

# Systeme II

## 2. Die physikalische Schicht

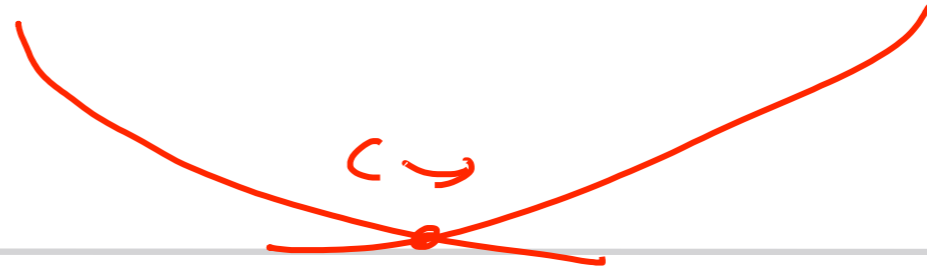
Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

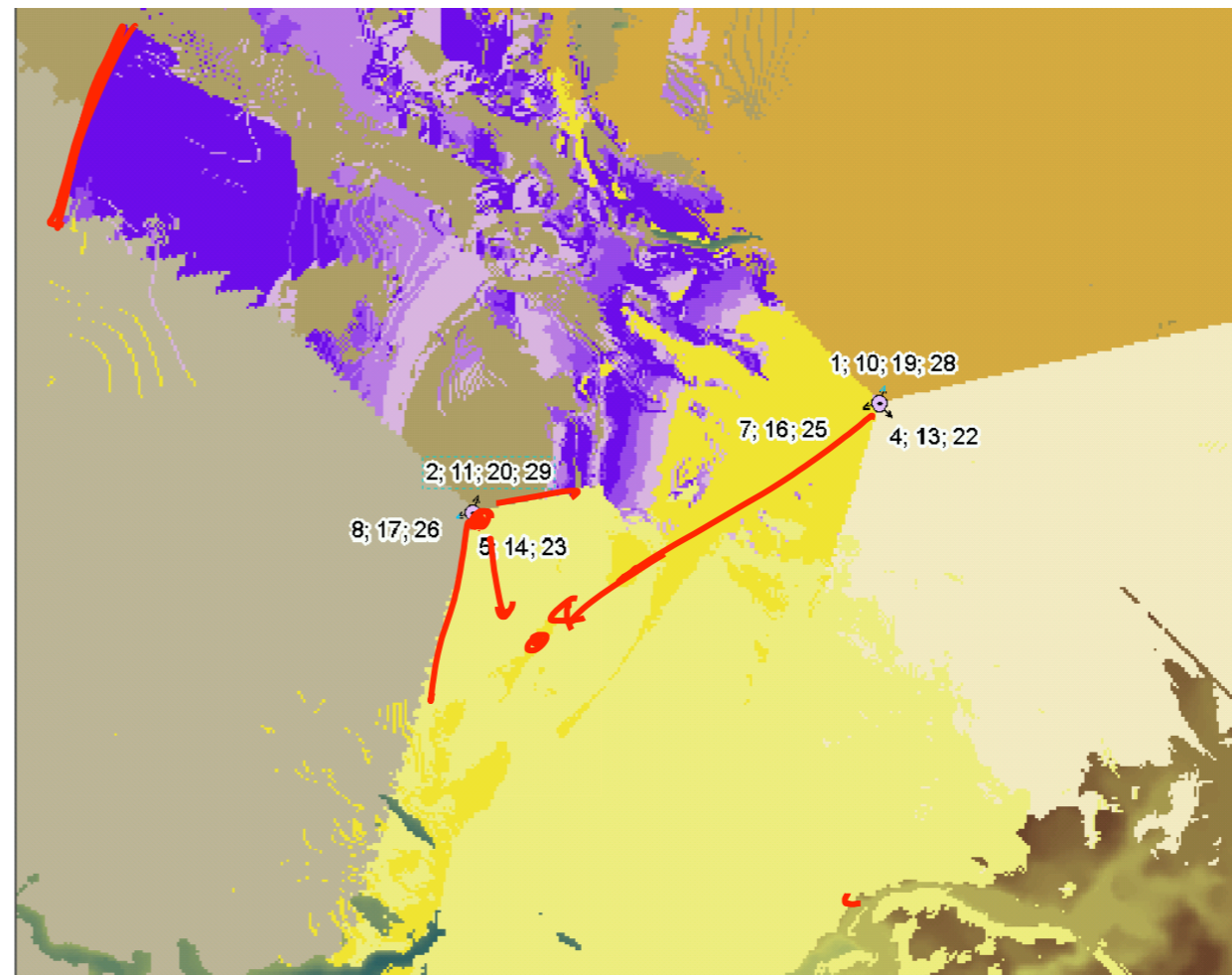
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Version 14.05.2014

