

Optimierte Amplitudenstufen und Wandlerkennlinien für Modulationsformate in Metronetzen

Jochen Leibrich, Annika Dochhan

jol@tf.uni-kiel.de

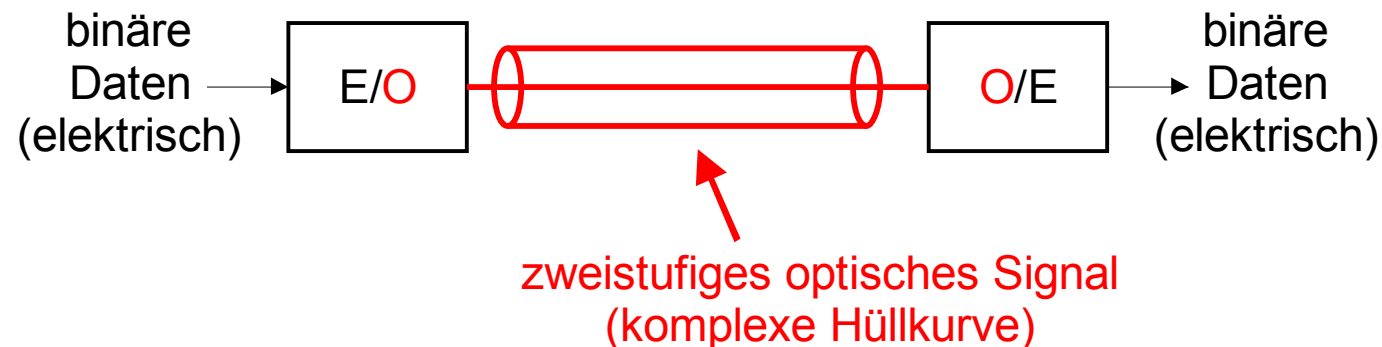
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

ITG-Workshop Berlin
12./13. November 2009



Einführung

- Vereinfachtes Blockschaltbild bei binärer Intensitätsmodulation

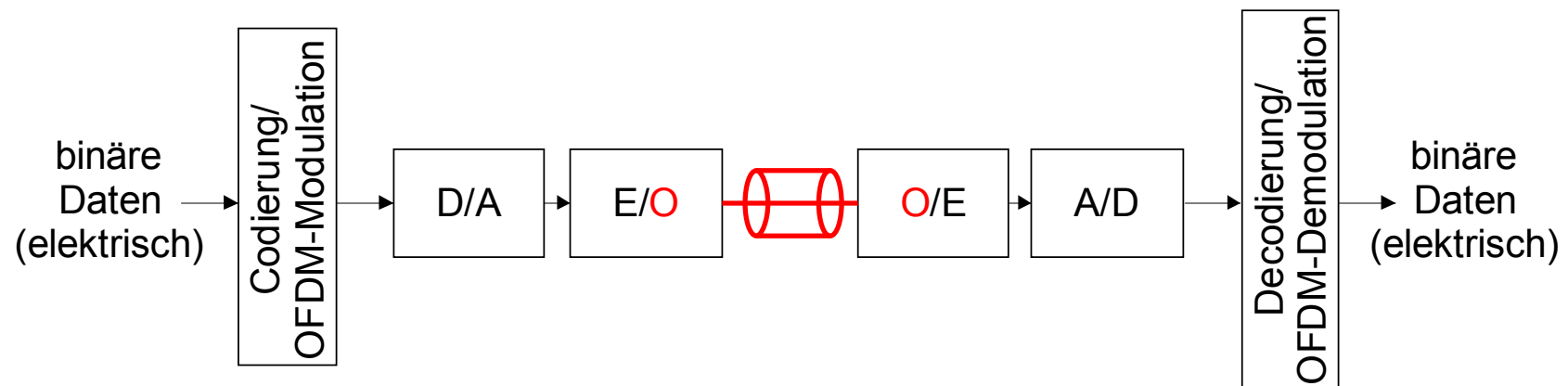


- Komplexe Hüllkurve des optischen Signals

- zweistufig
- ⇒ bei Kenntnis der mittleren Leistung i. W. Amplitudenstufen festgelegt
- Ziel: Hohes Extinktionsverhältnis

Einführung (2)

- **Steigerung der Bandbreiteneffizienz:**
 - ⇒ optisches Signal muss mehrstufig sein
- **Realisierung:**
 - optisch (mehrere Modulatoren, optische Kopplung)
 - nur sinnvoll bei begrenzter Ordnung (z.B. 4-ASK bipolar)
 - elektrisch (z.B. 4-ASK, 8-ASK, OFDM)



- hybrid (z.B. 8-ASK bipolar = 4-ASK + DBPSK)

Einführung (3)

- **Elektrische Realisierung benötigt D/A und A/D-Wandler**
 - 4-ASK: 2-bit Wandler
 - 8-ASK: 3-bit Wandler
 - OFDM
 - quasi-analoges Signal
 - entsprechende Wandlerauflösung erforderlich
- **Aufgabenstellung:**
 - **optimale Wahl der Amplitudenstufen / Quantisierungskennlinie**
- **Randbedingungen**
 - Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung des Signals
 - Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung des Rauschens
 - Einfluss diverser Effekte (Dispersion, PMD,...)

