

# *Systeme II*



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

**Christian Schindelhauer**

Sommersemester 2006

6. Vorlesung

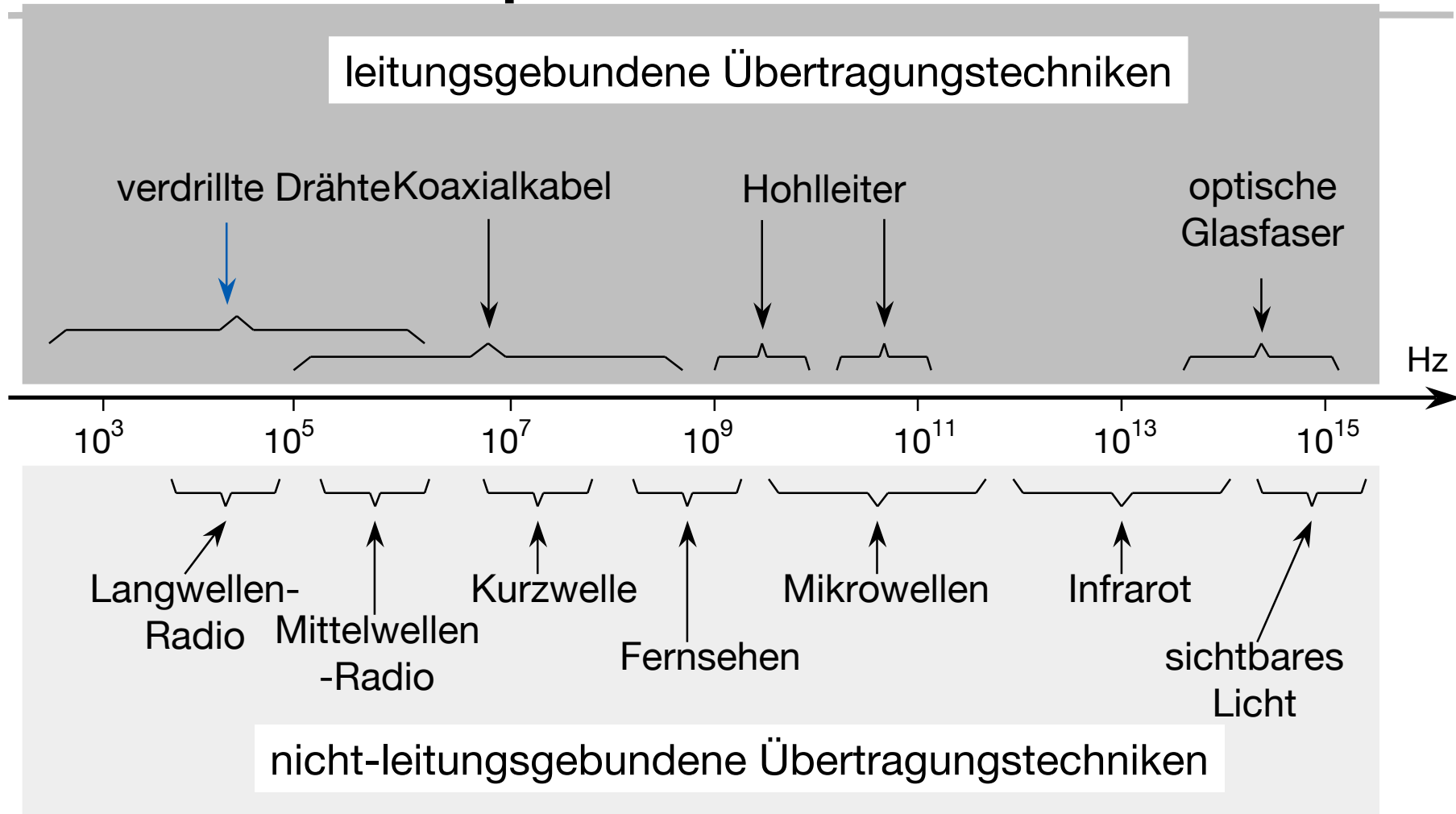
11.04.2006

**[schindel@informatik.uni-freiburg.de](mailto:schindel@informatik.uni-freiburg.de)**



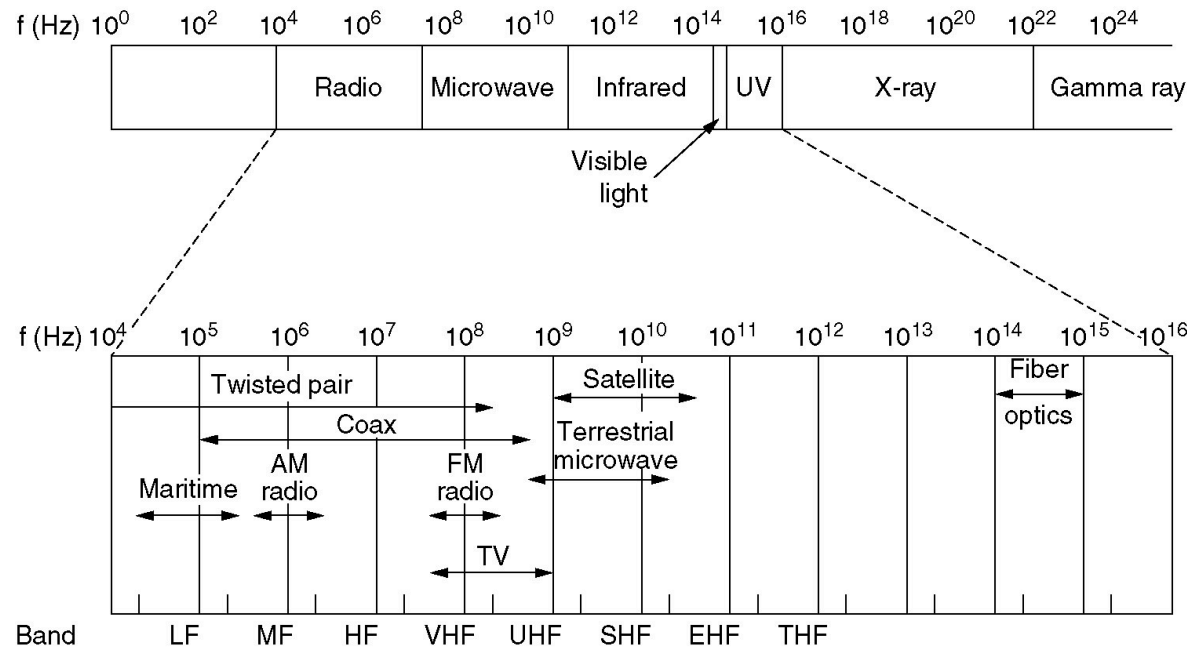
# Das elektromagnetische Spektrum

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





# 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**

**SHF Super High Frequency**

**EHF Extra High Frequency**

**UV Ultraviolettes Licht**

**X-ray Röntgenstrahlung**



# Frequenzbänder für Funknetzwerke

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

- **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 (I)

- **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
  - Reflektion
  - Streuung an kleinen Hindernissen
  - Beugung an scharfen Kanten



