

Inhalt

1.	Geschichte der Kommunikation	17
1.1	Kommunikation im 18. und 19. Jahrhundert.....	17
1.2	Die Anfänge der drahtgebundenen Kommunikation	20
1.2.1	Übertragung von Zeichen.....	20
1.2.2	Das Telefon.....	24
1.3	Drahtlose Kommunikation.....	26
1.3.1	Entwicklung der theoretischen Grundlagen.....	26
1.3.2	Erste Nutzung der elektromagnetischen Wellen.....	28
1.4	Technik der ersten Sender und Empfänger	30
1.4.1	Funkensender.....	30
1.4.2	Der Durchbruch: die «Radioröhre».....	33
1.4.3	Anwendungen der «Radio-Röhren»	35
1.5	Die Hochzeit des Rundfunks.....	37
1.6	Die Zeit des Zweiten Weltkriegs	38
1.7	Fernsehen.....	39
1.8	Die Entwicklung der Halbleiter	40
1.9	Industrialisierung der Halbleiterproduktion.....	43
1.10	Signalverarbeitung im Zeitalter der Digitalisierung	49
2.	Technische Kommunikation	53
2.1	Kommunikation, Information, Nachricht, Signal.....	53
2.2	Das ISO – OSI Kommunikationsmodell	58
2.3	Prinzip der drahtlosen Übertragung	59
2.4	Frequenzbereich und dessen Nutzung.....	61
2.4.1	Frequenz und Wellenlänge.....	61
2.4.2	Das Spektrum elektromagnetischer Wellen.....	62
2.4.3	Frequenzbereiche für die drahtlose Kommunikation	63
2.4.4	Wahl der «richtigen» Trägerfrequenz.....	68
2.4.4.1	Benötigte Bandbreite.....	68

2.4.4.2	Benötigte Reichweite.....	68
3.	Signale und Übertragung.....	69
3.1	Klassierung von Signalen	69
3.1.1	Zeit- und amplituden-kontinuierliche Signale.....	70
3.1.2	Periodische Signale.....	75
3.1.3	Nichtperiodische Signale.....	78
3.1.3.1	Rauschen.....	79
3.1.3.2	Bandpass-Rauschen.....	82
3.1.3.3	Allgemeine analoge Signale.....	84
3.1.4	Zeit- und amplituden-diskrete Signale	86
3.2	Signalübertragung	86
3.2.1	Lineare Verzerrungen auf dem Übertragungsweg	88
3.2.2	Bandbreite eines Vierpols/Zweiters	92
3.2.3	Nicht lineare Verzerrungen	93
3.2.4	Das drahtlose Kommunikationssystem.....	94
3.2.5	Pegeldiagramm eines drahtlosen Übertragungssystems	97
4.	Modulation mit analogen Signalen	101
4.1	Übersicht über die Modulationsverfahren.....	101
4.2	Amplitudenmodulation	103
4.2.1	Grundlagen, Definitionen und Begriffe	103
4.2.2	Zweiseitenband Amplitudenmodulation	104
4.2.2.1	Addition von Träger- und Modulationssignal	104
4.2.2.2	Multiplikation von Träger- und Modulationssignal	105
4.2.2.3	Zweiseitenband Amplitudenmodulation mit Träger.....	108
4.2.2.4	Erzeugung eines Zweiseitenband AM Signals	113
4.2.2.5	Demodulation eines DSB AM-Signals mit Träger	122
4.2.3	Einseitenband Amplitudenmodulation (ESB).....	126
4.2.3.1	Erzeugung eines ESB Signals mit der Filtermethode.....	128
4.2.3.2	Erzeugung eines ESB-Signals mit der Phasenmethode.....	131