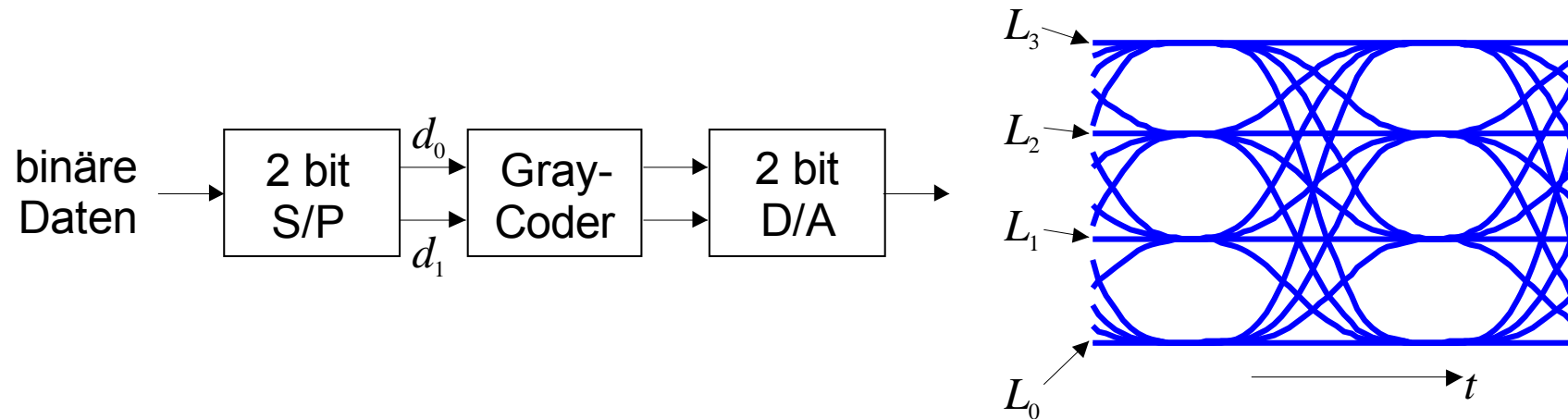
Übersicht

- **4-ASK unipolar**
 - Freiheitsgrade für die Amplitudenstufen
 - Systemaufbau
 - Ergebnisse für optimierte Amplitudenstufen / Interpretation
 - back-to-back
 - mit Dispersion

- **OFDM**
 - Signaleigenschaften
 - Optimierung der Wandlerkennlinie
 - Ergebnisse

Amplitudenstufen bei 4-ASK

- Codierung:**

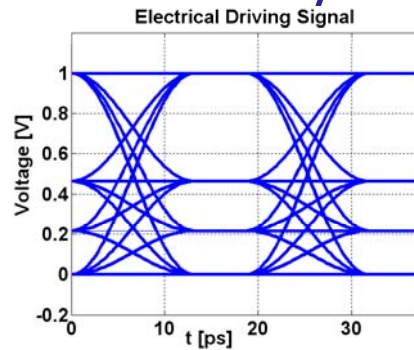
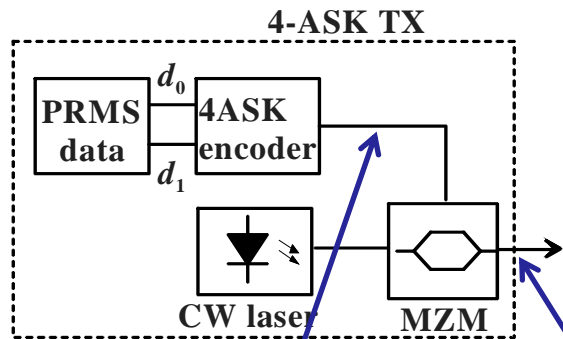


- Wahl der Amplitudenstufen**

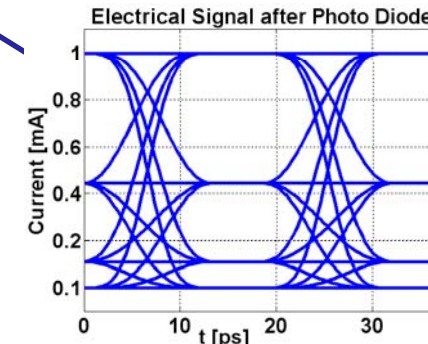
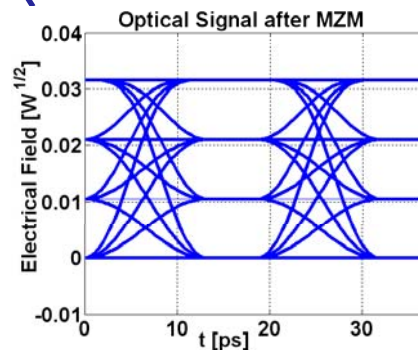
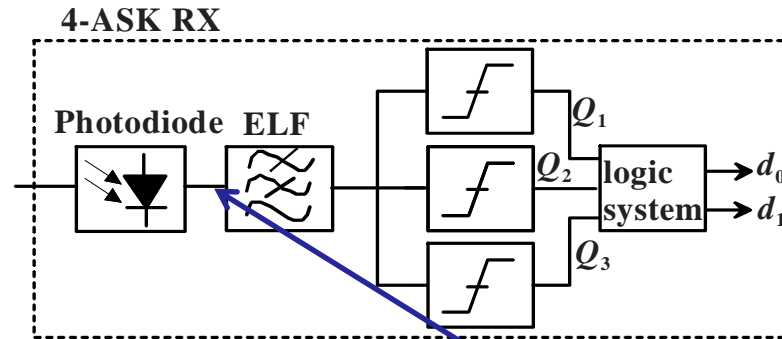
- Optimierungsmöglichkeit (d.h. nicht notwendigerweise äquidistant)
- Freiheitsgrade:
 - L_0 -Amplitude bei $L_0=0$
 - bei gegebener mittlerer Leistung ergibt sich L_3 aus L_1 und L_2
 ⇒ 2 Freiheitsgrade

