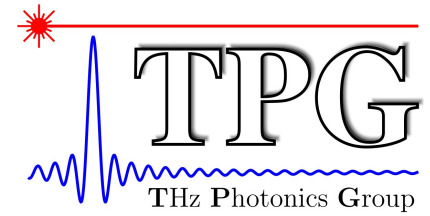




**Technische
Universität
Braunschweig**



Grundlagen der Informationstechnik (Wireless)

Drahtlose Kommunikation / Der drahtlose Kanal

Thomas Schneider

Inhalt

- Motivation und Einführung
- Die elektromagnetische Welle
- **Der drahtlose Kanal**
- Antennen
- Ausbreitung e/m Wellen
- Berechnung von Funkstrecken
- THz-Kommunikation
- Funksysteme
- Optische Kommunikation
- Silizium Photonik
- Plasmonik

- **Der drahtlose Kanal**
 - **Rauschen**
 - **Modulation**
 - **Bandbreite**
 - **AWGN Kanal**

- Der drahtlose Kanal
 - **Rauschen**
 - Modulation
 - Bandbreite
 - AWGN Kanal

Rauschen

- Zusätzliche Energie (Leistung) die am Empfänger umgesetzt wird.
- Sinkt die Signalleistung unter den Rauschpegel, kann das Signal (in den meisten Fällen) nicht mehr detektiert werden.
- Echtes Rauschen ist rein stochastisch und begrenzt daher jede Signalübertragung.

Rauschquellen

Externe

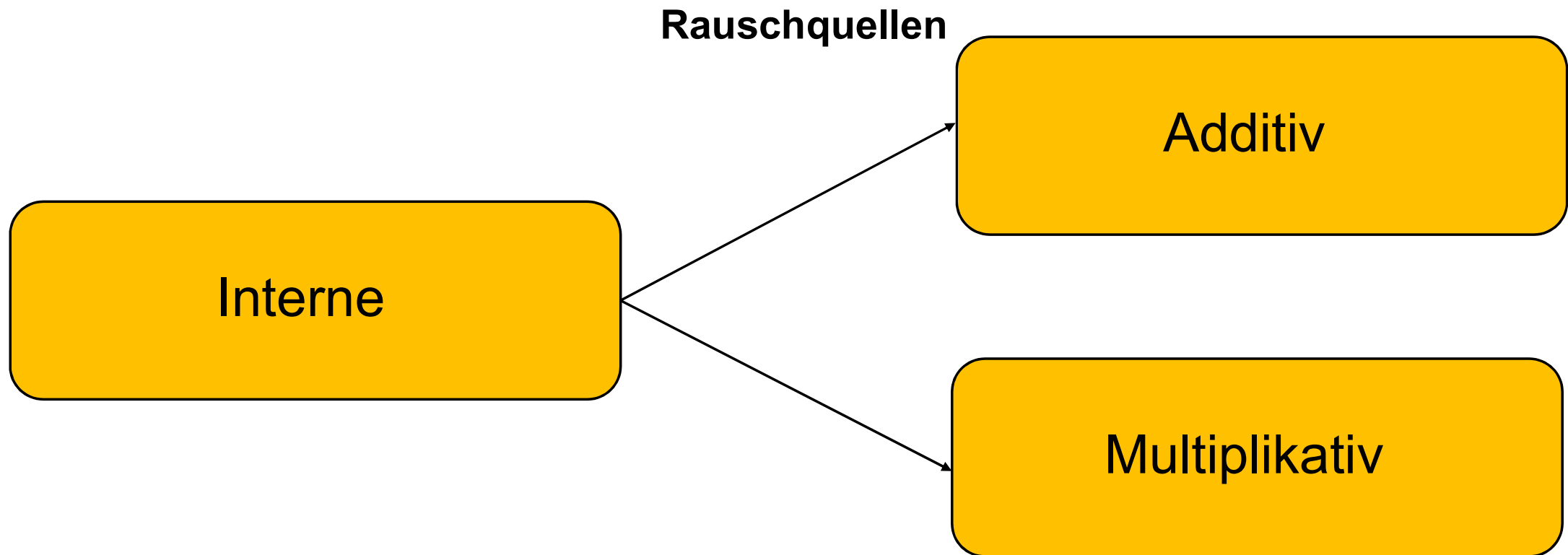
- Kosmische Hintergrundstrahlung
- Milchstraße
- Sonne
- Gewitter, Blitze
- Kfz, Haushaltsgeräte, Industrieanlagen

Interne Kanal

- Amplified spontaneous emission noise
- Channel nonlinearities

Interne Sender/Empfänger

- Thermisches Rauschen
- Shot Noise
- Quantization noise
- Device Nonlinearities



Drahtlose Kommunikation

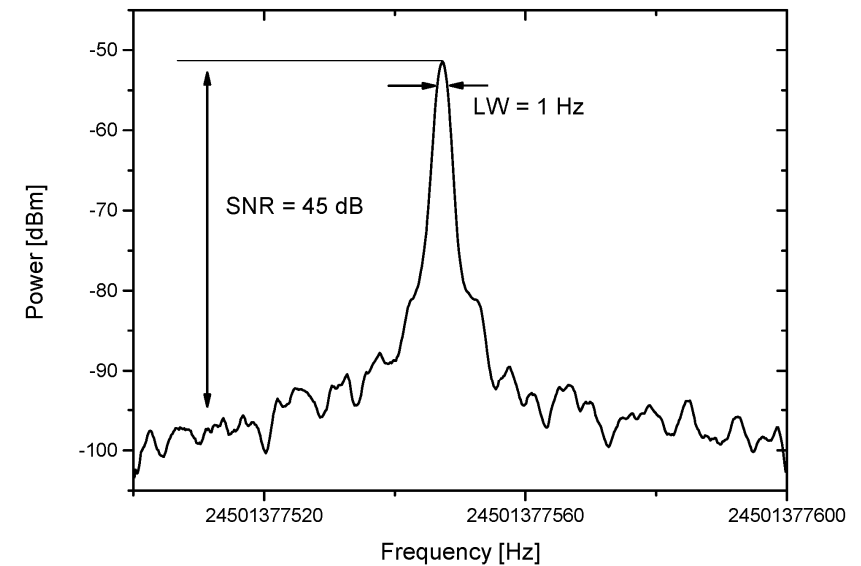
Thermisches Rauschen

$$N = FkTB \qquad F = \frac{P_{Rout}}{VP_{Rin}}$$

$$F_{ges} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{V_1} + \frac{F_3 - 1}{V_1 V_2} + \dots$$

Signal-zu-Rauschabstand (Signal-to-Noise Ratio (SNR))

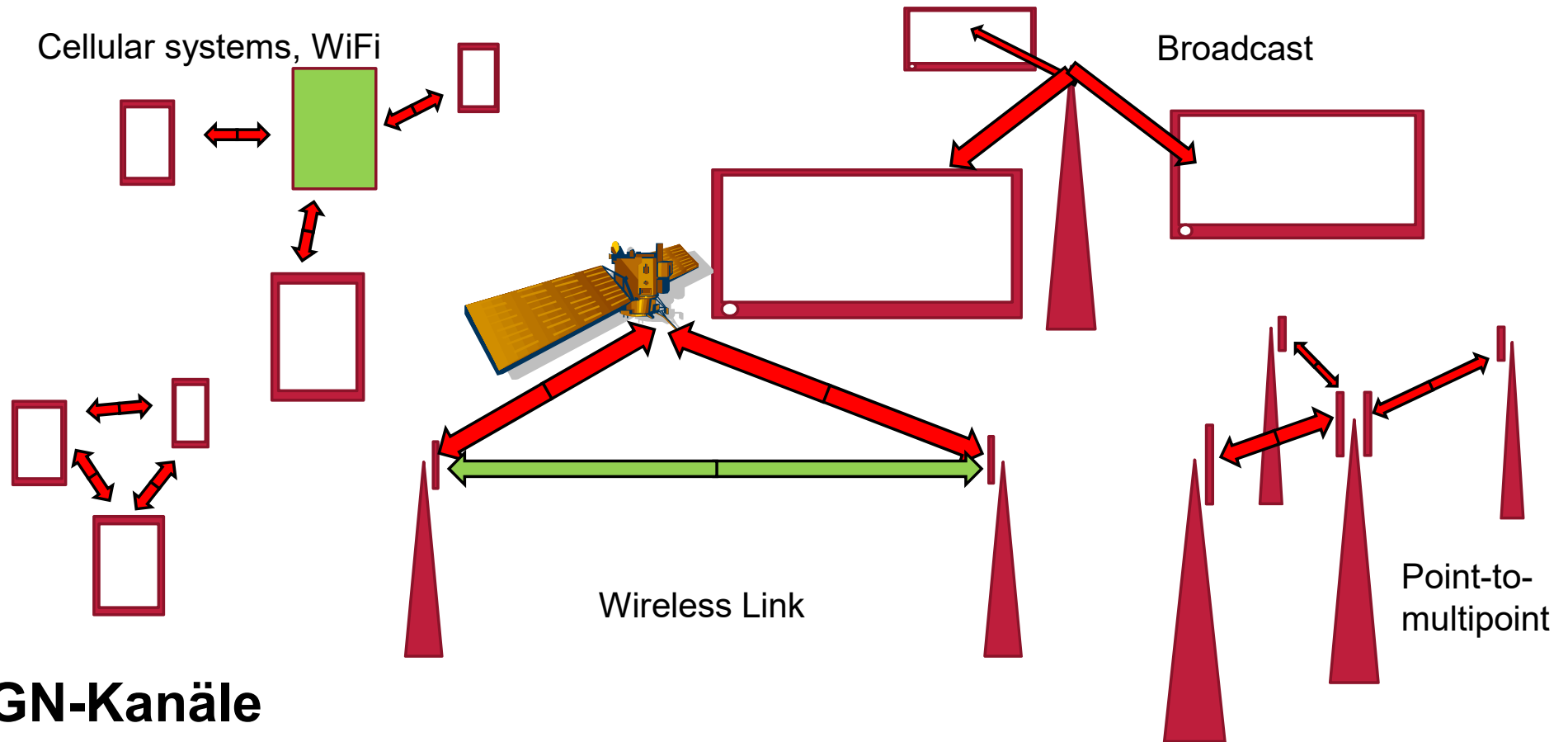
$$SNR_{dB} = 10 \log \left(\frac{S}{N} \right)$$



Inhalt

- Einführung
- **Der Kanal**
 - Optische Netze
 - Vielfachzugriffsverfahren
 - Rauschen
 - **AWGN-Kanäle**
 - Kanalkapazität