4.2.3.3	Erzeugung eines ESB-Signals nach der «dritten Methode»	134
4.2.3.4	Demodulation von Einseitenbandsignalen	137
4.2.3.5	Anwendungen der Einseitenbandtechnik.....	139
4.2.4	Restseitenbandmodulation (Vestigial Sideband)	140
4.2.5	Quadraturamplitudenmodulation.....	141
4.3	Winkelmodulation.....	145
4.3.1	Frequenzmodulation	148
4.3.2	Phasenmodulation	149
4.3.3	Vergleich zwischen Frequenz- und Phasenmodulation	150
4.3.4	Spektrum eines winkelmodulierten Signals.....	151
4.3.5	Bandbreite eines winkelmodulierten Signals	155
4.3.6	Unterdrückung von Störsignalen.....	157
4.3.7	Erzeugung eines winkelmodulierten Signals	167
4.3.7.1	(Frequenz-) Modulation eines Oszillators.....	167
4.3.7.2	Phasenmodulator	173
4.3.7.3	Digitale Frequenzsynthese.....	174
4.3.7.4	Phasenmodulator bei Navigationssendern für die Luftfahrt.....	176
4.3.8	Demodulation winkelmodulierter Signale	179
4.3.8.1	Einfacher Flankendiskriminator	180
4.3.8.2	Symmetrischer Flankendemodulator.....	181
4.3.8.3	Phasendiskriminator	183
4.3.8.4	Koinzidenz-Demodulator.....	185
4.3.8.5	PLL-Demodulator.....	188
5.	Modulation mit digitalen Signalen	189
5.1	Informationstheorie	189
5.1.1	Informationsgehalt.....	191
5.1.2	Entropie	192
5.1.3	Redundanz.....	194
5.1.4	Entropie-Rate.....	195
5.1.5	Bedingte Entropie	195

5.1.6	Kanalkapazität	196
5.1.6.1	Bandbreite und Übertragungsgeschwindigkeit.....	197
5.1.6.2	Signal/Rauschabstand.....	198
5.1.6.3	Übertragungskanal mit Rauschen.....	200
5.2	Codierung	202
5.2.1	Arten der Codierung.....	203
5.2.2	Quellencodierung	204
5.2.2.1	Digitalisierung analoger Signale.....	204
5.2.2.2	Codes im Computerbereich	206
5.2.2.3	Die Huffman-Codierung.....	208
5.2.3	Kanalcodierung	212
5.2.3.1	Paritätsprüfung	213
5.2.3.2	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur durch Hamming-Codierung	214
5.2.3.3	Fehlererkennung und Fehlerkorrektur durch Reed-Solomon-Codierung.....	216
5.2.4	Leitungscodierung	218
5.2.4.1	NRZ-Codierung.....	219
5.2.4.2	NRZ-I	220
5.2.4.3	Manchester-Codierung	221
5.2.4.4	Scrambling.....	221
5.2.4.5	4B5B-Codierung.....	222
5.2.4.6	Weitere Leitungs-Codes.....	223
5.3	Modulation.....	223
5.3.1	Modulationsarten.....	223
5.3.2	Amplitudenumtastung, ASK.....	225
5.3.3	Phasenumtastung, PSK.....	228
5.3.4	Frequenzumtastung, FSK.....	229
5.3.5	Leistungsdichtespektren bei zufälliger Bitfolge	229
5.3.6	Übertragung bei begrenzter Bandbreite / Modulation	232
5.3.6.1	Grundsätzliche Überlegungen.....	232
5.3.6.2	Vermeiden der Intersymbol-Interferenz und Begrenzung der Bandbreite.....	234
5.3.6.3	Aufteilung der Tiefpass-Filterfunktion zwischen Sender und Empfänger	238

