

Lerntutorial LNTwww - Inhaltsübersicht

Unter dem Link www.LNTwww.de finden Sie das Lerntutorial **LNTwww**, das am Lehrstuhl für Nachrichtentechnik der Technischen Universität München seit 2001 entwickelt wird und in seinem Endausbau alle Grundlagen der Nachrichten- und Informationstechnik in didaktisch und medial aufbereiteter Form über das Internet bereitstellen soll.

Alle wichtigen Informationen zu den Punkten Systemvoraussetzungen, Didaktisches Konzept, Derzeitige Einschränkungen, Bekannte Fehler, Aktuelle Hinweise, usw. sind auf der Startseite von **LNTwww** zu finden. Dazu gibt es noch ein Begrüßungs-Audio und ein Kurzvideo als Quasi-Bedienungsanleitung, beide sind aber nicht mehr ganz aktuell.

Derzeit (Herbst 2014) sind von den geplanten neun Lehrbüchern, die bei der Fertigstellung (nach jetziger Planung 2015) 36 Semesterwochenstunden (SWS) abdecken sollen, sieben Fachbücher (fast) fertig gestellt und die beiden anderen noch in Bearbeitung. Daneben beinhaltet **LNTwww** eine umfangreiche Bibliografie und eine Biografiesammlung.

Der Fertigstellungsgrad liegt derzeit bei etwa 95%. Neben ca. 1380 Theorieseiten mit Herleitungen, Gleichungen, Beispielen und ca. 1910 Grafiken sowie fast 600 Aufgaben mit Musterlösungen finden Sie auch 90 Multimedia-Anwendungen – 33 Lernvideos und 57 interaktive Berechnungsmodule.

Ende September 2014 ergibt sich der folgende Zwischenstand:

- **Signaldarstellung** (Fertigstellung 98%, 135 Theorieseiten, 203 Grafiken, 58 Aufgaben, 11 Lernvideos, 8 IA-Module),
- **LZI-Systeme** (Fertigstellung ca. 98%, 95 Theorieseiten, 147 Grafiken, 54 Aufgaben, 6 Lernvideos, 8 IA-Module),
- **Stochastische Signaltheorie** (95%, 160 Theorieseiten, 230 Grafiken, 93 Aufgaben, 16 Lernvideos, 10 IA-Module),
- **Einführung in die Informationstheorie** (ca. 75%, 98 Theorieseiten, 160 Grafiken, 54 Aufgaben, 3 LV, 8 IA),
- **Modulationsverfahren** (ca. 95%, 208 Theorieseiten, 287 Grafiken, 89 Aufgaben, 14 Lernvideos, 17 IA-Module),
- **Digitalisignalübertragung** (ca. 95%, 220 Theorieseiten, 299 Grafiken, 90 Aufgaben, 18 Lernvideos, 24 IA-Module),
- **Mobile Kommunikation** (ca. 90%, 118 Theorieseiten, 136 Grafiken, 41 Aufgaben, 4 Lernvideos, 17 IA-Module),
- **Einführung in die Kanalcodierung** (ca. 80%, 154 Theorieseiten, 241 Grafiken, 77 Aufgaben, 5 Lernvideo, 9 IA),
- **Beispiele von Nachrichtensystemen** (ca. 98%, 193 Theorieseiten, 212 Grafiken, 38 Aufgaben, 14 IA-Module).

Diese ergeben momentan mehr als 34 SWS an Vorlesung bzw. Übung einer virtuellen Lehrveranstaltung. Außerdem sind die Bücher **Hilfe** (eine Art Bedienungsanleitung) und **Bibliografien/Biografien** zu mehr als 95% fertig gestellt.

Nachfolgend sehen Sie unsere weiteren Planungen hinsichtlich „LNTwww“. Von den insgesamt 40 Einzelkapiteln sind bisher 38 zumindest zu großen Teilen ($\geq 90\%$) bearbeitet. Die Graustufen in der Tabelle bedeuten:

- **Buch ist aus unserer Sicht im Endzustand:** Außer: Uns werden offensichtliche Fehler gemeldet.
- **Kapitel ist quasi fertig gestellt:** Wir geben keinen höheren Fertigstellungsgrad als 98% an, da nach unserer Auffassung weder Softwareprodukte noch Lehrmaterialien jemals als „endgültig fertig“ bezeichnet werden können.
- **Kapitel ist weitgehend fertig gestellt:** Der Fertigstellungsgrad beträgt mindestens 80%. Es fehlen noch einige multimediale Elemente, die baldmöglichst integriert werden sollen.
- Kapitel soll 2015/2015 fertig gestellt werden.