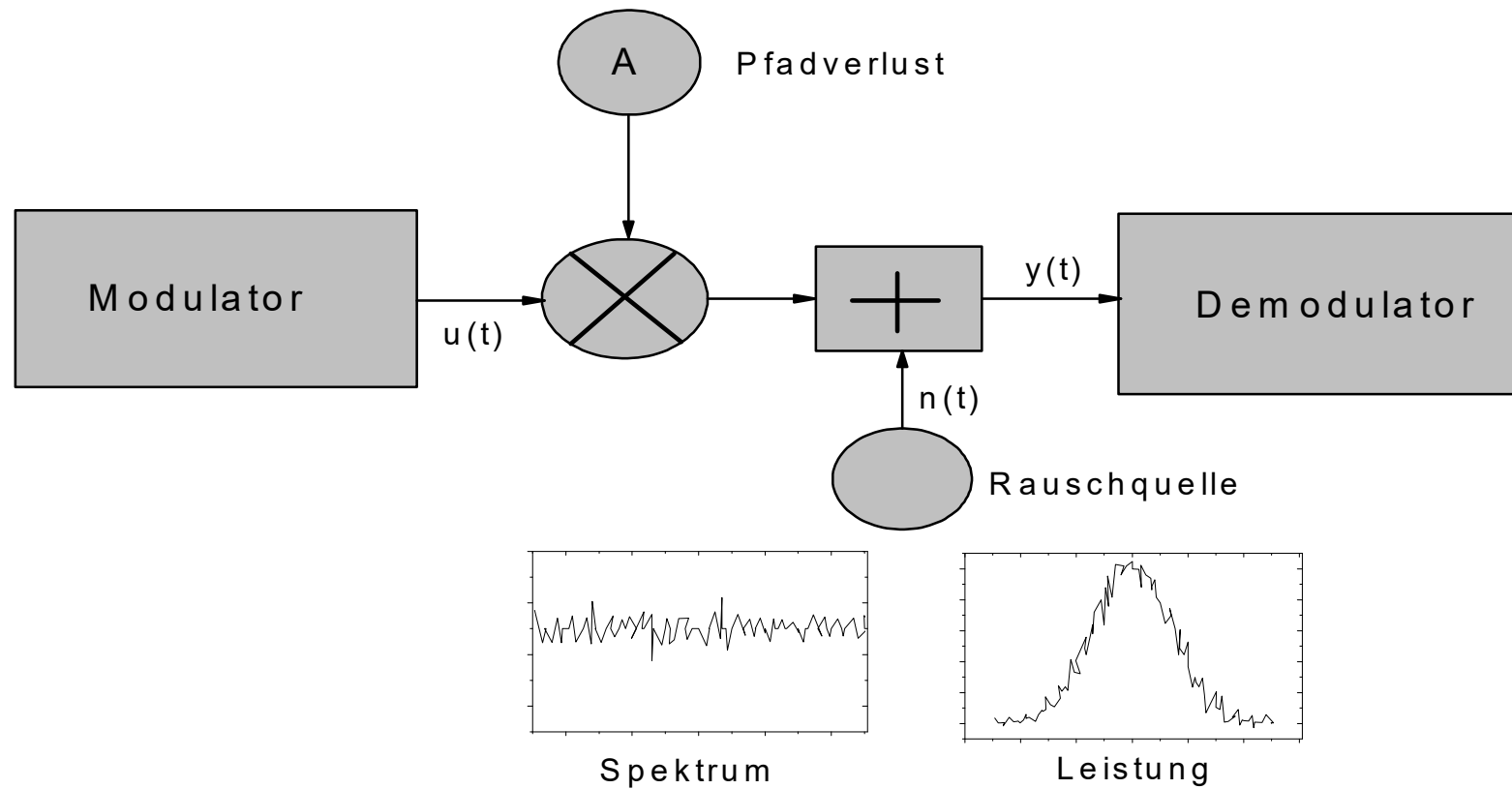
Inhalt



AWGN-Kanäle

Rauschen

Additive White Gaussian Noise Channel



Inhalt

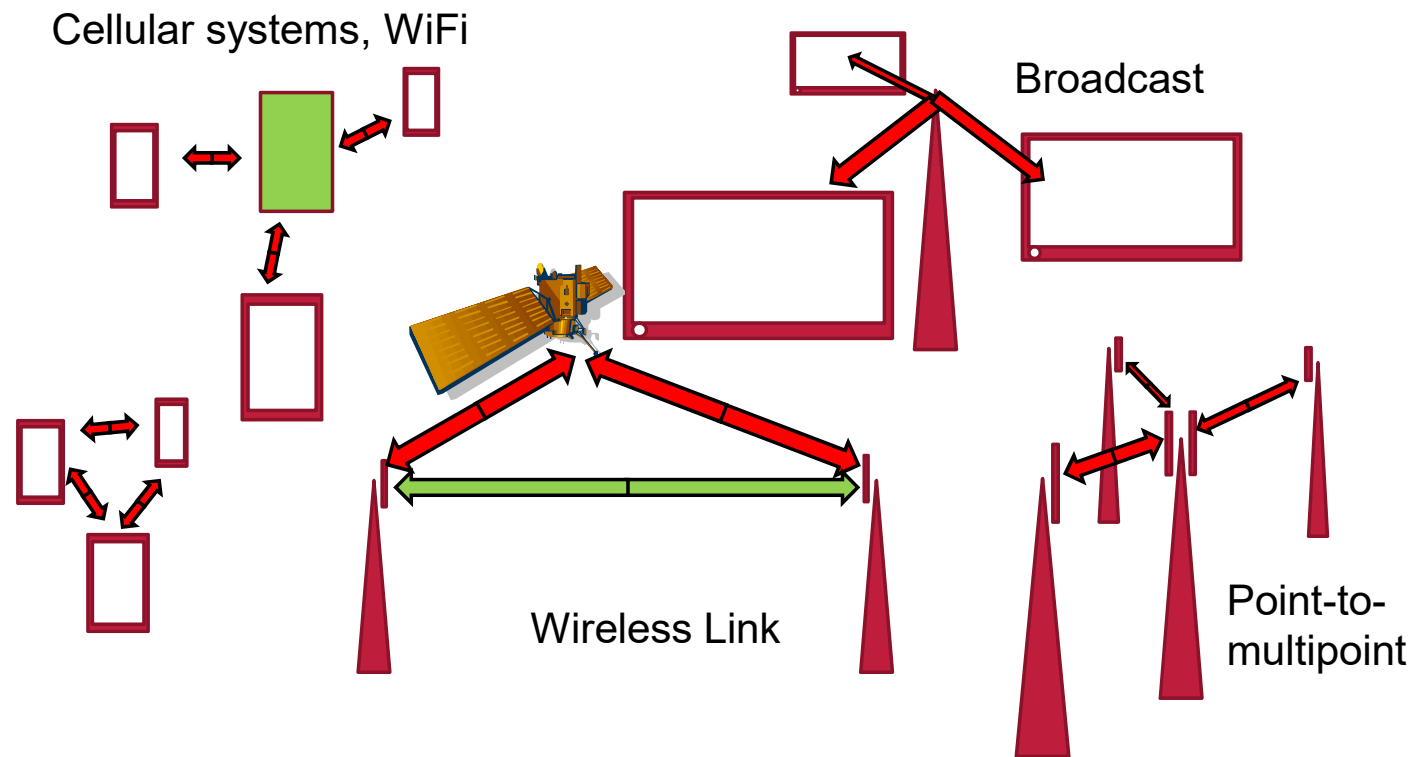
- Einführung
- **Der Kanal**
 - Optische Netze
 - Vielfachzugriffsverfahren
 - Rauschen
 - AWGN-Kanäle
 - **Kanalkapazität**

Inhalt

$$C = BE$$

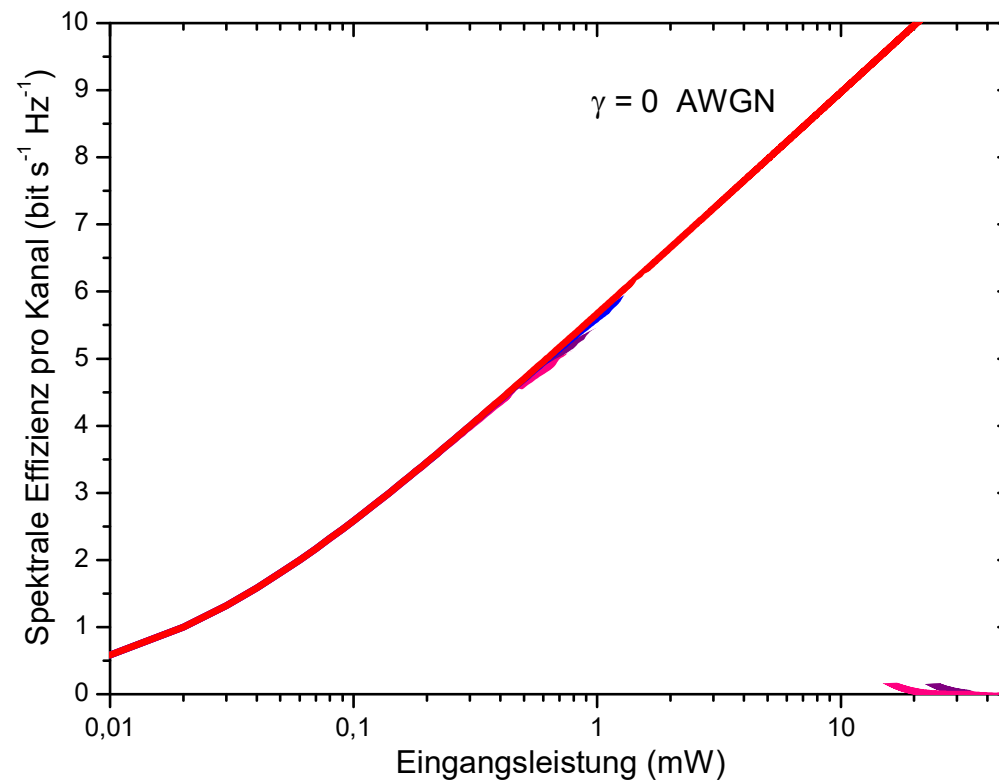
$$E = \log_2 \left(1 + \frac{S}{N} \right)$$

AWGN-Kanäle



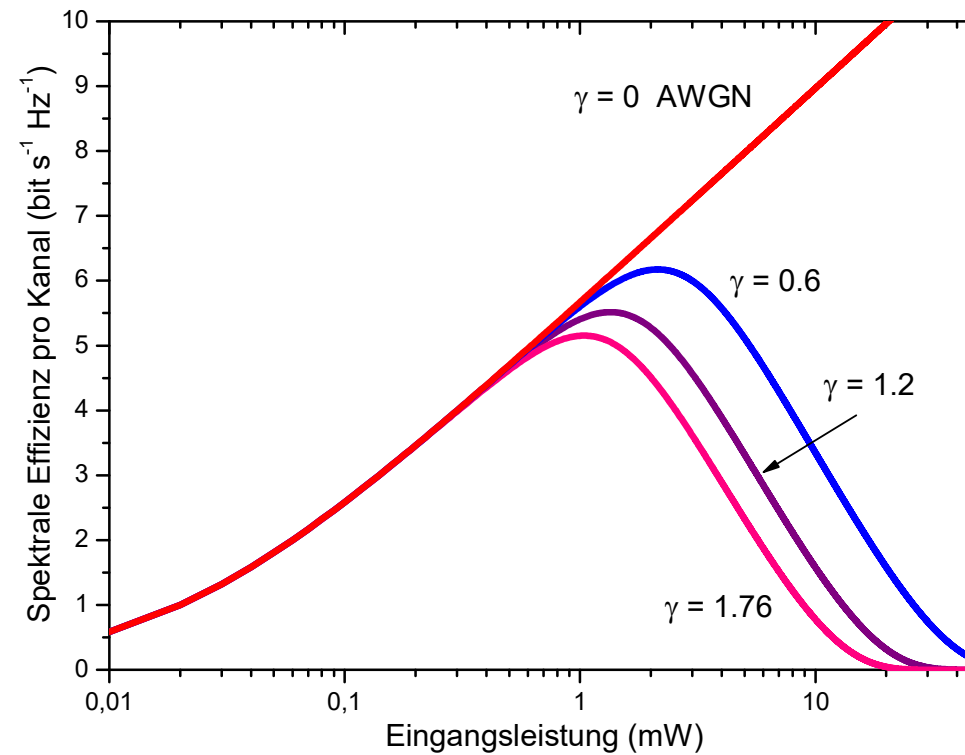
Der Kanal

Kanalkapazität AWGN

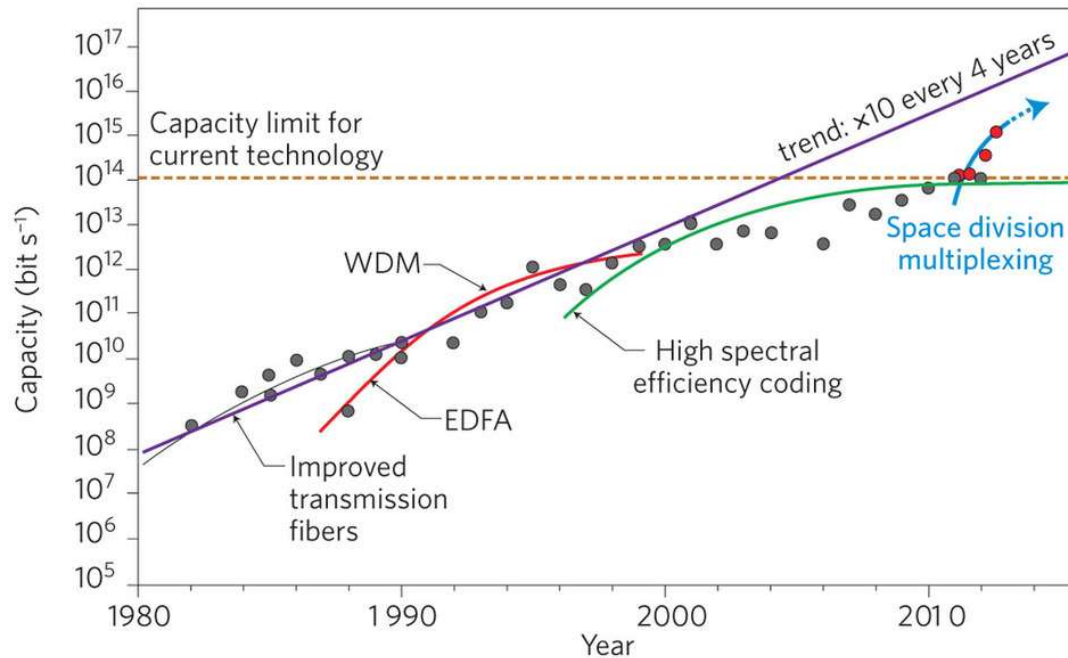


Der Kanal

Kanalkapazität Nichtlinearer Kanal



Der Kanal



Space-division multiplexing in optical fibres

• [D. J. Richardson, J. M. Fini & L. E. Nelson](#)

Nature Photonics **7**,354–362(2013)

The data points represent the highest capacity transmission numbers (all transmission distances considered) reported at the postdeadline sessions of the annual Optical Fiber Communications Conference over the period 1982 to the present.