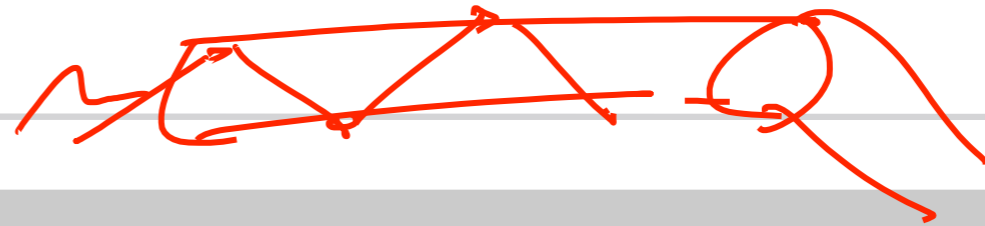


## ■ Raumaufteilung (Space-Multiplexing)

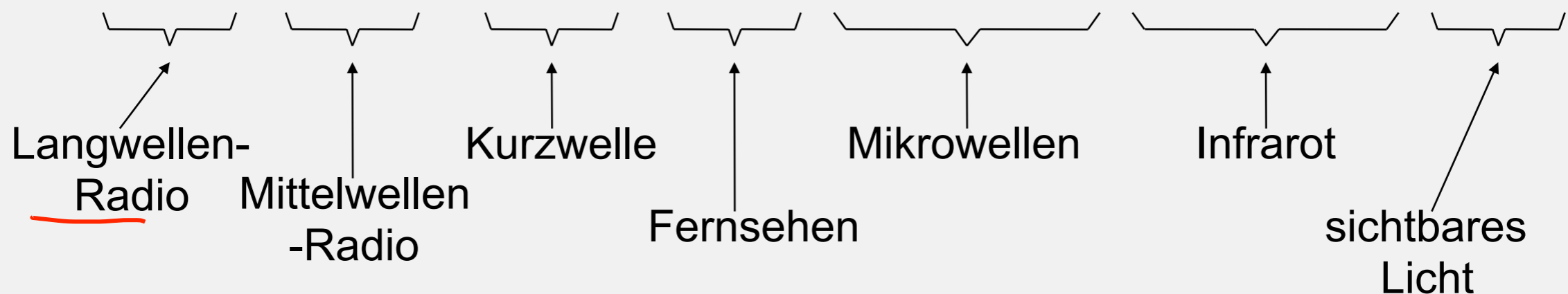
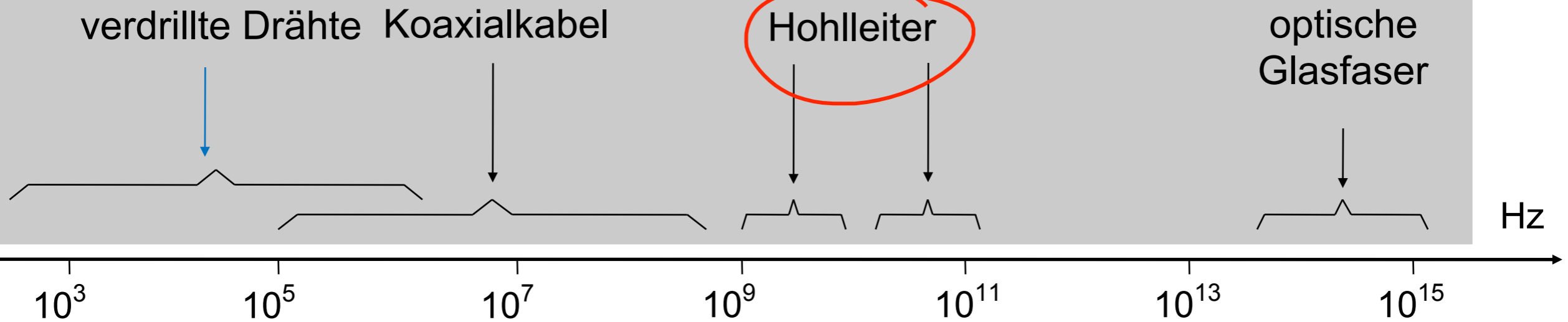
- Ausnutzung des Abstandsverlusts zum parallelen Betriebs verschiedener Funkzellen → zellulare Netze
- Verwendung gerichteter Antennen zur gerichteten Kommunikation
  - GSM-Antennen mit Richtcharakteristik
  - Richtfunk mit Parabolantenne
  - Laserkommunikation
  - Infrarotkommunikation



# Das elektromagnetische Spektrum



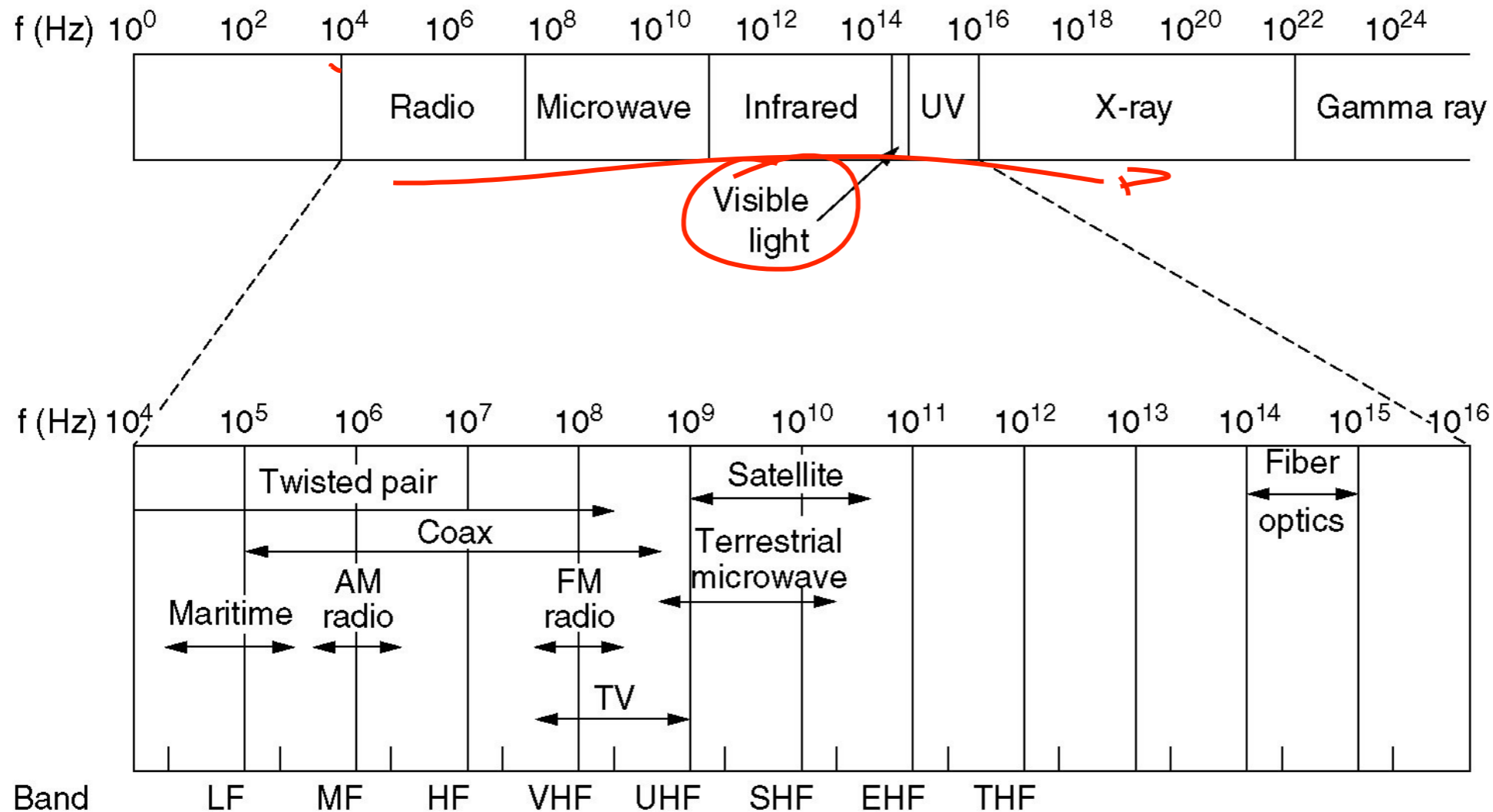
## leitungsgebundene Übertragungstechniken



