

Systeme II

8. Die physikalische Schicht (Teil 6)

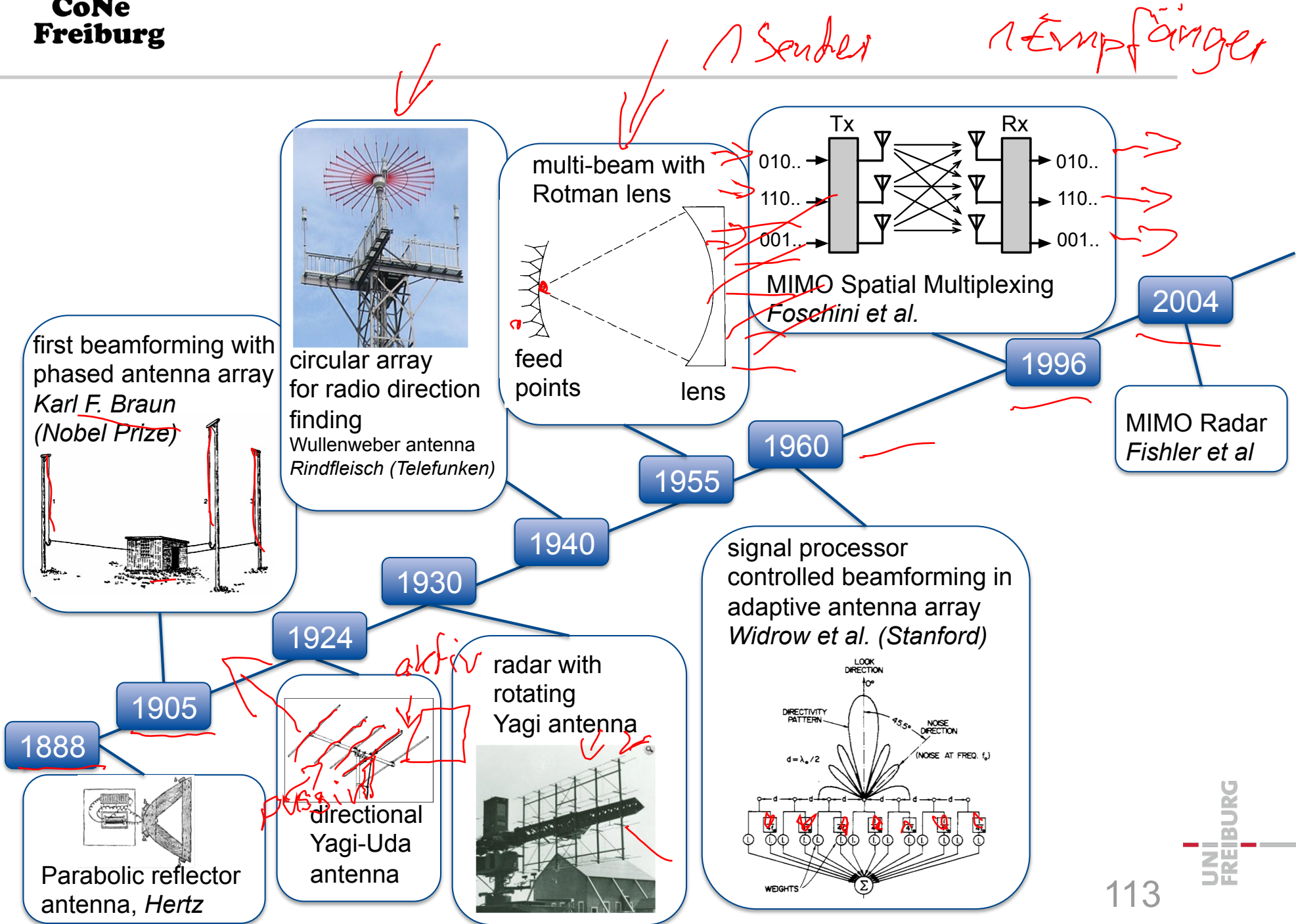
Thomas Janson[°], Kristof Van Laerhoven*, Christian
Ortolf[°]

Folien: Christian Schindelhauer[°]