Systemaufbau 4-ASK

Sender



Empfänger

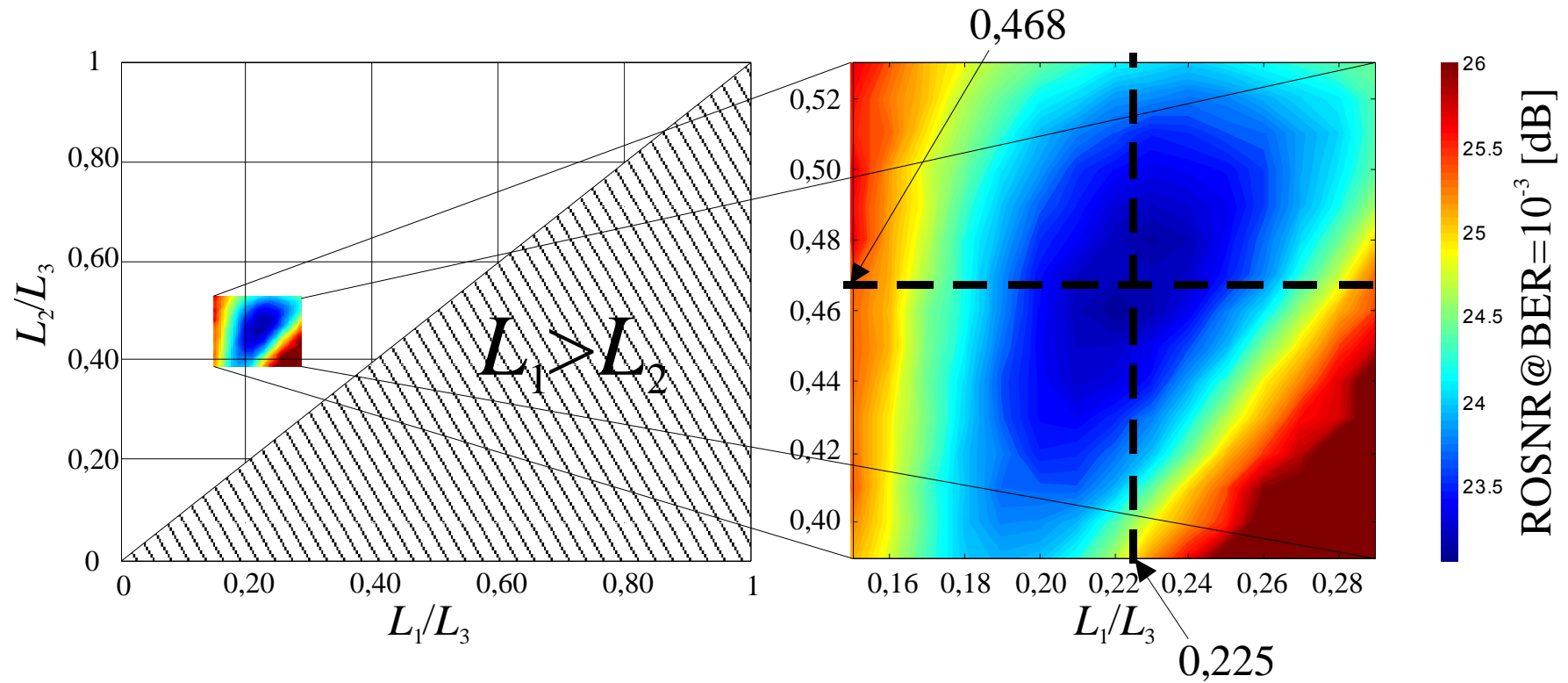


**Codierung/
Decodierung:**

d_0	d_1	4-ASK	Q_1	Q_2	Q_3	$d_0 = Q_2$	$d_1 = Q_1 \text{ XOR } Q_3$
0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	1
1	1	2	1	1	0	1	1
1	0	3	1	1	1	1	0

Simulation 4-ASK

- **Back-to-back**
- **112 Gb/s \Rightarrow 56 Gbaud**
- **Optimierte optische und elektrische Bandbreite**

