

# Inhaltsverzeichnis

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Vorwort</b>   | <b>V</b>    |
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b>                                     | <b>XIII</b> |
| <b>1 Einleitung</b>  | <b>1</b>    |
| <b>2 Grundlagen</b>  | <b>3</b>    |
| 2.1 Einführung . . . . .   | 3           |
| 2.1.1 Was heißt Kommunikation? . . . . .                         | 4           |
| 2.1.2 Struktur eines natürlichen Kommunikationssystems . . . . . | 5           |
| 2.1.3 Begriffserläuterungen . . . . .                            | 8           |
| 2.1.4 Struktur eines technischen Kommunikationssystems . . . . . | 9           |
| 2.1.5 Codierung und Decodierung . . . . .                        | 11          |
| 2.1.6 Quellencodierung und Kanalcodierung . . . . .              | 12          |
| 2.1.7 Definitionen . . . . .                                     | 16          |
| 2.2 Kommunikationstechnik . . . . .                              | 17          |
| 2.2.1 Quellencodierung . . . . .                                 | 17          |
| 2.2.2 Kanalcodierung . . . . .                                   | 19          |
| 2.2.2.1 Rückwärtskorrektur . . . . .                             | 22          |
| 2.2.2.2 Vorwärtskorrektur . . . . .                              | 31          |
| 2.2.2.3 Fehlererkennung und -korrektur . . . . .                 | 38          |
| 2.2.2.4 Kanalkapazität . . . . .                                 | 41          |
| 2.2.3 Leitungscodierung . . . . .                                | 43          |
| 2.2.4 Datenschutz und Datensicherheit . . . . .                  | 45          |
| 2.2.4.1 Begriffe . . . . .                                       | 47          |
| 2.2.4.2 Geheimhaltung durch Verschlüsselung . . . . .            | 47          |
| 2.2.4.3 Datenintegrität und Datenauthenzizität . . . . .         | 48          |
| 2.2.4.4 Verbindlichkeit von Daten . . . . .                      | 49          |
| 2.2.4.5 Verschleierung von Datenverkehr . . . . .                | 50          |
| 2.2.4.6 Fazit . . . . .  | 50          |
| 2.2.5 Netzwerke . . . . .  | 51          |
| 2.2.5.1 Kategorien . . . . .                                     | 51          |
| 2.2.5.2 Abgrenzung . . . . .                                     | 53          |
| 2.2.5.3 Topologien . . . . .                                     | 55          |

