

Rechnernetze und Internettechnologien

Dr. Harald Sack
Institut für Informatik
Friedrich-Schiller-Universität Jena

Sommersemester 2008

Rechnernetze und Internettechnologien

1

2

3

4

5

26.05.2008 – Vorlesung Nr. 6

7

8

9

10

11

12

13

4. Physikalische Rechnervernetzung Schicht 1

Rechnernetze und Internettechnologien

4. Physikalische Rechnervernetzung - Schicht 1

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

4.2 Kabelgebundene Medien

4.3 Drahtlose Medien

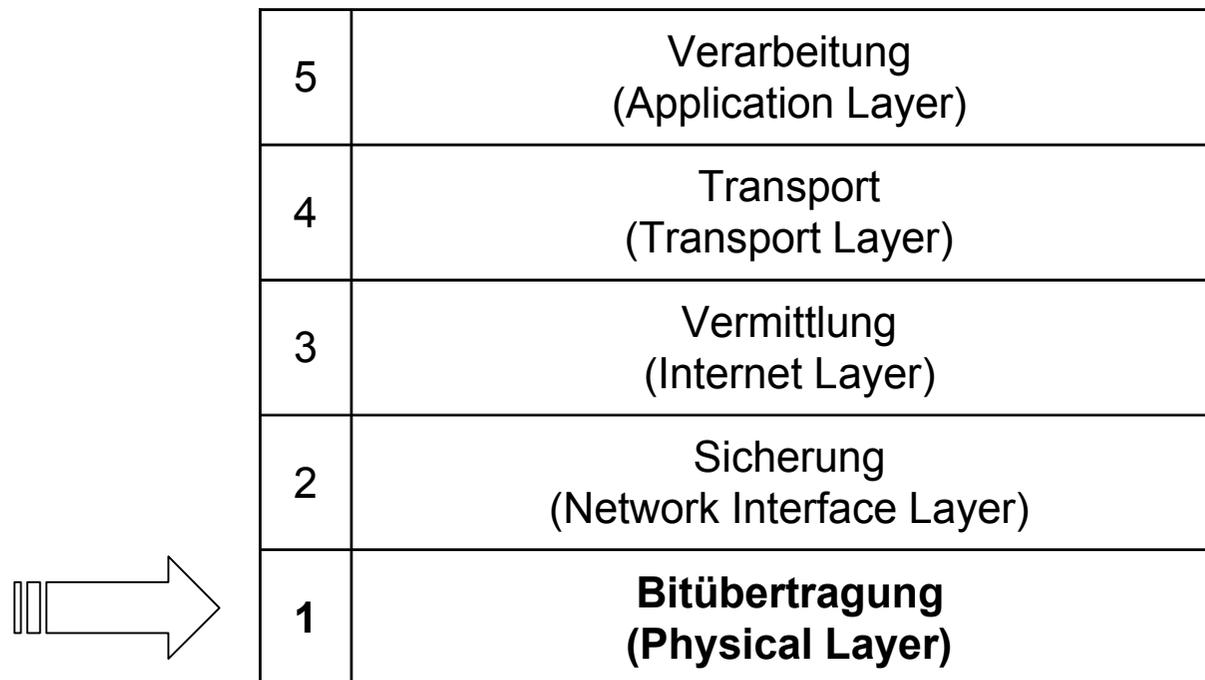
4.4 Öffentliches Telefonnetz

4.5 Mobiltelefonnetz

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

○ TCP/IP Referenzmodell

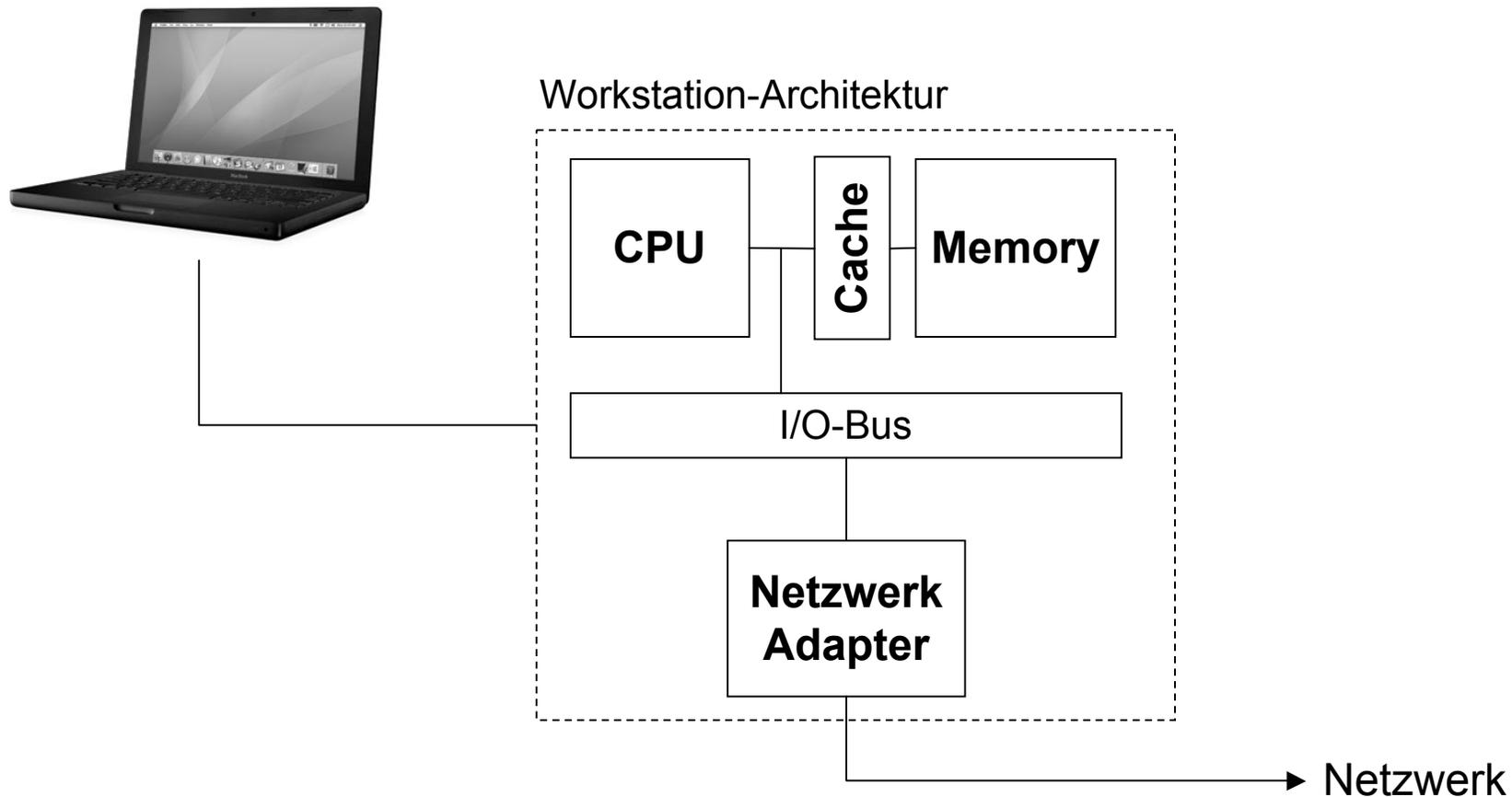


Aufgabe der Bitübertragungsschicht ist die Beförderung reiner Bitströme von einem Computer zum anderen

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

○ Computer und Netzwerkschnittstelle

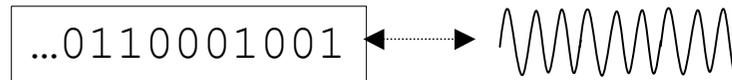


Rechnernetze und Internettechnologien

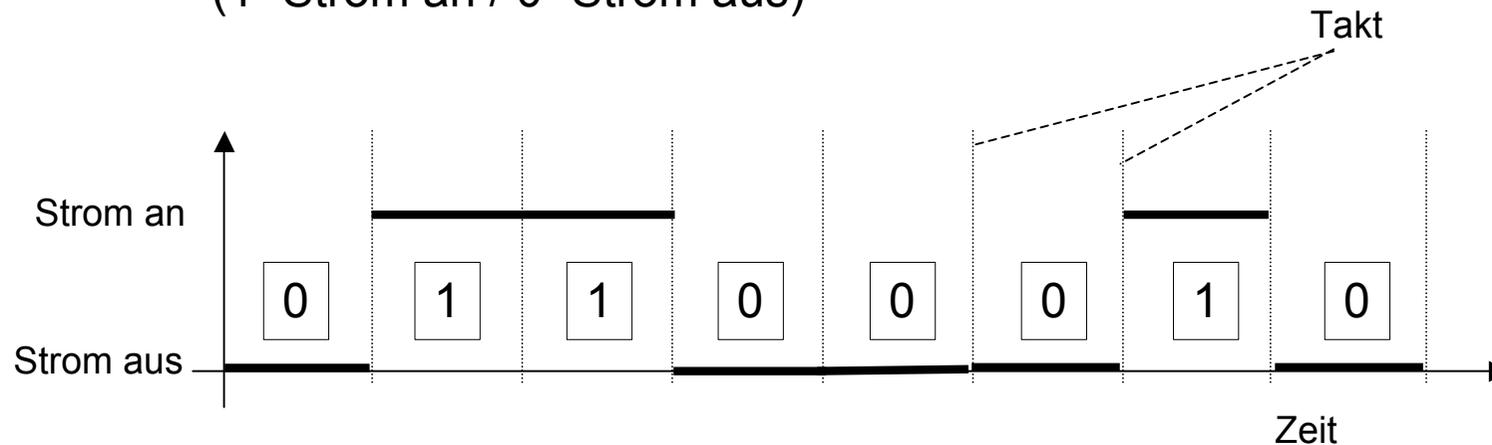
4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

○ Modulation

- Wie kann man digitale Daten über ein analoges Medium übertragen?



- Einfachste Lösung:
 - Simuliere Digitale Datenübertragung (1=Strom an / 0=Strom aus)



Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

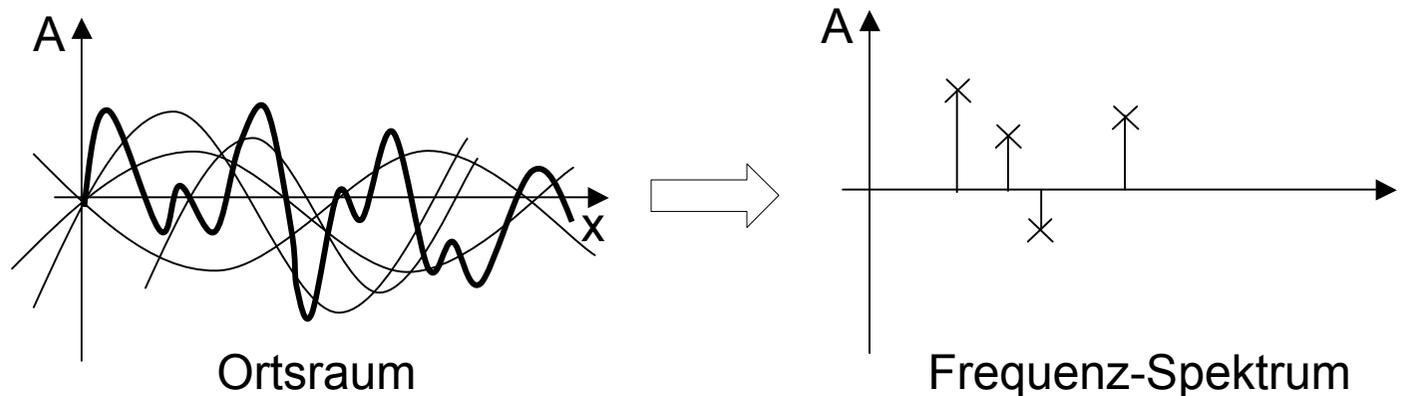
○ **Fourieranalyse** (1/4)

- Jede periodische Funktion lässt sich als Summe von Sinus- und Cosinus-Funktionen darstellen



Jean-Baptiste Joseph
Baron de Fourier
(1768-1830)

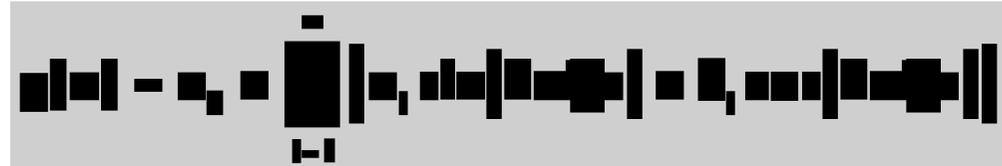
- Was ist mit nicht-periodischen, beschränkten Funktionen?



Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

○ **Fourieranalyse** (2/4)



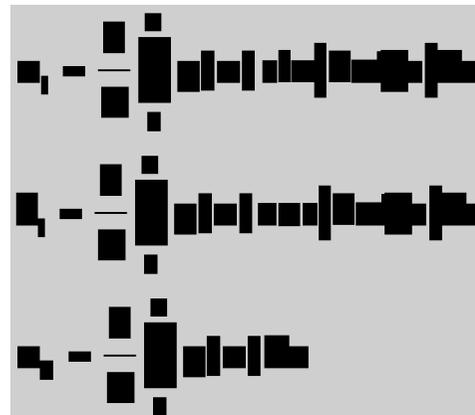
$f = 1/T$... Grundfrequenz

T ... Periodenlänge

a_n ... Sinusamplitude

b_n ... Cosinusamplitude

- Wenn die Periode T bekannt ist und die Amplituden gegeben sind, kann die ursprüngliche Funktion berechnet werden



Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

- **Fourieranalyse** (3/4)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

○ **Fourieranalyse** (4/4)

Sukzessive Annäherung an die originale Funktion

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

○ **Bandbreitenbeschränkte Signale** (1/3)

- Exakte Rekonstruktion der Originalfunktion benötigt potenziell **unendlich viele Koeffizienten** (Oberschwingungen)
- Übertragungsmedium besitzt nur **endliche Bandbreite**

Bps	T (msec)	First harmonic (Hz)	# Harmonics sent
300	26.67	37.5	80
600	13.33	75	40
1200	6.67	150	20
2400	3.33	300	10
4800	1.67	600	5
9600	0.83	1200	2
19200	0.42	2400	1
38400	0.21	4800	0

- Mit steigender Zahl der Oberschwingungen treten verstärkt **Verzerrungen** bei der Übertragung auf

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

○ **Bandbreitenbeschränkte Signale** (2/3)

- Auch ein **perfekter (rauschfreier) Kanal** hat nur eine begrenzte Übertragungskapazität (*Nyquist, 1924*)
- Sei H... Grenzfrequenz,
V... Max. Anzahl diskreter Signalstufen

$$\text{max. Datenübertragungsrate} = 2H \log_2 V \text{ bit/s}$$

- Beispiel:
rauschfreier Kanal mit $H = 3\text{kHz}$ kann zweistufige (binäre) Signale mit max. 6.000 bit/s (bps) übertragen



Harry Nyquist
(1887 - 1976)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

○ **Bandbreitenbeschränkte Signale (3/3)**

- Aber (thermodynamisches) Rauschen ist immer vorhanden (*Shannon, 1928*)
- Rauschabstand: Signal / Noise wird angegeben als $10 \log_{10} S/N$ (Dezibel, dB)
- Sei H ... Grenzfrequenz,
 S/N ... Rauschabstand

$$\text{max. Datenübertragungsrate} = H \log_2 (1+S/N) \text{ bit/s}$$

- Beispiel:
Kanal mit $H = 3\text{kHz}$ und Rauschabstand 30dB kann niemals mehr als 30.000 bps übertragen

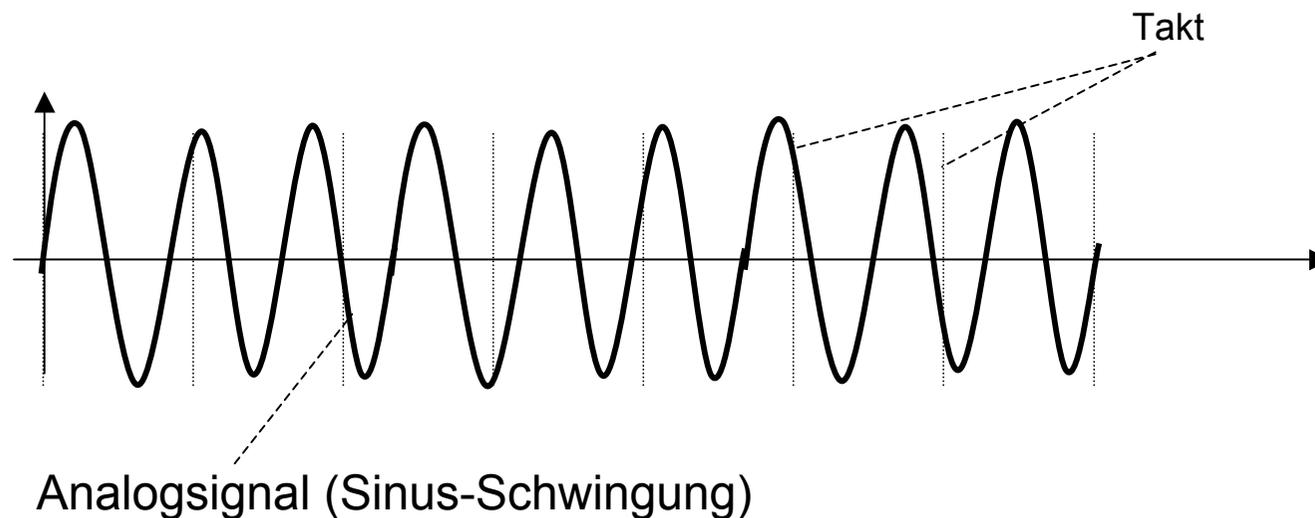


Claude E. Shannon
(1916 - 2001)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

- **Modulation** (1/2)
 - Verwende daher zur Übertragung ein möglichst **schmalbandiges Signal**
 - = Signal mit wenig unterschiedlichen Frequenzanteilen
 - um Störung durch Signalverzerrung gering zu halten



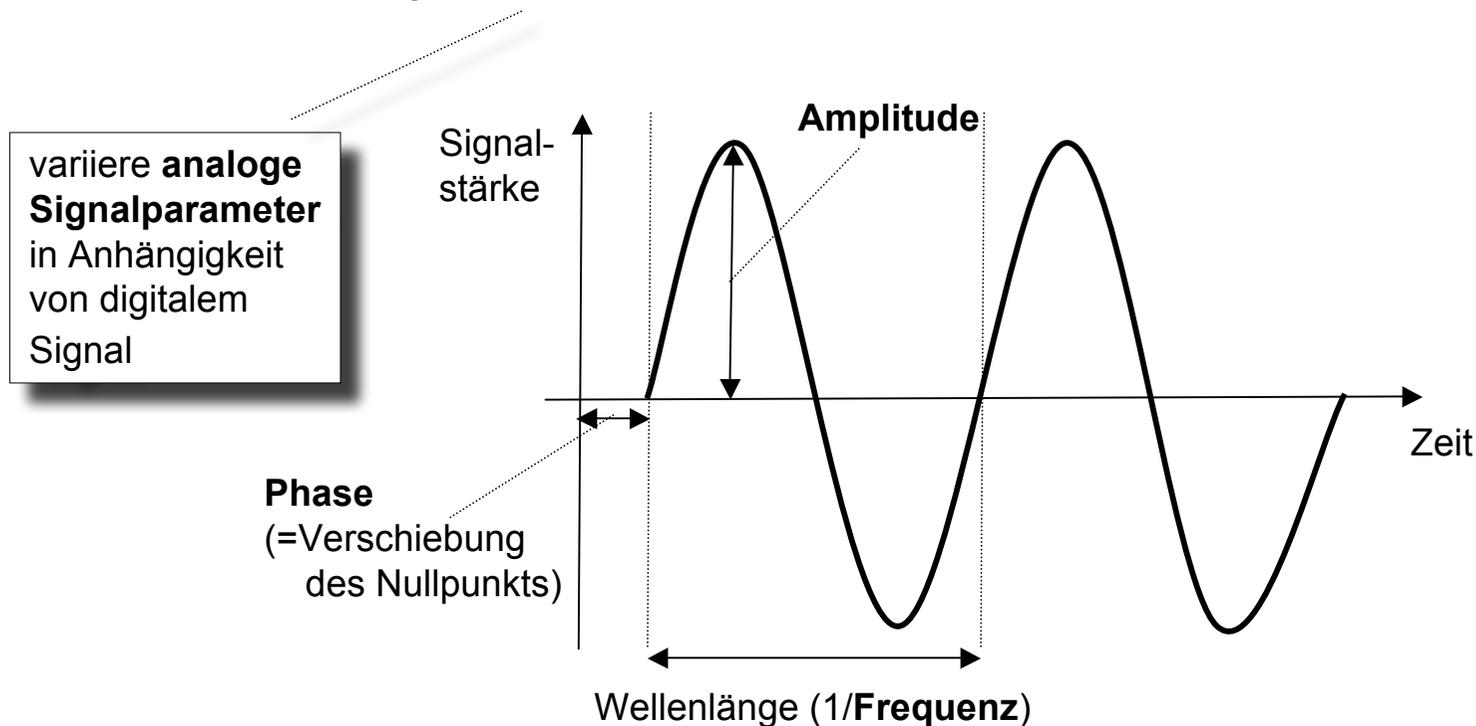
Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

○ **Modulation** (2/2)

○ **Idee:**

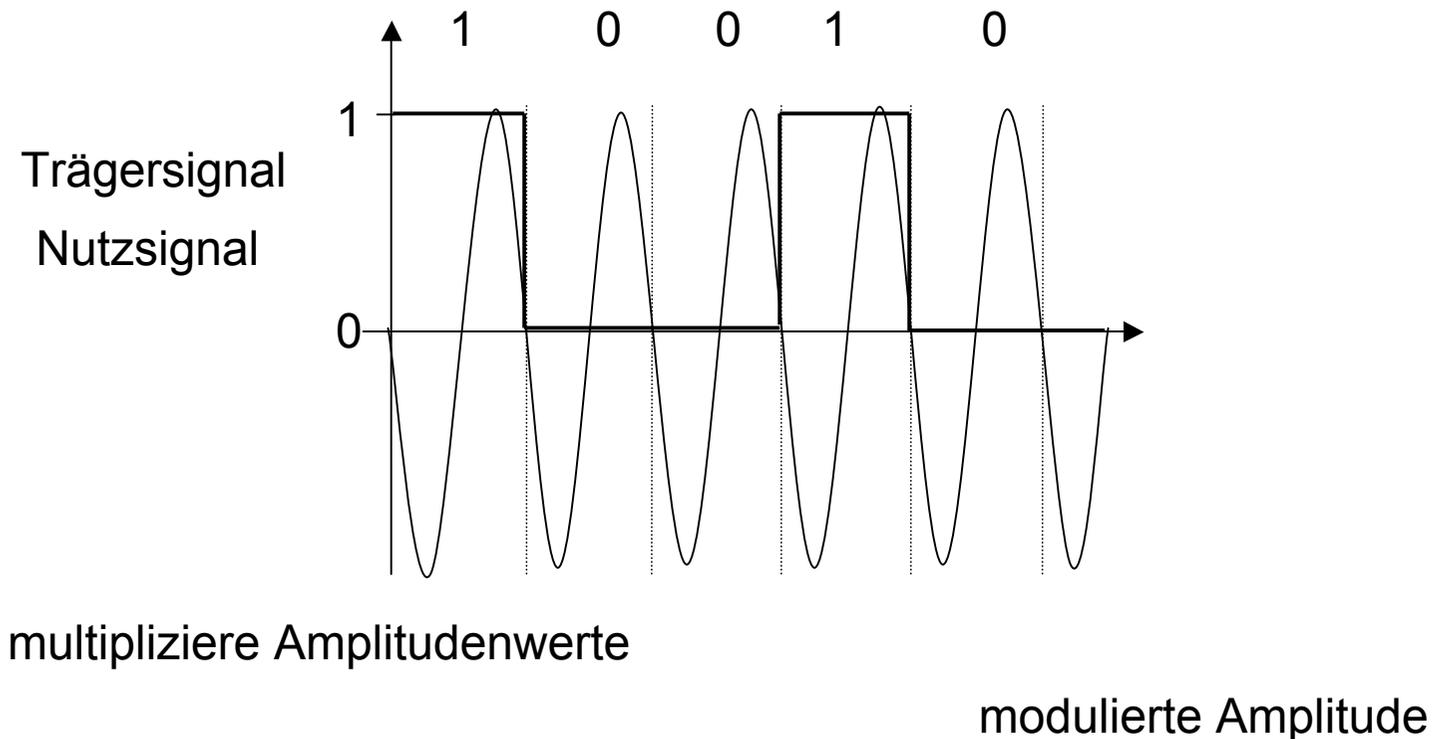
- **moduliere** digitales Signal auf einfache, monofrequente Trägerwelle



Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerk

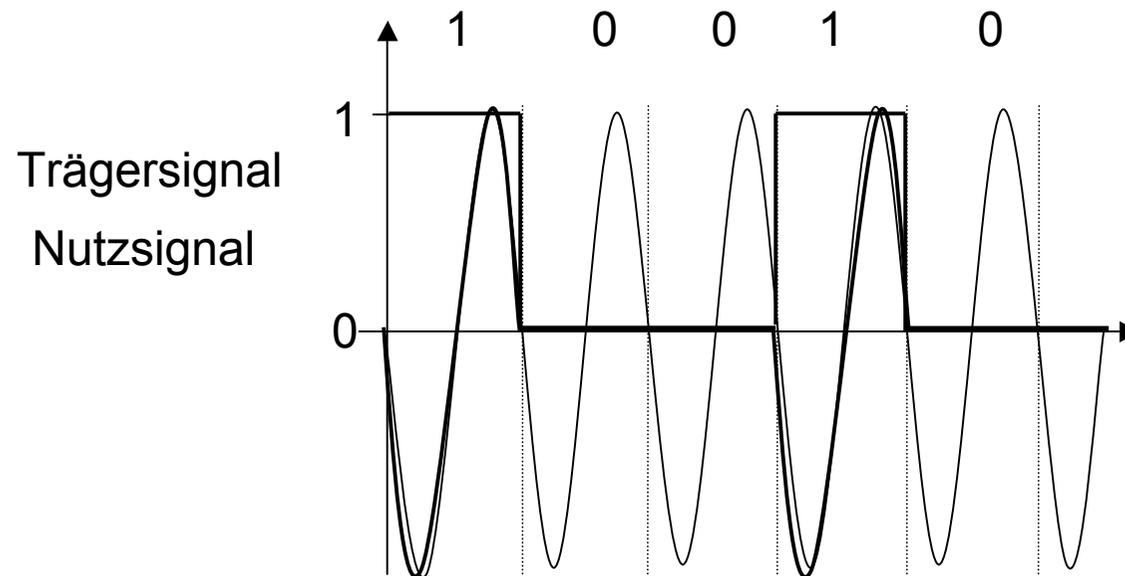
- **Amplitudenmodulation** (1/2)
 - Multipliziere Nutzsignal mit Trägersignal



Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

○ **Amplitudenmodulation** (2/2)



Amplitudenmoduliertes Signal

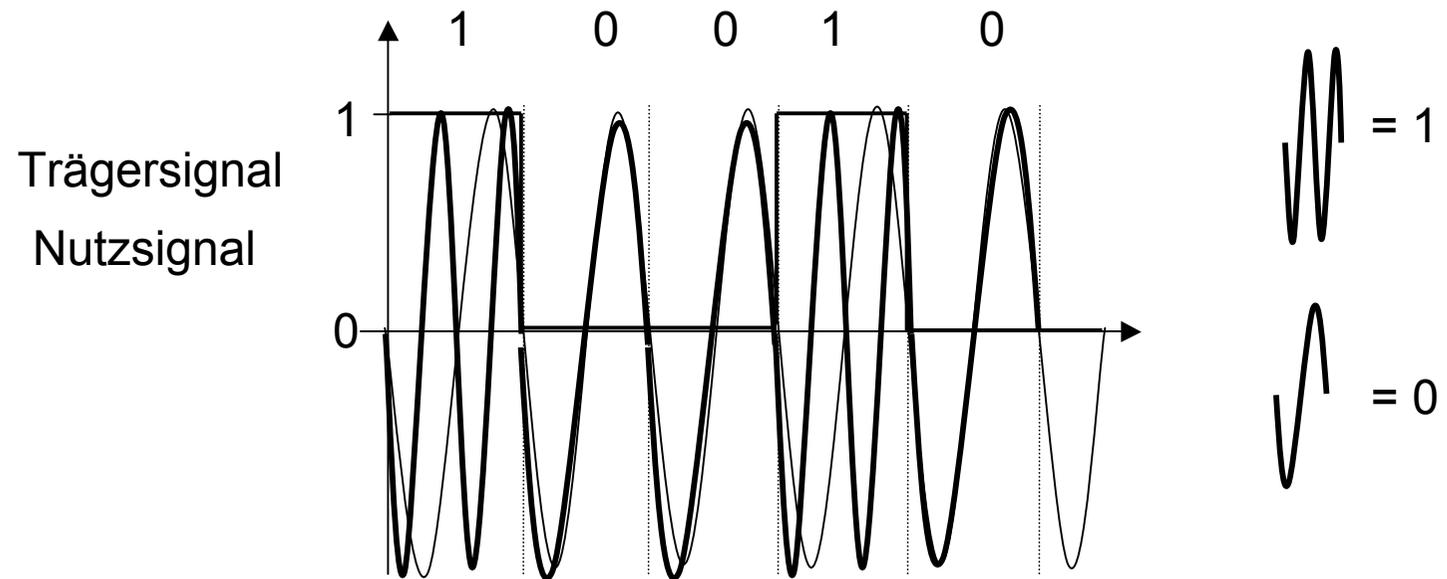
modulierte Amplitude

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerkung

○ Frequenzmodulation

- Information wird durch Variationen der Frequenz kodiert



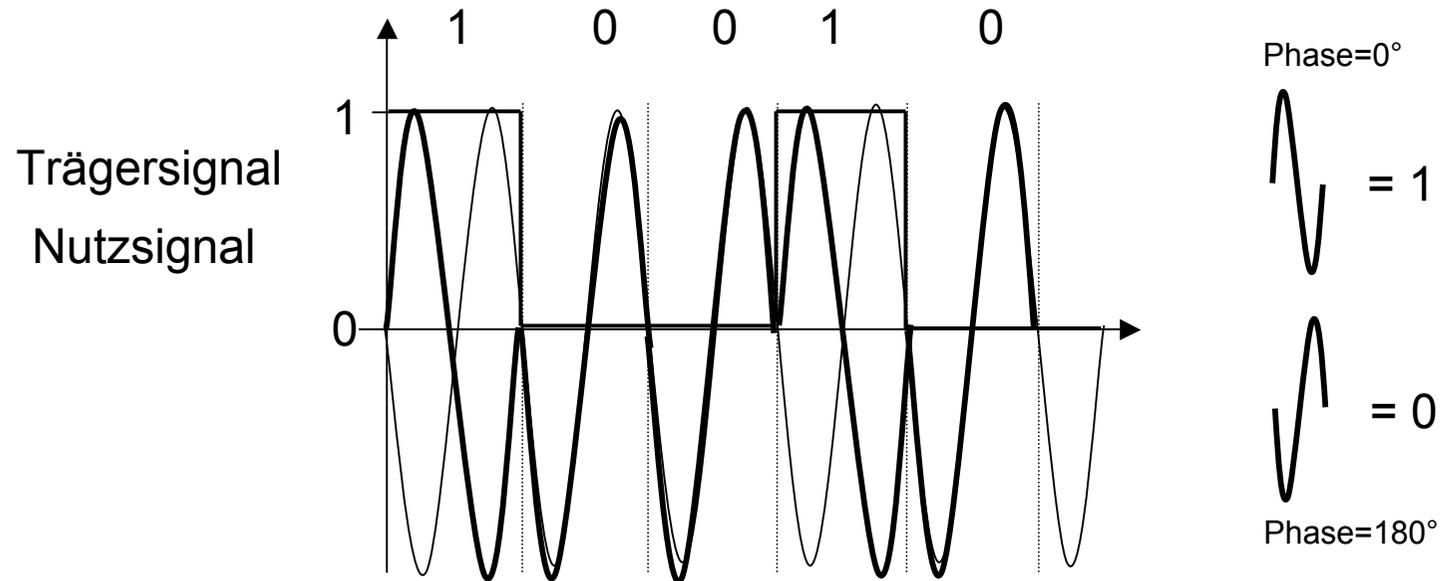
Frequenzmoduliertes Signal

Rechnernetze und Internettechnologien

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnernetzwerk

○ Phasenmodulation

- Information wird durch Verschiebung der Phase kodiert



phasenmoduliertes Signal

Rechnernetze und Internettechnologien

4. Physikalische Rechnervernetzung - Schicht 1

- 4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung
- 4.2 Kabelgebundene Medien
- 4.3 Drahtlose Medien
- 4.4 Öffentliches Telefonnetz
- 4.5 Mobiltelefonnetz

Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ **Bitübertragungsschicht**

- Aufgabe der Bitübertragungsschicht ist die Beförderung reiner Bitströme von einem Computer zum anderen.
- Zur Übertragung können unterschiedliche physikalische Medien verwendet werden, die sich unterscheiden in
 - maximale Bandbreite,
 - Verzögerung,
 - Kosten und
 - Wartungsfreundlichkeit.
- Man unterscheidet grundsätzlich zwischen
 - **Gerichteten Medien**
(z.B. Kupferkabel, Glasfaserkabel, etc.)
 - **Ungerichtete Medien**
(Funk, Mikrowelle, Laser, etc.)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ **Twisted Pair Kabel** (1/2)

- Verdrillte Leitungspaare
- Bestehen meist aus 2 isolierten, ca. 1 mm dicken Kupferdrähten
- Elektromagnetische Wellen werden durch gegenseitige Verwindung gebrochen, Kabel strahlt weniger Störungen aus
 - Kategorie Cat-3 (vor 1988)
locker verdrillt, Bandbreite 16 MHz



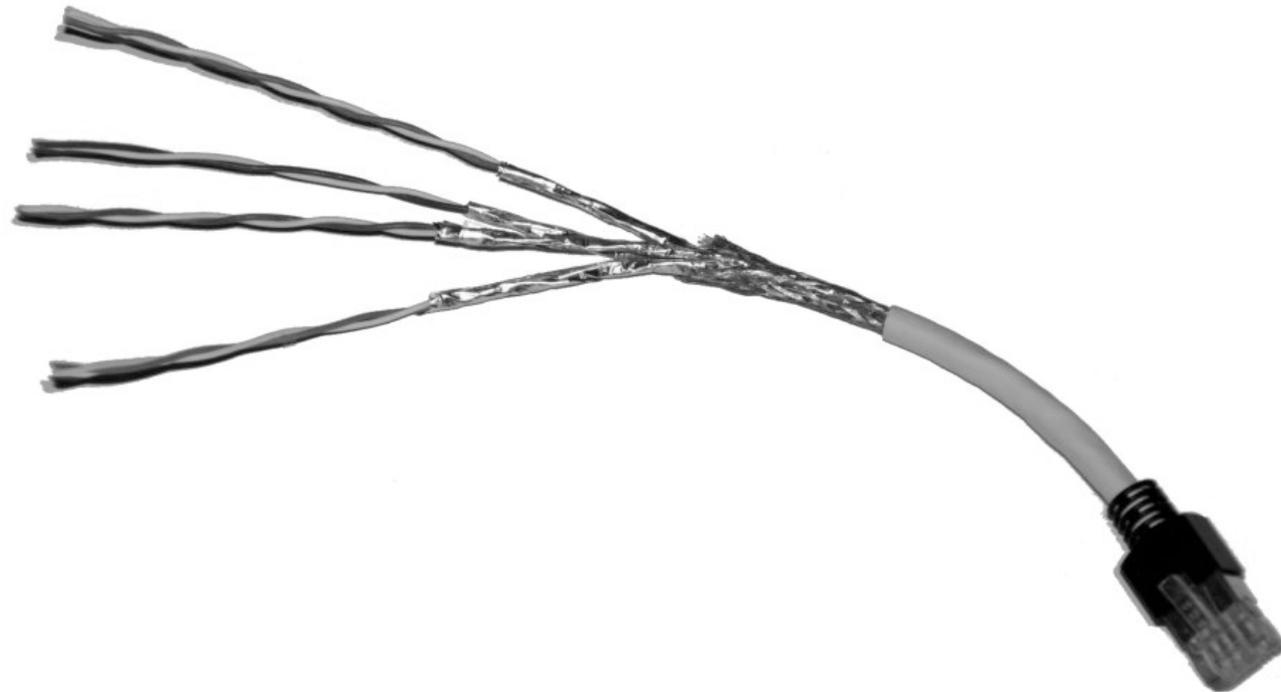
- Kategorie Cat-5 (ab 1988)
dichter verdrillt, Bandbreite 100 MHz
gewährleistet höhere Signalqualität auf größere Entfernungen



Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

- **Twisted Pair Kabel (2/2)**
 - Auf Leitungspaaren laufen symmetrische Signale (Redundanz)
 - Für zukünftige 10G-Netzwerke (10 GigaBit) sind Kategorie Cat-7 Kabel mit 600 MHz Bandbreite nötig
 - Varianten
 -

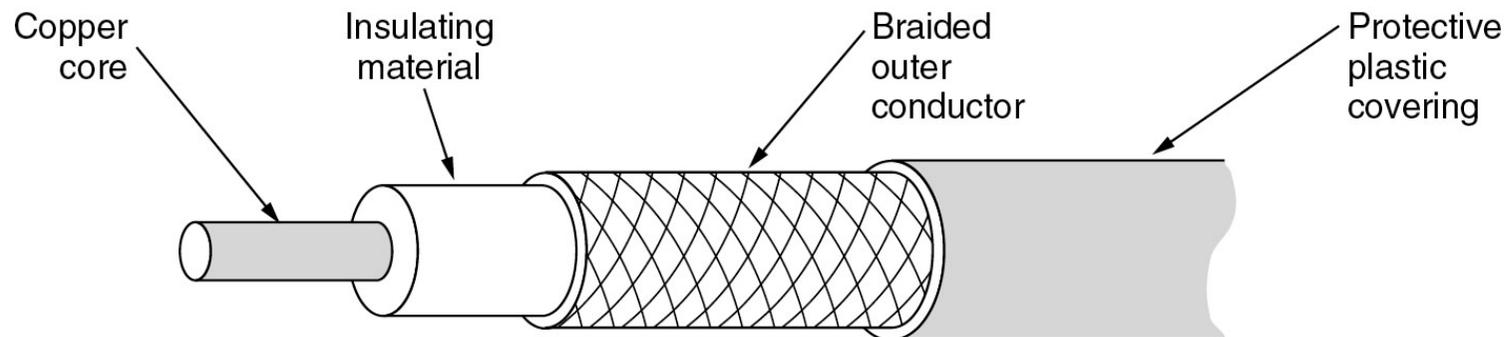


Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ Koaxialkabel

- Besser abgeschirmt als Twisted Pair Kabel, daher geeignet zur Überbrückung größerer Distanzen
- Besteht aus steifem Kupferkern, umgeben von Isolationsmaterial, der wieder von einem äußeren Leiter umgeben ist
- Varianten:
 - 50 Ohm für digitale Datenübertragung
 - 75 Ohm für analoge Übertragung (z.B. Fernsehen)
- Hohe Bandbreite (bis 1 GHz) und exzellente Rauschunterdrückung möglich



Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ **Glasfaserkabel** (1/6)

