

# MIMO-Verfahren für OQAM-OFDM-Systeme

Niklas Schulz



# Übersicht

- 1 Motivation
- 2 Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank
- 3 Aufbau der MIMO-Übertragungssysteme
- 4 MIMO mit räumlicher Diversität
- 5 MIMO mit Raummultiplex
- 6 Fazit



# Motivation

- Aktuell: Das Mehrträger-Übertragungsverfahren CP-OFDM (z. B. in WLAN)
  - Nachteil: Zyklische Wiederholung und geringe Seitenbandunterdrückung
- Alternative: Das Filterbank-basierte Mehrträger-Übertragungsverfahren OQAM-OFDM
  - Vorteil: Erhöhte spektrale Effizienz und hohe Seitenbandunterdrückung
  - Nachteil: höhere Komplexität

- Vergleich der Leistungsfähigkeit und Komplexität verschiedener MIMO-Verfahren
  - Bestehende MIMO-Algorithmen für räumliche Diversität und Raummultiplex wurden für CP-OFDM analysiert und für OQAM-OFDM angepasst

# Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank

## Grundlagen

### ■ CP-OFDM

Mehrträgerverfahren mit Rechteck-förmigen Impulsformungsfilter mit zyklischer Wiederholung von  $N_g$  Datensymbolen zum Schutz gegen Mehrwegeausbreitung

### ■ OQAM-OFDM

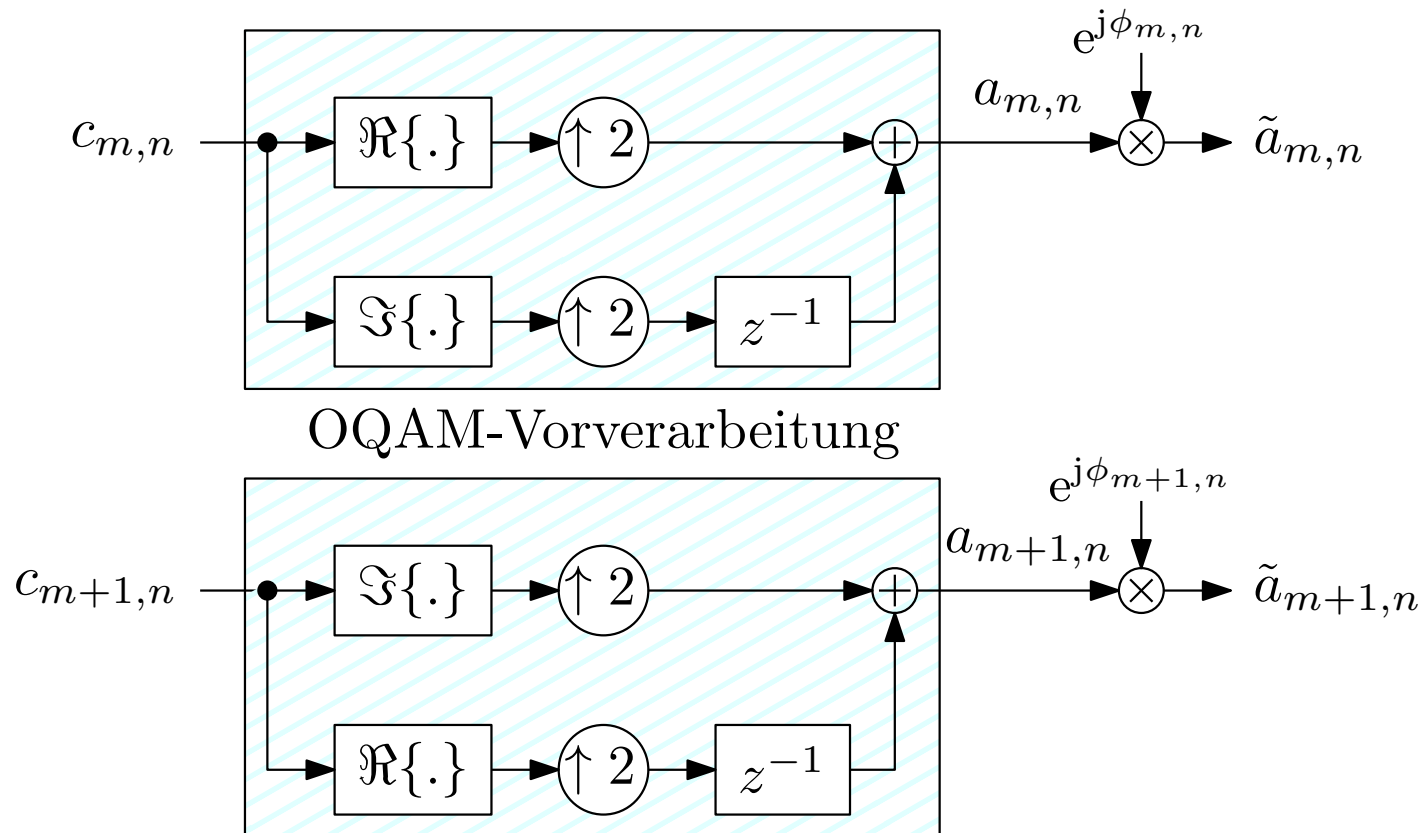
Kombination von Offset-QAM mit dem OFDM-Schema zu einem Filterbank-basierten Verfahren