5.3.7	Übertragungsfehler	239
5.3.7.1	Ursachen	239
5.3.7.2	Das «Augendiagramm»	240
5.3.7.3	Berechnung der Übertragungsfehler	241
5.3.7.4	S/N und E_b/N_0	245
5.3.7.5	Kanalkapazität und S/N und E_b/N_0	246
5.3.8	Kombinierte Modulationsarten.....	248
5.3.8.1	Quadratur-Amplitudenmodulation, 2 bit oder 4QAM.....	248
5.3.8.2	4 Bit oder 16 QAM.....	250
5.3.8.3	Bitmapping bei QAM	251
5.3.8.4	Anwendungen von QAM.....	253
5.3.9	Minimum Shift Keying	253
5.3.9.1	Prinzip von MSK	254
5.3.9.2	Realisierung des MSK-Modulators.....	256
5.3.9.3	Spektrum eines MSK-modulierten Signals.....	259
5.3.9.4	Bitfehlerrate bei MSK	260
5.3.10	Gaussian Minimum Shift Keying.....	260
5.4	Demodulation	262
5.4.1	Nicht kohärente Demodulation	262
5.4.2	Kohärente Demodulation.....	263
5.4.2.1	Demodulation von ASK-modulierten Signalen	263
5.4.2.2	Demodulation von BPSK-modulierten Signalen	263
5.4.2.3	Demodulation vom MSK-modulierten Signalen.....	267
6.	Praktische Realisierung	269
6.1	Empfänger	269
6.1.1	Aufgaben eines Empfängers	269
6.1.2	Konventionelle Realisierung der Empfängerfunktionen.....	270
6.1.2.1	Selektion	270
6.1.2.2	Verstärkung.....	282
6.1.2.3	Demodulation.....	283

6.1.2.4	Wahl der Empfangsfrequenz	283
6.1.3	Empfängerparameter.....	285
6.1.3.1	Empfindlichkeit, Rauschen	285
6.1.3.2	Grosssignalfestigkeit.....	294
6.1.3.3	Nebenempfangsstellen	295
6.1.3.4	Intermodulation	297
6.1.3.5	Kreuzmodulation	301
6.1.4	Blocking.....	301
6.1.5	Störstrahlung	302
6.1.6	Alternative Empfängerarchitektur.....	303
6.2	Sender.....	308
6.2.1	Grundlegende Anforderungen	308
6.2.2	Erzeugen der Sendefrequenz	308
6.2.3	Modulation	309
6.2.4	Leistungserzeugung	310
6.2.4.1	AM-Zweiseitenband Rundfunksender	311
6.2.4.2	AM Einseitenbandsender	312
6.2.4.3	Sender für winkelmodulierte Signale	313
6.2.5	Unerwünschte Ausstrahlungen	313
6.2.6	Energieversorgung, Klimatisierung.....	315
7.	Wellenausbreitung und Antennen.....	317
7.1	Wellenausbreitung	317
7.1.1	Die Leistungsdichte	317
7.1.2	Elektrische und magnetische Feldstärke.....	318
7.1.3	Wirksame Antennenfläche	322
7.1.4	Freiraumdämpfung	324
7.2	Antennengrundlagen	326
7.2.1	Funktionsweise der Antenne	326
7.2.2	Kenngrossen einer Antenne.....	329
7.2.3	Strahlungswiderstand und Wirkungsgrad.....	331