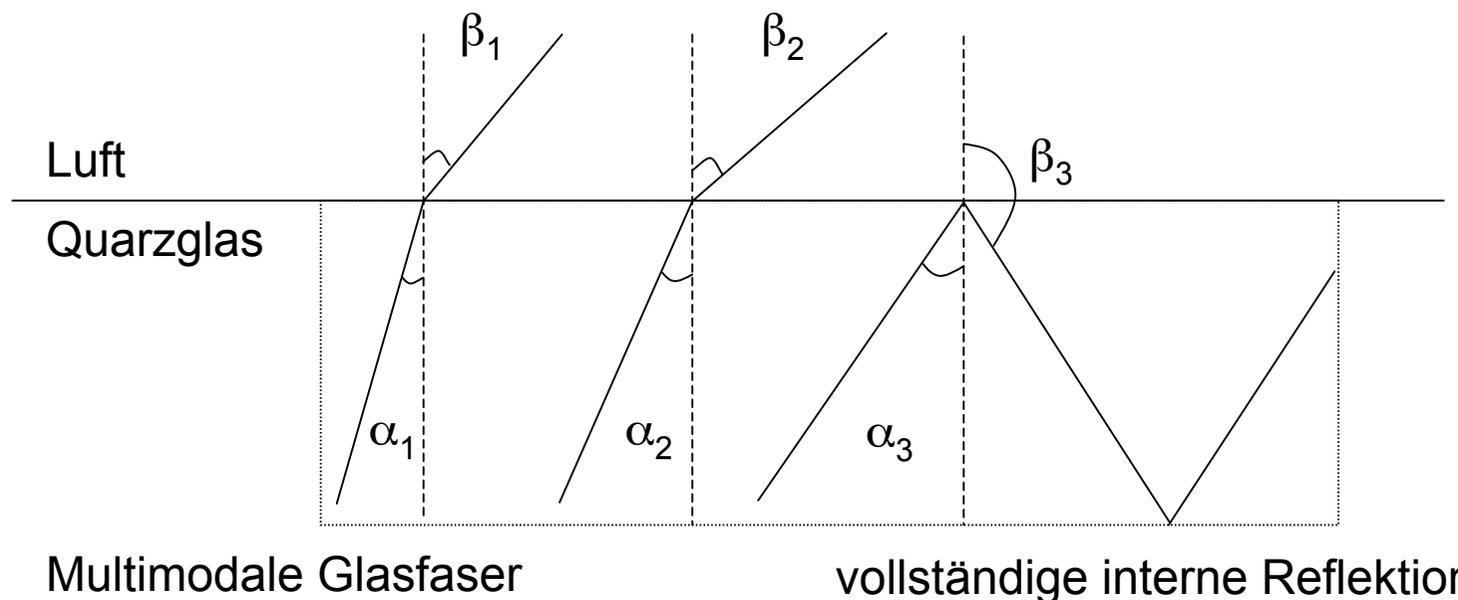
- Realisierbare Grenze der Datenübertragung liegt bei 50.000 Gbps
- Beschränkung entsteht bei der Konvertierung elektrischer und optischer Signale ineinander:
 - Heutige Grenze: 10 Gbps (auf einer einzelnen Glasfaser)
100 Gbps bereits im Labor realisiert
- Optisches Datenübertragungssystem besteht aus
 - Lichtquelle
 - Lichtimpuls = 1 / Licht aus = 0
 - LED (kurze Distanzen, billig, geringere Bandbreite) oder
 - Halbleiter-Laser (lange Distanzen, teuer, empfindlich)
 - Übertragungsmedium (Quarzglas)
 - Sensor
 - Photodiode, erzeugt elektrischen Impuls, wenn Licht darauf fällt)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ **Glasfaserkabel** (2/6)

- Lichtstrahl wird in Glasfaser in Abhängigkeit des Glasfasermaterials und des umgebenden Mediums in unterschiedlicher Weise gebrochen
- In Abhängigkeit des Einfallswinkels des Lichtstrahls tritt eine Beugung oder eine Reflektion auf



Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ **Glasfaserkabel** (3/6)

- Single-Mode Glasfaser
 - Durchmesser der Faser entspricht gerade wenigen Wellenlängen des verwendeten Lichts
 - Licht kann sich ohne Reflektion nur geradlinig darin ausbreiten
 - Single-Mode Glasfaser übertragen ohne Verstärkung 50 Gps auf Distanzen bis zu 100 km
- Signaldämpfung in der Glasfaser ist abhängig von der verwendeten Wellenlänge des Lichts

$$\text{Signaldämpfung [dB]} = 10 \log_{10} \text{ Sendeenergie / Empfangsenergie}$$

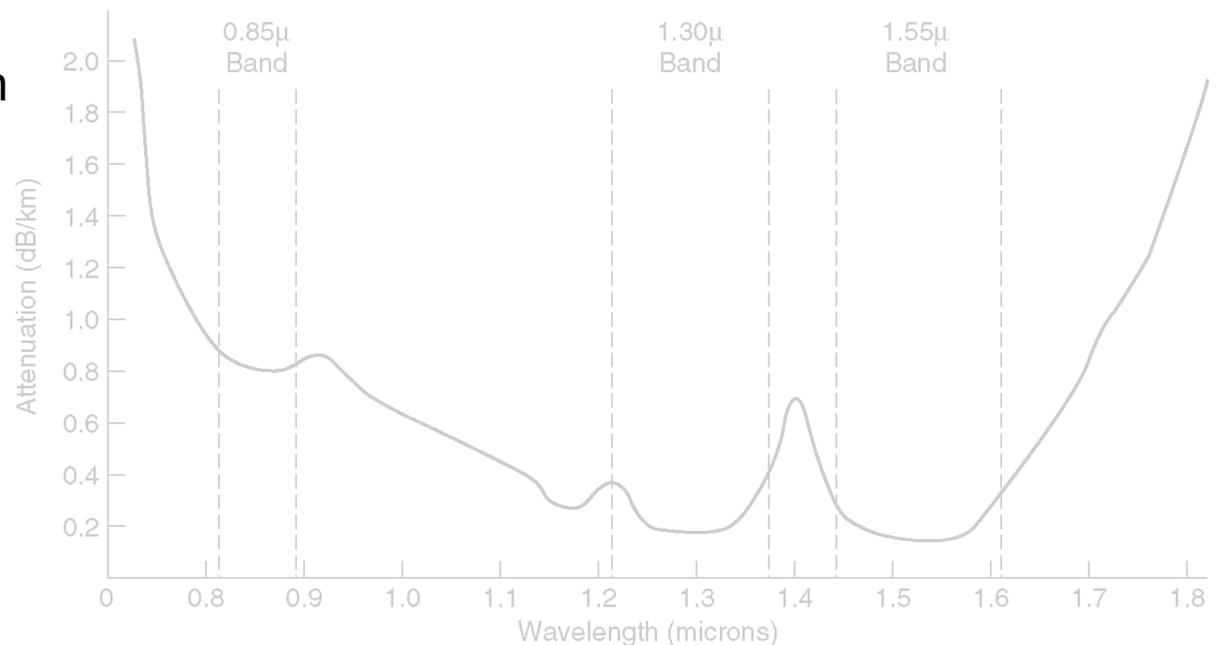
- Bsp.: Signaldämpfung auf die Hälfte der Sendeenergie
 $10 \log_{10} 2 = 3 \text{ dB}$

Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

○ **Glasfaserkabel** (4/6)

- Signaldämpfung in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts

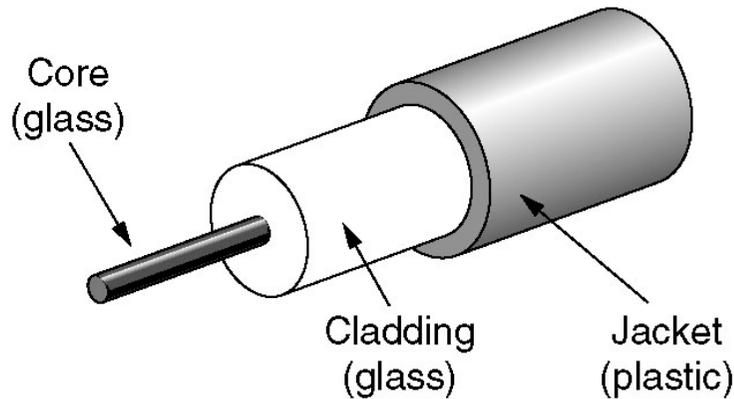


- **Problem: Chromatische Dispersion**, d.h. Längenausdehnung von Lichtimpulsen bei der Übertragung
 - Lichtimpulsüberlappung wird verhindert durch Verringerung der Datenrate
- **Lösung: Soliton-Lichtimpulse**, d.h. Lichtimpulse mit spezieller Form zur Verhinderung der Formverzerrung

Rechnernetze und Internettechnologien

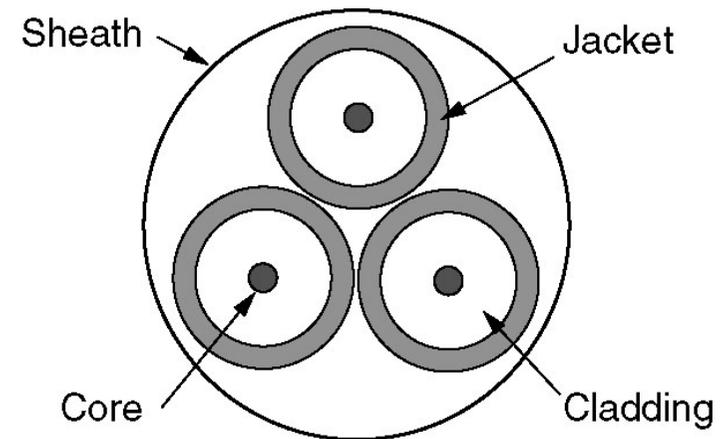
4.2 Kabelgebundene Medien

- **Glasfaserkabel** (5/6)
 - Aufbau eines Glasfaserkabels



(a)

Seitenansicht



(b)

Glasfaser Ende

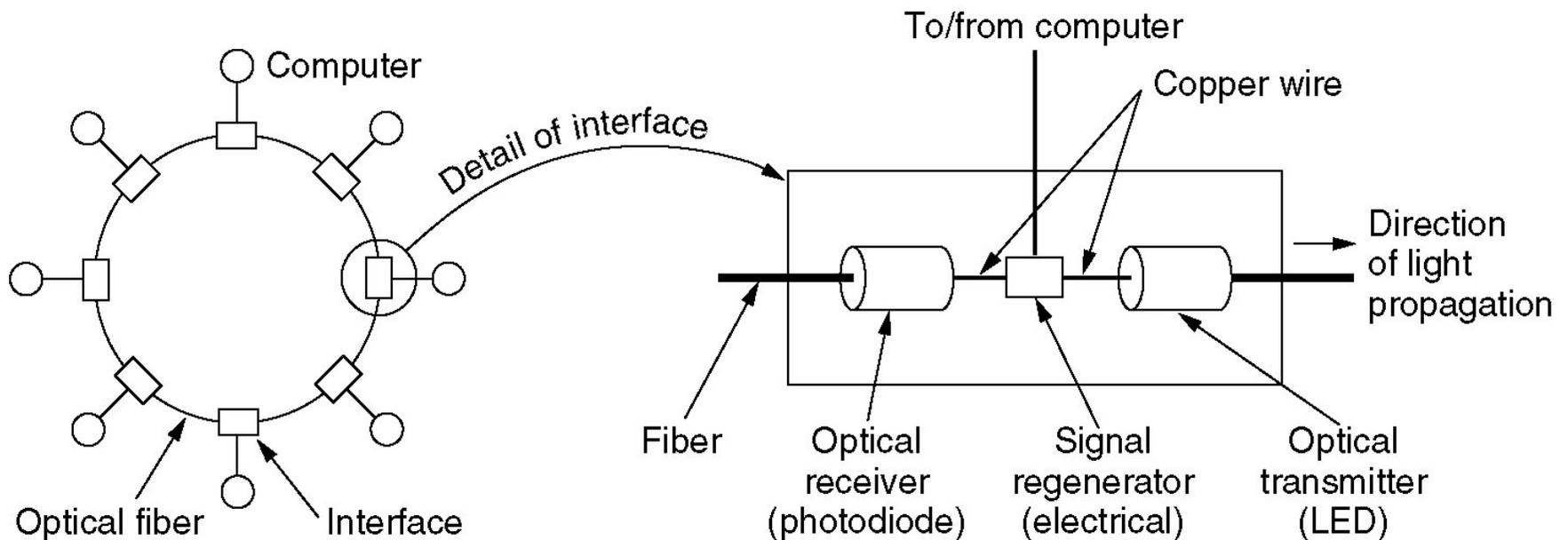
Multi-mode Glasfaser: Kerndurchmesser ca. 50 μm
Single-mode Glasfaser: Kerndurchmesser ca. 8-10 μm

Problem: Glasfaserkabel-Verbindungen (Signaldämpfung)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.2 Kabelgebundene Medien