Buch	Soll	Ist	Kap. 1	Kap. 2	Kap. 3	Kap. 4	Kap. 5
Signaldarstellung	3V + 2Ü	3.0 V + 2.0 Ü	98%	98%	98%	98%	98%
Lineare zeitinvariante Systeme	2V + 1Ü	2.0 V + 1.0 Ü	98%	98%	98%	98%	---
Stochastische Signaltheorie	3V + 2Ü	2.9 V + 2.0 Ü	98%	98%	98%	95%	95%
Einführung in die Informationstheorie	2V + 1Ü	1.5 V + 0.8Ü	98%	98%	98%	0%	---
Modulationsverfahren	3V + 2Ü	2.9 V + 2.0 Ü	98%	95%	98%	95%	95%
Digitalisignalübertragung	3V + 2Ü	2.9 V + 2.0 Ü	95%	95%	95%	98%	98%
Mobile Kommunikation	2V + 1Ü	2.0 V + 0.8 Ü	98%	98%	98%	90%	---
Einführung in die Kanalcodierung	2V + 1Ü	1.6 V + 0.8 Ü	98%	98%	98%	0%	---
Beispiele von Nachrichtensystemen	3V + 1Ü	3.0 V + 1.0 Ü	98%	98%	98%	98%	---

Derzeit (Ende Dezember 2014) ergibt sich folgender **Zwischenstand:**

Bisher: $21.8 V + 12.4 Ü = 34.2 SWS$

Gesamt: $23.0 V + 13.0 Ü = 36.0 SWS$

Prozentual: $34.2/36 = 95.0 \%$

Nachfolgend sehen Sie die Entwicklung der **Besucher unseres Online-Angebots** seit der Bereitstellung der Version 2:

	Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez	Gesamt
2004						167	139	67	135	76	164	125	916
2005	207	129	217	246	169	229	103	77	84	170	238	174	2043
2006	364	365	240	168	223	136	308	179	166	317	449	256	3171
2007	286	367	325	315	400	299	408	205	470	308	436	313	4133
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		

Inhaltsverzeichnis des Buches „Signaldarstellung“ (Buch 1)

Dieses erste Grundlagenbuch des Lerntutorials „LNTwww“ wurde im Frühjahr 2002 begonnen und Ende 2007 quasi-fertig gestellt. Letzte Überarbeitung im Februar 2014.

Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „3V + 2Ü“. 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	34	51	2	3	$9A + 9Z = 18$	63
4	25	47	1	2	$6A + 6Z = 12$	53
5	34	46	1	2	$5A + 5Z = 10$	50
Gesamt	135	203	11	8	$29A + 29Z = 58$	245

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. Integrationssatz. 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 Zeitdiskrete 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 **eventuell noch geplanten Lernvideos** für das 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)

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Signaldarstellung“:

[Vorbemerkungen](#) [Anhang](#)

[Theorie - Kapitel 1](#) [Aufgaben - Kapitel 1](#) [Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Theorie - Kapitel 2](#) [Aufgaben - Kapitel 2](#) [Musterlösungen – Kapitel 2](#)

[Theorie - Kapitel 3](#) [Aufgaben - Kapitel 3](#) [Musterlösungen – Kapitel 3](#)

[Theorie - Kapitel 4](#) [Aufgaben - Kapitel 4](#) [Musterlösungen – Kapitel 4](#)

[Theorie - Kapitel 5](#) [Aufgaben - Kapitel 5](#) [Musterlösungen – Kapitel 5](#)

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

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

Zugangnetz 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: Zweivegekanal	Z2.6: Synchrondemodulator
A2.7: Nochmals Zweivegekanal	-----
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	Z3.6: 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.

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Lineare zeitinvariante Systeme“:

Vorbemerkungen	Theorie - Kapitel 1	Aufgaben - Kapitel 1	Musterlösungen – Kapitel 1
	Theorie - Kapitel 2	Aufgaben - Kapitel 2	Musterlösungen – Kapitel 2
	Theorie - Kapitel 3	Aufgaben - Kapitel 3	Musterlösungen – Kapitel 3
	Theorie - Kapitel 4	Aufgaben - Kapitel 4	Musterlösungen – Kapitel 4

Inhaltsverzeichnis des Buches „Stochastische Signaltheorie“ (Buch 3)

Dieses Grundlagenbuch des Lerntutorials „LNTwww“ wurde im Frühjahr 2002 begonnen und im Frühjahr 2008 quasi fertig gestellt. Der Umfang 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	22	22	3	3	7A + 5Z = 12	57
3	33	48	4	2	12A + 9Z = 21	119
4	53	87	5	2	16A + 14Z = 30	147
5	26	38	0	2	9A + 7Z = 16	75
Gesamt	160	230	16	10	51A + 42Z = 93	465

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'sches 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. Zusammenstellung günstiger Generatorpolynome. 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. Stationarität. Ergodizität. Allgemeingültige Beschreibung von Zufallsprozessen. Allgemeine Definition der AKF. AKF bei ergodischen Prozessen. Eigenschaften der AKF. Interpretation der AKF. Numerische Ermittlung der AKF. 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 Ermittlung des LDS. Genauigkeit der numerischen LDS-Berechnung. Aufgaben zu Kapitel 4.5.

