

## 15.2 Übertragung über nicht frequenzselektive Rayleigh-Kanäle

### 15.2.1 Ergodische Fehlerwahrscheinlichkeit

In Abschnitt 11.4 wurden für die verschiedenen Modulationsarten die Bitfehlerwahrscheinlichkeiten bei Übertragung über AWGN-Kanäle hergeleitet. Das Empfangssignal ist in diesem Falle durch

$$r(t) = a \cdot e^{j\psi_0} s(t) + n(t), \quad a \in \mathbb{R}^+ \quad (15.2.1)$$

zu beschreiben, wobei  $a e^{j\psi_0}$  einen durch den Kanal eingebrachten komplexen Faktor bezeichnet. Ein optimaler Empfänger für AWGN-Kanäle weist gemäß den Betrachtungen in Abschnitt 11.1 eine kohärente Struktur auf; wir wollen im Folgenden eine ideale Trägerregelung voraussetzen, so dass der Phasenfehler  $\psi_0$  als perfekt korrigiert angenommen werden kann. Die Bitfehlerwahrscheinlichkeit wird bei allen linearen Modulationarten – exakt oder näherungsweise – durch Ausdrücke der Form

$$P_b = K \cdot \operatorname{erfc} \left( \sqrt{\frac{E_b}{N_0}} \gamma^2 \right) \quad (15.2.2)$$

beschrieben; hierbei bezeichnet  $E_b = E_S/\operatorname{ld}(M)$  die pro gesendetes Bit empfangene Energie, was gleichbedeutend mit der gesendeten Energie ist, falls die Übertragungskonstante  $a$  auf eins normiert wird. Die Faktoren  $K$  und  $\gamma^2$  sind für die Modulationsformen  $M$ -PSK,  $M$ -QAM und MSK (mit differentieller Vorcodierung) nochmals in Tabelle 15.2.1 zusammengestellt.

**Tabelle 15.2.1:** Parameter für AWGN-Bitfehlerwahrscheinlichkeit

	BPSK/QPSK	$M$ -PSK $\approx$	$M$ -QAM $\approx$	vorcod. MSK
$\gamma^2$	1	$\operatorname{ld}(M) \sin^2(\pi/M)$	$3 \operatorname{ld}(M)/(2(M-1))$	1
$K$	1/2	$1/\operatorname{ld}(M)$	$2(\sqrt{M}-1)/(\sqrt{M} \operatorname{ld}(M))$	1/2

Für die höherstufige PSK-Modulation wurde hier die in Abschnitt 11.4.5 hergeleitete Näherungslösung (11.4.36) auf Seite 390 eingesetzt; **die Näherung für die  $M$ -QAM besteht in der Vernachlässigung von Entscheidungsfehlern zwischen nicht benachbarten Signalpunkten.**

Bei Übertragung über Rayleigh-Kanäle ist der feste Kanal-Übertragungsfaktor  $a$  durch eine Zufallsvariable  $A$  mit einer Rayleighverteilung gemäß (2.5.15), Seite 88, zu ersetzen;