

# Inhalt

|          |                                                                |           |
|----------|----------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung .....</b>                                        | <b>11</b> |
| 1.1      | Nachrichtentechnik – ein Überblick .....                       | 11        |
| 1.2      | Digitale und analoge Übertragung .....                         | 13        |
| 1.3      | Standardisierung .....                                         | 16        |
| 1.4      | Zum Inhalt dieses Buches .....                                 | 17        |
| <b>2</b> | <b>Signalübertragung .....</b>                                 | <b>19</b> |
| 2.1      | Lineare zeitinvariante Systeme .....                           | 19        |
| 2.1.1    | Impulsantwort und Faltung .....                                | 20        |
| 2.1.2    | Fourier-Transformation .....                                   | 25        |
| 2.1.3    | Übertragungsfunktion .....                                     | 32        |
| 2.1.4    | Verzerrungsfreies System .....                                 | 36        |
| 2.1.5    | Der ideale Tiefpass .....                                      | 38        |
| 2.1.6    | Der ideale Bandpass .....                                      | 39        |
| 2.2      | Energie- und Leistungssignale .....                            | 40        |
| 2.2.1    | Normierte Energie und normierte Leistung .....                 | 40        |
| 2.2.2    | Korrelation von Energie- und Leistungssignalen .....           | 41        |
| 2.2.3    | Energie- und Leistungsdichtespektrum .....                     | 43        |
| 2.3      | Zufallssignale .....                                           | 45        |
| 2.3.1    | Beschreibung von Zufallssignalen durch Erwartungswerte .....   | 46        |
| 2.3.2    | Verteilungsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichte .....        | 48        |
| 2.3.3    | Leistungsdichtespektrum von Zufallssignalen .....              | 55        |
| 2.3.4    | Übertragung von Zufallssignalen über LTI-Systeme .....         | 58        |
| 2.3.5    | Weißes Rauschen, Rauschbandbreite und additives Rauschen ..... | 60        |
| 2.4      | Weiterführende Hinweise .....                                  | 65        |
| 2.5      | Übungsaufgaben .....                                           | 65        |
| <b>3</b> | <b>Signalabtastung und Quantisierung .....</b>                 | <b>67</b> |
| 3.1      | Abtasttheorem .....                                            | 67        |
| 3.2      | Abtastung von Bandpasssignalen .....                           | 73        |
| 3.3      | Lineare Quantisierung .....                                    | 76        |
| 3.4      | Nichtlineare Quantisierung und Pulsmodulation (PCM) .....      | 79        |
| 3.5      | Weiterführende Hinweise .....                                  | 83        |
| 3.6      | Übungsaufgaben .....                                           | 83        |

|          |                                                                   |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>4</b> | <b>Digitale Signalverarbeitung in der Nachrichtentechnik.....</b> | <b>85</b>  |
| 4.1      | Zeitdiskrete Signale und Systeme .....                            | 85         |
| 4.1.1    | Energie, Leistung und Korrelationsfunktion .....                  | 86         |
| 4.1.2    | Diskrete Faltung .....                                            | 88         |
| 4.1.3    | Fourier-Transformation zeitdiskreter Signale .....                | 91         |
| 4.1.4    | Diskrete Fourier-Transformation .....                             | 93         |
| 4.2      | Digitale Filter .....                                             | 99         |
| 4.3      | Weiterführende Hinweise .....                                     | 108        |
| 4.4      | Übungsaufgaben .....                                              | 109        |
| <b>5</b> | <b>Digitale Nachrichtenübertragung im Basisband .....</b>         | <b>111</b> |
| 5.1      | Basisbandsignale und Leitungscodes.....                           | 111        |
| 5.2      | Intersymbol-Interferenz und Nyquist-Pulsformung .....             | 115        |
| 5.2.1    | Nyquist-Bandbreite .....                                          | 115        |
| 5.2.2    | Das erste Nyquist-Kriterium.....                                  | 116        |
| 5.2.3    | Kosinus-roll-off-Filter .....                                     | 118        |
| 5.2.4    | Das Augendiagramm .....                                           | 121        |
| 5.2.5    | Leistungsdichtespektrum digitaler Basisbandsignale.....           | 123        |
| 5.3      | Fehlerwahrscheinlichkeit .....                                    | 127        |
| 5.3.1    | Fehlerwahrscheinlichkeit bei binärer Übertragung .....            | 127        |
| 5.3.2    | Signalangepasstes Filter .....                                    | 131        |
| 5.3.3    | Fehlerwahrscheinlichkeit bei Mehrpegelübertragung .....           | 136        |
| 5.4      | Kanalverzerrungen .....                                           | 140        |
| 5.4.1    | Symboltaktentzerrer .....                                         | 140        |
| 5.4.2    | Entzerrer mit Doppelabtastung .....                               | 143        |
| 5.4.3    | Vergleich der verschiedenen Empfängerkonzepte .....               | 147        |
| 5.4.4    | Adaptive Entzerrung .....                                         | 148        |
| 5.5      | Scrambling .....                                                  | 150        |
| 5.6      | Synchronisation .....                                             | 154        |
| 5.6.1    | Symboltaktsynchronisation .....                                   | 154        |
| 5.6.2    | Rahmensynchronisation .....                                       | 157        |
| 5.7      | Weiterführende Hinweise .....                                     | 159        |
| 5.8      | Übungsaufgaben .....                                              | 160        |
| <b>6</b> | <b>Modulationsverfahren .....</b>                                 | <b>161</b> |
| 6.1      | Bandpasssignale .....                                             | 162        |