## nicht-leitungsgebundene Übertragungstechniken

# Frequenzbereiche

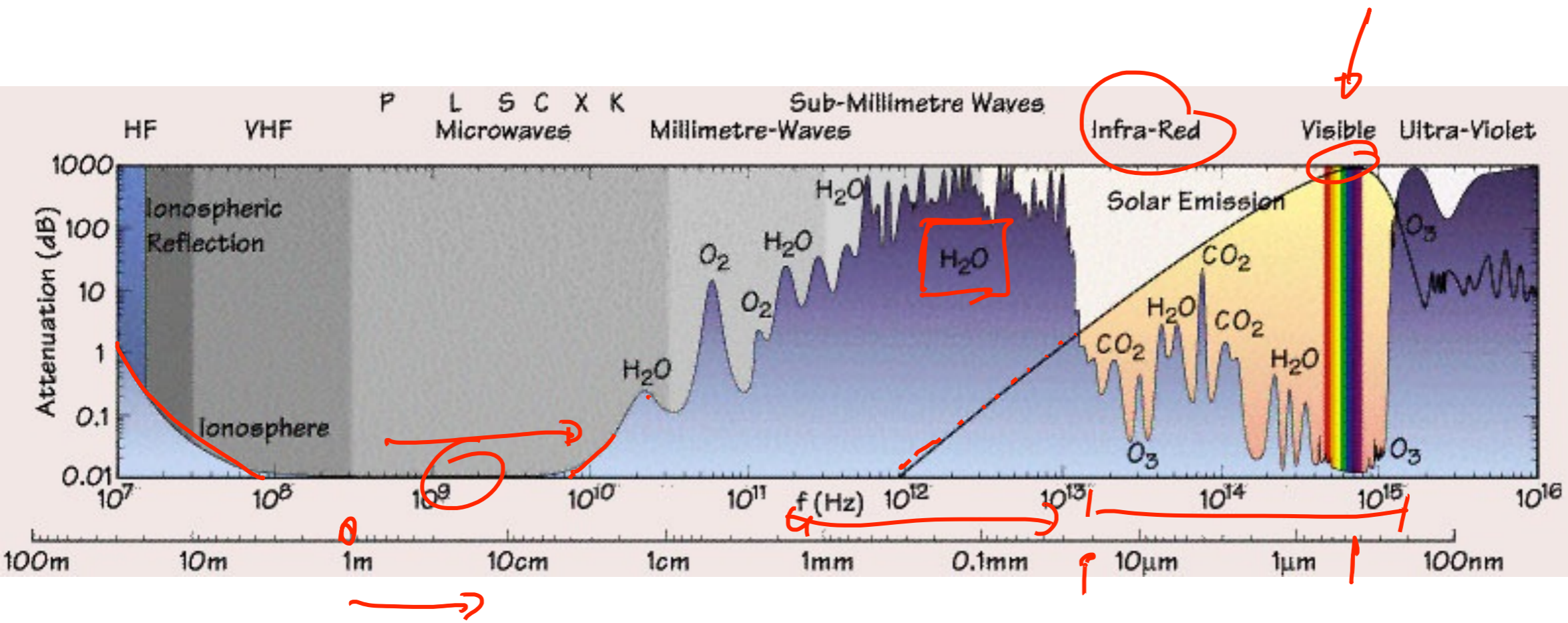
- LF Low Frequency =
  - LW Langwelle
- MF Medium Frequency =
  - MW Mittelwelle
- HF High Frequency =
  - KW Kurzwelle
- VHF Very High Frequency =
  - UKW Ultrakurzwelle
- UHF Ultra High Frequency
- SHF Super High Frequency
- EHF Extra High Frequency
- UV Ultraviolettes Licht
- X-ray Röntgenstrahlung



# Dämpfung in verschiedenen Frequenzbereichen

- Frequenzabhängige Dämpfung elektromagnetischer Wellen in der Atmosphäre

10110 sph.

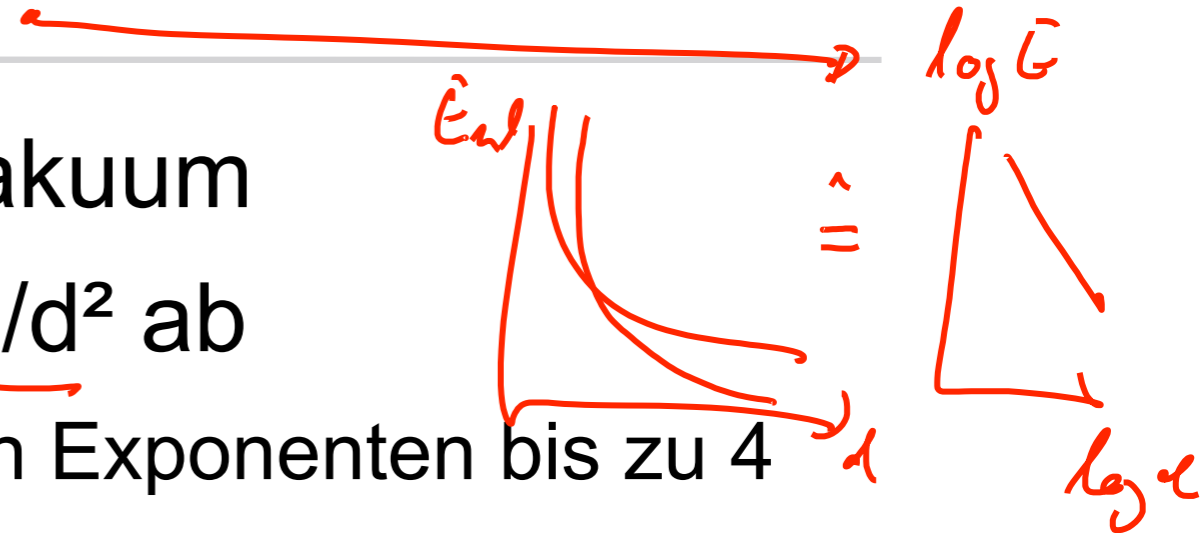


[http://www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/Multimedia/Klimatologie/physik\\_arbeit.htm](http://www.geographie.uni-muenchen.de/iggf/Multimedia/Klimatologie/physik_arbeit.htm)

