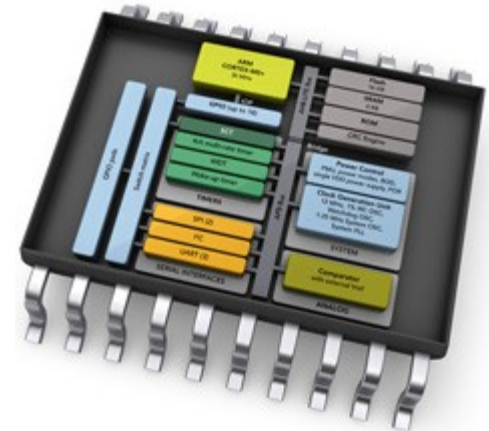


Kommunikationssysteme

(Modulcode 941306)

Prof. Dr. Andreas Terstegge



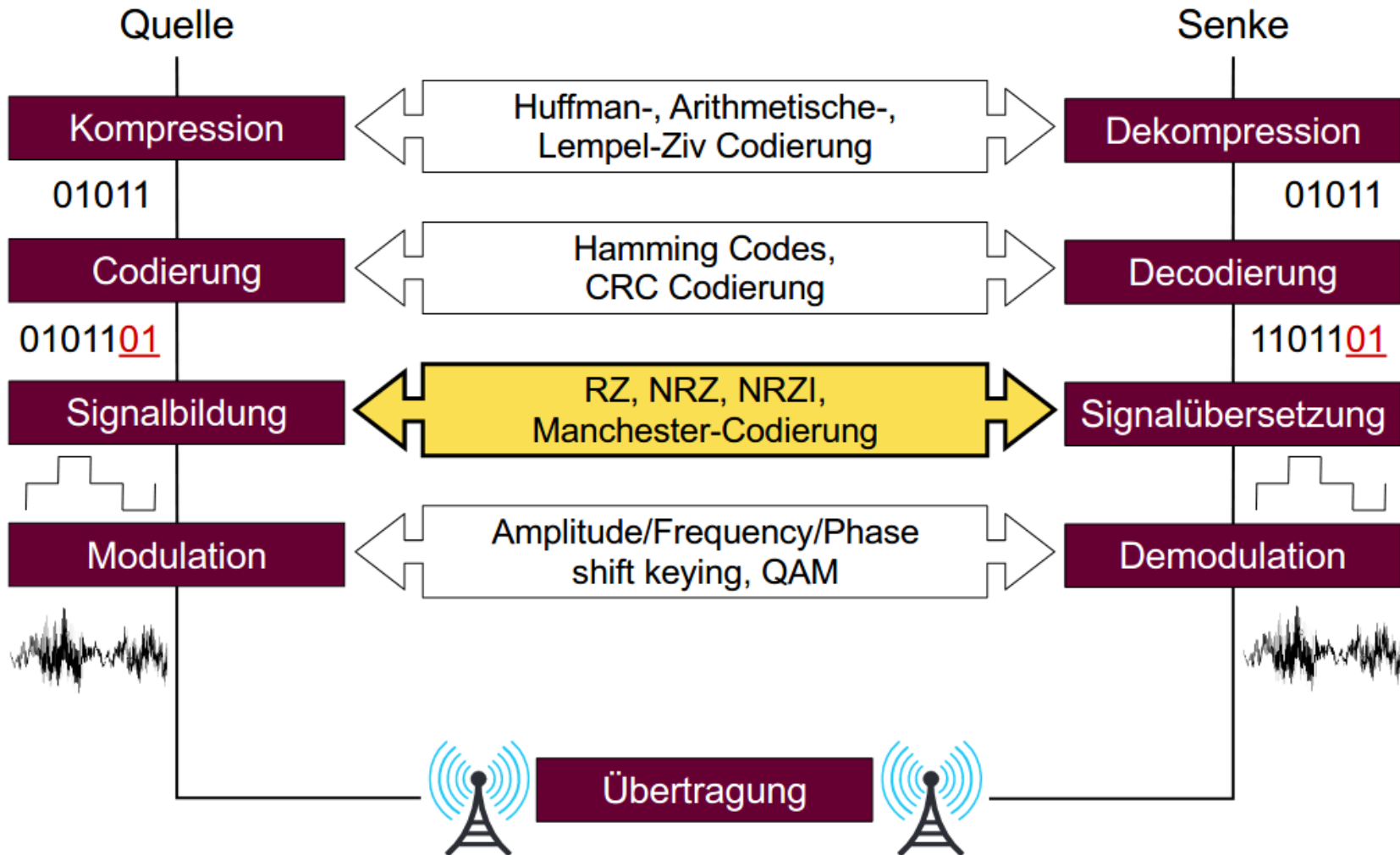
Bisher:

- Bitübertragungsschicht:
 - Physikalisches Medium
- Sicherungsschicht:
 - Zugriff aufs Medium bei Mehrfachzugriff
 - Sicherungsverfahren

Heute:

- Bitübertragungsschicht:
 - **Leitungskodierung**

Übersicht über die Kodierungsverfahren (in unterschiedlichen Schichten)



Kodierung von Informationen

Shannon:

„Das grundlegende Problem der Kommunikation besteht darin, an einer Stelle genau oder angenähert eine Nachricht wiederzugeben, die an einer anderen Stelle ausgewählt worden ist.“

Ziel: sinnvolle Darstellung der zu übertragenden Information

Kodierungsverfahren:

- (Kanal)-**Codierung**
(Schicht 2 und 4)
- **Signalbildung**
(Leitungskodierung,
Schicht 1)

Darstellung der zu übertragenden Daten in Codewörtern, die den Eigenschaften des Übertragungskanals angepasst sind (Redundanz).
→ **Sicherung gegen Übertragungsfehler** durch fehlererkennende bzw. -korrigierende Codes

Physikalische **Darstellung von Digitalsignalen**

Basis- und Breitband

Die Übertragung von Informationen kann entweder auf dem **Basisband** oder auf **Breitband** erfolgen. Dies bedeutet:

Basisband

Das Basisband ist der natürliche Frequenzbereich des Nutzsignals (untere Grenzfrequenz f_{\min} gleich oder nahe bei 0 Hz). Die digitalen Informationen werden ‚direkt‘ in physikalische Größen übersetzt und so über die Leitung übertragen. Hierzu sind Kodierungsverfahren notwendig, die festlegen, wie bei der Übertragung eine 0 bzw. eine 1 repräsentiert werden. Es kann nur je ein Signal übertragen werden

Breitband

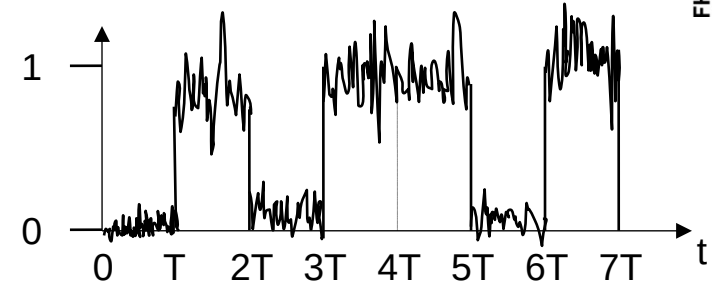
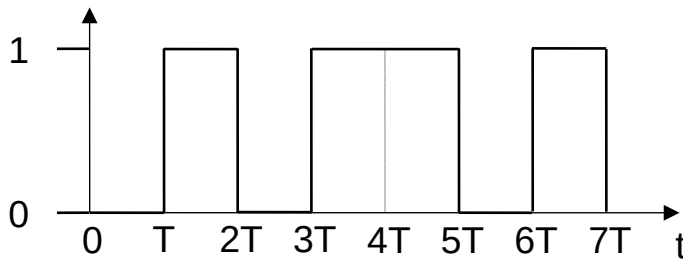
Die digitalen Nutzdaten werden nicht direkt übertragen, sondern einem oder mehreren hochfrequenten Trägern aufmoduliert. Durch die Verwendung verschiedener Trägerwellen (Frequenzen) können dann mehrere Informationen gleichzeitig übermittelt werden

Erst durch optische Übertragungstechnik und Funknetze wurde die Breitbandtechnik benötigt und verbreitet

Leitungscode im Basisband: Anforderungen

Wie sollen digitale Signale z.B. auf Kupferkabel elektrisch repräsentiert werden?

- Möglichst hohe **Widerstandsfähigkeit gegen Dämpfung**



- **Effizienz**: möglichst hohe Übertragungsraten durch Codewörter
 - binärer Code: +5V / -5V ?
 - ternärer Code: +5 V / 0V / -5V ?
 - quaternärer Code: 4 Zustände (Codierung von 2 Bit gleichzeitig)
- **Taktrückgewinnung** beim Empfänger (**Synchronisation**), dazu möglichst häufige/regelmäßige Pegelwechsel
- **Gleichstromfreiheit**: positive und negative Signale treten ungefähr gleich oft auf → kein nennenswerter elektrischer Gleichstrom-Fluss
- **Robustheit**: Können längere Sequenzen von 0 und 1 noch als solche noch erkannt werden? Können fehlerhafte Bits erkannt werden?