4.6 Kreuzkorrelationsfunktion und Kreuzleistungsdichte

Definition der Kreuzkorrelationsfunktion. Eigenschaften der Kreuzkorrelationsfunktion. Anwendung 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. 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 Blockschaltbild. 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-Kolmogoroff-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: Ausfallwahrscheinlichkeiten
A1.6: Übergangswahrscheinlichkeiten	Z1.6: Ergodische Wahrscheinlichkeiten
A1.7: Ternäre Markovkette	Z1.7: BARBARA-Generator
A2.1: Wahlnachfrage	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: Zyklorgodizität	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 „Mädchen“ (Musterlösung zu A1.1(f) – Dateigröße 0.5 MB; Dauer 1:40)
- Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (zu Kapitel 1.1 – Dateigröße 2.64 MB; Dauer 5:19)
- Mengentheoretische Begriffe und Gesetzmäßigkeiten (zu Kapitel 1.2 – 2-teilig: 2.1 MB; 6:10 – 2.2 MB; Dauer 6:10)
- Statistische (Un-)Abhängigkeit (zu Kapitel 1.3 – 3-teilig: 1.5 MB; 4:20 – zweimal 1.4 MB; Dauer 3:40)
- Das Bernoullische Gesetz der großen Zahlen (zu Kapitel 2.1 – Dateigröße 1.97 MB; Dauer 4:25)
- Momente von diskreten Zufallsgrößen (zu Kapitel 2.2 – Dateigröße 2.27 MB; Dauer 6:30)
- Erläuterung der PN-Generatoren (zu Kapitel 2.5 – Dateigröße 1.0 MB; Dauer 5:10)
- Wahrscheinlichkeit und Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion (zu Kapitel 3.1 – 2-teilig: 2.1 MB; 5:30 – 3.1 MB; Dauer 6:35)
- Zusammenhang zwischen WDF und VTF (zu Kapitel 3.2 – 2-teilig: 2.4 MB; 6:40 – 1.9 MB; Dauer 3:20)
- Prinzip der Additionsmethode (zu Kapitel 3.5 – Dateigröße 0.7 MB; Dauer 3:45)
- Erzeugung einer Exponentialverteilung (zu Kapitel 3.6 – Dateigröße 0.4 MB; Dauer 2:00)
- Gaußsche Zufallsgrößen ohne statistische Bindungen (zu Kapitel 4.1 – Dateigröße 1.0 MB; Dauer 2:35)
- Gaußsche Zufallsgrößen mit statistischen Bindungen (zu Kapitel 4.2 – Dateigröße 1.3 MB; Dauer 3:15)
- Der AWGN-Kanal – Teil 1 (zu Kapitel 4.5 – Dateigröße 2.0 MB; Dauer 6:00)
- Der AWGN-Kanal – Teil 2 (zu Kapitel 4.5 – Dateigröße 1.92 MB; Dauer 5:15)
- Der AWGN-Kanal – Teil 3 (zu Kapitel 4.5 – 4.49 MB; Dauer 6:15)

Liste **der noch geplanten Lernvideos** für das Buch „Stochastische Signaltheorie“:

- 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 – Größe 21 kB)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten der Binomialverteilung (zu Kapitel 2.3 – Größe 22 kB)
- Ereigniswahrscheinlichkeiten der Poissonverteilung (zu Kapitel 2.4 – Größe 22 kB)
- Gegenüberstellung Binomialverteilung – Poissonverteilung (zu Kapitel 2.4 – Größe 22 kB)
- WDF, VTF und Momente spezieller Verteilungen (zu Kapitel 3.4 ... 3.7 – Größe 216 kB)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 3.5 – Größe 235 kB)
- Korrelationskoeffizient und Regressionsgerade (zu Kapitel 4.1 – Größe 217 kB)
- WDF und VTF bei Gaußschen 2D-Zufallsgrößen (zu Kapitel 4.2 – Größe 24 kB)
- Digitales Filter (zu Kapitel 5.2 – Größe 163 kB)
- Zur Verdeutlichung des Matched-Filters (zu Kapitel 5.4 – Größe 391 kB)

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.