Technische Fakultät

[°]: Rechnernetze und Telematik, *: Eingebettete Systeme

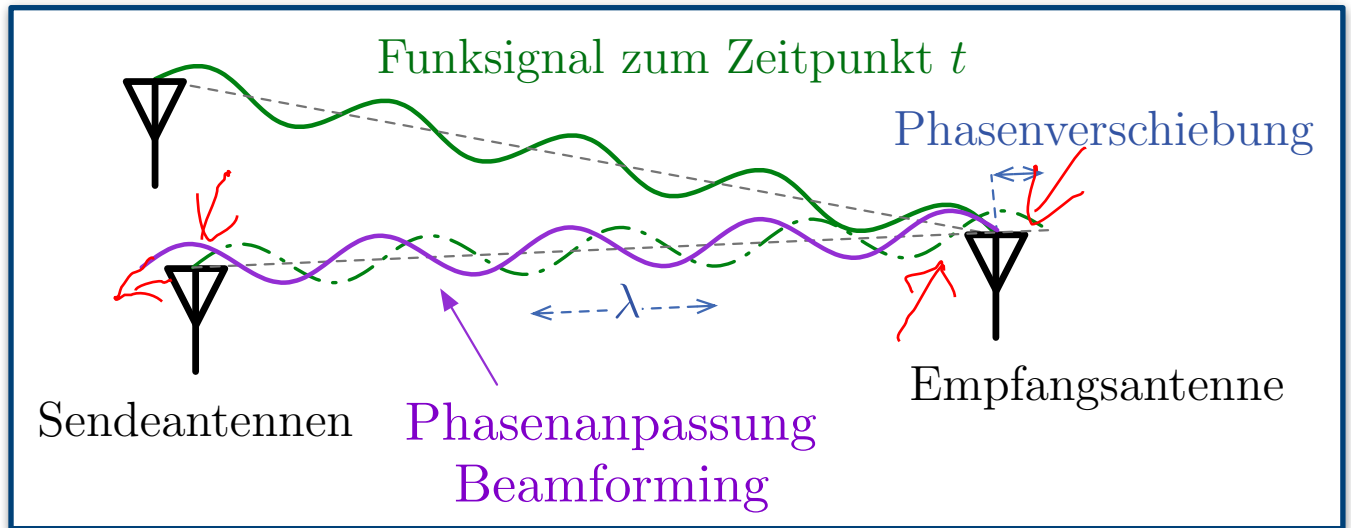
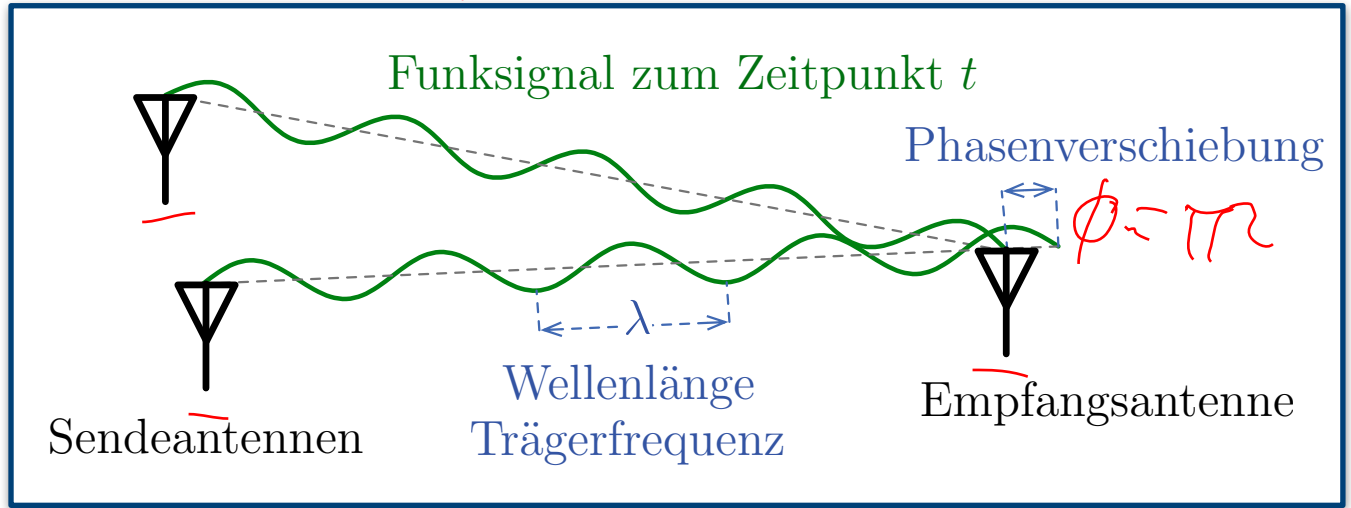
Richtfunk/Räumliches Multiplex