Baud-Rate vs. Bit-Rate

- Wenn die Zeitdauer (Schrittdauer) eines **Symbols** bzw. **Codeelements** T ist, ist die Schrittgeschwindigkeit

$$v_s = \frac{1}{T} \quad (\text{Einheit: } \mathbf{Baud}), \text{ Symbolrate}$$

- Die Übertragungsgeschwindigkeit (äquivalente Bitrate) ist dann

$$v_u = v_s \cdot \lg n \quad (n = \text{Anzahl diskreter Zustände des Codeelements})$$

Bei binären Codeelementen stimmen somit **Bitrate** und **Baudrate** (Schrittgeschwindigkeit) überein, falls nur Codeelemente für Daten übermittelt werden (es gibt auch Codeelemente für z.B. die Rahmenstruktur)

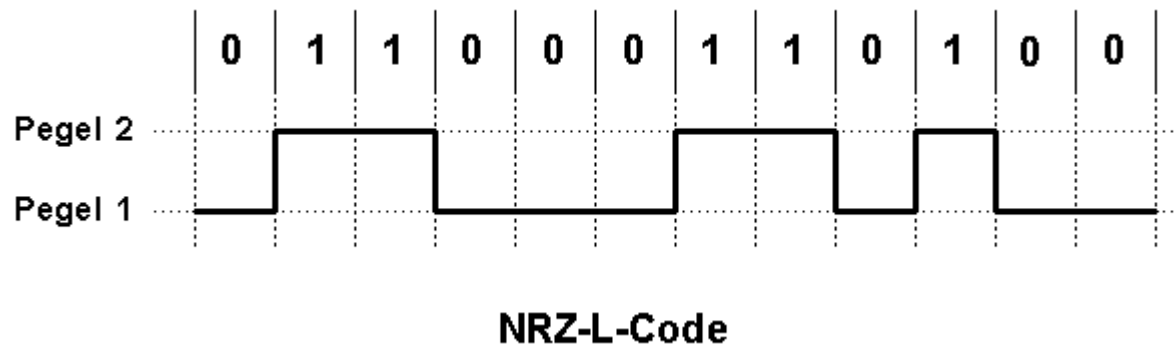
■ NRZ / NRZ-L: Non-Return-to-Zero

Kein automatisches Zurückfallen auf einen Grundpegel.

Hier z.B.:

0 = negative Spannung (konstant 0V), Pegel 1

1 = positive Spannung (konstant +5V), Pegel 2



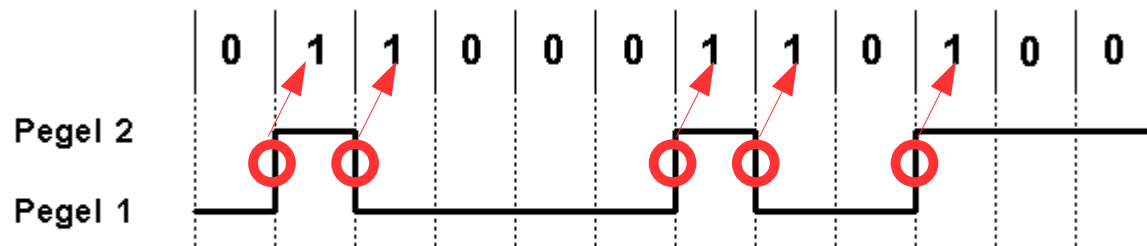
Nachteil: bei langen 0- oder 1-Folgen Taktverlust und keine Gleichstromfreiheit

Beispiel: UART, RS232 (serielle Schnittstellen)

■ NRZ-I: NRZ-Inverted-Code

0 = kein Polaritätswechsel

1 = Polaritätswechsel



NRZ-I-Code

Vorteil: Leitungen können vertauscht werden, Polarität egal

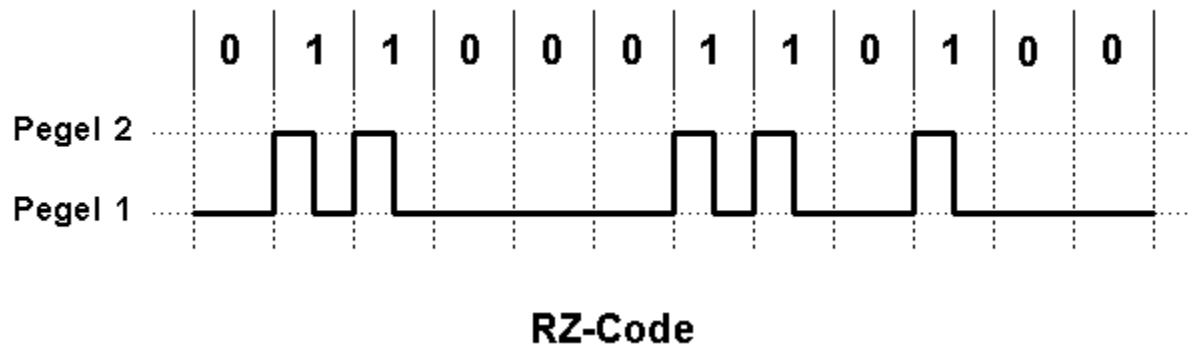
Nachteil: Taktverlust und keine Gleichstromfreiheit bei langen 0-Folgen

Beispiel: 100Base-FX, USB, CD-ROM, Festplatten

■ RZ: Return to Zero (hier unipolar)

0 = 0V

1 = T/2 lang 1, T/2 lang 0



Vorteil: Taktrückgewinnung bei 1-Folgen

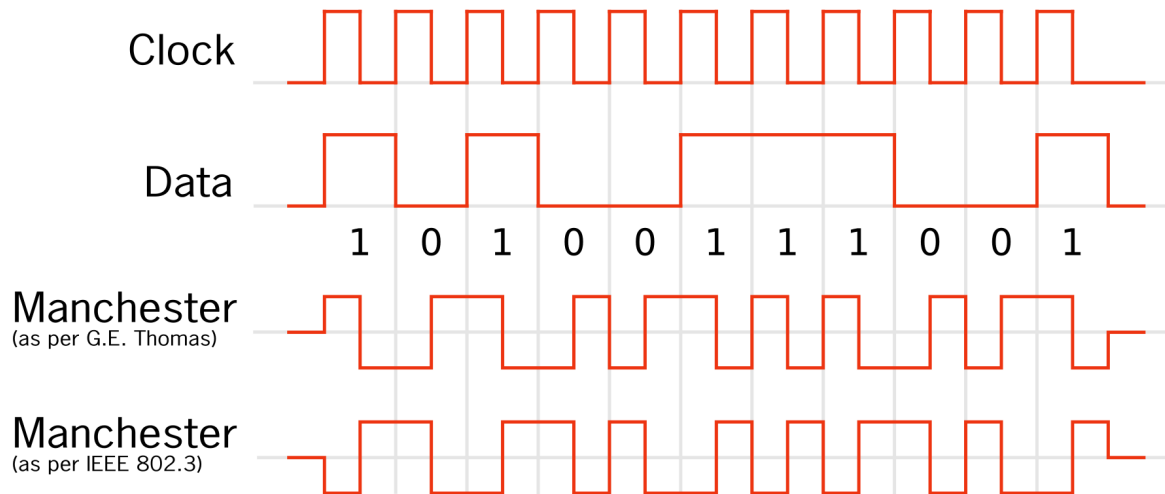
Nachteil: Keine Gleichstromfreiheit, kein Takt bei langen 0-Folgen

Beispiel: IrDA - Fernbedienung

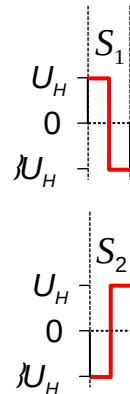
Manchester-Code (1B/2B-Code)

Lange Folgen gleicher Signale werden durch einen Pegelwechsel in der Mitte jedes Bits verhindert. Nach G.E. Thomas:

- 0 = Polaritätswechsel von negativ (-5V) nach positiv (+5V)
- 1 = Polaritätswechsel von positiv (+5V) nach negativ (-5V)