|          |   |            |
|----------|---|------------|
| 2.2.5.4  | ISO/OSI-Referenzmodell . . . . .                  | 59         |
| 2.2.5.5  | Protokolle . . . . .                              | 66         |
| 2.2.5.6  | Standards . . . . .                               | 67         |
| 2.2.5.7  | Kanalzugriffs-Verfahren . . . . .                 | 69         |
| 2.3      | Nachrichtentechnik . . . . .                      | 72         |
| 2.3.1    | Einführung und Überblick . . . . .                | 73         |
| 2.3.1.1  | Drahtlose Sende- und Empfangstechniken . . . . .  | 73         |
| 2.3.1.2  | Funktechnik . . . . .                             | 74         |
| 2.3.1.3  | ISM-Band . . . . .                                | 75         |
| 2.3.1.4  | Leistungsbilanz . . . . .                         | 76         |
| 2.3.1.5  | Reichweiten-Abschätzung . . . . .                 | 81         |
| 2.3.2    | Modulation . . . . .                              | 83         |
| 2.3.2.1  | Einführung und Überblick . . . . .                | 84         |
| 2.3.2.2  | Analoge Modulationsverfahren . . . . .            | 84         |
| 2.3.2.3  | Digitale Modulationsverfahren . . . . .           | 92         |
| 2.3.3    | Sender- und Empfängertechnik . . . . .            | 102        |
| 2.3.3.1  | Senderaufbau . . . . .                            | 102        |
| 2.3.3.2  | Empfangsprinzipien . . . . .                      | 107        |
| 2.3.3.3  | Antennentechnik . . . . .                         | 118        |
| 2.3.4    | Betriebsarten . . . . .                           | 128        |
| 2.3.4.1  | Mehrwege-Empfang und Schwund . . . . .            | 128        |
| 2.3.4.2  | Diversity-Verfahren . . . . .                     | 132        |
| 2.3.4.3  | Multiplex-Verfahren . . . . .                     | 135        |
| 2.3.5    | Frequenzspreiz-Verfahren . . . . .                | 151        |
| 2.3.5.1  | Frequenzsprung . . . . .                          | 151        |
| 2.3.5.2  | Direkte Spreizspektrum . . . . .                  | 154        |
| 2.4      | Eingebettete Systeme . . . . .                    | 164        |
| 2.4.1    | Definition . . . . .                              | 164        |
| 2.4.2    | Entwicklung . . . . .                             | 166        |
| 2.4.2.1  | Software-Entwicklung . . . . .                    | 169        |
| 2.4.2.2  | Rechnerarchitekturen . . . . .                    | 170        |
| 2.4.2.3  | Rechenbaustein und Hardware-Technologie . . . . . | 171        |
| 2.4.2.4  | Rechenmaschine . . . . .                          | 172        |
| 2.4.3    | Mikroprozessoren . . . . .                        | 174        |
| 2.4.3.1  | Grundlegende Funktionsweise . . . . .             | 174        |
| 2.4.3.2  | Arten . . . . .                                   | 178        |
| 2.4.4    | Energieverbrauch . . . . .                        | 180        |
| 2.4.5    | Echtzeit-Datenverarbeitung . . . . .              | 184        |
| 2.4.6    | Eingebettete Funksysteme . . . . .                | 187        |
| <b>3</b> | <b>Verfahren</b>                                  | <b>191</b> |
| 3.1      | Steckbriefe . . . . .                             | 192        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 3.1.1    | Steckbrief WLAN . . . . .                  | 193        |
| 3.1.2    | Steckbrief ZigBee . . . . .                | 195        |
| 3.1.3    | Steckbrief Bluetooth . . . . .             | 196        |
| 3.1.4    | Steckbrief Proprietäre Verfahren . . . . . | 198        |
| 3.2      | Standardisierte Verfahren . . . . .        | 201        |
| 3.2.1    | Bluetooth . . . . .                        | 201        |
| 3.2.1.1  | Schichtenmodell . . . . .                  | 203        |
| 3.2.1.2  | Physikalische Schicht . . . . .            | 203        |
| 3.2.1.3  | Sicherungsschicht . . . . .                | 205        |
| 3.2.1.4  | Schichten 3 bis 7 . . . . .                | 210        |
| 3.2.1.5  | Protokolle . . . . .                       | 210        |
| 3.2.1.6  | Profile . . . . .                          | 211        |
| 3.2.2    | ZigBee . . . . .                           | 214        |
| 3.2.2.1  | Schichtenmodell . . . . .                  | 215        |
| 3.2.2.2  | Kernprotokolle . . . . .                   | 217        |
| 3.2.2.3  | Angepasste Protokolle . . . . .            | 224        |
| 3.2.2.4  | Anwendungs-Profile . . . . .               | 231        |
| 3.2.3    | WLAN . . . . .                             | 232        |
| 3.2.3.1  | Schichtenmodell . . . . .                  | 233        |
| 3.2.3.2  | Physikalische Schicht . . . . .            | 233        |
