

Systeme II

2. Die physikalische Schicht

Christian Schindelhauer

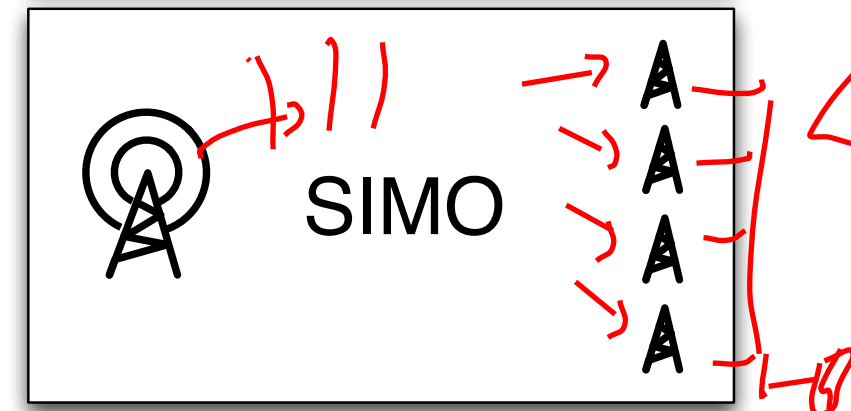
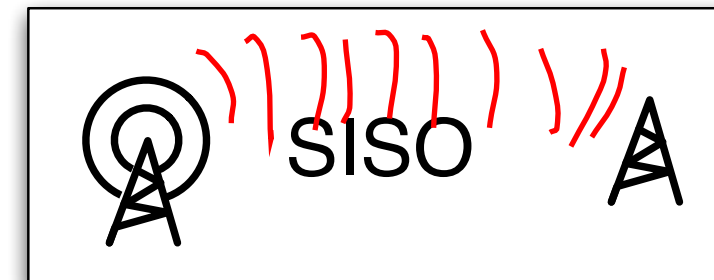
Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

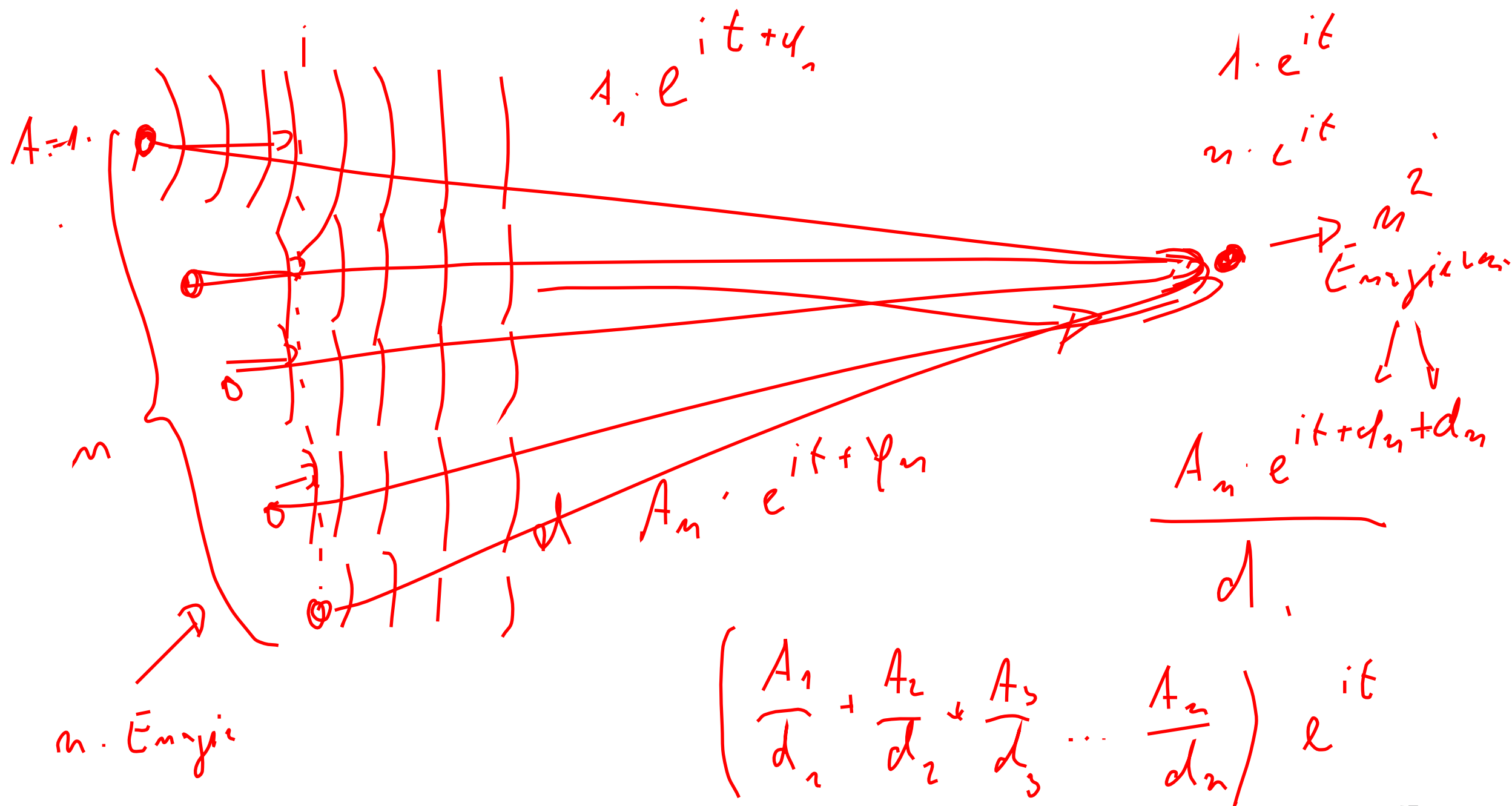
Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