Signalelemente
der Manchester-
Codes



Vorteile: Gleichstromfrei, Taktrückgewinnung möglich

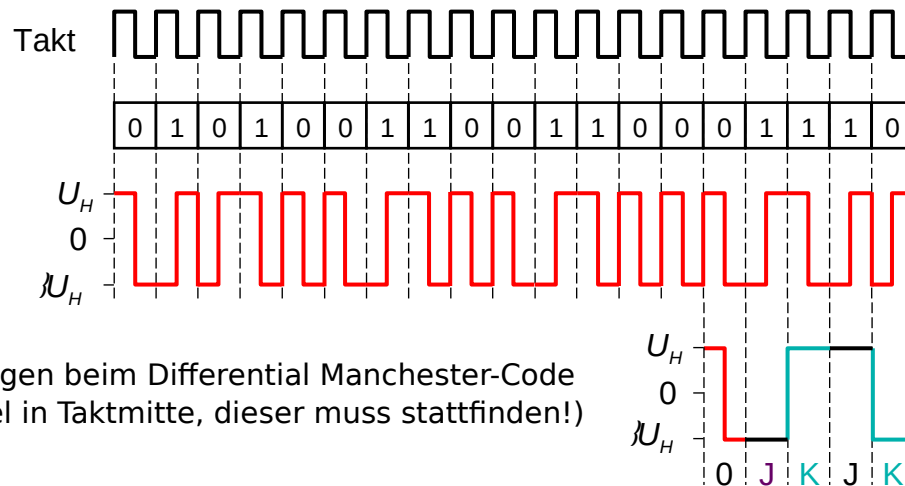
Nachteil: Doppelte Bandbreite im Vergleich zu NRZ, **Bitrate = Baudrate/2**

Beispiel: 10Base2

Differentieller Manchester-Code

Wie beim Manchester-Code erfolgt ein Pegelwechsel in der Bitmitte, zusätzlich allerdings:

- 0 = Pegelwechsel am Anfang des Symbols
- 1 = kein Pegelwechsel am Anfang des Symbols



Vorteile: Gleichstromfrei, Taktrückgewinnung möglich

Nachteil: Doppelte Bandbreite im Vergleich zu NRZ

Beispiel: Token Ring, Magnetstreifen

4B/5B-Code

Nachteil des Manchester-Codes:

→ 50% Effizienz, d.h. **1B/2B-Code** (ein Bit wird auf zwei *Symbole* kodiert)

Eine Verbesserung stellt der **4B/5B-Code** dar:

→ vier Bit werden in fünf *Symbole* kodiert: 80% Effizienz

Arbeitsweise:

- Pegelwechsel bei 1, kein Pegelwechsel bei 0 (Differentieller NRZ-Code)
- Kodierung von hexadezimalen Zeichen: 0, 1, ..., 9, A, B, ..., F (4 Bit) in 5 Bit, so dass lange Nullenblöcke vermieden werden.
- Auswahl der günstigsten 16 der möglichen 32 Codewörter (maximal 3 Nullen in Folge)
- Weitere 5 Bit-Kombinationen für Steuerinformationen
- Erweiterbar auf 1000B/1001B-Codes?

Beispiel für eine 4B/5B-Codetabelle

Decimal Value	Data (4Bits)	Transmitted Symbols	Symbol Assignment
0	0000	00000	Quiet -line state (status)
1	0001	00001	Invalid
2	0010	00010	Invalid
3	0011	00011	Invalid
4	0100	00100	Halt -line state (status)
5	0101	00101	Invalid
6	0110	00110	Invalid
7	0111	00111	R-Reset (logical 0)-control (control)
8	1000	01000	Invalid
9	1001	01001	Data
10	1010	01010	Data
11	1011	01011	Data
12	1100	01100	Invalid
13	1101	01101	T-Ending delimiter (control)
14	1110	01110	Data
15	1111	01111	Data
16		10000	Invalid
17		10001	K-starting delimiter (control)
18		10010	Data
19		10011	Data
20		10100	Data
21		10101	Data
22		10110	Data
23		10111	Data
24		11000	J-starting delimiter (control)
25		11001	S - set (logical 1) - control (control)
26		11010	Data
27		11011	Data
28		11100	Data
29		11101	Data
30		11110	Data
31		11111	Idle-line state (status)

Worst case:
11100|01110
↔

3 Nullen

Bei der *Breitbandkommunikation* wird das **digitale** Signal auf ein **analoges** Trägersignal **aufmoduliert**

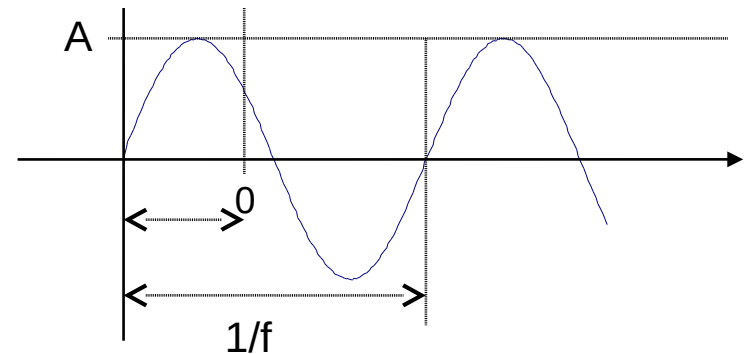
Daten werden physikalisch als elektromagnetische Wellen dargestellt:

$$s(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

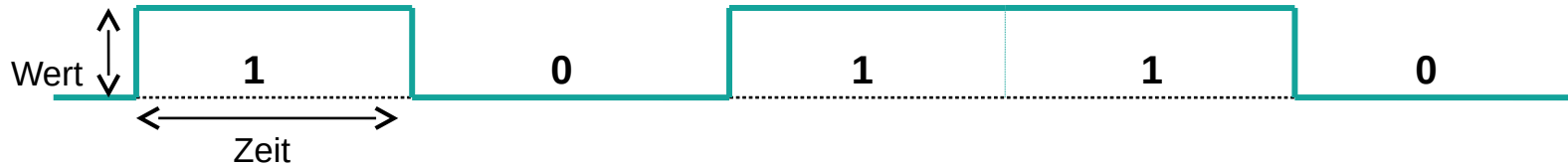
A: Amplitude

f: Frequenz

φ : Phase



Modulation digitaler Signale

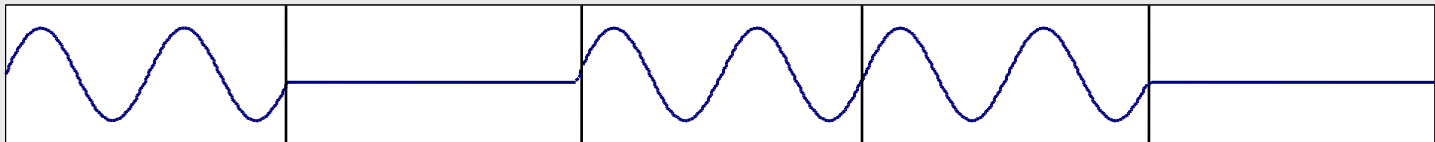


Die Umwandlung der digitalen Signale kann auf verschiedene Arten erfolgen, basierend auf den Parametern einer analogen Welle:

$$s(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

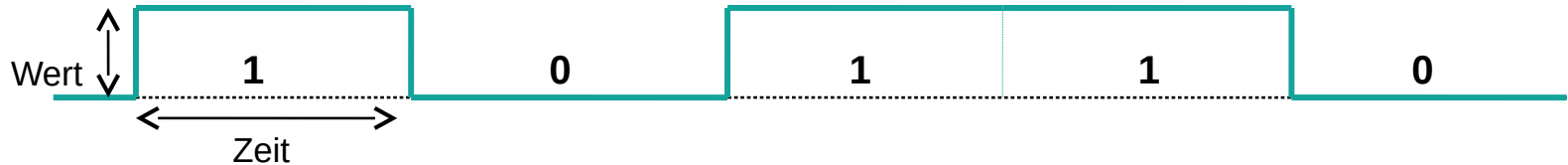
Amplitude **Frequenz** **Phase**

Amplitudenmodulation (Amplitude Shift Keying, ASK)



- Bei einer 1 wird eine große Amplitude ausgestrahlt, bei einer 0 eine kleine
- Technisch einfach zu realisieren, wird üblicherweise bei optischer Übertragung verwendet
- Störanfällig wegen Abschwächung des Signals

Modulation digitaler Signale

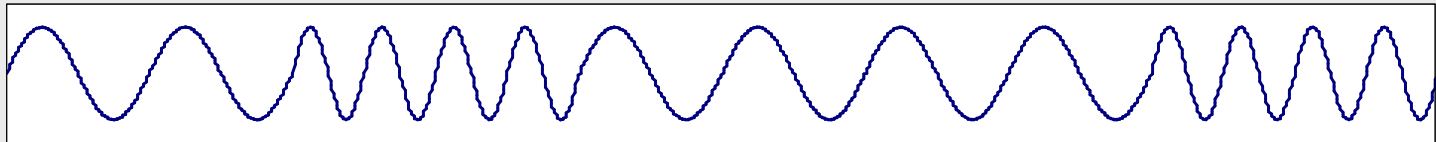


Die Umwandlung der digitalen Signale kann auf verschiedene Arten erfolgen, basierend auf den Parametern einer analogen Welle:

$$s(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

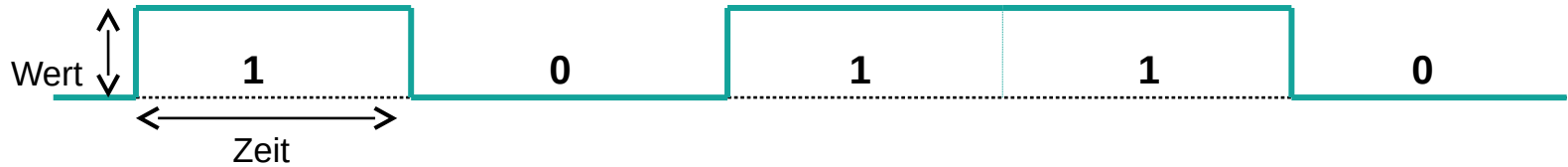
Amplitude Frequenz Phase

Frequenzmodulation (Frequency Shift Keying, **FSK**)