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Stochastische Signaltheorie“:

[Vorbemerkungen](#) [Anhang](#)

[Theorie - Kapitel 1](#) [Aufgaben - Kapitel 1](#) [Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Theorie - Kapitel 2](#) [Aufgaben - Kapitel 2](#) [Musterlösungen – Kapitel 2](#)

[Theorie - Kapitel 3](#) [Aufgaben - Kapitel 3](#) [Musterlösungen – Kapitel 3](#)

[Theorie - Kapitel 4](#) [Aufgaben - Kapitel 4](#) [Musterlösungen – Kapitel 4](#)

[Theorie - Kapitel 5](#) [Aufgaben - Kapitel 5](#) [Musterlösungen – Kapitel 5](#)

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

Dieses Grundlagenbuch wurde im Frühjahr 2011 begonnen und soll bis zum Sommer 2015 fertig gestellt werden. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

Kapitel	Theorie	Grafiken	Lernvideos	IA-Module	Aufgaben	Teilaufgaben
1	27	32	0 + (1)	1 + (2)	8A + 4Z = 12	66
2	39	67	0	1 + (2)	14A + 7Z = 21	103
3	32	61	0	1 + (0)	14A + 7Z = 21	106
4						
Gesamt	98	160	0 + (1)	3 + (4)	36A + 18Z = 54	275

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 Küpfmüller. Einige eigene Simulationsergebnisse. Synthetisch erzeugte Texte. Aufgaben zu Kapitel 1.3.

2 Quellencodierung – Datenkomprimierung

2.1 Allgemeine Beschreibung

Aufgaben von Quellen-, Kanal- und Leitungscodierung. Verlustbehaftete Quellencodierung. MPEG-2 Audiolayer III \Rightarrow 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–Welch–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–Algorithmen. 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 $\text{supp}(PXY)$. 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

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_1, H_2, \dots	Z1.4: Entropie der AMI-Codierung
A1.5: Binäre Markovquelle	Z1.5: Symmetrische Markovquelle
A1.6: Nichtbinäre Markovquellen	Z1.6: Ternäre Markovquelle
A1.7: Ternäre Markovkette	-----
A1.8: Zur Entropie natürlicher Texte	-----
A2.1: Verlustlose/verlustbehaftete Codierung	-----
A2.2: Kraftsche Ungleichung	Z2.2: Mittlere Codewortlänge
A2.3: Zur LZ78-Komprimierung	Z2.3: Zur LZ77-Komprimierung
A2.4: LZW-Algorithmus	Z2.4: LZW-Codierung und -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: Quellencodierung mit 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	-----

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

- Statistische (Un-)Abhängigkeit (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)

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

- Entropien von Nachrichtenquellen (zu Kapitel 1.1 – Größe 1.4 MB)
- 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“)
- Huffman- und Shannon-Fano-Code (zu Kapitel 2.2 – Größe 827 kB)
- Transinformation (zu Kapitel 3 – Größe 1.25 MB)

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.

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Einführung in die Informationstheorie“:

[Vorbemerkungen](#)

[Theorie - Kapitel 1](#)

[Aufgaben - Kapitel 1](#)

[Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Theorie - Kapitel 2](#)

[Aufgaben - Kapitel 2](#)

[Musterlösungen – Kapitel 2](#)

Inhaltsverzeichnis des Buches „Modulationsverfahren“ (Buch 5)

Das Buch wurde im Sommer 2005 begonnen und 2010 abgeschlossen. Der Umfang entspricht einer Lehrveranstaltung mit „3V + 2Ü“. Da noch Lernvideos fehlen, wird der Fertigstellungsgrad mit 95% angegeben. Zunächst ein Überblick:

Kapitel	Theorie	Grafiken	Lernvideos	IA-Module	Aufgaben	Teilaufgaben
1	23	28	0 + (10)	0 + (4)	4A + 4Z = 8	41
2	47	71	2 + (8)	1 + (4)	12A + 10Z = 22	118
3	26	40	2 + (5)	1 + (4)	10A + 6Z = 16	86
4	52	79	0	2 + (3)	15A + 10Z = 25	124
5	60	70	0 + (1)	4 + (2)	10A + 8Z = 18	93
Gesamt	208	287	3 + (11)	8 + (9)	51A + 38Z = 89	461

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 symmetrischer Kanalverzerrungen. Berücksichtigung unsymmetrischer Kanalverzerrungen. 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. Betrachtungen zum äquivalenten TP-Signal. Spektralfunktion eines phasenmodulierten Sinussignals. PM der Summe zweier Sinusschwingungen. Aufgaben zu Kapitel 3.1.