Version 26.04.2017

- 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

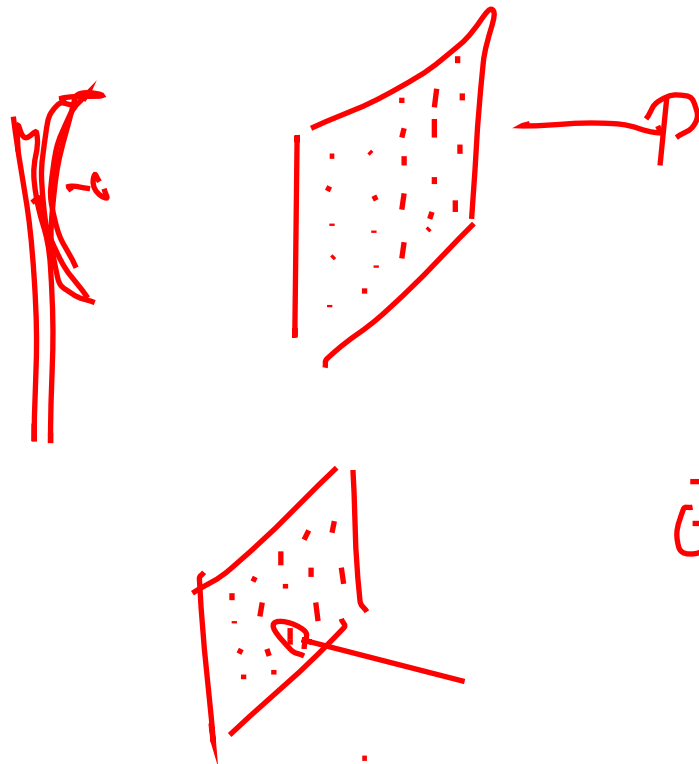
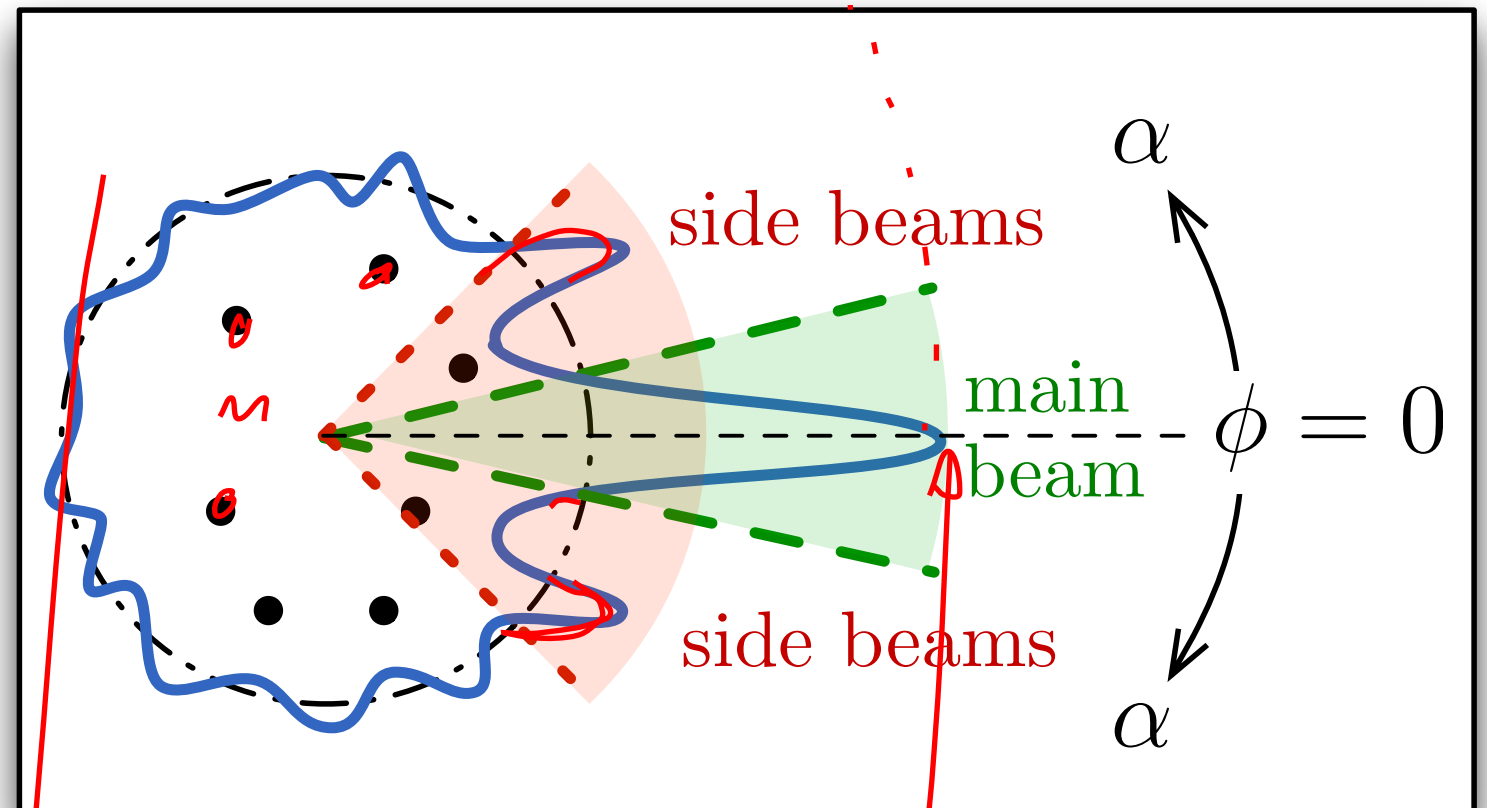


Superposition



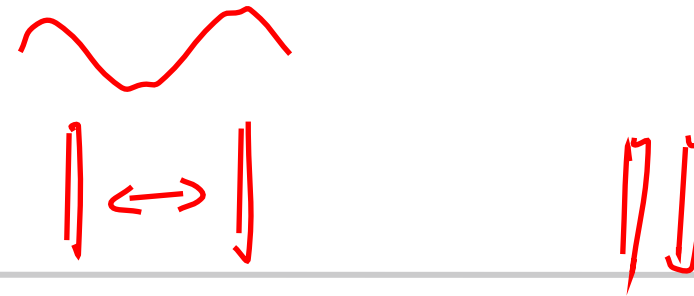
Beamforming

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



Amplitude $\propto \sqrt{n}$
 Energie ist n mal größer

Amplitude : n mal größer
 Energy n^2



- 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) *additiv*
- Energy = $P \sim E^2 = (\text{el. Feld})^2$
- El. Feldstärke = $D \sim 1/d$