- Für 0 und 1 werden verschiedene Frequenzen ausgestrahlt
- Verschwenderischer Umgang mit Frequenzen
- Für Telefonübertragung

Modulation digitaler Signale

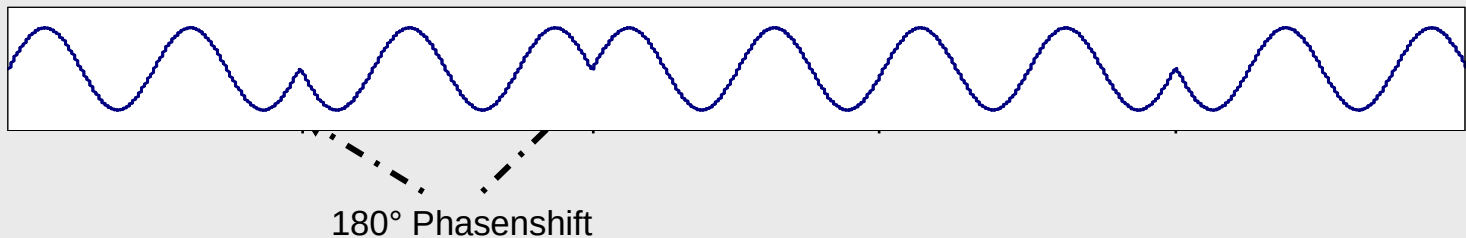


Die Umwandlung der digitalen Signale kann auf verschiedene Arten erfolgen, basierend auf den Parametern einer analogen Welle:

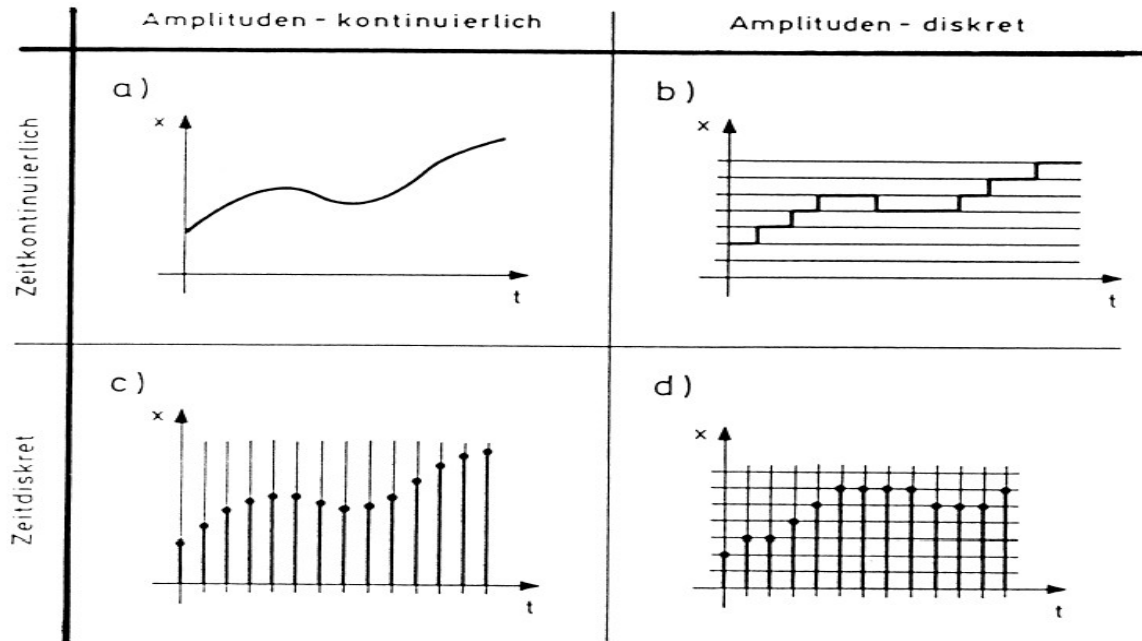
$$s(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \varphi)$$

Amplitude Frequenz Phase

Phasenmodulation (Phase Shift Keying, PSK)

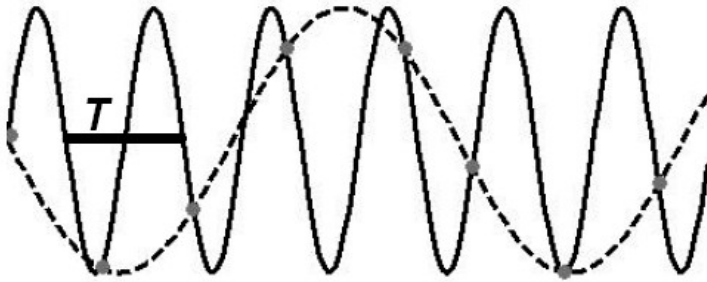


- Verwendung unterschiedlicher Phasenlagen für 0 und 1
- Komplexe Demodulation
- Störsicher
- In der drahtlosen Kommunikation oft bevorzugt



- Quantisierung in der Zeit
 - Signal wird regelmäßig abgetastet
- Quantisierung der Amplitude
 - Signal wird mit diskreten Amplitudenwerten abgetastet

Abtastvorgang / Digitalisierung

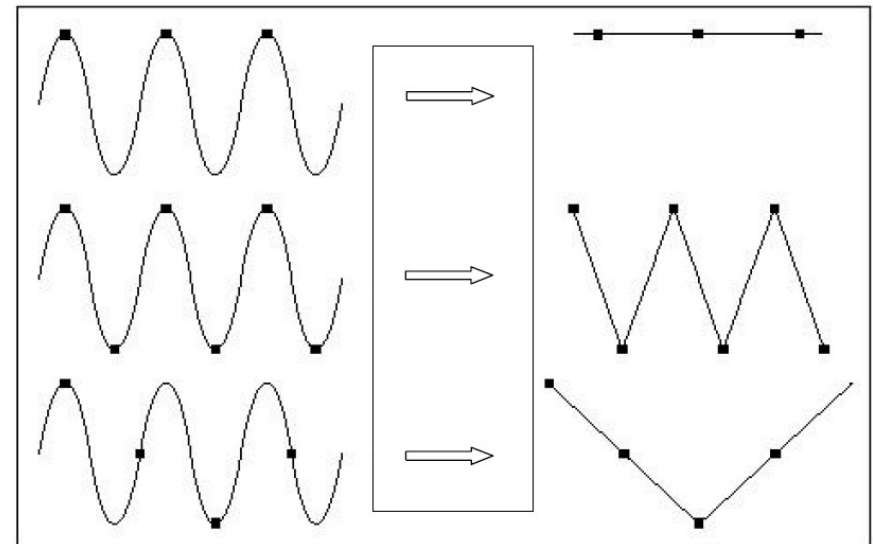


Abtastung: falsch



Abtastung: richtig

- Abtastintervall kürzer als halbe Periodendauer
- sonst: Signal nicht eindeutig charakterisiert



„Fehlerdeutungen“

Welche Übertragungsraten sind erreichbar?

Das Abtasttheorem von Nyquist

Aus einer Folge diskreter Werte kann das analoge Ausgangssignal rekonstruiert werden, wenn die Abtastrate mindestens das **Doppelte der oberen Grenzfrequenz** des ursprünglichen Analogsignals beträgt.

- Damit bestimmt die **Differenz** zwischen der höchsten und niedrigsten **Frequenz** (die *Bandbreite*) die **Abtastrate**
- **Pro Abtastvorgang** kann nur eine bestimmte Informationsmenge I (in **Bits**!) gewonnen werden
- Damit ergibt sich als Übertragungsrate in einem **beliebigen Breitbandkanal** der Bandbreite f eine maximale Übertragungskapazität von **$2 f I$**

- Die Bandbreite ist proportional zur erreichbaren Datenrate
 - möglichst breite Frequenzbänder nutzen! Je höher die Frequenz, desto einfacher ist dies
- Die in einem Abtastvorgang modulierten binäre Informationen sind proportional zur erzielbaren Bandbreite
 - Hat ein Signal V diskrete Niveaus, so ist $\log_2(V)$ die modulierte binäre Information
 - möglichst viel Information pro Abtastvorgang zu erhalten (also V zu erhöhen!)
- Höhere Frequenzen können eher breite Frequenzbänder aufnehmen

Begrenzung der Übertragung durch Rauschen

- Die in einem Abtastvorgang modulierbare Information hängt von einem **ausreichenden Signal-Rauschabstand** ab. Dieser kann zwar durch eine erhöhte Sendeleistung verstärkt werden, jedoch ist die **Leistungsflussdichte** selbst im freien Raum umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung

Dies bedeutet, dass sie bei Verdoppelung der Distanz bereits auf ein Viertel, bei **Verzehnfachung des Abstandes sogar auf ein Hundertstel des Ausgangswertes** abfällt.