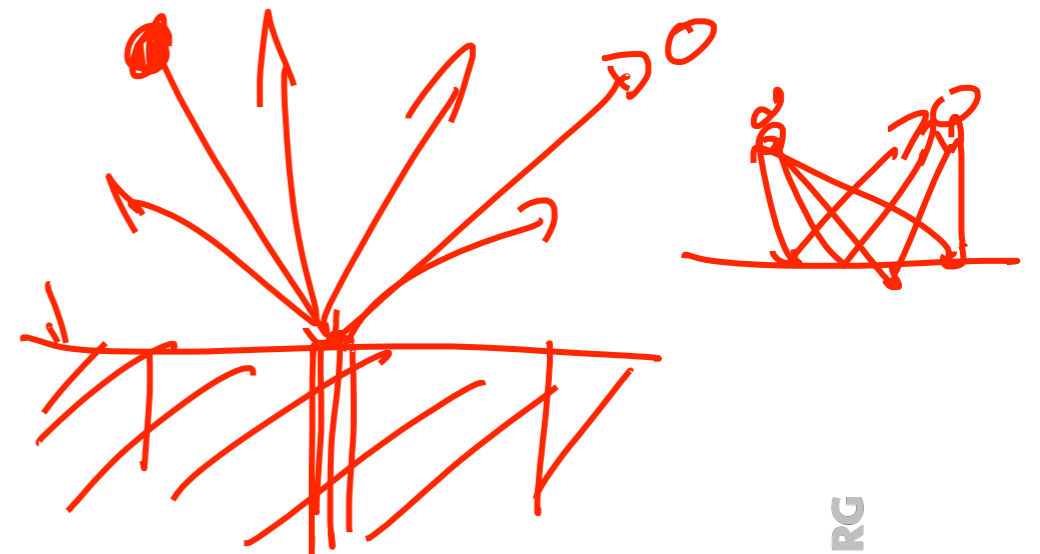
- VHF/UHF für Mobilfunk
  - Antennenlänge
- SHF für Richtfunkstrecken, Satellitenkommunikation
- Drahtloses (Wireless) LAN: UHF bis SHF
  - Geplant: EHF
- Sichtbares Licht
  - Kommunikation durch Laser
- Infrarot
  - Fernsteuerungen
  - Lokales LAN in geschlossenen Räumen

# 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

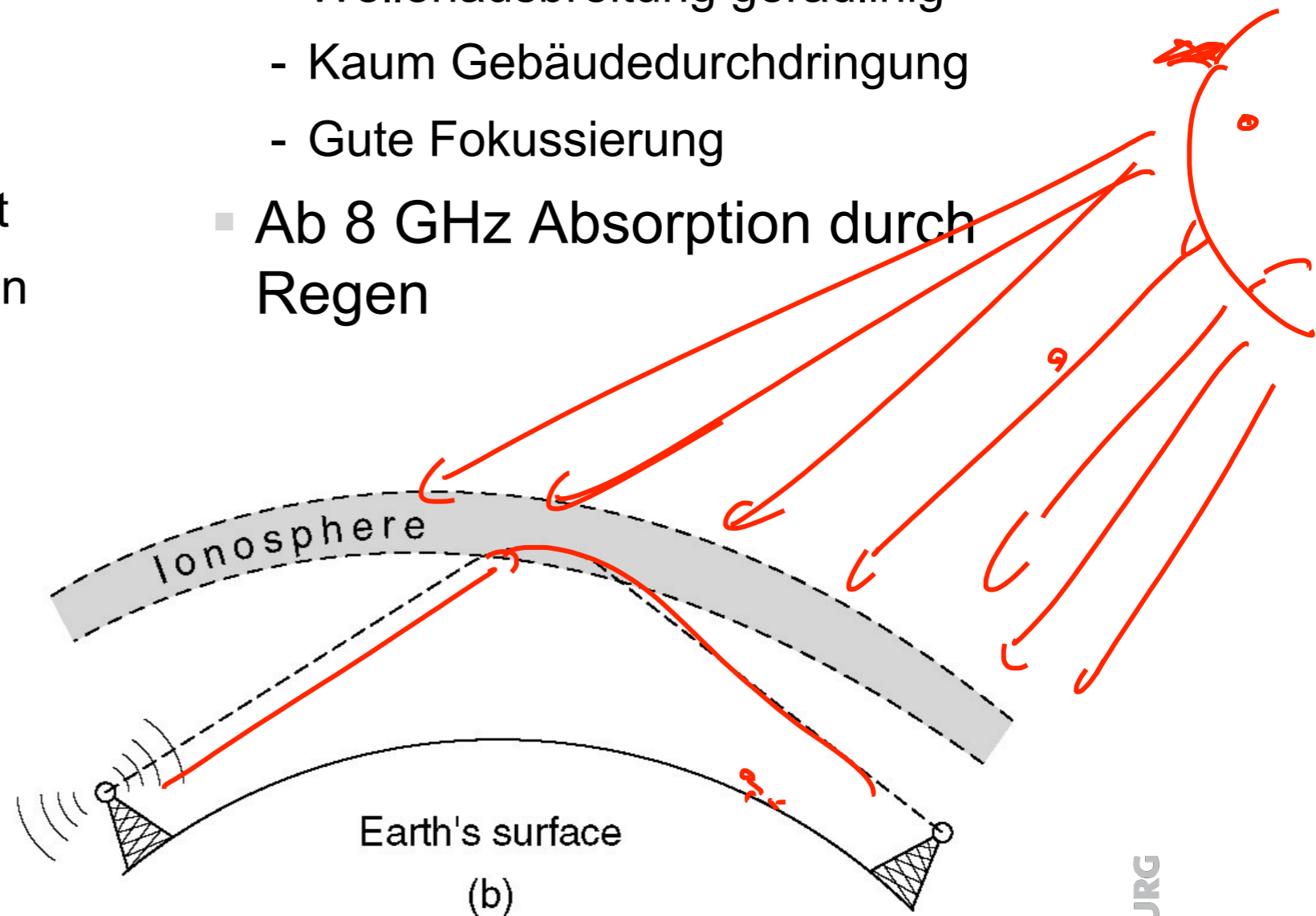
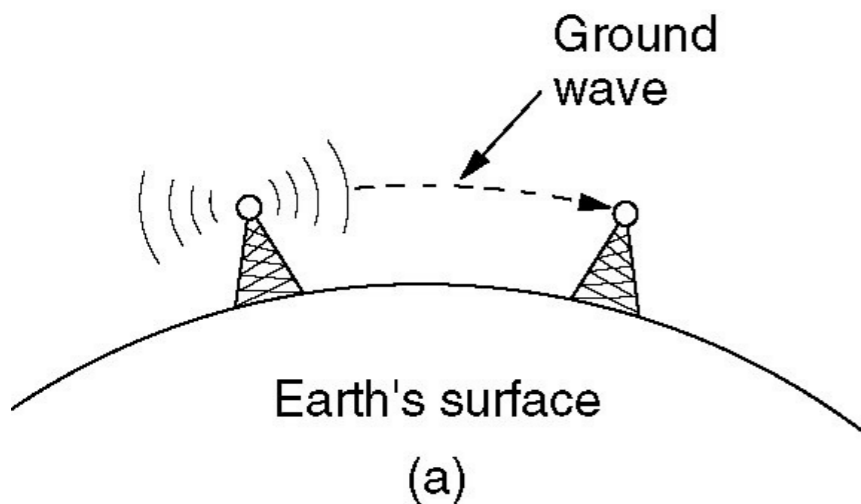


$$\frac{1}{d^4} \quad \frac{1}{d^{2.5}}$$



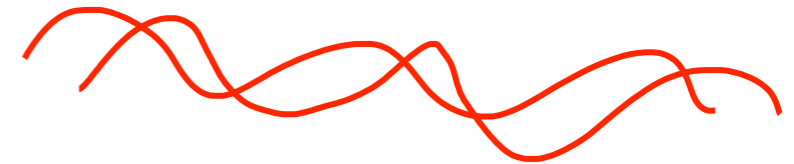
# Ausbreitungsverhalten (II)