- Gegenüber CP-OFDM wird ein sogenannter Prototypfilter eingesetzt
- Orthogonalität basiert auf reellen Datensymbolen



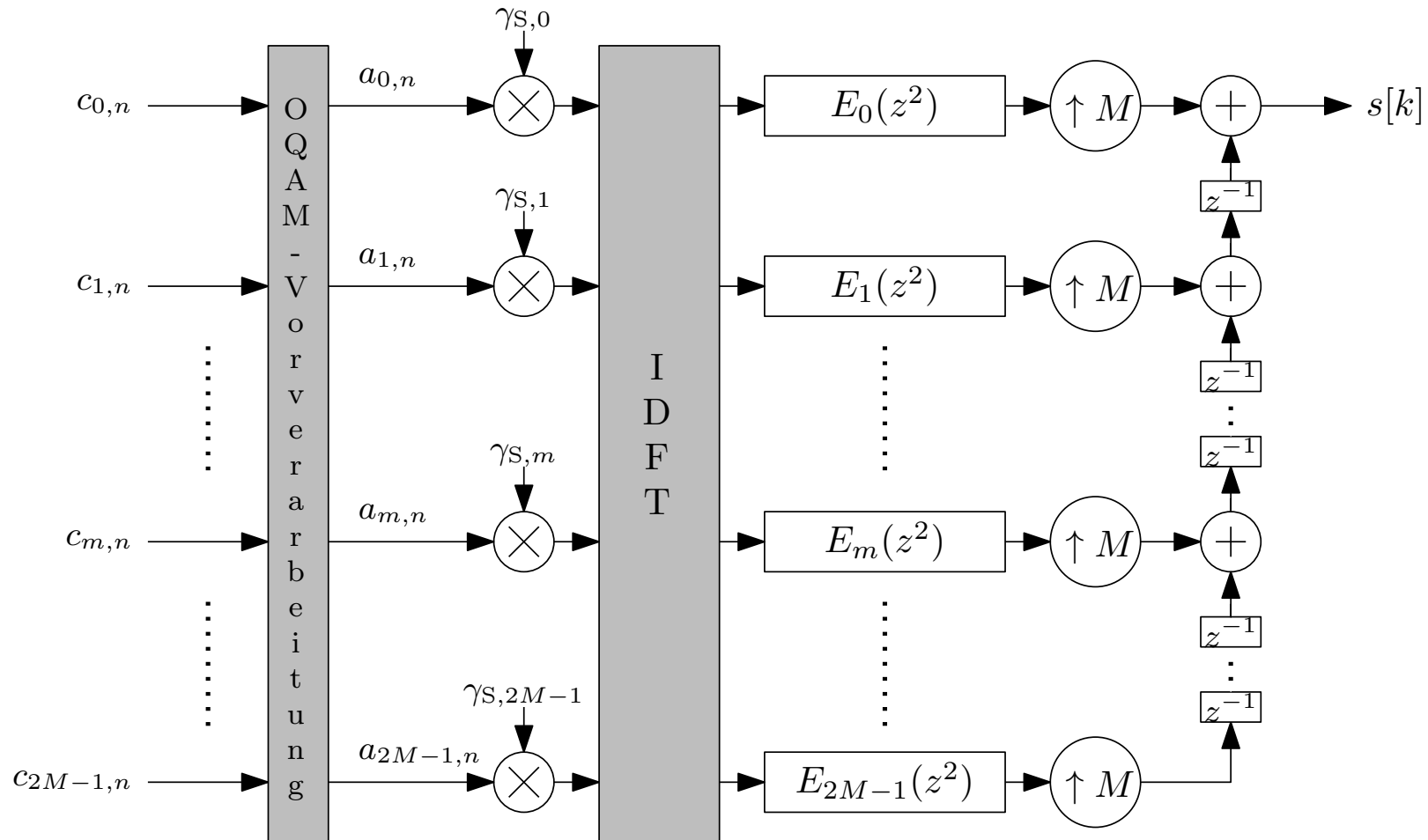
# Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank

## OQAM-Modulation



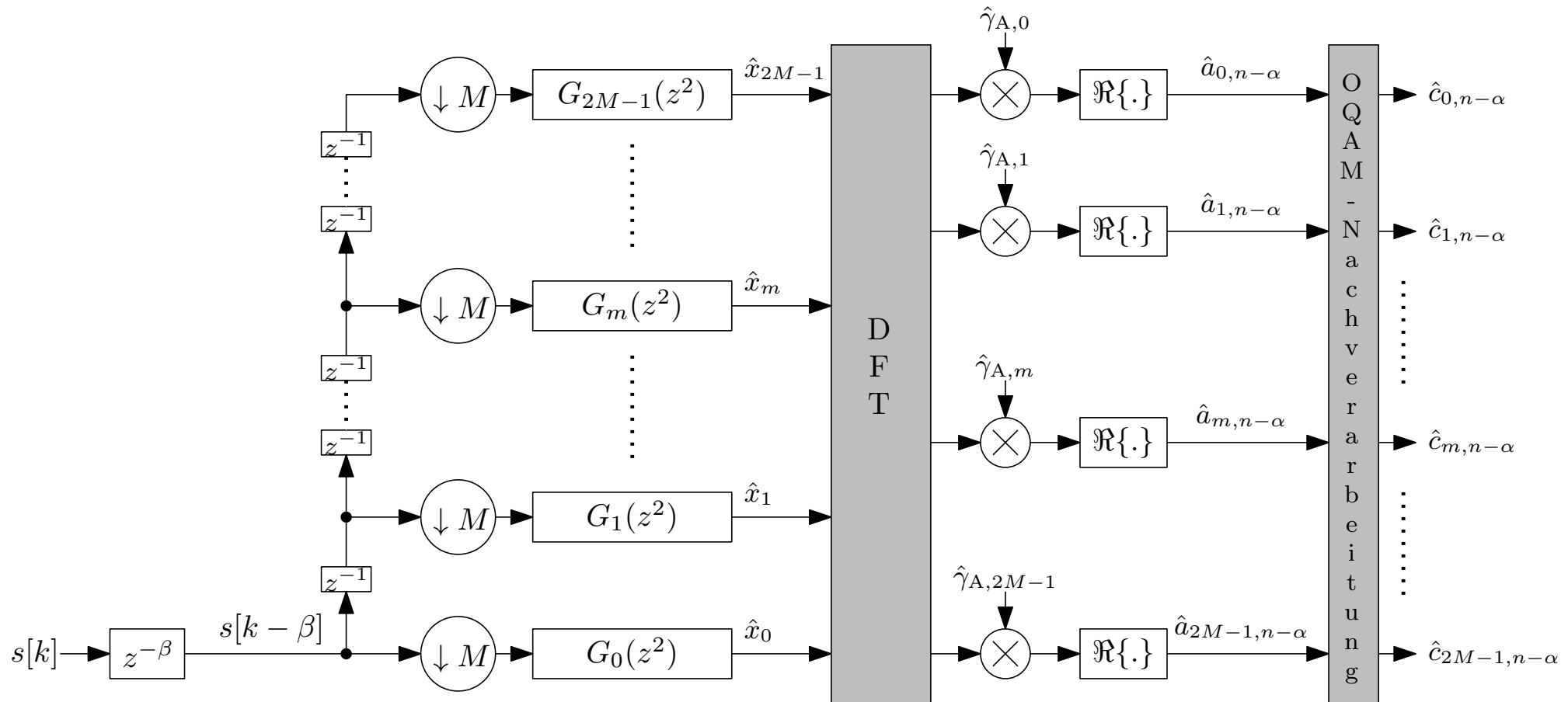
# Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank

## IDFT-Polyphasensynthesefilterbank



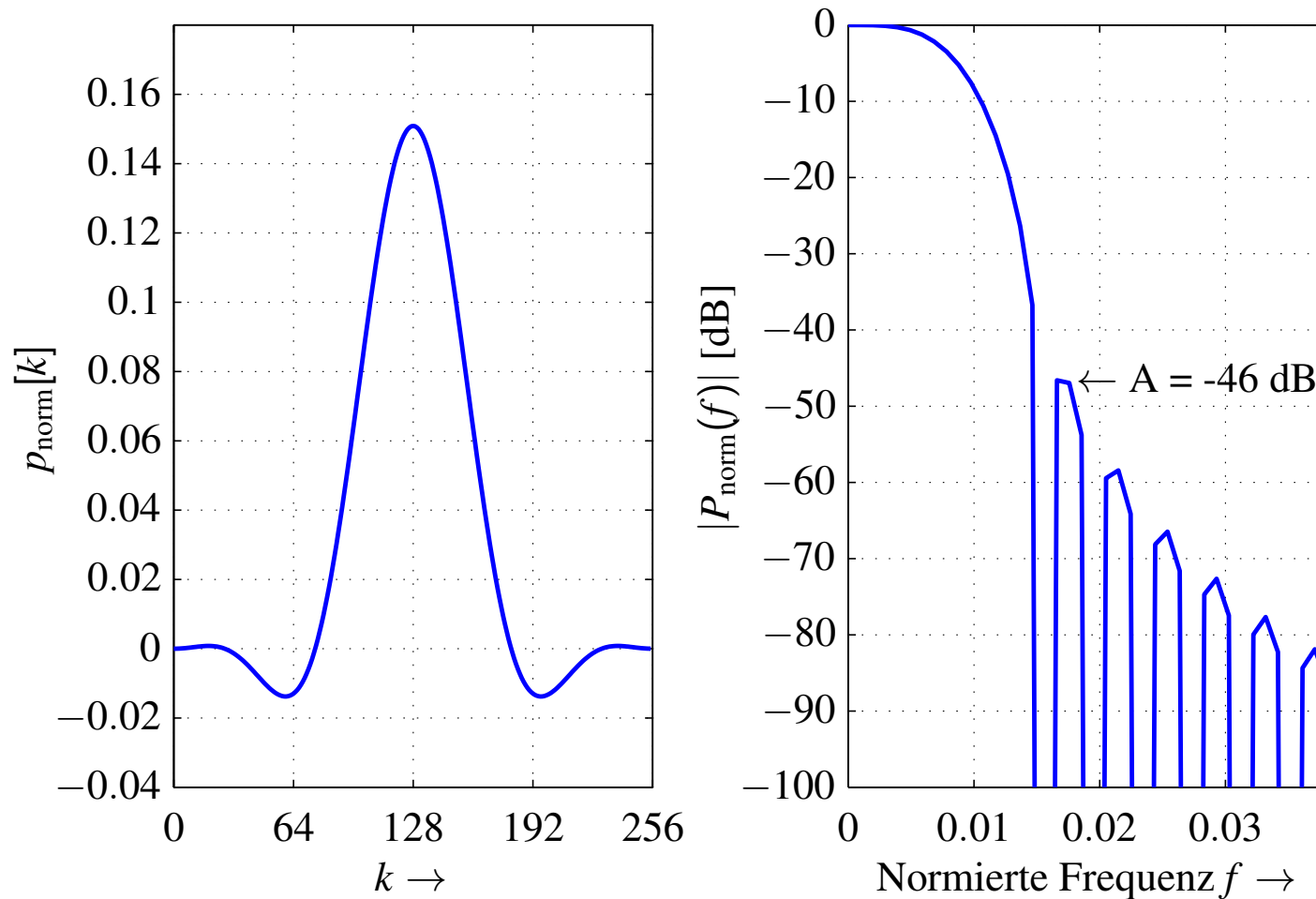
# Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank

## DFT-Polyphasenanalysefilterbank



# Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank

FIR-Prototypfilter mit der Länge  $L_p = KM + 1 = 257$

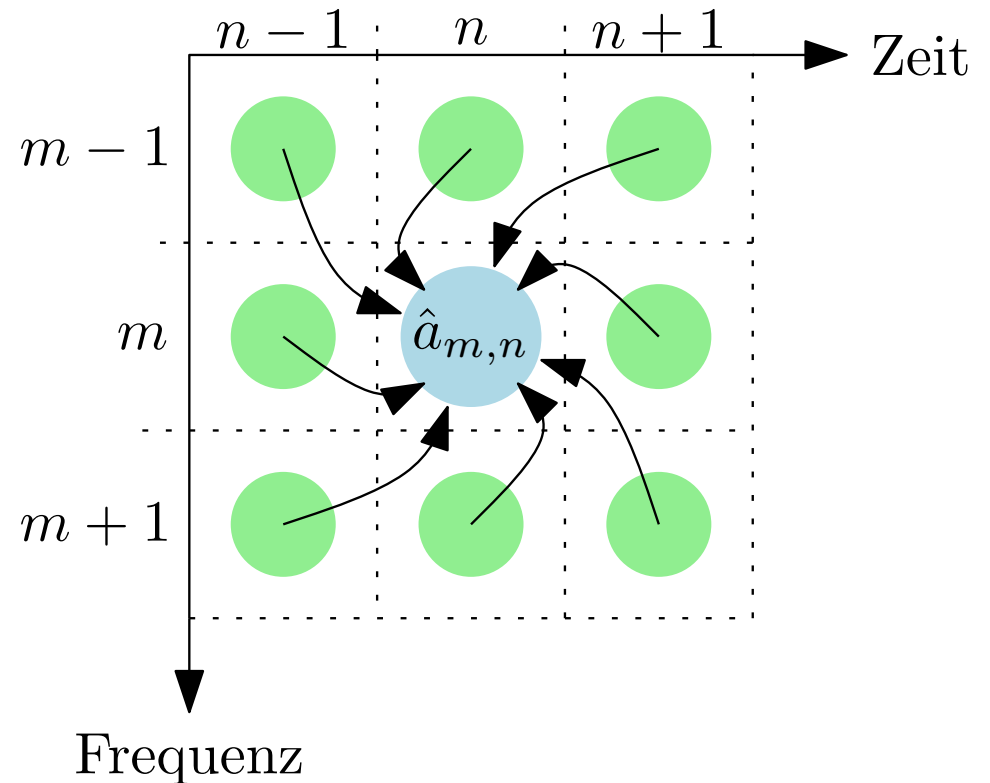




# Aufbau einer SISO-OQAM-OFDM-TMUX-Filterbank

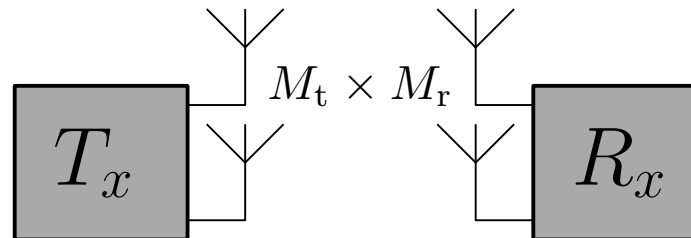
## Intrinsische Interferenz

- Im Bereich  $(\Delta m \pm 2, \Delta n \pm 4)$  tritt bei den Nachbarsymbolen abhängig vom gewählten Prototypfilter intrinsische Interferenz auf
- Abhängig von der OQAM-Modulation ist die intrinsische Interferenz zeit- und/oder frequenzabhängig



# Aufbau der MIMO-Übertragungssysteme

## MIMO-Kanalmodell



Kanalmatrix für den zeitinvarianten Kanal:

$$\mathbf{H}^{(m)} = \begin{bmatrix} h_{1,1}^{(m)} & h_{1,2}^{(m)} & \cdots & h_{1,M_t}^{(m)} \\ h_{2,1}^{(m)} & h_{2,2}^{(m)} & & \vdots \\ \vdots & & \cdots & \\ h_{M_r,1}^{(m)} & \cdots & & h_{M_r,M_t}^{(m)} \end{bmatrix}$$