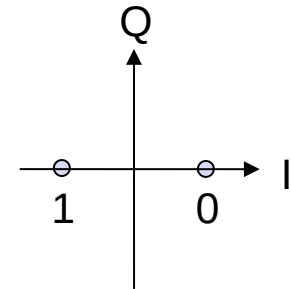
- Nach Shannon ist die Bandbreite begrenzt durch den Faktor $\log_2(1 + \text{Signalrauschabstand})$

Beispiel: Eine Telefonleitung mit 30 db Rauschabstand und einer Bandbreite von 3 KHz kann maximal 30000 Bit/s übertragen

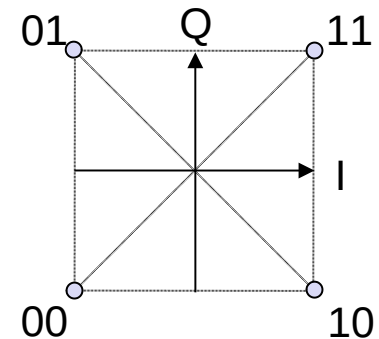
- Höhere Frequenzen verhalten sich ähnlich wie Licht. Damit wird dann eine Sichtverbindung benötigt

Fortgeschrittene Phasenmodulation

- **BPSK** (Binary Phase Shift Keying):
 - = einfaches PSK
 - > Bitwert 0: Sinuswelle
 - > Bitwert 1: invertierte Sinuswelle
 - Niedrige Datenraten
 - Robuste Übertragung
 - Auch oft als differentieller Code (DBPSK)



- **QPSK** (Quaternary Phase Shift Keying):
 - Zwei Bit werden gemeinsam codiert
 - Vier unterschiedliche Phasenlagen
 - Doppelte Datenraten verglichen mit BPSK

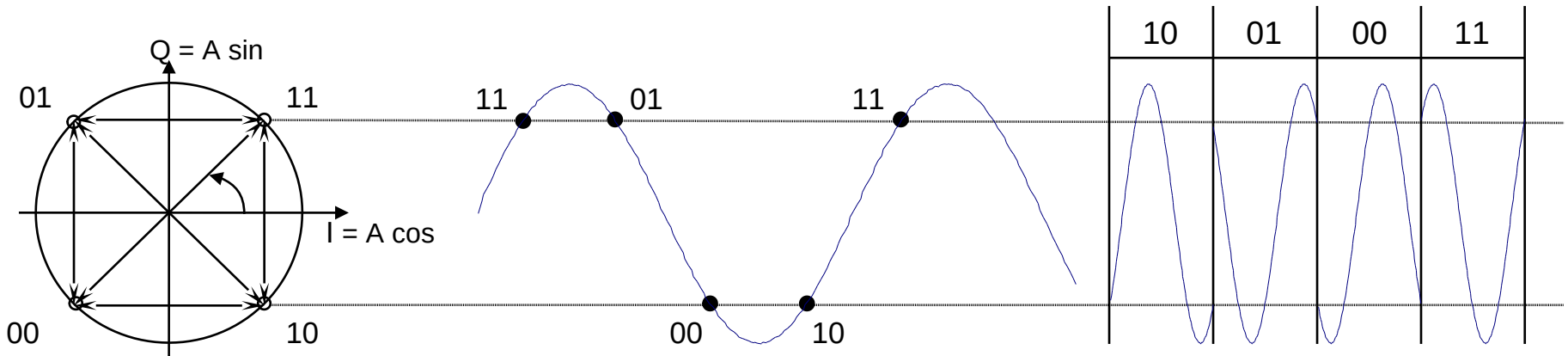


Fortgeschrittene PSK-Verfahren

Die Umtastung kann auch mehr als 2 Phasen umfassen: es kann zwischen M verschiedenen Phasen umgetastet werden, wobei M eine Zweierpotenz sein muss. Dadurch können mehr Informationen gleichzeitig übermittelt werden.

Beispiel: **QPSK** (Quaternary Phase Shift Keying)

- Umtastung zwischen 4 Phasen
- 4 Phasen erlauben 4 Zustände: **kodiere 2 Bit auf einmal**
- Damit doppelte Übertragungsrate



A = Amplitude des Signals

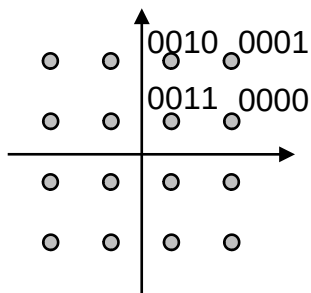
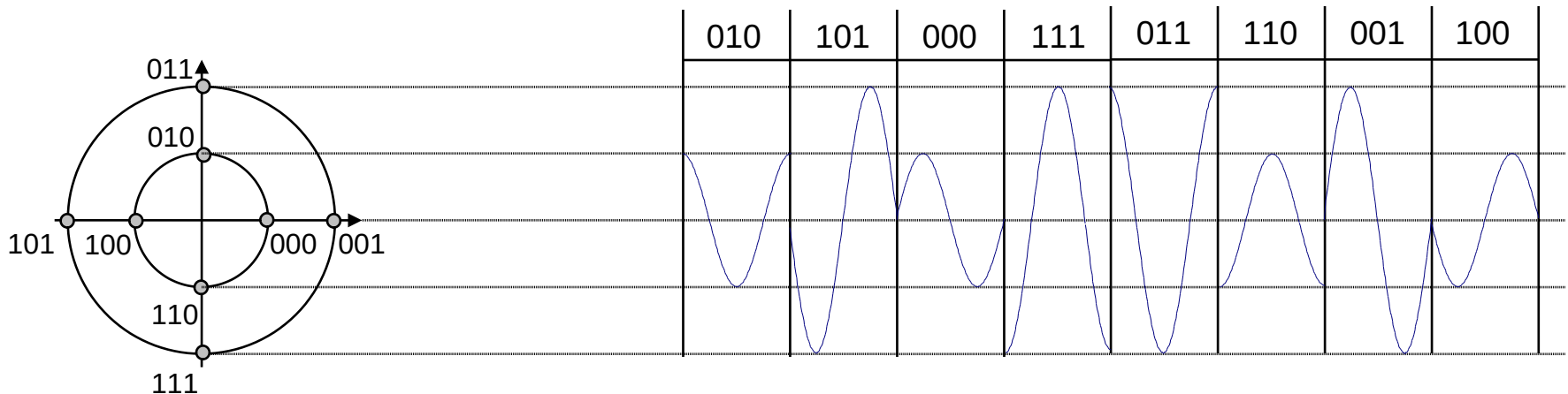
I = In-Phase, Signalkomponente (in Phase mit Trägersignal)

Q = Quadratur-Phase, Quadraturkomponente (senkrecht zur Trägerphase)

Fortgeschrittene PSK-Verfahren

Quadraturamplitudenmodulation (Quadrature Amplitude Modulation, **QAM**)

- Kombination aus ASK und QPSK
- n Bit können gleichzeitig übertragen werden ($n=2$ ist QPSK)
- Bitfehlerrate steigt mit zunehmendem n , aber weniger als bei vergleichbaren PSK-Verfahren



16-QAM: 4 Bit pro Signal:

- 0011 und 0001 haben gleiche Phase, aber unterschiedliche Amplitude
- 0000 und 0010 haben gleiche Amplitude, aber unterschiedliche Phase

WLAN: Signalausbreitung bei Funkwellen

- In freiem Raum geradlinige Ausbreitung
- die **Empfangsleistung ist proportional zu $1/d$** (d = Abstand zwischen Sender und Empfänger, $n = 2$ in freiem Raum, 2.7-5 in der Stadt, 4-6 im Gebäude)
- Werte für n größer als 2 ergeben sich durch Dämpfung, Reflektion, Streuung, Beugung, ...