# Ausbreitungsverhalten (II)

## ➤ VLF, LF, MF-Wellen

- folgen der Erdkrümmung (bis zu 1000 km in VLF)
- Durchdringen Gebäude

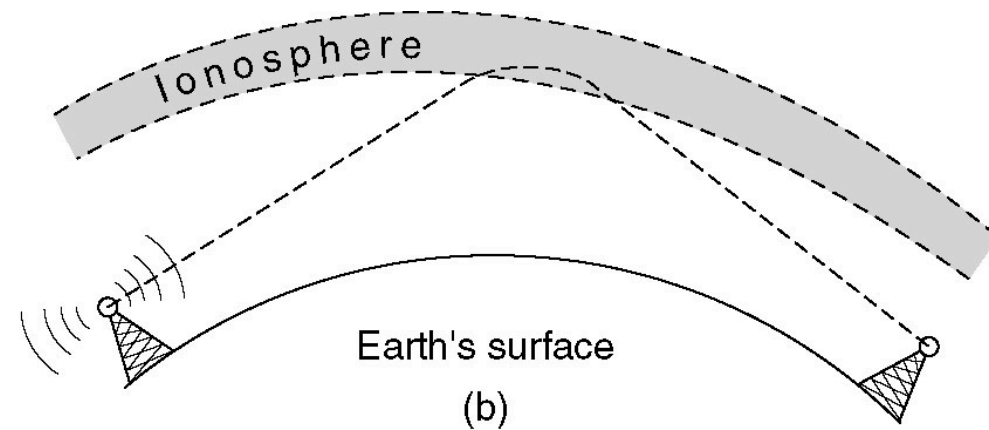
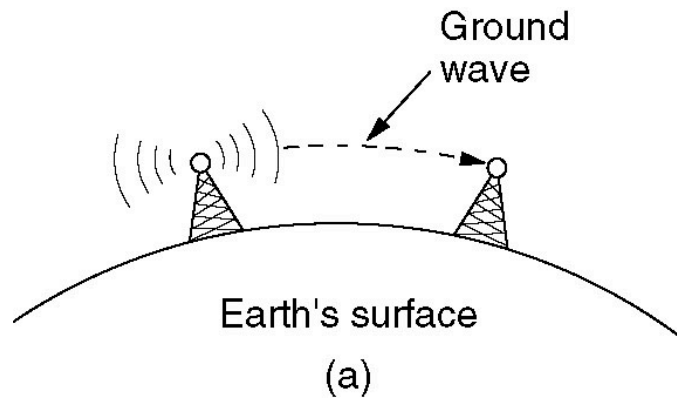
## ➤ HF, VHF-Wellen

- 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





# Ausbreitungsverhalten (III)

## ➤ Mehrwegeausbreitung (Multiple Path Fading)

- Signal kommt aufgrund von Reflektion, Streuung und Beugung auf mehreren Wegen beim Empfänger an
- Zeitliche Streuung führt zu Interferenzen
  - Fehlerhafter 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



# Mehrfachnutzung des Mediums

## ➤ Raummultiplexverfahren

- Parallele und exklusive Nutzung von Übertragungskanäle
  - z.B. Extraleitungen/Zellen/Richtantenne

## ➤ Frequenzmultiplexverfahren

- Mehrere zu übertragende Signale in einem Frequenzbereich gebündelt;
- Bei Funkübertragung werden unterschiedlichen Sendern unterschiedliche Frequenzen zugewiesen.

