



ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG

Algorithmen für drahtlose Netzwerke

Einführung und Grundlagen

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer



Netzwerktypen

▶ Zelluläre Netzwerke

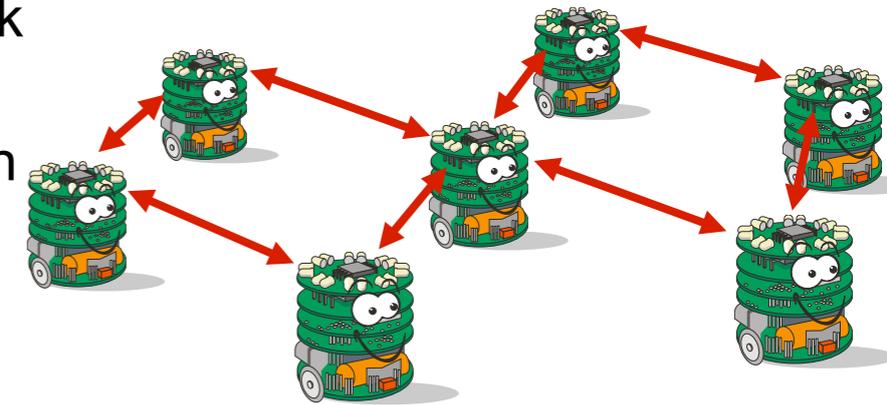
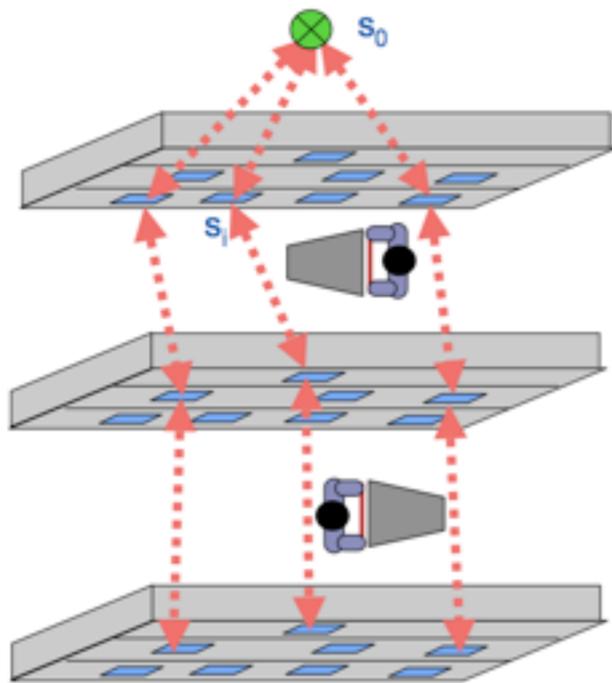
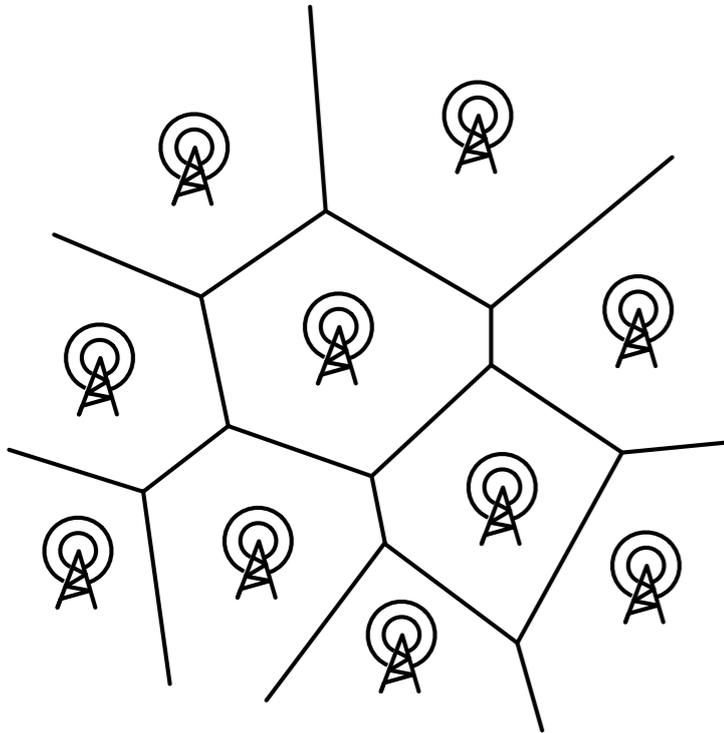
- Ein oder mehrere verteilte Basisstationen
- Jede Basisstation deckt eine Zelle ab
- z.B. Mobiltelefone, WLAN

