

Drahtlose Netzwerke

Grundlagen und Einsatzfelder

Bitübertragungsschicht

(PHY-Layer)

Signale I

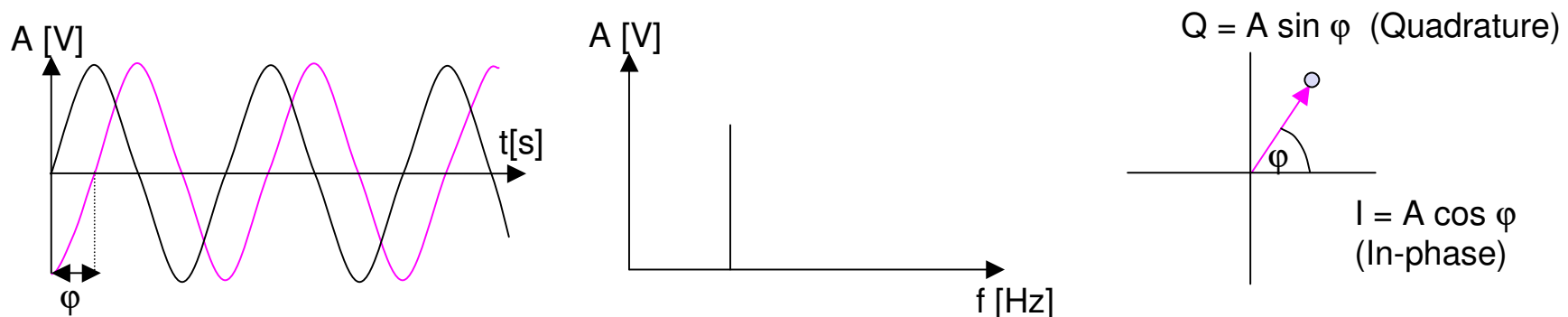
- **Physikalische Darstellung von Daten**
- **Zeitabhängig oder ortsabhängig**
- **Signalparameter: Kenngrößen, deren Wert oder Werteverlauf die Daten repräsentieren**
- **Einteilung in Klassen nach Eigenschaften:**
 - zeitkontinuierlich oder zeitdiskret
 - wertkontinuierlich oder wertdiskret
 - **Analogsignal = zeit- und wertkontinuierlich**
 - **Digital signal = zeit- und wertdiskret**
- **Signalparameter periodischer Signale: Periode T, Frequenz $f=1/T$, Amplitude A, Phasenverschiebung φ**
- **Sinusförmige Trägerschwingung als spezielles periodisches Signal:**
 - $s(t) = A_t \sin(2 \pi f_t t + \varphi_t)$



Signale II

➤ **Verschiedene Darstellungen eines Signals:**

- Amplitudenspektrum (Amplitude über Zeit)
- Frequenzspektrum (Amplitude oder Phase über Frequenz)
- Phasenzustandsdiagramm (Amplitude A und Phasenwinkel φ werden in Polarkoordinaten aufgetragen)



➤ **Zusammengesetzte Signale mittels Fourier-Transformation in Frequenzkomponenten aufteilbar**

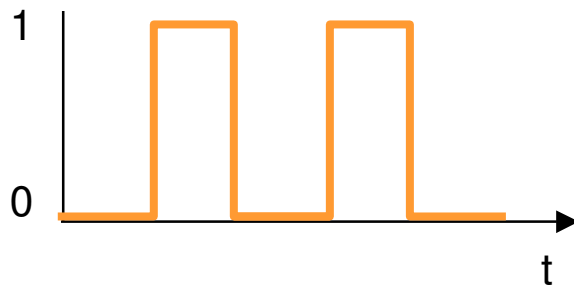
➤ **Digitalsignale besitzen Rechteckflanken**

- im Frequenzspektrum unendliche Bandbreite
- zur Übertragung Modulation auf analoge Trägersignale

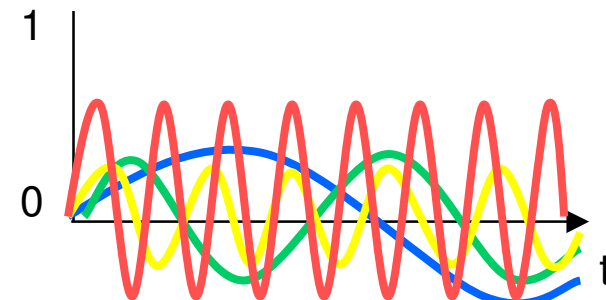
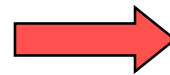


Fourier-Repräsentation

$$g(t) = \frac{1}{2}c + \sum_{n=1}^{\infty} a_n \sin(2\pi nft) + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \cos(2\pi nft)$$