3.2 Frequenzmodulation

Augenblicksfrequenz. Signalverläufe bei Frequenzmodulation. Frequenzmodulation eines cosinusförmigen Quellensignals. 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 hinsichtlich des Rauschens. Pre-emphase und De-emphase. Aufgaben zu Kapitel 3.3.

4 Digitale Modulationsverfahren

4.1 Pulsmodulation

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 Phasen Anpassung. 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 und Hüllkurven-Demodulator
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 und Hüllkurvendemodulation
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: Natürliche und diskrete Abtastung	-----
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-Konfiguration	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: Auswahl der OFDM-Parameter	-----
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: 2.6 MB; 5:50 – 2.0 MB; Dauer 7:40)
- Rauschen bei AM und WM (zu Kapitel 2.3 und 3.3, 2-teilig: 4.0 MB; 8:32 – 10.5 MB; Dauer 7:05)
- Winkelmodulation (zu Kapitel 3.1 und 3.2, 2-teilig: 3.2MB; 6:04 – 10.6MB; Dauer 8:56)
- Zur Verdeutlichung der PN-Generatoren (zu Kapitel 5.3, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)

Liste der noch **geplanten Lernvideos** für das Buch „Modulationsverfahren“:

- Hüllkurvendemodulation (zu Kapitel 2.3)
- Einseitenband-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 2.4)
- Pulscodemodulation (zu Kapitel 4.1)
- Digitale Modulationsverfahren (zu Kapitel 4.2)
- Mehrfachzugriffsverfahren – FDMA, TDMA, CDMA (zu Kapitel 5.1)

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 – Größe 129 kB)
- Besselfunktion erster Art und n -ter Ordnung (zu Kapitel 3.1 – Größe 25 kB)
- 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 – Größe 449 kB)
- Frequency Shift Keying & Continuous Phase Modulation (zu Kapitel 4.4 – Größe 88 kB)
- Zur Erzeugung von Walsh-Funktionen (zu Kapitel 5.3 – Größe 28 kB)
- OVSF-Codes (zu Kapitel 5.3 – Größe 64 kB)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktion (zu Kapitel 5.4, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- OFDM-Spektrum und –Signale (zu Kapitel 5.5 – Größe 1.3 MB)
- Diskrete Fouriertransformation (zu Kapitel 5.6, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- DMT – Discrete Multitone Transmission (zu Kapitel 5.8 – Größe 288 kB)

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.

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Modulationsverfahren“:

[Vorbemerkungen](#)

[Anhang](#)

[Theorie – Kapitel 1](#)

[Aufgaben – Kapitel 1](#)

[Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Theorie – Kapitel 2](#)

[Aufgaben – Kapitel 2](#)

[Musterlösungen – Kapitel 2](#)

[Theorie – Kapitel 3](#)

[Aufgaben – Kapitel 3](#)

[Musterlösungen – Kapitel 3](#)

[Theorie – Kapitel 4](#)

[Aufgaben – Kapitel 4](#)

[Musterlösungen – Kapitel 4](#)

[Theorie – Kapitel 5](#)

[Aufgaben – Kapitel 5](#)

[Musterlösungen – Kapitel 5](#)

Inhaltsverzeichnis des Buches „Digitalsignalübertragung“ (Buch 6)

Dieses Buch wurde im Sommer 2007 begonnen und im Sommer 2011 abgeschlossen. Der Umfang entspricht einer Lehrveranstaltung mit „3V + 2Ü“. Da noch einige Lernvideos fehlen, wird der Fertigstellungsgrad mit 95% angegeben. Zunächst ein Überblick:

Kapitel	Theorie	Grafiken	Lernvideos	IA-Module	Aufgaben	Teilaufgaben
1	47	55	0 + (12)	2 + (8)	10A + 7Z = 17	90
2	33	42	0 + (2)	2 + (4)	8A + 4Z = 12	67
3	64	83	0+ (5)	4 + (6)	13A + 8Z = 21	103
4	55	85	0+ (7)	5 + (2)	19A + 9Z = 28	146
5	21	34	0+ (4)	0+ (1)	8A + 4Z = 12	59
Gesamt	220	299	0 + (18)	13 + (11)	58A + 32Z = 90	465

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. 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 Pseudoternär-codes

Allgemeine Beschreibung von Partial-Response-Codes. Eigenschaften des AMI-Codes. Eigenschaften des Duobinär-codes. Fehlerwahrscheinlichkeit der Pseudoternär-codes. Aufgaben zu Kapitel 2.4.