▶ Mobile Ad Hoc Netzwerke

- selbstkonfigurierendes Netzwerk mobiler Knoten
- Knoten sind Endknoten als auch weiterleitende Knoten
- Keine Infrastruktur notwendig

▶ Drahtloses Sensornetzwerk

- Netzwerk aus Sensor und Aktuator-einheiten, die mit einer oder mehreren Basisstationen drahtlos kommunizieren
- Die Basisstation verfügt über mehr Ressourcen.



Bekannte drahtlose Netzwerke

▶ GSM, GPRS, EDGE

- Global System for Mobile Communications
- General Packet Radio Service
- Enhanced Data Rates for GSM Evolution
- Mobiltelefone, Modems für Laptops, Handhelds

▶ UMTS

- Universal Mobile Telecommunications Systems
- Mobilfunkstandard der dritten Generation

▶ IEEE 802.11 a/b/g/n

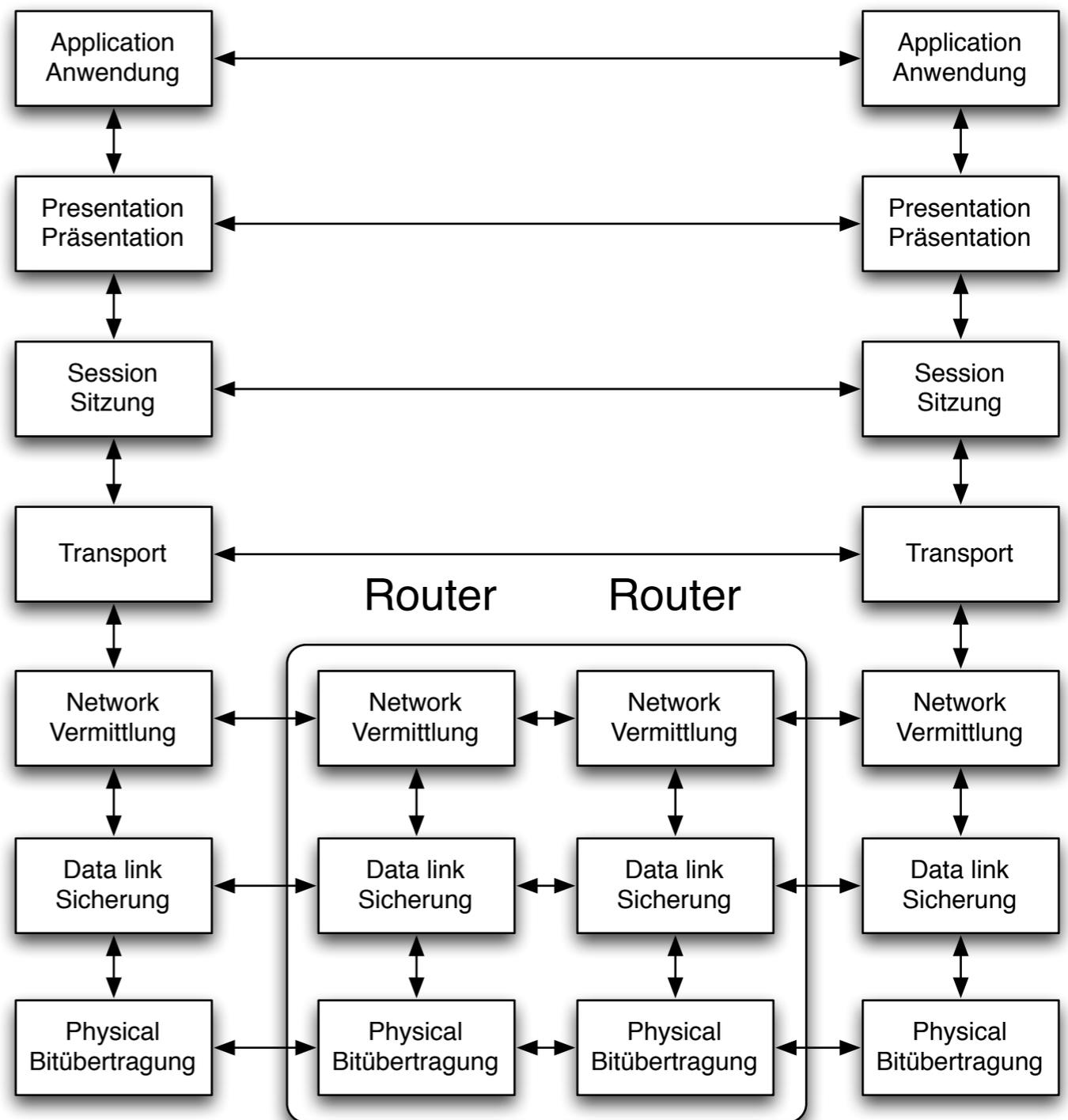
- Wireless Local Area Network (WLAN)
- Drahtlose Vernetzung von Rechnern, Kameras, Drucker, etc.
- Zumeist als zelluläres Netzwerke
- Ermöglicht aber auch Ad-hoc-Modus zwischen zwei Teilnehmern