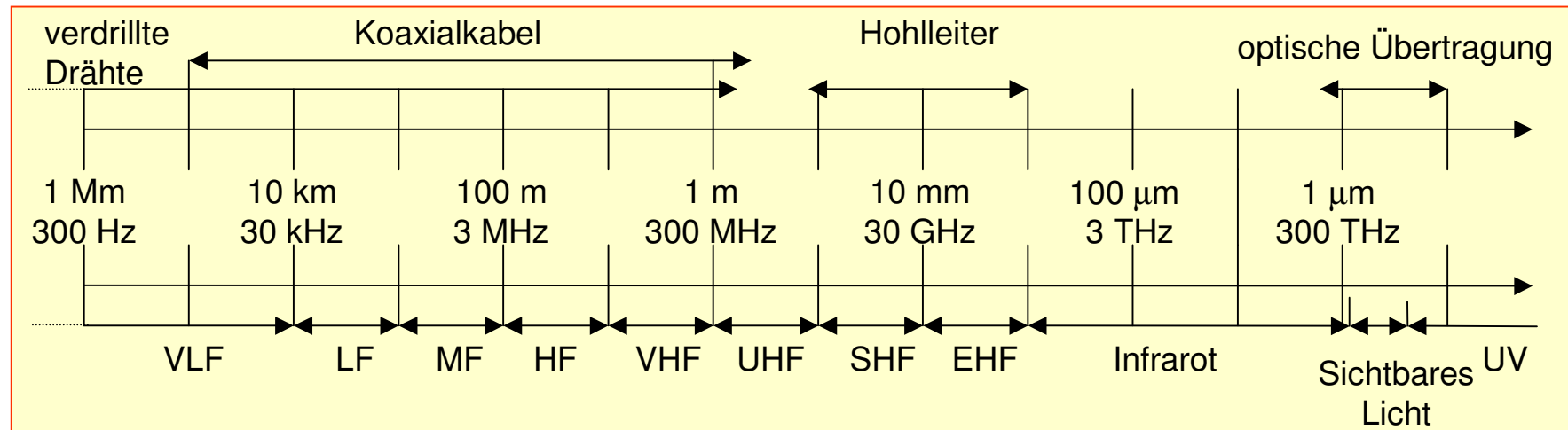
ideales
periodisches Signal



reale Komposition
(basierend auf
Harmonischen)



Frequenzbereiche I



VLF = Very Low Frequency

LF = Low Frequency (Langwellen-Radio)

MF = Medium Frequency (Mittelwellen-Radio)

HF = High Frequency (Kurzwellen-Radio)

VHF = Very High Frequency (UKW-Radio)

UHF = Ultra High Frequency

SHF = Super High Frequency

EHF = Extra High Frequency

UV = Ultraviolettes Licht

Zusammenhang zwischen
Frequenz und Wellenlänge:

$$\lambda = c/f$$

mit Wellenlänge λ

Lichtgeschwindigkeit $c \cong 3 \times 10^8 \text{ m/s}$

Frequenz f



Frequenzbereiche II

- **VHF-/UHF-Bereich für Mobilfunk**
 - handhabbare, einfache Fahrzeugantennen
 - Ausbreitungsbedingungen vorhersehbar für zeitlich zuverlässige Verbindungen (wenig Überreichweiten, nicht zu stark reflektierte Wellen)

- **Frequenzen ab SHF-Bereich für Richtfunkstrecken, Satellitenkommunikation**
 - überschaubare Antennenabmessungen mit starker Bündelwirkung
 - Größere Bandbreiten verfügbar

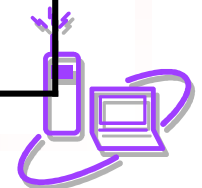
- **Für drahtlose LANs Frequenzen ab UHF-Bereich bis SHF-Bereich**
 - geplant auch bis in EHF-Bereich
 - Begrenzung durch Resonanz von Molekülen (Wasser, Sauerstoff etc.)
 - dadurch starke witterungsbedingte Dämpfungen



Frequenzen und Regulierungen I

➤ **Beispiele für Betriebsfrequenzen im Mobilkommunikationsbereich: (alle Freq. in MHz)**

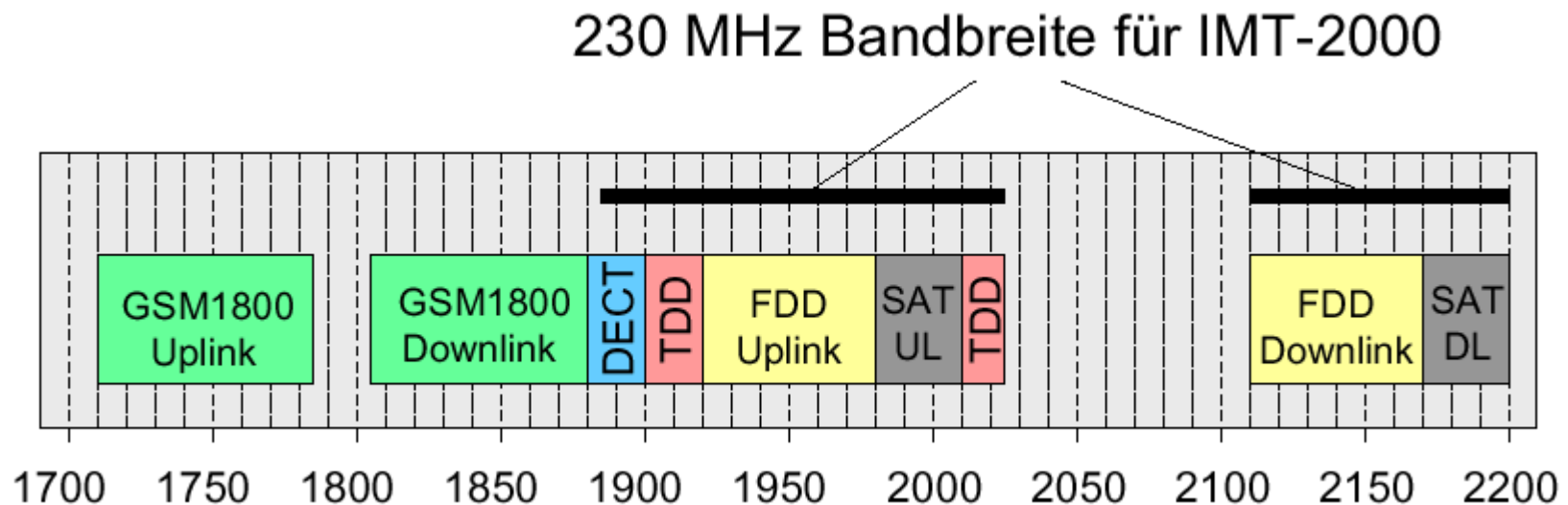
	Europa	USA	Japan
Mobiltelefone	GSM 450-457, 479-486/460-467, 489-496, 890-915/935-960, 1710-1785/1805-1880 UMTS (FDD) 1920-1980, 2110-2190 UMTS (TDD) 1900-1920, 2020-2025	AMPS, TDMA, CDMA 824-849, 869-894 TDMA, CDMA, GSM 1850-1910, 1930-1990	PDC 810-826, 940-956, 1429-1465, 1477-1513
Schnurlose Telefone	CT1+ 885-887, 930-932 CT2 864-868 DECT 1880-1900	PACS 1850-1910, 1930-1990 PACS-UB 1910-1930	PHS 1895-1918 JCT 254-380
Drahtlose LAN	IEEE 802.11 2400-2483, 5150-5250 HiPeRLAN/2 5150-5350, 5470-5725	IEEE 802.11 2400-2483, 5150-5350, 5725-5825	IEEE 802.11 2471-2497, 5150-5250
Andere	RF-Control 27, 128, 418, 433, 868	RF-Control 315, 915	RF-Control 426, 868