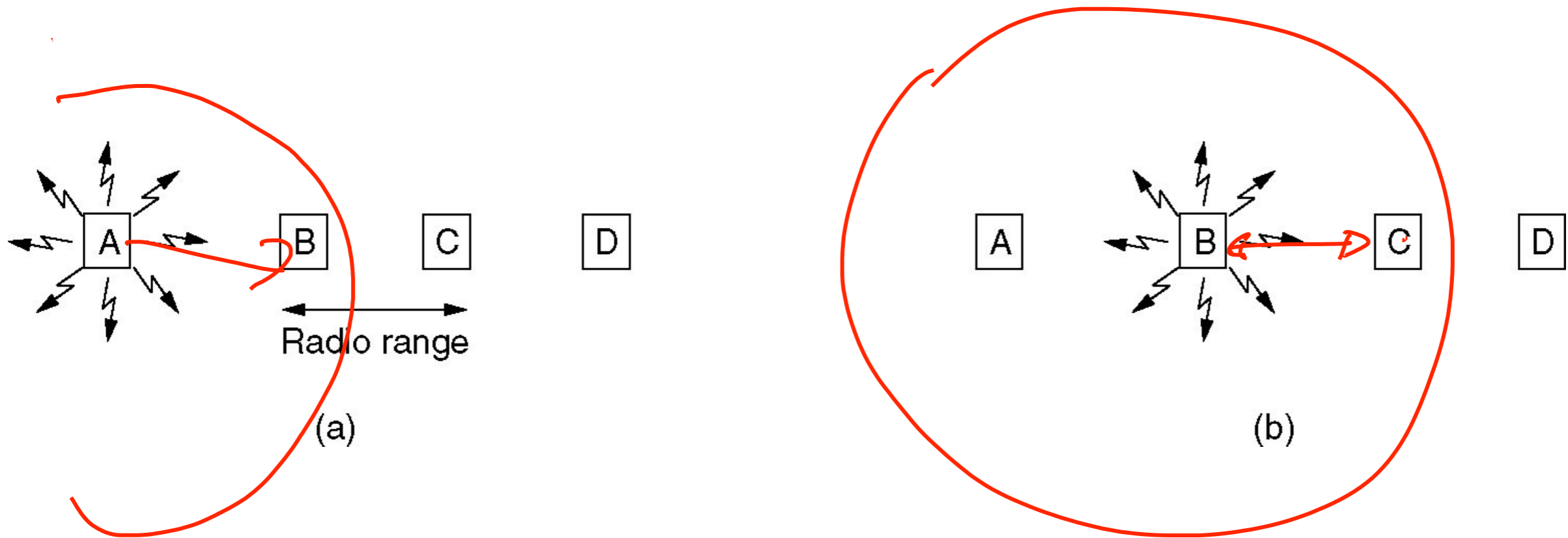
- VLF, LF, MF-Wellen
  - folgen der Erdkrümmung (bis zu 1000 km in VLF)
  - Durchdringen Gebäude
- HF, VHF-Wellen
  - Werden am Boden absorbiert
  - Werden von der Ionosphäre in 100-500 km Höhe reflektiert
- Ab 100 MHz
  - Wellenausbreitung geradlinig
  - Kaum Gebäudedurchdringung
  - Gute Fokussierung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