Basierend auf der Empfangsleistung ergeben sich verschiedene Bereiche:

Übertragungsbereich

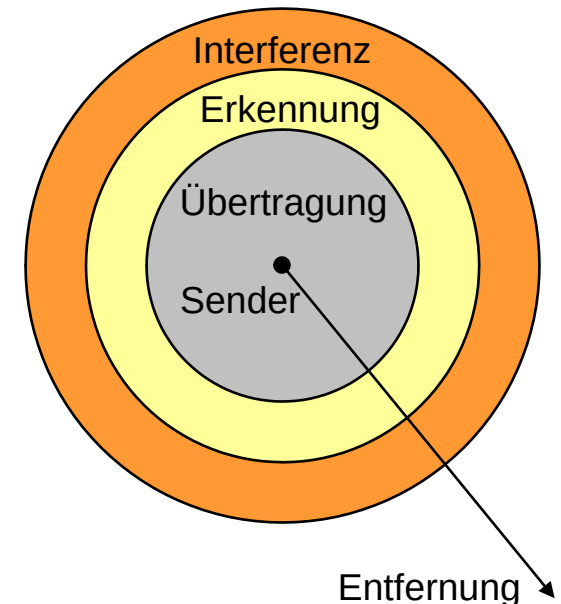
- Kommunikation möglich
- Akzeptable Fehlerrate

Erkennungsbereich

- Signalerkennung ist noch möglich
- Zu hohe Fehlerrate für Identifikation des Signals

Interferenzbereich

- Keine Signalerkennung
- Störung anderer Übertragungen

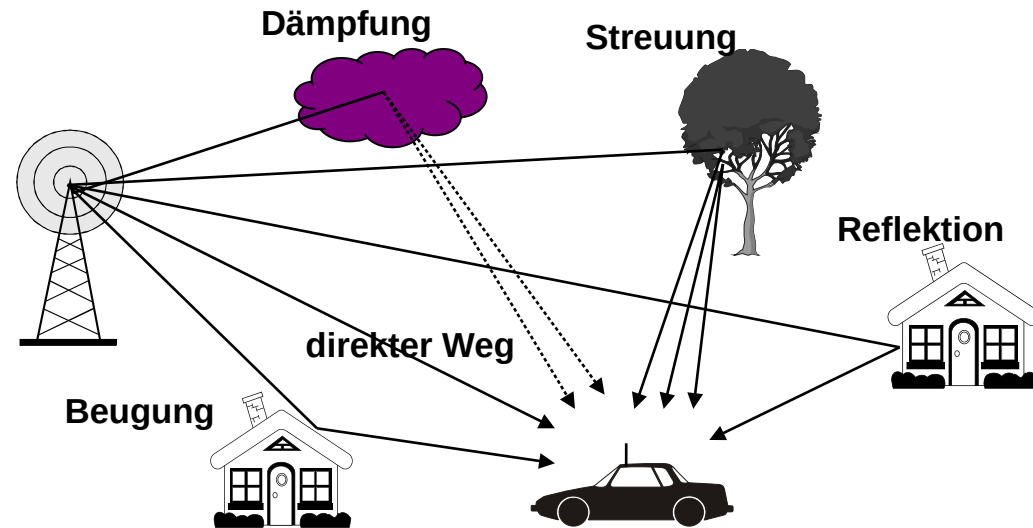


Faktoren, die die Ausbreitung beeinflussen:

- natürliche Umgebung: Gebirge, Wasser, Vegetation, Regen, Schnee
- künstliche Umgebung: Gebäude etc.

Ausbreitungsmechanismus:

- Dämpfung, Abschattung (Regen, Vegetation)
- Beugung/Ablenkung: scharfe und runde Kanten
- Reflektion an großen Flächen
- Streuung an kleinen Hindernissen
- Brechung: Brechungsindex wird mit zunehmender Höhe kleiner



Wirkung:

- der Empfänger erhält ein Signal auf mehreren Wegen zugleich
- Abschwächung der Sendeleistung bei Reflektion, Beugung, ...
- dasselbe Signal wird mit verschiedenen Phasenlagen empfangen, Interferenz findet statt
- Das Signal wird **zeitlich gestreut**, Interferenz mit Nachbarsymbolen

Bedingt durch diese Effekte benötigen drahtlose Kommunikationsnetze ausgeklügelte Mechanismen zur Fehlerkorrektur. Dies bedeutet jedoch, dass hierfür Bandbreite zur Verfügung gestellt werden muss. Der **Kommunikations-Overhead liegt damit erheblich über dem kabelgebundener Übertragung!**

Daumenregel:

Protokolle zur zuverlässigen Datenübertragung können weniger als $\frac{2}{3}$ der verfügbaren drahtlosen Übertragungsrates tatsächlich nutzen

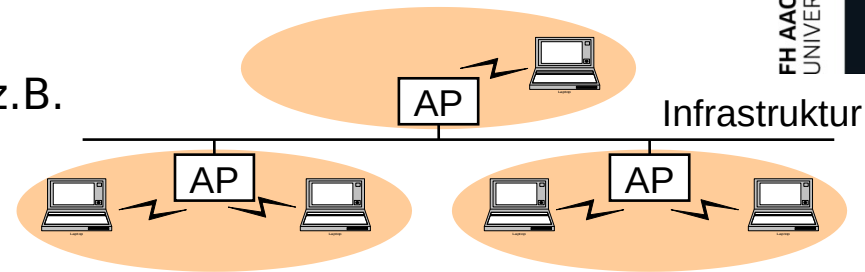
WLAN: Drahtloses Ethernet

- Drahtloses Äquivalent zu Ethernet: "Wireless LAN" (WLAN)
- Ausschließlich datenorientierte, breitbandige Internetzugangslösung
- Standardisiert von der IEEE als IEEE 802.11
 - 1997: IEEE 802.11 (Bandbreiten von maximal 2 Mb/s)
 - IEEE 802.11a mit 54 Mb/s durch Verwendung eines (störanfälligeren) Frequenzbandes (5 GHz) mit größerer Kapazität
 - 1999: IEEE 802.11b (Brutto-Datenrate von 11 MB/s bei einem Nutzdatenanteil von bis zu 6 Mb/s)
 - IEEE 802.11g: höhere Datenraten von bis zu 54 Mb/s im 2.4 GHz-Band
 - 802.11.n: MIMO-Technik erlaubt mehrere Kanäle bis zu 600 Mb/s. Optionale Nutzung des 5 GHz-Bandes

Aufbau eines WLAN

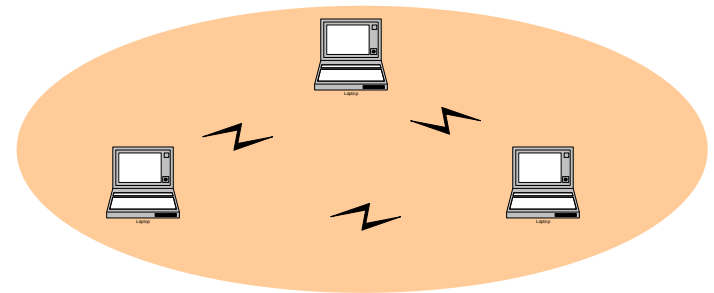
1. Netze mit fester Infrastruktur

- Infrastruktur bedeutet: feststehendes Netz, z.B. Ethernet oder Satellitenstrecken
- Zentraler Access Point (AP), drahtlose Geräte kommunizieren nur mit dem AP
- Kontrollfunktionalitäten (Medienzugriff, Mobilitätsmanagement, Authentisierung, ...) sind in der Infrastruktur realisiert
- Komplexität liegt in den Infrastrukturkomponenten, drahtlose Geräte brauchen nur ein Minimum an Funktionalität zu realisieren



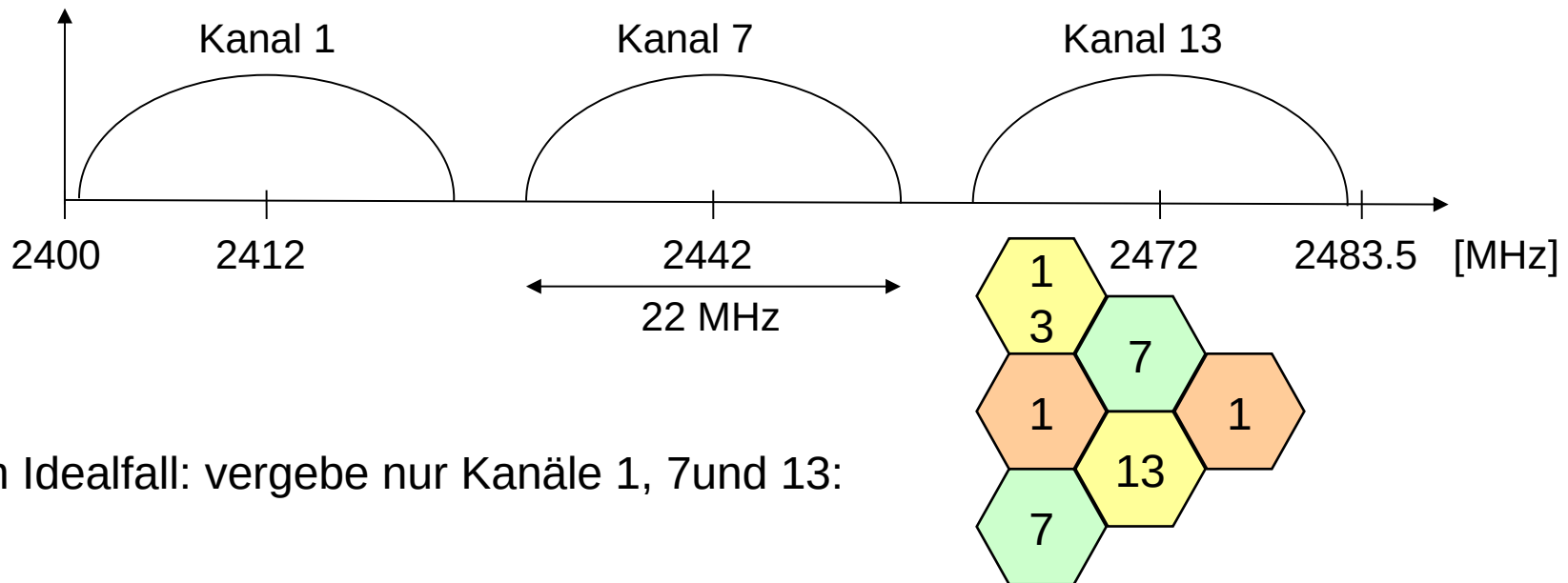
2. Ad-hoc-Netze

- Keine Infrastruktur – die drahtlosen Geräte kommunizieren direkt miteinander
- Höhere Komplexität der Geräte, da jedes Gerät alle Zugriffs- und Kontrollmechanismen implementieren muss