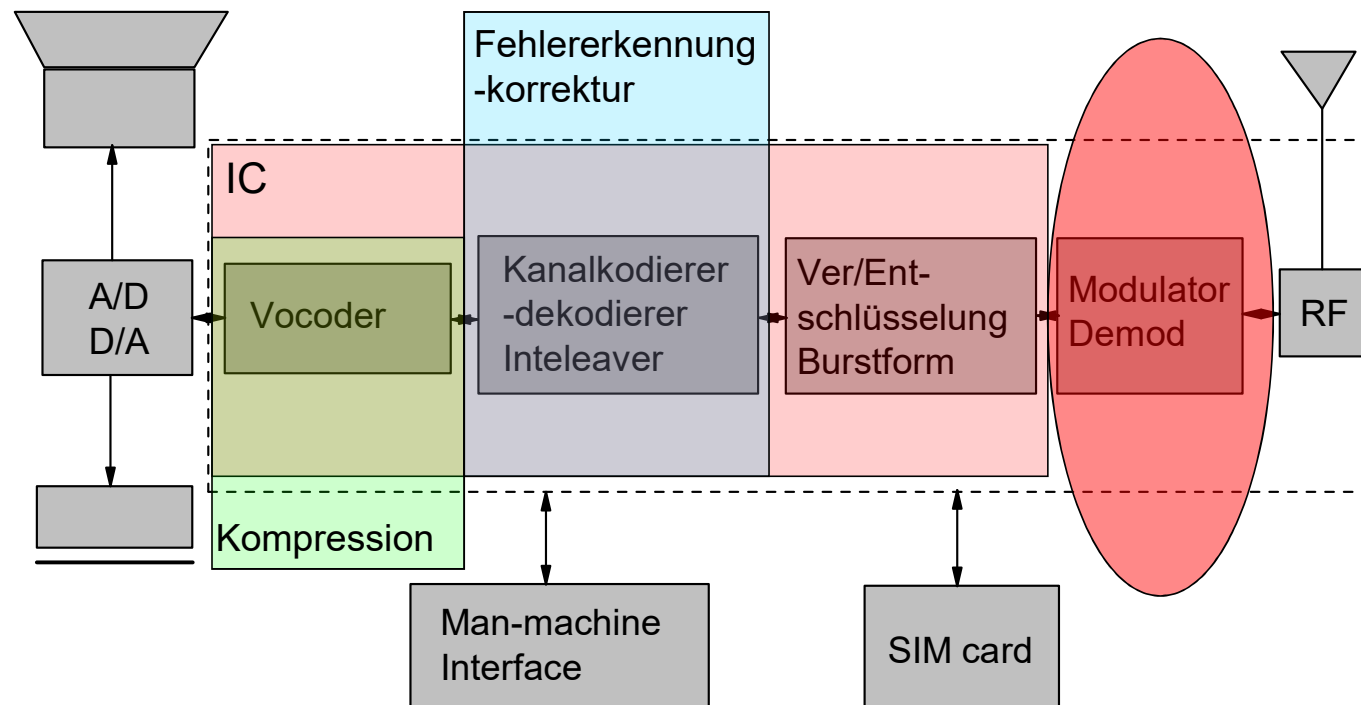
The transmission capacity of a single fibre increases by a factor of approximately 10 every four years.

Key previous technological breakthroughs include the development of low-loss SMFs, the EDFA, WDM and high-spectral-efficiency coding through DSP-enabled coherent transmission. The data points for SDM also include results from the postdeadline session of the annual European Conference on Optical Communications in 2011 and 2012. SDM seems poised to provide the next big jump in transmission capacity.

- Der drahtlose Kanal
 - Rauschen
 - **Modulation**
 - Bandbreite
 - AWGN Kanal

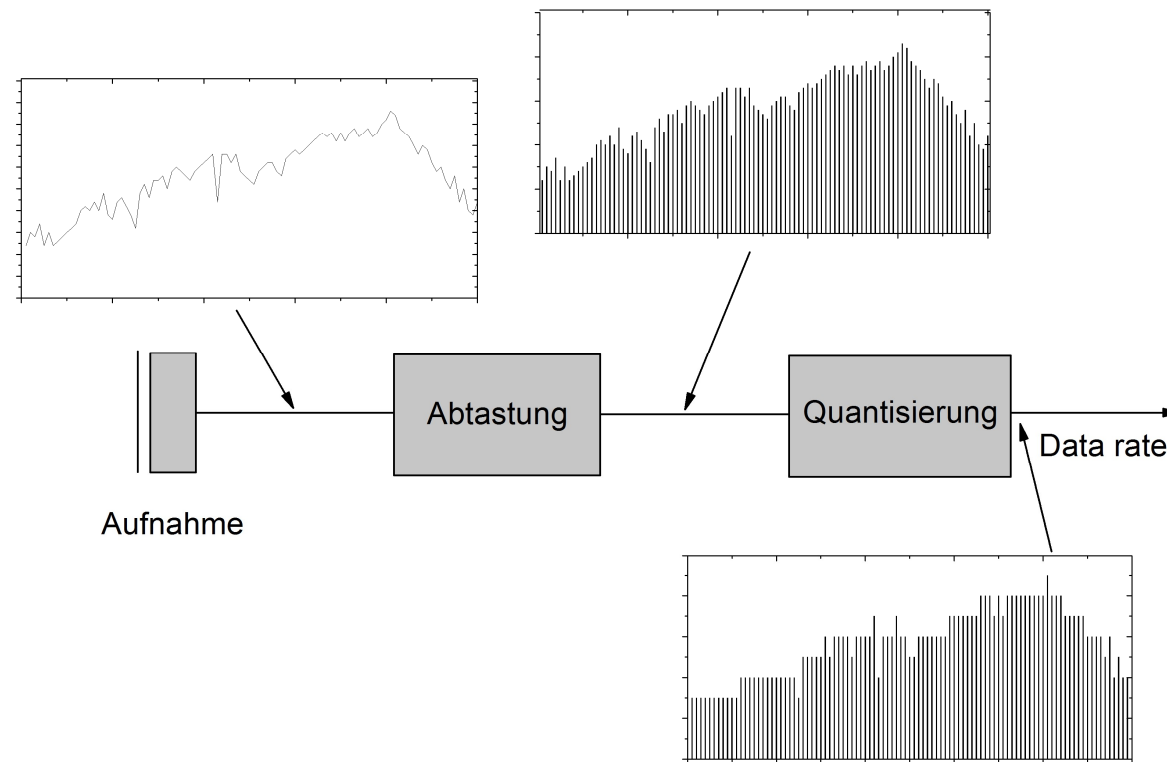
$$E(z, t) = \underbrace{|\hat{E}|}_{\text{Amplitude}} \cos(\underbrace{k_0 z - \omega t + \varphi_0}_{\substack{\text{Phase} \\ \omega = 2\pi f_T \text{ Frequency}}}) \underbrace{e_i}_{\text{Polarization}}$$