- 1 Sender

- Energie: P
- Energie im Abstand d : P/d^2

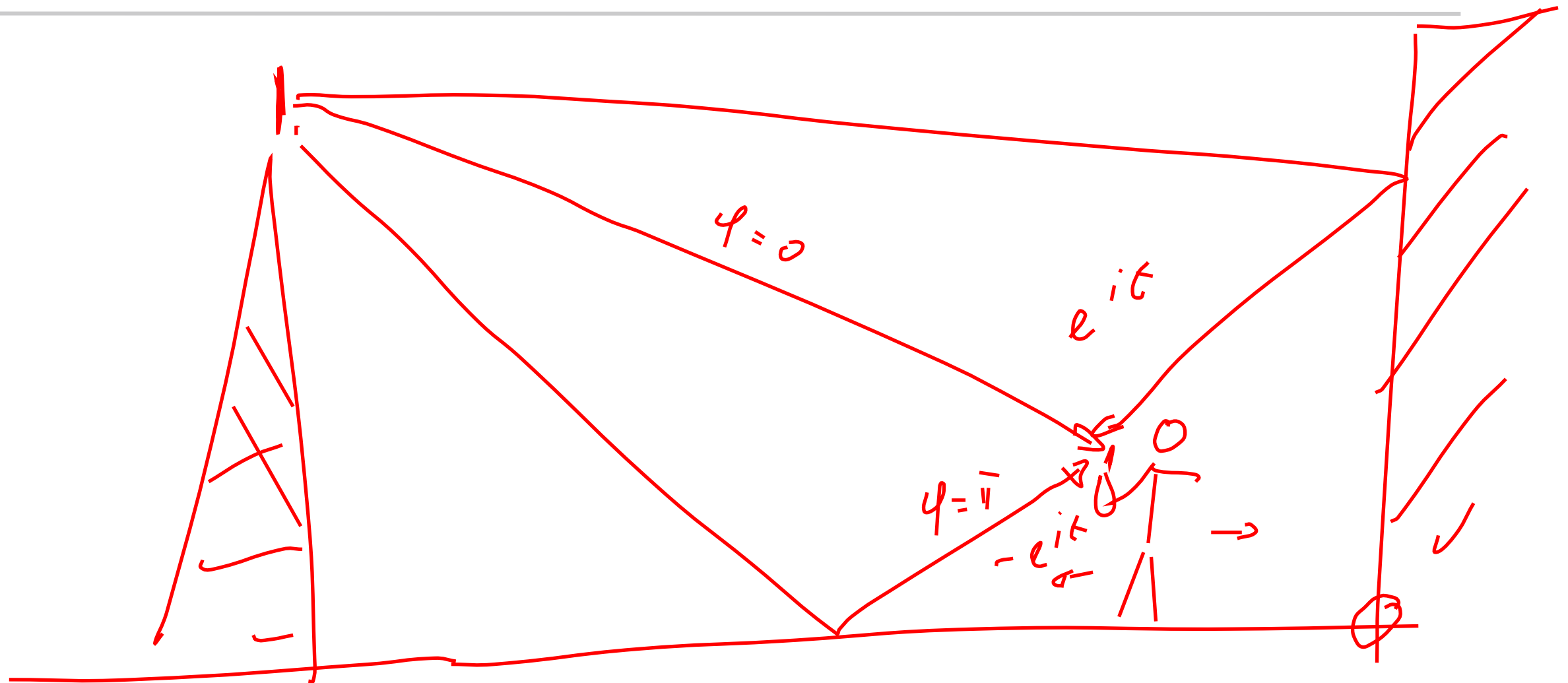
- n Sender

- 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 : $n \cdot \frac{P}{d^2}$