- **Glasfaserkabel** (6/6)
 - Glasfaserring mit aktiven Repeatern



Rechnernetze und Internettechnologien

4. Physikalische Rechnervernetzung - Schicht 1

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

4.2 Kabelgebundene Medien

4.3 Drahtlose Medien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

4.5 Mobiltelefonnetz

Rechnernetze und Internettechnologien

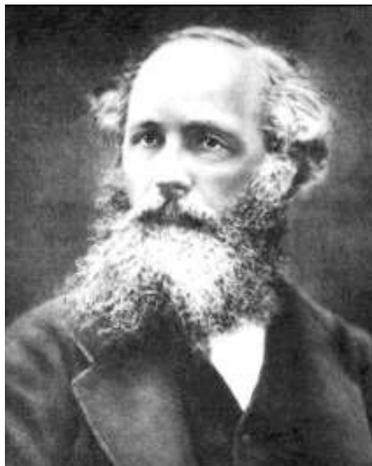
4.3 Drahtlose Medien

- **Elektromagnetisches Spektrum**

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

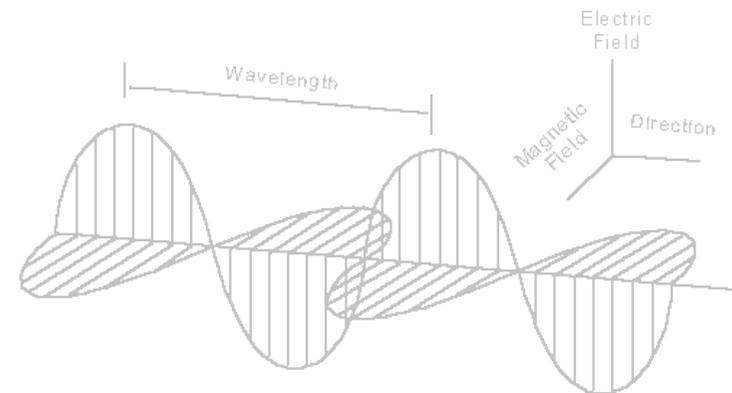
- **Elektromagnetische Wellen** (1/5)
 - 1865 James Clerk Maxwell postuliert die Existenz von elektromagnetischen Wellen
 - 1887 gelingt Heinrich Hertz erstmals ein experimenteller Nachweis von elektromagnetischen Wellen



James Clerk Maxwell
(1831-1879)



Heinrich Hertz
(1857-1895)



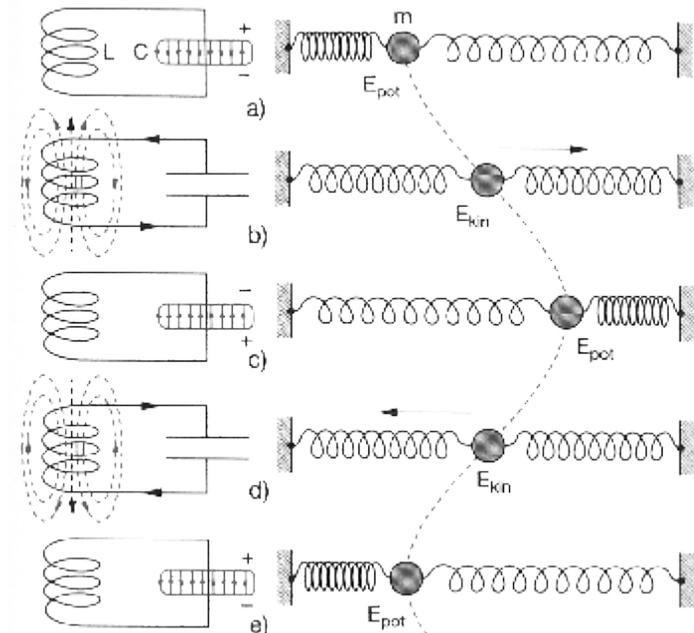
Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

○ Elektromagnetische Wellen (2/5)

- Elektrischer **Schwingkreis** besteht aus einer Spule und einem Kondensator
- Energie zwischen Spule und Kondensator wird **periodisch ausgetauscht**, wodurch abwechselnd hoher Strom oder hohe Spannung vorliegen.

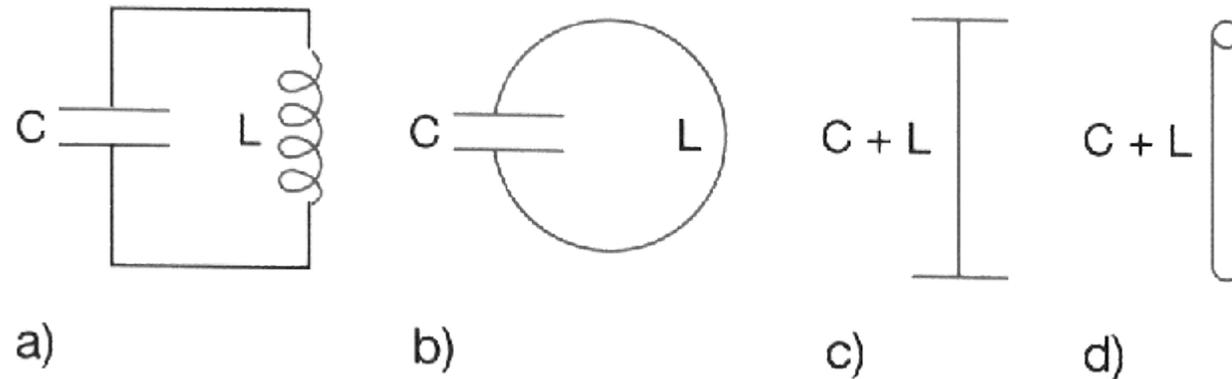
- (1) Kondensator geladen \rightarrow maximale Spannung
(Energie ist im elektrischen Feld des Kondensators gespeichert)
- (2) Kondensator entlädt sich über Spule \rightarrow Magnetfeld
(maximaler Strom)
- (3) Wegen der Trägheit der Spule gegen Stromänderung sorgt Induktion dafür, dass der Strom weiter fließt
(Energie wird dem Magnetfeld entnommen)
- (4) Kondensator wird in umgekehrter Polung wieder aufgeladen.
- (5) usw.“



Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

○ Elektromagnetische Wellen (3/5)

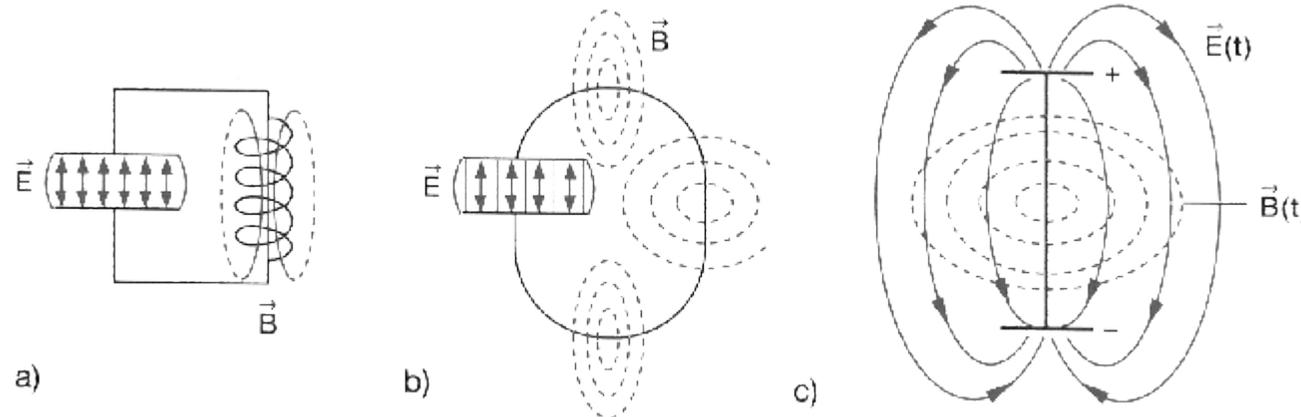


- Die Spule wird durch eine einzige Leiterschleife ersetzt, die dann die Induktivität darstellt.
- Der Kondensator aufgebogen, bis wir einen Stab (Stabantenne) erhalten

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

○ Elektromagnetische Wellen (4/5)



- In der Ausgangskonfiguration (a) sind die (zeitlich variierenden) Felder innerhalb von Kapazität und Induktivität lokalisiert
- Beim Stab (c) greifen diese weit in den Raum hinaus

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

- **Elektromagnetische Wellen** (5/5)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

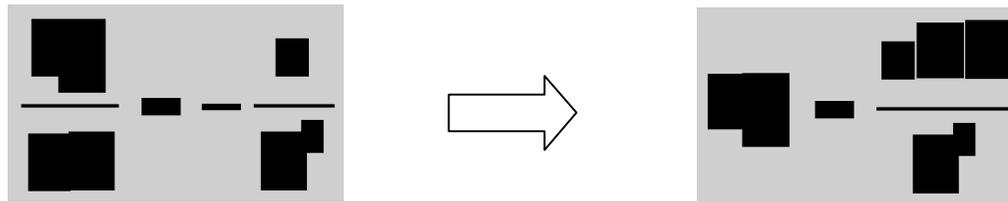
○ **Funkübertragung** (1/5)

- Fundamentalzusammenhang zwischen Wellenlänge und Frequenz:



c ... Lichtgeschwindigkeit
 $3 \cdot 10^8$ m/s

- Nach f auflösen und nach λ differenzieren, dann statt Differentiale nur endliche Differenzen betrachten

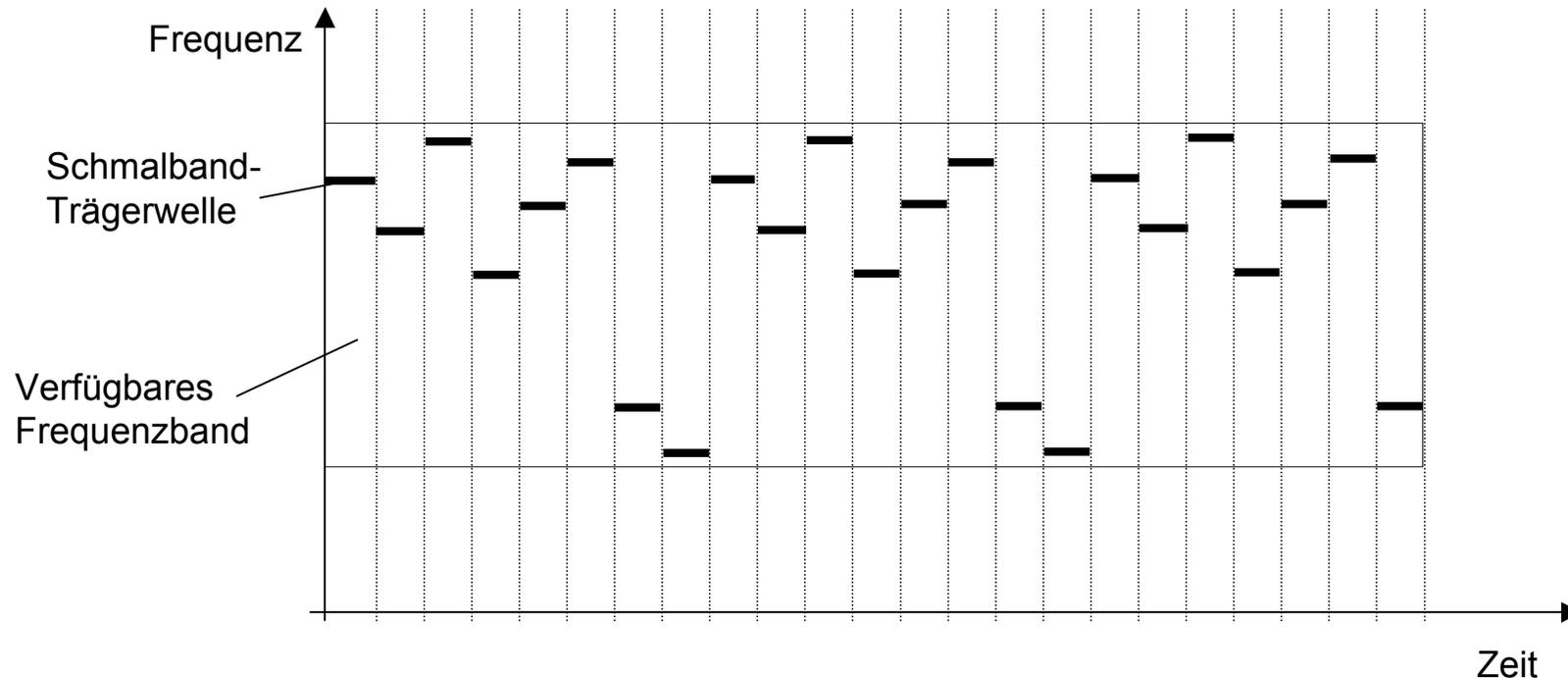


- Damit kann bei gegebener Bandbreite $\Delta\lambda$ das entsprechende Frequenzband f und daraus die Datenübertragungsrate berechnet werden (Übung)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

- **Funkübertragung (2/5)**
 - Zur Datenübertragung nutzt man üblicherweise ein schmales Frequenzband ($\Delta f/f \ll 1$), um optimalen Empfang sicherzustellen
 - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS, Streuspektrum)