Drahtlose Kommunikation

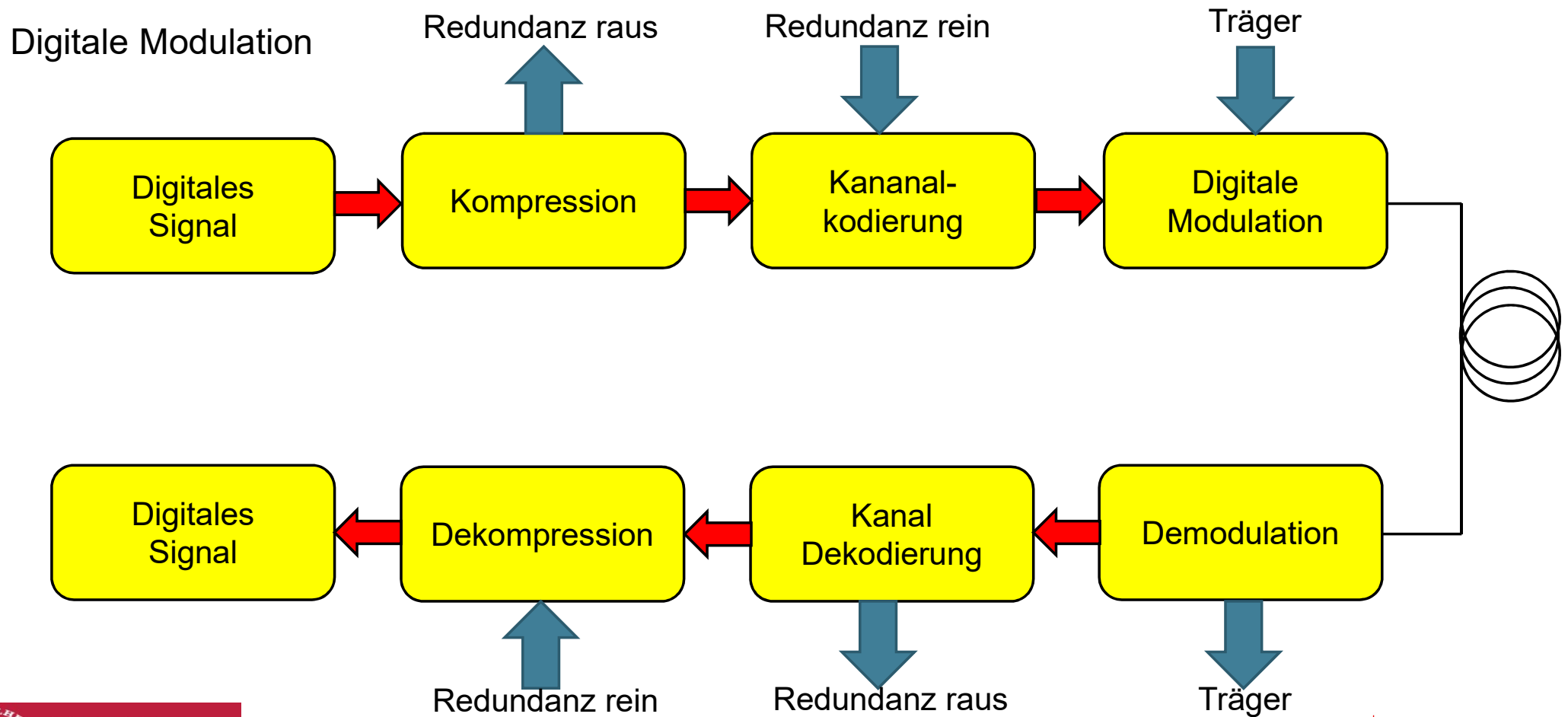


Modulation

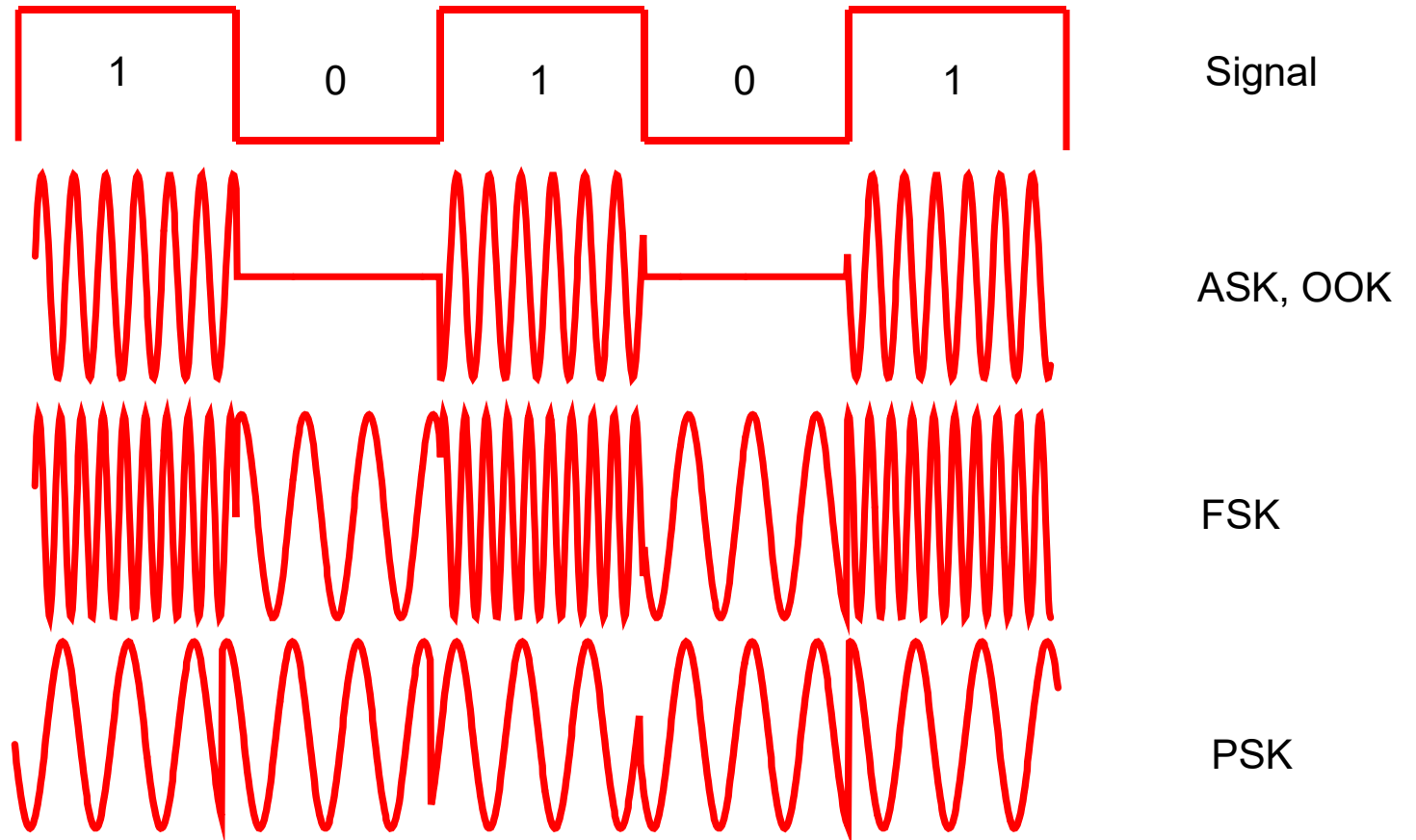
Digitale Modulation



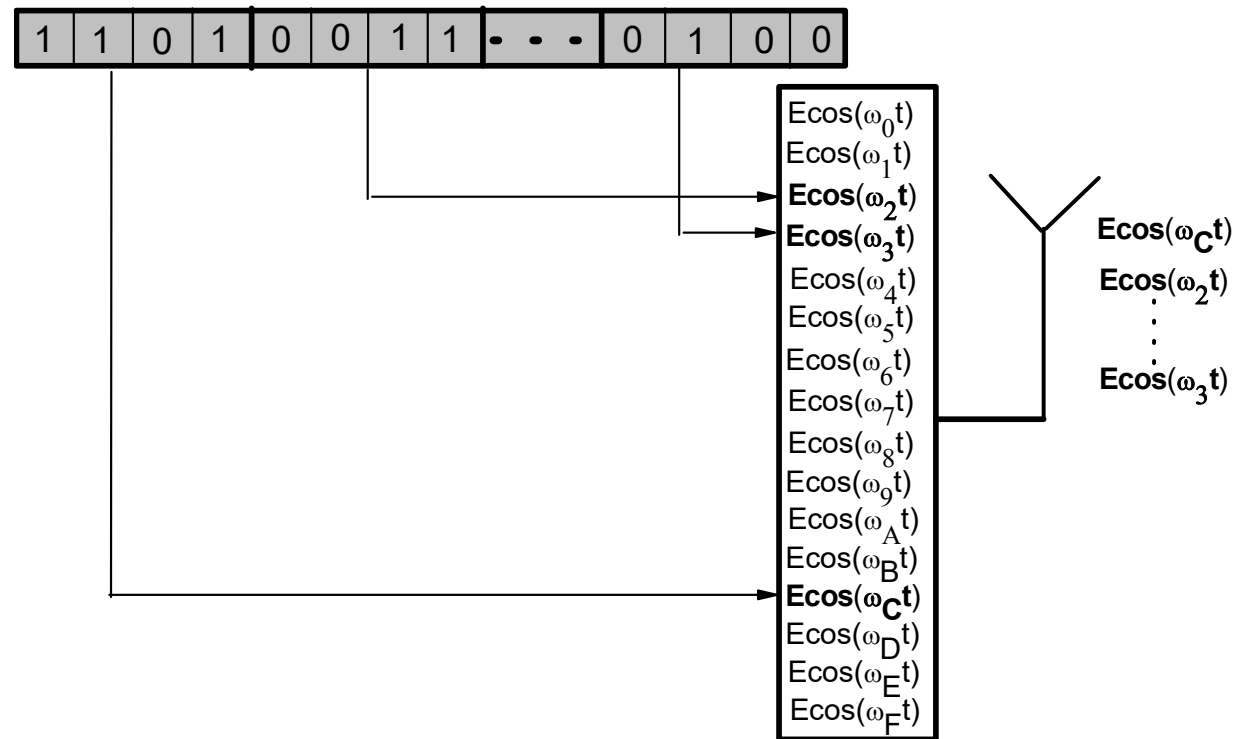
Modulation



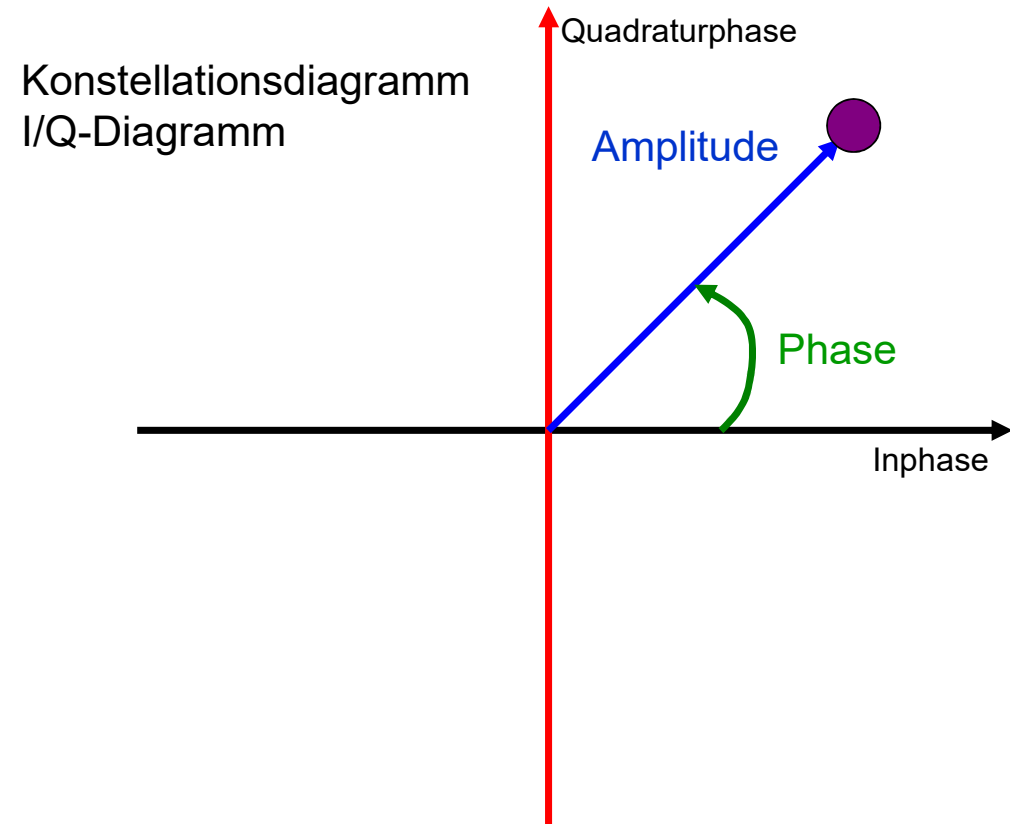
Digitale Modulation



Digitale Modulation

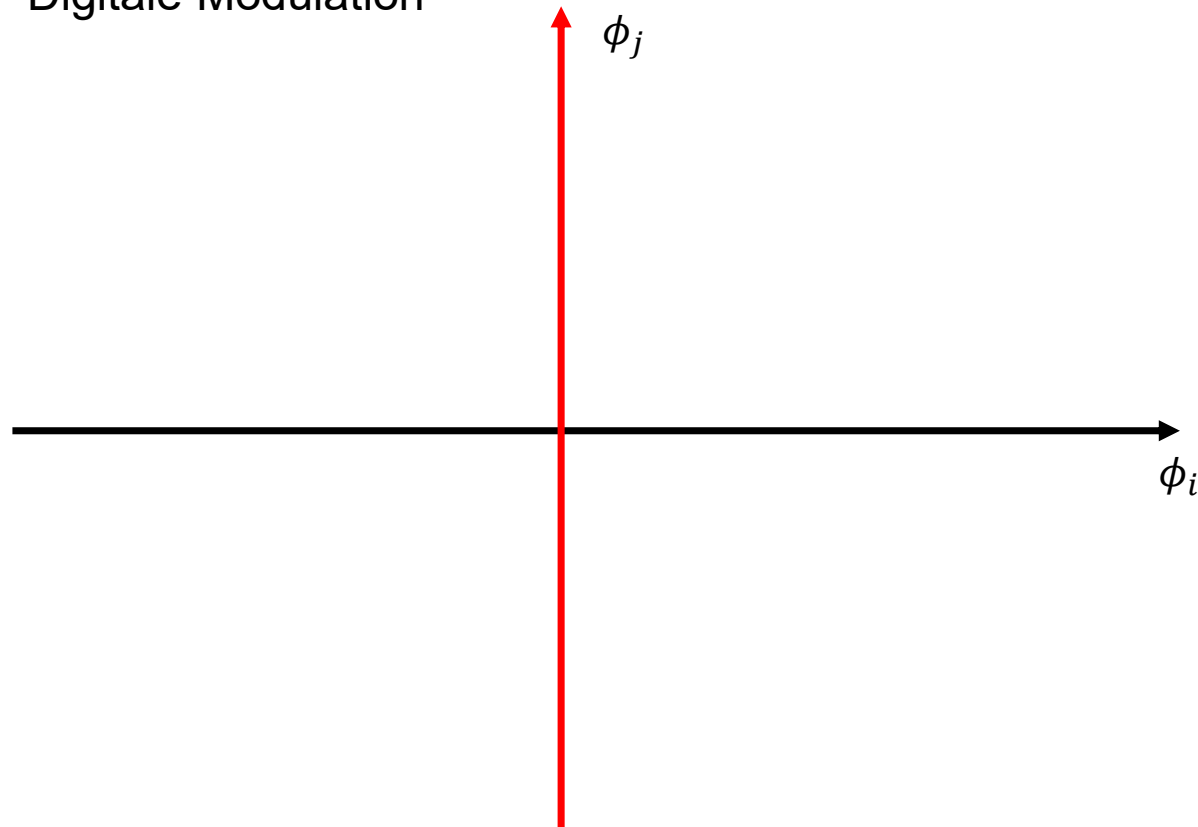


Digitale Modulation



Modulation

Digitale Modulation



$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_i(t) \phi_j(t) dt = 0$$

Orthogonalität

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_i^2 dt = 1$$

Normierung

Modulation

Digitale Modulation

$$\begin{aligned} S(t) &= A(t) \cos(\omega t - \varphi(t)) \\ &= A(t) [\cos(\varphi(t)) \cos(\omega t) + \sin(\varphi(t)) \sin(\omega t)] \end{aligned}$$

$$\phi_1(t) = B \cos(\omega t)$$

$$\phi_2(t) = B \sin(\omega t)$$

Normierung

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_i^2 dt = B^2 \int_{-\infty}^{\infty} \cos^2(\omega t) dt = 1$$

$$B^2 \frac{T_b}{2} = 1$$

$$B = \sqrt{\frac{2}{T_b}}$$

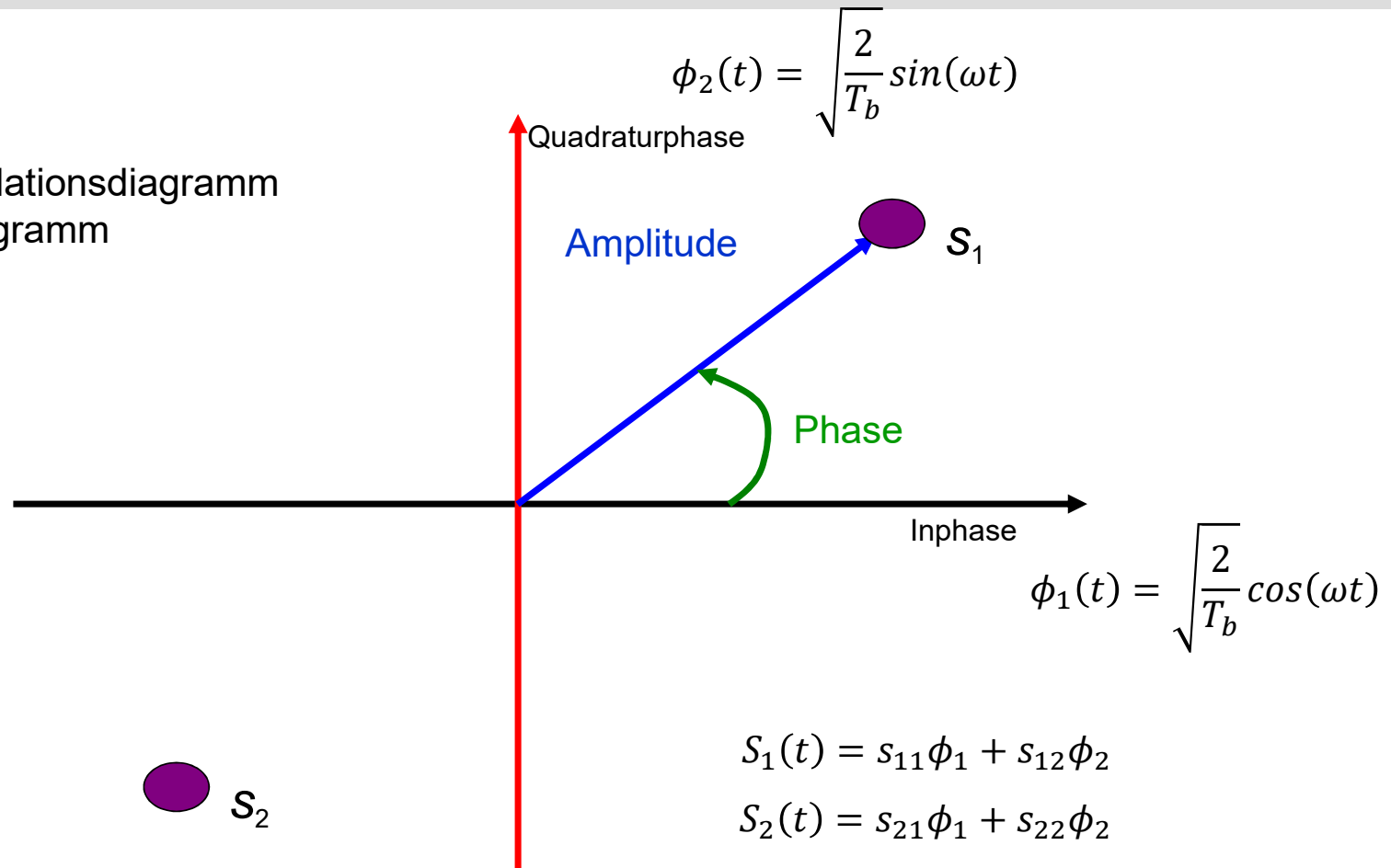
Orthogonalität

$$\int_{-\infty}^{\infty} \phi_i(t) \phi_j(t) dt = B^2 \int_{-\infty}^{\infty} \cos(\omega t) \sin(\omega t) dt = B^2 \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2} \sin(2\omega t) dt = 0$$