▶ IEEE 802.15.4 + Zigbee

- Wireless Personal Area Network (WPAN)
- Standard für drahtlose Sensornetzwerke
- Zigbee Alliance
 - definiert höhere Protokollschichten

ISO/OSI Reference model

- ▶ **7. Anwendung (Application)**
 - Datenübertragung, E-Mail, Terminal, Remote login
- ▶ **6. Darstellung (Presentation)**
 - Systemabhängige Darstellung der Daten (EBCDIC/ASCII)
- ▶ **5. Sitzung (Session)**
 - Aufbau, Ende, Wiederaufsetzpunkte
- ▶ **4. Transport (Transport)**
 - Segmentierung, Stauvermeidung
- ▶ **3. Vermittlung (Network)**
 - Routing
- ▶ **2. Sicherung (Data Link)**
 - Prüfsummen, Flusskontrolle
- ▶ **1. Bitübertragung (Physical)**
 - Mechanische, elektrische Hilfsmittel



Die Schichtung des Internets - TCP/IP-Layer

Anwendung	Application	Telnet, FTP, HTTP, SMTP (E-Mail), ...
Transport	Transport	TCP (Transmission Control Protocol) UDP (User Datagram Protocol)
Vermittlung	Network	IP (Internet Protocol) + ICMP (Internet Control Message Protocol) + IGMP (Internet Group Management Protocol)
Verbindung	Host-to- Network	LAN (z.B. Ethernet, Token Ring etc.)

Signale, Daten und Information

▶ Information

- Menschliche Interpretation,
 - z.B. schönes Wetter

▶ Daten

- Formale Präsentation,
 - z.B. 28 Grad Celsius, Niederschlagsmenge 0cm, Wolkenbedeckung 0%

▶ Signal

- Repräsentation von Daten durch physikalische Variablen,
 - z.B. Stromfluss durch Thermosensor, Videosignale aus Kamera
- Beispiele für Signale:
 - Strom, Spannung
- In der digitalen Welt repräsentieren Signale Bits