Rechnernetze und Internettechnologien

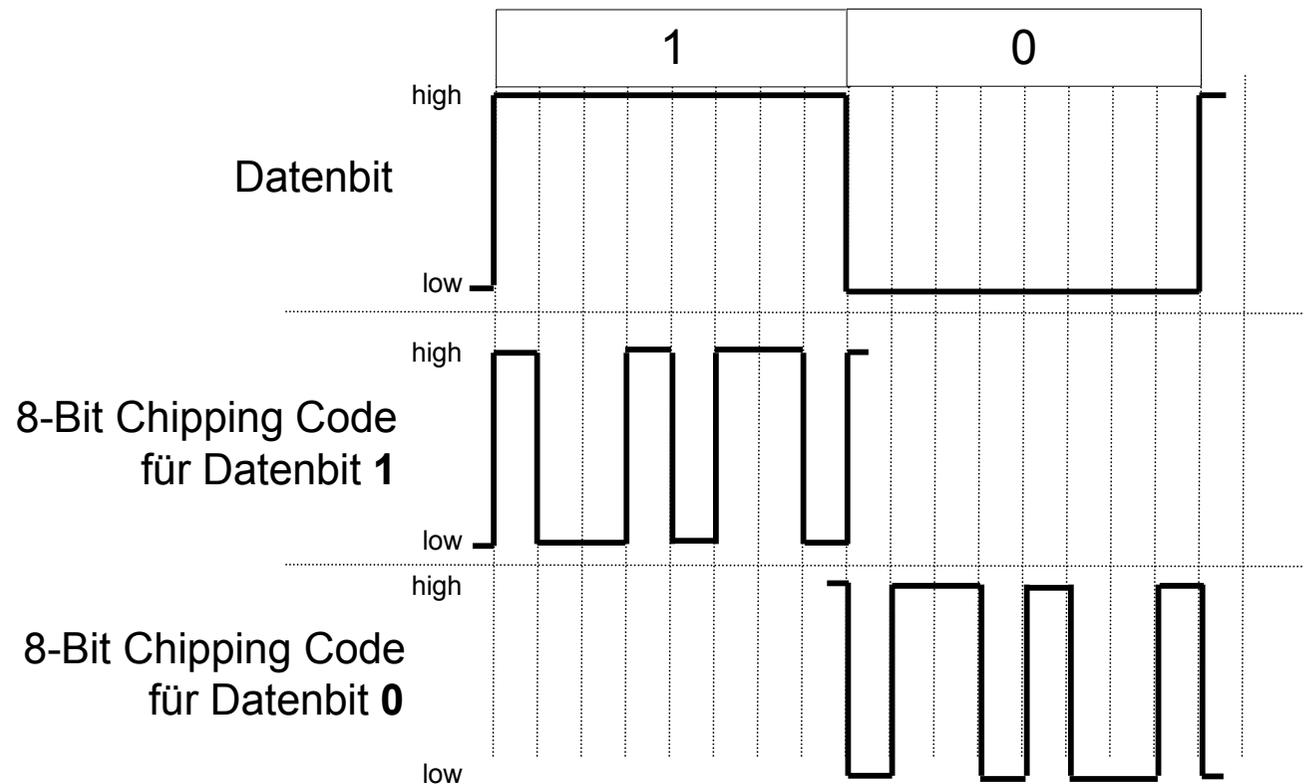
4.3 Drahtlose Medien

- **Funkübertragung** (3/5)
 - **Direct Sequence Spread Spectrum** (DSSS, Spreizbandtechnik)
 - Kombination des zusendenden Datenstroms mit einem speziellen Code → **Chipping Code**
 - Jedes Datenbit (0/1) wird dabei auf eine speziell zwischen Sender und Empfänger vereinbarte (zufällige) Bitfolge abgebildet
 - 1 → Chipping Code
 - 0 → invertierter Chipping Code
 - **Abhörsicherheit:**
Bitsignatur durch Chipping Code ist nur Sender und Empfänger bekannt
 - **Fehlertoleranz:**
Bitsignatur gewährleistet effiziente Fehlerkorrektur → geringe Störanfälligkeit

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

- **Funkübertragung (4/5)**
 - **Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS, Spreizbandtechnik)**

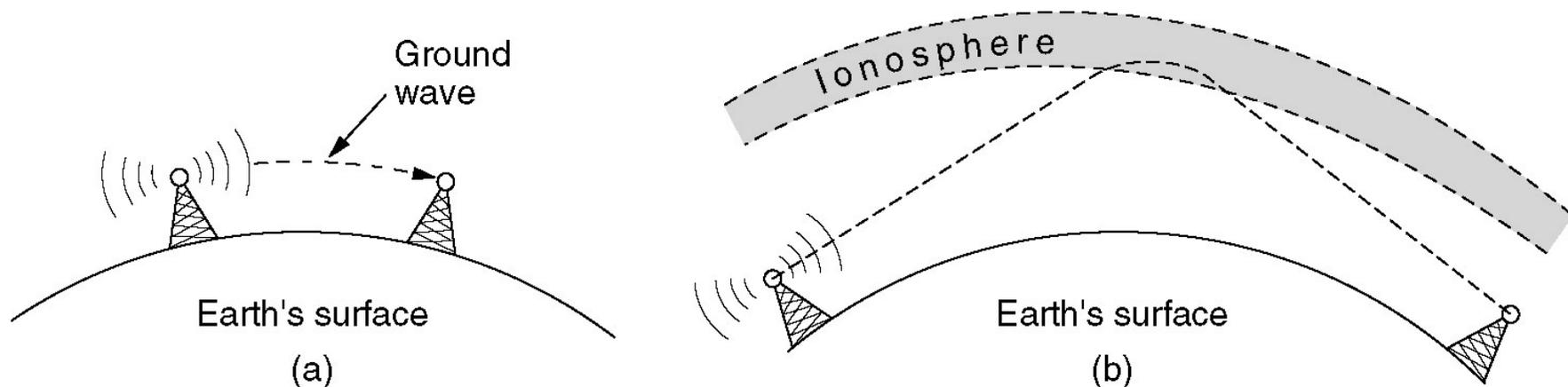


Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

○ **Funkübertragung** (5/5)

- Eigenschaften von Funkwellen sind frequenzabhängig
- **Niedrige Frequenzen** können Hindernisse leicht durchdringen, jedoch fällt Leistung E mit zunehmender Entfernung r stark ab ($E \sim 1/r^2$)
- **Hohe Frequenzen** breiten sich geradelinig aus und prallen an Hindernissen ab
- Störungen durch Überlagerungen von Funkwellen sollen durch staatliche Reglementierung bei der Frequenzvergabe vermieden werden



Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

- **Mikrowellen-, Infrarot- und Lichtwellenübertragung**
 - Im Gegensatz zu Funkwellen können Mikrowellen, Infrarotstrahlung oder Lichtwellen feste Gegenstände nicht durchdringen

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

- **Kommunikationssatelliten** (1/2)
 - Kommunikationssatellit ist multifrequenter Mikrowellenverstärker am Himmel
 - Umlaufzeit des Satelliten ist von Orbitalradius abhängig
 - Geostationärer Orbit (d.h. Umlaufzeit exakt 24 Stunden) in 35.800 km Höhe

Oberer Van-Allen-Strahlungsgürtel

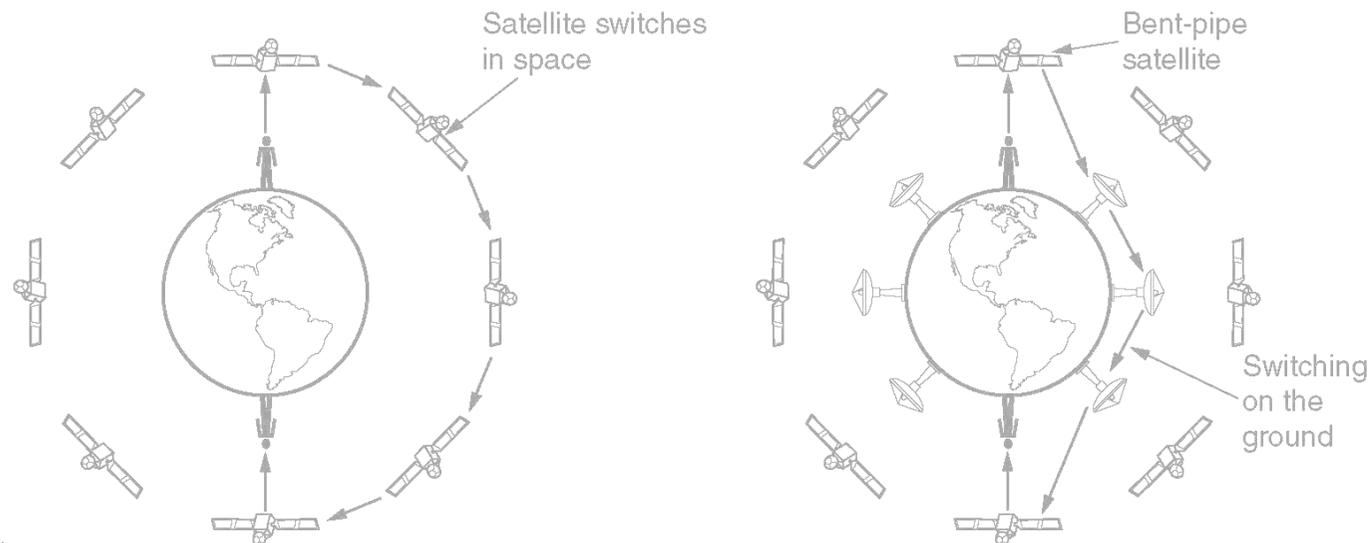
Unterer Van-Allen-Strahlungsgürtel

Rechnernetze und Internettechnologien

4.3 Drahtlose Medien

○ **Kommunikationssatelliten** (2/2)

- GEO - Geo Stationary Earth Orbit
- MEO - Medium Earth Orbit
 - MEO Satelliten benötigen für eine Erdumkreisung ca. 6 Stunden
 - Bsp.: 24 GPS (Global Positioning System) Satelliten in 18.000 km Höhe
- LEO - Low Earth Orbit
 - LEO Satelliten benötigen nur geringe Sendeenergie
 - Bsp.: (fehlgeschlagenes) Iridium Projekt mit 66 LEO Satelliten



Rechnernetze und Internettechnologien

4. Physikalische Rechnervernetzung - Schicht 1

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

4.2 Kabelgebundene Medien

4.3 Drahtlose Medien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

4.5 Mobiltelefonnetz

Rechnernetze und Internettechnologien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

○ Das öffentliche Telefonnetz

- bestehendes Telefonnetz setzt sich aus digitalem Weitverkehrsnetzwerk und zum Teil noch analogen Teilnehmeranschlüssen (**Local Loop / Last Mile**) zusammen

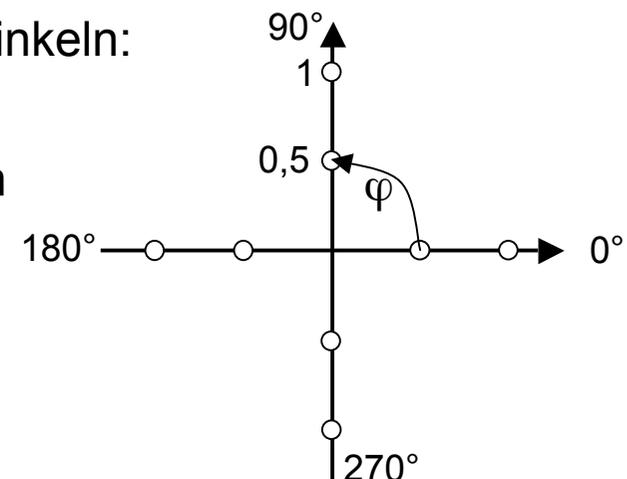


Rechnernetze und Internettechnologien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

○ Datenübertragung mit Modem im analogen Telefonnetz

- Analoges Telefonnetz ist in der Lage, Frequenzen im Bereich **300 Hz – 4000 Hz** zu übertragen
- bei einfacher Modulation können **max. 4.000 bps** übertragen werden
- Nutze komplexere Modulationsverfahren, z.B. QAM,
 - Kombiniere Amplitudenmodulation mit zwei Amplitudenwerten:
 - **0,5** und **1**
 - und Phasenmodulation mit 4 Phasenwinkeln:
 - **90, 180, 270** und **360** Grad
 - Ergibt $8=2^3$ Kombinationsmöglichkeiten
 - D.h. pro Takt können 3 bit gesendet werden



Rechnernetze und Internettechnologien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

○ **ISDN**

- **Integrated Service Digital Network** (ISDN, ab 1987 in Deutschland) überträgt Daten direkt in digitaler Form (ohne Digital-Analog-Wandlung)
- Datenübertragung erfolgt digital über **PCM** (Pulse Code Modulation) mit 8-Bit, 8.000 Hz (= 64.000 bps)
- ermöglicht Teilnehmer die Nutzung **unterschiedlicher Systemdienste** über dieselbe Leitung
 - Sprachkommunikation
 - Datenkommunikation
- Endteilnehmer verfügt über **Basisanschluss**
 - 2 Nutzdatenkanäle (B-Kanäle) á 64 kbps
 - 1 Steuerungskanal (D-Kanal) á 16 kbps
- max. Datentransferrate bei ISDN-Basisanschluss: 128 kbps
- Höhere Datenübertragungsraten möglich durch Bündelung von mehreren B-Kanälen zu so genannten **Hybridkanälen**
 - **H₀** bündelt 6 B-Kanäle zu 384 kbps
 - **H₁₂** bündelt 30 B-Kanäle zu 1.92 Mbps

Rechnernetze und Internettechnologien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