# Aufbau der MIMO-Übertragungssysteme

## Basisbanddarstellung des Empfangsvektors

- CP-OFDM

$$\mathbf{r}^{(m,n)} = \mathbf{H}^{(m)} \mathbf{x}^{(m,n)} + \mathbf{z}^{(m,n)}$$

- OQAM-OFDM

$$\mathbf{r}^{(m,n)} \approx \mathbf{H}^{(m)} \left( \mathbf{x}^{(m,n)} + \mathbf{j}\mathbf{f}^{(m,n)} \right) + \mathbf{z}^{(m,n)}$$

# Aufbau der MIMO-Übertragungssysteme

## Simulationsszenario

- Simulation der verschiedenen Ansätze in MATLAB
  - Orientierung am WLAN Standard 802.11
- Modell B für ein Inhausszenario mit großen Räumen

Doppler-Frequenz $f_D$	0 Hz	Unterträger $M$	64
Modulationsverfahren	4 – QAM	Bandbreite $f$	20 MHz
$N_g$	16	$\Delta f = \frac{f}{M}$	312,5 KHz

# Aufbau der MIMO-Übertragungssysteme

## Vergleich der spektralen Effizienz

Auswertung der Leistungsfähigkeit über die Bitfehlerwahrscheinlichkeit für verschiedene Signal-zu-Rauschverhältnisse

Manuelle Anpassung des SNRs von CP-OFDM nach der Simulation:

$$\text{SNR}_{\text{CP-OFDM}} = \frac{\sigma_r^2(M + N_g)}{q\sigma_0^2 M}$$
$$\text{SNR}_{\text{OQAM-OFDM}} = \frac{\sigma_r^2}{q\sigma_0^2}$$
$$\mathcal{M} - \text{QAM} : \quad \mathcal{M} = 2^q$$

Mit  $M = 64$  und  $N_g = 16$  ergibt sich eine Verschiebung von ungefähr 2,23 dB



# MIMO mit räumlicher Diversität

## Allgemein

- Erhöhung des Diversitätsgewinns durch entweder gleiche oder fast gleiche Datenströme auf jedem Sender
  - Anordnung:  $2 \times M_r$
  - Ziel: Ansatz für Maximum Ratio Combining von CP-OFDM auf OQAM-OFDM zu übertragen
  - MRC basiert auf dem Alamouti-Schema für eine  $2 \times 1$ -Anordnung und kombiniert optimal alle Empfangssignale
- Anpassung für OQAM-OFDM aufgrund der reellen Orthogonalität

# MIMO mit räumlicher Diversität

## Maximum Ratio Combining

### ■ CP-OFDM

$$\hat{\mathbf{x}} = \mathbf{H}_{\text{eff}}^H \mathbf{r} = \frac{1}{\sqrt{2}} \|\mathbf{H}\|_F^2 \mathbf{x} + \mathbf{H}_{\text{eff}}^H \mathbf{z}$$

$$\|\mathbf{H}\|_F^2 = |h_{1,1}|^2 + |h_{2,1}|^2 + \dots + |h_{M_r,1}|^2 + |h_{1,2}|^2 + |h_{2,2}|^2 + \dots + |h_{M_r,2}|^2$$

### ■ OQAM-OFDM

$$\hat{x} = \Re \{ \mathbf{h} \cdot \mathbf{r} \}$$

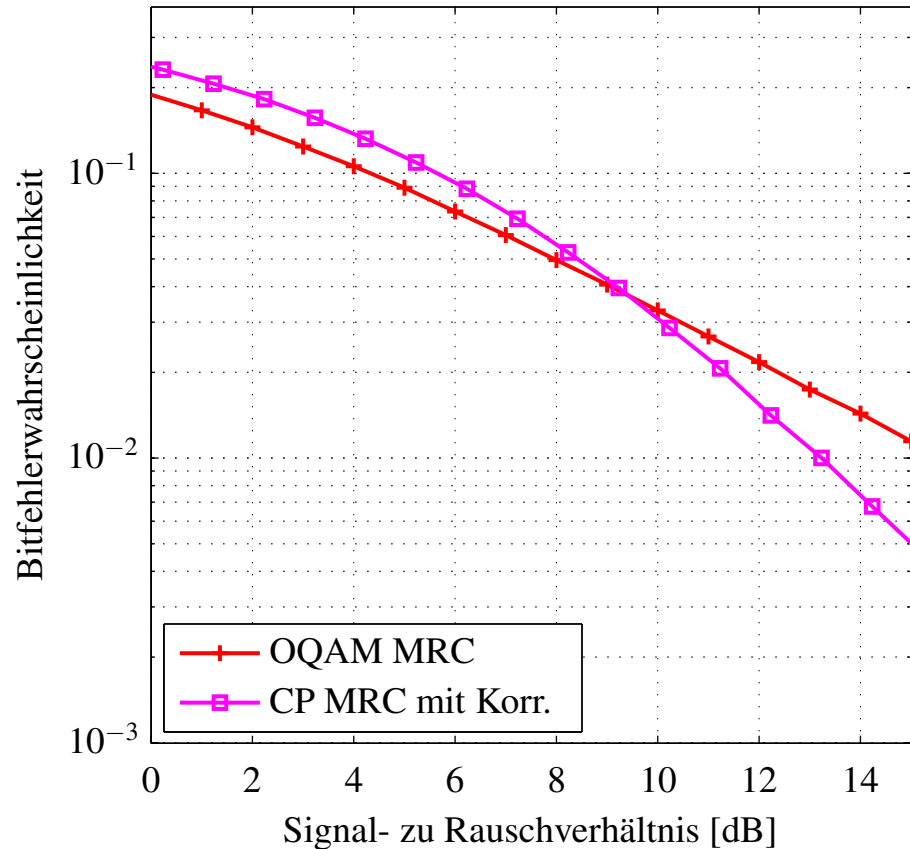
$$= \frac{1}{\sqrt{2}} \cdot h_{\text{QOAM}} \cdot x + \Re \{ \mathbf{h} \cdot \mathbf{z} \}$$