Richtfunk mit mehreren Antennen

$$\sin(x) - \sin(x) = 0 \quad \sin(x) + \sin(x) = 2 \sin(x) \quad \sin(x) + \cos(x) = \sqrt{2} \cdot \sin(x + \pi/4)$$

- 2 Sender übertragen das gleiche Signal mit gleichen Daten
- verschiedene Distanzen zum Empfänger führen zu Phasenverschiebung
 - Signale löschen sich teilweise aus
- Phasenverschiebung wird für Empfängerposition angepasst
 - durch Superposition verdoppelt sich die Amplitude



$$a_1 \cdot \sin(x) + a_2 \cdot \sin(x)$$

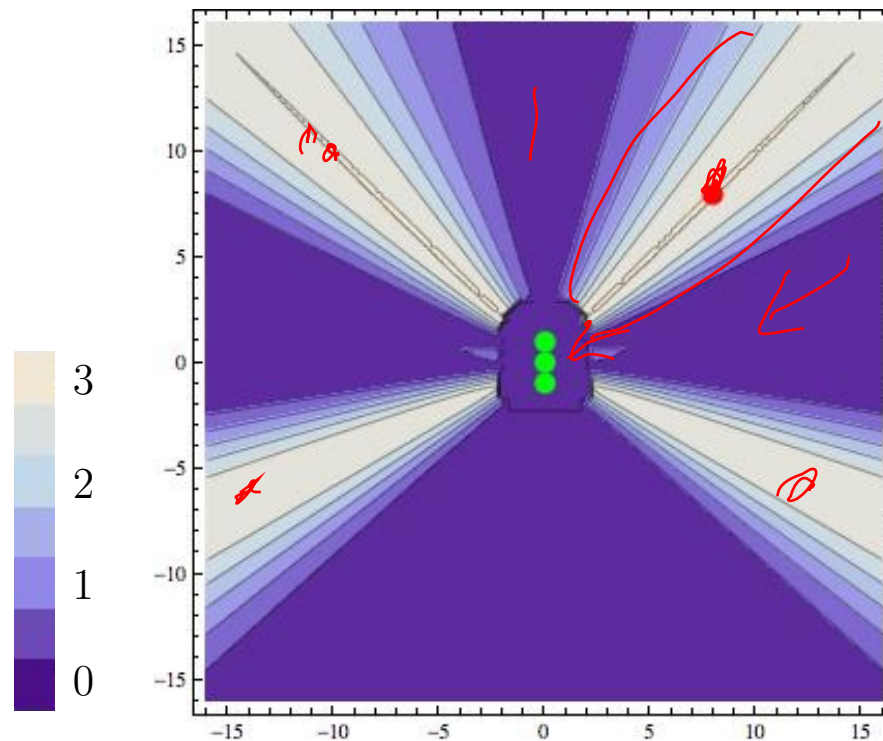
$$= (a_1 + a_2) \cdot \sin(x)$$

$$= 2a \cdot \sin(x)$$

Beamforming von 3 Sendeantennen

- Beamforming Gain = Steigerung der Empfangsleistung im Vergleich zu Einzelantenne mit gleicher Sendeleistung