Frequenzen und Regulierungen II

➤ UMTS Frequenzzuteilung in Europa

- IMT-2000 (International Mobile Telecommunications at 2000 MHz)



Signalausbreitungsbereiche

➤ **Durch Dämpfung bewirkt**

- Bodenwellen
- Raumwellen
- Sichtverbindung (LOS)

➤ **Übertragungsbereich**

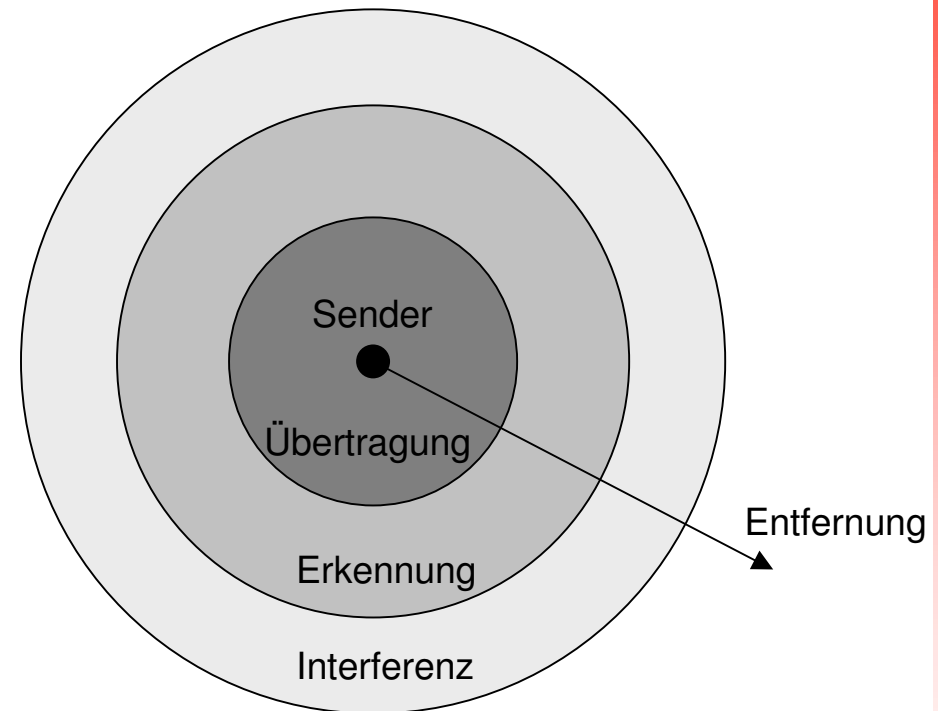
- Kommunikation möglich
- niedrige Fehlerrate

➤ **Erkennungsbereich**

- Signalerkennung möglich
- keine Kommunikation möglich

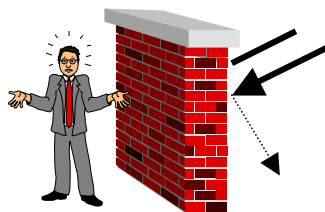
➤ **Interferenzbereich**

- Signal kann nicht detektiert werden
- Signal trägt zum Hintergrundrauschen bei

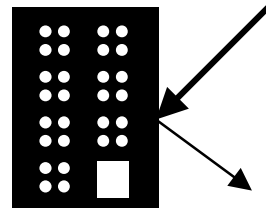


Signalausbreitung

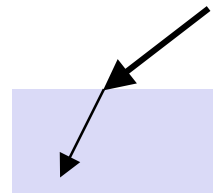
- Ausbreitung im freien Raum grundsätzlich geradlinig (wie Licht)
- Empfangsleistung nimmt mit $1/d^2$ ab
(d = Entfernung zwischen Sender und Empfänger)
- Empfangsleistung wird außerdem u.a. beeinflusst durch
 - Freiraumdämpfung
 - frequenzabhängig
 - Abschattung durch Hindernisse
 - Reflektion an großen Flächen
 - Refraktion in Abhängigkeit der Dichte der Medien
 - Streuung an kleinen Hindernissen
 - Beugung an scharfen Kanten