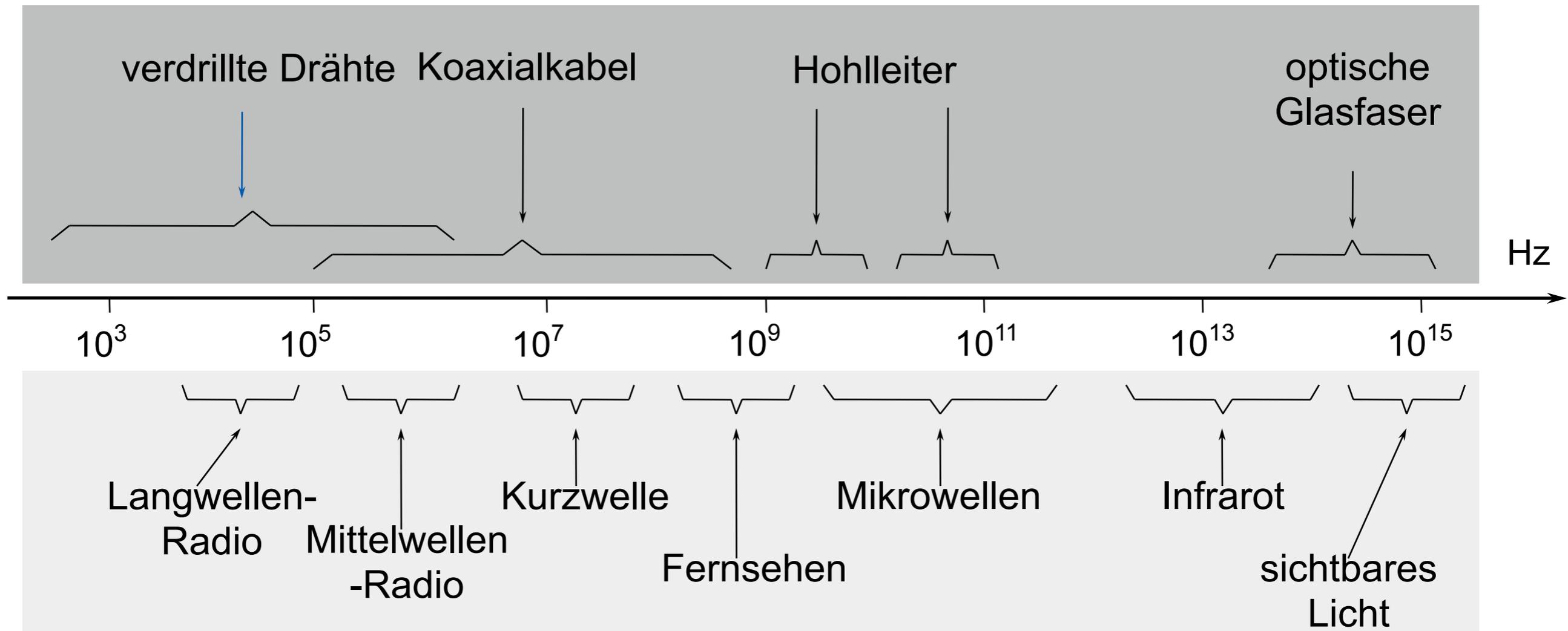
Physikalische Grundlagen

- ▶ **Bewegte elektrisch geladene Teilchen verursachen elektromagnetische Wellen**
 - Frequenz f : Anzahl der Oszillationen pro Sekunde
 - Maßeinheit: Hertz
 - Wellenlänge λ : Distanz (in Metern) zwischen zwei Wellenmaxima
 - Durch Antennen können elektro-magnet. Wellen erzeugt und empfangen werden
 - Die Ausbreitungsgeschwindigkeit von elektro-magnetischen Wellen im Vakuum ist konstant:
 - Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8$ m/s
- ▶ **Zusammenhang:**