$$3 \cdot a \cdot \sin(x)$$



← Empfänger

← 3 Sendeantennen

- 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

802.11n

single input



single output

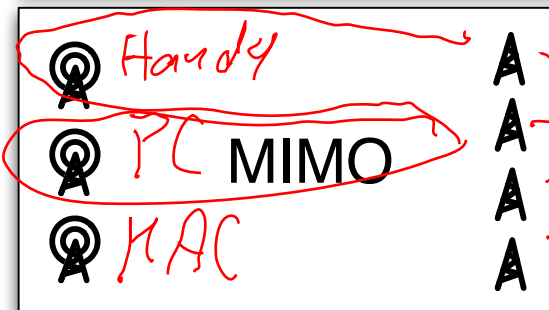


multiple output

multiple output

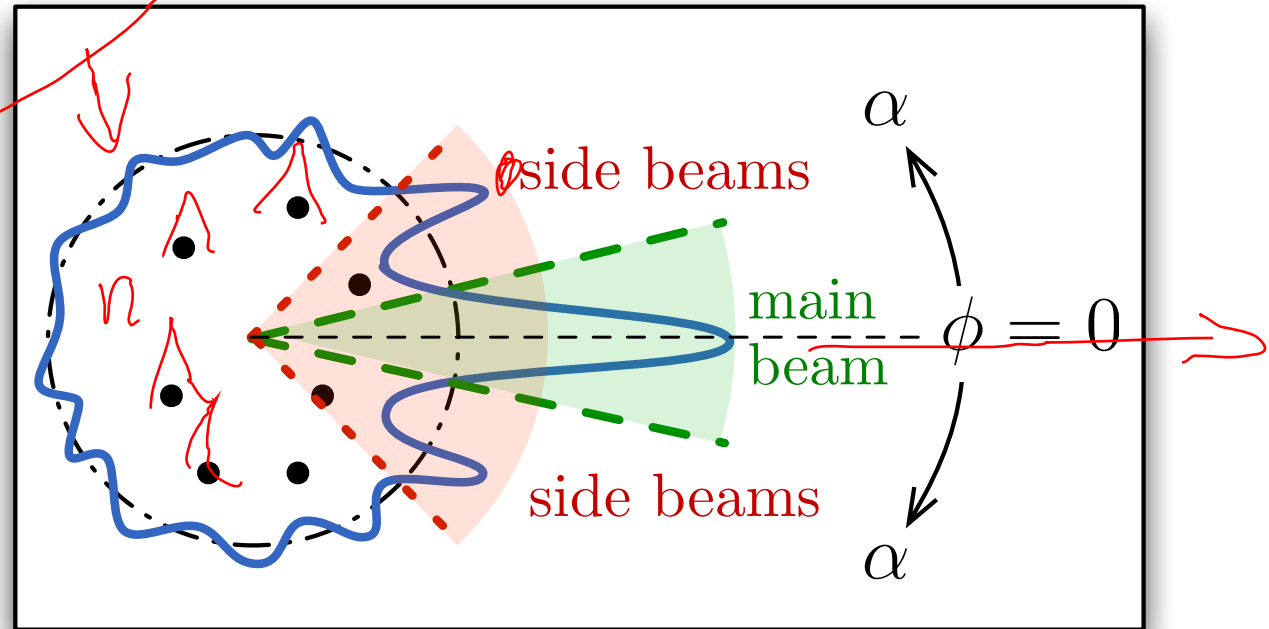


MU-MIMO



Beamforming

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



$$n \cdot a_i = \sin(x)$$

$$P_n(n \cdot a_i) \sim \frac{P}{n} = n \cdot P$$

- Warum haben n Sender (oder n Empfänger) eine höhere Reichweite als 1 Sender und Empfänger?

- mit gleichen Antennen
- mit gleicher Energie *Leistung*

Superposition:

- Die elektrischen Felder überlagern sich (nicht die Energie)
- Energy = $P \sim E^2$ = (el. Feld)²
- El. Feldstärke = $D \sim 1/d$ $P \sim \frac{1}{d^2}$

$$A \sim E \sim U$$

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} \sim E^2$$

1 Sender

- Energie: P
- Energie im Abstand d : P/d^2 \sqrt{n}

n Sender

- Energie von n Sendern: P *pro Antenne*
- Feldstärke eines von n Sendern: $\sqrt{\frac{P}{n}}$ $P_i = \frac{P}{n}$
- Feldstärke im Abstand d von n Sendern: $\frac{n}{d} \sqrt{\frac{P}{n}} = \frac{\sqrt{Pn}}{d}$ $a_n = \sqrt{P/n}$

