

# **Vorlesungsskript Kanalcodierung II**

von  
**DR.-ING. VOLKER KÜHN**

aktualisiert von  
**DR.-ING. DIRK WÜBBEN**

Fachbereich Physik/Elektrotechnik (FB 1)  
Arbeitsbereich Nachrichtentechnik  
Postfach 33 04 40  
D-28334 Bremen

Version 2.4

(04.04.2011)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Verkettete Codes</b>	<b>1</b>
1.1 Einführung	1
1.2 <i>Interleaving</i> (Codespreizung)	3
1.2.1 Blockinterleaver	3
1.2.2 Faltunginterleaving	4
1.2.3 Zufallsinterleaving	4
1.3 Serielle Codeverkettung	5
1.3.1 Vorbetrachtungen	5
1.3.2 Produktcodes	6
1.3.3 Wahl der Teilcodes	8
1.4 Parallele Codeverkettung (Turbo-Codes)	9
1.4.1 Modifikation der Produktcodes	9
1.4.2 Turbo-Codes	11
1.4.3 Wahl der Teilcodes	13
1.5 Einfluss der Interleavers	15
1.6 Distanzeigenschaften und Abschätzung der Leistungsfähigkeit	17
1.7 Decodierung verketteter Codes	20
1.7.1 Definition der <i>Soft-Information</i>	21
1.7.2 Rechnen mit <i>Log-Likelihood</i> -Werten ( <i>L</i> -Algebra)	23
1.7.3 Allgemeiner Ansatz zur <i>Soft-Output</i> -Decodierung	25
1.7.4 BCJR-Algorithmus am Beispiel von Faltungscodes	29
1.7.5 Iterative ('Turbo')-Decodierung am Beispiel zweier parallel verketteter (5,4,2)-SPC-Codes	33
1.7.6 Generelles Konzept der iterativen Decodierung	37

1.7.7	Ergebnisse zur iterativen Decodierung . . . . .	38
<b>2</b>	<b>Trelliscodierte Modulation (TCM)</b>	<b>46</b>
2.1	Einführung . . . . .	46
2.2	Lineare digitale Modulationsverfahren . . . . .	46
2.2.1	Grundlagen . . . . .	46
2.2.2	Bandbreiteneffizienz linearer Modulationsverfahren . . . . .	48
2.2.3	Fehlerwahrscheinlichkeit linearer Modulationsverfahren . . . . .	50
2.3	Prinzip der codierten Modulation . . . . .	52
2.3.1	Grundsätzliche Vorgehensweise . . . . .	52
2.3.2	Weg zur einheitlichen Betrachtung von Codierung und Modulation . . . . .	54
2.3.3	Informationstheoretische Betrachtung . . . . .	56
2.4	TCM nach Ungerböck . . . . .	57
2.4.1	Trellisrepräsentation . . . . .	57
2.4.2	<i>Set-Partitioning</i> nach Ungerböck . . . . .	61
2.4.3	Struktur des TCM-Codierers . . . . .	62
2.4.4	Optimale Codes nach Ungerböck . . . . .	64
2.5	ML-Decodierung mit dem Viterbi-Algorithmus . . . . .	66
2.6	Distanzeigenschaften und Abschätzung der Leistungsfähigkeit . . . . .	67
2.7	Pragmatischer Ansatz nach Viterbi . . . . .	70
2.8	Mehrstufencodes nach Imai . . . . .	72
2.8.1	Struktur des Codierers . . . . .	72
2.8.2	Prinzip der Decodierung . . . . .	73
2.8.3	Optimierung . . . . .	74
2.9	TCM in der Modemtechnik . . . . .	77
<b>3</b>	<b>Verfahren zur adaptiven Fehlerkontrolle</b>	<b>79</b>
3.1	Einführung . . . . .	79
3.2	Zuverlässigkeit der ARQ-Verfahren bei idealem Rückkanal . . . . .	80
3.3	Klassische ARQ-Verfahren . . . . .	81
3.3.1	<i>Stop &amp; Wait</i> -Verfahren (SW) . . . . .	82
3.3.2	<i>Go-Back-N</i> -Verfahren (GB-N) . . . . .	83

3.3.3 *Selective Repeat*-Verfahren (SR) . . . . . 84

3.3.4 Kombination von *Selective Repeat*-Verfahren und *Go-Back-N* . . . . . 85

3.3.5 *Selective Repeat*-Verfahren mit *Stutter*-Modus . . . . . 86

3.3.6 Vergleich der ARQ-Strategien . . . . . 86

3.4 Leistungsfähigkeit bei realem Rückkanal . . . . . 87

3.4.1 Modellbildung . . . . . 87

3.4.2 Zuverlässigkeit bei realem Rückkanal . . . . . 88

3.4.3 Datendurchsatz beim SW-Verfahren . . . . . 89

3.4.4 Datendurchsatz beim GB-*N*-Verfahren . . . . . 90

3.4.5 Datendurchsatz beim SR-Verfahren . . . . . 91

3.4.6 Vergleich der ARQ-Strategien . . . . . 92

3.5 Hybride FEC/ARQ-Systeme . . . . . 93

3.5.1 Typ-I hybrides ARQ-System . . . . . 95

3.5.2 Hybrides ARQ-System mit ratenkompatiblen Faltungscodes . . . . . 95

3.5.3 Typ-II hybrides System . . . . . 99

3.6 Typ-III hybrides System . . . . . 101

**Literatur** . . . . . **103**