

Lerntutorial LNTwww – Inhaltsübersicht zur Version 2

Unter dem Link www.LNTwww.de finden Sie das Lerntutorial **LNTwww**, das am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik der Technischen Universität München in den Jahren 2001–2016 entwickelt wurde und aus unserer Sicht alle Grundlagen der Nachrichten- und Informationstechnik in didaktisch und medial aufbereiteter Form über das Internet bereitstellt. Alle Rechte verbleiben beim Lehrstuhl für Nachrichtentechnik (LNT) der Technischen Universität München (TUM) und den beiden Initiatoren, Professor Dr.-Ing. habil. Günter Söder und Dr.-Ing. Klaus Eichin.

Alle wichtigen Informationen zu den Punkten Systemvoraussetzungen, Didaktisches Konzept, Derzeitige Einschränkungen, Bekannte Fehler, Aktuelle Hinweise, usw. findet man auf der **LNTwww**-Startseite zur Version 2.

Neben einer umfangreichen Bibliografie/Biografiesammlung beinhaltet **LNTwww** insgesamt neun Fachbücher:

- | | | |
|------------------------------------------|------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1: Signaldarstellung | 4: Informationstheorie | 7: Mobile Kommunikation |
| 2: Lineare zeitinvariante Systeme | 5: Modulationsverfahren | 8: Kanalcodierung |
| 3: Stochastische Signaltheorie | 6: Digitalsignalübertragung | 9: Beispiele von Nachrichtensystemen |

Diese decken ein Lehrangebot von 36 Semesterwochenstunden, kurz SWS (23 SWS Vorlesung und 13 SWS Übungen) ab. Zunächst ein Überblick:

| Fachbuch (Kurzform) | Umfang | Theorieseiten | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------------------------|----------------|---------------|-------------|------------|-----------|------------|--------------|
| Signaldarstellung | 2V + 1Ü | 136 | 203 | 8 | 11 | 58 | 245 |
| LZI-Systeme | 2V + 1Ü | 95 | 147 | 2 + (4) | 6 + (2) | 54 | 250 |
| Stochastische Signale | 3V + 2Ü | 155 | 236 | 16 | 10 | 93 | 465 |
| Informationstheorie | 2V + 1Ü | 128 | 236 | 0 + (9) | 4 + (10) | 71 | 357 |
| Modulationsverfahren | 3V + 2Ü | 209 | 290 | 4 + (11) | 8 + (9) | 89 | 461 |
| Digitalsignalübertragung | 3V + 2Ü | 234 | 313 | 0 + (17) | 13 + (11) | 90 | 465 |
| Mobile Kommunikation | 2V + 1Ü | 112 | 137 | 0 + (3) | 2 + (16) | 47 | 231 |
| Kanalcodierung | 3V + 2Ü | 188 | 339 | 1 + (15) | 1 + (12) | 98 | 482 |
| Beispiele von NS | 3V + 1Ü | 190 | 212 | 0 + (5) | 3 + (15) | 38 | 191 |
| Gesamt | 23V+13Ü | 1447 | 2113 | 33 | 57 | 638 | 3147 |

Die Angabe „6 + (2)“ bei den multimedialen Elementen (Lernvideos, interaktive Berechnungs- und Simulationsmodule) besagt, dass sechs Module für dieses Buch neu erstellt wurden und zwei Module aus früheren Büchern für das aktuelle Buch hilfreich sein kann. **Ab Seite 2 dieser Datei ist der Inhalt aller Bücher im Detail aufgeführt.**

Zunächst noch ein Hinweis zur Entwicklung der **Besucherkzahlen unseres Online-Angebots** von 2008–2016:

| | Jan | Feb | März | April | Mai | Juni | Juli | Aug | Sept | Okt | Nov | Dez | Gesamt |
|-------------|-----|-----|------|-------|-----|------|------|-----|------|-----|-----|-----|-------------|
| 2008 | 498 | 426 | 303 | 285 | 291 | 373 | 382 | 245 | 216 | 267 | 430 | 272 | 3988 |
| 2009 | 520 | 492 | 346 | 342 | 435 | 353 | 631 | 317 | 312 | 361 | 470 | 446 | 5043 |
| 2010 | 622 | 553 | 348 | 351 | 420 | 672 | 527 | 356 | 176 | 406 | 636 | 543 | 5610 |
| 2011 | 597 | 664 | 499 | 496 | 578 | 450 | 546 | 506 | 474 | 342 | 499 | 443 | 6094 |
| 2012 | 741 | 763 | 466 | 385 | 385 | 538 | 596 | 352 | 335 | 394 | 416 | 383 | 5888 |
| 2013 | 543 | 659 | 371 | 337 | 415 | 450 | 492 | 375 | 304 | 376 | 431 | 324 | 5077 |
| 2014 | 573 | 611 | 400 | 282 | 369 | 562 | 503 | 266 | 315 | 335 | 303 | 470 | 4889 |
| 2015 | 557 | 450 | 362 | 402 | 397 | 377 | 357 | 191 | 293 | 468 | 433 | 302 | 4589 |
| 2016 | 664 | 577 | 420 | 502 | 430 | 347 | 494 | 234 | 276 | 343 | 505 | 501 | 5293 |

Inhaltsverzeichnis des Buches „Signaldarstellung“ (Buch 1)

Dieses erste Grundlagenbuch des Lerntutorials „LNTwww“ entstand zwischen 2002 und 2007. Die letzte Überarbeitung erfolgte im Februar 2016. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|------------|-----------|------------------------------------|--------------|
| 1 | 20 | 21 | 3 | 0 | $3A + 3Z = 6$ | 26 |
| 2 | 22 | 38 | 4 | 1 | $6A + 6Z = 12$ | 53 |
| 3 | 33 | 51 | 2 | 3 | $9A + 9Z = 18$ | 63 |
| 4 | 25 | 47 | 1 | 2 | $6A + 6Z = 12$ | 53 |
| 5 | 36 | 46 | 1 | 2 | $5A + 5Z = 10$ | 50 |
| Gesamt | 136 | 203 | 11 | 8 | $29A + 29Z = 58$ | 245 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 332 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (136 Seiten), Aufgaben (117 Seiten) und Musterlösungen (75 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Grundbegriffe der Nachrichtentechnik

1.1 Prinzip der Nachrichtenübertragung

Nachricht – Information – Signal. Blockschaltbild eines Nachrichtenübertragungssystems. Nachrichtenquelle. Aufgaben des Senders. Übertragungskanal. Empfänger – Nachrichtensinke. Signalverfälschungen. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Klassifizierung von Signalen

Deterministische und stochastische Signale. Kausale und akusale Signale. Energiebegrenzte und leistungsbegrenzte Signale. Wertkontinuierliche und wertdiskrete Signale. Zeitkontinuierliche und zeitdiskrete Signale. Analog- und Digitalsignale. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Zum Rechnen mit komplexen Zahlen

Reelle Zahlenmengen. Imaginäre und komplexe Zahlen. Darstellung nach Betrag und Phase. Rechenregeln für komplexe Zahlen. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

2 Periodische Signale

2.1 Allgemeine Beschreibung

Eigenschaften und Anwendungen. Definition und Parameter. Resultierende Periodendauer. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Gleichsignal – Grenzfall eines periodischen Signals

Zeitsignaldarstellung. Spektraldarstellung. Diracfunktion im Frequenzbereich. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Harmonische Schwingung

Definition und Eigenschaften. Zeitsignaldarstellung. Darstellung mit Cosinus- und Sinusanteil. Spektraldarstellung eines Cosinussignals. Allgemeine Spektraldarstellung. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Fourierreihe

Allgemeine Beschreibung. Berechnung der Fourierkoeffizienten. Ausnutzung von Symmetrieeigenschaften. Komplexe Fourierreihe. Spektrum eines periodischen Signals. Das Gibbsche Phänomen. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

3 Aperiodische Signale – Impulse

3.1 Fouriertransformation und -rücktransformation

Eigenschaften aperiodischer Signale. Genauere Betrachtung der Fourierkoeffizienten. Vom periodischen zum aperiodischen Signal. Das erste Fourierintegral. Beispiel zum ersten Fourierintegral. Fouriertransformation. Das zweite Fourierintegral. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Einige Sonderfälle impulsartiger Signale

Rechteckimpuls. Gaußimpuls. Diracimpuls. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Gesetzmäßigkeiten der Fouriertansformation

Multiplikation mit konstantem Faktor – Additionssatz. Zuordnungssatz. Ähnlichkeitssatz. Reziprozitätsgesetz von Zeitdauer und Bandbreite. Vertauschungssatz. Verschiebungssatz. Differentiationssatz. Integrationsatz. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

3.4 Faltungssatz und Faltungsoperation

Faltung im Zeitbereich. Faltung im Frequenzbereich. Faltung einer Funktion mit einer Diracfunktion. Grafische Faltung. Anschauliche Deutung der Faltung. Beweis des Faltungssatzes. Aufgaben zu Kapitel 3.4.

4 Bandpassartige Signale

4.1 Unterschiede und Gemeinsamkeiten von TP- und BP-Signalen

Bedeutung der BP-Signale für die Nachrichtentechnik. Eigenschaften von BP-Signalen. Beschreibung eines BP-Signals mittels TP-Signalen. Synthese von BP-Signalen aus dem äquivalenten TP-Signal. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 Analytisches Signal und zugehörige Spektralfunktion

Definition im Frequenzbereich. Allgemeingültige Berechnungsvorschrift im Zeitbereich. Zeigerdiagrammdarstellung der harmonischen Schwingung. Zeigerdiagramm einer Summe harmonischer Schwingungen. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Äquivalentes Tiefpass-Signal und zugehörige Spektralfunktion

Motivation. Definition im Frequenzbereich. Beschreibung im Zeitbereich. Definition der Ortskurve. Darstellung nach Betrag und Phase. Zusammenhang zwischen äquivalentem TP- und dem BP-Signal. Darstellung nach Real- und Imaginärteil. Leistung und Energie eines Bandpass-Signals. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

5 Zeit- und frequenzdiskrete Signaldarstellung

5.1 Zeiddiskrete Signaldarstellung

Prinzip und Motivation. Zeitbereichsdarstellung. Diracpuls im Zeit- und Frequenzbereich. Frequenzbereichsdarstellung. Signalrekonstruktion. Das Abtasttheorem. Aufgaben zu Kapitel 5.1.

5.2 Diskrete Fouriertransformation (DFT)

Argumente für die diskrete Fourier-Realisierung. Diskretisierung im Zeitbereich – Periodifizierung im Frequenzbereich. Diskretisierung im Frequenzbereich – Periodifizierung im Zeitbereich. Finite Signale. Von der kontinuierlichen zur diskreten Fouriertransformation. Inverse Diskrete Fouriertransformation. Interpretation von DFT und IDFT. Aufgaben zu Kapitel 5.2.

5.3 Fehlermöglichkeiten bei Anwendung der DFT

Der mittlere quadratische Fehler als Qualitätskriterium. DFT-Verfälschung durch Fensterung – Abbruchfehler. DFT-Verfälschung durch Abtastung – Aliasingfehler. Aufgaben zu Kapitel 5.3.

5.4 Spektralanalyse

Spektraler Leckeffekt. Systemtheoretische Beschreibung der Fensterung. Spezielle Fensterfunktionen. Gütekriterien von Fensterfunktionen. Maximaler Prozessverlust. Aufgaben zu Kapitel 5.4.

5.5 Fast-Fouriertransformation (FFT)

Rechenaufwand von DFT bzw. IDFT. Überlagerungssatz der DFT. Radix-2-Algorithmus nach Cooley und Tukey. Aufgaben zu Kapitel 5.5.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Signaldarstellung“:

| | |
|--------------------------------------------|------------------------------------------|
| A1.1: Musiksignale | Z1.1: ISDN-Verbindung |
| A1.2: Signalklassifizierung | Z1.2: Pulsmodulation |
| A1.3: Rechnen mit komplexen Zahlen | Z1.3: Nochmals komplexe Zahlen |
| A2.1: Gleichrichtung | Z2.1: Summensignal |
| A2.2: Gleichsignalanteile | Z2.2: Nichtlinearitäten |
| A2.3: Cosinus- und Sinusanteil | Z2.3: Schwingungsparameter |
| A2.4: Gleichgerichteter Cosinus | Z2.4: Dreieckssignal |
| A2.5: Einweggleichrichtung | Z2.5: Rechtecksignale |
| A2.6: Komplexe Fourierreihe | Z2.6: Betrag und Phase |
| A3.1: Spektrum des Exponentialimpulses | Z3.1: Spektrum des Dreieckimpulses |
| A3.2: Vom Spektrum zum Signal | Z3.2: si^2 -Spektrum mit Diracs |
| A3.3: Vom Signal zum Spektrum | Z3.3: Rechteck- und Diracimpuls |
| A3.4: Trapezspektrum bzw. -impuls | Z3.4: Trapez, Rechteck und Dreieck |
| A3.5: Differentiation eines Dreiecksignals | Z3.5: Integration von Diracfunktionen |
| A3.6: Gerades/ungerades Zeitsignal | Z3.6: Komplexe Exponentialfunktion |
| A3.7: Synchrondemodulator | Z3.7: Rechtecksignal mit Echo |
| A3.8: Dreimal Faltung? | Z3.8: Faltung zweier Rechtecke |
| A3.9: Faltung von Rechteck und Gauß | Z3.9: Gauß gefaltet mit Gauß |
| A4.1: Tiefpass- und Bandpass-Signale | Z4.1: Hochpass-System |
| A4.2: Rechteckförmige Spektren | Z4.2: Multiplikation mit Sinussignal |
| A4.3: Zeigerdiagrammdarstellung | Z4.3: Hilbert-Transformator |
| A4.4: Zeigerdiagramm bei ZSB-AM | Z4.4: Zeigerdiagramm bei ESB-AM |
| A4.5: Ortskurve bei ZSB-AM | Z4.5: Einfacher Phasenmodulator |
| A4.6: Ortskurve bei ESB-AM | Z4.6: Ortskurve bei Phasenmodulation |
| A5.1: Abtasttheorem | Z5.1: Zeitdiskrete Harmonische |
| A5.2: Inverse DFT | Z5.2: DFT eines Dreieckimpulses |
| A5.3: Mittlerer quadratischer Fehler | Z5.3: Zero-Padding |
| A5.4: Spektralanalyse | Z5.4: Zum Hanning-Fenster |
| A5.5: Fast-Fouriertransformation | Z5.5: Rechenaufwand für die FFT |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Signaldarstellung“:

- Der Übertragungskanal – Einige Eigenschaften und Beschreibungsgrößen (zu Kapitel 1.1, Dauer 5:50)
- Analoge und digitale Signale (zu Kapitel 1.2, zweiteilig, Dauer Teil 1: 3:46; Teil 2: 3:28)
- Rechnen mit komplexen Größen (zu Kapitel 1.3, Dauer 11:52)
- Herleitung und Visualisierung der Diracfunktion (zu Kapitel 2.2, Dauer 2:50)
- Harmonische Schwingungen (zu Kapitel 2.3, zweiteilig, Dauer Teil 1: 4:33; Teil 2: 6:15)
- Zur Berechnung der Fourierkoeffizienten (zu Kapitel 2.4, Dauer 3:50)
- Eigenschaften und Genauigkeit der Fourierreihendarstellung (zu Kapitel 2.4, zweiteilig, Dauer Teil 1: 3:30; Teil 2: 8:40)
- Kontinuierliche und diskrete Spektren (zu Kapitel 3.1, zweiteilig, Dauer Teil 1: 6:20; Teil 2: 5:15)
- Anwendungen von Gesetzmäßigkeiten der Fouriertransformation (zu Kapitel 3.3, , zweiteilig, Dauer Teil 1: 5:57; Teil 2: 5:55)
- Eigenschaften von Tiefpass- und Bandpass-Signalen (zu Kapitel 4.1, Dauer 5:18)
- Fehlermöglichkeiten bei Anwendung der DFT (zu Kapitel 5.3, Dauer 7:26)

Liste der einmal geplanten, aber **nicht mehr realisierten Lernvideos** im Buch „Signaldarstellung“:

- Spektralanalyse – Anwendung der DFT bei periodischen Signalen (zu Kapitel 5.4)
- FFT – Fast-Fouriertransformation (zu Kapitel 5.5)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule** im Buch „Signaldarstellung“:

- Periodendauer T_0 periodischer Signale (zu Kapitel 2.1)
- Frequenzgang und zugehörige Zeitfunktion (zu Kapitel 3.2)
- Zeitfunktion und zugehörige Spektralfunktion (zu Kapitel 3.2)
- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (zu Kapitel 3.4)
- Zeigerdiagramm – Darstellung des analytischen Signals (zu Kapitel 4.2)
- Ortskurve – Darstellung des äquivalenten Tiefpass-Signals (zu Kapitel 4.3)
- Abtastung analoger Signale und Signalrekonstruktion (zu Kapitel 5.1)
- Diskrete Fouriertransformation (zu Kapitel 5.2)

Inhaltsverzeichnis des Buches „Lineare zeitinvariante Systeme“ (Buch 2)

Dieses Grundlagenbuch wurde 2004 begonnen und Mitte 2009 quasi fertig gestellt. Letzte Überarbeitung im Dezember 2014. Der Umfang des Buches entspricht einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|-----------|------------|----------------|----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 24 | 45 | 1 + (3) | 0 + (2) | 8A + 8Z = 16 | 72 |
| 2 | 21 | 36 | 1 | 3 | 7A + 6Z = 13 | 61 |
| 3 | 23 | 37 | 0 + (1) | 1 | 7A + 7Z = 14 | 64 |
| 4 | 27 | 29 | 0 | 2 | 8A + 3Z = 11 | 53 |
| Gesamt | 95 | 147 | 2 + (4) | 6 + (2) | 30A + 24Z = 54 | 250 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 295 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (95 Seiten), Aufgaben (115 Seiten) und Musterlösungen (81 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Systemtheoretische Grundlagen

1.1 Systembeschreibung im Frequenzbereich

Das Ursachen-Wirkungs-Prinzip. Anwendung in der Nachrichtentechnik. Voraussetzungen für die Anwendung der Systemtheorie. Übertragungsfunktion – Frequenzgang. Eigenschaften des Frequenzgangs. Tiefpass, Hochpass, Bandpass, Bandsperre. Testsignale zur Messung von $H(f)$. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Systembeschreibung im Zeitbereich

Impulsantwort. Einige Gesetze der Fouriertransformation. Kausale Systeme. Berechnung des Ausgangssignals. Sprungantwort. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Einige systemtheoretische Tiefpassfunktionen

Allgemeine Bemerkungen. Idealer Tiefpass (Küpfmüller-TP). Spalttiefpass. Gaußtiefpass. Trapeziefpass. Cosinus-Rolloff-Tiefpass. Herleitung systemtheoretischer Hochpassfunktionen. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

2 Signalverzerrungen und Entzerrung

2.1 Klassifizierung der Verzerrungen

Voraussetzungen für Kapitel 2. Ideales und verzerrungsfreies System. Quantitatives Maß für die Signalverzerrungen. Berücksichtigung von Dämpfung und Laufzeit. Lineare und nichtlineare Verzerrungen. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Nichtlineare Verzerrungen

Eigenschaften nichtlinearer Systeme. Beschreibung nichtlinearer Systeme. Der Klirrfaktor. Rauschklimrmessung. Konstellationen, die zu nichtlinearen Verzerrungen führen. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Lineare Verzerrungen

Zusammenstellung wichtiger Beschreibungsgrößen. Dämpfungs- und Phasenverlauf bei verzerrungsfreien Systemen. Dämpfungsverzerrungen. Phasenlaufzeit. Unterschied zwischen Phasen- und Gruppenlaufzeit. Phasenverzerrungen. Entzerrungsverfahren. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

3 Beschreibung kausaler realisierbarer Systeme

3.1 Folgerungen aus dem Zuordnungssatz

Voraussetzungen für Kapitel 3. Real- und Imaginärteil einer kausalen Übertragungsfunktion. Hilbert-Transformation. Einige Paare von Hilbert-Korrespondenzen. Dämpfung und Phase von Minimum-Phasen-Systemen. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Laplace-Transformation und p-Übertragungsfunktion

Betrachtetes Systemmodell. Definition der Laplace-Transformation. Einige wichtige Laplace-Korrespondenzen. Pol-Nullstellen-Darstellung von Schaltungen. Eigenschaften der Pole und Nullstellen. Grafische Ermittlung von Dämpfung und Phase. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Laplace-Rücktransformation

Problemstellung und Voraussetzungen. Einige Ergebnisse der Funktionentheorie. Formulierung des Residuensatzes. Anwendung des Residuensatzes. Partialbruchzerlegung. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

4 Eigenschaften elektrischer Leitungen

4.1 Einige Ergebnisse der Leitungstheorie

Ersatzschaltbild eines kurzen Leitungsabschnitts. Wellenwiderstand und Reflexionen. Verlustlose und verlustarme Leitungen. Einfluss von Reflexionen – Betriebsdämpfung. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 Koaxialkabel

Übertragungsmaß von Koaxialkabeln. Charakteristische Kabeldämpfung. Impulsantworten von Koaxialkabeln. Empfangsgrundimpuls. Einige Bemerkungen zu Koaxialkabelsystemen. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Kupfer-Doppelader

Zugangsnetz eines Telekommunikationssystems. Dämpfungsmaß von Zweidrahtleitungen. Umrechnung zwischen k - und α -Parametern. Impulsantworten von Zweidrahtleitungen. Interpretation der gefundenen Näherungslösung. Störungen auf Zweidrahtleitungen. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Lineare zeitinvariante Systeme“:

| | |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| A1.1: Einfache Filterfunktionen | Z1.1: Tiefpass 1. und 2. Ordnung |
| A1.2: Koaxialkabel | Z1.2: Messung von $H(f)$ |
| A1.3: Gemessene Sprungantwort | Z1.3: Exponentiell abfallende Impulsantwort |
| A1.4: Tiefpass 2. Ordnung im Zeitbereich | Z1.4: Alles rechteckförmig |
| A1.5: Küpfmüllertiefpass | Z1.5: si-förmige Impulsantwort |
| A1.6: Rechteckige Impulsantwort | Z1.6: Interpretation von $H(f)$ |
| A1.7: Nahezu kausaler Gaußtiefpass | Z1.7: Systemanalyse |
| A1.8: Variable Flankensteilheit | Z1.8: Cosinus-Quadrat-Tiefpass |
| A2.1: Linear? Nichtlinear? | Z2.1: Verzerrung und Entzerrung |
| A2.2: Verzerrungsleistung | Z2.2: Wieder Verzerrungsleistung |
| A2.3: Sinusförmige Kennlinie | Z2.3: Kennlinienbetrieb asymmetrisch |
| A2.4: Klirrfaktor und Verzerrungsleistung | Z2.4: Kennlinienvermessung |
| A2.5: Verzerrung und Entzerrung | Z2.5: Nyquistentzerrung |
| A2.6: Zweiwegekanal | Z2.6: Synchrondemodulator |
| A2.7: Nochmals Zweiwegekanal | ----- |
| A3.1: Kausalitätsbetrachtungen | Z3.1: Hilbert-Transformierte |
| A3.2: Laplace-Transformation | Z3.2: Laplace und Fourier |
| A3.3: p-Übertragungsfunktion | Z3.3: Hoch- und Tiefpässe in p-Form |
| A3.4: Dämpfungs- und Phasenverlauf | Z3.4: Verschiedene Allpässe |
| A3.5: Schaltung mit R , L und C | Z3.5: Anwendung des Residuensatzes |
| A3.6: Einschwingverhalten | Z3.6: Zwei imaginäre Pole |
| A3.7: Hochpass-Impulsantwort | Z3.7: Partialbruchzerlegung |
| A4.1: Dämpfungsmaß | Z4.1: Übertragungsmaß |
| A4.2: Fehlangepasste Leitung | ----- |
| A4.3: Betriebsdämpfung | ----- |
| A4.4: Koaxialkabel - Frequenzgang | ----- |
| A4.5: Koaxialkabel - Impulsantwort | Z4.5: Nochmals Impulsantwort |
| A4.6: k - und α -Parameter | Z4.6: ISDN-Versorgungsleitungen |
| A4.7: Kupfer-Doppelader 0.5 mm | ----- |
| A4.8: Nebensprechstörungen | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Lineare zeitinvariante Systeme“:

- Einige Anmerkungen zur Übertragungsfunktion (zu Kapitel 1.1, Dauer 9:08)
- Eigenschaften des Übertragungskanal (zu Kapitel 1.1 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Eigenschaften von Tiefpass- und Bandpass-Signalen (zu Kapitel 1.1 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Gesetzmäßigkeiten der Fouriertransformation (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Lineare und nichtlineare Verzerrungen (zu Kapitel 2.1 und 2.2, dreiteilig, Dauer Teil 1: 3:52; Teil 2: 6:30; Teil 3: 5:59)
- Rechnen mit komplexen Zahlen (zu Kapitel 3.1 – siehe Buch „Signaldarstellung“)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule** im Buch „Lineare zeitinvariante Systeme“:

- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Tiefpässe im Frequenz- und Zeitbereich (zu Kapitel 1.3 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Lineare Verzerrungen periodischer Signale (zu Kapitel 2.3)
- Phasenlaufzeit und Gruppenlaufzeit (zu Kapitel 2.3)
- Einfluss einer Bandbegrenzung bei Sprache und Musik (zu Kapitel 2.3)
- Kausale Systeme und Laplace-Transformation (zu Kapitel 3.2 und 3.3)
- Dämpfung von Kupferkabeln (zu Kapitel 4.2 und 4.3)
- Zeitverhalten von Kupferkabeln (zu Kapitel 4.2 und 4.3)

Die hellgrau aufgelisteten Multimedia-Animationen deuten darauf hin, dass diese bereits in früheren Büchern genannt wurden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Stochastische Signaltheorie“ (Buch 3)

Dieses Grundlagenbuch wurde 2002 begonnen und Mitte 2008 quasi fertig gestellt. Letzte Überarbeitung im Frühjahr 2015. Der Umfang des Buches entspricht einer Vorlesung mit „3V + 2Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|------------|-----------|------------------------------------|--------------|
| 1 | 26 | 35 | 4 | 1 | $7A + 7Z = 14$ | 67 |
| 2 | 21 | 25 | 3 | 3 | $7A + 5Z = 12$ | 57 |
| 3 | 33 | 48 | 4 | 2 | $12A + 9Z = 21$ | 119 |
| 4 | 52 | 88 | 5 | 2 | $16A + 14Z = 30$ | 147 |
| 5 | 23 | 40 | 0 | 2 | $9A + 7Z = 16$ | 75 |
| Gesamt | 155 | 236 | 16 | 10 | $51A + 42Z = 93$ | 465 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 457 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (155 Seiten), Aufgaben (187 Seiten) und Musterlösungen (111 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Wahrscheinlichkeitsrechnung

1.1 Einige grundlegende Definitionen

Experiment und Ergebnis. Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit. Ereignis und Ereignismenge. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Mengentheoretische Grundlagen

Venn-Diagramm, Grundmenge und leere Menge. Vereinigungsmenge. Schnittmenge. Komplementärmenge. Teilmenge. Theoreme von de Morgan. Disjunkte Mengen. Additionstheorem. Vollständiges System. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Statistische Abhängigkeit und Unabhängigkeit

Allgemeine Definition von statistischer Abhängigkeit. Bedingte Wahrscheinlichkeit. Allgemeines Multiplikationstheorem. Rückschlusswahrscheinlichkeit. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

1.4 Markovketten

Betrachtetes Szenario. Allgemeine Definition einer Markovkette. Markovkette erster Ordnung. Homogene Markovketten. Stationäre Wahrscheinlichkeiten. Matrix-Vektordarstellung. Aufgaben zu Kapitel 1.4.

2 Diskrete Zufallsgrößen

2.1 Wahrscheinlichkeit und relative Häufigkeit

Zum Begriff der Zufallsgröße. Kontinuierliche und diskrete Zufallsgrößen. Zufallsprozess und Zufallsfolge. Bernoulli-Gesetz der großen Zahlen. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Momente einer diskreten Zufallsgröße

Berechnung als Schar- bzw. Zeitmittelwert. Linearer Mittelwert – Gleichanteil. Quadratischer Mittelwert – Varianz – Streuung. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Binomialverteilung

Allgemeine Beschreibung. Wahrscheinlichkeiten der Binomialverteilung. Beispiel Blockfehlerwahrscheinlichkeit. Momente der Binomialverteilung. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Poissonverteilung

Wahrscheinlichkeiten der Poissonverteilung. Momente der Poissonverteilung. Gegenüberstellung von Binomialverteilung und Poissonverteilung. Anwendungen der Poissonverteilung. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

2.5 Erzeugung von diskreten Zufallsgrößen

Pseudozufallsgrößen. Realisierung von PN-Generatoren. Folgen maximaler Länge (M-Sequenzen). Reziproke Polynome. Erzeugung mehrstufiger Zufallsfolgen. Aufgaben zu Kapitel 2.5.

3 Kontinuierliche Zufallsgrößen

3.1 Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (WDF)

Eigenschaften kontinuierlicher Zufallsgrößen. Allgemeine Definition der WDF. WDF-Definition für diskrete Zufallsgrößen. Numerische Ermittlung der WDF. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Verteilungsfunktion (VTF)

VTF bei kontinuierlichen Zufallsgrößen. VTF bei diskreten Zufallsgrößen. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Erwartungswerte und Momente

Berechnung als Scharmittelwert. Zentralmomente. Einige häufig auftretende Zentralmomente. Berechnung als Zeitmittelwert. Charakteristische Funktion. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

3.4 Gleichverteilte Zufallsgröße

Allgemeine Beschreibung und Definition. Bedeutung der Gleichverteilung für die Nachrichtentechnik. Erzeugung einer Gleichverteilung mit PN-Generatoren. Multiplicative Congruential Generator. Aufgaben zu Kapitel 3.4.

3.5 Gaußverteilte Zufallsgröße

Allgemeine Beschreibung. Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktion. Überschreitungswahrscheinlichkeit. Zentralmomente und Momente. Erzeugung mittels Additionsmethode. Erzeugung mit dem Verfahren nach Box/Müller. Erzeugung mit dem Verfahren „Tabulated Inversion“. Aufgaben zu Kapitel 3.5.

3.6 Exponentialverteilte Zufallsgrößen

Einseitige Exponentialverteilung. Transformation von Zufallsgrößen. Erzeugung einer Exponentialverteilung – Laplaceverteilung. Aufgaben zu Kapitel 3.6.

3.7 Weitere Verteilungen

Rayleighverteilung. Riceverteilung. Cauchyverteilung. Tschebyscheffsche Ungleichung. Aufgaben zu Kapitel 3.7.

4 Zufallsgrößen mit statistischen Bindungen

4.1 Zweidimensionale Zufallsgrößen

Eigenschaften und Beispiele. Verbundwahrscheinlichkeitsdichtefunktion. Zweidimensionale Verteilungsfunktion. WDF und VTF bei statistisch unabhängigen Komponenten. WDF und VTF bei statistisch abhängigen Komponenten. Erwartungswerte zweidimensionaler Zufallsgrößen. Korrelationskoeffizient. Korrelationsgerade. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 Zweidimensionale Gaußsche Zufallsgrößen

Wahrscheinlichkeitsdichte- und Verteilungsfunktion. Höhenlinien bei unkorrelierten Zufallsgrößen. Höhenlinien bei korrelierten Zufallsgrößen. Drehung des Koordinatensystems. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Linearkombinationen von Zufallsgrößen

Voraussetzungen und Mittelwerte. Resultierender Korrelationskoeffizient. Erzeugung korrelierter Zufallsgrößen. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

4.4 Autokorrelationsfunktion (AKF)

Zufallsprozesse. Stationäre Zufallsprozesse. Ergodische Zufallsprozesse. Allgemeingültige Beschreibung von Zufallsprozessen. Allgemeine Definition der AKF. AKF bei ergodischen Prozessen. Eigenschaften der AKF. Interpretation der AKF. Numerische AKF-Ermittlung. Genauigkeit der numerischen AKF-Berechnung. Aufgaben zu Kapitel 4.4.

4.5 Leistungsdichtespektrum (LDS)

Theorem von Wiener-Chintchine. Physikalische Interpretation und Messung. Reziprozitätsgesetz von AKF-Zeitdauer und LDS-Bandbreite. Leistungsdichtespektrum mit Gleichsignalkomponente. Numerische LDS-Ermittlung. Genauigkeit der numerischen LDS-Berechnung. Aufgaben zu Kapitel 4.5.

4.6 Kreuzkorrelationsfunktion und Kreuzleistungsdichte

Definition der Kreuzkorrelationsfunktion. Eigenschaften der Kreuzkorrelationsfunktion. Anwendungen der Kreuzkorrelationsfunktion. Kreuzleistungsdichtespektrum. Aufgaben zu Kapitel 4.6.