$$\lambda \cdot f = c$$

Das elektromagnetische Spektrum

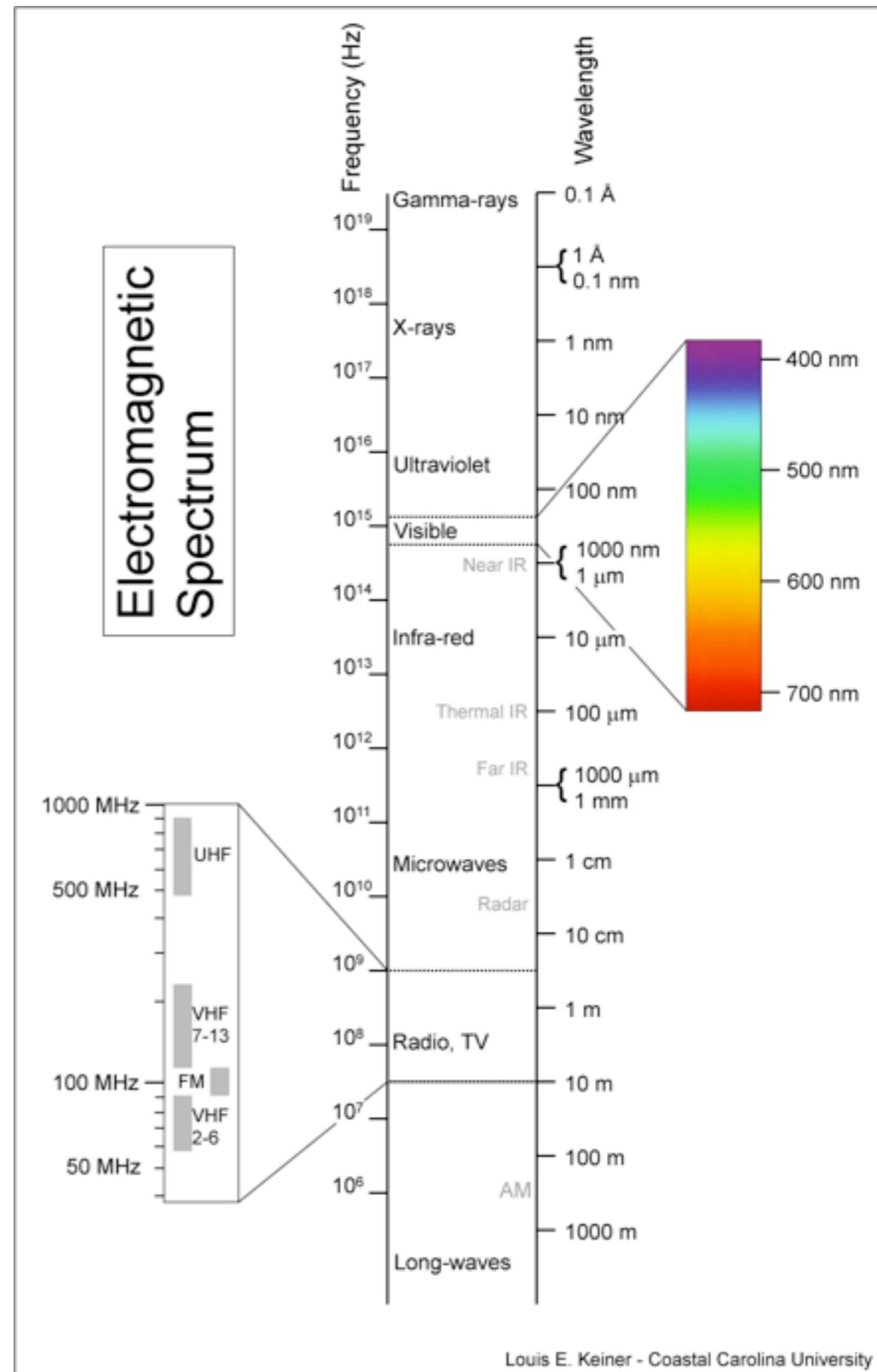
leitungsgebundene Übertragungstechniken



nicht-leitungsgebundene Übertragungstechniken

Frequenzbereiche

- ▶ **LF Low Frequency** =
 - LW Langwelle
- ▶ **MF Medium Frequency** =
 - MW Mittelwelle
- ▶ **HF High Frequency** =
 - KW Kurzwelle
- ▶ **VHF Very High Frequency** =
 - UKW Ultrakurzwelle
- ▶ **UHF Ultra High Frequency**
- ▶ **UV Ultraviolettes Licht**
- ▶ **X-ray Röntgenstrahlung**