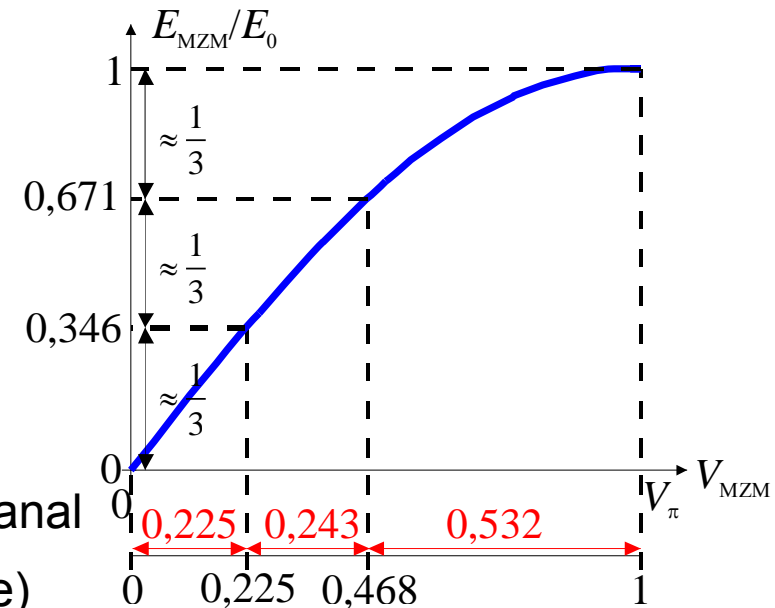


Simulation 4-ASK

- **Optimale Amplitudenstufen sind nicht äquidistant**

- **Erklärung:**

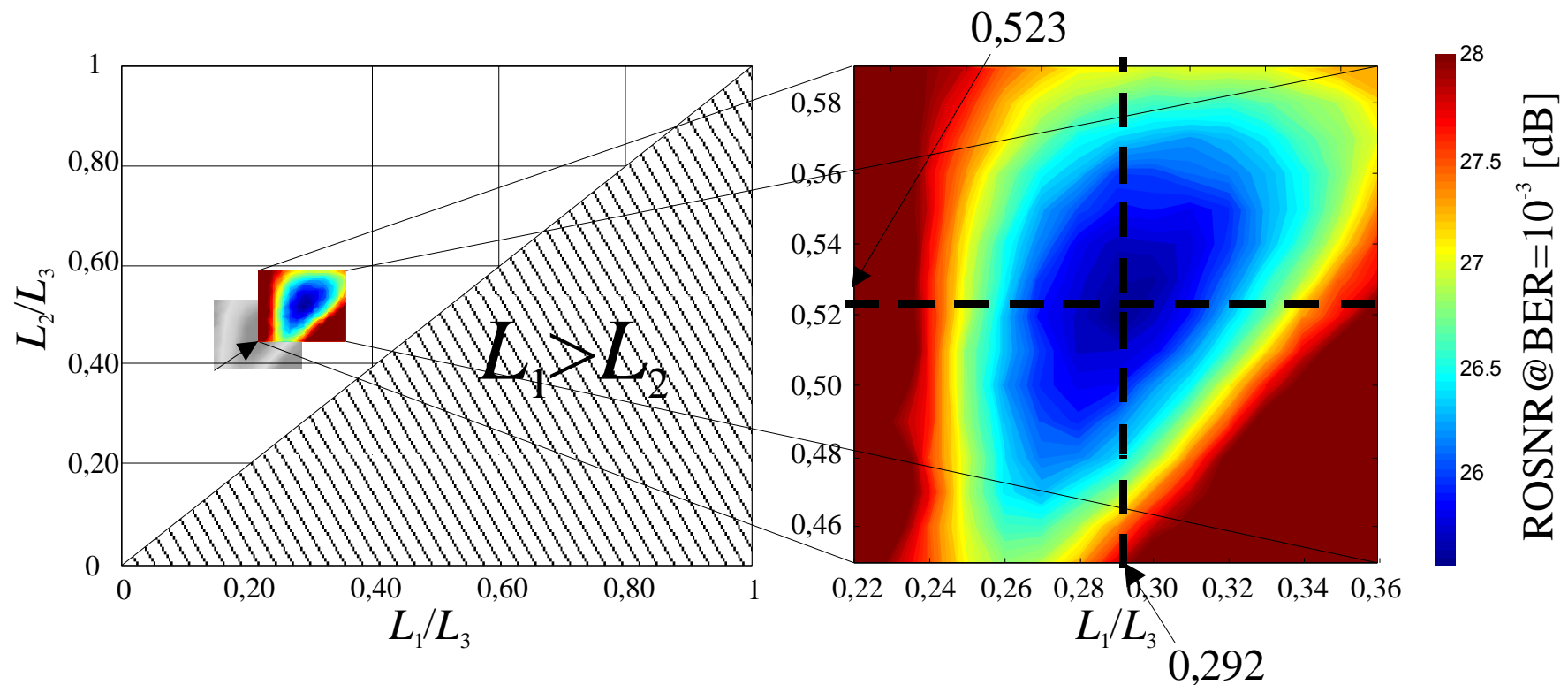
- nichtlineare Kennlinie des Modulators
- komplexe Hüllkurve des optischen Signals:
 - äquidistante Amplitudenstufen
 - optimal für AWGN-Kanal
- optischer Kanal (back-to-back) ist AWGN-Kanal im optischen Bereich (d.h. vor der Fotodiode)
- Einfluss der Fotodiode (quadratische Kennlinie):
 - unteres Auge wird verkleinert, oberes Auge wird vergrößert
 - kein Einfluss auf BER, da Rauschen ebenfalls verzerrt wird