4.7 Verallgemeinerung auf N -dimensionale Zufallsgrößen

Korrelationsmatrix. Kovarianzmatrix. Zusammenhang zwischen Kovarianzmatrix und WDF. Eigenwerte und Eigenvektoren. Grundlagen der Matrizenrechnung: Determinante einer Matrix sowie Inverse einer Matrix. Aufgaben zu Kapitel 4.7.

5 Filterung stochastischer Signale

5.1 Stochastische Systemtheorie

Problemstellung. Zusammenhang zwischen $X(f)$ und $\Phi_x(f)$. LDS des Filterausgangssignals. AKF des Filterausgangssignals. KKF zwischen Eingangs- und Ausgangssignal. Aufgaben zu Kapitel 5.1.

5.2 Digitale Filter

Allgemeines Blockschalbild. Nichtrekursive Filter. Rekursive Filter. Aufgaben zu Kapitel 5.2.

5.3 Erzeugung vorgegebener AKF-Eigenschaften

AKF am Ausgang eines nichtrekursiven Filters. Koeffizientenbestimmung. Aufgaben zu Kapitel 5.3.

5.4 Matched-Filter

Optimierungskriterium. Matched-Filter-Optimierung. Interpretation des Matched-Filters. Matched-Filter bei farbigen Störungen. Aufgaben zu Kapitel 5.4.

5.5 Wiener-Kolmogorow-Filter

Optimierungskriterium. Ergebnis der Filteroptimierung. Interpretation des Wiener-Filters. Aufgaben zu Kapitel 5.5.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Stochastische Signaltheorie“:

| | |
|-------------------------------------------|------------------------------------------|
| A1.1: Würfelspiel Mäxchen | Z1.1: Summe zweier Ternärsignale |
| A1.2: Schaltlogik (D/B-Wandler) | Z1.2: Ziffernmengen |
| A1.3: Fiktive Universität Irgendwo | Z1.3: Gewinnen mit Roulette? |
| A1.4: 2S/3E-Kanalmodell | Z1.4: Summe von Ternärgrößen |
| A1.5: Karten ziehen | Z1.5: Ausfallswahrscheinlichkeiten |
| A1.6: Übergangswahrscheinlichkeiten | Z1.6: Ergodische Wahrscheinlichkeiten |
| A1.7: Ternäre Markovkette | Z1.7: BARBARA-Generator |
| | |
| A2.1: Wahnachfrage | Z2.1: Signalverläufe |
| A2.2: Mehrstufensignale | Z2.2: Diskrete Zufallsgrößen |
| A2.3: Summe von Binärzahlen | ----- |
| A2.4: Zahlenlotto (6 aus 49) | ----- |
| A2.5: Binomial- oder poissonverteilt? | Z2.5: Blumenwiese |
| A2.6: PN-Generator der Länge 5 | Z2.6: PN-Generator der Länge 3 |
| A2.7: C-Programme „z1“ und „z2“ | Z2.7: C-Programm „z3“ |
| | |
| A3.1: \cos^2 - und Dirac-WDF | Z3.1: Dreieckförmige WDF |
| A3.2: \cos^2 - und Dirac-VTF | Z3.2: Zusammenhang WDF/VTF |
| A3.3: Momente bei \cos^2 -WDF | Z3.3: Momente bei Dreieck-WDF |
| A3.4: Charakteristische Funktion | ----- |
| A3.5: Dreieck- und Trapezsignal | Z3.5: Antennengebiete |
| A3.6: Verrauschtes Gleichsignal | Z3.6: Prüfungskorrektur |
| A3.7: Bitfehlerquote (BER) | Z3.7: Error Performance |
| A3.8: Verstärkung und Begrenzung | Z3.8: Kreis(ring)fläche |
| A3.9: Kennlinie für \cos -WDF | Z3.9: Sinustransformation |
| A3.10: Rayleighfading | Z3.10: Rayleigh oder Rice? |
| A3.11: Tschebyscheff | ----- |
| A3.12: Cauchyverteilung | ----- |
| | |
| A4.1: Dreieckiges (x, y) -Gebiet | Z4.1: Verabredung zum Frühstück |
| A4.2: Wieder Dreieckgebiet | Z4.2: Korrelation zwischen x und e^x |
| A4.3: Algebraische und Modulo-Summe | Z4.3: Diracförmige 2D-WDF |
| A4.4: Gaußsche 2D-WDF | Z4.4: Höhenlinien der 2D-WDF |
| A4.5: 2D-Prüfungsauswertung | ----- |
| A4.6: Koordinatendrehung | ----- |
| A4.7: Gewichtete Summe und Differenz | Z4.7: Erzeugung einer 2D-WDF |
| A4.8: Rautenförmige 2D-WDF | Z4.8: AWGN-Kanal |
| A4.9: Zykelergodizität | Z4.9: Periodische AKF |
| A4.10: Binär und quaternär | Z4.10: Korrelationsdauer |
| A4.11: C-Programm „akf1“ | Z4.11: C-Programm „akf2“ |
| A4.12: LDS eines Binärsignals | Z4.12: Weißes Rauschen |
| A4.13: Gaußförmige AKF | Z4.13: AMI-Code |
| A4.14: AKF/KKF bei Rechtecken | Z4.14: Auffinden von Echos |
| A4.15: WDF und Korrelationsmatrix | Z4.15: Aussagen der Korrelationsmatrix |
| A4.16: Eigenwerte und Eigenvektoren | Z4.16: 2D- und 3D-Datenreduktion |
| | |
| A5.1: Gaußsche AKF und Gaußtiefpass | Z5.1: \cos^2 -Rauschbegrenzung |
| A5.2: Frequenzgangbestimmung | Z5.2: Zweiwegekanal |
| A5.3: Digitales Filter 1. Ordnung | Z5.3: Nichtrekursives Filter |
| A5.4: Sinusgenerator | ----- |
| A5.5: AKF-äquivalente Filter | A5.5: AKF bei Filter 1. Ordnung |
| A5.6: Filterdimensionierung | Z5.6: Nochmals Filterdimensionierung |
| A5.7: Rechteck-Matched-Filter | Z5.7: Matched-Filter – alles gaußisch |
| A5.8: Matched-Filter bei farbiger Störung | Z5.8: Matched-Filter bei Rechteck-LDS |
| A5.9: Minimierung des MQF | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Stochastische Signaltheorie“:

- Würfelspiel „Mäxchen“ (Musterlösung zu A1.1(f) – Dauer 1:40)
- Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (zu Kapitel 1.1 – Dauer 5:19)
- Mengentheoretische Begriffe und Gesetzmäßigkeiten (zu Kapitel 1.2 – 2-teilig: Dauer zweimal 6:10)
- Statistische (Un-)Abhängigkeit (zu Kapitel 1.3 – 3-teilig: Dauer 4:20 – 3:40 – 3:40)
- Das Bernoullische Gesetz der großen Zahlen (zu Kapitel 2.1 – Dauer 4:25)
- Momente von diskreten Zufallsgrößen (zu Kapitel 2.2 – Dauer 6:30)
- Erläuterung der PN-Generatoren (zu Kapitel 2.5 – Dauer 5:10)
- Wahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (zu Kapitel 3.1 – 2-teilig: Dauer 5:30 – 6:35)
- Zusammenhang zwischen WDF und VTF (zu Kapitel 3.2 – 2-teilig: Dauer 6:40 – 3:20)
- Prinzip der Additionsmethode (zu Kapitel 3.5 – Dauer 3:45)
- Erzeugung einer Exponentialverteilung (zu Kapitel 3.6 – Dauer 2:00)
- Gaußsche Zufallsgrößen ohne statistische Bindungen (zu Kapitel 4.1 – Dauer 2:35)
- Gaußsche Zufallsgrößen mit statistischen Bindungen (zu Kapitel 4.2 – Dauer 3:15)
- Der AWGN-Kanal – Teil 1 (zu Kapitel 4.5 – Dauer 6:00)
- Der AWGN-Kanal – Teil 2 (zu Kapitel 4.5 – Dauer 5:15)
- Der AWGN-Kanal – Teil 3 (zu Kapitel 4.5 – Dauer 6:15)

Liste der einmal geplanten, aber **nicht mehr realisierten Lernvideos**:

- Autokorrelationsfunktion und Kreuzkorrelationsfunktion (zu Kapitel 4.4 und 4.6)
- Korrelations- und Kovarianzmatrix (zu Kapitel 4.7)
- Stochastische Systemtheorie (zu Kapitel 5.1)
- Linearkombinationen von Zufallsgrößen (zu Kapitel 5.3)
- Matched-Filter und Wiener-Filter (zu Kapitel 5.4 und 5.5)

Liste **aller Interaktionsmodule** im Buch „Stochastische Signaltheorie“:

- Ereigniswahrscheinlichkeiten einer Markovkette 1. Ordnung (zu Kapitel 1.4)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten der Binomialverteilung (zu Kapitel 2.3)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten der Poissonverteilung (zu Kapitel 2.4)
- Gegenüberstellung Binomialverteilung – Poissonverteilung (zu Kapitel 2.4)
- WDF, VTF und Momente spezieller Verteilungen (zu Kapitel 3.4 bis 3.7)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 3.5)
- Korrelationskoeffizient und Regressionsgerade (zu Kapitel 4.1)
- WDF und VTF bei Gaußschen 2D-Zufallsgrößen (zu Kapitel 4.2)
- Digitales Filter (zu Kapitel 5.2)
- Zur Verdeutlichung des Matched-Filters (zu Kapitel 5.4)

Die hellgrau aufgelisteten **Multimedia-Animationen** deuten darauf hin, dass diese bereits in früheren Büchern genannt wurden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Einführung in die Informationstheorie“ (Buch 4)

Dieses Grundlagenbuch wurde 2011 begonnen und Mitte 2015 quasi fertig gestellt. Letzte Überarbeitung im Dezember 2015. Der Umfang des Buches entspricht einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 28 | 32 | 0 + (3) | 1 + (2) | 8A + 4Z = 12 | 66 |
| 2 | 39 | 67 | 0 | 1 + (2) | 14A + 7Z = 21 | 103 |
| 3 | 32 | 61 | 0 + (4) | 2 + (1) | 14A + 7Z = 21 | 106 |
| 4 | 29 | 76 | 0 + (6) | 0 + (5) | 10A + 7Z = 17 | 82 |
| Gesamt | 128 | 236 | 0 + (9) | 4 + (10) | 46A + 25Z = 71 | 357 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 394 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (128 Seiten), Aufgaben (151 Seiten) und Musterlösungen (111 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Entropie wertdiskreter Nachrichtenquellen

1.1 Gedächtnislose Nachrichtenquellen

Modell und Voraussetzungen für Kapitel 1.1. Entscheidungsgehalt – Nachrichtengehalt. Informationsgehalt und Entropie. Binäre Entropiefunktion. Nachrichtenquellen mit größerem Symbolumfang. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Nachrichtenquellen mit Gedächtnis

Ein einfaches einführendes Beispiel. Entropie hinsichtlich Zweiertupel. Verallgemeinerung auf k -Tupel und Grenzübergang. Die Entropie des AMI-Codes. Binärquellen mit Markoveigenschaften. Nichtbinäre Markovquellen. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Natürliche wertdiskrete Nachrichtenquellen

Schwierigkeiten bei der Entropiebestimmung. Entropieabschätzung nach Kießmüller. Einige eigene Simulationsergebnisse. Synthetisch erzeugte Texte. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

2 Quellencodierung – Datenkomprimierung

2.1 Allgemeine Beschreibung

Quellen-, Kanal- und Leitungscodierung. Verlustbehaftete Quellencodierung. MPEG-2 Audiolayer III, kurz MP3. Voraussetzungen für Kapitel 2. Kraftsche Ungleichung – Präfixfreie Codes. Quellencodierungstheorem. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Komprimierung nach Lempel, Ziv und Welch

Statische und dynamische Wörterbuchtechniken. LZ77 – die Grundform der Lempel-Ziv-Algorithmen. Die Lempel-Ziv-Variante LZ78. Der Lempel-Ziv-Welch-Algorithmus. Lempel-Ziv-Codierung mit variabler Indexbitlänge. Decodierung des LZW-Algorithmus. Effizienz der Lempel-Ziv-Codierung. Quantitative Aussagen zur asymptotischen Optimalität. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Entropiecodierung nach Huffman

Der Huffman-Algorithmus. Zum Begriff „Entropiecodierung“. Darstellung des Huffman-Codes als Baumdiagramm. Einfluss von Übertragungsfehlern auf die Decodierung. Anwendung der Huffman-Codierung auf k -Tupel. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Weitere Quellencodierverfahren

Der Shannon-Fano-Algorithmus. Arithmetische Codierung. Lauflängencodierung – Run-Length Coding. Burrows-Wheeler-Transformation. Anwendungsszenario für BWT. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

3 Information zwischen zwei wertdiskreten Zufallsgrößen

3.1 Einige Vorbemerkungen zu zweidimensionalen Zufallsgrößen

Einführungsbeispiel zur statistischen Abhängigkeit von Zufallsgrößen. Voraussetzungen und Nomenklatur. Wahrscheinlichkeitsfunktion und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion. Wahrscheinlichkeitsfunktion und Entropie. Relative Entropie – Kullback-Leibler-Distanz. Verbundwahrscheinlichkeit und Verbundentropie. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Verschiedene Entropien zweidimensionaler Zufallsgrößen

Definition der Entropie unter Verwendung von $\text{supp}(P_{XY})$. Bedingte Wahrscheinlichkeit und bedingte Entropie. Transinformation zwischen zwei Zufallsgrößen. Bedingte Transinformation. Kettenregel der Transinformation. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Anwendung auf die Digitalsignalübertragung

Informationstheoretisches Modell der Digitalsignalübertragung. Informationstheoretische Beschreibung der Digitalsignalübertragung. Transinformationsberechnung für den Binärkanal. Definition und Bedeutung der Kanalkapazität. Kanalkapazität eines Binärkanals. Eigenschaften symmetrischer Kanäle. Einige Grundlagen der Kanalcodierung. Rate, Kanalkapazität und Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

4 Wertkontinuierliche Informationstheorie

4.1 Differentielle Entropie

Eigenschaften wertkontinuierlicher Zufallsgrößen. Entropie wertkontinuierlicher Zufallsgrößen nach Quantisierung. Definition und Eigenschaften der differentiellen Entropie. Differentielle Entropie einiger Spitzenwertbegrenzter Zufallsgrößen. Differentielle Entropie einiger leistungsbegrenzter Zufallsgrößen. WDF–Herleitung für maximale differentielle Entropie. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 AWGN-Kanalkapazität bei wertkontinuierlichem Eingang

Transinformation zwischen wertkontinuierlichen Zufallsgrößen. Transinformationsberechnung bei additiver Störung. Kanalkapazität des AWGN–Kanals. Parallele Gaußsche Kanäle. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 AWGN-Kanalkapazität bei wertdiskretem Eingang

