

1	Signal- und systemtheoretische Grundlagen	1
1.1	Einführung und Grundlegendes	1
1.2	Determinierte und stochastische Signale	3
1.2.1	Determinierte Signale	3
1.2.2	Stochastische Signale	33
1.2.3	Zu spektralen Kennfunktionen determinierter und zufälliger Signale	38
1.3	Charakterisierung von Systemen	42
1.3.1	Grundlegendes	42
1.3.2	Systembeschreibung im Zeit- und Frequenzbereich	43
1.4	Übertragung von Signalen über Systeme	53
1.4.1	Determinierte Signale	53
1.4.2	Stochastische Signale	65
1.5	Weitere Funktionaltransformationen	70
1.5.1	Laplace-Transformation	70
1.5.2	Z-Transformation	77
1.6	Zusammenfassung und bibliografische Anmerkungen	82
1.7	Aufgaben	83
1.8	Lösungen zu den Aufgaben	85
2	Grundlagen der Basisbandübertragung	93
2.1	Grundmodell der binären Nachrichtenübertragung im Basisband	94
2.1.1	Modell und Komponenten des Basisbandübertragungssystems	94
2.1.2	Weg und Bewertung des Nutzsignals	101
2.1.3	Weg und Bewertung der Störung	115
2.1.4	Güte der Übertragung	120
2.1.5	Zusammenhang zwischen Signal-Rausch-Verhältnis und Fehlerwahrscheinlichkeit	123
2.1.6	Numerisches Beispiel: Basisbandübertragung über einen verzerrungsfreien Kanal mit Rauschstörung	132

2.1.7	Erkenntnisse zur Nachrichtenübertragung	136
2.2	Verbesserte Übertragungskonzepte im Basisband	137
2.2.1	Einleitung und Motivation	137
2.2.2	Alternative Sende- und Empfangsfiltercharakteristiken	138
2.2.3	Nyquist-Kriterien	147
2.2.4	Optimales Empfangsfilter: Matched Filter	160
2.2.5	Aspekte bei nichtweißem Rauschen	171
2.3	Mehrstufige Basisbandübertragung	171
2.3.1	Einleitung und Motivation	171
2.3.2	Modell des mehrstufigen Basisband-Übertragungssystems	173
2.3.3	Bewertung des Nutzsignals bei mehrstufiger Übertragung	176
2.3.4	Bewertung der Störung bei mehrstufiger Übertragung	192
2.3.5	Güte der Übertragung: Signal-Rausch-Verhältnis	192
2.3.6	Fehlerwahrscheinlichkeit bei mehrstufiger Basisbandübertragung	193
2.3.7	Verschiedene Definitionen von Signal-Rausch-Verhältnissen und ihre Beziehung zur Fehlerwahrscheinlichkeit	195
2.3.8	Signalangepasste Empfangsfilterung bei mehrstufiger Basisbandübertragung	203
2.3.9	Vergleich mehrstufiger Basisbandverfahren	211
2.3.10	Numerisches Beispiel: Mehrstufige Basisbandübertragung mit NRZ-Sendesignal und Gauß-Empfangsfilter	216
2.3.11	Numerisches Beispiel: Mehrstufige Basisbandübertragung mit Wurzel-Kosinus-Roll-Off-Sende- und -Empfangsfilter	222
2.3.12	Diskussion zu den Gütekriterien	226
2.4	Zusammenfassung und bibliografische Anmerkungen	228
2.5	Aufgaben	229
2.6	Lösungen zu den Aufgaben	230
3	Übertragungskanal Kupferkabel	239
3.1	Einführung zu Nachrichtenübertragungskanälen	239
3.1.1	Übertragungstechnische Grundlagen für Übertragungskanäle	240
3.1.2	Klassifizierung der Nachrichtenübertragungskanäle	243
3.2	Einführung zu Kupferleitungen	244
3.2.1	Einleitende Bemerkungen	244
3.2.2	Elektrische Leitungen und Kabel	245
3.3	Theorie der Leitungen	246
3.3.1	Elektrische Leitungsparameter	247
3.3.2	Homogene Leitung	250
3.3.3	Leitungsgleichungen bei harmonischer Erregung	255
3.3.4	Leitungskenngrößen	260
3.3.5	Spezielle Eigenschaften von elektrischen Leitungen in Abhängigkeit von der Frequenz	271

3.4	Kabelübertragungsfunktion	281
3.4.1	Übertragungsfunktion einer Leitung	281
3.4.2	Übertragungsfunktion der <i>RC</i> -Leitung	282
3.4.3	Rationale Approximation der Übertragungsfunktion der <i>RC</i> -Leitung	283
3.4.4	Übertragungsfunktion der verlustlosen <i>HF</i> -Leitung	288
3.5	Konstruktiver Aufbau von Nachrichtenkabeln	288
3.6	Nebensprechen in vielpaarigen Nachrichtenkabeln	290
3.6.1	Arten des Nebensprechens	290
3.6.2	Modell des Kabels mit Nebensprechen	291
3.7	Zusammenfassung und bibliografische Anmerkungen	294
3.8	Aufgaben	295
3.9	Lösungen zu den Aufgaben	296
4	Basisbandübertragung über linear verzerrenden Kanal	307
4.1	Einführung und grundlegende Aspekte	307
4.2	Kompensation des verzerrenden Kanaleinflusses	309
4.3	Kabelübertragungssystem bei rationalen Übertragungsfunktionen	312
4.4	Anwendungsbeispiel: Rationales linear entzerrtes Kabelübertragungssystem	316
4.4.1	Einleitung	316
4.4.2	Kabelübertragungssystem	317
4.4.3	Weg und Bewertung des Nutzsignals	319
4.4.4	Weg und Bewertung der Störung	324
4.4.5	Güte der Übertragung	328
4.4.6	Numerisches Beispiel: Basisbandübertragung bei Kabel mit einem Pol	330
4.5	Mehrstufige Basisbandübertragung über Kabel	336
4.5.1	Basisbandübertragung bei NRZ-Sendesignal und Gauß-Empfangsfilter	337
4.5.2	Basisbandübertragung bei Wurzel-Kosinus-Roll-Off-Sende- und -Empfangsfilter	345
4.6	Zeitdiskrete Entzerrung	351
4.6.1	Einführung	351
4.6.2	Symboltaktmodell des Basisbandübertragungssystems	352
4.6.3	Optimale Verfahren	353
4.6.4	Einteilung der Entzerrverfahren	354
4.6.5	Lineare und nichtlineare Entzerrer	357
4.6.6	Diskussion und Fazit zur Entzerrung	372
4.7	Zusammenfassung und bibliografische Anmerkungen	374
4.8	Aufgaben	374
4.9	Lösungen zu den Aufgaben	376

5 Zusammenfassung und Ausblick	383
5.1 Zusammenfassung	383
5.2 Ausblick	384
Anhang A: Systemtheoretische Zusammenhänge in der Übersicht	387
Anhang B: Dimensionen in der Signal- und Systemtheorie	393
Anhang C: Fourier-Transformation	399
Anhang D: Laplace-Transformation	403
Anhang E: Fehlerfunktion $\operatorname{erf}(x)$ und komplementäre Fehlerfunktion $\operatorname{erfc}(x)$	407
Anhang F: Mathematische Formeln und Zusammenhänge	411
Anhang G: Zur Definition der Frequenz	413
Literatur	415
Stichwortverzeichnis	419