Abschattung



Reflektion



Refraktion



Streuung

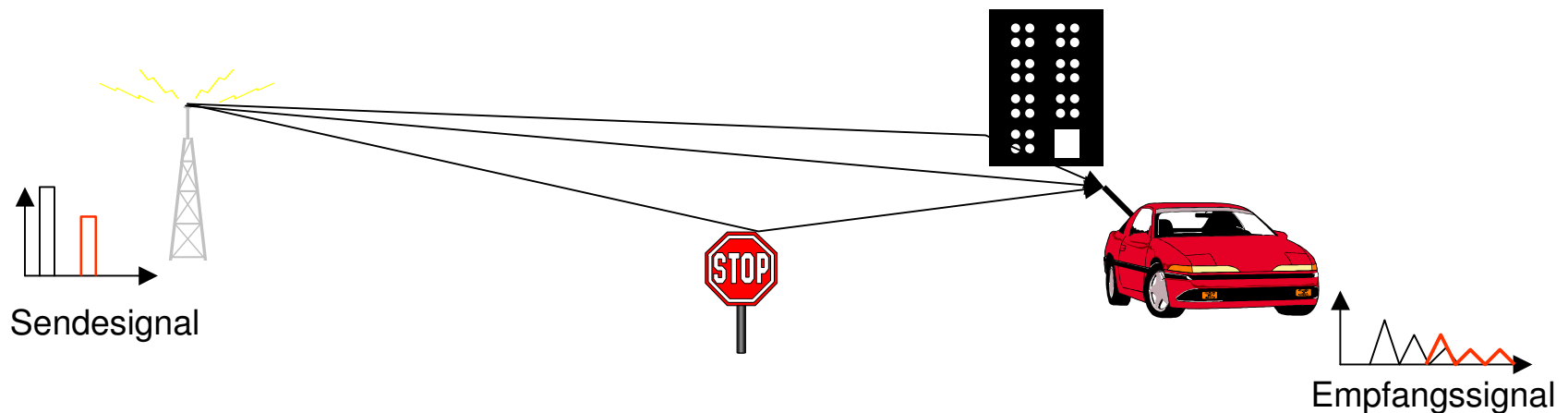


Beugung



Mehrwegeausbreitung

- Signal kommt aufgrund von Reflektion, Streuung und Beugung auf mehreren Wegen beim Empfänger an



- Signal wird zeitlich gestreut
 - Interferenz mit Nachbarsymbolen
- Direkte und phasenverschobene Signalanteile werden empfangen
 - je nach Phasenlage abgeschwächtes Signal



Auswirkungen der Mobilität

➤ **Übertragungskanal ändert sich mit dem Ort der Mobilstation und der Zeit**

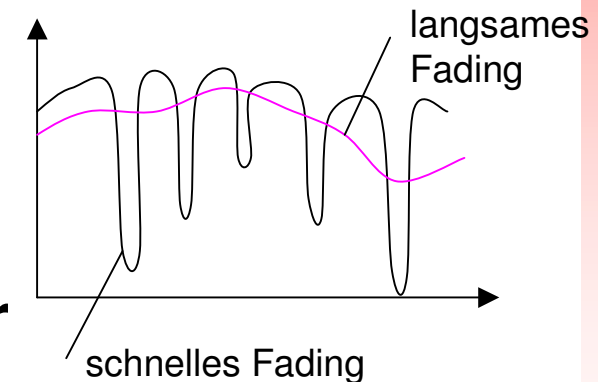
- Übertragungswege ändern sich
- unterschiedliche Verzögerungsbreite der Einzelsignale
- unterschiedliche Phasenlage der Signalanteile

➔ **kurzzeitige Einbrüche in der Empfangsleistung (schnelles Fading)**

➤ **Zusätzlich ändern sich**

- Entfernung von der Basisstation
- Hindernisse in weiterer Entfernung

➔ **langsame Veränderungen in der (durchschnittlichen) Empfangsleistung (langsames Fading)**