Kanäle bei IEEE 802.11b (g und n haben andere Breiten)

- Würden alle APs auf der gleichen Frequenz senden, würden in den Überlappungsbereichen Störungen auftreten.
- Daher: Aufteilung des gesamten Frequenzbereichs in *Kanäle*
- Kanäle belegen nie genau eine Frequenz, sondern „streuen“ auf die benachbarten Frequenzen. In IEEE 802.11b sind die Kanäle je 22 MHz breit
- 13 Kanäle in Deutschland (2412, 2417, 2422, ..., 2472 MHz), 11 in USA/Kanada
- Kanäle überlappen! Nicht-überlappende Kanalwahl:



- Im Idealfall: vergebe nur Kanäle 1, 7 und 13:

WLAN: IEEE 802.11

- Datenraten
 - 1, 2, 5.5, 11, 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54, ... MBit/s Bruttodatenrate
 - Abhängig von Signalqualität wird die bestmögliche Datenrate gewählt
 - Nutzdatenrate wenig mehr als die Hälfte der jeweiligen Bruttodatenrate
- Kommunikationsbereich
 - 100m Außen-, 10m Innenbereich (Vergrößerung der Reichweite durch externe Antennen; auch möglich: Richtfunk über mehrer km km)
 - Max. Datenrate bis ~5m
- Frequenzbereich
 - Freies 2.4 GHz-Band (2.4 - 2.4835 GHz) ISM = Industrial – Scientific – Medical
 - Optional 5 GHz-Band
- Sendeleistung
 - maximal 100 mWatt
- Lizenzfrei
- Starke Störungen auf dem Frequenzband (Mikrowellenherde, analoge TV-Übertragung, Überwachung, lizenzfreie Stadtnetze), keine Qualitätsgarantien

Durchsatz eines WLAN

Mit wachsender Entfernung nimmt die Durchsatzrate in einem WLAN ab

- Faktisch wird die Modulationsart angepasst
- Hohe Übertragungsraten nur in Radien von 10m
- Bereits bei etwa 30m liegt die 802.11g-Rate bei 11 MBit/s
- Bautechnische Hindernisse reduzieren dies zusätzlich
- **Keine Mobilität** (relative Geschwindigkeit etwa 10km/h – **802.11p**)

Erneut muss erwähnt werden, dass diese Datenraten niemals der Anwendung zukommen. Bei WLANs findet man häufig nur TCP-Nutzraten von 50% und weniger!

Mit der Multiple-Inputs-Multiple-Outputs-Technik (**MIMO**) kann die **Datenrate** in Zukunft **deutlich gesteigert** werden **802.11n**

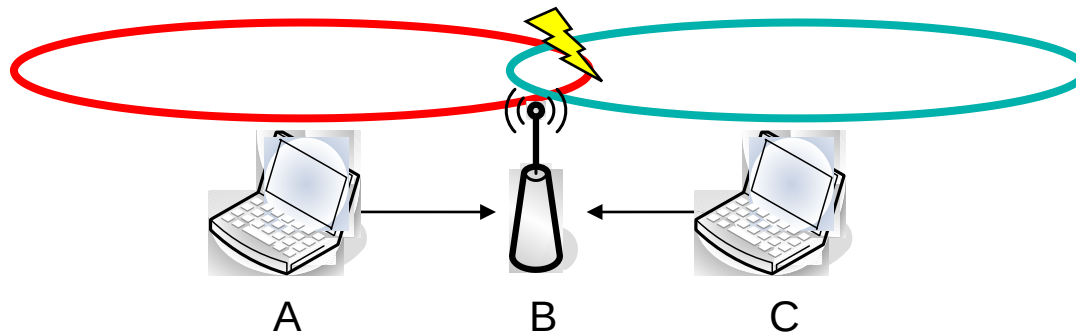
- Durch den Einsatz mehrere Antennen als Gruppe kann ein stärkeres Empfangssignal empfangen werden
 - Größere Distanzen bei gleichem Durchsatz
 - Höhere Datenraten bei gleicher Entfernung
- Zusätzlich wird versucht eine Richtwirkung zu nutzen

- Verwendung von CSMA/CD?
 - Horche vor der Übertragung, ob bereits jemand sendet
 - Horche während der Übertragung, ob jemand anderes parallel sendet
- Probleme bei drahtloser Kommunikation
 - Sehr schwierig (teuer), gleichzeitig zu senden und zu empfangen
 - > Kollisionserkennung kann nicht durchgeführt werden
 - Kollision tritt beim Empfänger auf, aber nicht notwendigerweise beim Sender
 - > “Broadcastnetz” ohne garantierten Empfang aller Übertragungen: **Hidden Station**

Hidden-Station-Problem

- **Hidden Station**

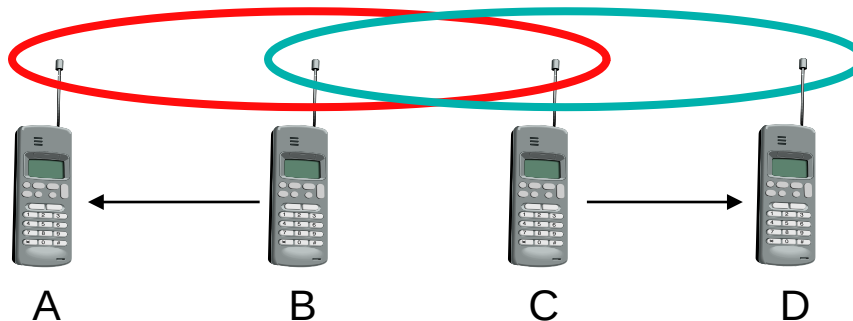
- A sendet an B, C empfängt A nicht
- C will an B senden, stellt freies Medium fest (CS schlägt fehl)
- Kollision bei B, A bemerkt sie nicht (CD schlägt fehl)
- A ist *hidden* (versteckt) für C



Exposed-Station-Problem

Exposed Station

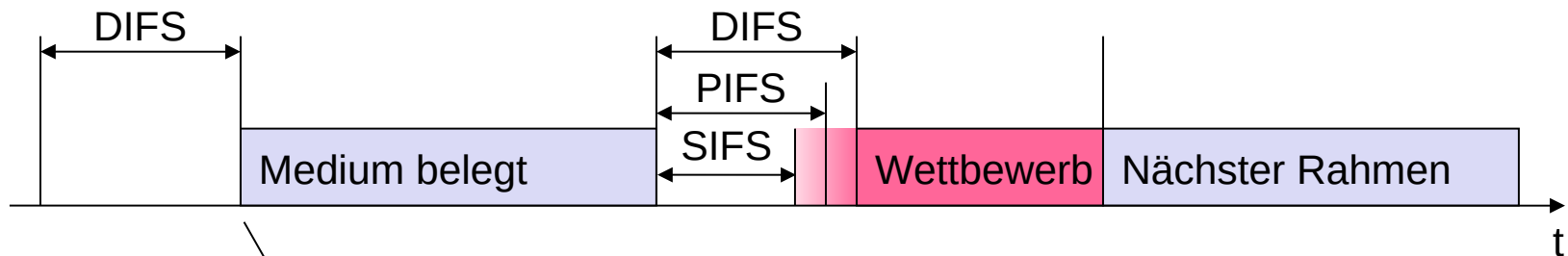
- B sendet zu A, C will zu D senden
- C muss warten, da CS ein „besetztes“ Medium signalisiert
- da A aber außerhalb der Reichweite von C ist, ist dies unnötig



- CSMA/CA
 - **Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance**
 - Kollisionen können nicht erkannt werden, darum wird versucht, sie zu vermeiden
 - Carrier Sense mit zufallsgetriebenen **Backoff-Mechanismus**
- Hier nicht relevant
 - **RTS/CTS-Handshake (Request to Send / Clear to Send)**
 - **Polling** durch den AP