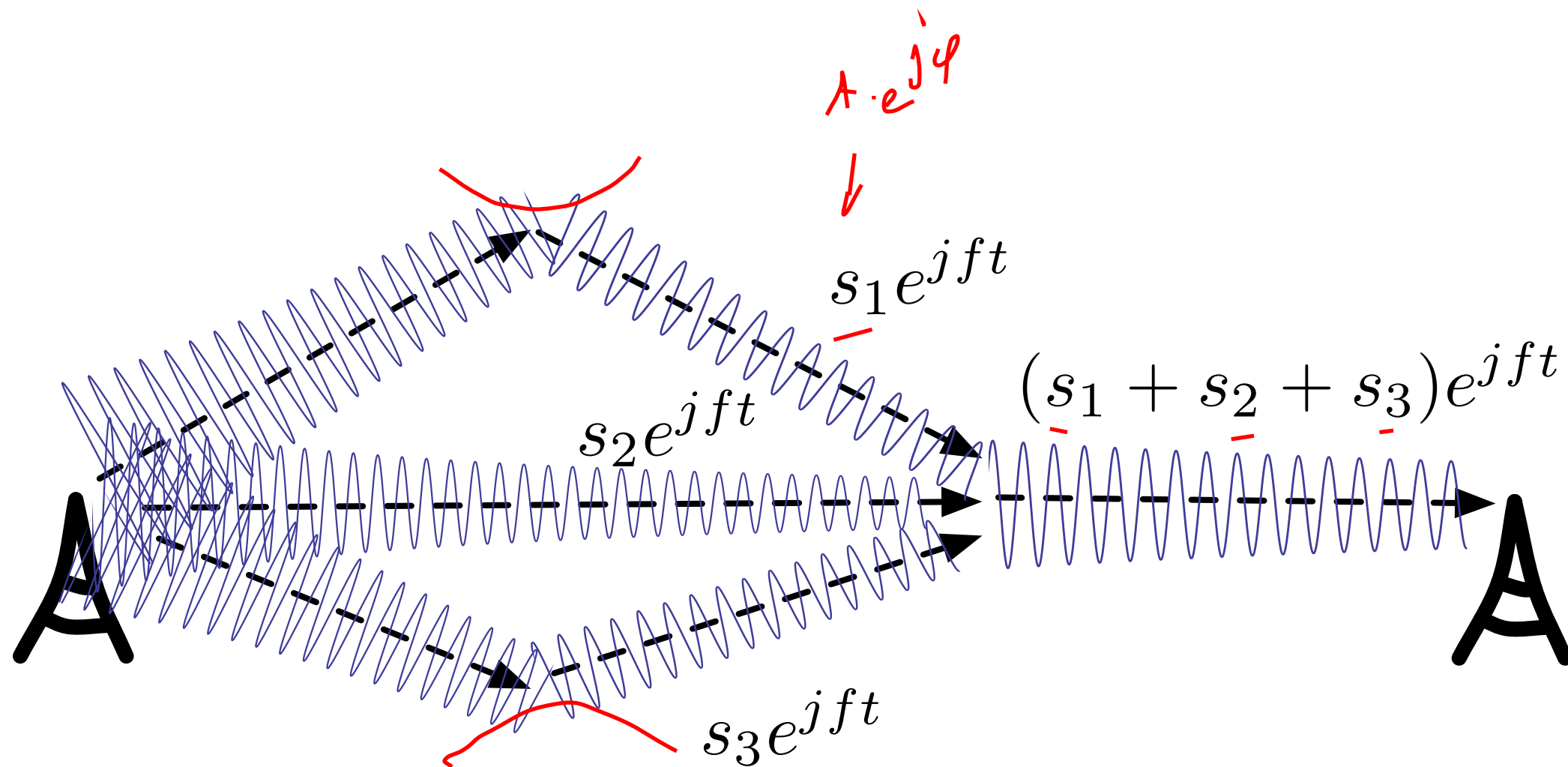
- Der selbe Effekt funktioniert auch beim Empfänger