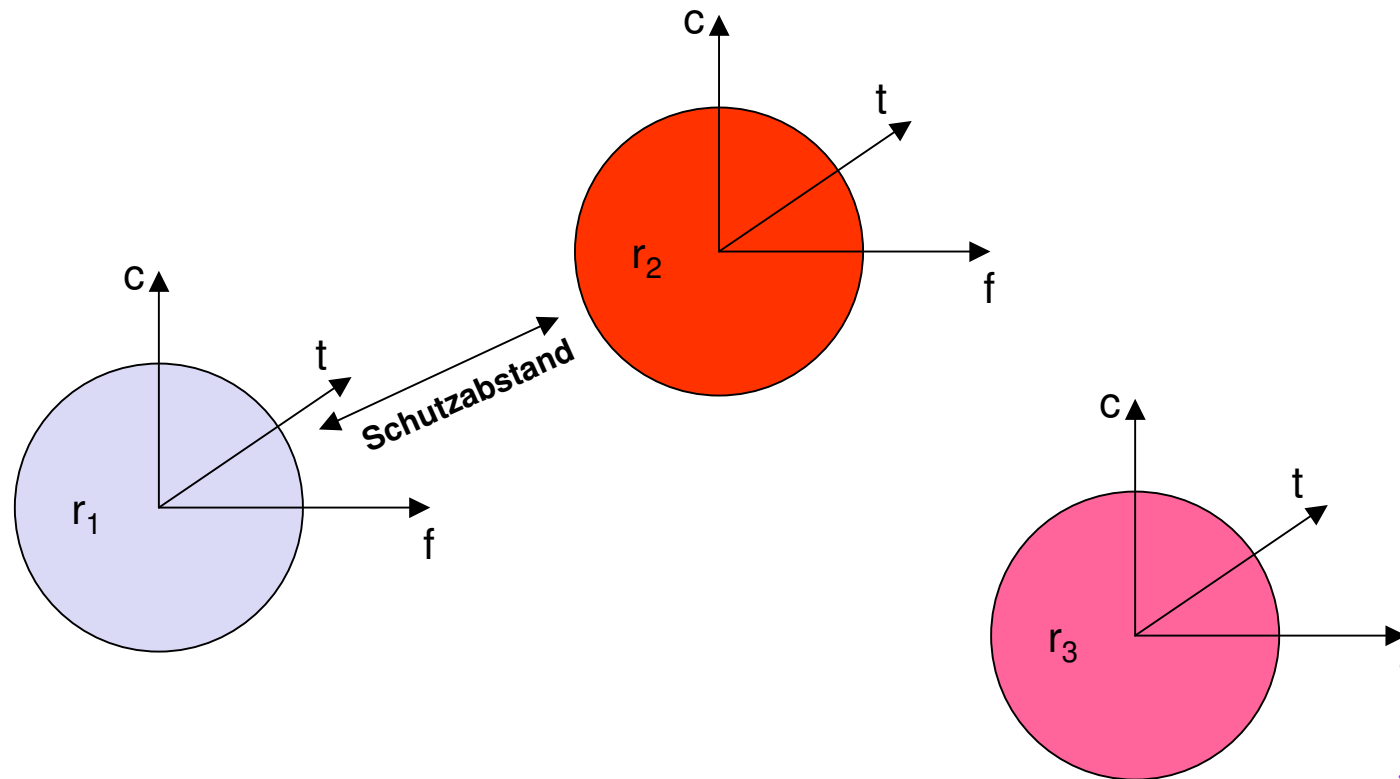
Multiplexen

- **Ziel: Mehrfachnutzung des gemeinsamen Mediums**
- **Multiplexen in 4 Dimensionen:**
 - Raum (r_i)
 - Frequenz (f)
 - Zeit (t)
 - Code (c)
- **Wichtig: Genügend große Schutzabstände nötig!**



Raummultiplex

- **Sender, die weit genug voneinander entfernt stehen, stören sich gegenseitig nicht**



Frequenzmultiplex

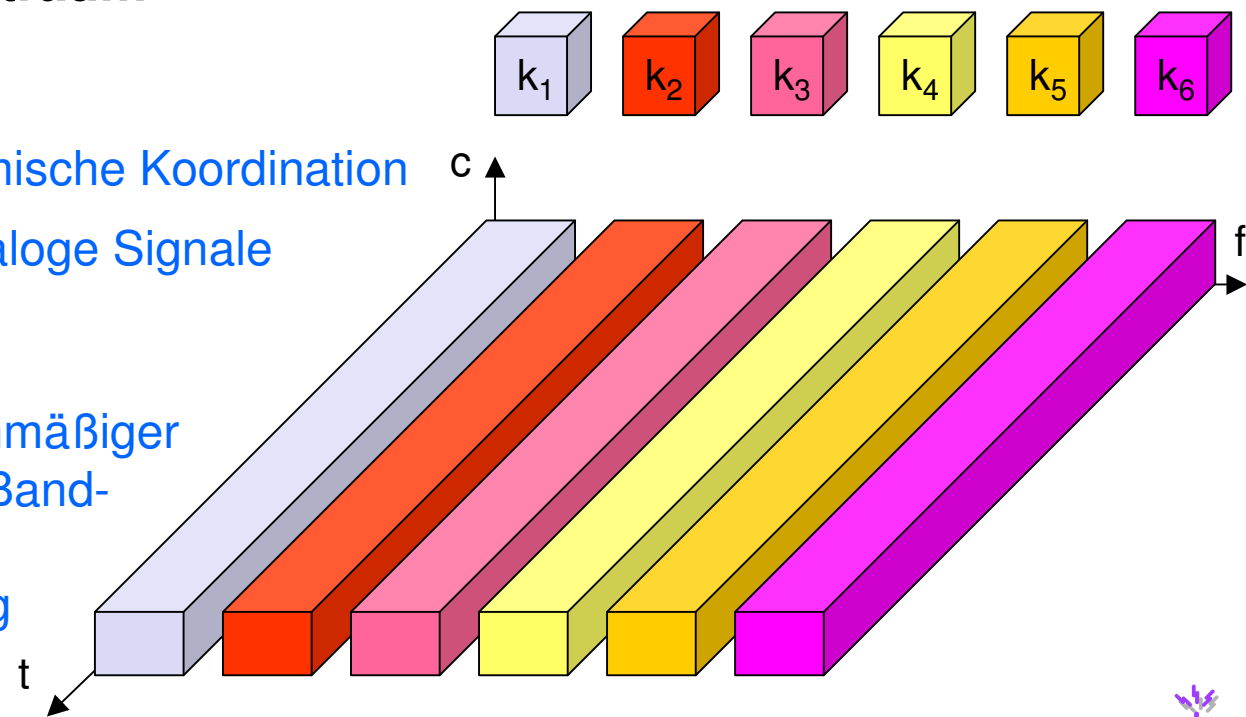
- Gesamte verfügbare Bandbreite wird in einzelne Frequenzabschnitte aufgeteilt
- Übertragungskanal belegt Frequenzabschnitt über gesamten Zeitraum

