

Systeme II

2. Die physikalische Schicht

Christian Schindelhauer

Technische Fakultät

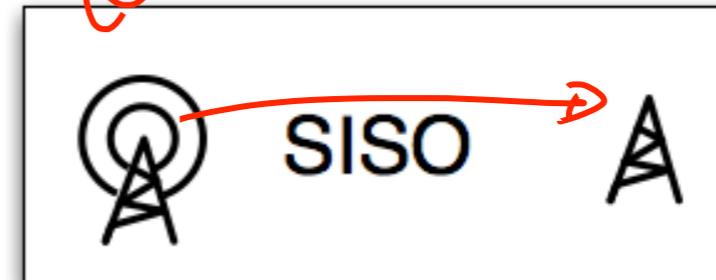
Rechnernetze und Telematik

Albert-Ludwigs-Universität Freiburg

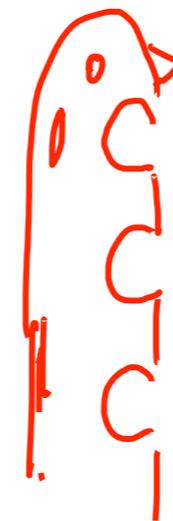
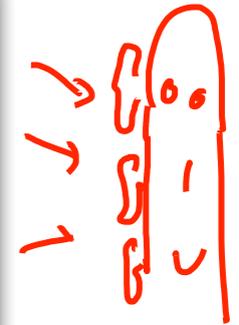
Version 14.05.2014