- führt zu einem Power Gain von Faktor n für n Sender und n Empfänger



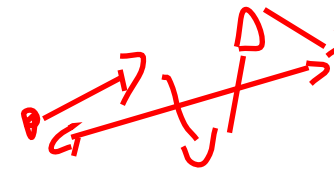
Multipath Channel

- Superposition von Reflektionen

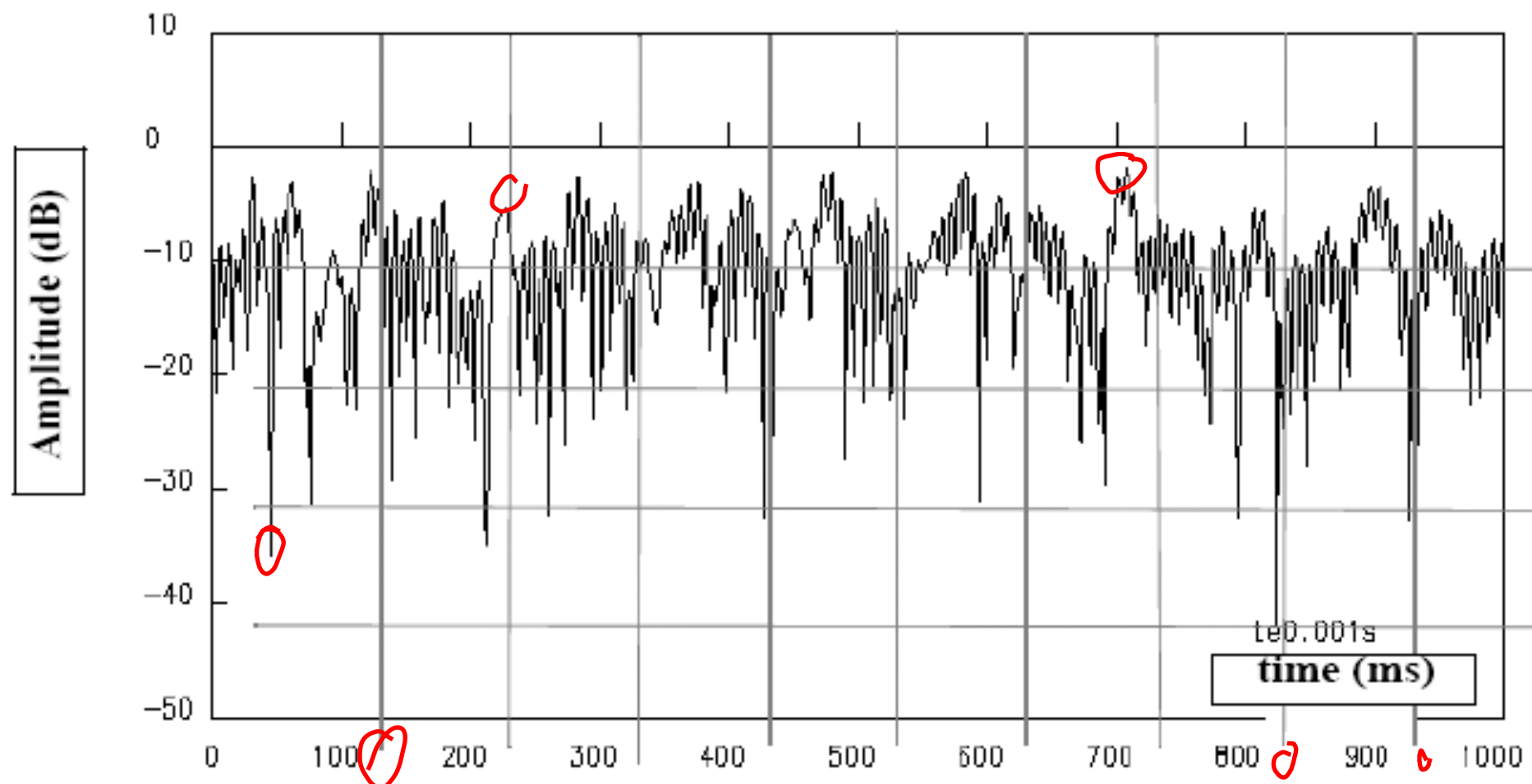


$$h = \underline{s_1 + s_2 + s_3}$$

Rayleigh fading



- Superposition führt zu drastischen Einbrüchen



Introduction to Wireless MIMO – Theory and Applications
Jacob Sharony IEEE LI 2006