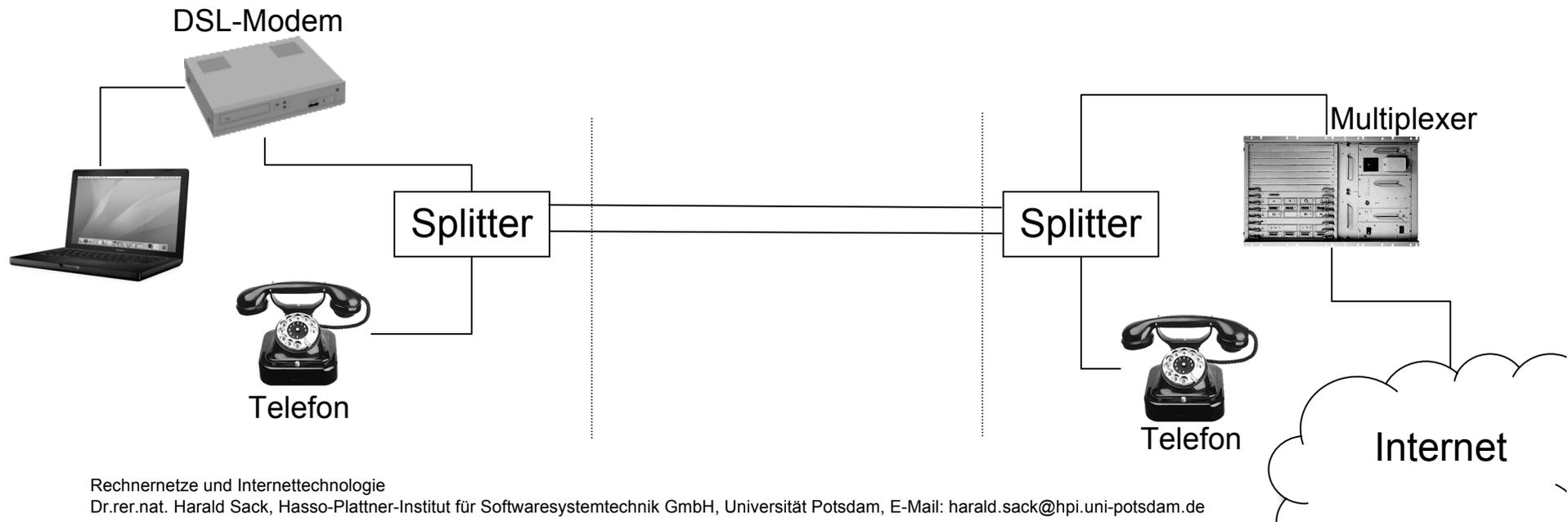
- **DSL - Digital Subscriber Line** (1/3)
 - Reguläres Telefonnetz ist spezialisiert für die Übertragung von **Sprache**
 - → Begrenzung zwischen 300 und 4000 Hz
 - Vermittlungsstellen beschneiden die Frequenzen der übermittelten Signale entsprechend (**Filterung**), um so den Übertragungsweg für Sprache zu optimieren

 - **DSL** arbeitet mit den regulären Telefonverbindungen über **alternative Vermittlungsstellen**, die keine spezielle Filterung für Sprachdaten vornehmen

Rechnernetze und Internettechnologien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

- **DSL - Digital Subscriber Line** (2/3)
 - DSL-**Bandbreite** abhängig von der Qualität des verlegten Kabels und der Distanz von der Vermittlungsstelle
 - Signalqualität nimmt mit zunehmender Entfernung von der Vermittlungsstelle ab
 - Daten- und Sprachübertragung werden **parallel** abgehandelt



Rechnernetze und Internettechnologien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

- **DSL - Digital Subscriber Line (3/3)**
 - Sprach- und Datenübertragung werden **auf verschiedenen, getrennten Frequenzbändern** durchgeführt
 - Upstream und Downstream sind asymmetrisch aufgeteilt
 - Bei ADSLx max. bis 8-25 Mbps downstream, 0,6-3,5 Mbps upstream
 - **Carrierless Amplitude Phase (CAP)**

0 – 4 kHz	Sprachkommunikation,
25 -160 kHz	Daten upstream,
240 kHz – 1,6 MHz	Daten downstream
 - **Discrete Multitone (DMT)**

256 Subkanäle á 4,3126 kHz mit flexibler Aufteilung der einzelnen Subkanäle

Rechnernetze und Internettechnologien

4. Physikalische Rechnervernetzung - Schicht 1

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

4.2 Kabelgebundene Medien

4.3 Drahtlose Medien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

4.5 Mobiltelefonnetz

Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

○ **Kanalaufteilung**

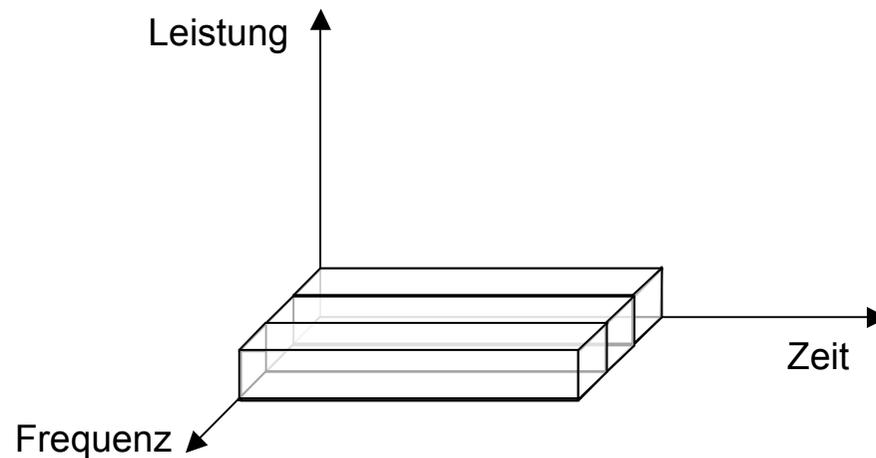
- In der Regel ist einem funkgestützten Kommunikationssystem eine bestimmte **Frequenz** bzw. ein Frequenzbereich zugeordnet von der Funkaufsichtsführenden Behörde zugeordnet.
- Wenn das Kommunikationssystem **von vielen Teilnehmern gleichzeitig** genutzt werden soll, müssen sich diese die zur Verfügung stehende Frequenz(en) teilen
 - **Frequenzmultiplexing**
 - **Zeitmultiplexing**
 - **Codemultiplexing**

Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

○ **Frequenzmultiplexing**

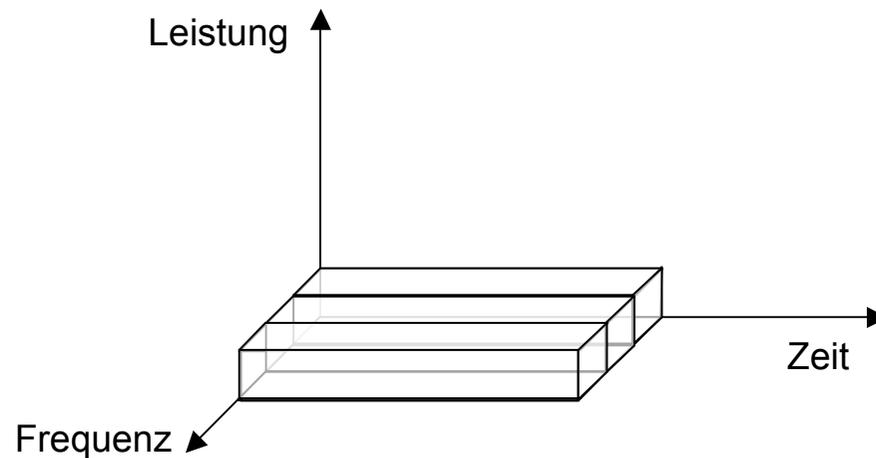
- **FDMA** (Frequenz Division Multiple Access)
- **Aufteilung des** zur Verfügung stehenden **Frequenzbereichs** (Frequenzband) auf die Teilnehmer **in disjunkte einzelne Kanäle**
- benachbarte Kanäle stören sich



Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

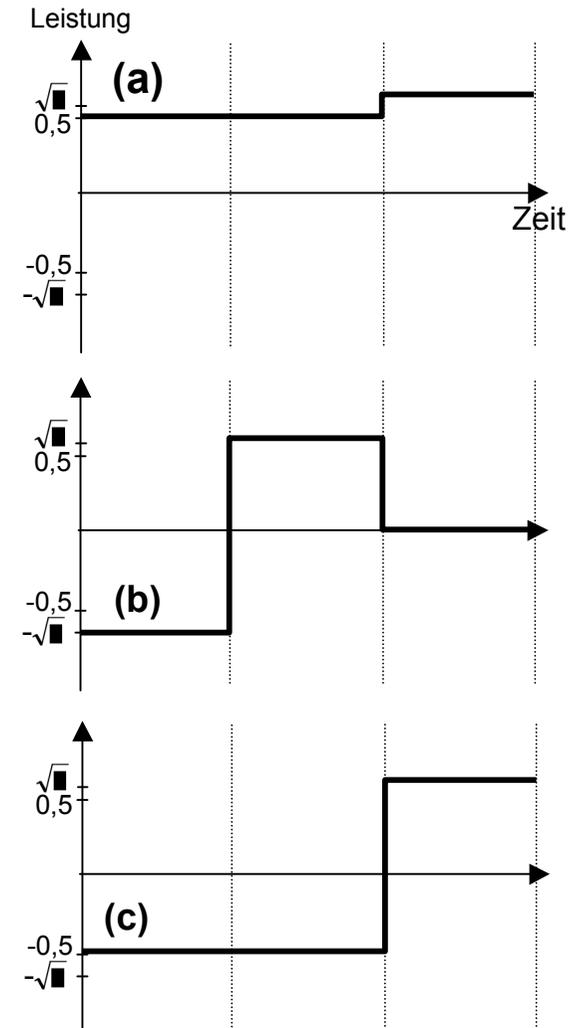
- **Zeitmultiplexing**
 - **TDMA** (Time Division Multiple Access)
 - Aufteilung der Sendezeit in **disjunkte Zeitschlitz**e für die einzelnen Teilnehmer, die in Gruppen zu **Zeitraumen** zusammengefasst werden
 - Systemtakt notwendig



Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

- **Codemultiplexing (1/2)**
 - **CDMA** (Code Division Multiple Access)
 - Alle im Frequenzband gleichzeitig gesendeten Signale werden mit einem **speziellen CDMA-Code** versehen
 - z.B. $a = (0.5, 0.5, \sqrt{2})$
 $b = (-\sqrt{2}, \sqrt{2}, 0)$
 $c = (-0.5, -0.5, \sqrt{2})$
 - **CDMA-Codes** müssen wechselseitig orthogonal sein (d.h. $a \cdot b = 0 \dots$)



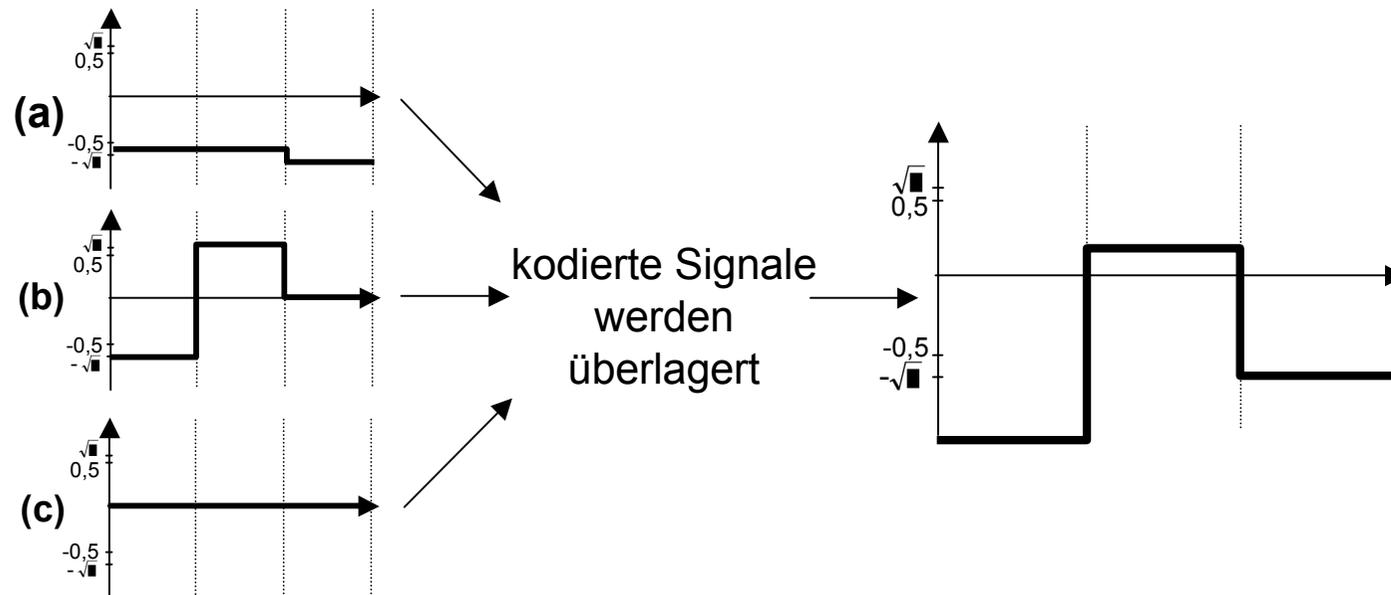
Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

○ Codemultiplexing (2/2)

○ CDMA (Code Division Multiple Access)

- Sende: Kanal (a): **0** (entspricht dem inversen Signal)
Kanal (b): **1**
Kanal (c): **kein Signal**