Smart Antennas, MIMO, SIMO, SISO, MISO

- 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

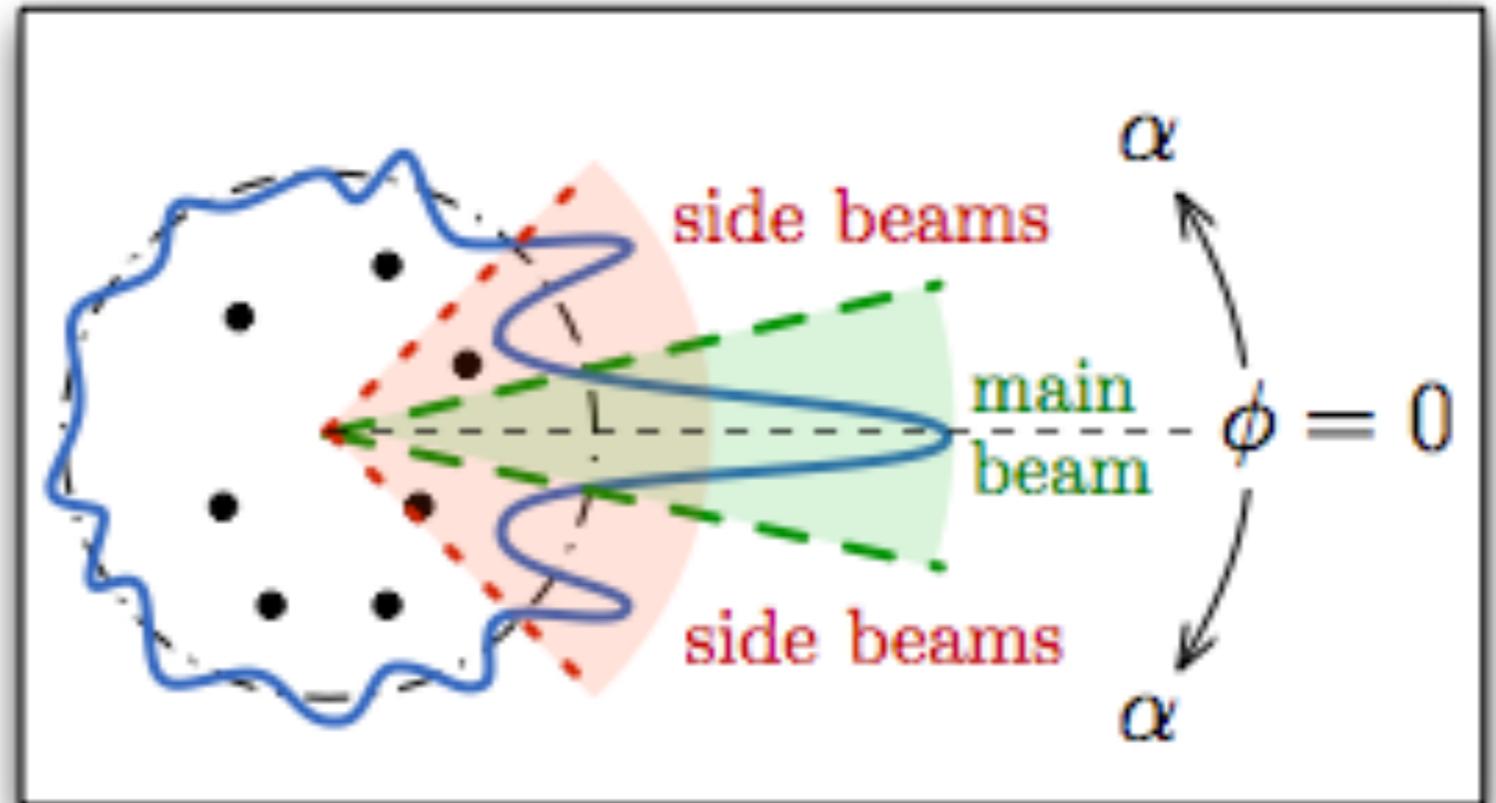


$H \cdot \log\left(1 + \frac{S}{N}\right)$
Shannon



~~Shannon~~

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

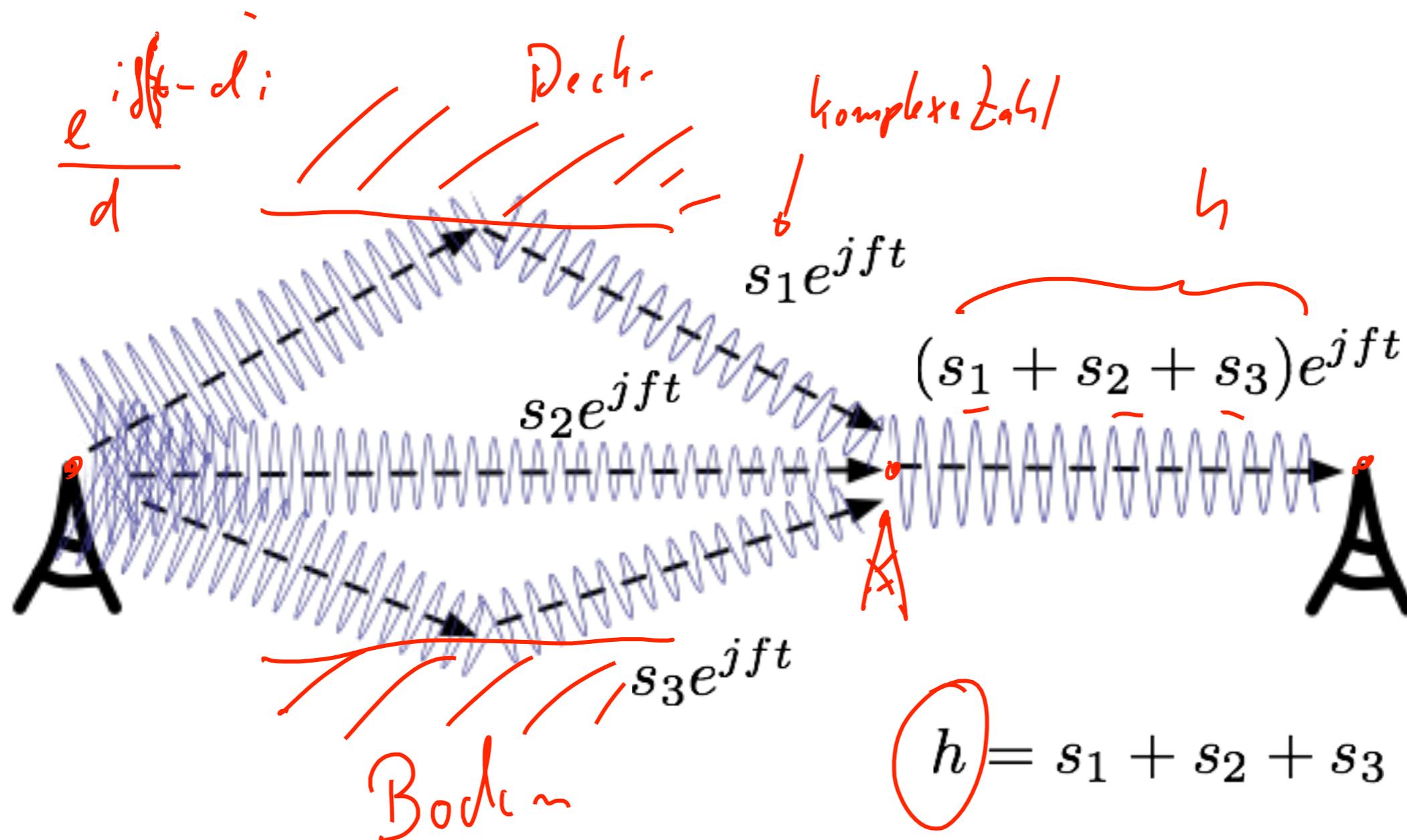


- Wieso können n Sender oder n Empfänger weiterreichen als 1 Sender und Empfänger?
 - mit gleichen Antennen
 - mit gleicher Energie
- Superposition:
 - Die elektrischen Felder überlagern sich (nicht die Energie)