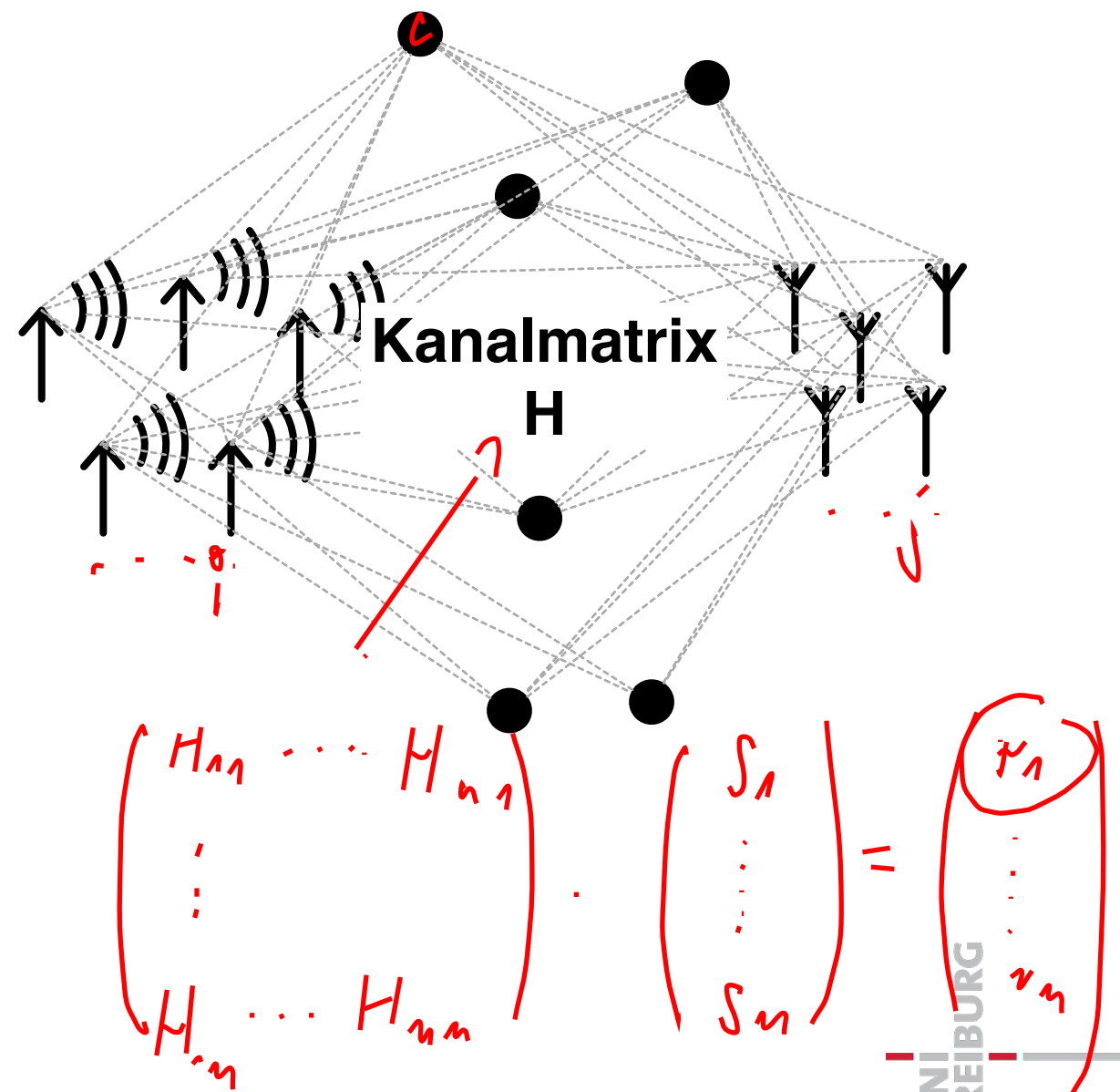
Diversity Gain

- Wenn in der Umgebung viele Reflektoren (scatterers) vorhanden sind,
 - dann ergibt sich für die Beschreibung der Sender-/Empfänger-Beziehung eine Kanalmatrix H
- $H_{i,j} =$
 - resultierende Dämpfung und Phasenverschiebung zwischen Sender i und Empfänger j
- Für geeignete Kanalmatrizen
 - mit „guter“ Singulärwertzerlegung
 - können bis zu $\max\{\#\text{Sender}, \#\text{Empfänger}\}$ parallele Kommunikationskanäle verwendet werden
- Dadurch können mehr Daten übertragen werden, als Shannons Theorem für SISO zulässt