Frequenzbänder für Funknetzwerke

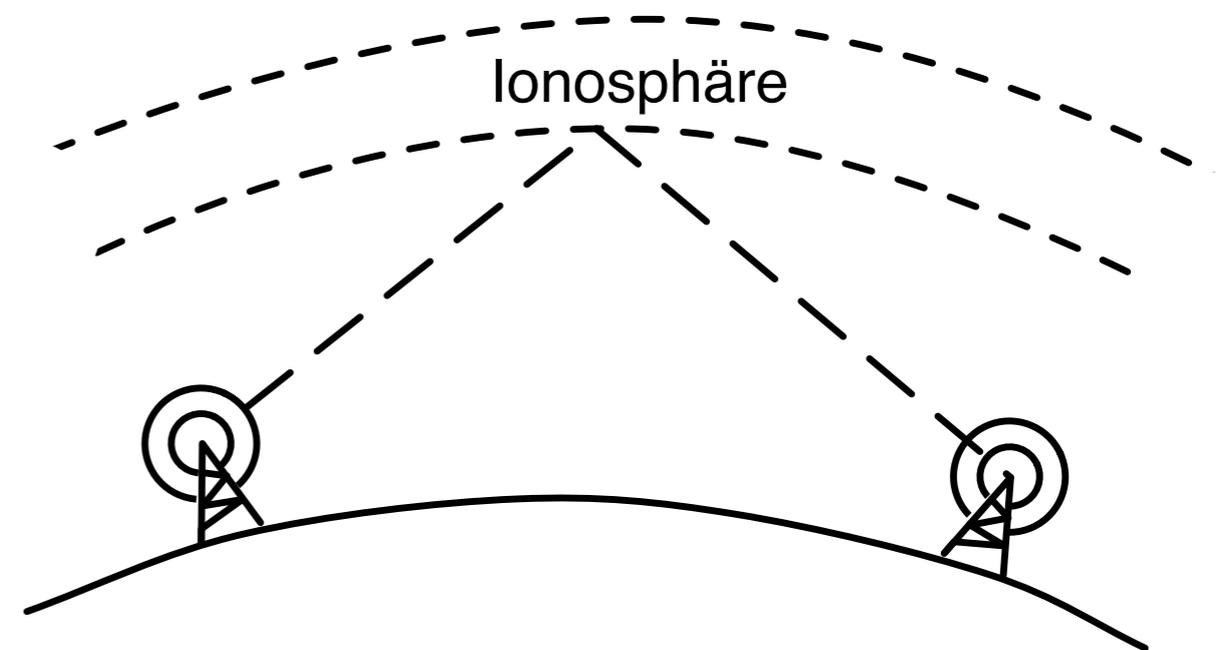
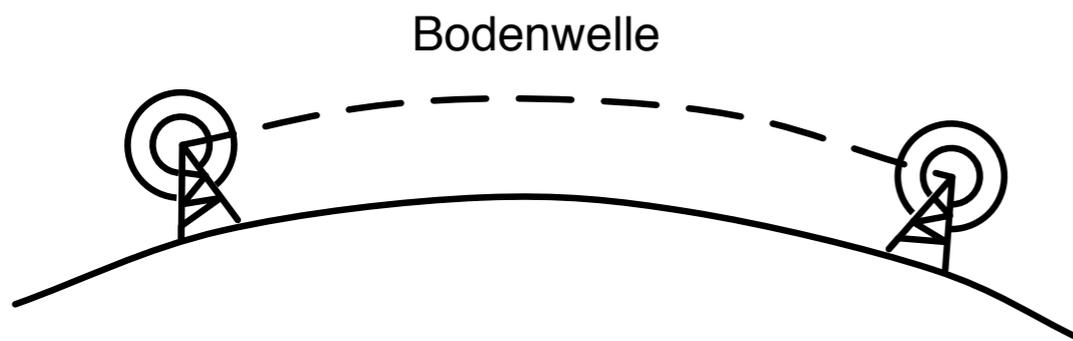
- ▶ **VHF/UHF für Mobilfunk**
 - Antennenlänge
- ▶ **SHF für Richtfunkstrecken, Satellitenkommunikation**
- ▶ **Drahtloses (Wireless) LAN: UHF bis SHF**
 - Geplant: EHF
- ▶ **Sichtbares Licht**
 - Kommunikation durch Laser
- ▶ **Infrarot**
 - Fernsteuerungen
 - Lokales LAN in geschlossenen Räumen

Ausbreitungsverhalten

- ▶ **Geradlinige Ausbreitung im Vakuum**
- ▶ **Empfangsleistung nimmt mit $1/d^2$ ab**
 - Theoretisch, praktisch mit höheren Exponenten bis zu 4 oder 5
- ▶ **Einschränkung durch**
 - Dämpfung in der Luft (insbesondere HV, VHF)
 - Abschattung
 - Reflexion
 - Streuung an kleinen Hindernissen
 - Beugung an scharfen Kanten