Modulation

Digitale Modulation

Konstellationsdiagramm
I/Q-Diagramm



Modulation

BPSK $S(t) = A(t) \cos(\omega t - \varphi(t))$

„0“ $\varphi(t) = 0$

„1“ $\varphi(t) = \pi$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \sin(\omega t)$$

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(\omega t)$$

Modulation

BPSK $S(t) = A(t) \cos(\omega t - \varphi(t))$

„0“ $\varphi(t) = 0$

„1“ $\varphi(t) = \pi$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \sin(\omega t)$$

$$\phi_1(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \cos(\omega t)$$

$$S_1(t) = \frac{A}{B} B \cos(\omega t) \cos(0) + \frac{A}{B} B \sin(\omega t) \sin(0)$$

$$S_2(t) = \frac{A}{B} B \cos(\omega t) \cos(\pi) + \frac{A}{B} B \sin(\omega t) \sin(\pi)$$

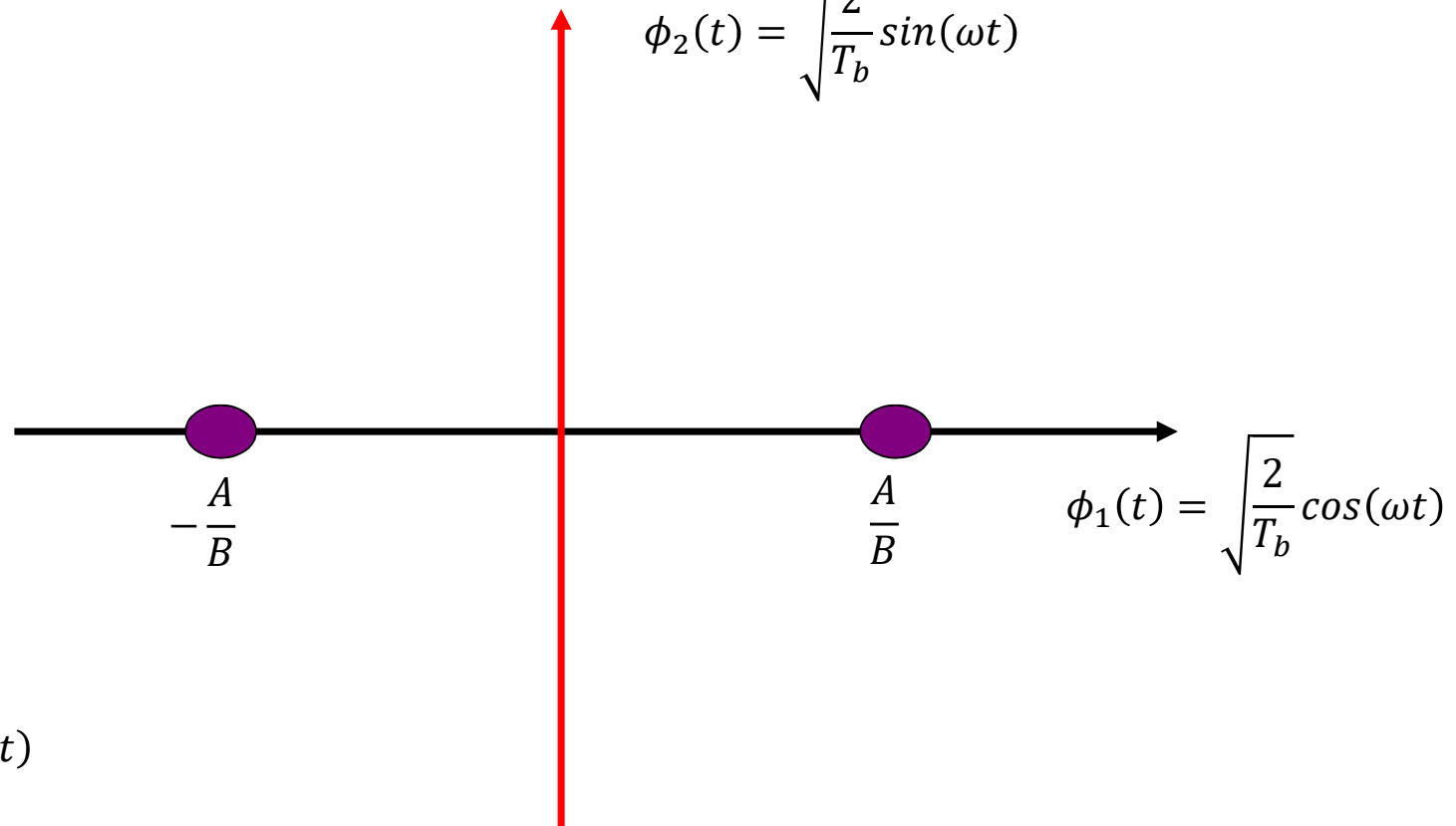
Modulation

BPSK $S(t) = A(t) \cos(\omega t - \varphi(t))$

„0“ $\varphi(t) = 0$

„1“ $\varphi(t) = \pi$

$$\phi_2(t) = \sqrt{\frac{2}{T_b}} \sin(\omega t)$$

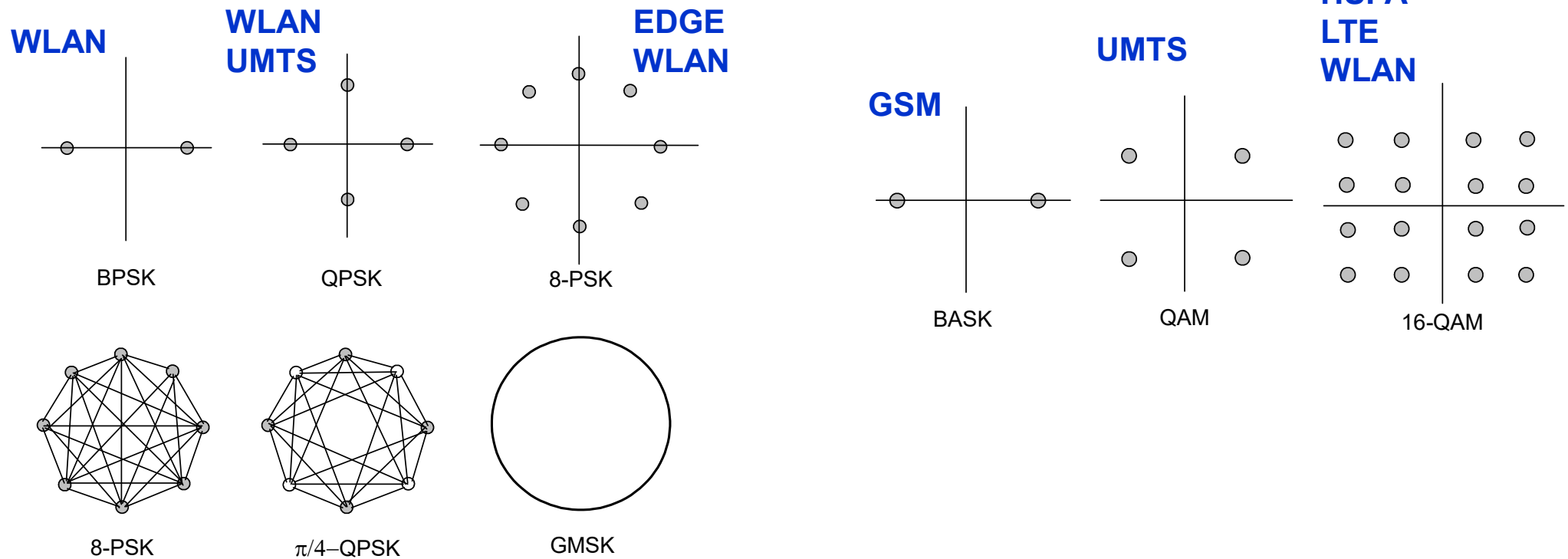


$$S_1(t) = \frac{A}{B} B \cos(\omega t)$$

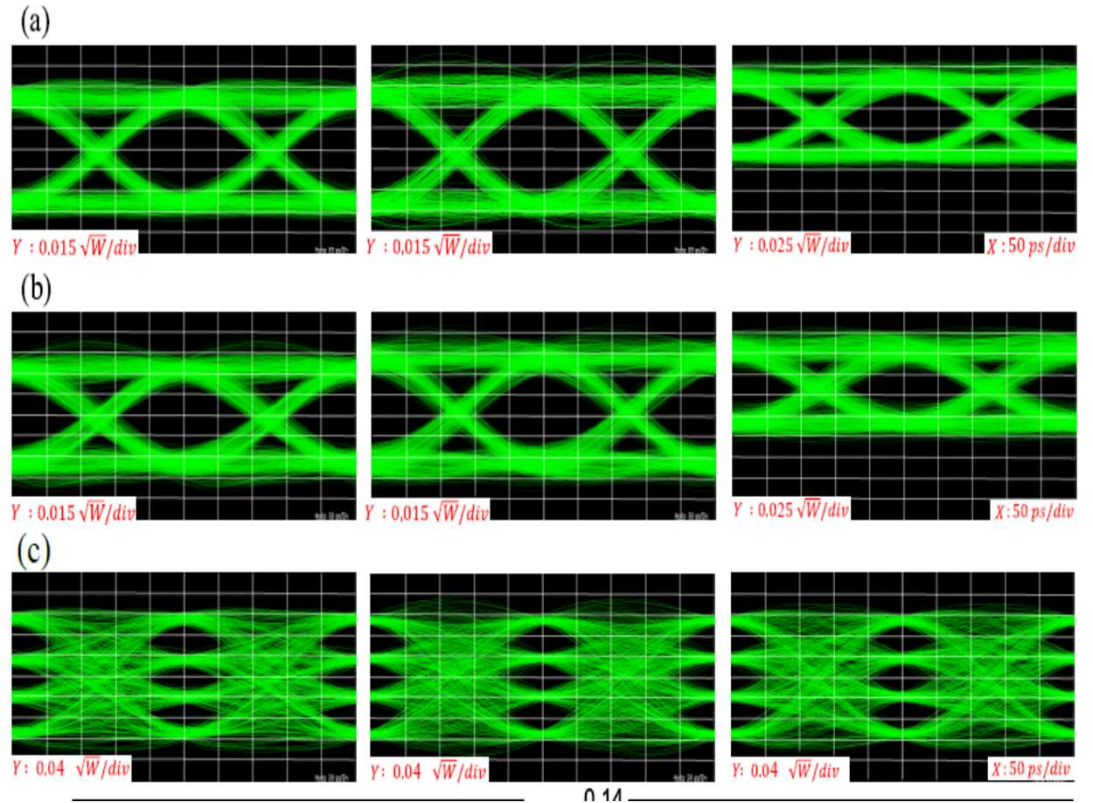
$$S_2(t) = -\frac{A}{B} B \cos(\omega t)$$

Drahtlose Kommunikation

Digitale Modulation

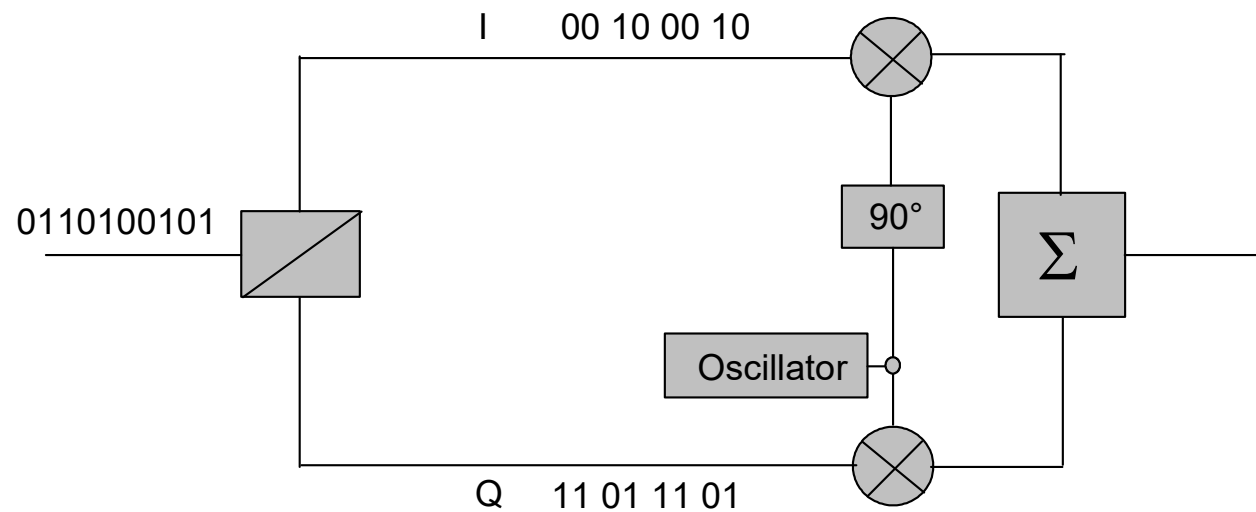


Digitale Modulation



Digitale Modulation

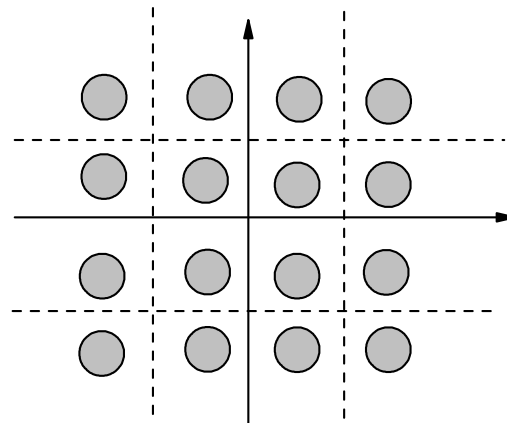
I-Q-Modulator



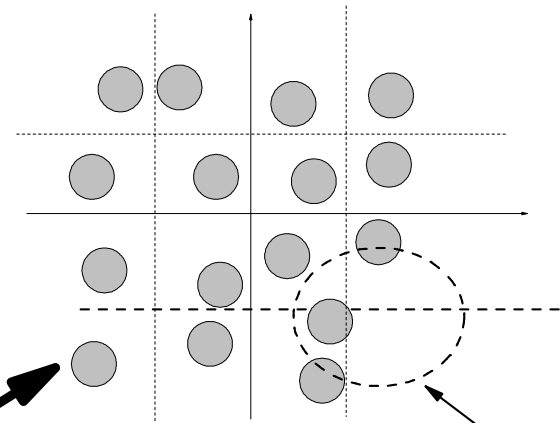
Digitale Modulation

Bitfehlerwahrscheinlichkeit
(bit error rate (BER))