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

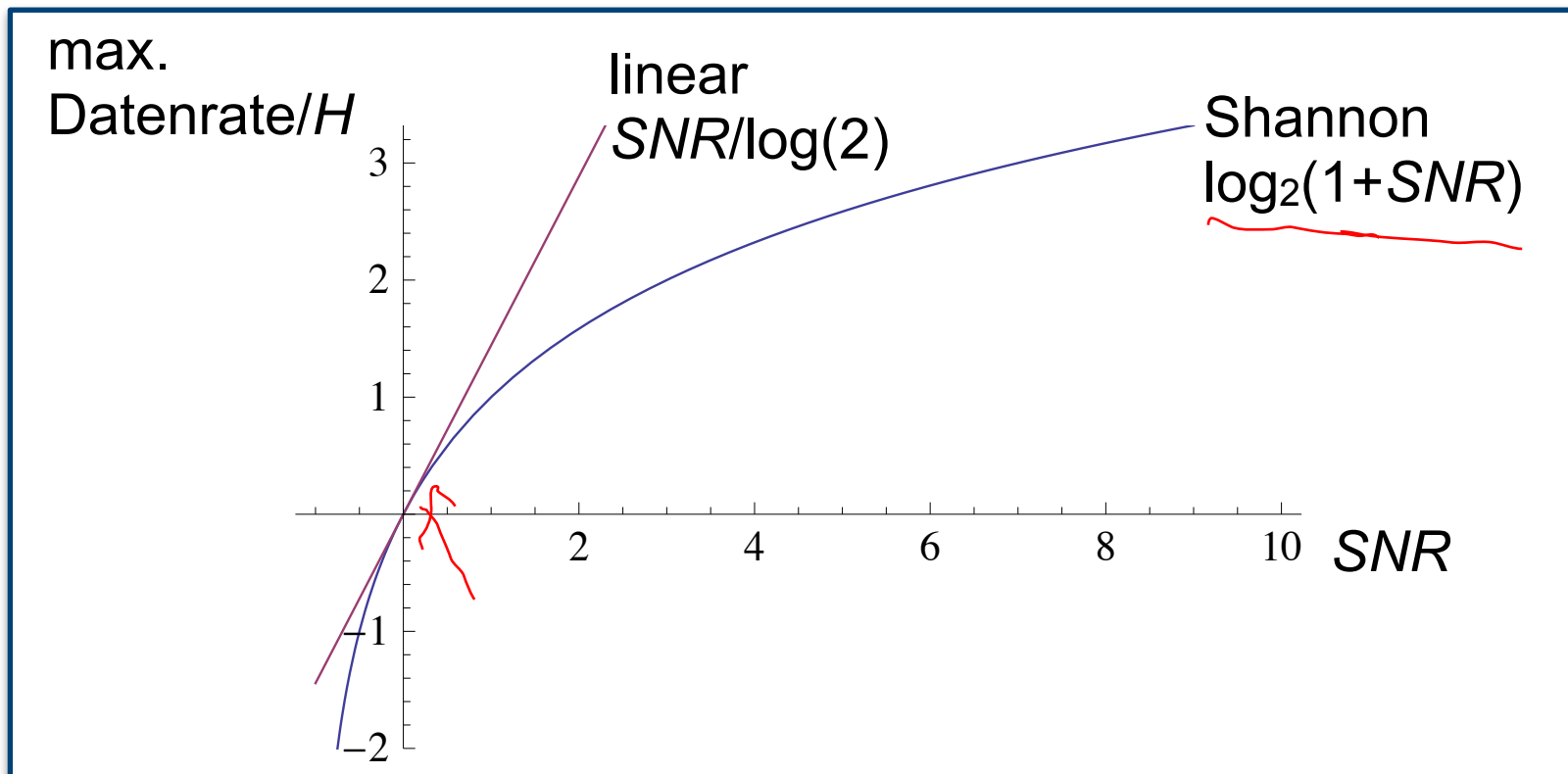
Der selbe Effekt funktioniert auch beim Empfänger