⇒ **Nichtlineare Kennlinie nach Signalverzerrung/Rauschen ändert BER nicht!**

Simulation 4-ASK

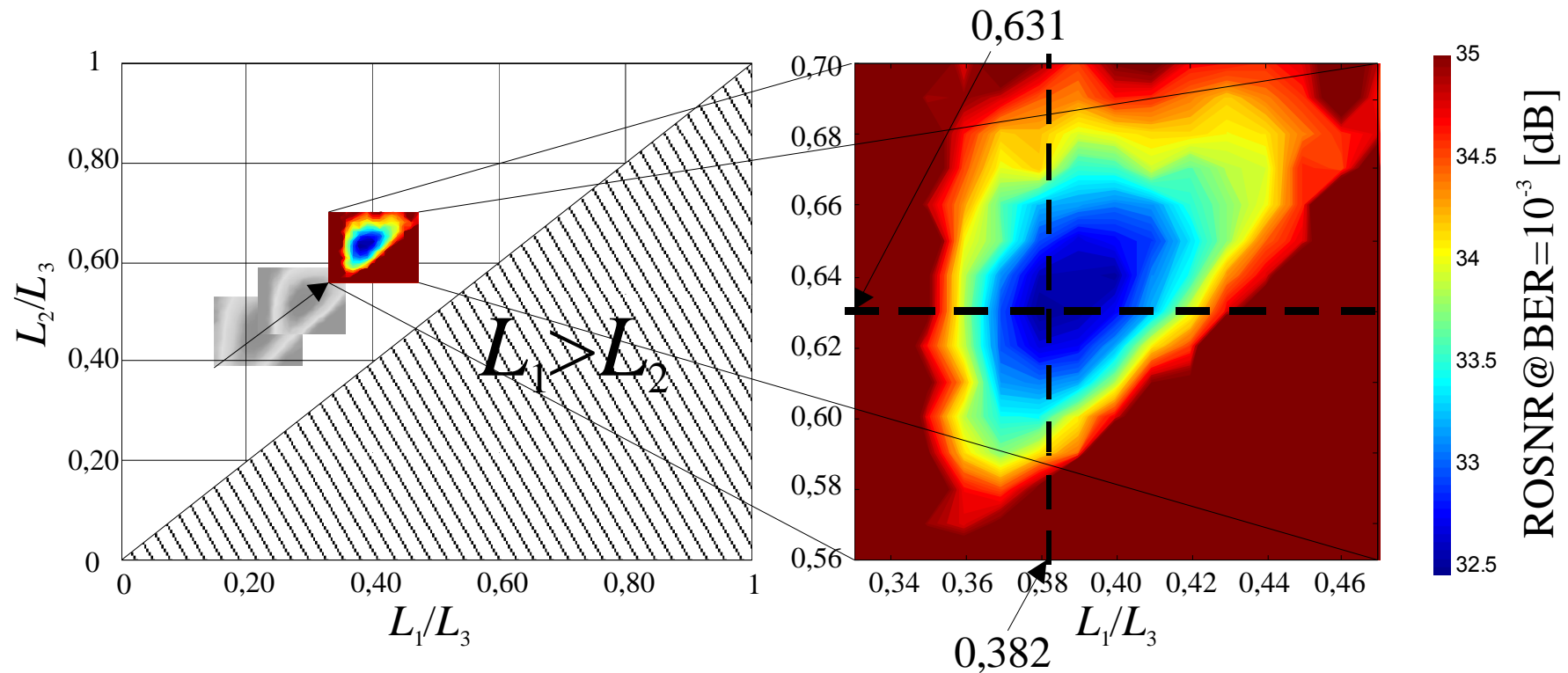
- Chromatische Dispersion: 20 ps/nm
- Optische und elektrische Bandbreite wird beibehalten



- Optimale Amplitudenstufen verschieben sich zu höheren Werten

Simulation 4-ASK

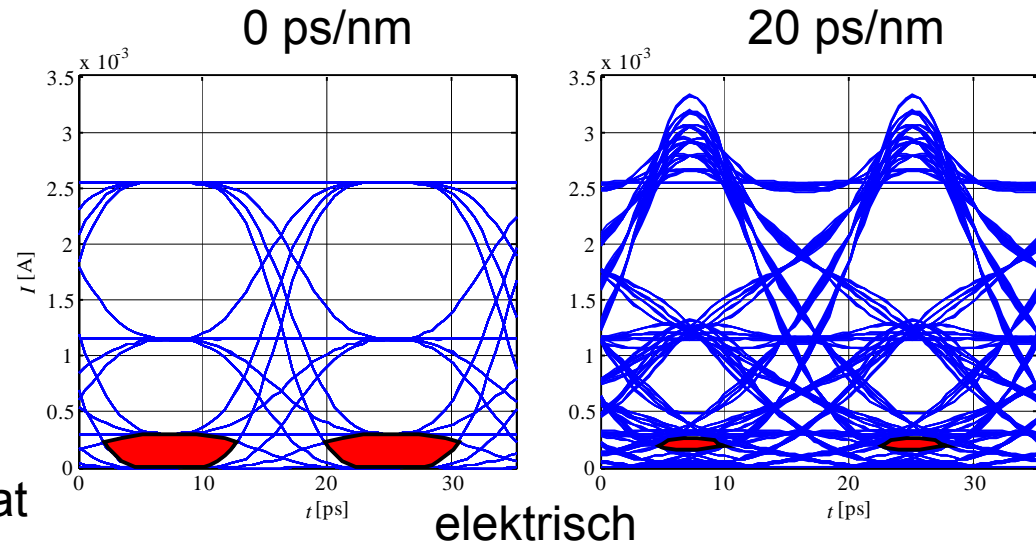
- Chromatische Dispersion: 40 ps/nm
- Optische und elektrische Bandbreite wird beibehalten