7.2.4	Polarisation	333
7.2.5	Strahlungsdiagramm.....	334
7.2.6	Antennengewinn.....	336
7.2.7	Antennenhöhe.....	338
7.2.8	Antennenfaktor	340
7.2.9	Variationen des Halbwellendipols	341
7.2.9.1	Der Faltdipol.....	341
7.2.9.2	Monopolantenne / Groundplaneantenne	342
7.2.10	Magnetische Antennen	344
7.2.11	Dielektrische Antennen.....	344
7.3	Praktische Antennenbauformen	345
7.3.1	Antennen für tiefe Frequenzen.....	346
7.3.1.1	Sendeantennen für tiefe Frequenzen	346
7.3.1.2	Empfangsantennen für tiefe Frequenzen	350
7.3.2	Antennen für Kurzwellen (RF)	351
7.3.3	Antennen für Ultrakurzwellen (VHF – UHF)	352
7.3.3.1	Ortsfeste Antennen für VHF und UHF – Dipole und Arrays	352
7.3.3.2	Ortsfeste Antennen – $\lambda/4$ Groundplane	355
7.3.3.3	Ortsfeste Antennen – Yagi-Uda-Antenne	356
7.3.3.4	Besondere ortsfeste Antennen	357
7.3.4	Antennen für mobile Anwendungen im VHF/UHF-Bereich.....	359
7.3.5	Antennen für Mikrowellenanwendungen (ab 1 GHz)	360
7.3.5.1	Parabolantennen zum Empfang von Fernsehsatelliten	361
7.3.5.2	Antennen für Richtfunkverbindungen.....	362
7.3.5.3	Hornantennen.....	363
7.3.5.4	Radarantennen.....	363
7.4	Funkstrecke unter realen Bedingungen.....	365
7.4.1	Lang- und Mittelwellenbereich	365
7.4.2	Kurzwellen, Short-Wave, High-Frequency	370
7.4.3	Ultrakurzwellen, Very High Frequency.....	371
7.4.3.1	Bedingungen für «Quasi-Freiraum-Bedingungen».....	371

7.4.3.2	Warum genügt Sichtverbindung nicht?.....	373
7.4.3.3	Absorptionsverluste.....	374
7.4.3.4	Beugungsverluste.....	375
7.4.3.5	Verluste durch Mehrwegeausbreitung.....	377
7.4.3.6	Two Ray Ground Reflection Model.....	381
7.4.3.7	Brechung (Refraktion).....	384
7.4.3.8	Path Loss Exponent.....	385
7.4.4	Mikrowellen.....	386
7.4.5	Infrarot.....	387
7.5	Fremdstörungen.....	387
7.5.1	Atmosphärische Störungen, kosmisches Rauschen.....	387
7.5.2	Man-Made-Noise.....	389
7.6	Modelle und Simulationen.....	391
7.6.1	Programme zur Antennenberechnung.....	391
7.6.2	Programme zur Berechnung der Wellenausbreitung.....	391
7.6.2.1	Einfache Berechnung der Freiraumdämpfung.....	391
7.6.2.2	Komplexere Programme zur Funkplanung.....	391
7.6.2.3	Geländemodelle.....	392
7.6.2.4	Beispiel «CANDY Site Finder».....	393
7.6.2.5	Innenraummodelle.....	394
8.	Anhang.....	395
8.1	Begriffe und Definitionen.....	395
8.2	Verwendete Abkürzungen und Bezeichnungen.....	396
8.2.1	Modulationsarten.....	396
8.2.2	Andere Abkürzungen.....	398
8.2.3	Verwendete Symbole und Bezeichner.....	398
8.2.4	Bezeichnungen der Modulationsarten.....	401
8.3	Konstanten, Grössen und Einheiten.....	405
8.3.1	Physikalische und mathematische Konstanten.....	405
8.3.2	Physikalische Grössen.....	406

8.3.3	Vorsatzzeichen für dezimale Teile und Vielfache.....	407
8.4	Umgang mit Dezibel (dB).....	408
8.4.1	Das Dezibel als relatives Mass.....	408
8.4.2	Das Dezibel als absolutes Mass	410
8.5	Trigonometrische Funktionen.....	412
8.5.1	Elementare trigonometrische Funktionen	412
8.6	Strahlungsbelastung.....	417
8.6.1	Ionisierende und nicht ionisierende Strahlung	418
8.6.2	Grenzwerte für nicht ionisierende Strahlung.....	418
8.6.3	Länderspezifische Umsetzung	420
8.6.3.1	Deutschland.....	420
8.6.3.2	Schweiz	421
8.6.3.3	Übrige EU-Länder	422
8.6.3.4	Andere Standards.....	422
8.6.4	Grenzwerte für Mobile Geräte	422
9.	Bibliographie	425
10.	Index	437