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

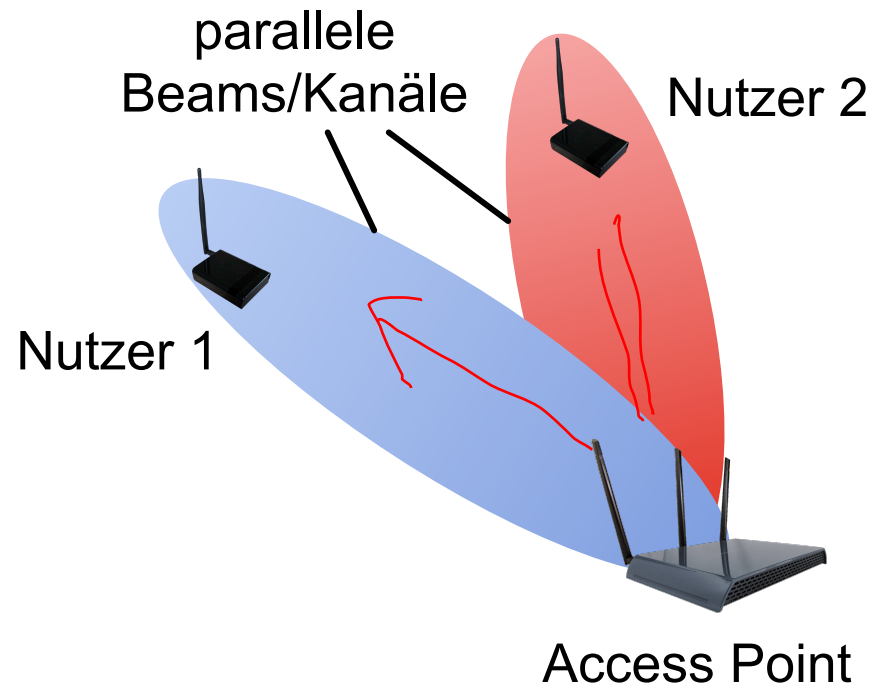
$$\log(1+x) \leq x$$

- Shannons Theorem: maximale Datenrate $H \cdot \log_2(1+S/N)$ bit/s

Bandbreite → bei höherer Signalleistung S durch Power Gain von Beamforming kann bessere Codierung verwendet werden (z.B. 4, 8, 16, 256 QAM) ←



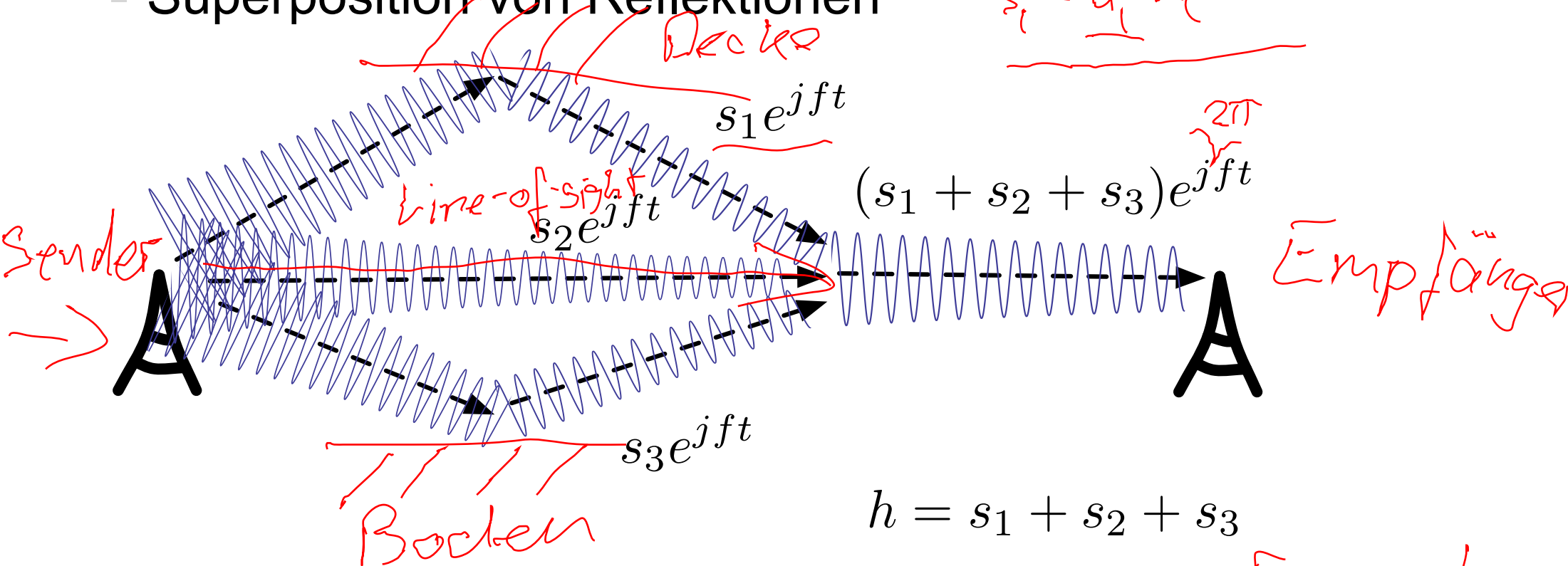
- Multi-User-MIMO: im 802.11ac Standard können mehrere Nutzer gleichzeitig den Kanal benutzen