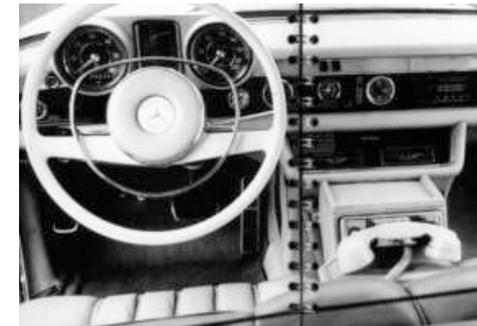


Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

○ Mobilfunknetze in Deutschland

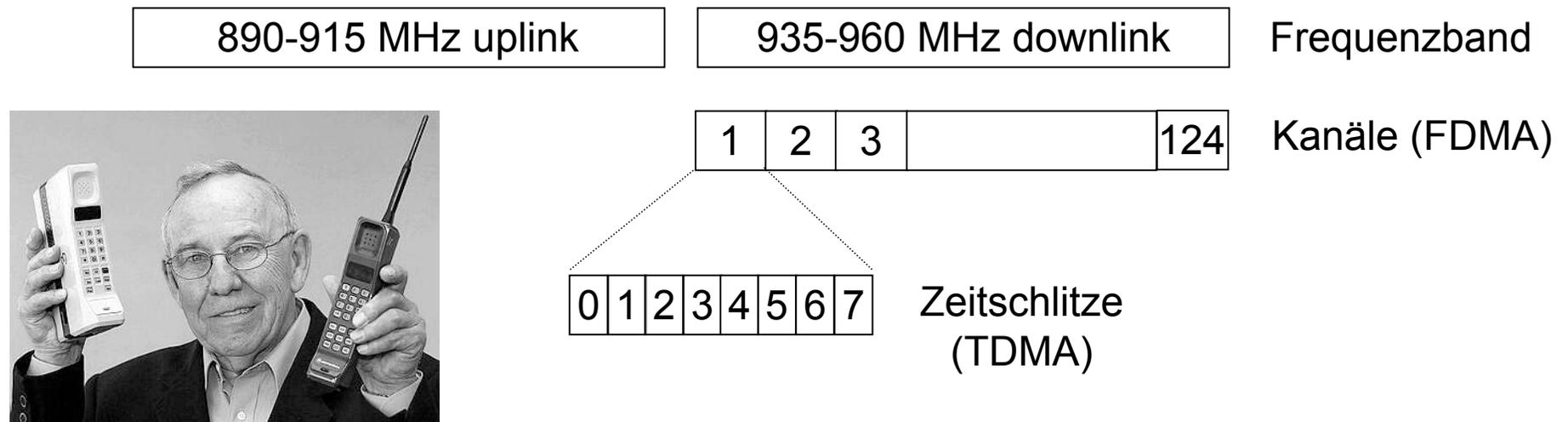
- **1958 A-Netz**
 - Analoge Sprachübertragung
 - Manuelle Vermittlung
- **1972 B-Netz**
 - Analoge Sprachübertragung
 - Automatische Vermittlung
- **1985 C-Netz**
 - Analoge Sprachübertragung
 - Abschaltung 2001



Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

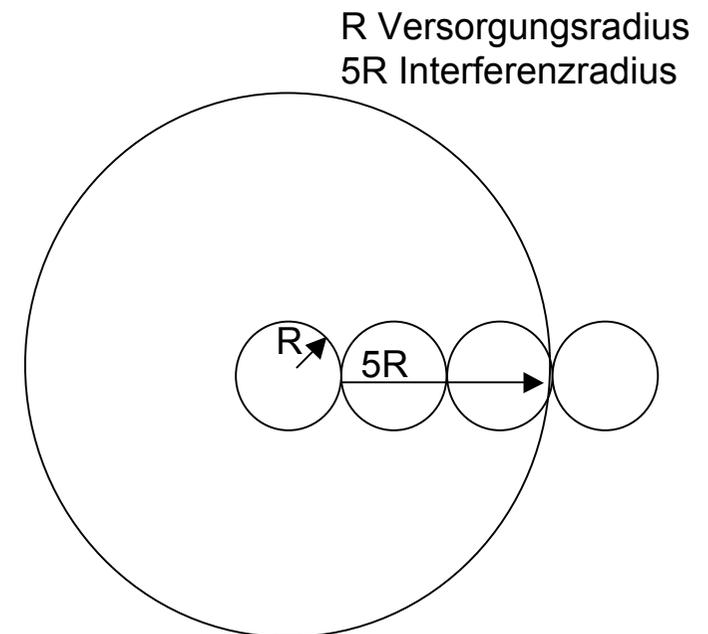
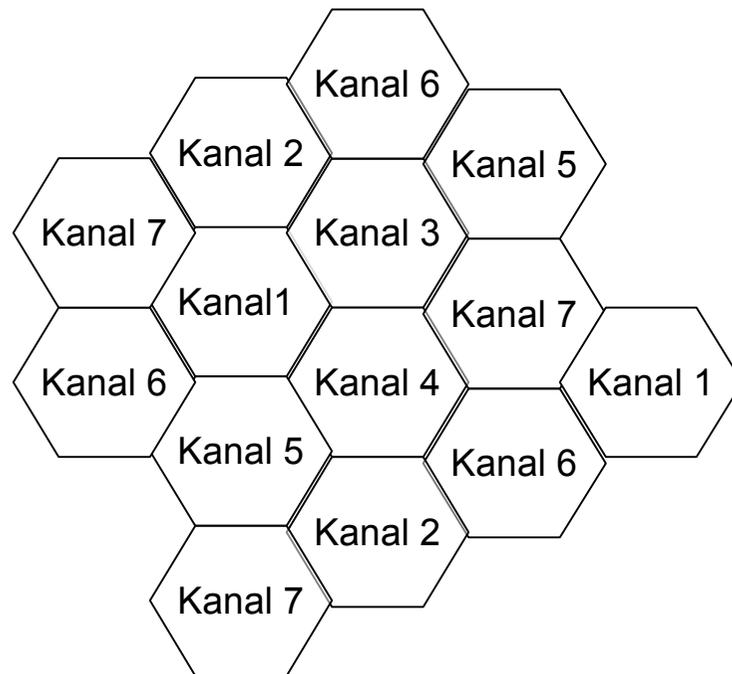
- **GSM - Mobilfunk der 2. Generation** (1/3)
 - GSM (Global System for Mobile Communications)
 - digitale Sprachübertragung, kombiniert FDMA und TDMA
 - GSM 900 FB 880MHz – 960MHz (D-Netz)
 - GSM 1800 FB 1710 MHz – 1880MHz (D- und E-Netz)



Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

- **GSM - Mobilfunk der 2. Generation (2/3)**
 - Zellulare Netzstruktur
 - **benachbarte Zellen** müssen **unterschiedliches Frequenzband** verwenden



Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

- **GSM - Mobilfunk der 2. Generation** (3/3)
 - GSM-Sprachübertragung mit ca. 13 kbps (netto)
 - GSM-Datenübertragung mit 9,6 kbps

- **HSCSD** (High Speed Circuit Switched Data)
 - Bündelung aller 8 Zeitschlitz
 - Max. Datenrate: 76.8 kbit/s

- **GPRS** (General Packet Radio System)
 - paketorientierter Datendienst
 - Direkte Schnittstelle zu IP basierten Anwendungen
 - Abrechnung nach Datenvolumen möglich
 - 115 kbit/s (aus 8 Kanälen und 14,4 kbit/s pro Kanal)

Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

- **UMTS - Mobilfunk der 3. Generation** (1/4)
 - UMTS (**U**niversal **M**obile **T**elecommunication **S**ervice)
 - 1992 ITU IMT-2000 Standard
 - Bandbreiten zwischen 144 kbps und 2Mbps
 - ermöglicht Übertragung von Multimedia-Daten
 - Max. Datenrate abhängig von Ausbau, Siedlungsdichte und eigener Fortbewegungsgeschwindigkeit

Hot Spot oder bis 10 km/h	2 Mbps
Fläche oder bis 120 km/h	384 kbps
Land oder bis 500 km/h	144 kbps

Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

- **UMTS - Mobilfunk der 3. Generation (2/4)**
 - **Versorgungsstruktur**
 - **Funkschnittstelle UTRAN**
(UMTS Terrestrial Radio Access Network)
 - UTRAN setzt sich hierarchisch zusammen aus
 - **Makrozellen**
Flächendeckende Grundversorgung für größeres abgeschlossenes Gebiet
 - **Mikrozellen**
wenige Quadratkilometer große Flächen, zusätzliche Versorgung für dicht besiedelte Gebiete
 - **Pikozellen**
Durchmesser nur wenige 100m, im Gebäude oder an Hotspots (Bahnhof, Flughafen) für max. Datenübertragungsrate
 - Erschließung dünn besiedelter Gebiete zusätzlich durch Satellitennetzwerk

Rechnernetze und Internettechnologien

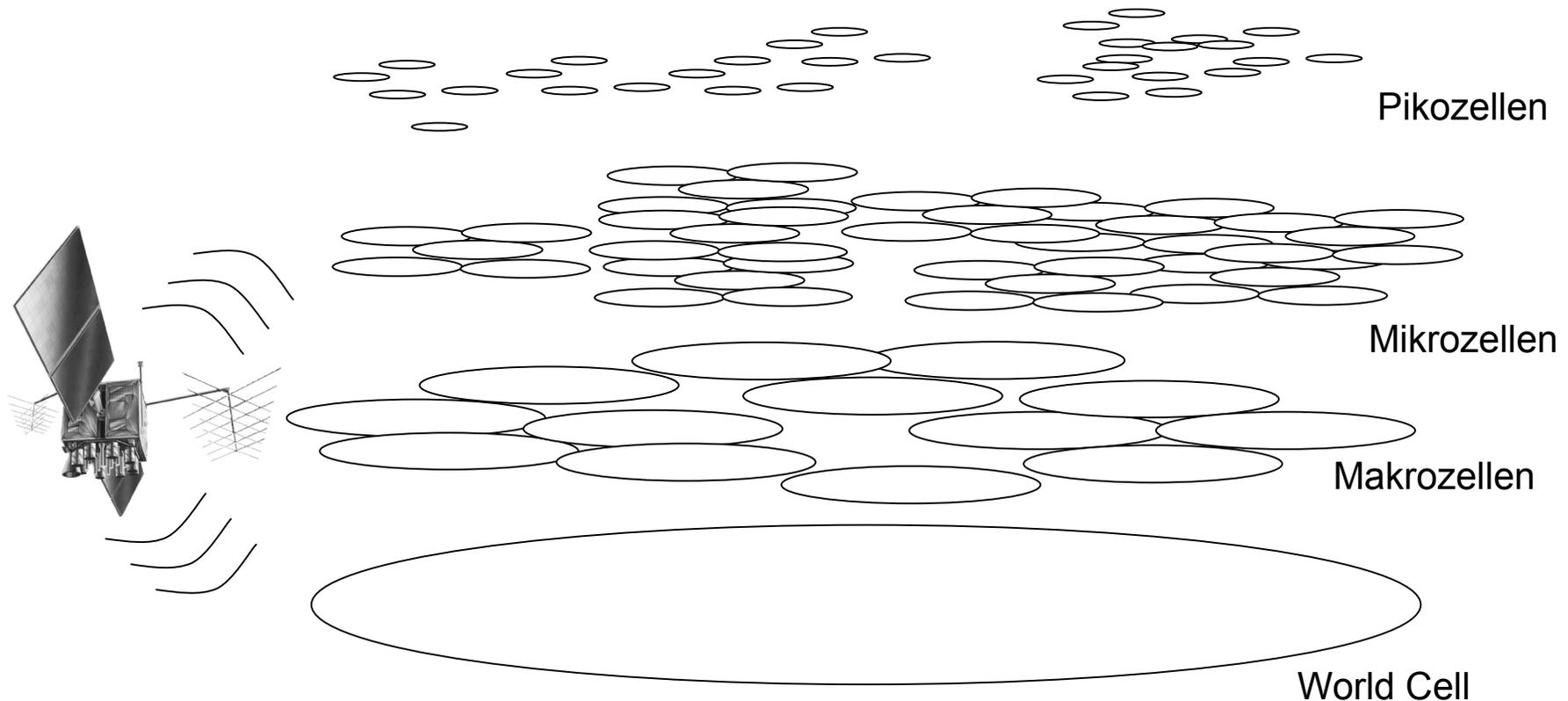
4.5 Mobilfunknetz

- **UMTS - Mobilfunk der 3. Generation** (3/4)
 - **Zugriffsverfahren**
 - UTRAN verwendet Kombination aus CDMA, FDM und TDM
 - **FD-CDMA**
 - Nutzer erhält jeweils spezielles Frequenzband für Uplink und Downlink
 - für Makro- und Mikrozellen
 - max. 384 kbps möglich
 - **TD-CDMA**
 - Nutzer erhält jeweils verschiedene Zeitslots für Uplink und Downlink
 - Asymmetrische Vergabe der Zeitslots möglich
 - nur in Piko- und Mikrozellen
 - max. 2 Mbps möglich

Rechnernetze und Internettechnologien

4.5 Mobilfunknetz

- **UMTS - Mobilfunk der 3. Generation (4/4)**
 - **Versorgungsstruktur**



Rechnernetze und Internettechnologien

4. Physikalische Rechnervernetzung - Schicht 1

4.1 Theoretische Grundlagen der Rechnervernetzung

4.2 Kabelgebundene Medien

4.3 Drahtlose Medien

4.4 Öffentliches Telefonnetz

4.5 Mobiltelefonnetz

Rechnernetze und Internettechnologien

3. Grundlagen der Rechnervernetzung

○ Literatur

- Ch. Meinel, H. Sack:
WWW– Kommunikation, Internetworking, Web-Technologien,
Springer, 2004.
- A. Tanenbaum:
Computer Networks,
4th ed., Pearson, 2003.