- 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

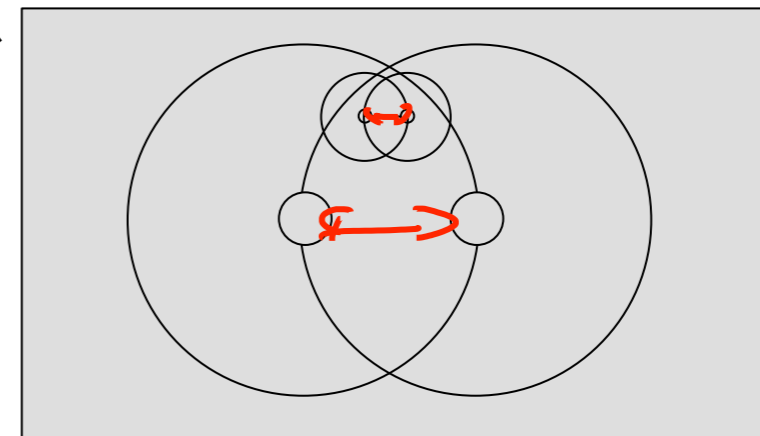
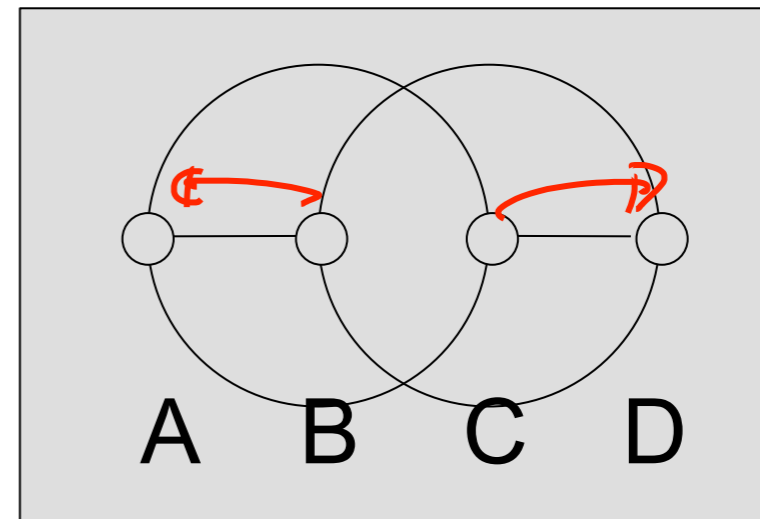
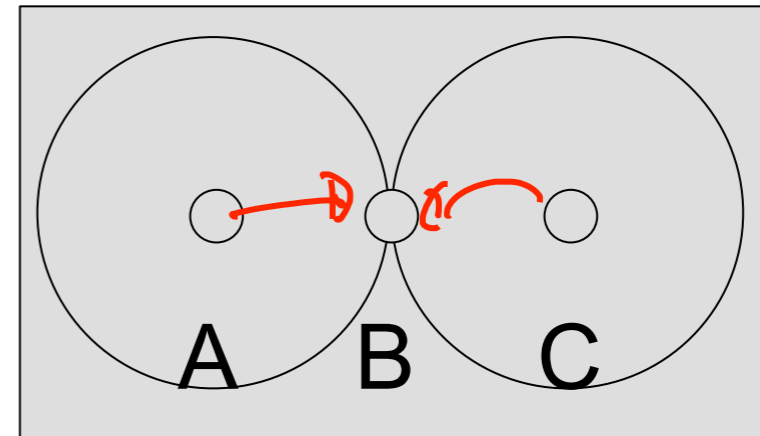
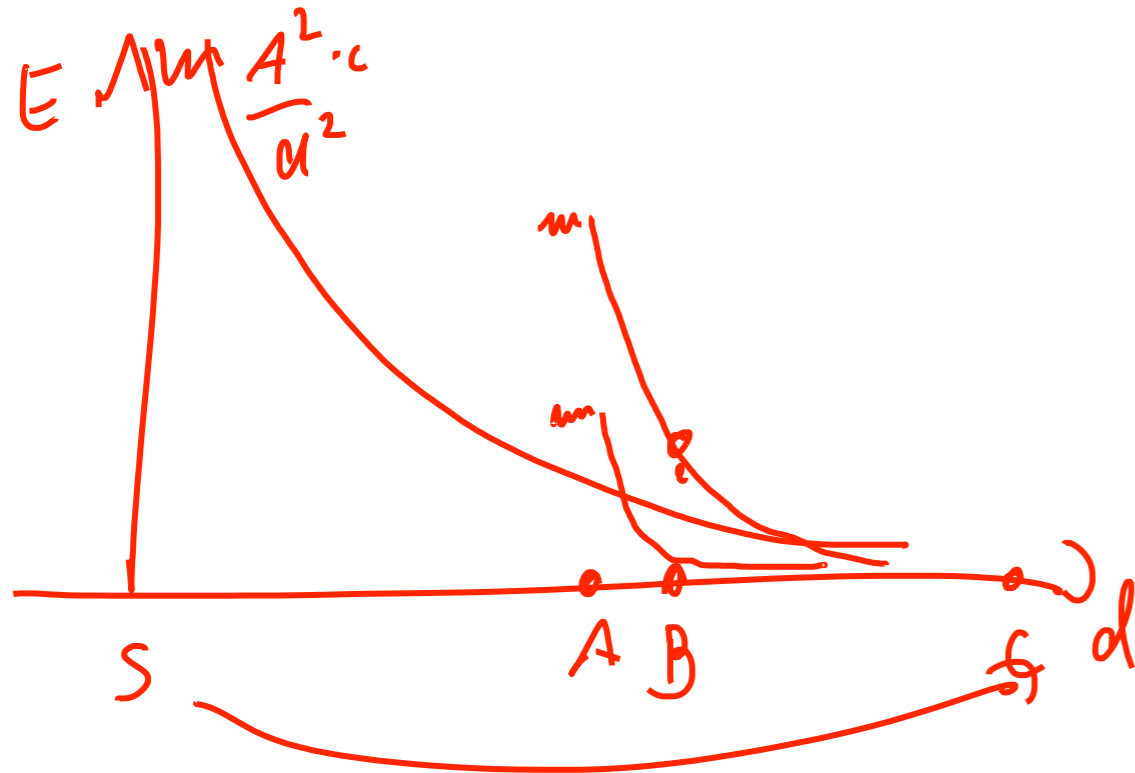




SNR-Modell

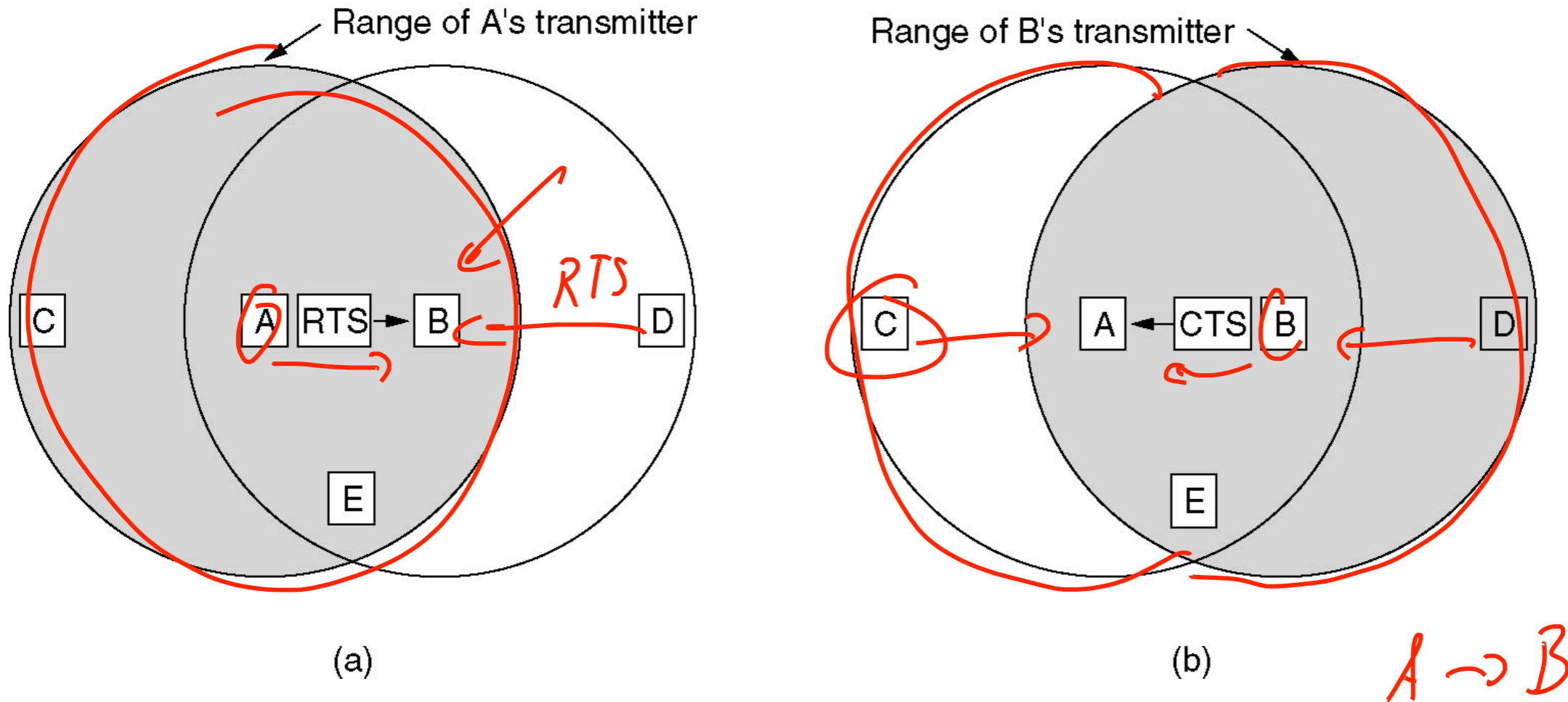
## ■ Interferenzen

- Hidden Terminal Problem
- Exposed Terminal Problem
- Asymmetrie (var. Reichweite)