 - Energy = $P \sim E^2 = (\text{el. Feld})^2$
 - El. Feldstärke = $D \sim 1/d$
- 1 Sender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

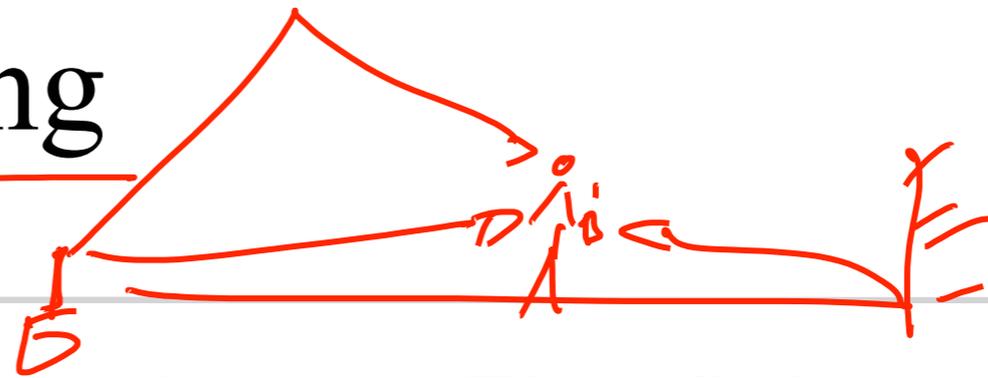
- n Sender
 - Energie von n Sendern: P
 - Feldstärke eines von n Sendern: $\sqrt{\frac{P}{n}}$
 - Feldstärke im Abstand d von n Sendern: $\frac{n}{d} \sqrt{\frac{P}{n}} = \frac{\sqrt{Pn}}{d}$
 - Gesamtenergie im Abstand d : $n \cdot \frac{P}{d^2}$
- Der selbe Effekt funktioniert auch beim Empfänger
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