$$h_{\text{QOAM}} = |h_{1,1}|^2 + 2 \cdot \Re \{ h_{1,1}^* h_{1,2} \} + |h_{1,2}|^2 + \dots + |h_{M_r,1}|^2 + 2 \cdot \Re \{ h_{M_r,1}^* h_{M_r,2} \} + |h_{M_r,2}|^2$$

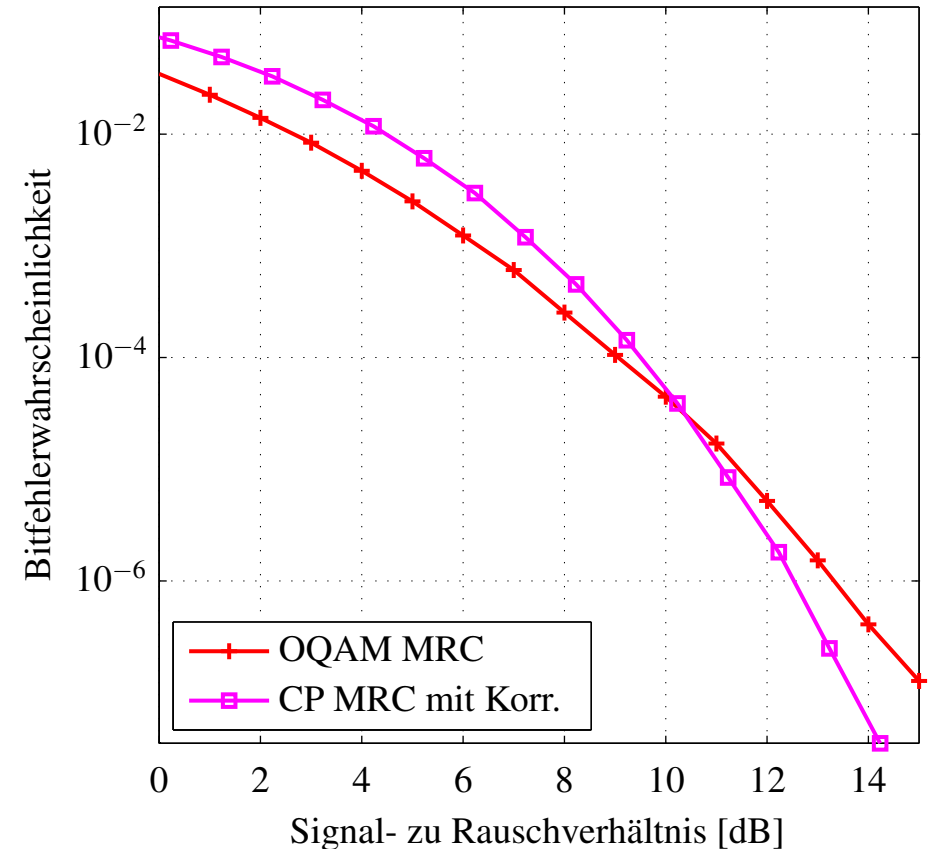
# MIMO mit räumlicher Diversität

## Leistungsfähigkeit

MISO 2 × 1 Anordnung



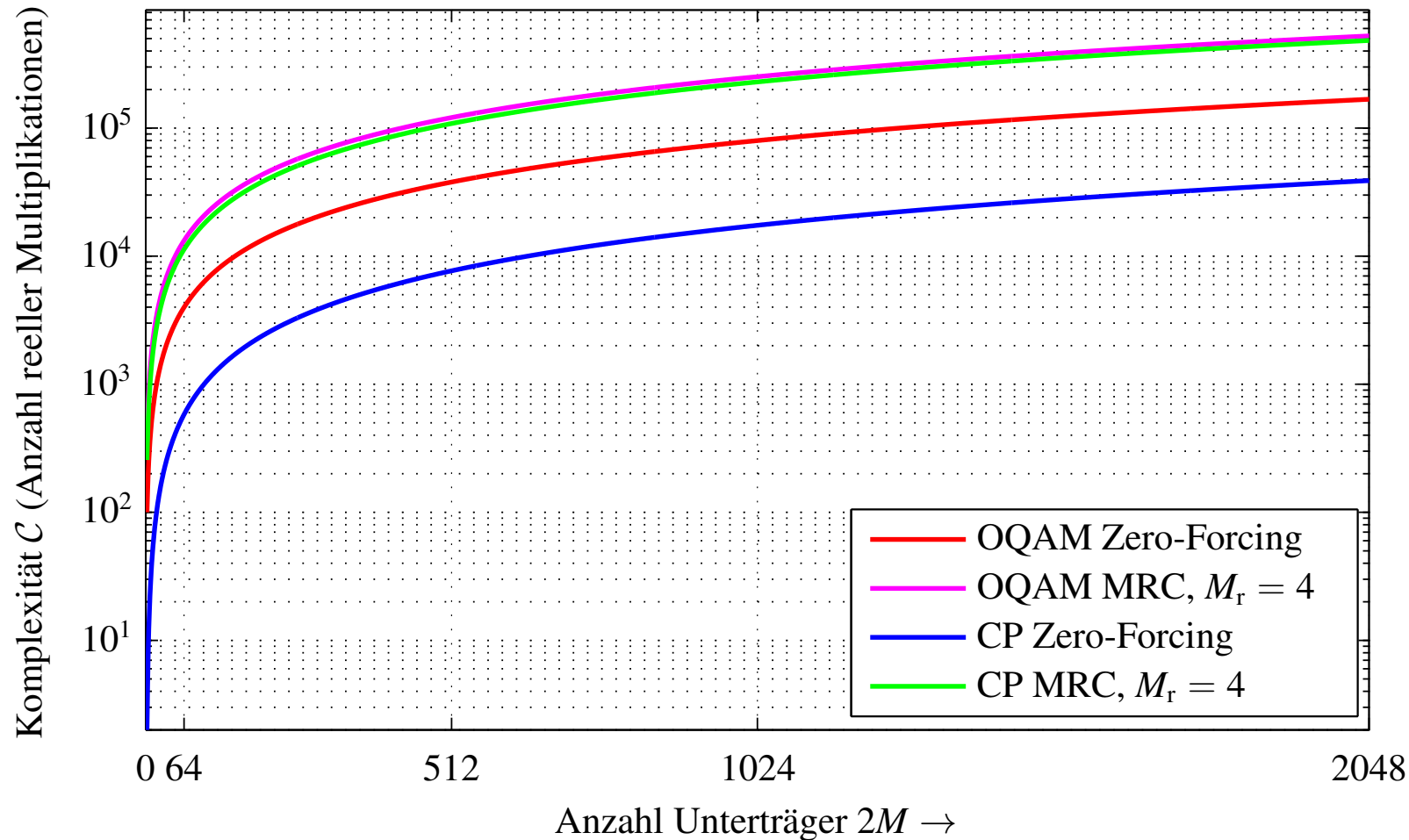
MIMO 2 × 4 Anordnung





# MIMO mit räumlicher Diversität

## Komplexität



# MIMO mit Raummultiplex

## Allgemein

- Erhöhung der Datenrate durch unabhängige Datenströme auf jedem Sender