Frequenzabhängiges Verhalten

- ▶ **VLF, LF, MF-Wellen**
 - folgen der Erdkrümmung (bis zu 1000 km in VLF)
 - Durchdringen Gebäude
- ▶ **HF, VHF-Wellen**
 - Werden am Boden absorbiert
 - Werden von der Ionosphäre in 100-500 km Höhe reflektiert
- ▶ **Ab 100 MHz**
 - Wellenausbreitung geradlinig
 - Kaum Gebäudedurchdringung
 - Gute Fokussierung
- ▶ **Ab 8 GHz Absorption durch Regen**



Probleme

- ▶ **Mehrwegeausbreitung (Multiple Path Fading)**
 - Signal kommt aufgrund von Reflektion, Streuung und Beugung auf mehreren Wegen beim Empfänger an
 - Zeitliche Streuung führt zu Interferenzen
 - Fehlerhafte Dekodierung
 - Abschwächung
- ▶ **Probleme durch Mobilität**
 - Kurzzeitige Einbrüche (schnelles Fading)
 - Andere Übertragungswege
 - Unterschiedliche Phasenlage
 - Langsame Veränderung der Empfangsleistung (langsames Fading)
 - Durch Verkürzen, Verlängern der Entfernung Sender-Empfänger

Rauschen und Interferenz

- ▶ **Rauschen**
 - Ungenauigkeiten und Wärmeentwicklung in elektronischen Bauteilen
 - modelliert durch eine Normalverteilung
- ▶ **Interferenzen von anderen Teilnehmern**
 - im selben Spektrum
 - oder in benachbarten Spektrum
 - z.B. durch schlechte Filter
- ▶ **Effekt:**
 - Das Signal wird gestört

Signal-Interferenz- Rauschverhältnis

▶ **Empfangsenergie = Sendeenergie · Pfadverlust**

- Pfadverlust $\sim 1/d^\gamma$
 - $\gamma \in [2,5]$

▶ **Signal to Interference and Noise Ratio = SINR**

- S = Empfangsenergie von gewünschten Sender
- I = Empfangsenergie von Störsender
- N = Andere Signal (z.B. Rauschen)

▶ **Notwendige Bedingung für Empfang:**

$$\text{SINR} = \frac{S}{I + N} \geq \textit{Threshold}$$

Pfadverlust

► Dämpfung (attenuation)

- Empfangene Signalstärke ist eine Funktion der Distanz d zwischen Sender und Empfänger

► Friis transmission Equation

- Distanz: R
- Wellenlänge: λ
- P_r : Energie an Empfänger-Antenne
- P_t : Energie an Sender-Antenne
- G_t : Sender Antenna Gain
- G_r : Empfänger Antenna Gain

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi R} \right)^2$$

$$P_r(d) = P_r(d_0) \cdot \left(\frac{d_0}{d} \right)^2$$

Pfadverlust-Exponenten

► Beispielmessungen

- γ Path loss exponent
- Shadowing variance σ^2
- Referenz Path Loss bei 1 m

Location	Average of γ	Average of σ^2 [dB]	Range of PL(1m) [dB]
Engineering Building	1.9	5.7	[−50.5, −39.0]
Apartment Hallway	2.0	8.0	[−38.2, −35.0]
Parking Structure	3.0	7.9	[−36.0, −32.7]
One-sided Corridor	1.9	8.0	[−44.2, −33.5]
One-sided patio	3.2	3.7	[−39.0, −34.2]
Concrete canyon	2.7	10.2	[−48.7, −44.0]
Plant fence	4.9	9.4	[−38.2, −34.5]
Small boulders	3.5	12.8	[−41.5, −37.2]
Sandy flat beach	4.2	4.0	[−40.8, −37.5]
Dense bamboo	5.0	11.6	[−38.2, −35.2]
Dry tall underbrush	3.6	8.4	[−36.4, −33.2]

Karl, Willig, Protocols and Architectures for Wireless Sensor Networks, Wiley, 2005



ALBERT-LUDWIGS-
UNIVERSITÄT FREIBURG

Algorithmen für drahtlose Netzwerke

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg
Institut für Informatik
Rechnernetze und Telematik
Prof. Dr. Christian Schindelhauer