AWGN–Modell für zeitdiskrete bandbegrenzte Signale. Die Kanalkapazität C als Funktion von E_s/N_0 . Systemmodell zur Interpretation der AWGN–Kanalkapazität. Die Kanalkapazität C als Funktion von E_B/N_0 . AWGN–Kanalkapazität für binäre Eingangssignale. Vergleich zwischen Theorie und Praxis. Kanalkapazität des komplexen AWGN–Kanals. Maximale Coderate für QAM–Strukturen. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Einführung in die Informationstheorie“:

| | |
|-----------------------------------------|------------------------------------------|
| A1.1: Wetterentropie | Z1.1: Binäre Entropiefunktion |
| A1.2: Ternärquellen | ----- |
| A1.3: H_0, H_1, H_2, \dots, H | ----- |
| A1.4: Entropienäherungen H_k | Z1.4: Entropie der AMI–Codierung |
| A1.5: Binäre Markovquelle | Z1.5: Symmetrische Markovquelle |
| A1.6: Nichtbinäre Markovquellen | Z1.6: Ternäre Markovquelle |
| A1.7: Entropie natürlicher Texte | ----- |
| A1.8: Synthetisch erzeugte Texte | ----- |
| A2.1: Codierung mit und ohne Verlust | ----- |
| A2.2: Kraftsche Ungleichung | Z2.2: Mittlere Codewortlänge |
| A2.3: Zur LZ78–Komprimierung | Z2.3: Zur LZ77–Codierung |
| A2.4: LZW–Algorithmus | Z2.4: LZW–Codierung/Decodierung |
| A2.5: Relative Restredundanz | Z2.5: LZW–Komprimierung |
| A2.6: Huffman–Codierung | Z2.6: Nochmals zur Huffman–Codierung |
| A2.7: Zweiertupel – Huffman | Z2.7: Ternärquelle –Zweiertupel |
| A2.8: Markovquelle und Huffman | ----- |
| A2.9: Huffman–Decodierung nach Fehlern | ----- |
| A2.10: Shannon–Fano–Codierung | ----- |
| A2.11: Arithmetische Codierung | ----- |
| A2.12: Nochmals AC | ----- |
| A2.13: Run–Length Coding und RLLC | ----- |
| A2.14: BW –Rücktransformation | Z2.14: Kombination BWT & MTF |
| A3.1: Wahrscheinlichkeiten beim Würfeln | Z3.1: Karten ziehen |
| A3.2: Erwartungswertberechnungen | Z3.2: 2D–Wahrscheinlichkeitsfunktion |
| A3.3: Entropie ternärer Zufallsgrößen | Z3.3: $H(X)$ für verschiedene $P_X(X)$ |
| A3.4: KLD zur Binomialverteilung | Z3.4: Nochmals KL–Distanz |
| A3.5: Partitionierungsungleichung | ----- |
| A3.6: Einige Entropieberechnungen | ----- |
| A3.7: Nochmals Transinformation | Z3.7: Tupel aus ternären Zufallsgrößen |
| A3.8: Bedingte Transinformation | ----- |
| A3.9: Transinformation beim BSC | Z3.9: BSC–Kanalkapazität |
| A3.10: Auslöschungskanal | Z3.10: Extrem unsymmetrischer Kanal |
| A3.11: Streng symmetrische Kanäle | ----- |
| A3.12: Coderate und Zuverlässigkeit | ----- |
| A3.13: Kanalcodierungstheorem | ----- |
| A3.14: Data Processing Theorem | ----- |
| A4.1: WDF, VTF und Wahrscheinlichkeit | Z4.1: Momentenberechnung |
| A4.2: Dreieckförmige WDF | Z4.2: Gemischte Zufallsgrößen |
| A4.3: WDF–Vergleich bezüglich $h(X)$ | Z4.3: Exponential– und Laplaceverteilung |
| A4.4: Zusammenhang $h(X)$ und $H(Z)$ | ----- |

| | |
|------------------------------------|-----------------------------------------------|
| A4.5: $I(X; Y)$ aus $f_{XY}(x, y)$ | Z4.5: Nochmals Transinformation |
| A4.6: Zur AWGN–Kanalkapazität | ----- |
| A4.7: K parallele Gaußkanäle | Z4.7: Zum Water–Filling–Algorithmus |
| A4.8: Kurvenverlauf $C(E_B/N_0)$ | Z4.8: Was sagt $C(E_B/N_0)$ aus? |
| A4.9: Höherstufige Modulation | Z4.9: Ist $C_{\text{BPSK}} \equiv 1$ möglich? |
| A4.10: QPSK–Kanalkapazität | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Einführung in die Informationstheorie“:

- Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (Grundlagen, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Statistische Abhängigkeit und Unabhängigkeit (Grundlagen, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Berechnung der Momente bei diskreten Zufallsgrößen (Grundlagen, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der Übertragungskanal – Eigenschaften und Beschreibungsgrößen (zu Kapitel 3.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Wahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Zusammenhang WDF und VTF (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN–Kanal – Teil 1 (zu Kapitel 4.2 und 4.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN–Kanal – Teil 2 (zu Kapitel 4.2 und 4.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN–Kanal – Teil 3 (zu Kapitel 4.2 und 4.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)

Liste **aller Interaktionsmodule** im Buch „Einführung in die Informationstheorie“:

- Entropien von Nachrichtenquellen (zu Kapitel 1.1 und 3.1)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten einer Markovkette (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Signale, AKF und LDS der Pseudoternär-codes (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- Einfluss einer Bandbegrenzung bei Sprache und Musik (zu Kapitel 2.1, siehe Buch „LZI–Systeme“)
- Qualität von Sprachcodern (zu Kapitel 2.1, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)
- Lempel–Ziv–Algorithmen (zu Kapitel 2.2)
- Shannon–Fano– und Huffman–Codierung (zu Kapitel 2.3 und 2.4)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten der Binomialverteilung (zu Kapitel 3.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Transinformation zwischen diskreten Zufallsgrößen (zu Kapitel 3.3)
- WDF, VTF und Momente spezieller Verteilungen (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Abtastung analoger Signale und Signalrekonstruktion (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- WDF und VTF bei Gaußschen 2D–Zufallsgrößen (zu Kapitel 4.2 und 4.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 4.2 und 4.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Mehrstufige PSK und Union Bound (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)

Die hellgrau aufgelisteten Multimedia–Animationen deuten darauf hin, dass diese bereits in anderen Büchern genannt werden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Modulationsverfahren“ (Buch 5)

Dieses Grundlagenbuch wurde 2005 begonnen und Ende 2010 quasi fertig gestellt. Letzte Überarbeitung im Sommer 2015. Der Umfang des Buches entspricht einer Vorlesung mit „3V + 2Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|-----------------|----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 23 | 28 | 0 + (7) | 0 + (4) | 4A + 4Z = 8 | 41 |
| 2 | 47 | 70 | 2 + (8) | 1 + (4) | 12A + 10Z = 22 | 118 |
| 3 | 26 | 40 | 2 + (5) | 1 + (4) | 10A + 6Z = 16 | 86 |
| 4 | 52 | 82 | 0 | 2 + (3) | 15A + 10Z = 25 | 124 |
| 5 | 61 | 70 | 0 + (1) | 4 + (2) | 10A + 8Z = 18 | 93 |
| Gesamt | 209 | 290 | 4 + (11) | 8 + (9) | 51A + 38Z = 89 | 461 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 516 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (209 Seiten), Aufgaben (184 Seiten) und Musterlösungen (119 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Allgemeine Beschreibung

1.1 Zielsetzung von Modulation und Demodulation

Betrachtetes Nachrichtenübertragungssystem. Anpassung an Übertragungskanal und Störspektrum. Bündelung von Kanälen – Frequenzmultiplex. Analoge und digitale Modulationsverfahren. Zur Entwicklung der analogen Modulationsverfahren. Vorteile der digitalen Modulationsverfahren. Zeitmultiplexverfahren. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Qualitätskriterien

Ideales und verzerrungsfreies System. Signal–zu–Stör–Leistungsverhältnis. Untersuchungen im Hinblick auf Signalverzerrungen. Einige Anmerkungen zum AWGN–Kanalmodell. Untersuchungen beim AWGN–Kanal. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Allgemeines Modell der Modulation

Gemeinsame Beschreibung von Amplituden– und Winkelmodulation. Eine sehr einfache, leider nicht ganz richtige Modulatorgleichung. Modulierte Signale bei digitalem Quellensignal. Beschreibung von $s(t)$ mit Hilfe des analytischen Signals. Beschreibung von $s(t)$ mit Hilfe des äquivalenten Tiefpass–Signals. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

2 Amplitudenmodulation und zugehörige Demodulatoren

2.1 Zweiseitenband-Amplitudenmodulation

Beschreibung im Frequenzbereich. Beschreibung im Zeitbereich. Ringmodulator. AM–Signale und –Spektren bei harmonischen Signalen. ZSB–Amplitudenmodulation mit Träger. Beschreibung durch das analytische Signal. Amplitudenmodulation durch quadratische Kennlinie. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Synchrondemodulation

Blockschaltbild und Zeitbereichsdarstellung. Beschreibung im Frequenzbereich. Voraussetzungen für die Anwendung des Synchrondemodulators. Einfluss eines Frequenzversatzes. Einfluss eines Phasenversatzes. Einfluss linearer Kanalverzerrungen. Einfluss von Rauschstörungen. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Hüllkurvendemodulation

Funktionsweise bei idealen Bedingungen. Realisierung eines Hüllkurvendemodulators. Anwendung der Hüllkurvendemodulation bei $m > 1$. Beschreibung mit Hilfe des äquivalenten TP–Signals. Sonderfall eines cosinusförmigen Nachrichtensignals. Berücksichtigung von Kanalverzerrungen. Symmetrischer Kanalverzerrungen – Dämpfungsverzerrungen. Einfluss von Rauschstörungen. Argumente für und gegen den Hüllkurvendemodulator. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Einseitenbandmodulation

Beschreibung im Frequenzbereich. Synchrondemodulation eines ESB–Signals. Einfluss eines Frequenz– und Phasenversatzes. Seitenband–zu–Träger–Verhältnis. Zusammenfassende Bewertung der ESB–AM. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

2.5 Weitere AM-Varianten

Restseitenband–AM. Quadratur–Amplitudenmodulation. Inkohärente Demodulation. Aufgaben zu Kapitel 2.5.

3 Winkelmodulation und zugehörige Demodulatoren

3.1 Phasenmodulation

Gemeinsamkeiten zwischen Phasen- und Frequenzmodulation. Signalverläufe bei Phasenmodulation. Äquivalenten TP–Signal bei Phasenmodulation. Interpretation des Besselspektrums. Spektralfunktion eines phasenmodulierten Sinussignals. PM der Summe zweier Sinusschwingungen. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Frequenzmodulation

Augenblicksfrequenz. Signalverläufe bei Frequenzmodulation. Frequenzmodulation eines Cosinussignals. WM-Spektrum einer harmonischen Schwingung. Einfluss einer Bandbegrenzung bei Winkelmodulation. Realisierung eines FM-Modulators. PLL-Realisierung eines Frequenzdemodulators. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Rauscheinfluss bei Winkelmodulation

Signal-zu-Rausch-Leistungsverhältnis bei PM. Signal-zu-Rausch-Leistungsverhältnis bei FM. Systemvergleich AM, PM und FM hinsichtlich Rauschen. Preemphase und Deemphase. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

4 Digitale Modulationsverfahren

4.1 Pulscodemodulation

Prinzip und Blockschaltbild. Abtastung und Signalrekonstruktion. Betrachtungen Natürliche und diskrete Abtastung. Quantisierung und Quantisierungsrauschen. PCM-Codierung und -Decodierung. Signal-zu-Rausch-Leistungsverhältnis. Einfluss von Übertragungsfehlern. Nichtlineare Quantisierung. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 Lineare digitale Modulationsverfahren

Unterschiede zwischen analoger und digitaler Modulation. ASK – Amplitude Shift Keying. Kohärente Demodulation von ASK-Signalen. Inkohärente Demodulation von ASK-Signalen. BPSK – Binary Phase Shift Keying. Demodulation und Detektion von BPSK-Signalen. DPSK – Differential Phase Shift Keying. Differentiell-kohärente Demodulation des DPSK-Signals. Fehlerwahrscheinlichkeiten – ein kurzer Überblick. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Quadratur-Amplitudenmodulation

Allgemeine Beschreibung und Signalraumzuordnung. Systembeschreibung durch das äquivalente TP-Signal. Leistung und Energie komplexer Signale. Signalverläufe der 4-QAM. Fehlerwahrscheinlichkeit der 4-QAM. QAM-Signalraumkonstellationen. Weitere Signalraumkonstellationen. Nyquist- und Wurzel-Nyquist-QAM-Systeme. Offset-Quadraturamplitudenmodulation. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

4.4 Nichtlineare Modulationsverfahren

Eigenschaften nichtlinearer Verfahren. FSK – Frequency Shift Keying. Kohärente Demodulation der FSK. Fehlerwahrscheinlichkeit der orthogonalen FSK. Binäre FSK mit kontinuierlicher Phasenanpassung. MSK – Minimum Shift Keying. Realisierung der MSK als Offset-QPSK. Allgemeingültige Beschreibung der CPM. GMSK – Gaussian Minimum Shift Keying. Aufgaben zu Kapitel 4.4.

5 Vielfachzugriffsverfahren

5.1 Aufgaben und Klassifizierung

Multiplexer und Demultiplexer. FDMA, TDMA und CDMA. Anwendungsbeispiele. Aufgaben zu Kapitel 5.1.

5.2 PN-Modulation

Blockschaltbild und äquivalentes Tiefpass-Modell. Prinzip und Eigenschaften von Bandspreizverfahren. Signalverläufe bei einem einzigen Teilnehmer. Bandspreizung und Sinusstörer um die Trägerfrequenz. Aufgaben zu Kapitel 5.2.

5.3 Spreizfolgen für CDMA

Definition der Korrelationsfunktionen. Periodische AKF und KKF. Beurteilungskriterien für PN-Spreizfolgen. PN-Folgen maximaler Länge. Codefamilien mit M-Sequenzen. Gold-Codes. Walsh-Funktionen. Codes mit variablem Spreizfaktor (OVSF-Codes). Aufgaben zu Kapitel 5.3.

5.4 Fehlerwahrscheinlichkeit der PN-Modulation

Das CDMA-System IS-95. Systemkonfigurationen mit minimaler Fehlerwahrscheinlichkeit. Zwei Teilnehmer mit M-Sequenz-Spreizung. Asynchroner CDMA-Betrieb mit Walsh-Funktionen. Fehlerwahrscheinlichkeit bei Zweibegekanal. Untersuchungen zum RAKE-Empfänger. Aufgaben zu Kapitel 5.4.

5.5 Allgemeine Beschreibung von OFDM

Das Prinzip von OFDM – Systembetrachtung im Zeitbereich. Systembetrachtung im Frequenzbereich. Orthogonalitätseigenschaften der Träger. Aufgaben zu Kapitel 5.5.

5.6 Realisierung von OFDM-Systemen

OFDM mittels diskreter Fouriertransformation. OFDM-Sender. OFDM-Empfänger. Guard-Lücke zur ISI-Verminderung. Zyklisches Präfix. OFDM-System mit zyklischem Präfix. OFDM-Entzerrung im Frequenzbereich. OFDM-Entzerrung in Matrix-Vektor-Notation Vor- und Nachteile von OFDM. Aufgaben zu Kapitel 5.6.

5.7 OFDM für 4G-Netze

Multiplexverfahren vs. Vielfachzugriffsverfahren. Einige Eigenschaften von Mobilfunksystemen. Bestimmung einiger OFDM-Parameter. Ressourcenverwaltung in 4G-Netzen. Aufgaben zu Kapitel 5.7.

5.8 Weitere OFDM-Anwendungen

OFDM bei DVB-T. Systemparameter von DVB-T. Eine Kurzbeschreibung von DSL – Digital Subscriber Line (DSL). Unterschiede zwischen DMT und dem hier beschriebenen OFDM. Aufgaben zu Kapitel 5.8.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Modulationsverfahren“:

| | |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| A1.1: Multiplexing beim GSM-System | Z1.1 UKW-Rundfunk |
| A1.2: Verzerrungen? Oder keine? | Z1.2: Linear verzerrendes System |
| A1.3: Vergleich beim AWGN-Kanal | Z1.3: Thermisches Rauschen |
| A1.4: Zeigerdiagramm und Ortskurve | Z1.4: Darstellungsformen von Schwingungen |
| A2.1: ZSB-AM mit Cosinus? Oder Sinus? | Z2.1: ZSB-AM ohne/mit Träger |
| A2.2: Modulationsgrad | Z2.2: Leistungsbetrachtung |
| A2.3: ZSB-AM-Realisierung | Z2.3: ZSB durch Nichtlinearität |
| A2.4: Frequenz- und Phasenversatz | Z2.4: Tiefpass-Einfluss beim Synchrondemodulator |
| A2.5: ZSB-AM und Gaußkanal | Z2.5: Wieder Verzerrungen |
| A2.6: Freiraumdämpfung | Z2.6: Signal-to-Noise-Ratio (SNR) |
| A2.7: Verzerrungen wegen $m > 1$ | Z2.7: ZSB-AM & HK-Demodulation |
| A2.8: Unsymmetrischer Kanal | Z2.8: Symmetrische Verzerrungen |
| A2.9: ESB mit Kanalverzerrungen | Z2.9: Rauschen bei ZSB und ESB |
| A2.10: Verzerrungen durch ESB/HKD | Z2.10: ESB-AM & HK-Demodulation |
| A2.11: Quadratur-Amplitudenmodulation | ----- |
| A2.12: Inkohärente Demodulation | ----- |
| A3.1: Ortskurve bei Phasenmodulation | Z3.1: Einfluss der Phase bei PM |
| A3.2: Spektrum bei Winkelmodulation | Z3.2: Besselspektrum |
| A3.3: Summe zweier Schwingungen | Z3.3: Kenngrößenbestimmung |
| A3.4: Einfacher Phasenmodulator | ----- |
| A3.5: PM und FM bei Rechtecken | Z3.5: PM eines Trapezsignals |
| A3.6: PM oder FM? Oder AM? | Z3.6: WM einer harmonischen Schwingung |
| A3.7: Modulationsindex und Bandbreite | ----- |
| A3.8: Kreisbogen und Parabel | ----- |
| A3.9: Rauschen bei PM und FM | Z3.9: Systemvergleich AM – PM – FM |
| A3.10: Preemphase – Deemphase | ----- |
| A4.1: PCM-System 30/32 | ----- |
| A4.2: Tiefpass zur Signalrekonstruktion | Z4.2: Abtasttheorem |
| A4.3: Abtastung natürlich/diskret | ----- |
| A4.4: Quantisierungsrauschen | Z4.4: Störabstand bei PCM |
| A4.5: Nichtlineare Quantisierung | Z4.5: Quantisierungskennlinien |
| A4.6: Spektren von ASK und BPSK | Z4.6: ASK, BPSK und DPSK |
| A4.7: Fehlerwahrscheinlichkeiten | Z4.7: BPSK-Fehlerwahrscheinlichkeit |
| A4.8: Costas-Regelschleife | ----- |
| A4.9: 16-QAM-Signalverlauf | Z4.9: 16-QAM-Signalraumkonstellation |
| A4.10: 4-QAM im Frequenzbereich | Z4.10: 4-QAM-Fehlerwahrscheinlichkeit |
| A4.11: Wurzel-Nyquist-Systeme | Z4.11: Nochmals 4-QAM-Systeme |
| A4.12: Kohärente FSK-Demodulation | ----- |
| A4.13: Phasenverlauf der MSK | Z4.13: Offset-QPSK vs. MSK |
| A4.14: BPSK – QPSK – MSK | Z4.14: MSK-Grundimpuls und Spektrum |
| A4.15: Vergleich BPSK – MSK | |
| A5.1: FDMA, TDMA und CDMA | Z5.1: GSM-System/E-Band |
| A5.2: Bandspreizung und Schmalbandstörer | Z5.2: PN-Modulation |
| A5.3: PAKF von PN-Sequenzen | Z5.3: Realisierung einer PN-Sequenz |
| A5.4: Walsh-Funktionen (PKKF, PAKF) | Z5.4: OVSF-Codes |
| A5.5: Mehrteilnehmer-Interferenzen | Z5.5: RAKE-Empfänger |
| A5.6: OFDM-Spektrum | Z5.6: Einträger- und Mehrträgersystem |
| A5.7: OFDM-Sender mittels IDFT | Z5.7: Anwendung der IDFT |
| A5.8: Entzerrung in Matrix-Vektor-Notation | Z5.8: Zyklisches Präfix und Guard-Intervall |
| A5.9: OFDM-Parameterwahl | ----- |
| A5.10: DMT-Verfahren bei DSL | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Modulationsverfahren“:

- Einige Anmerkungen zur Übertragungsfunktion (Grundlagen, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Eigenschaften des Übertragungskanal (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Gesetze der Fouriertransformation (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Lineare und nichtlineare Verzerrungen (Grundlagen, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Analoge und digitale Signale (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 1 (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 2 (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 3 (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Harmonische Schwingungen (zu Kapitel 1.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Eigenschaften von Tiefpass- und Bandpass-Signalen (zu Kapitel 1.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Zweiseitenband-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 2.1, 2-teilig: Dauer 5:50 – Dauer 7:40)
- Rauschen bei AM und WM (zu Kapitel 2.3 und 3.3, 2-teilig: Dauer 8:32 – Dauer 7:05)
- Winkelmodulation (zu Kapitel 3.1 und 3.2, 2-teilig: Dauer 6:04 – Dauer 8:56)
- Pulsmodulation (zu Kapitel 4.1, 3-teilig: Dauer 11:28 – 12:53 – 22:15)
- Zur Verdeutlichung der PN-Generatoren (zu Kapitel 5.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule** im Buch „Modulationsverfahren“:

- Lineare Verzerrungen bei periodischen Signalen (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Lineare zeitinvariante Systeme“)
- Einfluss einer Bandbegrenzung bei Sprache und Musik (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Lineare zeitinvariante Systeme“)
- Zeigerdiagramm – Darstellung des analytischen Signals (zu Kapitel 1.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Ortskurve – Darstellung des äquivalenten Tiefpass-Signals (zu Kapitel 1.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Eigenschaften des Synchrondemodulators bei ZSB und ESB (zu Kapitel 2.2)
- Besselfunktion erster Art und n -ter Ordnung (zu Kapitel 3.1)
- Abtastung analoger Signale und Signalrekonstruktion (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Frequenzgang und zugehörige Zeitfunktion (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Prinzip der Quadratur-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)
- QPSK und Offset-QPSK (zu Kapitel 4.3)
- Frequency Shift Keying & Continuous Phase Modulation (zu Kapitel 4.4)
- Zur Erzeugung von Walsh-Funktionen (zu Kapitel 5.3)
- OVSF-Codes (zu Kapitel 5.3)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktion (zu Kapitel 5.4, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- OFDM-Spektrum und –Signale (zu Kapitel 5.5)
- Diskrete Fouriertransformation (zu Kapitel 5.6, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- DMT – Discrete Multitone Transmission (zu Kapitel 5.8)

Die hellgrau aufgelisteten Multimedia-Animationen deuten darauf hin, dass diese bereits in anderen Büchern genannt wurden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Digitalsignalübertragung“ (Buch 6)

Dieses Buch entstand zwischen 2007 und 2011. Die letzte Überarbeitung erfolgte im Oktober 2016. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „3V + 2Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|-----------------|------------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 46 | 59 | 0 + (11) | 2 + (8) | 10A + 7Z = 17 | 90 |
| 2 | 33 | 42 | 0 + (2) | 2 + (4) | 8A + 4Z = 12 | 67 |
| 3 | 67 | 85 | 0+ (5) | 4 + (6) | 13A + 8Z = 21 | 103 |
| 4 | 56 | 84 | 0+ (7) | 5 + (2) | 19A + 9Z = 28 | 146 |
| 5 | 32 | 43 | 0+ (4) | 0+ (1) | 8A + 4Z = 12 | 59 |
| Gesamt | 234 | 313 | 0 + (17) | 13 + (11) | 58A + 32Z = 90 | 465 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 569 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (234 Seiten), Aufgaben (196 Seiten) und Musterlösungen (135 Seiten).

1 Digitalsignalübertragung bei idealisierten Bedingungen

1.1 Systemkomponenten eines Basisbandübertragungssystems

Vereinfachtes Systemmodell. Beschreibungsgrößen der digitalen Quelle. Kenngrößen des digitalen Senders. Übertragungskanal und Störungen. Empfangsfilter und Schwellenwertentscheider. Ersatzschaltbild und Voraussetzungen für Kapitel 1. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Fehlerwahrscheinlichkeit bei Basisbandübertragung

Definition der Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Definition der Bitfehlerquote. Fehlerwahrscheinlichkeit bei Gaußschem Rauschen. Optimaler Binärempfänger: Realisierung mit Matched-Filter. Optimaler Binärempfänger: Realisierungsform „Integrate & Dump“. Interpretation des optimalen Empfängers. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Eigenschaften von Nyquistsystemen

Erstes Nyquistkriterium im Zeitbereich. Erstes Nyquistkriterium im Frequenzbereich. Beweis des ersten Nyquistkriteriums. 1/T-Nyquistspektren. Zweites Nyquistkriterium. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

1.4 Optimierung der Basisbandübertragungssysteme

Voraussetzungen und Optimierungskriterium. Leistungs- und Spitzenwertbegrenzung. Systemoptimierung bei Leistungsbegrenzung. Wurzel-Nyquist-Systeme. Systemoptimierung bei Spitzenwertbegrenzung. Optimierung des Rolloff-Faktors bei Spitzenwertbegrenzung. Aufgaben zu Kapitel 1.4.

1.5 Lineare digitale Modulation – Kohärente Demodulation

Gemeinsames Blockschaltbild für ASK und BPSK. Fehlerwahrscheinlichkeit des optimalen BPSK-Systems. Fehlerwahrscheinlichkeit des optimalen ASK-Systems. Fehlerwahrscheinlichkeit bei 4-QAM und 4-PSK. Phasenversatz zwischen Sender und Empfänger. Basisbandmodell für ASK und BPSK. Aufgaben zu Kapitel 1.5.

2 Codierte und mehrstufige Übertragung

2.1 Grundlagen der codierten Übertragung

Informationsgehalt – Entropie – Redundanz. Quellen-, Kanal- und Übertragungscodierung. Systemmodell und Beschreibungsgrößen. AKF-Berechnung eines Digitalsignals. LDS-Berechnung eines Digitalsignals. AKF und LDS bei bipolaren Binärsignalen. AKF und LDS bei unipolaren Binärsignalen. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Redundanzfreie Codierung

Blockweise und symbolweise Codierung. Redundanzfreies Ternär- und Quaternärsignal. AKF und LDS eines Mehrstufensignals. Fehlerwahrscheinlichkeit eines Mehrstufensystems. Vergleich zwischen Binär- und Mehrstufensystem. Symbol- und Bitfehlerwahrscheinlichkeit. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Blockweise Codierung mit 4B3T-Codes

Allgemeine Beschreibung von Blockcodes. Laufende digitale Summe. AKF und LDS der 4B3T-Codes. Fehlerwahrscheinlichkeit der 4B3T-Codes. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Symbolweise Codierung mit Pseudoternärcodes

Allgemeine Beschreibung von Partial-Response-Codes. Eigenschaften des AMI-Codes. Eigenschaften des Duobinärcodes. Fehlerwahrscheinlichkeit der Pseudoternärcodes. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

3 Impulsinterferenzen und Entzerrungsverfahren

3.1 Ursachen und Auswirkungen von Impulsinterferenzen

Definition des Begriffs „Impulsinterferenz“. Mögliche Ursachen für Impulsinterferenzen. Einige Anmerkungen zum Kanalfrequenzgang. Frequenzgang eines Koaxialkabels. Impulsantwort eines Koaxialkabels. Blockschaltbild und Voraussetzungen für Kapitel 3. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Fehlerwahrscheinlichkeit unter Berücksichtigung von Impulsinterferenzen

Gaußförmiges Empfangsfilter. Definition und Aussagen des Augendiagramms. Mittlere Fehlerwahrscheinlichkeit. Ungünstigste Fehlerwahrscheinlichkeit. Optimierung der Grenzfrequenz. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Berücksichtigung von Kanalverzerrungen und Entzerrung

Idealer Kanalentzerrer. Erhöhung der Rauschleistung durch lineare Entzerrung. Optimierung der Grenzfrequenz. Systemvergleich mittels Systemwirkungsgrad. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

3.4 Impulsinterferenzen bei mehrstufiger Übertragung

Augenöffnung bei redundanzfreien Mehrstufigensystemen. Vergleich zwischen Binär- und Quaternärsystem. Augenöffnung bei den Pseudoternärcodes. Grenzfrequenzoptimierung bei Pseudoternärcodierung. Aufgaben zu Kapitel 3.4.

3.5 Lineare Nyquistentzerrung

Struktur des optimalen Nyquistentzerrers. Wirkungsweise des Transversalfilters. Beschreibung im Frequenzbereich. Approximation des optimalen Nyquistentzerrers. Berechnung der normierten Störleistung. Vergleich anhand des Systemwirkungsgrades. Aufgaben zu Kapitel 3.5.

3.6 Entscheidungsrückkopplung

Prinzip und Blockschaltbild. Ideale Entscheidungsrückkopplung. Augenöffnung und Fehlerwahrscheinlichkeit bei DFE. Optimierung eines Übertragungssystems mit DFE. Realisierungsaspekte der Entscheidungsrückkopplung. Aufgaben zu Kapitel 3.6.

3.7 Optimale Empfängerstrategien

Betrachtetes Szenario im Kapitel 3.7. MAP- und Maximum-Likelihood-Entscheidungsregel. ML-Entscheidung bei Gaußscher Störung. Korrelationsempfänger. Darstellung des Korrelationsempfängers im Baumdiagramm. Aufgaben zu Kapitel 3.7.

3.8 Viterbi-Empfänger

Blockschaltbild und Voraussetzungen für Kapitel 3.8. Fehlergrößen und Gesamtfehlergrößen. Minimale Gesamtfehlergröße und Trellisdiagramm. Vereinfachtes Trellisdiagramm. Erweiterung auf zwei Vorläufer. Fehlerwahrscheinlichkeit bei Maximum-Likelihood-Entscheidung. Aufgaben zu Kapitel 3.8.

4 Verallgemeinerte Beschreibung digitaler Modulationsverfahren

4.1 Signale, Basisfunktionen und Vektorräume

Zur Nomenklatur von Kapitel 4. Orthonormale Basisfunktionen. Das Verfahren nach Gram-Schmidt. Basisfunktionen komplexer Zeitsignale. Dimension der Basisfunktionen. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 Struktur des optimalen Empfängers

Blockschaltbild und Voraussetzungen. Fundamentaler Ansatz zum optimalen Empfängerentwurf. Das Theorem der Irrelevanz. Einige Eigenschaften des AWGN-Kanals. Optimaler Empfänger für den AWGN-Kanal. Implementierungsaspekte. Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion der Empfangswerte. N -dimensionales Gaußsches Rauschen. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Approximation der Fehlerwahrscheinlichkeit

Optimale Entscheidung bei binärer Übertragung. Gleichwahrscheinliche Binärsymbole – Fehlerwahrscheinlichkeit. Nicht gleichwahrscheinliche Symbole – Schwellenoptimierung. Entscheidungsregionen im nichtbinären Fall ($M > 2$). Fehlerwahrscheinlichkeitsberechnung im nichtbinären Fall. Union Bound – Obere Schranke für die Fehlerwahrscheinlichkeit. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

4.4 Trägerfrequenzsysteme mit kohärenter Demodulation

Signalraumdarstellung der linearen Modulation. Kohärente Demodulation und optimaler Empfänger. On-Off-Keying bzw. 2-ASK. Binary Phase Shift Keying (BPSK), M -stufiges Amplitude Shift Keying (M -ASK). Quadraturamplitudenmodulation (M -QAM), M -stufiges Phase Shift Keying (M -PSK). Binary Frequency Shift Keying (2-FSK). Minimum Shift Keying (MSK). Aufgaben zu Kapitel 4.4.

4.5 Trägerfrequenzsysteme mit nichtkohärenter Demodulation

Rayleigh- und Riceverteilung. Nichtkohärente Demodulation von On-Off-Keying. Nichtkohärente Demodulation von binärer FSK. Herleitung: Fehlerwahrscheinlichkeit von nichtkohärenter BFSK, Nichtkohärente Demodulation von mehrstufiger FSK. Aufgaben zu Kapitel 4.5.

5 Digitale Kanalmodelle

5.1 Beschreibungsgrößen digitaler Kanalmodelle

Anwendung analoger Kanalmodelle. Definition digitaler Kanalmodelle. Beispielhafte Anwendung von digitalen Kanalmodellen. Fehlerfolge und Fehlerkorrelationsfunktion. Fehlerabstand und Fehlerabstandsverteilung. Aufgaben zu Kapitel 5.1.

5.2 Binary Symmetric Channel (BSC)

Fehlerkorrelationsfunktion des BSC-Modells. Fehlerabstandsverteilung des BSC-Modells. Anwendungen des BSC-Modells. Aufgaben zu Kapitel 5.2.

5.3 Bündelfehlerkanäle

Kanalmodell nach Gilbert-Elliott. Fehlerabstandsverteilung des GE-Modells. Fehlerkorrelationsfunktion des GE-Modells. Kanalmodell nach McCullough. Bündelfehlerkanalmodell nach Wilhelm. Aufgaben zu Kapitel 5.3.