| 3.2.3.3  | MAC-Teilschicht . . . . .                  | 235        |
| 3.2.3.4  | Schichten 3 bis 7 . . . . .                | 240        |
| 3.2.3.5  | Topologie . . . . .                        | 240        |
| 3.2.3.6  | Datensicherheit . . . . .                  | 241        |
| 3.2.3.7  | Strom-Spar-Funktionen . . . . .            | 242        |
| 3.3      | Proprietäre Verfahren . . . . .            | 243        |
| 3.3.1    | EnOcean . . . . .                          | 243        |
| 3.3.2    | KNX-RF . . . . .                           | 246        |
| 3.3.3    | Z-Wave . . . . .                           | 249        |
| 3.4      | Weitere Verfahren . . . . .                | 250        |
| 3.4.1    | IrDA . . . . .                             | 251        |
| 3.4.2    | nanoNET . . . . .                          | 252        |
| 3.4.3    | Wireless USB . . . . .                     | 253        |
| 3.4.4    | HomeRF . . . . .                           | 254        |
| 3.4.5    | HiperLAN . . . . .                         | 254        |
| 3.4.6    | DECT . . . . .                             | 255        |
| <b>4</b> | <b>Vergleich</b>                           | <b>257</b> |
| 4.1      | Standardisierte Verfahren . . . . .        | 257        |
| 4.1.1    | Kommunikationstechnik . . . . .            | 258        |
| 4.1.2    | Nachrichtentechnik . . . . .               | 260        |
| 4.1.3    | Eingebettete Systeme . . . . .             | 266        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.1.4    | ZigBee versus Bluetooth . . . . .                              | 267        |
| 4.1.5    | Bluetooth versus WLAN . . . . .                                | 271        |
| 4.1.6    | Koexistenz . . . . .   | 272        |
| 4.2      | Proprietäre Verfahren . . . . .                                | 273        |
| 4.3      | Automatisierungstechnik . . . . .                              | 273        |
| <b>5</b> | <b>Entwicklung</b>   | <b>281</b> |
| 5.1      | Aufgabenstellung und Randbedingungen . . . . .                 | 282        |
| 5.2      | Standardisierung versus proprietäre Lösung . . . . .           | 283        |
| 5.3      | Hardware . . . . .   | 285        |
| 5.3.1    | Schnittstellen . . . . .                                       | 287        |
| 5.3.2    | Evaluationssysteme . . . . .                                   | 289        |
| 5.4      | Software . . . . .   | 292        |
| 5.5      | Test-Werkzeuge . . . . .                                       | 293        |
| 5.5.1    | Messgeräte . . . . .   | 294        |
| 5.5.1.1  | Interne Messtechnik und Selbsttests . . . . .                  | 294        |
| 5.5.1.2  | Netzwerkanalyse und Protokollanalysator . . . . .              | 296        |
| 5.5.1.3  | Hochfrequenz-Messtechnik . . . . .                             | 298        |
| 5.5.2    | Vorgehensweise und Sukzessiver Test . . . . .                  | 300        |
| <b>6</b> | <b>Trends</b>  | <b>305</b> |
| 6.1      | Ultra Wide Band . . . . .                                      | 305        |
| 6.2      | Software Defined Radio . . . . .                               | 308        |
| 6.2.1    | Signalprozessoren und Programmierbare Logikbausteine . . . . . | 312        |
| 6.2.2    | Rekonfigurierbare Architekturen . . . . .                      | 312        |
| 6.3      | Fazit . . . . .  | 314        |
| <b>A</b> | <b>Anhang</b>  | <b>317</b> |
| A.1      | Logarithmische Verhältnisgrößen . . . . .                      | 317        |
| A.2      | Verstärkung und Dämpfung eines Systems . . . . .               | 317        |
| A.3      | Signalpegel . . . . .  | 322        |
| A.4      | Pegelplan . . . . .  | 323        |
| A.5      | Rauschpegel . . . . .  | 325        |
| A.6      | Signal-Rausch-Abstand . . . . .                                | 326        |
| A.7      | Messung . . . . .  | 326        |
| A.7.1    | Kleine Signale . . . . .                                       | 327        |
| A.7.2    | Signal-Rausch-Abstand . . . . .                                | 327        |
| A.7.3    | SINAD-Wert . . . . .   | 328        |
|          | <b>Literaturverzeichnis</b>                                    | <b>329</b> |
|          | <b>Stichwortverzeichnis</b>                                    | <b>339</b> |

|                              |            |
|------------------------------|------------|
| <b>Abbildungsverzeichnis</b> | <b>347</b> |
| <b>Tabellenverzeichnis</b>   | <b>353</b> |

Wireless-Netzwerke für den Nahbereich  
Eingebettete Funksysteme: Vergleich von  
standardisierten und proprietären Verfahren  
Gessler, R.; Krause, Th.  
2015, XXI, 354 S. 151 Abb., Softcover  
ISBN: 978-3-8348-1239-1