- **Vorteile:**

- keine dynamische Koordination
- auch für analoge Signale

- **Nachteile:**

- Bei ungleichmäßiger Belastung: Bandbreitenverschwendung
- unflexibel

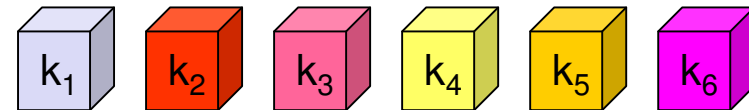


Zeitmultiplex

➤ Kanal belegt gesamten Frequenzraum für einen gewissen Zeitabschnitt

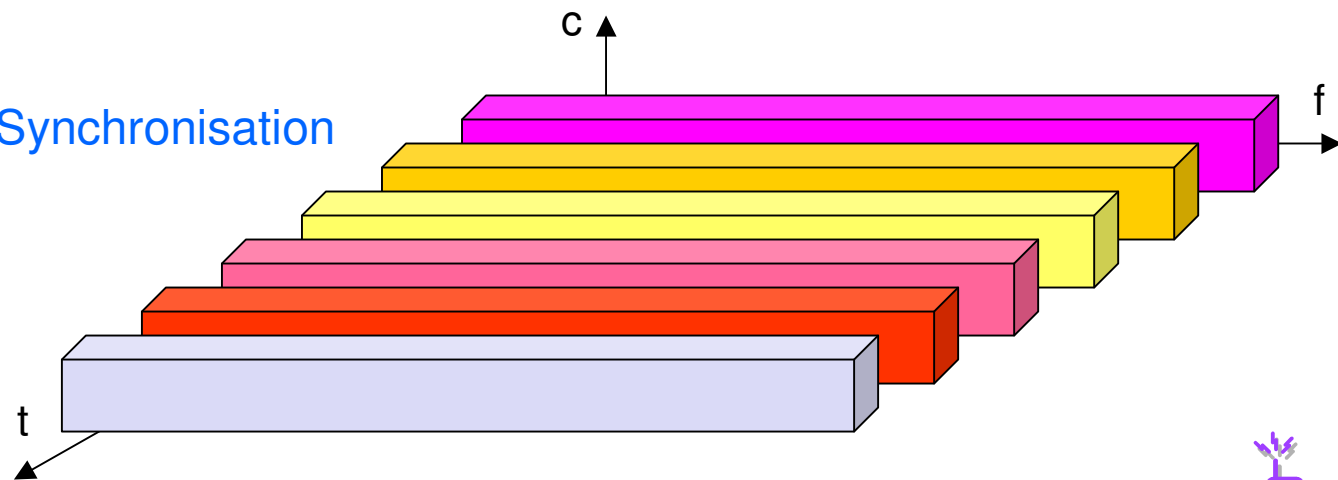
➤ Vorteile:

- in einem Zeitabschnitt nur ein Träger auf dem Medium
- Durchsatz bleibt auch bei hoher Teilnehmerzahl hoch



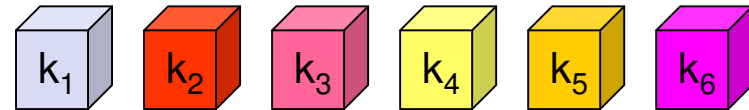
➤ Nachteile:

- genaue Synchronisation nötig



Codemultiplex

- **Sendung durch pers. Code charakterisiert**



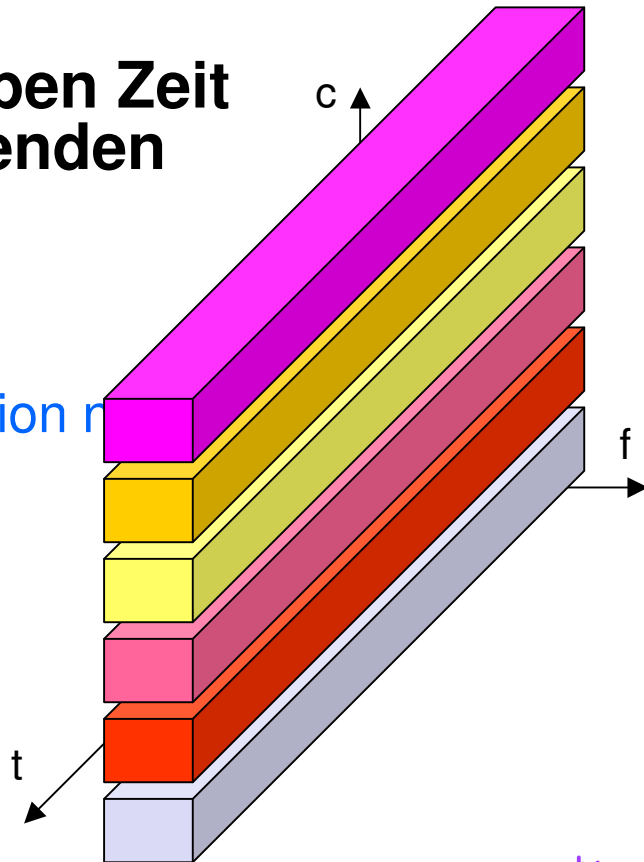
- **Alle Teilnehmer können zur selben Zeit im selben Frequenzabschnitt senden**

- **Vorteile:**

- Bandbreiteneffizienz
- keine Koordination und Synchronisation notwendig
- Schutz gegen Störungen

- **Nachteile:**

- Benutzerdatenrate begrenzt
- komplex wegen Signalregenerierung



Zeit- und Frequenzmultiplex

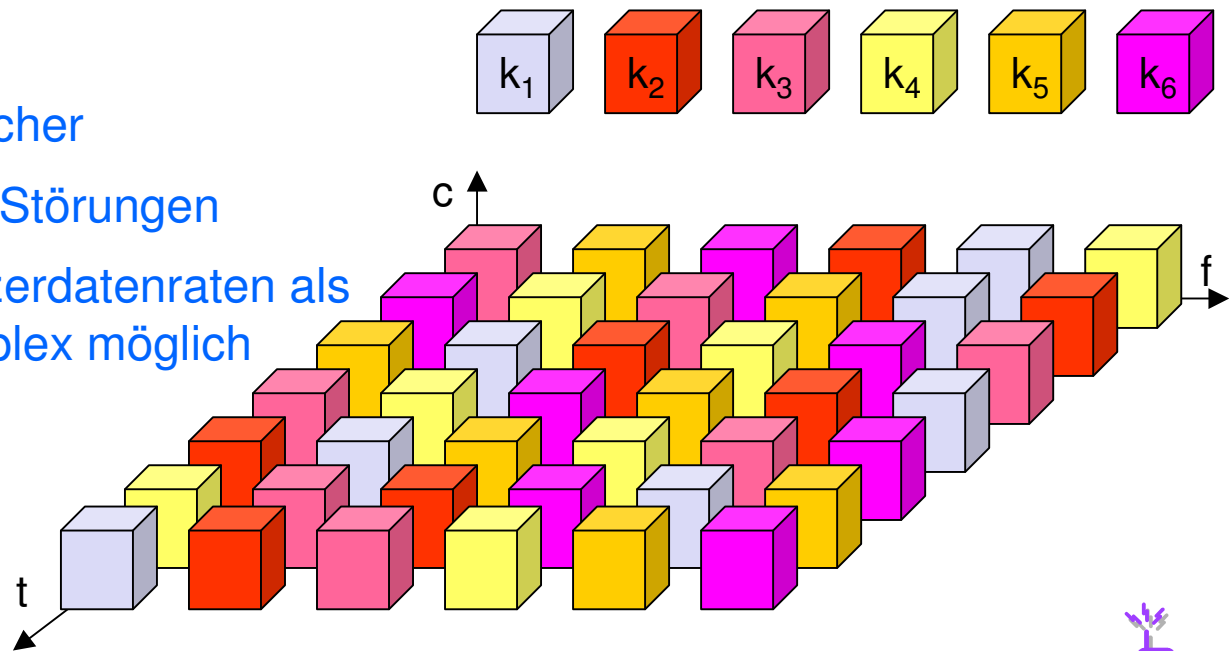
- Kombination der beiden genannten Verfahren
- Sendungen belegen einen Frequenzabschnitt für einen Zeitabschnitt
- Beispiel: GSM