5.4 Anwendungen bei Multimedia-Dateien

Bilder im BMP-Format. Übertragungsfehler im Dateikopf und Informationsblock. BMP- und WAV-Dateien nach BSC-Verfälschung. BMP- und WAV-Dateien mit Bündelfehlern. Aufgaben zu Kapitel 5.4.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Digitalsignalübertragung“:

| | |
|-------------------------------------------|---------------------------------------------|
| A1.1: Sendegrundimpulse | Z1.1: Redundanzfreie Binärquelle |
| A1.2: Bitfehlerquote (BER) | Z1.2: Bitfehlermessung |
| A1.3: Einfluss von $g_s(t)$ und $h_E(t)$ | Z1.3: Schwellenwertoptimierung |
| A1.4: Nyquistkriterien | Z1.4: Komplexes Nyquistspektrum |
| A1.5: Cosinus-Quadrat-Spektrum | ----- |
| A1.6: Wurzel-Nyquist-System | Z1.6: Zwei Optimalsysteme |
| A1.7: Systemwirkungsgrade | ----- |
| A1.8: Vergleich von ASK und BPSK | Z1.8: BPSK-Fehlerwahrscheinlichkeit |
| A1.9: BPSK und 4-QAM | ----- |
| A1.10: Basisbandmodell der BPSK | Z1.10: Gauß-Bandpass |
| | |
| A2.1: AKF und LDS nach Codierung | Z2.1: Zur äquivalenten Bitrate |
| A2.2: Binäre bipolare Rechtecke | ----- |
| A2.3: Binär- und Quaternärsignal | ----- |
| A2.4: Dual- und Graycodierung | Z2.4: p_S und p_B bei einem Oktalsystem |
| A2.5: Ternäre Signalübertragung | ----- |
| A2.6: Modifizierter MS43-Code | Z2.6: 4B3T-Code nach Jessop und Waters |
| A2.7: AMI-Code | Z2.7: Pseudoternärcodes – LDS |
| A2.8: Vergleich „Binär – AMI – 4B3T | ----- |
| | |
| A3.1: Koaxialkabel – Impulsantwort | Z3.1: Koaxialkabel – Frequenzgang |
| A3.2: Gauß-Auge | Z3.2: Optimale Gauß-Genzfrequenz |
| A3.3: Rauschen bei Kanalverzerrung | Z3.3: Koaxialkabelsystem – Optimierung |
| A3.4: Grenzfrequenzoptimierung | Z3.4: Augenöffnung und Stufenzahl |
| A3.5: Auge bei Pseudoternärcodierung | ----- |
| A3.6: ONE-Transversalfilter | Z3.6: Exponentialimpuls – ONE |
| A3.7: Optimale Nyquistverzerrung | Z3.7: Regeneratorfeldlänge |
| A3.8: DFE mit Laufzeitfilter | Z3.8: Optimaler Detektionszeitpunkt |
| A3.9: Korrelationsempfänger – unipolar | ----- |
| A3.10: ML-Baumdiagramm | ----- |
| A3.11: Viterbi-Empfänger und Trellis | Z3.11: Maximum-Likelihood-Fehlergrößen |
| A3.12: Trellisdiagramm für 2 Vorläufer | ----- |
| A3.13: Vergleich SE – DFE – ML | ----- |
| | |
| A4.1: Gram-Schmidt-Verfahren | Z4.1: Andere Basisfunktionen |
| A4.2: AM/PM-Schwingungen | Z4.2: Achtstufiges Phase Shift Keying |
| A4.3: Unterschiedliche Frequenzen | ----- |
| A4.4: MAP- und ML-Empfänger | ----- |
| A4.5: Theorem der Irrelevanz | ----- |
| A4.6: Optimale Entscheidungsgrenze | Z4.6: Signalraumkonstellationen |
| A4.7: Nochmals Entscheidungsgrenzen | ----- |
| A4.8: Entscheidungsregionen | Z4.8: Fehlerwahrscheinlichkeit |
| A4.9: Entscheidungsregionen bei Laplace | Z4.9: Laplace-verteiltes Rauschen |
| A4.10: Union Bound | ----- |
| A4.11: OOK und BPSK | Z4.11: Nochmals OOK und BPSK |
| A4.12: Berechnungen zur 16-QAM | ----- |
| A4.13: Vierstufige QAM | ----- |
| A4.14: 8-PSK und 16-PSK | Z4.14: 4-QAM und 4-PSK |
| A4.15: Optimale Signalraumbelegung | ----- |
| A4.16: Binary Frequency Shift Keying | ----- |
| A4.17: Nichtkohärente OOK | Z4.17: Rayleigh- und Riceverteilung |
| A4.18: Nichtkohärente BPSK | Z4.18: FSK kohärent/nichtkohärent |
| A4.19: Orthogonale mehrstufige FSK | ----- |
| | |
| A5.1: Fehlerabstandsverteilung | ----- |
| A5.2: Fehlerkorrelationsfunktion | ----- |
| A5.3: AWGN- und BSC-Modell | Z5.3: Analyse des BSC-Modells |
| A5.4: Ist das BSC-Modell erneuernd? | ----- |
| A5.5: Fehlerfolge und Fehlerabstandsfolge | ----- |
| A5.6: Fehlerkorrelationsdauer | Z5.6: GE-Modelleigenschaften |
| A5.7: MC- aus GE-Parameter | Z5.7: Nochmals MC-Modell |
| A5.8: BMP-Format | Z5.8: Verfälschung von BMP-Bildern |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Digitalsignalübertragung“:

- Analoge und digitale Signale (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Herleitung & Visualisierung der Diracfunktion (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Rechnen mit komplexen Zahlen (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 1 (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 2 (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 3 (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Eigenschaften des Übertragungskanals (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Das Bernouillische Gesetz der großen Zahlen (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Eigenschaften von TP- und BP-Signalen (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Gesetze der Fouriertransformation (zu Kapitel 1.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Harmonische Schwingungen (zu Kapitel 1.5, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Einige Anmerkungen zur Übertragungsfunktion (zu Kapitel 3.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Momente von diskreten Zufallsgrößen (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Statistische Abhängigkeit und Unabhängigkeit (zu Kapitel 4.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Wahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (zu Kapitel 4.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Mengentheoretische Begriffe und Gesetze (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule** im Buch „Digitalsignalübertragung“:

- Abtastung analoger Signale und Signalrekonstruktion (Grundlagen – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Einfluss einer Bandbegrenzung auf Sprache und Musik (Grundlagen – siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Impulse und deren Spektren (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- **Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 1.1ff)**
- Gegenüberstellung Binomialverteilung – Poissonverteilung (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- **Symbolfehlerwahrscheinlichkeit von Digitalsystemen (zu Kapitel 1.2 und 2.2)**
- Zur Verdeutlichung des Matched-Filters (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Frequenzgang und zugehörige Impulsantwort (zu Kapitel 1.3 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Prinzip der QAM (zu Kapitel 1.5 – siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- Prinzip der 4B3T-Codierung (zu Kapitel 2.3)
- Signale, AKF und LDS der Pseudoternär-codes (zu Kapitel 2.4)
- Dämpfung von Kupferkabeln (zu Kapitel 3.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Zeitverhalten von Kupferkabeln (zu Kapitel 3.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Augendiagramm und Augenöffnung (zu Kapitel 3.2 und 3.4)
- Lineare Nyquistentzerrung (zu Kapitel 3.5)
- Entscheidungsrückkopplung (zu Kapitel 3.6)
- Viterbi-Empfänger für einen Vorläufer (zu Kapitel 3.8)
- Gram-Schmidt-Verfahren (zu Kapitel 4.1)
- Zweidimensionale Gaußverteilung (zu Kapitel 4.2 – siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Zweidimensionale Laplaceverteilung (zu Kapitel 4.2)
- Optimale Entscheidungsregionen (zu Kapitel 4.3)
- Mehrstufige PSK und Union Bound (zu Kapitel 4.4)
- Nichtkohärentes On-Off-Keying (zu Kapitel 4.5)

Die hier hellgrau aufgelisteten Multimedia-Animationen deuten darauf hin, dass diese bereits in früheren Büchern genannt wurden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Mobile Kommunikation“ (Buch 7)

Das Buch entstand zwischen 2010 und 2016. Die letzte Überarbeitung erfolgte im November 2016. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 23 | 34 | 0 + (3) | 1 + (3) | 7A + 5Z = 12 | 57 |
| 2 | 21 | 40 | 0 + (2) | 1 + (5) | 9A + 4Z = 13 | 70 |
| 3 | 28 | 34 | 0 | 0 + (6) | 10A + 4Z = 14 | 71 |
| 4 | 40 | 29 | 0 | 0 + (3) | 5A + 3Z = 8 | 33 |
| Gesamt | 112 | 137 | 0 + (4) | 2 + (16) | 31A + 16Z = 47 | 231 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 276 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (112 Seiten), Aufgaben (100 Seiten) und Musterlösungen (60 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Zeitvariante Übertragungskanäle

1.1 Distanzabhängige Dämpfung und Abschattung

Physikalische Beschreibung des Mobilfunkkanals. Freiraumausbreitung. Gebräuchliches Pfadverlustmodell. Weitere, exaktere Pfadverlustmodelle. Zusätzlicher Verlust durch Abschattungen (Shadowing). Lognormal-Kanalmodell. Voraussetzungen für das restliche Kapitel 1. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Wahrscheinlichkeitsdichte des Rayleigh-Fadings

Allgemeine Beschreibung des Mobilfunkkanals. Modellierung von nichtfrequenzselektivem Fading. Beispielhafte Signalverläufe bei Rayleigh-Fading. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Statistische Bindungen innerhalb des Rayleigh-Prozesses

Einige allgemeine Bemerkungen zu AKF und LDS. Phänomenologische Beschreibung des Dopplereffektes. Dopplerfrequenz und deren Verteilung. AKF und LDS bei Rayleigh-Fading. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

1.4 Nichtfrequenzselektives Fading mit Direktkomponente

Kanalmodell und Rice-WDF. Beispielhafte Signalverläufe bei Rice-Fading. Aufgaben zu Kapitel 1.4.

2 Frequenzselektive Übertragungskanäle

2.1 Allgemeine Beschreibung zeitvarianter Systeme

Übertragungsfunktion und Impulsantwort. Zeitinvariante vs. zeitvariante Kanäle. Zweidimensionale Impulsantwort. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Mehrwegeempfang beim Mobilfunk

Zeitinvariante Beschreibung des Zweiwegekanals. Kohärenzbandbreite in Abhängigkeit von M. Berücksichtigung der Zeitvarianz. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Das GWSSUS-Kanalmodell

Verallgemeinerte Systemfunktionen zeitvarianter Systeme. Vereinfachungen aufgrund der GWSSUS-Voraussetzungen. AKF und LDS der zeitvarianten Impulsantwort. Verzögerungsmodelle nach COST 207. AKF und LDS der frequenzvarianten Übertragungsfunktion. AKF und LDS der Verzögerungs-Dopplerfunktion. AKF und LDS der zeitvarianten Übertragungsfunktion. Kenngrößen des GWSSUS-Modells. Simulation gemäß dem GWSSUS-Modell. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

3 Mobilfunksysteme der zweiten und dritten Generation – eine Übersicht

3.1 Historie und Entwicklung der Mobilfunksysteme

Vorläufer der heutigen Mobilfunknetze. Mobilfunksysteme der zweiten Generation. Die Entstehungsgeschichte von GSM. Mobilfunksysteme der dritten Generation. Die Erfolgsgeschichte des digitalen Mobilfunks. Aufgabe zu Kapitel 3.1.

3.2 Gemeinsamkeiten von GSM und UMTS

Zellulare Architektur. Interferenzleistung und Zellatmung. Near-Far-Effekt und Handover. Verschiedene Handover-Strategien. Typisches Mobilfunkübertragungssystem. Geläufige Sprachcodierverfahren. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Die Charakteristika von GSM

Systemarchitektur und Basiseinheiten von GSM. Vielfachzugriff bei GSM. Daten- und Rahmenstruktur bei GSM. Modulationsverfahren bei GSM. GSM-Erweiterungen. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

3.4 Die Charakteristika von UMTS

Anforderungen an Mobilfunksysteme der dritten Generation. Der IMT-2000-Standard. Systemarchitektur und Basiseinheiten bei UMTS. CDMA – Vielfachzugriff bei UMTS. Spreizcodes und Verwürfelung. Modulation und Pulsformung bei UMTS. UMTS-Erweiterungen HSDPA und HSUPA. Aufgaben zu Kapitel 3.4.

4 Long Term Evolution – LTE

4.1 Allgemeines zum Mobilfunkstandard LTE

Entwicklung der Mobilfunkteilnehmer bis 2010. Einige Eigenschaften von LTE. Motivation und Ziele von LTE. Entwicklung der UMTS-Mobilfunkstandards hin zu LTE. LTE-Frequenzbandaufteilung. 3GPP – Third Generation Partnership Project. Aufgabe zu Kapitel 4.1.

4.2 Technische Neuerungen von LTE

Zur Sprachübertragung bei LTE. VoLTE – Voice over LTE. Bandbreitenflexibilität. FDD, TDD und Halb-Duplex-Verfahren. Mehrantennensysteme. Systemarchitektur. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Die Anwendung von OFDMA und SC-FDMA in LTE

Allgemeines zur LTE-Übertragungstechnik. Gemeinsamkeiten und Unterschiede von OFDM und OFDMA. Unterschiede zwischen OFDMA und SC-FDMA. Funktionsweise von SC-FDMA. Vorteile von SC-FDMA gegenüber OFDM. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

4.4 Bitübertragungsschicht bei LTE

Allgemeine Beschreibung. Physikalische Kanäle im Uplink. Physikalische Kanäle im Downlink. Abläufe in der physikalischen Ebene. Modulation bei LTE. Scheduling bei LTE. Aufgaben zu Kapitel 4.4.

4.5 LTE-Advanced – eine Weiterentwicklung von LTE

Wie schnell ist LTE wirklich? Einige Systemverbesserungen durch LTE-Advanced. Standards in Konkurrenz zu LTE bzw. LTE-Advanced. Meilensteine der Entwicklung von LTE und LTE-Advanced. Aufgabe zu Kapitel 4.5.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Mobile Kommunikation“:

| | |
|----------------------------------------|-------------------------------------------------|
| A1.1: Dual-Slope-Verlustmodell | Z1.1: Einfaches Pfadverlustmodell |
| A1.2: Lognormal – Kanalmodell | Z1.2: Nochmals Lognormal-Fading |
| A1.3: Rayleigh-Fading | Z1.3: Nochmals Rayleigh-Fading |
| A1.4: Rayleigh-WDF & Jakes-LDS | Z1.4: Zum Dopplereffekt |
| A1.5: Nachbildung des Jakes-Spektrums | ----- |
| A1.6: Rice-Fading – AKF/LDS | Z1.6: Rayleigh und Rice im Vergleich |
| A1.7: WDF des Rice-Fadings | ----- |
| A2.1: 2-dimensionale Impulsantwort | Z2.1: Bezug zwischen $H(f, t)$ und $h(\tau, t)$ |
| A2.2: Einfaches Zweiwege-Modell | Z2.2: Realer Zweiwegekanal |
| A2.3: Noch ein Mehrwegekanal | ----- |
| A2.4: $h(\tau, t)$ und $H(f, t)$ | ----- |
| A2.5: Scatter-Funktion | Z2.5: Mehrwege-Szenario |
| A2.6: Einheiten bei GWSSUS | ----- |
| A2.7: Kohärenzbandbreite | Z2.7: B_K für den LZI-Zweiwegekanal |
| A2.8: COST-Verzögerungsmodelle | ----- |
| A2.9: Korrelationsdauer | ----- |
| A3.1: Entwicklungen des Mobilfunks | ----- |
| A3.2: GSM-Datenraten | Z3.2: Komponenten des GSM-Systems |
| A3.3: Zellulare Mobilfunksysteme | ----- |
| A3.4: Verschiedene Sprachcodecs | Z3.4: GSM-Vollraten-Sprachcodec |
| A3.5: GMSK-Modulation | Z3.5: GSM-Netzkomponenten |
| A3.6: Begriffe der 3G-Mobilfunksysteme | ----- |
| A3.7: FDMA, TDMA und CDMA | ----- |
| A3.8: PN-Modulation | Z3.8: Zur Bandspreizung bei UMTS |
| A3.9: OVSF-Codes | ----- |
| A3.10: GSM/UMTS-Weiterentwicklungen | ----- |
| A4.1: Allgemeine Fragen zu LTE | ----- |
| A4.2: FDD, TDD und Halb-Duplex | Z4.2: MIMO-Anwendungen bei LTE |
| A4.3: Zum Subcarrier-Mapping | Z4.3: Zugriffsverfahren bei LTE |
| A4.4: Zur Modulation bei LTE | Z4.4: Physikalische Kanäle bei LTE |
| A4.5: LTE vs. LTE-Advanced | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Mobile Kommunikation“:

- Eigenschaften von TP- und BP-Signalen (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Eigenschaften des Übertragungskanals (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Erzeugung einer Exponentialverteilung (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Einige Anmerkungen zur Übertragungsfunktion (zu Kapitel 2.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule/Demos** im Buch „Mobile Kommunikation“:

- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- WDF, VTF und Momente (zu Kapitel 1.2 und 2.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Digitale Filter (zu Kapitel 1.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Besselfunktion erster Art und n -ter Ordnung (zu Kapitel 1.3 und 2.3, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- **Zur Verdeutlichung des Dopplereffekts (zu Kapitel 1.3 und 2.3)**
- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (zu Kapitel 2.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- **Auswirkungen des Mehrwegeempfangs (zu Kapitel 2.2)**
- Zeitfunktion und zugehörige Spektralfunktion (zu Kapitel 2.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Handover bei UMTS (zu Kapitel 3.2, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)
- Qualität verschiedener Sprachcodecs (zu Kapitel 3.2, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)
- OVSF-Codes (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- Prinzip der Quadratur-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)
- Quaternary Phase Shift Keying (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- Zur Erzeugung von Walsh-Funktionen (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- Prinzip der Quadratur-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)
- DFT – Diskrete Fouriertransformation (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- OFDM – Orthogonal Frequency Division Multiple Access (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Modulationsverfahren“)

Die hellgrau aufgelisteten Multimedia-Animationen deuten darauf hin, dass diese bereits in früheren Büchern genannt wurden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Einführung in die Kanalcodierung“ (Buch 8)

Das Buch entstand zwischen 2011 und 2015. Die letzte Überarbeitung erfolgte im Januar 2016. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „3V + 2Ü“. Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|----------------|-----------------|-----------------------|--------------|
| 1 | 60 | 80 | 0 + (2) | 0 + (6) | 17A + 10Z = 27 | 143 |
| 2 | 44 | 55 | 1 + (0) | 0 + (3) | 16A + 11Z = 27 | 136 |
| 3 | 52 | 106 | 0 + (2) | 0 + (7) | 14A + 9Z = 23 | 101 |
| 4 | 32 | 98 | 0 + (1) | 0 + (2) | 13A + 8Z = 21 | 102 |
| Gesamt | 188 | 339 | 1 + (4) | 0 + (16) | 60A + 38Z = 98 | 482 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt 453 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (188 Seiten), Aufgaben (213 Seiten) und Musterlösungen (148 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 Binäre Blockcodes zur Kanalcodierung

1.1 Zielsetzung der Kanalcodierung

Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Einige einführende Beispiele. Die geschlitzte CD. Zusammenspiel zwischen Quellen- und Kanalcodierung. Blockschaltbild und Voraussetzungen. Einige wichtige Definitionen zur Blockcodierung. Beispiele für Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Zur Nomenklatur in diesem Buch. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Kanalmodelle und Entscheiderstrukturen

AWGN-Kanal bei binärem Eingang. Binary Symmetric Channel – BSC. Binary Erasure Channel – BEC. Binary Symmetric Error & Erasure Channel – BSEC. MAP- und ML-Kriterium. ML-Entscheidung beim BSC-Kanal. ML-Entscheidung beim AWGN-Kanal. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 Beispiele binärer Blockcodes

Single Parity-check Codes. Wiederholungscodes. Hamming-Codes. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

1.4 Allgemeine Beschreibung linearer Blockcodes

Lineare Codes und zyklische Codes. Codefestlegung durch die Prüfmatrix. Codefestlegung durch die Generatormatrix. Systematische Codes. Zusammenhang zwischen Generator- und Prüfmatrix. Darstellung von SPC und RC als duale Codes. Einige Eigenschaften des (7, 4, 3)-Hamming-Codes. Aufgaben zu Kapitel 1.4.

1.5 Decodierung linearer Blockcodes

Blockschaltbild und Voraussetzungen. Prinzip der Syndromdecodierung. Verallgemeinerung der Syndromdecodierung. Codiergewinn – Bitfehlerrate bei AWGN. Decodierung beim Binary Erasure Channel. Aufgaben zu Kapitel 1.5.

1.6 Schranken für die Blockfehlerwahrscheinlichkeit

Distanzspektrum eines linearen Codes. Union Bound der Blockfehlerwahrscheinlichkeit. Union Bound für das BSC-Modell. Obere Schranke nach Bhattacharyya. Schranken für den (7, 4, 3) Hamming-Code beim AWGN-Kanal. Aufgaben zu Kapitel 1.6.

1.7 Informationstheoretische Grenzen der Kanalcodierung

Kanalcodierungstheorem und Kanalkapazität. Kanalkapazität des BSC-Modells. Kanalkapazität des AWGN-Modells. AWGN-Kanalkapazität für binäre Eingangssignale. Gebräuchliche Kanalcodes im Vergleich zur Kanalkapazität. Aufgaben zu Kapitel 1.7.

2 Reed-Solomon-Codes und deren Decodierung

2.1 Einige Grundlagen der Algebra

Definition eines Galoisfeldes. Beispiele und Eigenschaften von Galoisfeldern. Gruppe, Ring, Körper – algebraische Grundbegriffe. Algebraische Gruppe und Beispiele. Algebraischer Ring und Beispiele. Aufgaben zu Kapitel 2.1.

2.2 Erweiterungskörper

$GF(2^2)$ – Beispiel eines Erweiterungskörpers. Polynome über einem endlichen Körper. Verallgemeinerte Definition eines Erweiterungskörpers. Binäre Erweiterungskörper. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 Definition und Eigenschaften von Reed-Solomon-Codes

Konstruktion von Reed-Solomon-Codes. Generatormatrix und Prüfmatrix. Singleton-Schranke und minimale Distanz. Codebezeichnung und Coderate. Bedeutung der Reed-Solomon-Codes. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Reed-Solomon-Decodierung beim Auslöschungskanal

Blockschaltbild und Voraussetzungen zu Kapitel 2.4. Vorgehensweise am Beispiel des RSC (7, 3, 5)₈. Lösung der Matrixgleichungen am Beispiel des RSC (7, 3, 5)₈. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

2.5 Fehlerkorrektur nach Reed–Solomon–Codierung

Blockschaltbild und Voraussetzungen zu Kapitel 2.5. Mögliche Codewortschätzer HD – MLD bzw. BDD. Vorgehensweise beim „Bounded Distance Decoding“. Schritt (A) Auswertung des Syndroms beim BDD. Error Locator Polynoms – Definition und Eigenschaften. Schritt (B) Aufstellen und Auswerten des ELP–Koeffizientenvektors. Schritt (C) Lokalisierung der Fehlerstellen. Schritt (D) Abschließende Fehlerkorrektur. Schnelle Reed–Solomon–Decodierung. Aufgaben zu Kapitel 2.5.

2.6 Fehlerwahrscheinlichkeit und Anwendungsgebiete

Blockfehlerwahrscheinlichkeit für RSC und BDD. Anwendung der Reed–Solomon–Codes bei binären Kanälen. Typische Anwendungen mit Reed–Solomon–Codierung. Aufgaben zu Kapitel 2.6.

3 Faltungscodes und geeignete Decoder

3.1 Grundlagen der Faltungscodierung

Voraussetzungen und Definitionen. Gemeinsamkeiten und Unterschiede gegenüber Blockcodes. Rate–1/2–Faltungscodierer. Faltungscodierer mit $k = 2$ Eingängen. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Algebraische und polynomische Beschreibung

Definition und Interpretation der Teilmatrizen $\mathbf{G}_0, \dots, \mathbf{G}_m$. Generatormatrix eines Faltungscodierers mit Gedächtnis m . Generatormatrix für Faltungscodierer der Rate $1/n$. GF(2)–Beschreibungsformen eines Digitalen Filters. Anwendung der D –Transformation auf Rate–1/ n –Faltungscoder. Übertragungsfunktionsmatrix – Transfer Function Matrix. Systematische Faltungscodes. Filterstruktur bei gebrochen–rationaler Übertragungsfunktion. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Codebeschreibung mit Zustands– und Trellisdiagramm

Zustandsdefinition für ein Speicherregister. Darstellung im Zustandsübergangsdiagramm. Darstellung im Trellisdiagramm. Definition der freien Distanz. Terminierte Faltungscodes. Punktierte Faltungscodes. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

3.4 Decodierung von Faltungscodes

Blockschaltbild und Voraussetzungen. Vorbemerkungen zu den nachfolgenden Decodierbeispielen. Decodierbeispiel für den fehlerfreien Fall. Decodierbeispiele für den fehlerbehafteten Fall. Zusammenhang zwischen Hamming–Distanz und Korrelation. Viterbi–Algorithmus, basierend auf Korrelation und Metriken. Viterbi–Entscheidung bei nicht–terminierten Faltungscodes. Weitere Decodierverfahren für Faltungscodes. Aufgaben zu Kapitel 3.4.

3.5 Distanzeigenschaften und Fehlerwahrscheinlichkeitsschranken

Freie Distanz vs. Minimale Distanz. Pfadgewichtsfunktion. Erweiterte Pfadgewichtsfunktion. Pfadgewichtsfunktion aus Zustandsübergangsdiagramm. Burstfehlerwahrscheinlichkeit und Bhattacharyya–Schranke. Bitfehlerwahrscheinlichkeit und Viterbi–Schranke. Aufgaben zu Kapitel 3.5.

4 Iterative Codiervverfahren

4.1 Soft–in Soft–out Decoder

Hard Decision vs. Soft Decision. Zuverlässigkeitsinformation – Log Likelihood Ratio. Symbolweise Soft–in Soft–out Decodierung. Zur Berechnung der extrinsischen L –Werte. BCJR–Decodierung: Vorwärts–Rückwärts–Algorithmus. Grundstruktur von verketteten Codiersystemen. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 Grundlegendes zu den Produktcodes

Grundstruktur eines Produktcodes. Iterative Syndromdecodierung von Produktcodes. Leistungsfähigkeit der Produktcodes. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Grundlegendes zu den Turbocodes

Grundstruktur eines Turbocodes. Erste Voraussetzung für Turbocodes: Rekursive Komponentencodes. Zweite Voraussetzung: Interleaving. Symbolweise iterative Decodierung eines Turbocodes. Leistungsfähigkeit der Turbocodes. Seriell verkettete Turbocodes – SCCC. Einige Anwendungsgebiete für Turbocodes. Aufgaben zu Kapitel 4.3.

4.4 Grundlegendes zu den Low–density Parity–check Codes

Einige Charakteristika der LDPC–Codes. Zweiteilige LDPC–Graphenrepräsentation – Tanner–Graph. Iterative Decodierung von LDPC–Codes. Leistungsfähigkeit der LDPC–Codes. Einige Anwendungsgebiete für LDPC–Codes. Aufgaben zu Kapitel 4.4.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Einführung in die Kanalcodierung“:

| | |
|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| A1.1: Zur Kennzeichnung aller Bücher | ----- |
| A1.2: Einfacher binärer Kanalcode | Z1.2: 3D-Darstellung von Codes |
| A1.3: BSC–BEC–BSEC–AWGN | ----- |
| A1.4: Maximum–Likelihood–Entscheidung | ----- |
| A1.5: SPC (5, 4) und BEC–Modell | Z1.5: SPC (5, 4) vs. RC (5, 1) |
| A1.6: Zum (7, 4)–Hamming–Code | ----- |
| A1.7: H und G des (7, 4)–Hamming–Codes | Z1.7: Klassifizierung von Blockcodes |
| A1.8: Identische Codes | Z1.8: Äquivalente Codes |
| A1.9: Erweiterter Hamming–Code | Z1.9: Erweiterung – Punktierung |
| A1.10: Verschiedene Generatormatrizen | ----- |
| A1.11: Syndromdecodierung | Z1.11: Nochmals Syndromdecodierung |
| A1.12: Hard / Soft Decision | Z1.12: Vergleich (7, 4, 3) und (8, 4, 4) |
| A1.13: BEC–Decodierung | Z1.13: Nochmals BEC–Decodierung |
| A1.14: Bhattacharyya–Schranke für BEC | ----- |
| A1.15: Distanzspektren | ----- |
| A1.16: Schranken für AWGN | Z1.16: Schranken für $Q(x)$ |
| A1.17: Coderate vs. E_B/N_0 | Z1.17: BPSK–Kanalkapazität |
| | |
| A2.1: Gruppe, Ring, Körper | Z2.1: Welche Tabellen beschreiben Gruppen? |
| A2.2: Eigenschaften von Galoisfeldern | Z2.2: Galoisfeld $GF(5)$ |
| A2.3: Reduzible und irreduzible Polynome | Z2.3: Polynomdivision |
| A2.4: $GF(2^2)$ –Darstellungsformen | Z2.4: Endliche und unendliche Körper |
| A2.5: Drei Varianten von $GF(2^4)$ | Z2.5: Einige Berechnungen über $GF(2^3)$ |
| A2.6: $GF(P^m)$. Welches P , welches m ? | ----- |
| A2.7: Reed–Solomon–Code (7, 3, 5) ₈ | Z2.7: Reed–Solomon–Code (15, 5, 11) ₁₆ |
| A2.8: RSC–Generatorpolynome | Z2.8: „Plus“ und „Mal“ in $GF(2^3)$ |
| A2.9: RSC–Parameter | ----- |
| A2.10: Fehlererkennung bei RSC | Z2.10: Coderate und minimale Distanz |
| A2.11: RS–Decodierung nach „Erasures“ | Z2.11: Erasure–Kanal für Symbole |
| A2.12: Decodierung beim RSC (7, 4, 4) ₈ | Z2.12: Reed–Solomon–Syndromberechnung |
| A2.13: Nun (7, 3, 5) ₈ –Decodierung | ----- |
| A2.14: Petersen–Algorithmus (RS–Decoder) | ----- |
| A2.15: $\Pr(\underline{v} \neq \underline{u})$ versus E_B/N_0 | Z2.15: Nochmals $\Pr(\underline{v} \neq \underline{u})$ für BDD |
| A2.16: BDD–Entscheidungskriterien | ----- |
| | |
| A3.1: Analyse eines Faltungscoders | Z3.1: Faltungscodes der Rate 1/2 |
| A3.2: G –Matrix eines Faltungscoders | Z3.2: (3, 1, 3) – Faltungscodierer |
| A3.3: \underline{x} über $U(D)$ und $G(D)$ | Z3.3: Faltung und D –Transformation |
| A3.4: Systematische Faltungscodes | Z3.4: Äquivalente Faltungscodes? |
| A3.5: Rekursive Filter für $GF(2)$ | ----- |
| A3.6: Zustandsübergangdiagramm | Z3.6: Übergangdiagramm für $m = 3$ |
| A3.7: Vergleich zweier Faltungscoder | Z3.7: Welcher Code ist katastrophal? |
| A3.8: RCPC–Codes | ----- |
| A3.9: Viterbi–Algorithmus: Grundlegendes | Z3.9: Nochmals Viterbi–Algorithmus |
| A3.10: Fehlergrößenberechnung | Z3.10: ML–Decodierung von Faltungscodes |
| A3.11: Viterbi–Pfadsuche | ----- |
| A3.12: Pfadgewichtsfunktion | Z3.12 Ring und Rückkopplung |
| A3.13: Nochmals $T_{\text{enh}}(X, U)$ und $T(X)$ | ----- |
| A3.14: Faltungscodes: Schranken | ----- |
| | |
| A4.1: Zum „Log Likelihood Ratio“ | Z4.1: L –Werte des BEC–Modells |
| A4.2: Kanal–LLR bei AWGN | ----- |
| A4.3: Iterative Decodierung beim BSC | Z4.3: Umrechnung von L –Wert und S –Wert |
| A4.4: Extrinsische L –Werte beim SPC | Z4.4: Ergänzung zur Aufgabe A4.4 |
| A4.5: Verschiedene $L_E(i)$ –Ansätze | Z4.5: Tangens Hyperbolicus und Inverse |
| A4.6: Produktcode–Generierung | Z4.6: Grundlagen der Produktcodes |
| A4.7: Produktcode–Decodierung | Z4.7: Syndromdecodierung – Prinzip |
| A4.8: Wiederholung zu Faltungscodes | Z4.8: Grundlegendes zum Interleaving |
| A4.9: Wiederholung zu den RSC–Codes | ----- |
| A4.10: UMTS/LTE–Turbocoder | ----- |
| A4.11: Analyse von Prüfmatrizen | Z4.11: Coderate aus der Prüfmatrix |
| A4.12: Regulärer/irregulärer Tanner–Graph | ----- |
| A4.13: Decodierung von LDPC–Codes | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Einführung in die Kanalcodierung“:

Ein Charakteristikum von *LNTwww* sind Lernvideos. Für das vorliegende Buch ist allerdings nur ein dreiteiliges Lernvideo mit einer Gesamtdauer von ca. 40 Minuten realisiert:

- Galoisfeld: Eigenschaften und Anwendungen (LV zu Kapitel 1, 2 und 4)

Wir verweisen hier auf einige Lernvideos aus Grundlagenbüchern, die für Sie vielleicht auch im Hinblick zur „Einführung in die Kanalcodierung“ von Interesse sein könnten:

- Analoge und digitale Signale (siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Rechnen mit komplexen Zahlen (siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Eigenschaften des Übertragungskanal (siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Mengentheoretische Begriffe und Gesetzmäßigkeiten (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Statistische Abhängigkeit und Unabhängigkeit (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Das Bernoullische Gesetz der großen Zahlen (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Momente von diskreten Zufallsgrößen (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Wahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Zusammenhang WDF – VTF (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Gaußsche Zufallsgrößen ohne statistische Bindungen (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Gaußsche Zufallsgrößen mit statistischen Bindungen (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 1 (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 2 (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Der AWGN-Kanal – Teil 3 (siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule/Demos** im Buch „Einführung in die Kanalcodierung“:

- Diskrete Fouriertransformation (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 1.1 und Kapitel 2.6, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Symbolfehlerwahrscheinlichkeit von Digitalssystemen (IM zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- WDF, VTF und Momente (zu Kapitel 1.2 und 2.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten der Binomialverteilung (zu Kapitel 1.3 und 2.6, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Gram–Schmidt–Verfahren (zu Kapitel 1.4, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- Mehrstufiges PSK und Union Bound (zu Kapitel 1.6, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- Digitales Filter (zu Kapitel 3.1, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (zu Kapitel 3.2, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Korrelationskoeffizient und Regressionsgerade (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Viterbi-Empfänger (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- M-PSK und Union Bound (zu Kapitel 3.5, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)

Inhaltsverzeichnis des Buches „Beispiele von Nachrichtensystemen“ (Buch 9)

Das (inhaltlich) letzte Buch unseres Tutorials mit Beispielen realisierter Nachrichtensystemen entstand zwischen 2002 und 2010. Die letzte Überarbeitung erfolgte im Mai 2016. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „3V + 1Ü“.