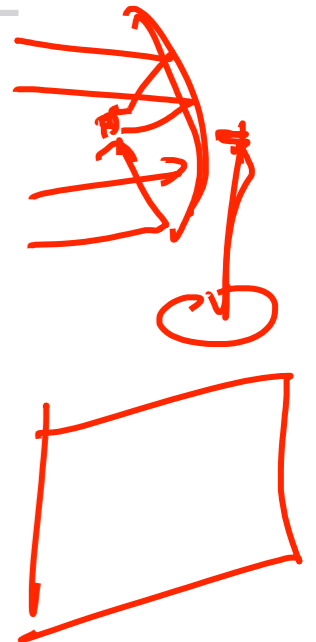
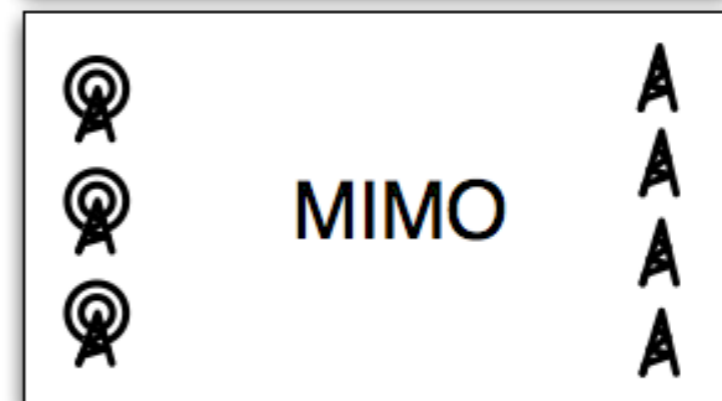
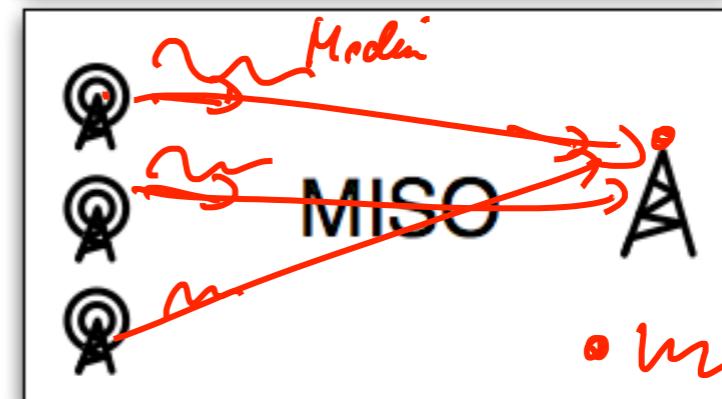
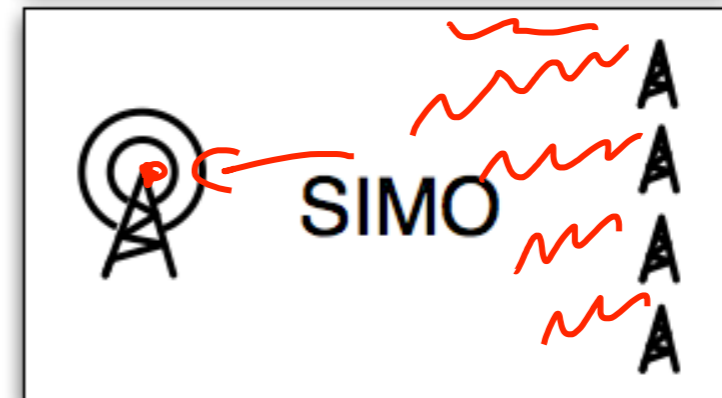
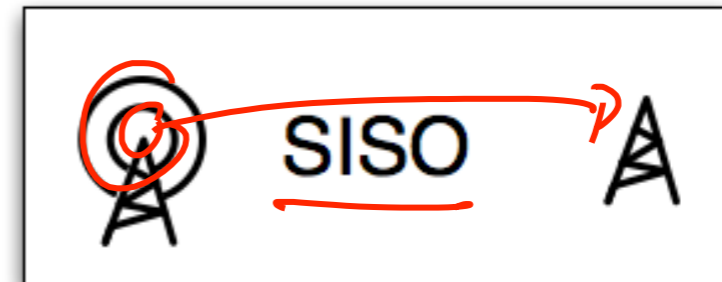
# Multiple Access with Collision Avoidance

MAC  
Media Access Control



- (a) A sendet Request to Send (RTS) an B.
- (b) B antwortet mit Clear to Send (CTS) an A.