|          |                                                                            |            |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|------------|
| 6.1.1    | Bandpasssignal und äquivalentes Tiefpasssignal .....                       | 162        |
| 6.1.2    | Äquivalentes Tiefpasssystem .....                                          | 166        |
| 6.1.3    | Leistungsdichtespektrum von Bandpassrauschen .....                         | 170        |
| 6.2      | Analoge Modulationsverfahren .....                                         | 171        |
| 6.2.1    | Amplitudenmodulation .....                                                 | 172        |
| 6.2.2    | Frequenz- und Phasenmodulation .....                                       | 179        |
| 6.3      | Digitale Modulationsverfahren .....                                        | 189        |
| 6.3.1    | Quadraturmodulator .....                                                   | 189        |
| 6.3.2    | Amplitudenumtastung .....                                                  | 191        |
| 6.3.3    | Phasenumtastung .....                                                      | 193        |
| 6.3.4    | Quadratur-Amplitudenmodulation .....                                       | 198        |
| 6.3.5    | Frequenzumtastung .....                                                    | 200        |
| 6.4      | Demodulation und Fehlerwahrscheinlichkeit digitaler Modulationsverfahren . | 209        |
| 6.4.1    | Kohärente Demodulation .....                                               | 210        |
| 6.4.2    | Inkohärente Demodulation .....                                             | 222        |
| 6.4.3    | Modulationsfehler, EVM und MER .....                                       | 228        |
| 6.5      | Entzerrung von Bandpasssignalen .....                                      | 229        |
| 6.6      | Multiträgersysteme und Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)   | 231        |
| 6.7      | Empfängerarchitekturen .....                                               | 239        |
| 6.8      | Weiterführende Hinweise .....                                              | 243        |
| 6.9      | Übungsaufgaben .....                                                       | 244        |
| <b>7</b> | <b>Kanalcodierung .....</b>                                                | <b>247</b> |
| 7.1      | Kanalkapazität .....                                                       | 248        |
| 7.2      | Blockcodes .....                                                           | 251        |
| 7.2.1    | Eigenschaften von Blockcodes .....                                         | 251        |
| 7.2.2    | Hamming-Codes .....                                                        | 255        |
| 7.2.3    | Codiergewinn .....                                                         | 259        |
| 7.2.4    | Zyklische Codes .....                                                      | 260        |
| 7.3      | Faltungscodes .....                                                        | 266        |
| 7.3.1    | Codierung .....                                                            | 267        |
| 7.3.2    | Viterbi-Decodierung .....                                                  | 271        |
| 7.3.3    | Decodierung mit/ohne Zuverlässigkeitsinformation .....                     | 275        |
| 7.4      | Interleaving .....                                                         | 277        |
| 7.5      | Turbo-Codes und LDPC-Codes .....                                           | 280        |
| 7.6      | Weiterführende Hinweise .....                                              | 282        |
| 7.7      | Übungsaufgaben .....                                                       | 283        |

|          |                                                            |            |
|----------|------------------------------------------------------------|------------|
| <b>8</b> | <b>Kommunikationsnetze</b>                                 | <b>285</b> |
| 8.1      | Das OSI-Referenzmodell                                     | 285        |
| 8.2      | Mehrfachzugriffsverfahren                                  | 288        |
| 8.2.1    | Prinzipien des Mehrfachzugriffs                            | 288        |
| 8.2.2    | Dezentrale Zugriffssteuerung                               | 292        |
| 8.3      | Leitungs- und Paketvermittlung                             | 296        |
| 8.4      | Zuverlässige Datenübertragung                              | 302        |
| 8.5      | Weiterführende Hinweise                                    | 306        |
| 8.6      | Übungsaufgaben                                             | 307        |
|          | <b>Anhang</b>                                              | <b>309</b> |
|          | Anhang 1: Kleine Formelsammlung                            | 309        |
|          | Anhang 2: Tabellen und Theoreme der Fourier-Transformation | 313        |
|          | Anhang 3: Die Hilbert-Transformation                       | 316        |
|          | Anhang 4: Die erfc-Funktion                                | 318        |
|          | Anhang 5: Lösungen zu den Übungsaufgaben                   | 320        |
|          | <b>Verzeichnis der Beispiele</b>                           | <b>331</b> |
|          | <b>Verzeichnis der Symbole und Formelzeichen</b>           | <b>333</b> |
|          | <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                               | <b>335</b> |
|          | <b>Literatur</b>                                           | <b>339</b> |
|          | <b>Index</b>                                               | <b>343</b> |