## ➤ Zeitmultiplexverfahren

- Zeitversetztes Senden mehrerer Signale

## ➤ Wellenlängenmultiplexverfahren

- Optisches Frequenzmultiplexverfahren für die Übertragung in Glasfaserkabel

## ➤ Codemultiplexverfahren

- Nur in Funktechnik: Kodierung des Signals in orthogonale Codes, die nun gleichzeitig auf einer Frequenz gesendet werden können
- Dekodierung auch bei Überlagerung möglich

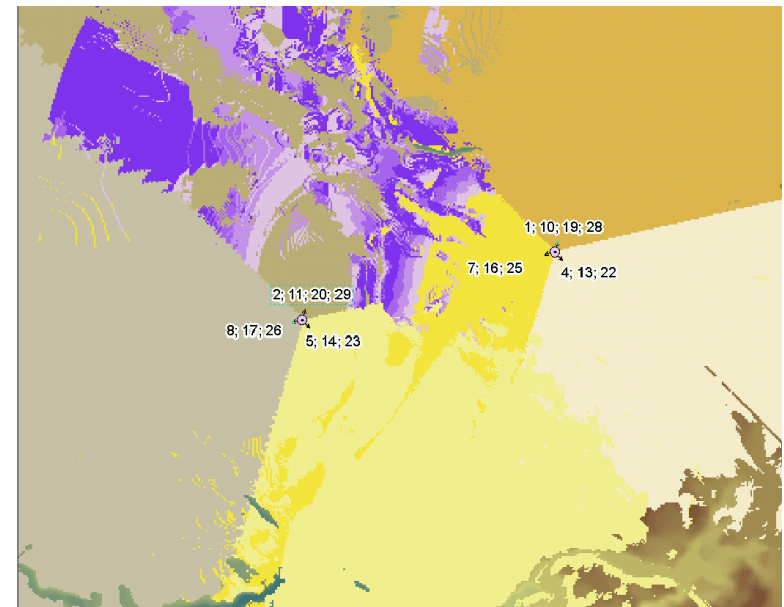




# Raum

## ➤ Raumaufteilung (Space-Multiplexing)

- Ausnutzung des Abstandsverlusts zum parallelen Betriebs verschiedener Funkzellen → zellulare Netze
- Verwendung gerichteter Antennen zur gerichteten Kommunikation
  - GSM-Antennen mit Richtcharakteristik
  - Richtfunk mit Parabolantenne
  - Laserkommunikation
  - Infrarotkommunikation





## ➤ Frequenzmultiplex

- Aufteilung der Bandbreite in Frequenzabschnitte
- Spreizen der Kanäle und Hopping
  - Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)
    - Xor eines Signals mit einer Folge Pseudozufallszahlen beim Sender und Empfänger (Verwandt mit Codemultiplex)
    - Fremde Signale erscheinen als Hintergrundrauschen
  - Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)
    - Frequenzwechsel durch Pseudozufallszahlen
    - Zwei Versionen
      - \* Schneller Wechsel (fast hopping): Mehrere Frequenzen pro Nutzdatenbit
      - \* Langsamer Wechsel (slow hopping): Mehrere Nutzdatenbits pro Frequenz



# Zeit

---

## ➤ Zeitaufteilung (Time-Multiplexing)

- Zeitliche Aufteilung des Sende-/Empfangskanals
- Verschiedene Teilnehmer erhalten exklusive Zeiträume (Slots) auf dem Medium
- Genaue Synchronisation notwendig
- Koordination notwendig, oder starre Einteilung



# Code

---

## ➤ CDMA (Code Division Multiple Access)

- z.B. GSM (Global System for Mobile Communication)
- oder UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

## ➤ Beispiel:

- Teilnehmer A:
  - 0 ist  $(-1,-1)$
  - 1 ist  $(+1,+1)$
- Teilnehmer B:
  - 0 ist  $(-1,+1)$
  - 1 ist  $(+1,-1)$
- A sendet 0, B sendet 1:
  - Ergebnis:  $(-2,0)$

# *Ende der*

# *6. Vorlesung*



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

Systeme II  
Christian Schindelhauer  
[schindel@informatik.uni-freiburg.de](mailto:schindel@informatik.uni-freiburg.de)