- Vorteile:

- relativ abhörsicher
- Schutz gegen Störungen
- höhere Benutzerdatenraten als bei Codemultiplex möglich

- Nachteil:

- genaue Koordination erforderlich



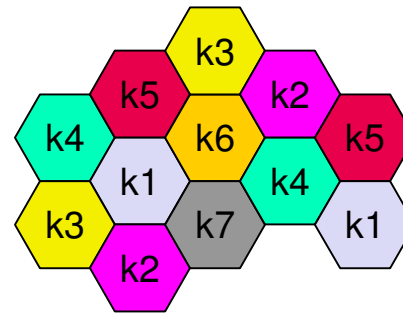
Zellenstruktur

- **Realisierung des Raummultiplex: Basisstationen decken jeweils gewissen räumlichen Bereich (Zelle) ab**
- **Mobilstationen kommunizieren ausschließlich über Basisstationen**
- **Vorteile der Zellenstruktur:**
 - mehr Kapazität, mehr Teilnehmer erreichbar
 - weniger Sendeleistung notwendig
 - robuster gegen Ausfälle
 - überschaubarere Ausbreitungsbedingungen
- **Probleme:**
 - Netzwerk zum Verbinden der Basisstationen
 - Handover (Übergang zwischen zwei Zellen) notwendig
 - Störungen in andere Zellen
 - Konzentration in bestimmten Bereichen
- **Zellengröße von 500 m (Stadt) bis 35 km (ländliches Gebiet) bei GSM (auch kleiner bei höheren Frequenzen)**



Frequenzplanung

- Frequenzen können nur bei genügend großem Abstand der Zellen bzw. der Basisstationen wiederverwendet werden
- Modell mit 7 Frequenzbereichen:



- **Feste Kanalzuordnung:**
 - bestimmte Menge von Kanälen fest gewisser Zelle zugeordnet
 - Problem: Wechsel in Belastung der Zellen
- **Dynamische Kanalzuordnung:**
 - Kanäle einer Zelle werden nach bereits zugeordneten Kanälen der benachbarten Zellen gewählt
 - mehr Kapazität in Gebieten mit höherer Nachfrage



Modulation

➤ Digitale Modulation

- digitale Daten werden in eine analoges (Basisband-) Signal umgesetzt
- ASK, FSK, PSK - hier der Schwerpunkt
- Unterschiede in Effizienz und Robustheit

➤ Analoge Modulation

- verschieben des Basisbandsignals auf die Trägerfrequenz

➤ Motivation

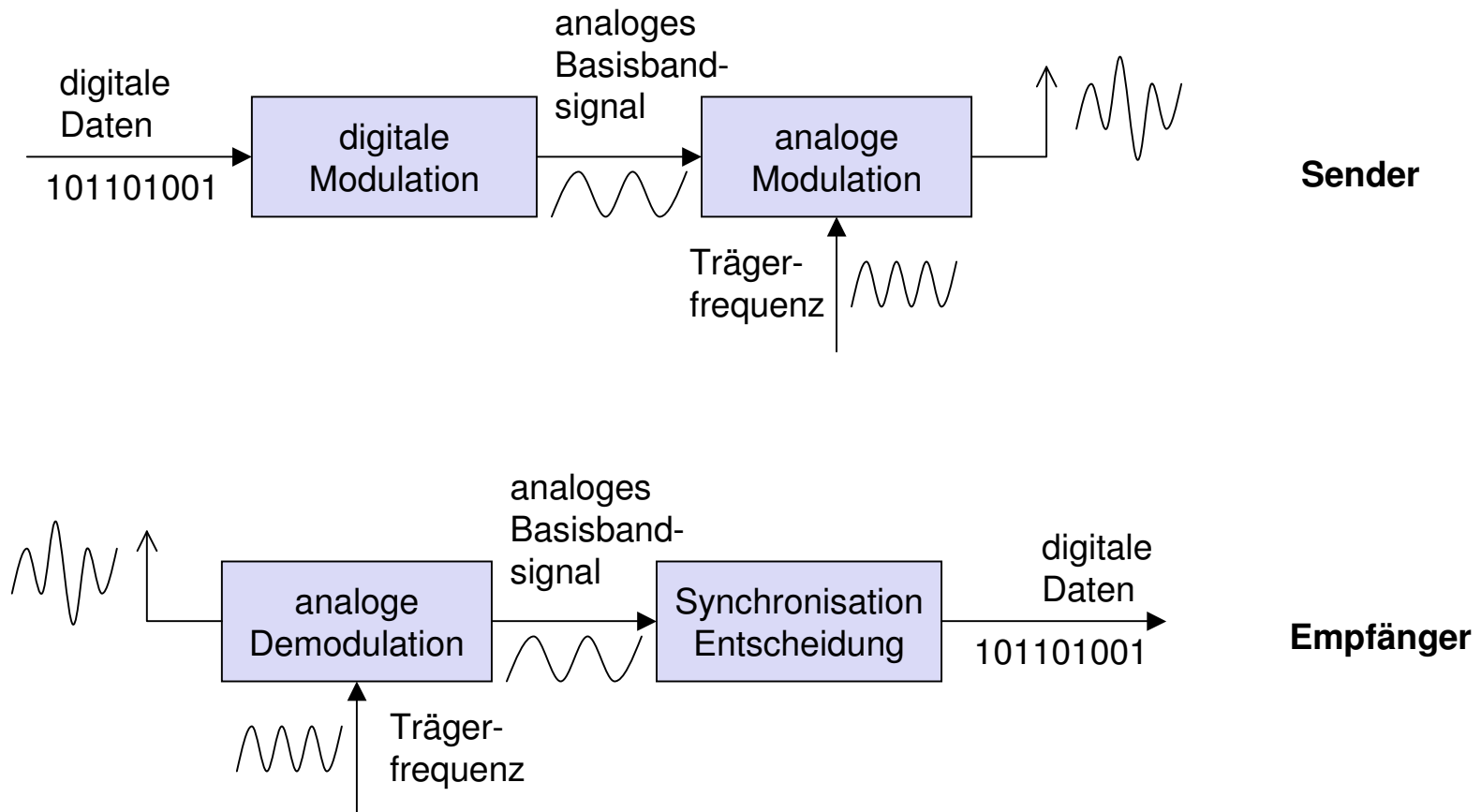
- kleinere Antennen (3 MHz → 100 m!)
- Frequenzmultiplex
- Mediencharakteristika