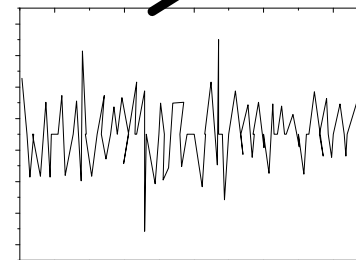
I-Q-Diagramm ohne Rauschen



I-Q-Diagramm mit Rauschen



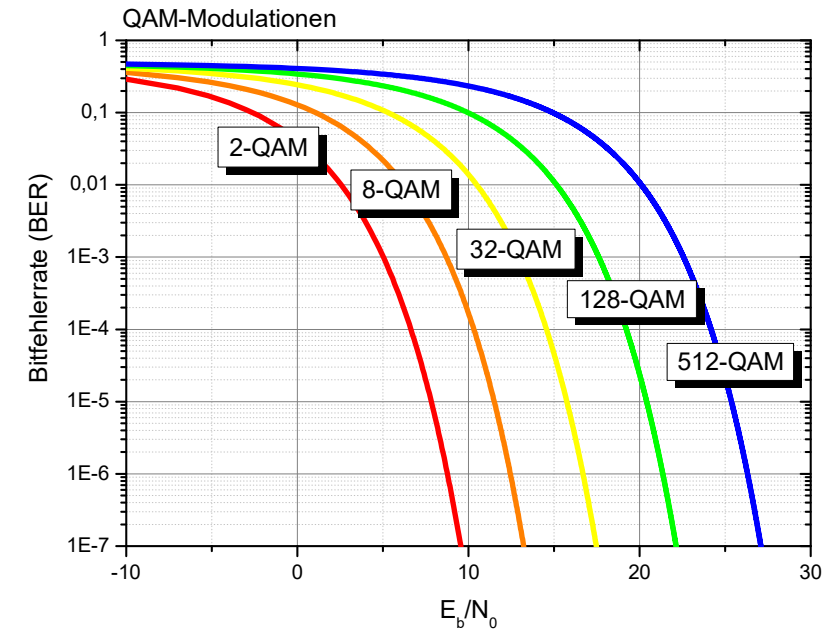
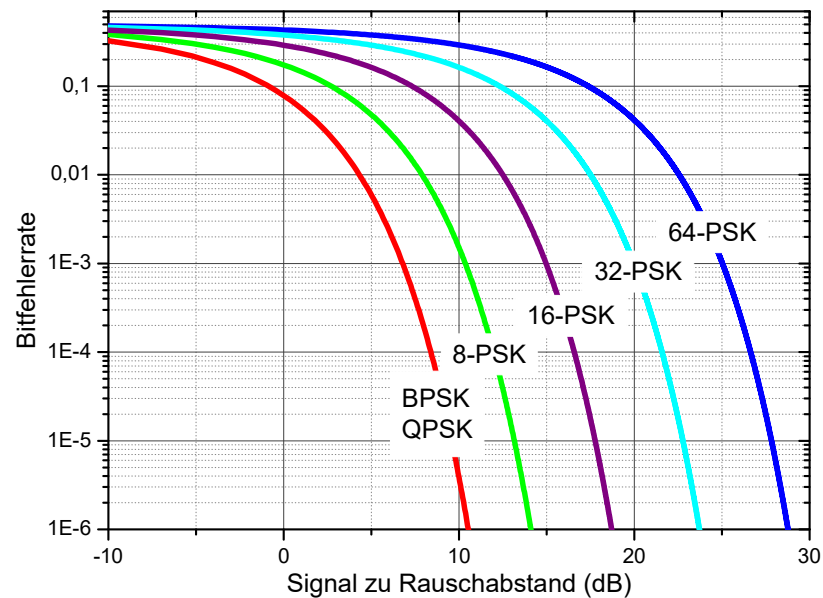
Fehler



Rauschen

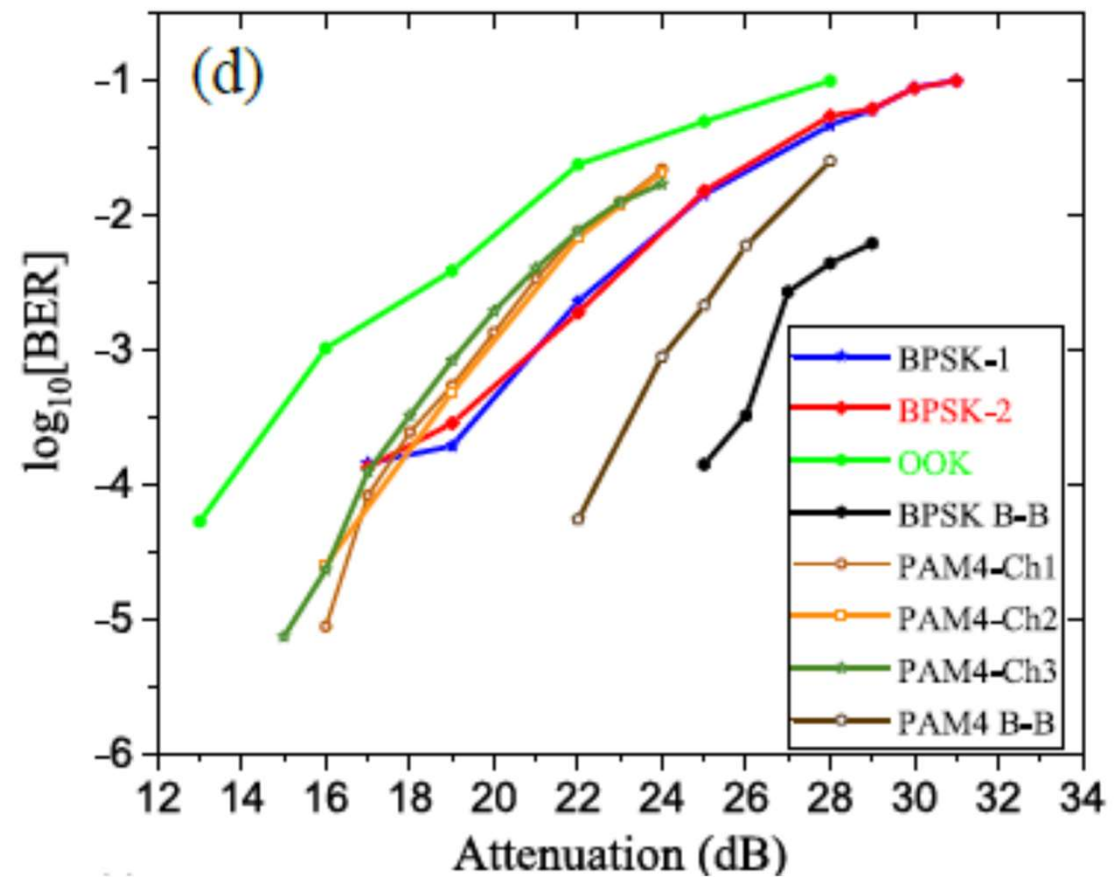
Digitale Modulation

Bitfehlerwahrscheinlichkeit
(bit error rate (BER))



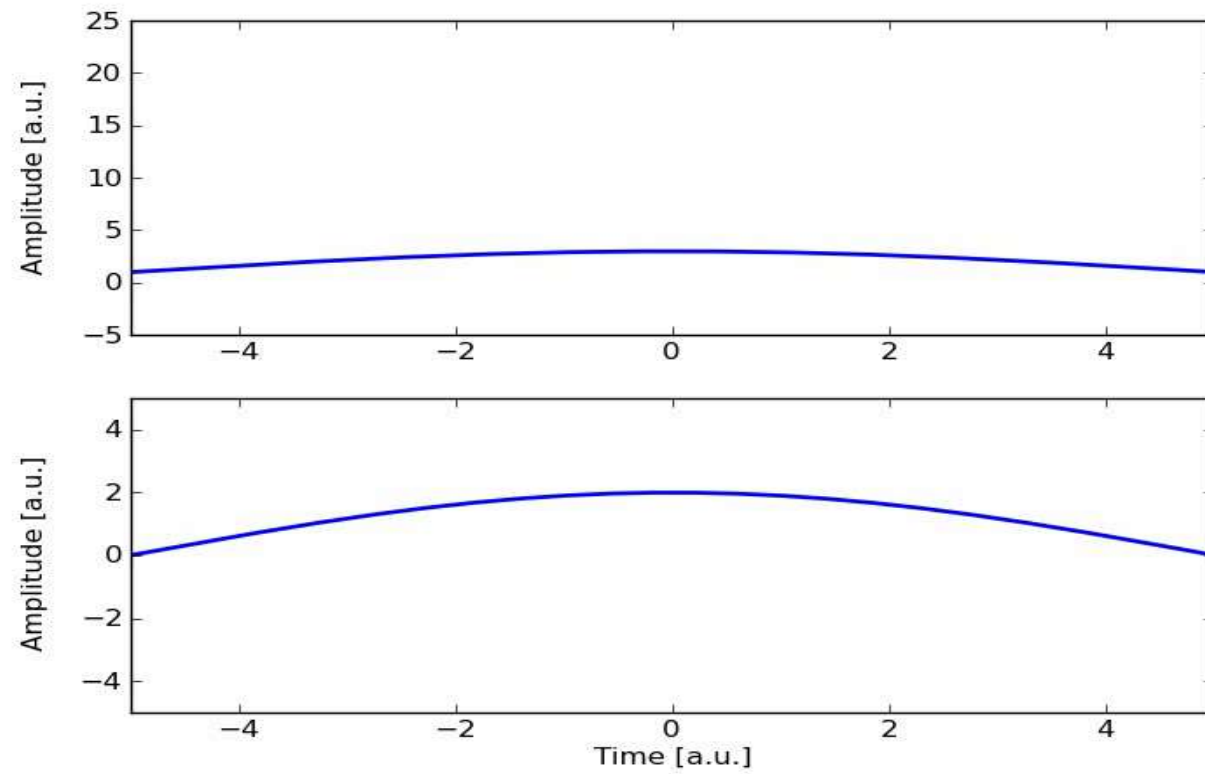
Digitale Modulation

Bitfehlerwahrscheinlichkeit
(bit error rate (BER))