- Anordnung:  $2 \times M_r$  mit  $M_r \geq M_t$

- Ziel: Untersuchung von MMSE-Schätzern und ML-Entscheidern für CP- und OQAM-OFDM

# MIMO mit Raummultiplex

- MMSE-Schätzer

Geringer Rechenaufwand, jedoch Rauchverstärkung und konvergiert zum ZF für hohe SNR

- ML-Entscheider

Hohe Anzahl von Kombinationen aufgrund der intrinsischen Interferenz

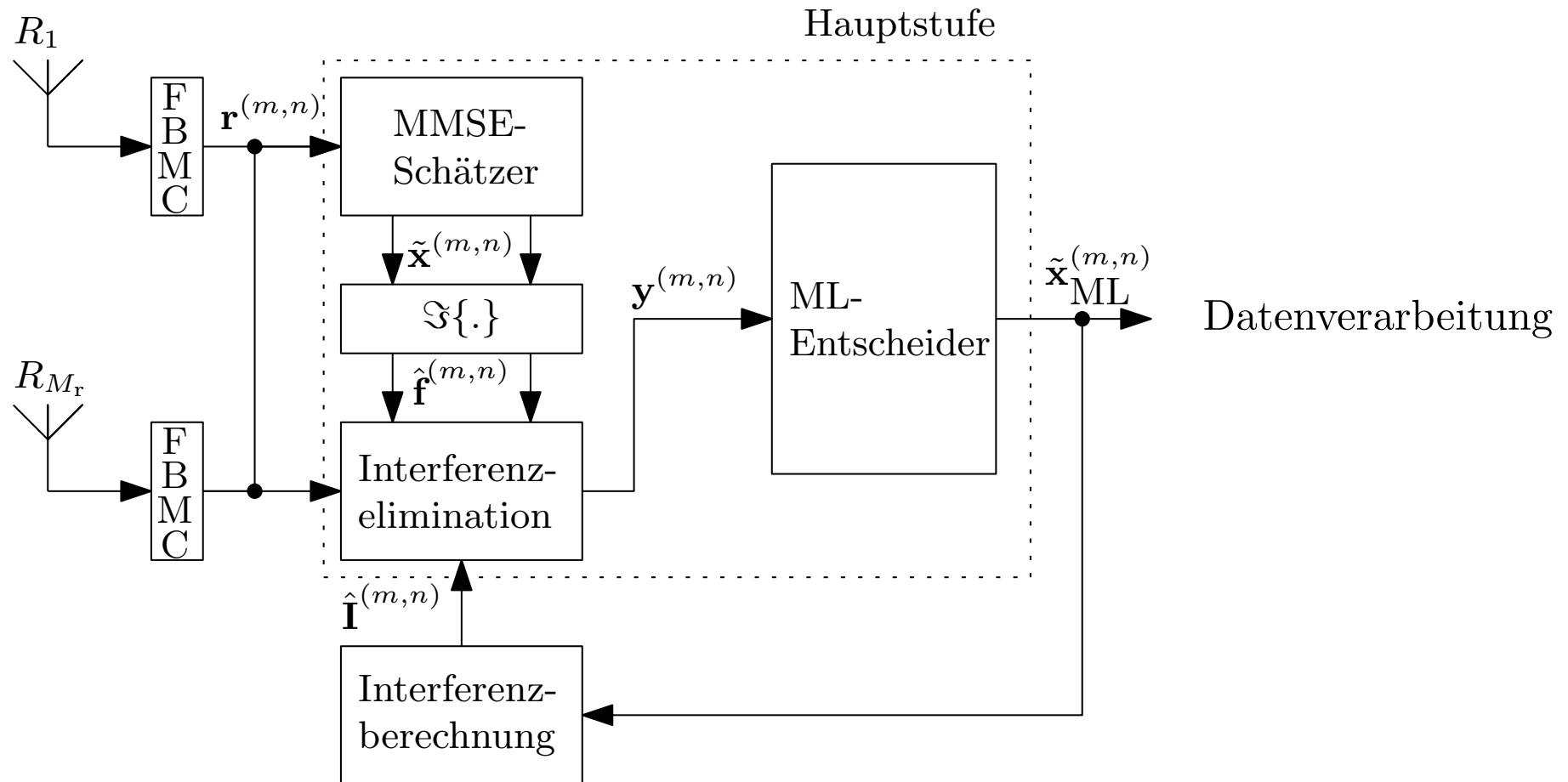
$(-2,43 \leq \hat{f}_1, \hat{f}_2 \leq 2,43)$  führt zu extrem hohem Signalaufwand