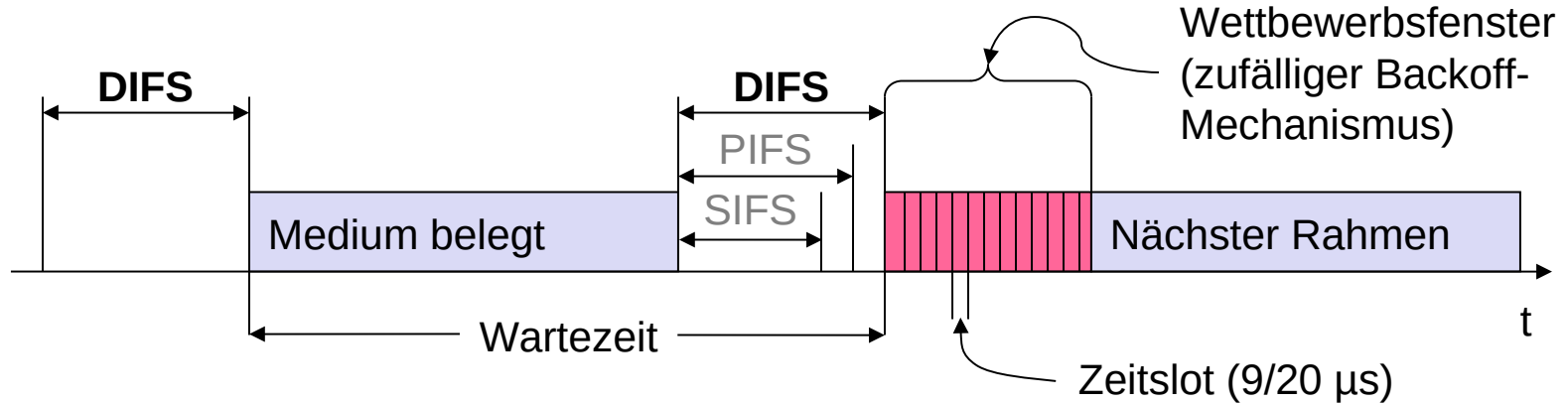
Medienzugriff durch gestaffelte Zugriffskonzepte

- **Prioritäten durch Staffelung von Zugriffszeitpunkten**
 - Keine garantierten Prioritäten, aber wichtige Nachrichten bekommen eher Zugriff
 - Einteilung in Zyklen: Drei Intervalle (Inter Frame Space, IFS)
 - > Short IFS (**SIFS**) für **Bestätigungsnachrichten**, 10 – 16 μ s
 - > Point Controlled IFS (**PIFS**) für Aktionen des AP beim **Polling**, 19 – 30 μ s
 - > Distributed Control IFS (**DIFS**) für **Datenübertragung**, 28–50 μ s



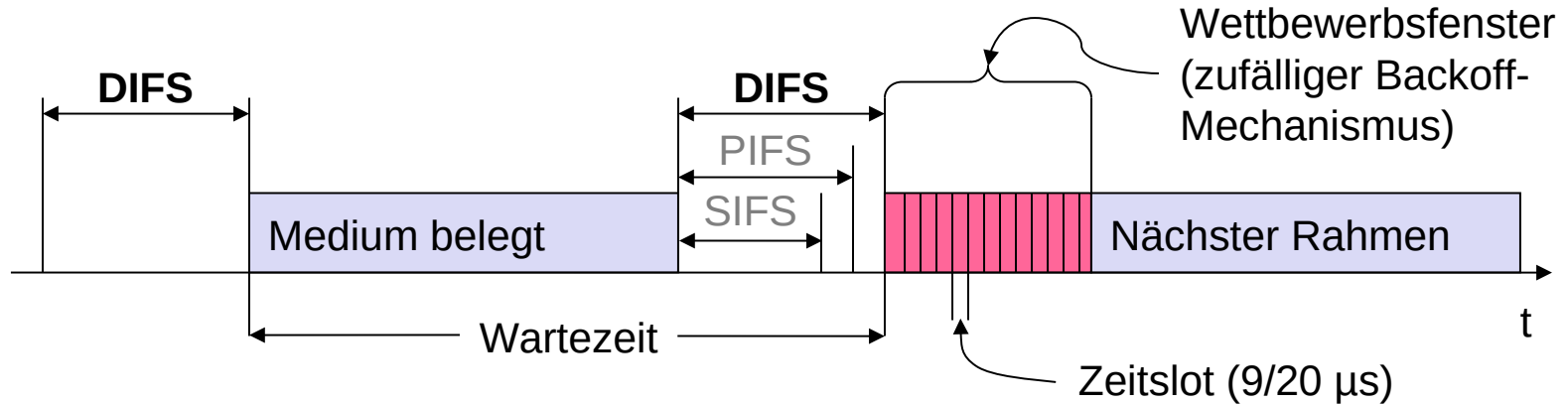
Direkter Zugriff, falls Medium frei für DIFS

Kollisionsvermeidung durch Wartezeitverteilung



- Idee
 - Vor Beginn des Sendens: **Carrier Sense**
 - Falls Medium frei für mindestens eine Zeit von DIFS, starte direkt mit Übertragung
 - Falls Medium belegt: warte bei Freiwerden erneut für DIFS, wähle dann eine Backoff-Zeit vor nächsten Zugriffsversuch (**Kollisionsvermeidung**)
 - > Backoff-Zeit ist Vielfaches eines Zeitslots

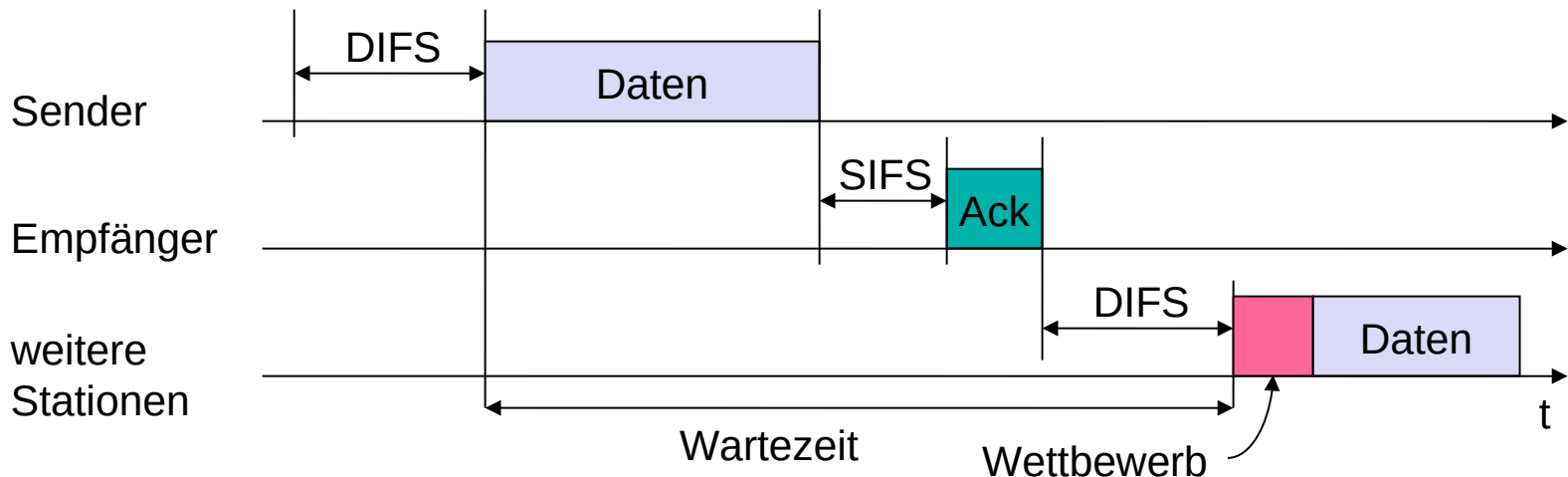
Kollisionsvermeidung durch Wartezeitverteilung



- Vorgehen
 - Falls Medium nach Ablauf der Backoff-Zeit noch immer frei, starte mit Übertragung
 - Falls Medium eher belegt wird:
 - > Stoppe Backoff-Zähler
 - > Verwende aktuellen Wert beim nächsten Versuch weiter

CSMA/CA - Quittungen

- Quittierung jeder Übertragung, da Kollisionen nicht erkannt werden können
 - **Direkte Bestätigung** jedes korrekten Datenrahmens
 - > Wichtige Kontrollinformation, daher werden diese bereits nach SIFS ohne jegliches Backoff versendet



FH Aachen
Fachbereich 9 Medizintechnik und Technomathematik
Prof. Dr.-Ing. Andreas Terstegge
Straße Nr.
PLZ Ort
T +49. 241. 6009 53813
F +49. 241. 6009 53119
Terstegge@fh-aachen.de
www.fh-aachen.de