |
| 5.3.3    | Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest .....                                     | 138 |
| 5.4      | Test auf Zufälligkeit - Wald-Wolfowitz-Test .....                      | 141 |
| 5.5      | Übersicht Tests für Einstichprobenprobleme .....                       | 144 |
| 5.6      | Konfidenzbereiche .....  | 145 |
| 5.6.1    | Konfidenzbereich für die Verteilungsfunktion.....                      | 146 |
| 5.6.2    | Konfidenzintervall für einen Anteil (bzw.<br>Wahrscheinlichkeit) ..... | 146 |
|          | Übungsaufgaben .....   | 148 |

|          |  |     |
|----------|--|-----|
| <b>6</b> | <b>Zweistichprobenprobleme für unabhängige Stichproben</b> . . . .     | 151 |
| 6.1      | Tests auf Verteilungsanpassung . . . . .                               | 152 |
| 6.1.1    | Iterationstest von Wald-Wolfowitz . . . . .                            | 152 |
| 6.1.2    | Kolmogorov-Smirnov-Test . . . . .                                      | 156 |
| 6.1.3    | Cramér-von-Mises-Test . . . . .  | 160 |
| 6.2      | Die Lineare Rangstatistik (Zweistichprobenfall) . . . . .              | 163 |
| 6.3      | Lineare Rangtests für Lagealternativen . . . . .                       | 165 |
| 6.3.1    | Wilcoxon-Rangsummentest . . . . .                                      | 165 |
| 6.3.2    | Mann-Whitney-U-Test . . . . .  | 173 |
| 6.3.3    | Van der Waerden-Test . . . . .   | 175 |
| 6.3.4    | Median-Test . . . . .  | 178 |
| 6.4      | Lineare Rangtests für Variabilitätsanalysen . . . . .                  | 181 |
| 6.4.1    | Siegel-Tukey-Test . . . . .  | 182 |
| 6.4.2    | Mood-Test . . . . .  | 184 |
| 6.4.3    | Ansari-Bradley-Test . . . . .  | 187 |
| 6.5      | Konfidenzintervalle . . . . .  | 189 |
| 6.5.1    | Konfidenzintervall für die Lageverschiebung $\theta$ . . . . .         | 189 |
| 6.5.2    | Konfidenzintervall für den Variabilitätsunterschied $\theta$ . . . . . | 191 |
|          | Übungsaufgaben . . . . .   | 193 |
| <b>7</b> | <b>Zweistichprobenprobleme für verbundene Stichproben</b> . . . .      | 195 |
| 7.1      | Problembeschreibung . . . . .  | 195 |
| 7.2      | Vorzeichentest . . . . .   | 196 |
| 7.3      | Wilcoxon-Test . . . . .  | 201 |
| 7.4      | McNemar-Test . . . . .   | 205 |
| 7.5      | Konfidenzintervalle für den Median der Differenz . . . . .             | 207 |
| 7.5.1    | Basis Ordnungsreihen . . . . .   | 208 |
| 7.5.2    | Basis Wilcoxon-Statistik . . . . .                                     | 208 |
|          | Übungsaufgaben . . . . .   | 210 |
| <b>8</b> | <b>c-Stichproben-Problem</b> . . . . .                                 | 213 |
| 8.1      | Unabhängige Stichproben . . . . .                                      | 213 |
| 8.1.1    | Kruskal-Wallis-Test . . . . .  | 214 |
| 8.1.2    | Mediantest . . . . .   | 219 |

|           |  |            |
|-----------|--|------------|
| 8.1.3     | Jonckheere-Terpstra-Test .....                                 | 221        |
| 8.2       | Abhängige Stichproben .....                                    | 224        |
| 8.2.1     | Friedman-Test .....  | 225        |
| 8.2.2     | Kendall-Test .....   | 229        |
| 8.2.3     | Q-Test von Cochran .....                                       | 230        |
| 8.2.4     | Durbin-Test .....  | 232        |
| 8.2.5     | Trendtest von Page .....                                       | 234        |
| 8.2.6     | Quade-Test .....   | 237        |
|           | Übungsaufgaben .....   | 240        |
| <b>9</b>  | <b>Unabhängigkeit und Korrelation</b> .....                    | <b>243</b> |
| 9.1       | Problemstellung .....  | 243        |
| 9.2       | Chi-Quadrat-Test auf Unabhängigkeit .....                      | 245        |
| 9.3       | Fisher-Test .....  | 249        |
| 9.4       | Rangkorrelation nach Spearman .....                            | 252        |
| 9.5       | Korrelationskoeffizient von Kendall .....                      | 257        |
| 9.6       | Korrelationskoeffizient nach Bravais-Pearson .....             | 262        |
| 9.7       | Grafische Darstellung zweier metrischer Merkmale .....         | 267        |
| 9.8       | Korrelation und Kausalität .....                               | 268        |
| 9.9       | Tipps und Tricks .....   | 270        |
|           | Übungsaufgaben .....   | 271        |
| <b>10</b> | <b>Nichtparametrische Dichteschätzung und Regression</b> ..... | <b>273</b> |
| 10.1      | Nichtparametrische Dichteschätzung .....                       | 273        |
| 10.1.1    | Das Histogramm .....   | 273        |
| 10.1.2    | Kerndichteschätzer .....                                       | 278        |
| 10.1.3    | Eigenschaften von Kerndichteschätzer .....                     | 285        |
| 10.1.4    | Wahl der optimalen Bandbreite .....                            | 287        |
| 10.2      | Nichtparametrische Regression .....                            | 291        |
| 10.2.1    | Lineare Regression - Kleinst-Quadrat-Schätzung .....           | 292        |
| 10.2.2    | Lineare Regression - Verfahren von Theil .....                 | 297        |
| 10.2.3    | Nichtlineares Regressionsmodell .....                          | 305        |
|           | Übungsaufgaben .....   | 308        |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Lösungen zu den Übungsaufgaben</b> .....                      | 309 |
| <b>Tabellen</b> .....  | 349 |
| 11.1 Standardnormalverteilung .....                              | 350 |
| 11.2 Student-Verteilung (t-Verteilung) .....                     | 351 |
| 11.3 Chi-Quadrat-Verteilung .....                                | 352 |
| 11.4 Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest .....                     | 354 |
| 11.5 Lilliefors-Test auf Normalverteilung .....                  | 355 |
| 11.6 Wilcoxon-Vorzeichen-Rangtest .....                          | 356 |
| 11.7 Wald-Wolfowitz-Iterationstest .....                         | 357 |
| 11.8 Kolmogorov-Smirnov-Zweistichprobentest ( $m = n$ ) .....    | 358 |
| 11.9 Kolmogorov-Smirnov-Zweistichprobentest ( $m \neq n$ ) ..... | 359 |
| 11.10 Cramér Zweistichprobentest .....                           | 361 |
| 11.11 Wilcoxon-(Rangsummen-)Test .....                           | 364 |
| 11.12 Van der Waerden-Test .....                                 | 373 |
| 11.13 Mood-Test .....  | 376 |
| 11.14 Kruskal-Wallis-Test .....                                  | 383 |
| 11.15 Jonckheere-Terpstra-Test $n_i = n_j$ .....                 | 385 |
| 11.16 Jonckheere-Terpstra-Test $n_i \neq n_j$ .....              | 388 |
| 11.17 Friedman-Test .....  | 390 |
| 11.18 Hotelling-Pabst-Statistik .....                            | 395 |
| 11.19 Kendalls S-Statistik .....                                 | 399 |
| <b>Literaturverzeichnis</b> .....                                | 401 |
| <b>Sachverzeichnis</b> .....                                     | 407 |