➤ Varianten

- Amplitudenmodulation (AM)
- Frequenzmodulation (FM)
- Phasenmodulation (PM)



(De-)Modulation



Digitale Modulation

➤ **Modulation bei digitalen Signalen:
Umtastung („Shift Keying“)**

➤ **Amplitudenmodulation (ASK):**

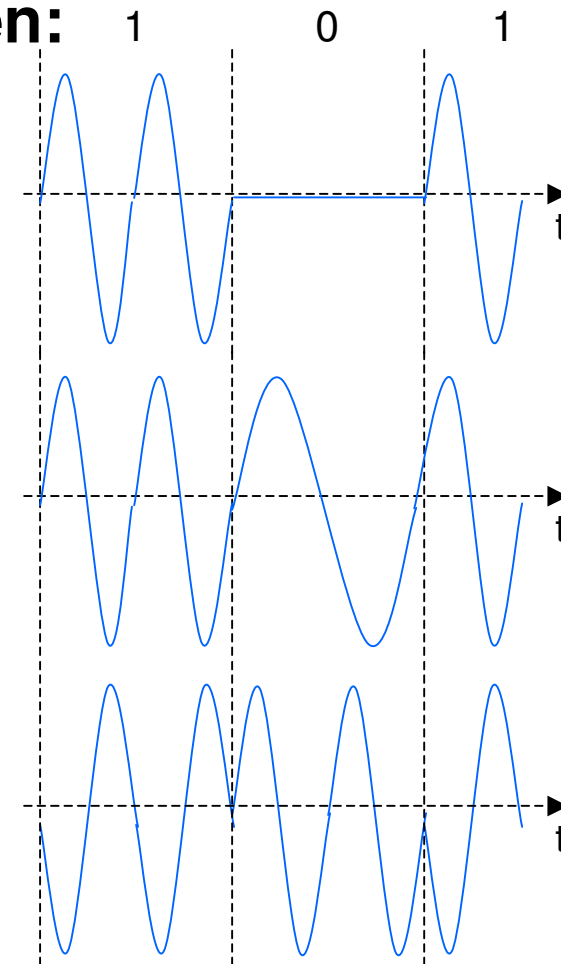
- technisch einfach
- benötigt wenig Bandbreite
- stör anfällig

➤ **Frequenzmodulation (FSK):**

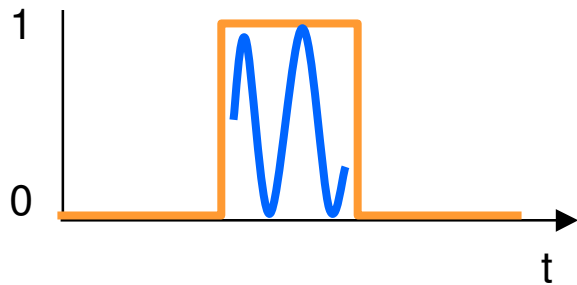
- größere Bandbreite
- für Telefonübertragung

➤ **Phasenmodulation (PSK):**

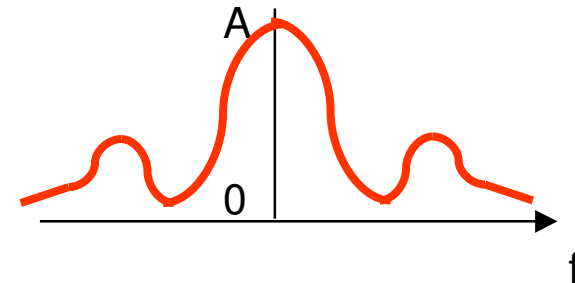
- komplexe Demodulation mit Trägerrückgewinnung
- relativ störungssicher



Bandbreite modulierter Signale



moduliertes Signal



Frequenzspektrum
mit einer bestimmten
Bandbreite

- **Je steiler die Flanken im modulierten Signal, desto größer die Bandbreite**
- **Je höher die aufmodulierte Datenrate, desto größer die Bandbreite**