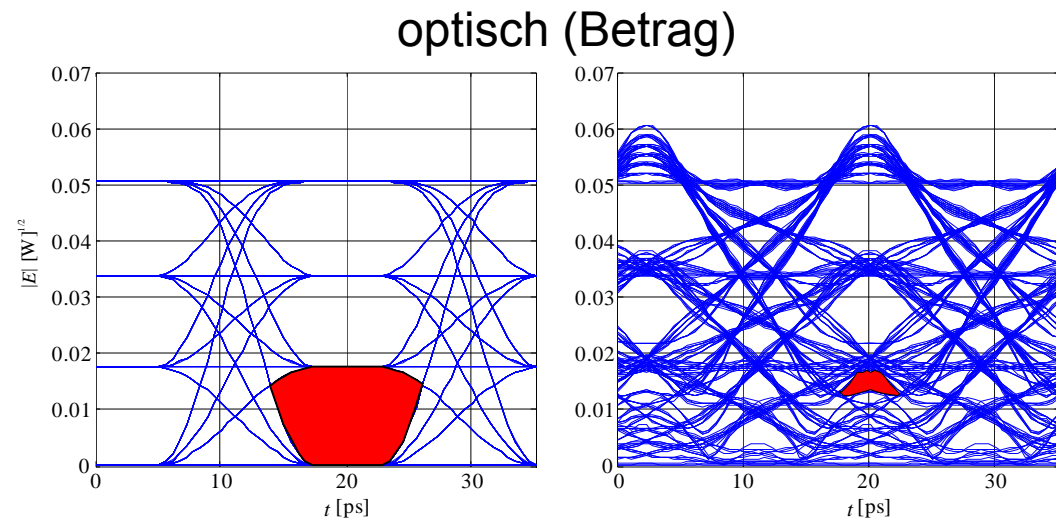
- Optimale Amplitudenstufen verschieben sich zu höheren Werten

Interpretation

- **Elektrisches Auge:**
 - unterstes Auge am kleinsten
 - ⇒ empfindlicher für ISI bei Effekt im Elektrischen
- **Dispersion**
 - ist Effekt im Optischen
 - Feststellung: quadr. Fotodiodenkennlinie hat keinen Einfluss auf die BER
 - ⇒ optisches Auge betrachten
- **Erklärungsansatz:**
 - Augenschließung tritt im Optischen auf
 - Einfluss auf optisches Auge:
 - Dispersion
 - Betragsbildung



elektrisch



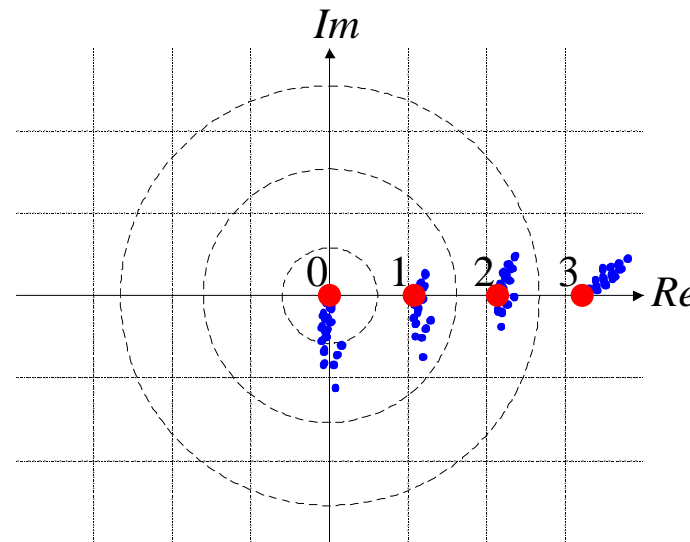
optisch (Betrag)

Interpretation (2)

- **Betragsbildung mit anschließender Entscheidung**
 ⇒ Entscheidungsbereiche sind konzentrischen Kreise
- **Einfluss der Dispersion auf die komplexe Hüllkurve im Zeitbereich:**

$$\frac{\partial A(z,t)}{\partial z} = \frac{j}{2} \beta_2 \frac{\partial^2 A(z,t)}{\partial t^2}$$