Zunächst ein Überblick:

| Kapitel | Theorie | Grafiken | Lernvideos | IA-Module | Aufgaben | Teilaufgaben |
|---------------|------------|------------|----------------|-----------------|----------------------|--------------|
| 1 | 37 | 45 | 0 + (3) | 0 + (5) | 7A + 2Z = 9 | 44 |
| 2 | 48 | 56 | 0 + (2) | 2 + (5) | 6A + 4Z = 10 | 51 |
| 3 | 51 | 48 | 0 | 1 + (2) | 8A + 2Z = 10 | 58 |
| 4 | 54 | 63 | 0 + (2) | 0 + (7) | 8A + 1Z = 9 | 41 |
| Gesamt | 190 | 212 | 0 + (5) | 3 + (15) | 29A + 9Z = 38 | 191 |

Die **PDF-Version** zum Buch (insgesamt: 320 Seiten) finden Sie auf der Startseite unter DOWNLOADS, unterteilt nach Vorbemerkungen (4 Seiten), Theorie (190 Seiten), Aufgaben (81 Seiten) und Musterlösungen (45 Seiten).

Nachfolgend finden Sie das **gesamte Inhaltsverzeichnis** dieses Buches:

1 ISDN – Integrated Services Digital Network

1.1 Allgemeine Beschreibung

Ziele und Merkmale von ISDN. Dienste und Dienstmerkmale von ISDN. Netzinfrastruktur für das ISDN. Vierdraht- und Zweidrahtübertragung. Einige Grundlagen von PCM. Entstehung und historische Entwicklung. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 ISDN-Basisanschluss

Einige Begriffserklärungen. Logische Kanäle. Endeinrichtungen für ISDN. Allgemeine Beschreibung der S_0 -Schnittstelle. Nachrichtentechnische Aspekte der S_0 -Schnittstelle. Rahmenstruktur der S_0 -Schnittstelle. Allgemeine Beschreibung der U_{K0} -Schnittstelle. Nachrichtentechnische Aspekte der U_{K0} -Schnittstelle. Rahmenstruktur der U_{K0} -Schnittstelle. Netzabschluss (NTBA). Richtungstrennungsverfahren. Hierarchie von Vermittlungsstellen. Aufgaben zu Kapitel 1.2.

1.3 ISDN-Primärmultiplexanschluss

Allgemeine Beschreibung. Rahmenstruktur von S_{2M} - und U_{K2} -Schnittstelle. Rahmensynchronisation. Nachrichtentechnische Aspekte. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

1.4 Weiterentwicklungen von ISDN

Breitband-ISDN. Glasfasertechnologie. U_{G2} -Schnittstelle. ATM-Technik. Aufgaben zu Kapitel 1.4.

2 DSL – Digital Subscriber Line

2.1 Allgemeine Beschreibung

Motivation für xDSL. xDSL-Arten und -Begriffe. Historische Entwicklung von xDSL – Standardisierungen. Europäische ADSL- und VDSL-Entwicklung. Die rasante Entwicklung der DSL-Anschlüsse. DSL-Verbreitung um das Jahr 2008. DSL-Entwicklung und Zielvorgaben für Deutschland. Aufgabe zu Kapitel 2.1.

2.2 xDSL-Systeme

Referenzmodelle. Übersicht und Gemeinsamkeiten aller xDSL-Systeme. ADSL – Asymmetric Digital Subscriber Line. ADSL2 und ADSL2+. VDSL – Very-high-speed Digital Subscriber Line. DSL-Internetzugang aus Sicht der Kommunikationsprotokolle. Komponenten eines DSL-Internetzugangs. Aufgaben zu Kapitel 2.2.

2.3 xDSL als Übertragungstechnik

Mögliche Bandbreitenbelegungen für xDSL. ADSL-Bandbreitenbelegung in Deutschland. VDSL2-Bandbreitenbelegung. Übertragungsverfahren im Überblick. Grundlagen der Quadraturamplitudenmodulation. Mögliche QAM-Signalraumkonstellationen. Carrierless Amplitude Phase Modulation (CAP). Grundlagen von DMT – Discrete Multitone Transmission. DMT-Realisierung mit IDFT/DFT. Aufgaben zu Kapitel 2.3.

2.4 Verfahren zur Senkung der Bitfehlerrate bei DSL

Übertragungseigenschaften von Kupferkabeln. Störungen bei der Übertragung. SNR, Reichweite und Übertragungsrate. DSL-Fehlerkorrekturmaßnahmen im Überblick. Cyclic Redundancy Check. Scrambler und De-Scrambler. Vorwärtsfehlerkorrektur. Interleaving und De-Interleaving. Gain Scaling und Tone Ordering. Einfügen von Guard-Intervall und zyklischem Präfix. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

3 GSM – Global System for Mobile Communications

3.1 Allgemeine Beschreibung

Entstehung und Historie von GSM. Zellularstruktur von GSM. GSM-Systemarchitektur und -Netzkomponenten. Base Station Subsystem – BSS. Switching and Management Subsystem (SMSS). Dienste des GSM. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Funkschnittstelle

Logische Kanäle des GSM. Uplink- und Downlink-Parameter. Realisierung von FDMA und TDMA. Die verschiedenen Arten von Bursts. GSM-Rahmenstruktur. Modulation bei GSM-Systemen. Kontinuierliche Phasenanpassung bei FSK. Minimum Shift Keying (MSK). Gaussian Minimum Shift Keying (GMSK). Vor- und Nachteile von GMSK. Radio Subsystem Link Control. Aufgaben zu Kapitel 3.2.

3.3 Sprachcodierung

Verschiedene Sprachcodierverfahren. GSM Fullrate Vocoder – Vollraten-Codec. Linear Predictive Coding – Kurzzeitprädiktion. Long Term Prediction – Langzeitprädiktion. Regular Pulse Excitation – RPE-Codierung. Halfrate Vocoder und Enhanced Full-rate Codec. Adaptive Multi-Rate Codec. Algebraic Code Excited Linear Prediction (ACELP). Aufgaben zu Kapitel 3.3.

3.4 Gesamtes GSM-Übertragungssystem

Komponenten der Sprach- und Datenübertragung. Codierung bei Sprachsignalen. Interleaving bei Sprachsignalen. Codierung und Interleaving bei Datensignalen. Empfängerseite – Decodierung. Aufgaben zu Kapitel 3.4.

3.5 Weiterentwicklungen des GSM

Die verschiedenen Generationen des GSM. High Speed Circuit-Switched Data (HSCSD). General Packet Radio Services (GPRS). GPRS-Luftschnittstelle. GPRS-Kanalcodierung. Enhanced Data Rates for GSM Evolution. Aufgaben zu Kapitel 3.5.

4 UMTS – Universal Mobile Telecommunications System

4.1 Allgemeine Beschreibung

Anforderungen an Mobilfunksysteme der dritten Generation. Der IMT-2000-Standard. Historische Entwicklung von UMTS. Frequenzspektren für UMTS. Vollduplexverfahren. Eigenschaften des UMTS-Funkkanals. Frequenz- und zeitselektives Fading. UMTS-Dienste. Sicherheitsaspekte. Aufgaben zu Kapitel 4.1.

4.2 UMTS-Netzarchitektur

Basiseinheiten der Systemarchitektur. Domänen und Schnittstellen. Architektur der Zugangsebene. Physikalische Kanäle. Logische Kanäle. Transportkanäle. Kommunikation innerhalb des ISO/OSI-Schichtenmodells. Zellulare Architektur von UMTS. Handover in UMTS. IP-basierte Netze. Aufgaben zu Kapitel 4.2.

4.3 Nachrichtentechnische Aspekte von UMTS

Sprachcodierung. Anwendung des CDMA-Verfahrens in UMTS. Spreizcodes und Verwürfelung in UMTS. Kanalcodierung. Pulsformung und Modulation in UMTS. CDMA-Empfänger. Near-Far-Effekt. Träger-zu-Interferenz-Leistungsverhältnis. Leistung und Leistungsregelung in UMTS. Link-Budget. UMTS-Funkressourcenverwaltung. Aufgaben zu Kapitel 4. 3.

4.4 Weiterentwicklungen von UMTS

Überblick. High-Speed Downlink Packet Access. Zusätzliche Kanäle in HSDPA. HARQ-Verfahren und Node B-Scheduling. Adaptive Modulation, Codierung und Übertragungsrate. High-Speed Uplink Packet Access. UTRAN Long Time Evolution. Aufgaben zu Kapitel 4.4.

Liste aller **Aufgaben** im Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

| | |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| A1.1: ISDN-Versorgungsleitungen | ----- |
| A1.2: ISDN und PCM | ----- |
| A1.3: S0-Rahmenstruktur | Z1.3: S0- und UK0-Schnittstelle |
| A1.4: AMI- und MMS43-Code | Z1.4: Modifizierter MMS43-Code |
| A1.5: HD43-Codierung | ----- |
| A1.6: Cyclic Redundancy Check (CRC4) | ----- |
| A1.7: Codierung bei B-ISDN | ----- |
| A2.1: Grundsätzliches zu xDSL | ----- |
| A2.2: xDSL-Varianten | Z2.2: xDSL-Internetanschluss |
| A2.3: QAM-Signalraumbelegung | Z2.3: xDSL-Frequenzband |
| A2.4: DSL/DMT mit IDFT/DFT | Z2.4: Wiederholung zur IDFT |
| A2.5: DSL-Fehlersicherungsmaßnahmen | Z2.5: ADSL-Reichweite vs. -Bitrate |
| A2.6: Zyklisches Präfix | ----- |
| A3.1: GSM-Netzkomponenten | ----- |
| A3.2: GSM-Dienste | ----- |
| A3.3: GSM-Rahmenstruktur | Z3.3: GSM 900 und GSM 1800 |
| A3.4: GMSK-Modulation | Z3.4: Continuous Phase FSK |
| A3.5: GSM-Vollraten-Sprachcodec | ----- |
| A3.6: Adaptive Multi-Rate Codec | ----- |
| A3.7: Komponenten des GSM-Systems | ----- |
| A3.8: General Packet Radio Service | ----- |
| A4.1: UMTS-Duplexverfahren | ----- |
| A4.2: UMTS-Funkkanal | ----- |
| A4.3: UMTS-Zugangsebene | ----- |
| A4.4: Zellulare UMTS-Architektur | ----- |
| A4.5: PN-Modulation | Z4.5: Zur Bandspreizung bei UMTS |
| A4.6: OVSF-Codes | ----- |
| A4.7: RAKE-Empfänger | ----- |
| A4.8: HSDPA und HSUPA | ----- |

Liste aller **fertig gestellten Lernvideos** im Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

- Analoge und digitale Signale (Grundlagen – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Eigenschaften und Beschreibungsgrößen des Übertragungskanal (Grundlagen – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Grundlagen der PCM (zu Kapitel 1.1 – siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- Eigenschaften von Tiefpass- und Bandpass-Signalen (zu Kapitel 2.3 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Fehlermöglichkeiten bei Anwendung der DFT (zu Kapitel 2.3 – siehe Buch „Signaldarstellung“)

Liste aller **fertig gestellten Interaktionsmodule/Demos** im Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

- Dämpfung von Kupferkabeln (zu Kapitel 1.1 und Kapitel 2.4, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Zeitverhalten von Kupferkabeln (zu Kapitel 1.1 und Kapitel 2.4, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Abtastung analoger Signale und Signalrekonstruktion (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Signale, AKF und LDS der Pseudoternär-codes (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Prinzip der 4B3T-Codierung (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- Diskrete Fouriertransformation (zu Kapitel 2.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Discrete Multitone Transmission (zu Kapitel 2.3, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- OFDM-Spektrum und –Signal (zu Kapitel 2.3, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- **Prinzip der Quadratur-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 2.3)**
- **Prinzip der DMT (zu Kapitel 2.3)**
- FSK und Continuous Phase Modulation (zu Kapitel 3.2, auch MSK und GMSK, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- QPSK und Offset-QPSK (zu Kapitel 3.2, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- **Qualität verschiedener Sprach-Codex (zu Kapitel 3.3 – !! Vorsicht > 11 MB !!)**
- Mehrwegeausbreitung und Frequenzselektivität (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Zur Verdeutlichung des Dopplereffekts (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Handover bei UMTS (zu Kapitel 4.2, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Walsh-Funktionen (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- OVSF-Codes (zu Kapitel 4.3, siehe Buch „Modulationsverfahren“)

Die hellgrau aufgelisteten Multimedia-Animationen deuten darauf hin, dass diese bereits in früheren Büchern genannt wurden. In der Aufstellung auf der letzten Seite sind diese in Klammern berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Hilfe“

1 Allgemeine Bemerkungen

Systemvoraussetzungen. Das didaktische Konzept von LNTwww. Derzeitige Einschränkungen. Aktuelle Hinweise für die Benutzer. Bekannte, aber noch nicht behobene Fehler

2 Bedienungsanleitung

Kurzvideo „Bedienung von LNTwww“. Bücherregalseite. Anmeldung – Registrierung. Persönliche Einstellungen. Downloads – Bereitstellung von Ausdrucken. Suchfunktion. Aufbau eines Buches. Überblicksseite. Aufbau einer LNTwww-Seite. Kurzvideos und Interaktionsmodule. Aufgaben und Aufgabensteuerung. Benutzung als Lehrbuch oder Tutorial.

3 Konzept und Inhalt von LNTwww

Ziel von LNTwww. Weitere Eigenschaften von LNTwww. Inhalt von LNTwww. Lernvideos und Interaktionsmodule. Übungsaufgaben.

4 Weitere Lehrsoftware am LNT

Simulationsmethoden in der Nachrichtentechnik. Simulation digitaler Übertragungssysteme.

Inhaltsverzeichnis des Buches „Biografien und Bibliografien“

1 Bibliografien

Mehr als 250 Literaturhinweise mit Fachbüchern, Veröffentlichungen, Vorlesungsmanuskripten und Internet-Dokumenten..

2 Biografien

Armstrong, Bardeen, Bayes, Bell, Bessel, Bernoulli, Boole, Brattain, Chintchine, Dirac, Doppler, Elliott, Euklid, Euler, de Forest, Fourier, Gauß, Gibbs, Gilbert, Hagenauer, Hertz, Hilbert, l’Hopital, Jakes, Kolmogoroff, Kötter, Kramer, Küpfmüller, Laplace, von Lieben, Marconi, Marko, Maxwell, Moivre, de Morgan, Nipkow, Nyquist, Pearson, Pierce, Pythagoras, Reeves, Reis, Shannon, Shockley, Tschebyscheff, Viterbi, Wiener.

3 Autoren

Abbes, Aksu, Bürgstein, Dorn, Eichin, El Haleq, Elsberger, Gencyilmaz, Göbel, Großer, Hanik, Happach, Hirner, Jürgens, Kallel, Kalweit, Kaupert, Kchouk, Kiefl, Kohl, Kretzinger, Kristl, Laible, Lamine, Li, Mattarollo, Mehlmann, Müller, Mummert, Pfeuffer, Schmidt, Seitz, Sixt, Söder, Soussi, Veitenhansl, Völkl, Winkler, Winter.