3 Impulsinterferenzen und Entzerrungsverfahren

3.1 Ursachen und Auswirkungen von Impulsinterferenzen

Definition des Begriffs „Impulsinterferenzen“. Mögliche Ursachen für Impulsinterferenzen. Einige Anmerkungen zum Kanalfrequenzgang. 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 Quaternärssystem. Augenöffnung bei den Pseudoternär-codes. 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 für das 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. Fehlerwahrscheinlichkeit bei gleichwahrscheinlichen Binärsymbolen. Schwellenoptimierung bei nicht gleichwahrscheinlichen Symbolen. Entscheidungsregionen für $M > 2$. Fehlerwahrscheinlichkeitsberechnung für $M > 2$. Union Bound – Obere Schranke der 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), 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. 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. 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“)
- Gesetze der Fouriertransformation (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Klassische Definition der Wahrscheinlichkeit (Grundlagen, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Rechnen mit komplexen Zahlen (Grundlagen, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Visualisierung der Diracfunktion (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 Übertragungskanal (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „Signaldarstellung“)

- 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“)
- Harmonische Schwingungen (zu Kapitel 1.5, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Einige Anmerkungen zur Übertragungsfunktion (zu Kapitel 3.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Lineare und nichtlineare Verzerrungen (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 der noch **geplanten Lernvideos** für das Buch „Digitalsignalübertragung“:

- Nyquistsysteme im Zeit- und Frequenzbereich (zu Kapitel 1.3)
- Optimierung bei Leistungs- und Spitzenwertbegrenzung (zu Kapitel 1.4)
- AKF- und LDS-Berechnung bei digitalen Signalen (zu Kapitel 2.1)
- Blockweise und symbolweise Übertragungscodierung (zu den Kapiteln 2.3 und 2.4)
- Ursachen und Wirkungen von Impulsinterferenzen (zu Kapitel 3.1)
- MAP- und ML-Entscheidungsregel (zu den Kapiteln 3.7 und 4.2)

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“)
- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 1.1ff – Größe 235 kB)
- Gegenüberstellung Binomialverteilung – Poissonverteilung (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Impulse und deren Spektren (zu Kapitel 1.2 – siehe Buch „Signaldarstellung“)
- Symbolfehlerwahrscheinlichkeit von Digitalssystemen (zu Kapitel 1.2 und 2.2 – Größe 778 kB)
- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (zu Kapitel 1.2, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- 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 – Größe 301 kB)
- Signale, AKF und LDS der Pseudoternär-codes (zu Kapitel 2.4 – Größe 759 kB)
- 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 – Größe 648 kB)
- Lineare Nyquistentzerrung (zu Kapitel 3.5 – Größe 481 kB)
- Entscheidungsrückkopplung (zu Kapitel 3.6 – Größe 305 kB)
- Viterbi-Empfänger für einen Vorläufer (zu Kapitel 3.8 – Größe 335 kB)
- Gram-Schmidt-Verfahren (zu Kapitel 4.1 – Größe 1.43 MB)
- WDF und VTF bei Gaußschen 2D-Zufallsgrößen (zu Kapitel 4.2 – siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Zweidimensionale Laplaceverteilung (zu Kapitel 4.2 – Größe 28 kB)
- Optimale Entscheidungsregionen (zu Kapitel 4.3 – Größe 1.42 MB)
- Mehrstufige PSK und Union Bound (zu Kapitel 4.4 – Größe 2.13 MB)
- Nichtkohärentes On-Off-Keying (zu Kapitel 4.5 – Größe 2.18 MB)

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.

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Digitalsignalübertragung“:

[Vorbemerkungen](#)

[Anhang](#)

[Theorie – Kapitel 1](#)

[Aufgaben – Kapitel 1](#)

[Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Theorie – Kapitel 2](#)

[Aufgaben – Kapitel 2](#)

[Musterlösungen – Kapitel 2](#)

[Theorie – Kapitel 3](#)

[Aufgaben – Kapitel 3](#)

[Musterlösungen – Kapitel 3](#)

[Theorie – Kapitel 4](#)

[Aufgaben – Kapitel 4](#)

[Musterlösungen – Kapitel 4](#)

[Theorie – Kapitel 5](#)

[Aufgaben – Kapitel 5](#)

[Musterlösungen – Kapitel 5](#)

Inhaltsverzeichnis des Buches „Mobile Kommunikation“ (Buch 7)

Dieses Buch wurde im Herbst 2010 begonnen und soll bis Ende 2011 abgeschlossen werden. Momentan fehlen noch einige Aufgaben zu Kapitel 4. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

Kapitel	Theorie	Grafiken	Lernvideos	IA-Module	Aufgaben	Teilaufgaben
1	25	33	0 + (3)	1 + (3)	7A + 5Z = 12	57
2	21	40	0 + (2)	1 + (5)	7A + 5Z = 12	70
3	28	34	0	0 + (6)	10A + 4Z = 14	71
4	44	29	0	0 + (3)	2A + 1Z = 3	12
Gesamt	118	136	0 + (4)	2 + (15)	26A + 15Z = 41	210

1 Zeitvariante Übertragungskanäle

1.1 Distanzabhängige Dämpfung und Abschattung

Physikalische Beschreibung des Mobilfunkkanals. Freiraumausbreitung. Gebräuchliches Pfadverlustmodell. Weitere, exaktere Pfadverlustmodelle. Zusätzlicher Verlust durch 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. Aufgabe zu Kapitel 2.1.