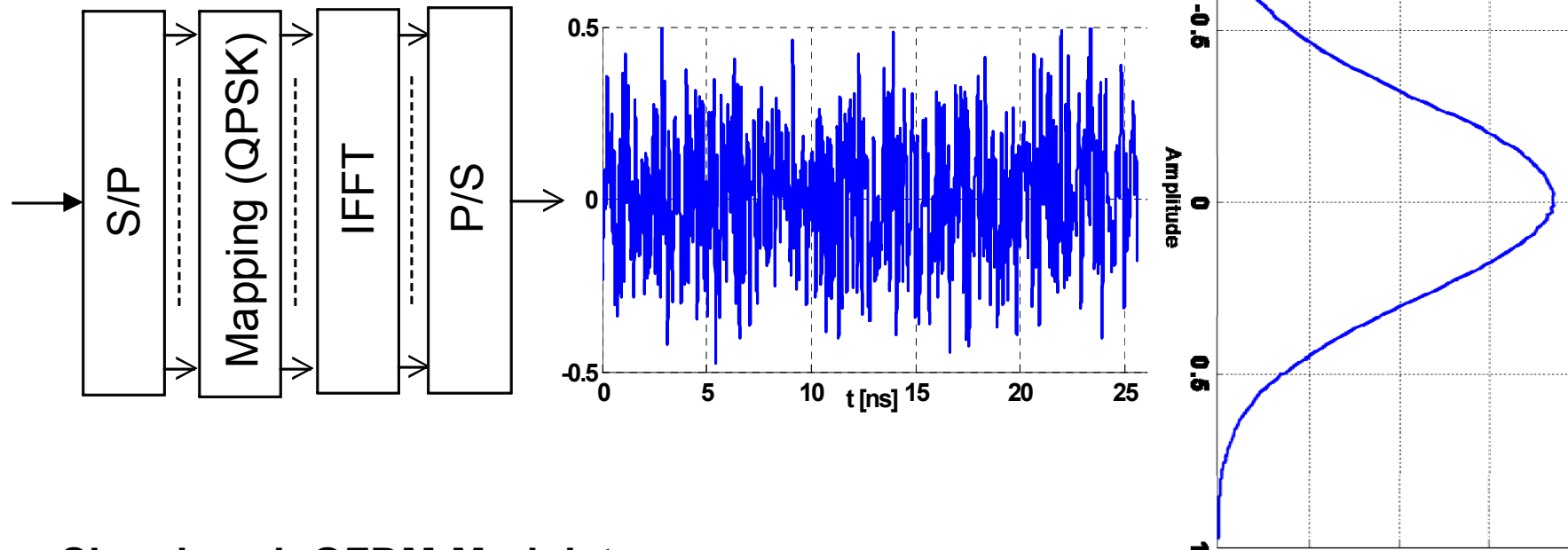
⇒ Symbole verlassen reelle Achse



- **Einfluss auf Symbole:**
 - 1,2,3: Imaginärteil führt i.W. zu Phasendrehung ⇒ unproblematisch
 - 0: Imaginärteil erhöht den Betrag ⇒ Symbol verlässt 0-Entscheidungsbereich
- **Fazit: Optimale Amplitudenstufen müssen durch Betrachtung der komplexen Hüllkurve des optischen Signals in der komplexen Ebene ermittelt werden!**

OFDM: Eigenschaften des Signals

- **OFDM-Modulator**



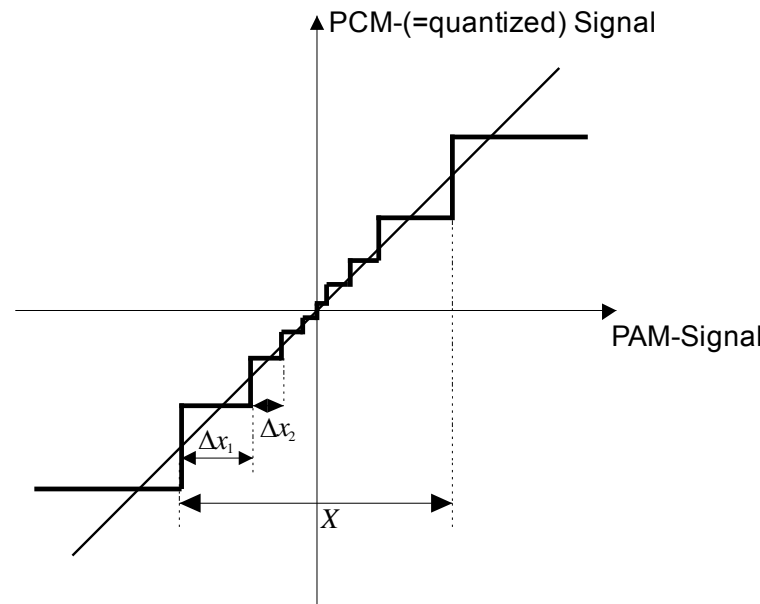
- **Signal nach OFDM-Modulator:**

- quasi-analog
- näherungsweise gaußverteilt

- **D/A- und A/D- Wandler mit hoher Auflösung ($\geq 4\text{bit}$) erforderlich**

Wandlerkennlinie bei OFDM

- **Idee:**
 - Quantisierungsrauschen wird minimiert durch
 - feine Auflösung bei kleinen Signalwerten (hohe Auftrittswahrsch.)
 - grobe Auflösung bei großen Signalwerten (niedrige Auftrittswahrsch.)



- **Ansatz: Minimierung**

$$\frac{\partial(\sigma_e^2)}{\partial(\Delta x_j)} = 0$$

σ_e^2 : Leistung Quantisierungsrauschen
 Δx_j : Breite des j -ten Quantisierungsintervalls