$$h_i = a_i \cdot e^{j2\pi f t + \phi}$$

Superposition von Reflektionen

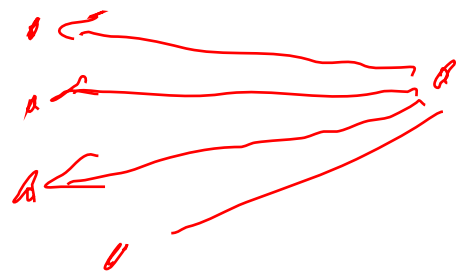
$$s_i = a_i \cdot e^{j\phi}$$



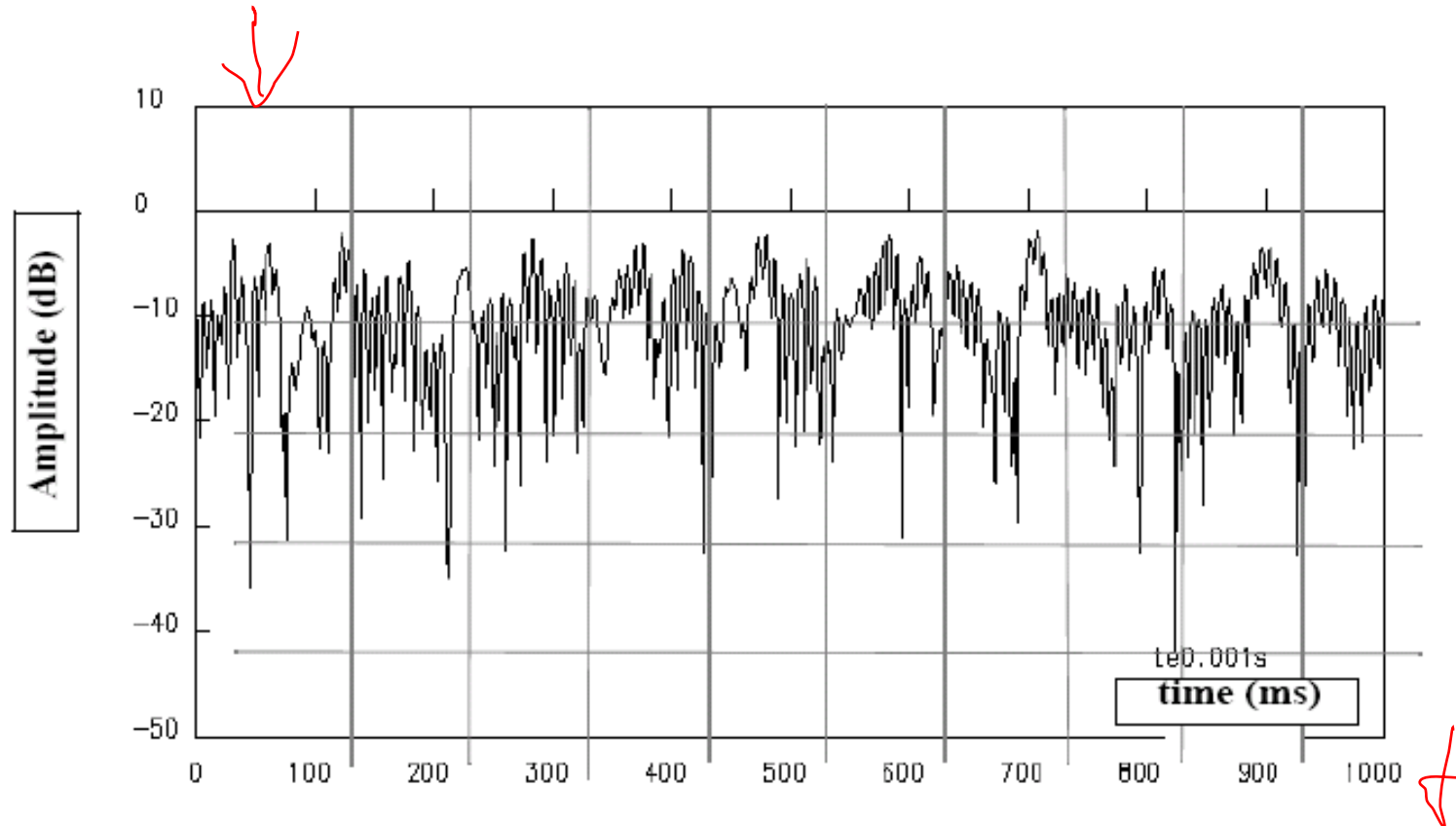
$$h = s_1 + s_2 + s_3$$

Eulersche Formel

$$e^{ix} = \cos(x) + j \sin(x)$$



- Superposition führt zu drastischen Einbrüchen

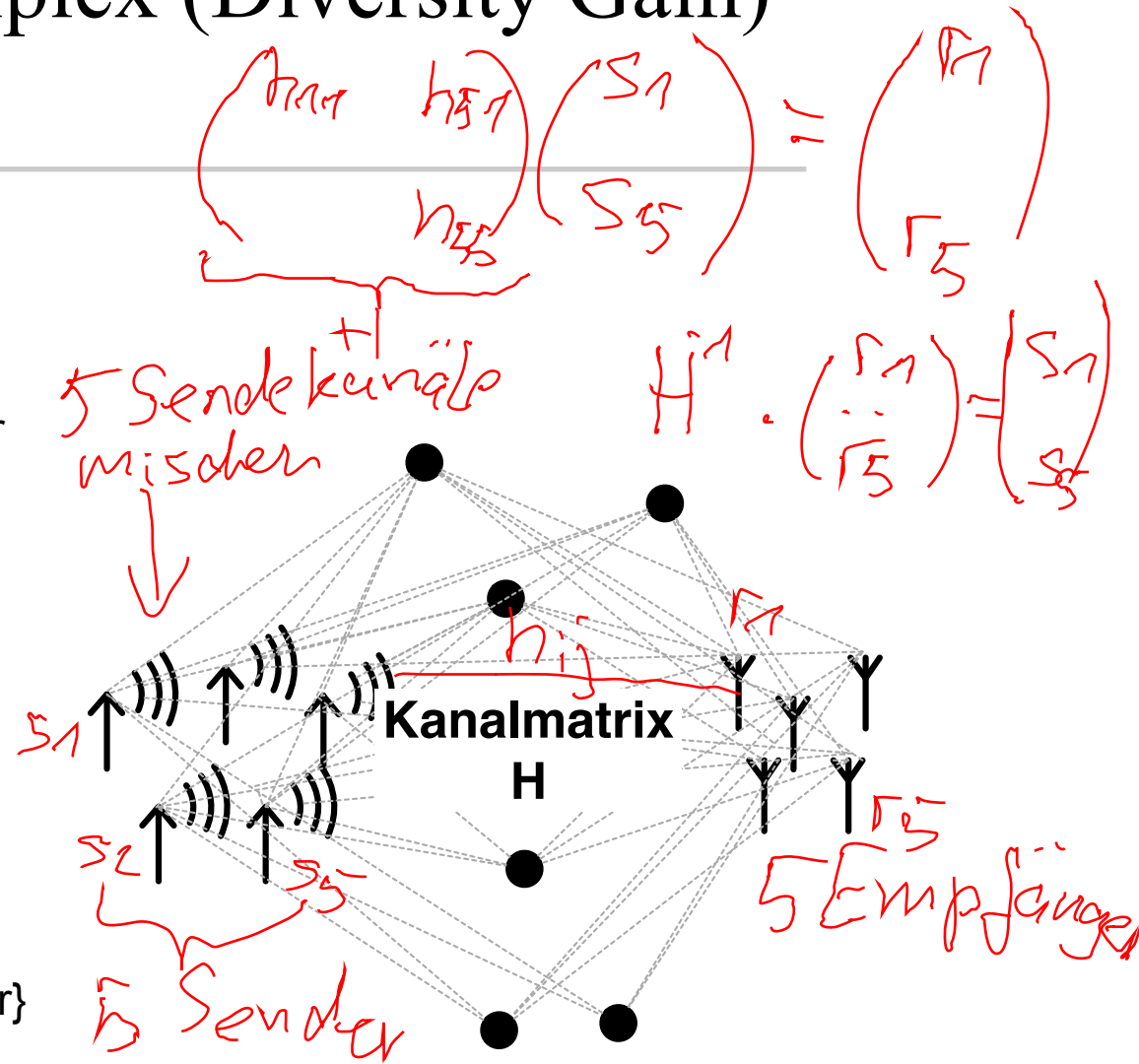


Introduction to Wireless MIMO – Theory and Applications
Jacob Sharony IEEE LI 2006

Räumliches Multiplex (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

$\Rightarrow n$ Kanäle



MU-MIMO

Systeme II

8. Die physikalische Schicht

Thomas Janson[°], Kristof Van Laerhoven*, Christian
Ortolf[°]

Folien: Christian Schindelbauer[°]

Technische Fakultät

[°]: Rechnernetze und Telematik, *: Eingebettete Systeme