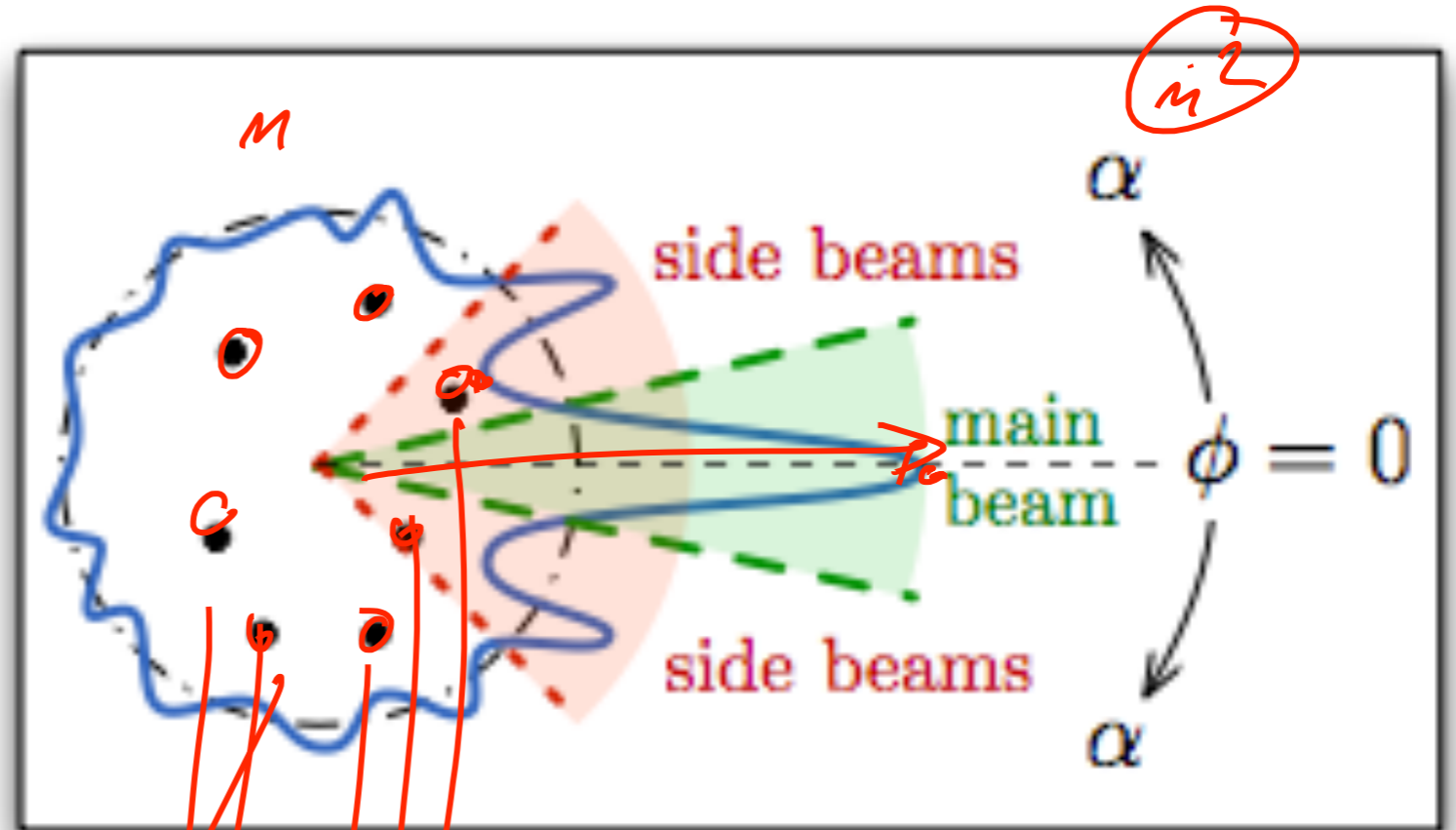
- Smart antennas
  - MIMO (multiple input/multiple output)
  - SIMO (single input/multiple output)
  - MISO, SISO
  - sind mehrere Antennen, welche koordiniert Signale übertragen und empfangen
- Vorteile
  - Beam forming
  - Power gain
  - Diversity gain
- Anwendungen
  - IEEE-802.11n-WLAN



# Beamforming

$$A^2 \rightarrow E$$

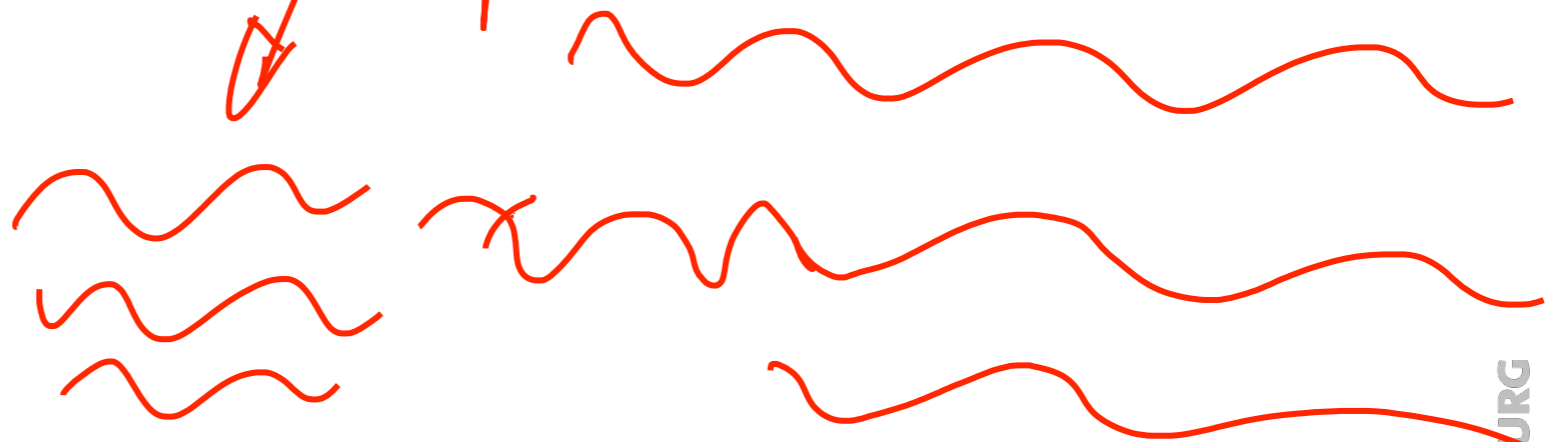
- Durch geschickte Phasenverschiebung kann ein gerichteter Sendestrahl gesendet werden
  - oder symmetrisch auch empfangen werden



$$A(t) = e^{i(t+\varphi)}$$

$$\sum_{i=1}^n e^{i(t+\varphi)}$$

$\downarrow$   
 $n \cdot e^{it}$



- Wieso können n Sender oder n Empfänger weiterreichen als 1 Sender und Empfänger?
  - mit gleichen Antennen
  - mit gleicher Energie
- Superposition:
  - Die elektrischen Felder überlagern sich (nicht die Energie)
  - Energy = P ~  $E^2 = (\text{el. Feld})^2$
  - El. Feldstärke =  $D \sim 1/d$
- 1 Sender
  - Energie: P
  - Energie im Abstand d:  $P/d^2$

- n Sender
  - Energie von n Sendern: P
  - Feldstärke eines von n Sendern:  $\sqrt{\frac{P}{n}}$
  - Feldstärke im Abstand d von n Sendern:  $\frac{n}{d} \sqrt{\frac{P}{n}} = \frac{\sqrt{Pn}}{d}$
  - Gesamtenergie im Abstand d:  $n \cdot \frac{P}{d^2}$
- Der selbe Effekt funktioniert auch beim Empfänger
  - führt zu einem Power Gain von Faktor n für n Sender und n Empfänger