$$H_{i,j} \in \mathbb{C}$$

$$|H_{i,j}| = \text{Amplitude}$$

$$\angle H_{i,j} = \text{Phase}$$



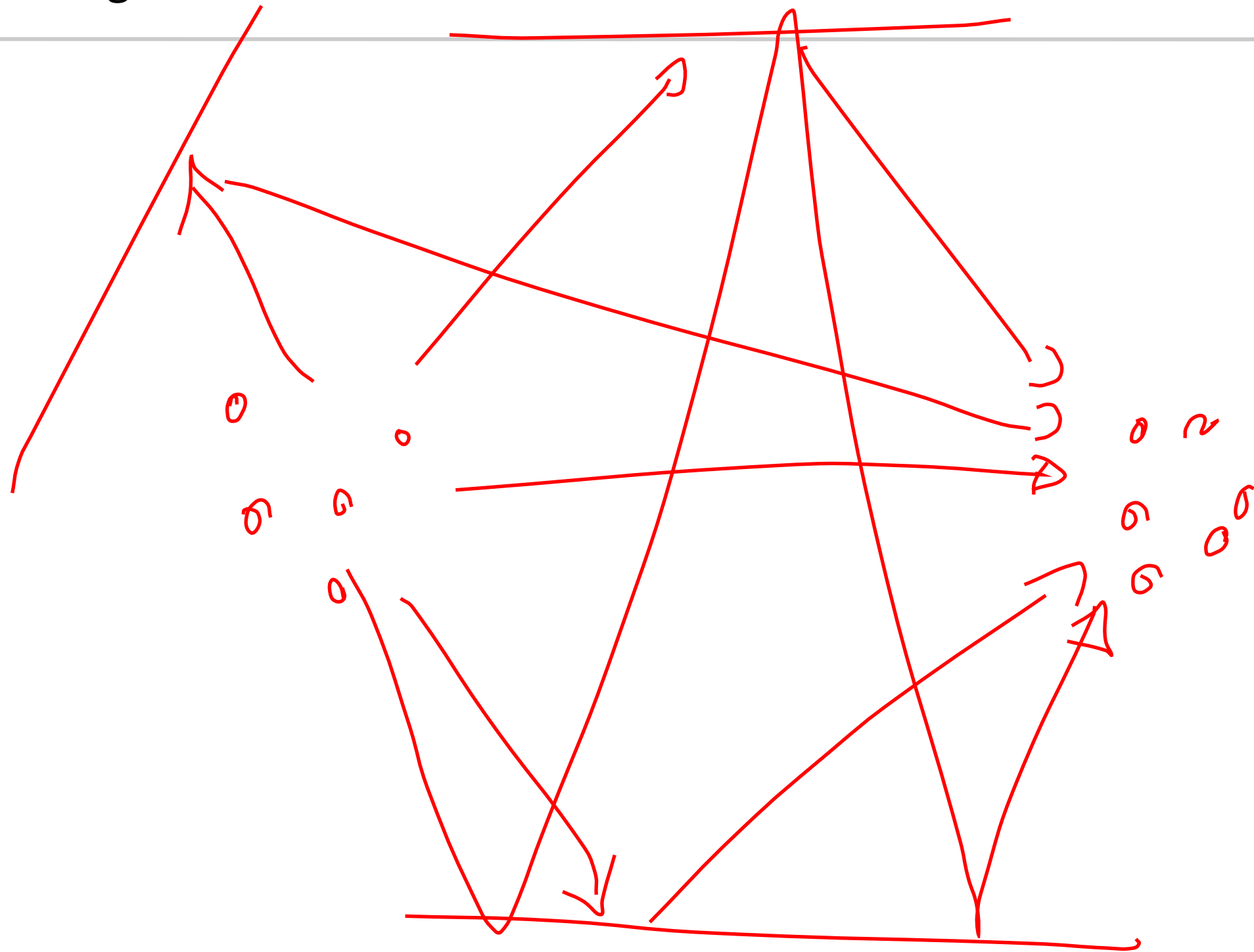
$$H \cdot \vec{s} = \vec{r} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix}$$

$$\vec{s} = H^{-1} \cdot \vec{r}$$

$$H \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_m \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_n \end{pmatrix} = H^{-1} \begin{pmatrix} y_1 \\ \vdots \\ y_n \end{pmatrix}$$

$H \vec{s}$



Systeme II

2. Die physikalische Schicht

Christian Schindelbauer

Technische Fakultät

Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

S

01011010

R