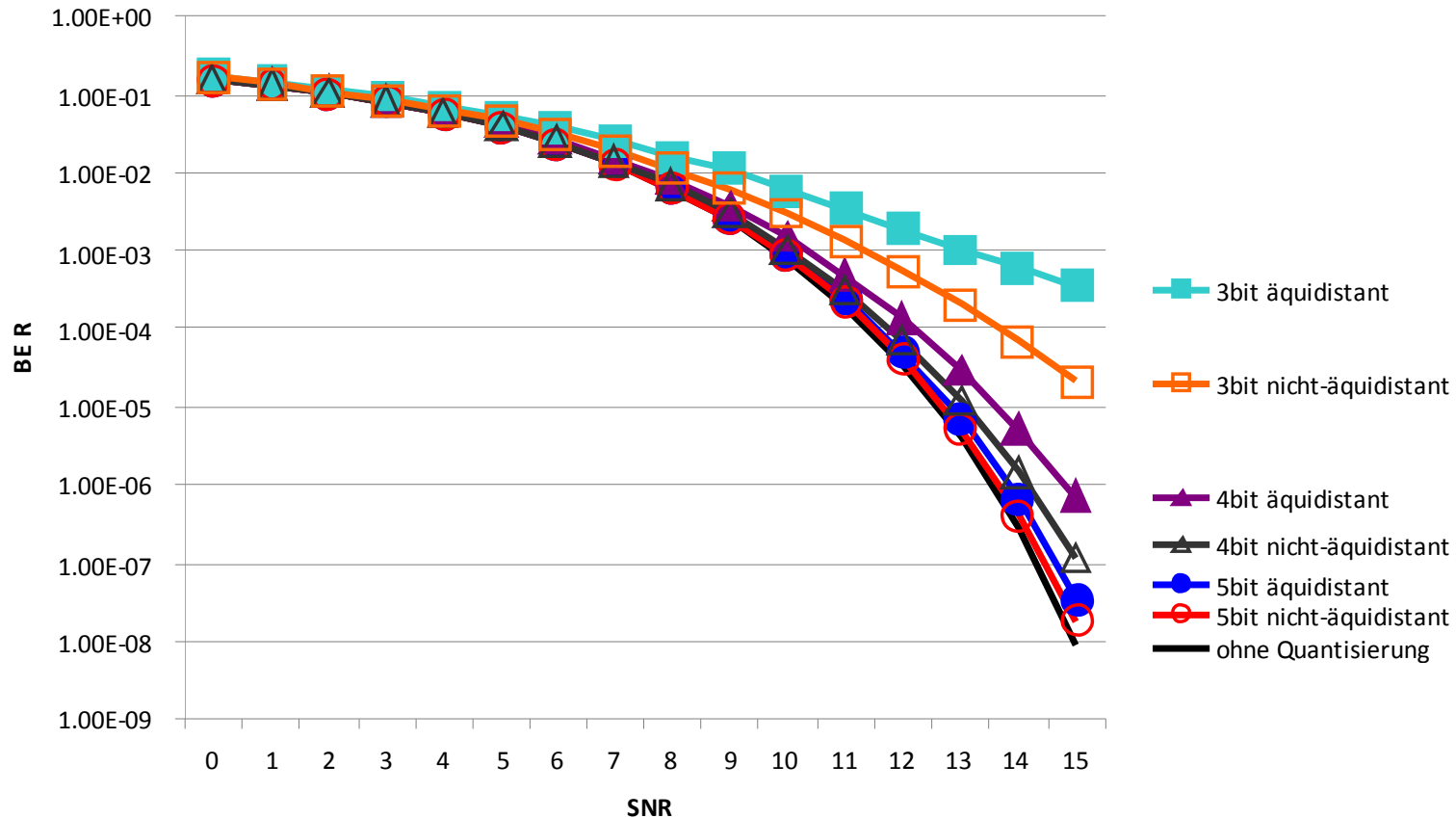
Berechnung der Quantisierungsstufen

- Ergebnis der Minimierung:**

$$\begin{pmatrix} \frac{\Delta x_1}{X} \\ \frac{\Delta x_2}{X} \\ \frac{\Delta x_3}{X} \\ \vdots \\ \frac{\Delta x_N}{X} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 1 + \sqrt{\frac{p_2}{p_1}} & 1 & \dots & 1 \\ 0 & 1 & 1 + \sqrt{\frac{p_3}{p_1}} & \dots & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 1 & 1 & \dots & 1 + \sqrt{\frac{p_N}{p_1}} \end{pmatrix}^{-1} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ \vdots \\ 1 \end{pmatrix}$$

- $\Delta x_j / X$: Auf Intervallsumme X normierte Breite des j -ten Quantisierungsinterv.
- p_j : Wahrscheinlichkeit, dass Signal im j -ten Quantisierungsintervall liegt
(aus Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion abzuleiten)

Ergebnis im AWGN-Kanal



- **Nicht-äquidistante Quantisierung bei OFDM**
 - führt zu weniger Quantisierungsrauschen
 - verbessert das Verhalten äquivalent zu erhöhter Auflösung von etwa 1/2 Bit

Zusammenfassung

- **Optimierung der Amplitudenstufen bei Mehrstufen-ASK**

Einflussgrößen:

- ASE-Rauschen

- optimal: äquidistante Stufen im optischen Bereich

- chromatische Dispersion

- unterstes Auge am stärksten gestört

- optimal: Vergrößerung des untersten Auges relativ zu den übrigen Augen

- andere Effekte:

- Untersuchung des optischen Signals in der komplexen Ebene notwendig!

- **Optimierung der Wandlerkennlinie bei OFDM**

Einflussgröße:

- Quantisierungsrauschen / Wahrscheinlichkeitsdichteverteilung des Signals

- optimal: angepasste, nicht-äquidistante Auflösung:

- Verbesserung um $\frac{1}{2}$ bit!