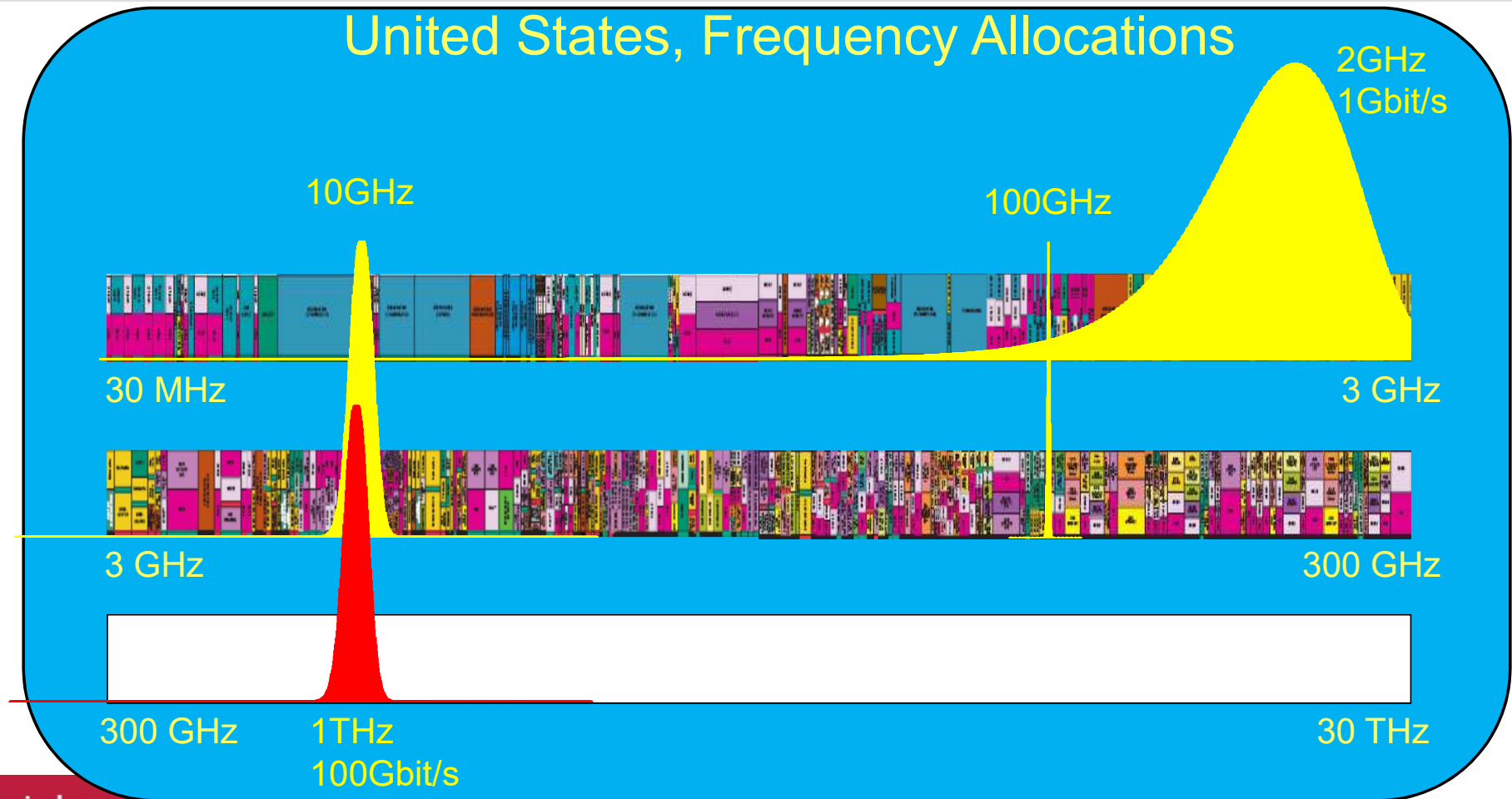


- Der drahtlose Kanal
 - Rauschen
 - Modulation
 - **Bandbreite**
 - AWGN Kanal

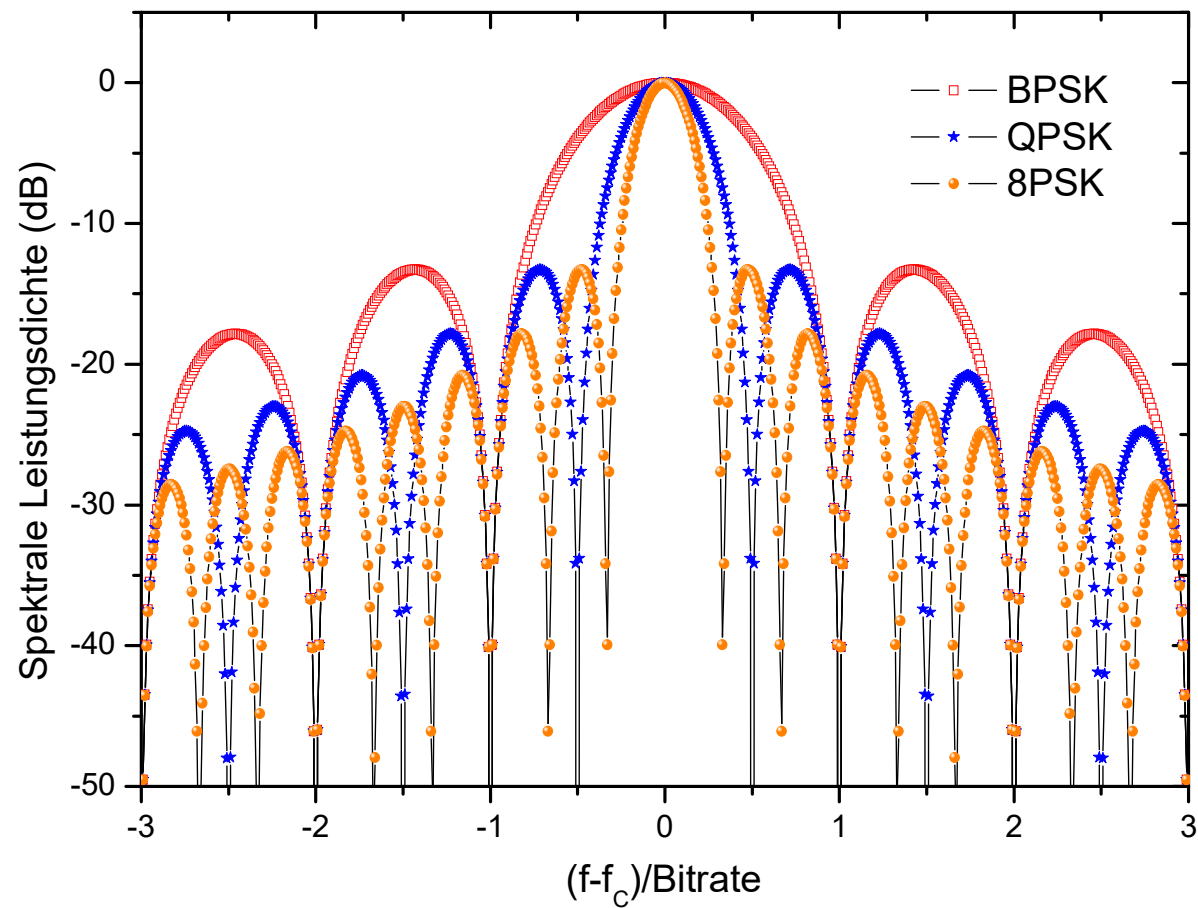
Drahtlose Kommunikation



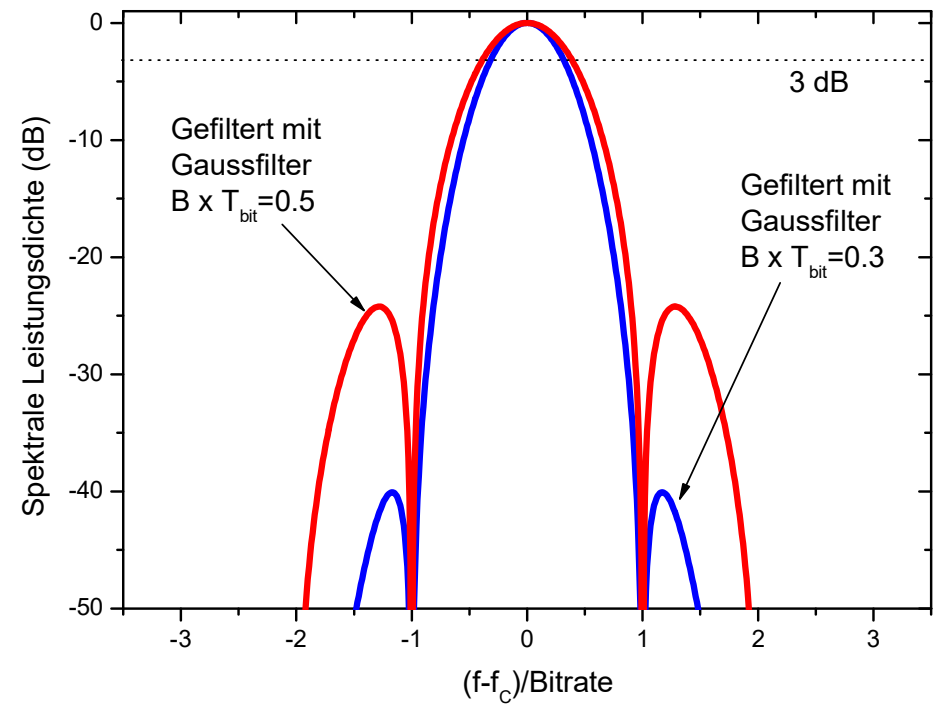
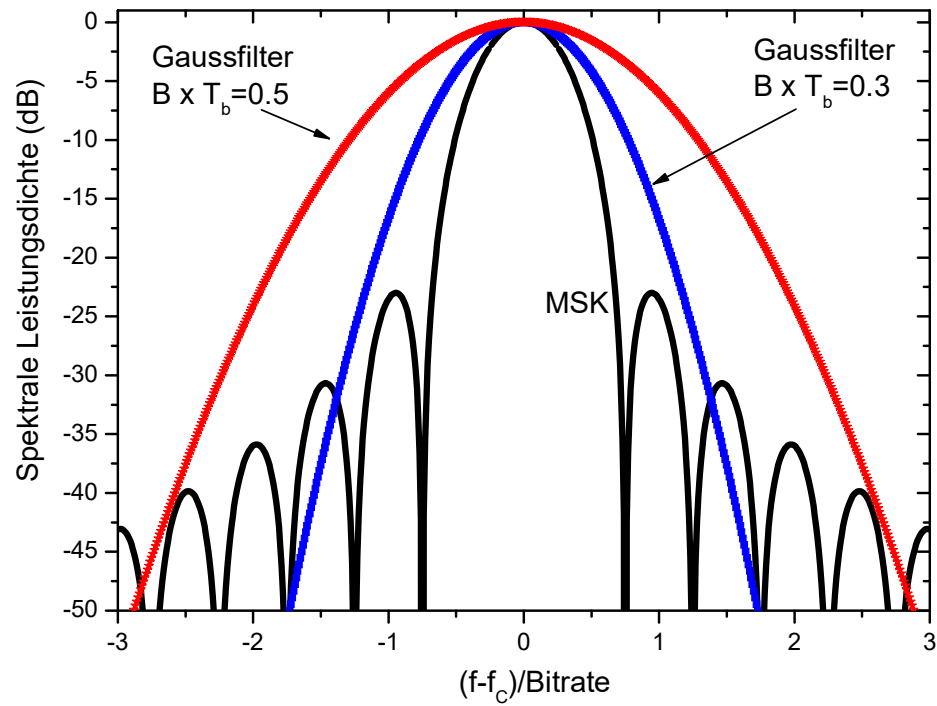
Drahtlose Kommunikation



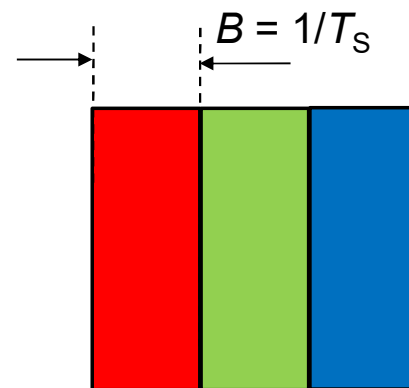
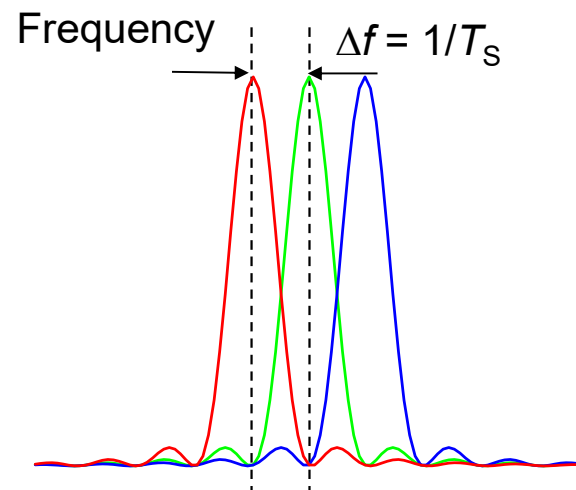
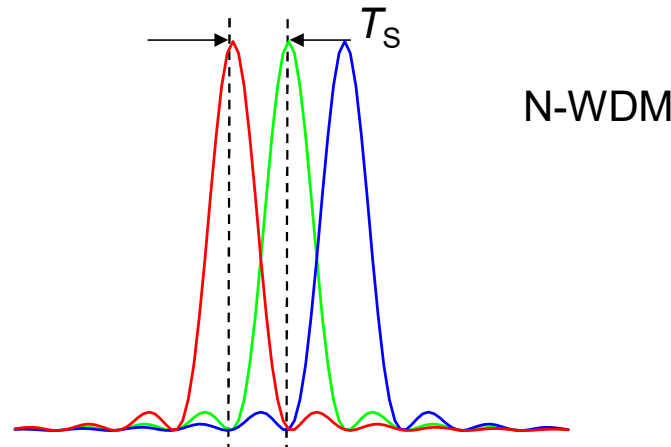
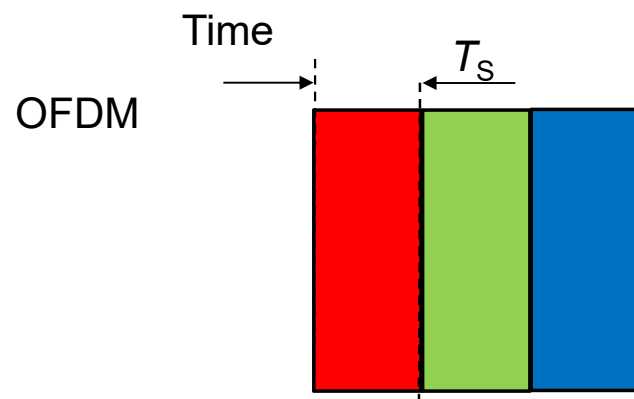
Drahtlose Kommunikation