$$\frac{e^{-d_i}}{d} = S_{\text{ref}}$$

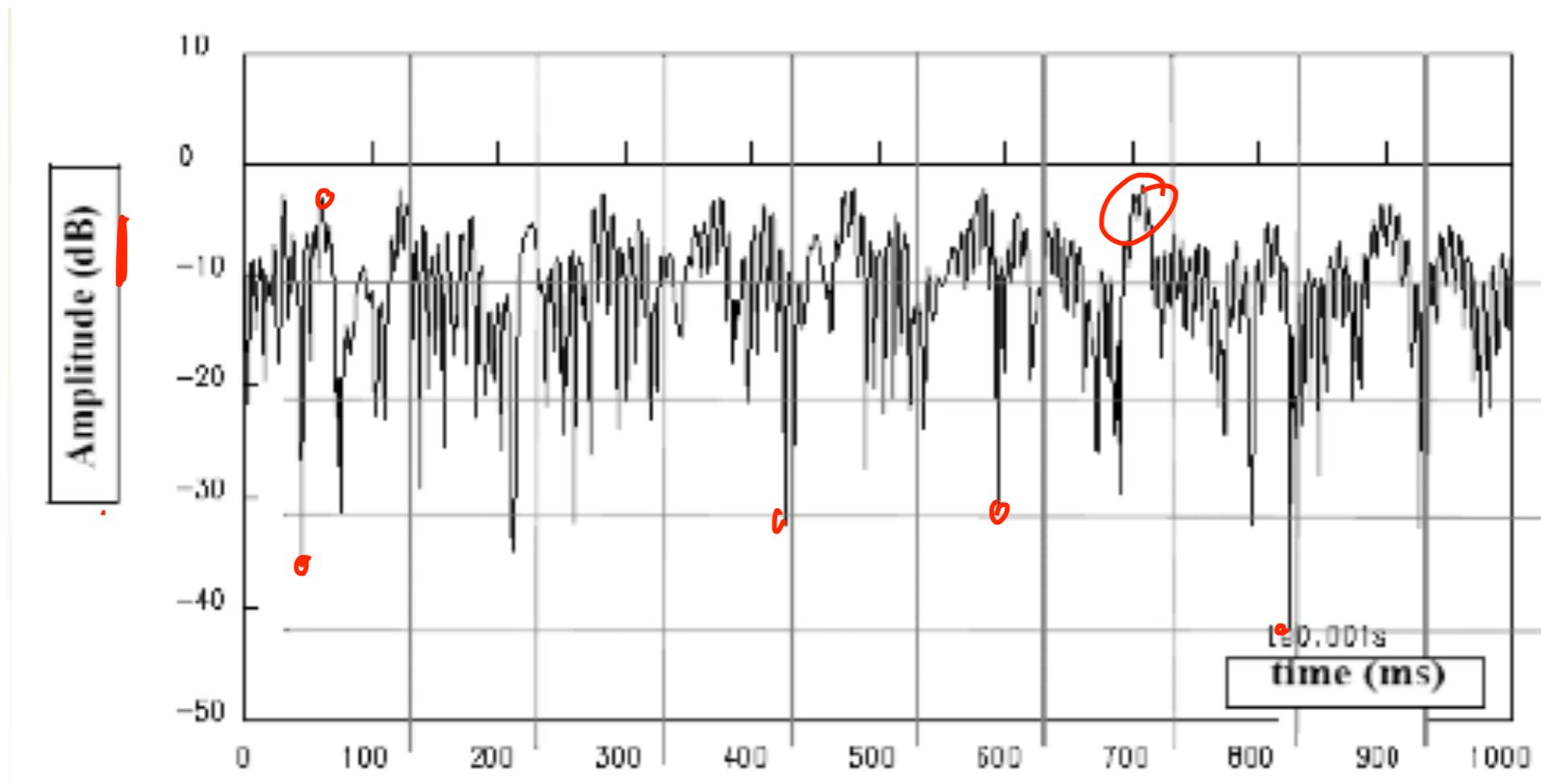
- Superposition von Reflexionen



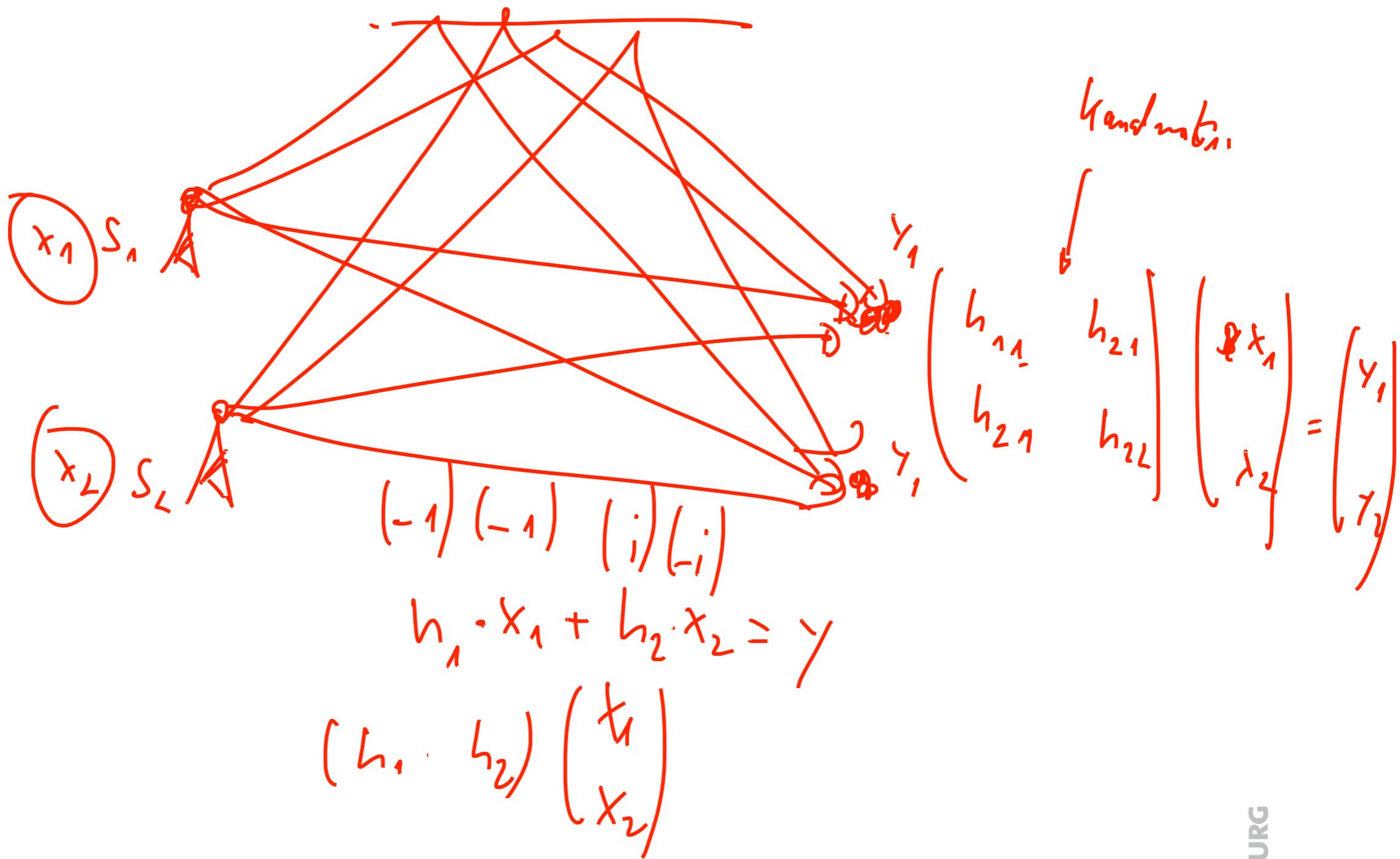
Rayleigh fading



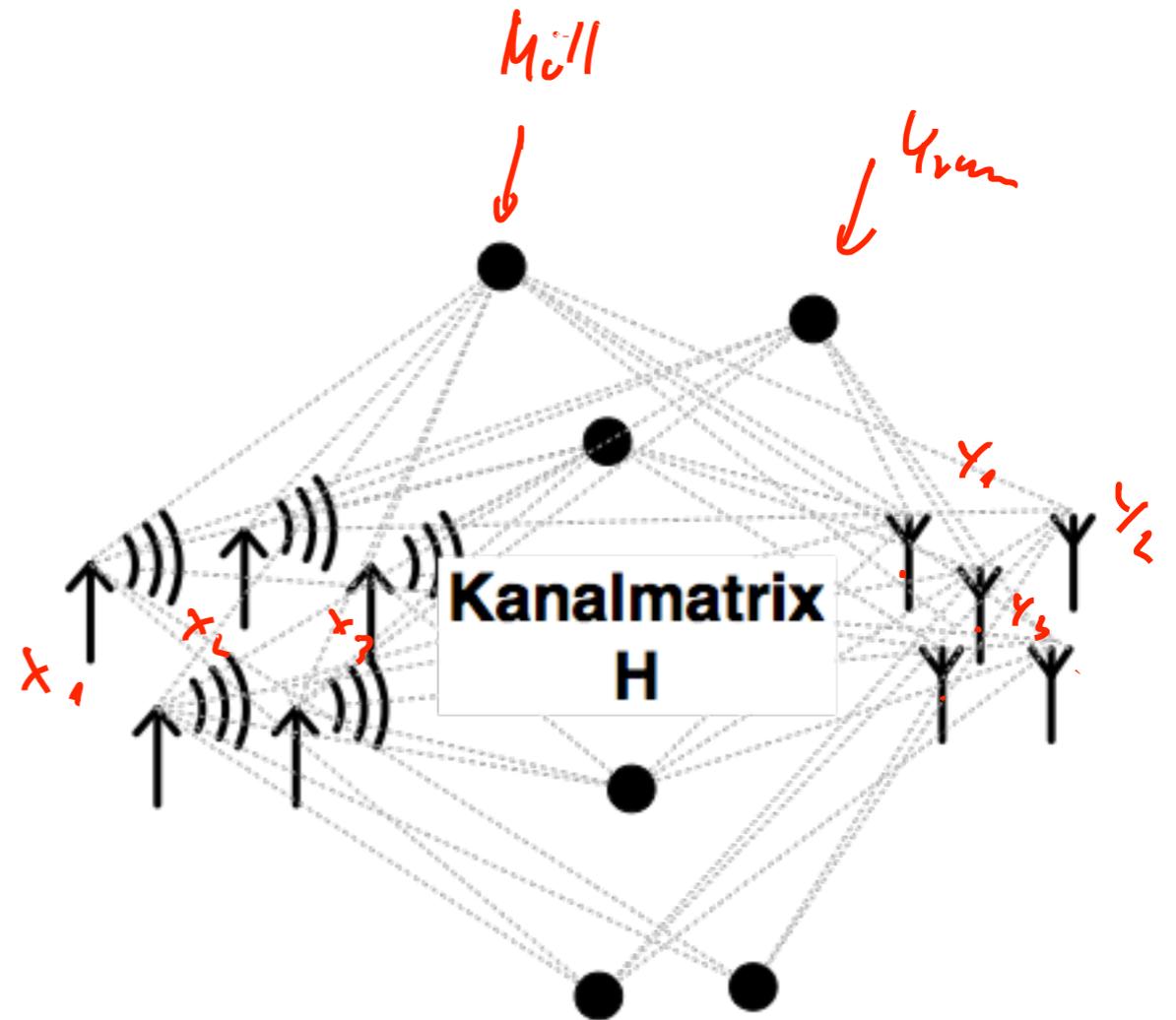
- Superposition führt zu drastischen Einbrüchen



Power 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



$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

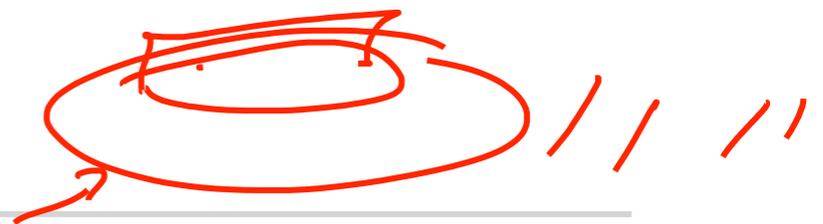
$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix}$$

geg: y , ges: x

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{pmatrix} = H^{-1} \cdot \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ y_4 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} \frac{1}{d} \cdot e^{i\varphi} & \frac{1}{d} \cdot e^{i\varphi} \\ \frac{1}{d} \cdot e^{i\varphi} & \frac{1}{d} \cdot e^{i\varphi} \end{pmatrix} = \frac{1}{d} \cdot e^{i\varphi} \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{pmatrix}$$



Power gain