2.2 Mehrwegeempfang beim Mobilfunk

Zeitinvariante Beschreibung des Zweiwegekanals. ADSL 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. 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. 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

Was ist LTE? Entwicklung der UMTS-Mobilfunkstandards hin zu LTE. Entwicklung der Mobilfunkteilnehmer. Motivation und Ziele von LTE. LTE-Frequenzbandaufteilung. 3GPP – Third Generation Partnership Project. Aufgabe zu Kapitel 4.1.

4.2 Technische Neuerungen von LTE

Paketorientierte Übertragung. 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. 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: 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: BK 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: fehlt noch	Z4.2: MIMO-Anwendungen bei LTE
A4.3: fehlt noch	Z4.3: fehlt noch
A4.4: fehlt noch	Z4.4: fehlt noch
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 der noch **geplanten Lernvideos** für das Buch „Mobile Kommunikation“:

- FDMA, TDMA und CDMA (zu Kapitel 3.2)

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 – Dateigröße: 366 kB)**
- Zur Verdeutlichung der grafischen Faltung (zu Kapitel 2.1, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- **Auswirkungen des Mehrwegeempfangs (zu Kapitel 2.2 – Dateigröße: 353 kB)**
- 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“)
- Prinzip der Quadratur-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 3.4, siehe Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“)

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.

Liste der noch **geplanten Interaktionsmodule** für das Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

[Vorbemerkungen](#)

[Theorie – Kapitel 1](#)

[Theorie – Kapitel 2](#)

[Theorie – Kapitel 3](#)

[Theorie – Kapitel 4](#)

[Aufgaben – Kapitel 1](#)

[Aufgaben – Kapitel 2](#)

[Aufgaben – Kapitel 3](#)

[Aufgaben – Kapitel 4](#)

[Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Musterlösungen – Kapitel 2](#)

[Musterlösungen – Kapitel 3](#)

[Musterlösungen – Kapitel 4](#)

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

Das Buch wurde im dritten Quartal 2011 begonnen und soll spätestens im Sommer 2014 fertig gestellt sein. Nach Fertigstellung entspricht der Umfang einer Vorlesung mit „2V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

Kapitel	Theorie	Grafiken	Lernvideos	IA-Module	Aufgaben	Teilaufgaben
1	59	80	0 + (2)	1 + (6)	17A + 10Z = 27	143
2	44	55	1 + (0)	0 + (3)	16A + 11Z = 27	136
3	51	106	0 + (2)	0 + (3)	14A + 9Z = 23	101
4						
Gesamt	154	241	1 + (4)	1 + (9)	33A + 21Z = 77	380

1 Binäre Blockcodes zur Kanalcodierung

1.1 Zielsetzung der Kanalcodierung

Fehlererkennung und Fehlerkorrektur. Einige einführende Beispiele. Zusammenspiel Quellen- und Kanalcodierung. Blockschaltbild und Voraussetzungen. Wichtige Definitionen zur Kanalcodierung. Zur Nomenklatur. Aufgaben zu Kapitel 1.1.

1.2 Kanalmodelle und Entscheiderstrukturen

AWGN-Kanal bei binärem Eingang. Binary Symmetric Channel – BSC. Binary Erasure Channel – BEC. Binary Error & Erasure Channel – BEEC. MAP- und ML-Kriterium. Allgemeine 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. Codedefinition durch die Prüfmatrix. Codedefinition 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. Fehlerkorrektur 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 des BSC-Modells. Obere Schranke nach Bhattacharyya. Schranken für den HC (7, 4) beim AWGN-Kanal. Aufgaben zu Kapitel 1.6.