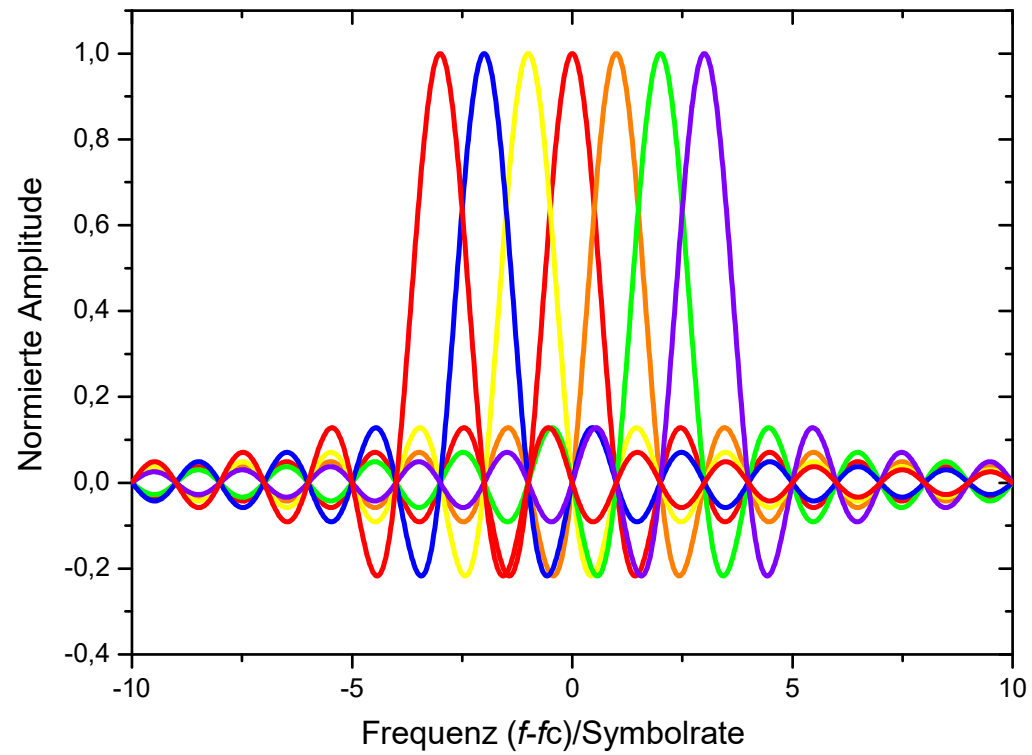
Drahtlose Kommunikation



Drahtlose Kommunikation



Drahtlose Kommunikation



DVB-T
LTE
WLAN

Modulation

112.5 Gbaud DP-16QAM/WDM-DP-QPSK System Employing Electrically-Windowed Optical Nyquist Pulse Generation and Time Multiplexing with Full-Field Coherent Detection

Robert Borkowski⁽¹⁾, Edson Porto da Silva⁽¹⁾, Stefan Preussler⁽²⁾, Fabian Schwartau⁽²⁾, Simone Gaiarin⁽¹⁾, Miguel I. Olmedo^(1,4), Armand Vedadi⁽³⁾, Molly Piels⁽¹⁾, Michael Galili⁽¹⁾, Pengyu Guan⁽¹⁾, Sergei Popov⁽⁴⁾, Camille-Sophie Brès⁽³⁾, Thomas Schneider⁽²⁾, Leif Katsuo Oxenløwe⁽¹⁾, and Darko Zibar^(1,*)

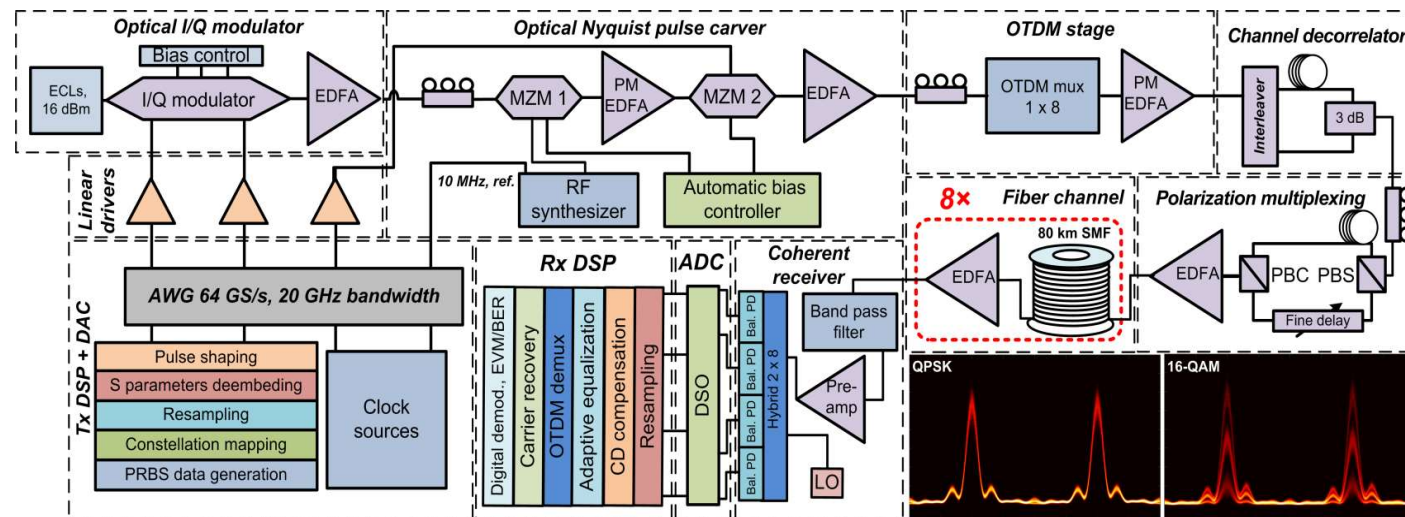
⁽¹⁾ DTU Fotonik – Department of Photonics Engineering, Technical University of Denmark (DTU),

DK-2800, Kgs. Lyngby, Denmark, *dazi@fotonik.dtu.dk

⁽²⁾ Institut für Hochfrequenztechnik, Technische Universität Braunschweig, D-38106 Braunschweig, Germany

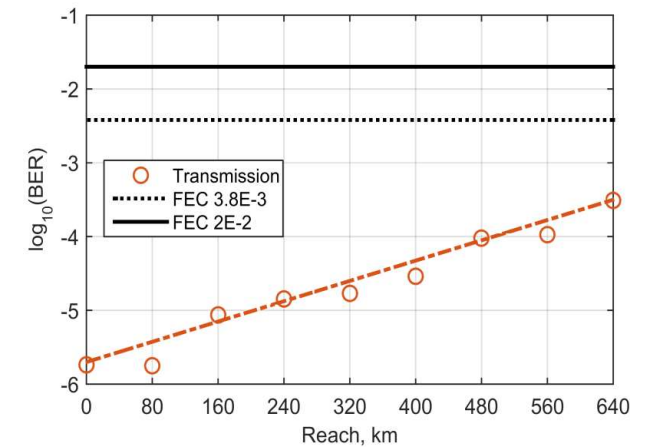
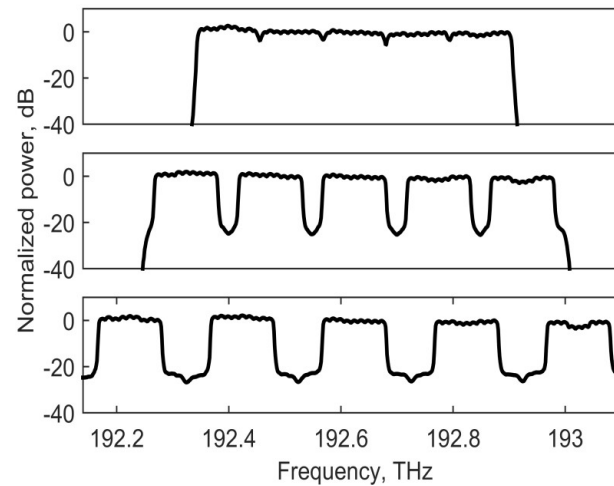
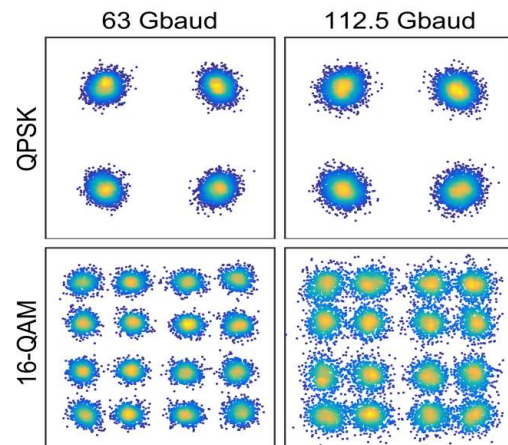
⁽³⁾ Photonic Systems Laboratory (PHOSL), STI-IEL, École Polytechnique Fédérale de Lausanne (EPFL), CH-1015, Lausanne, Switzerland

⁽⁴⁾ Optics and Photonics (OFO), School of ICT, Royal Institute of Technology (KTH), SE-164 40, Kista, Sweden



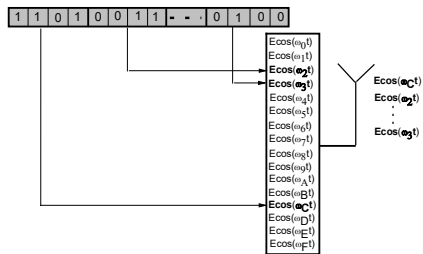
Modulation

Spektral effiziente Bandbreitennutzung



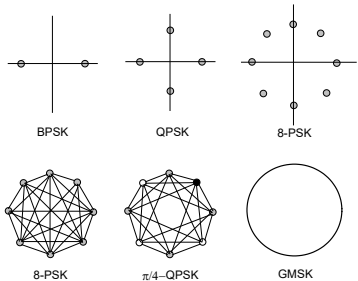
Drahtlose Kommunikation

- In der modernen Telekommunikation wird fast ausschließlich die digitale Modulation verwendet.
- Die Vorteile der digitalen Modulation liegen in ihrer Implementierbarkeit in IC's bzw. in Software und der Möglichkeit Kompressions-, Fehlererkennungs- und Fehlerkorrektur - Mechanismen sowie kryptografische Verfahren anzuwenden.
- Für die Übertragung von Informationen und damit für die Modulation stehen 4 Parameter zur Verfügung, die Amplitude (ASK), die Frequenz (FSK) und die Phase (PSK).
- Im Prinzip bedeutet digitale Modulation nichts anderes als die Auswahl einer bestimmten Wellenform aus einer endlichen Menge möglicher Wellenformen.

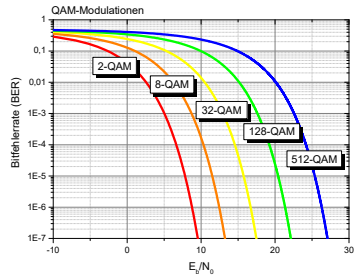


Drahtlose Kommunikation

- Digitale Modulationsverfahren werden in einem Inphase-Quadratur Koordinatensystem bzw. einem Konstellationsdiagramm dargestellt.
- Jeder Punkt in diesem Diagramm stellt ein mögliches Signal der Modulation dar.
- Der Abstand zwischen den Punkten bestimmt die Toleranz gegenüber Rauscheinflüssen und die spektrale Effizienz des Verfahrens.
- Der Signal-zu-Rauschabstand (SNR) ist das Verhältnis zwischen der Signal- und der Rauschleistung.
- Der SNR bestimmt die Bitfehlerwahrscheinlichkeit und damit die Datenrate einer Verbindung.
- Rauschen ist ungewollte Energie die, zusätzlich zum eigentlichen Signal, am Empfänger umgesetzt wird.
- Bei modernen Kommunikationssystemen ist vor allem das interne Rauschen der Empfänger von Bedeutung.



Drahtlose Kommunikation



- Die Rauschzahl eines Verstärkers gibt das Verhältnis zwischen dem Ausgangs- und Eingangsrauschen des Systems geteilt durch den Verstärkungsfaktor an.
- In einem AWGN-Kanal hat das Rauschen eine konstante Leistungsverteilung über sein Spektrum und eine Normalverteilung über seine Leistung.
- Ein AWGN-Kanal tritt in Kabeln oder für Richtfunk- Satellitensysteme auf, mobile Funkssysteme arbeiten hingegen in einem Rayleigh- oder Rice-Kanal.
- Die BER ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein gesendetes Bit vom Empfänger falsch interpretiert wird.
- Die BER hängt vom SNR und dem Euklidischen Abstand der Symbole im Konstellationsdiagramm ab.
- Die Kapazität eines Übertragungskanals ist die maximal mögliche Bitrate mit der eine Information fehlerfrei über einen rauschenden Kanal übertragen werden kann.
- Die Kapazität des Kanals wird durch seine Bandbreite und die spektrale Effizienz bestimmt.
- In einem AWGN-Kanal hängt die spektrale Effizienz nur vom SNR ab.