1.7 Informationstheoretische Grenzen der Kanalcodierung

Kanalcodierungstheorem und Kanalkapazität. Kanalkapazität von BSC-Modell und AWGN-Modell. 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 & Voraussetzungen. Codewortschätzer HD – MLD bzw. BDD. Definition des Error Locator Polynoms. Vorgehensweise beim „Bounded Distance Decoding“: Auswertung des Syndroms; Aufstellen & Auswerten des ELP-Vektors. Lokalisierung der Fehlerstellen. Abschließende Fehlerkorrektur. Schnelle RS-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 Faltungscodierung und geeignete Decoder

4 Iterative Codierverfahren

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-BEEC-AWGN	-----
A1.4: Maximum-Likelihood-Entscheidung	-----
A1.5: SPC (5, 4) und BEC-Modell	Z1.5: SPC (5, 4) vs. RP (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 Additionstabellen 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: RS-Generatorpolynome	Z2.8: „Plus“ und „Mal“ in $GF(2^3)$
A2.9: RSC-Partameter	-----
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: Reed-Solomon-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	-----

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

- Eigenschaften des Übertragungskanals (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Galoisfeld: Eigenschaften und Anwendungen (LV zu Kapitel 1 und 2)

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

- Komplementäre Gaußsche Fehlerfunktionen (zu Kapitel 1.1 und Kapitel 2.6, siehe Buch „Stochastische Signaltheorie“)
- Symbolfehlerwahrscheinlichkeit von Digitalssystemen (IM zu Kapitel 1.2 und 2.6, siehe Buch „Digitalsignalübertragung“)
- Lineare Blockcodes (zu Kapitel 1.3)
- 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“)

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Einführung in die Kanalcodierung“:

[Vorbemerkungen](#)

[Theorie – Kapitel 1](#)

[Theorie – Kapitel 2](#)

[Aufgaben – Kapitel 1](#)

[Aufgaben – Kapitel 2](#)

[Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Musterlösungen – Kapitel 2](#)

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

Dieses letzte Buch unseres Tutorials mit Beispielen realisierter Nachrichtensystemen wurde 2006 begonnen und im März 2010 beendet. Der Umfang entspricht einer Vorlesung mit „3V + 1Ü“. Zunächst ein Überblick:

Kapitel	Theorie	Grafiken	Lernvideos	IA-Module	Aufgaben	Teilaufgaben
1	38	45	0	0 + (2)	7A + 2Z = 9	44
2	49	56	0	3 + (1)	6A + 4Z = 10	51
3	51	48	0	0 + (3)	8A + 2Z = 10	58
4	55	63	0	1 + (4)	8A + 1Z = 9	41
Gesamt	193	212	0	4 + (10)	29A + 9Z = 38	194

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 Phasen Anpassung 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 Fullrate 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. Verschlüsselung. 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 Telecommunication 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. Kapazität in UMTS. 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 der noch **geplanten Lernvideos** für das Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

- Grundlagen der PCM (zu Kapitel 1.1)
- FDMA, TDMA und CDMA (zu Kapitel 3.2)

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

- Dämpfung von Kupferkabeln (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Zeitverhalten von Kupferkabeln (zu Kapitel 1.1, siehe Buch „LZI-Systeme“)
- Prinzip der Quadratur-Amplitudenmodulation (zu Kapitel 2.3 – Dateigröße: 162 kB)
- Prinzip der DMT (zu Kapitel 2.3 – Dateigröße: 75 kB)
- Discrete Multitone Transmission (zu Kapitel 2.3 – Dateigröße: ??? kB)
- Diskrete Fouriertransformation (zu Kapitel 2.3, siehe Buch „Signaldarstellung“)
- FSK und CPM (zu Kapitel 3.2: auch MSK und GMSK, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- QPSK und O-QPSK (Kapitel 3.2, siehe Buch „Modulationsverfahren“)
- Qualität verschiedener Sprach-Codex (zu Kapitel 3.3 – !! Vorsicht > 11 MB !!)
- Frequenzselektivität (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Dopplereffekt (zu Kapitel 4.1, siehe Buch „Mobile Kommunikation“)
- Handover bei UMTS (zu Kapitel 4.2 – Dateigröße: 35 kB)
- 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.

Liste der noch **geplanten Interaktionsmodule** für das Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

- AMI-Code und Modifikationen (zu Kapitel 1.2)
- Monitored Sum 4B3T-Code (zu Kapitel 1.2)
- Cyclic Redundancy Check – CRC4 (zu Kapitel 1.3)

Links zu den **PDF-Dateien** für das Buch „Beispiele von Nachrichtensystemen“:

[Vorbemerkungen](#)

[Anhang](#)

[Theorie – Kapitel 1](#)

[Theorie – Kapitel 2](#)

[Theorie – Kapitel 3](#)

[Theorie – Kapitel 4](#)

[Aufgaben – Kapitel 1](#)

[Aufgaben – Kapitel 2](#)

[Aufgaben – Kapitel 3](#)

[Aufgaben – Kapitel 4](#)

[Musterlösungen – Kapitel 1](#)

[Musterlösungen – Kapitel 2](#)

[Musterlösungen – Kapitel 3](#)

[Musterlösungen – Kapitel 4](#)

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.