→ Eliminierung der intrinsischen Interferenz vor dem ML-Entscheider

$$\mathbf{y} = \mathbf{r} - \mathbf{jH}\hat{\mathbf{f}} \approx \mathbf{H} \left( \mathbf{x} + \mathbf{j}(\mathbf{f} - \hat{\mathbf{f}}) \right) + \tilde{\mathbf{z}} \approx \mathbf{H} (\mathbf{x} + \mathbf{j}\epsilon) + \tilde{\mathbf{z}}$$

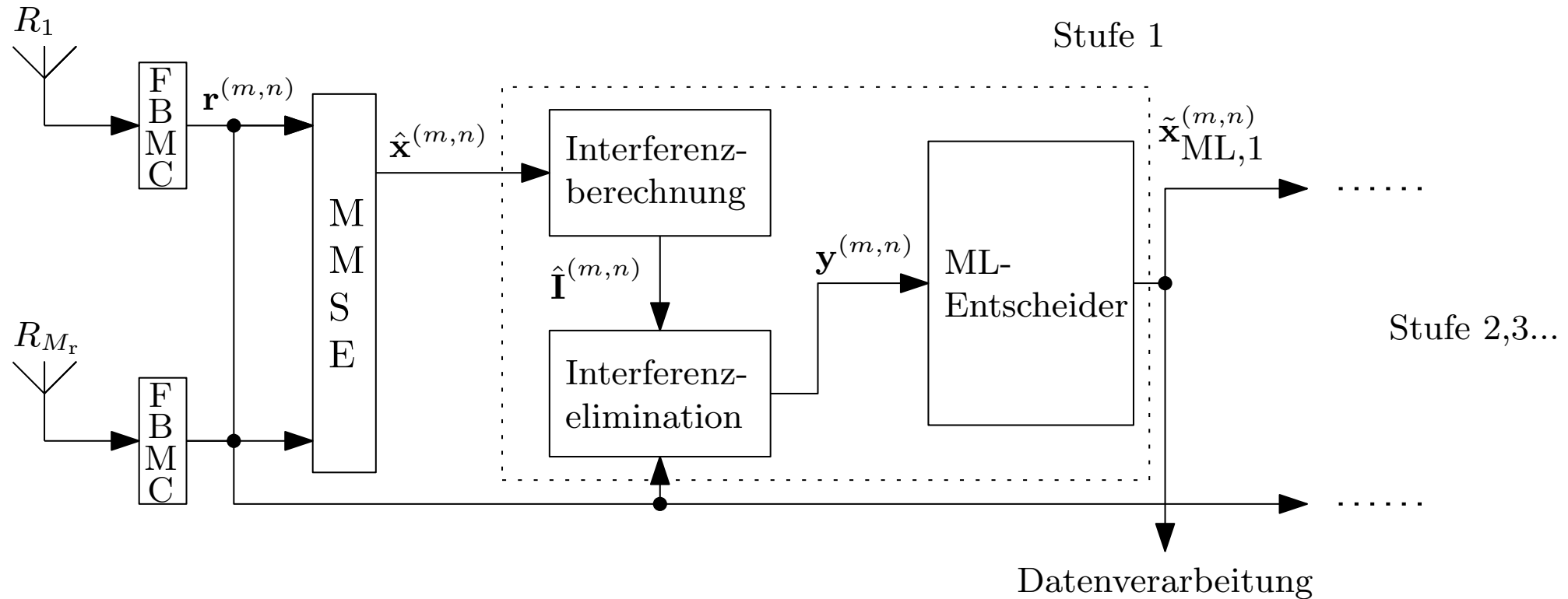
# MIMO mit Raummultiplex

## Rec-ML-Entscheider nach Zakaria



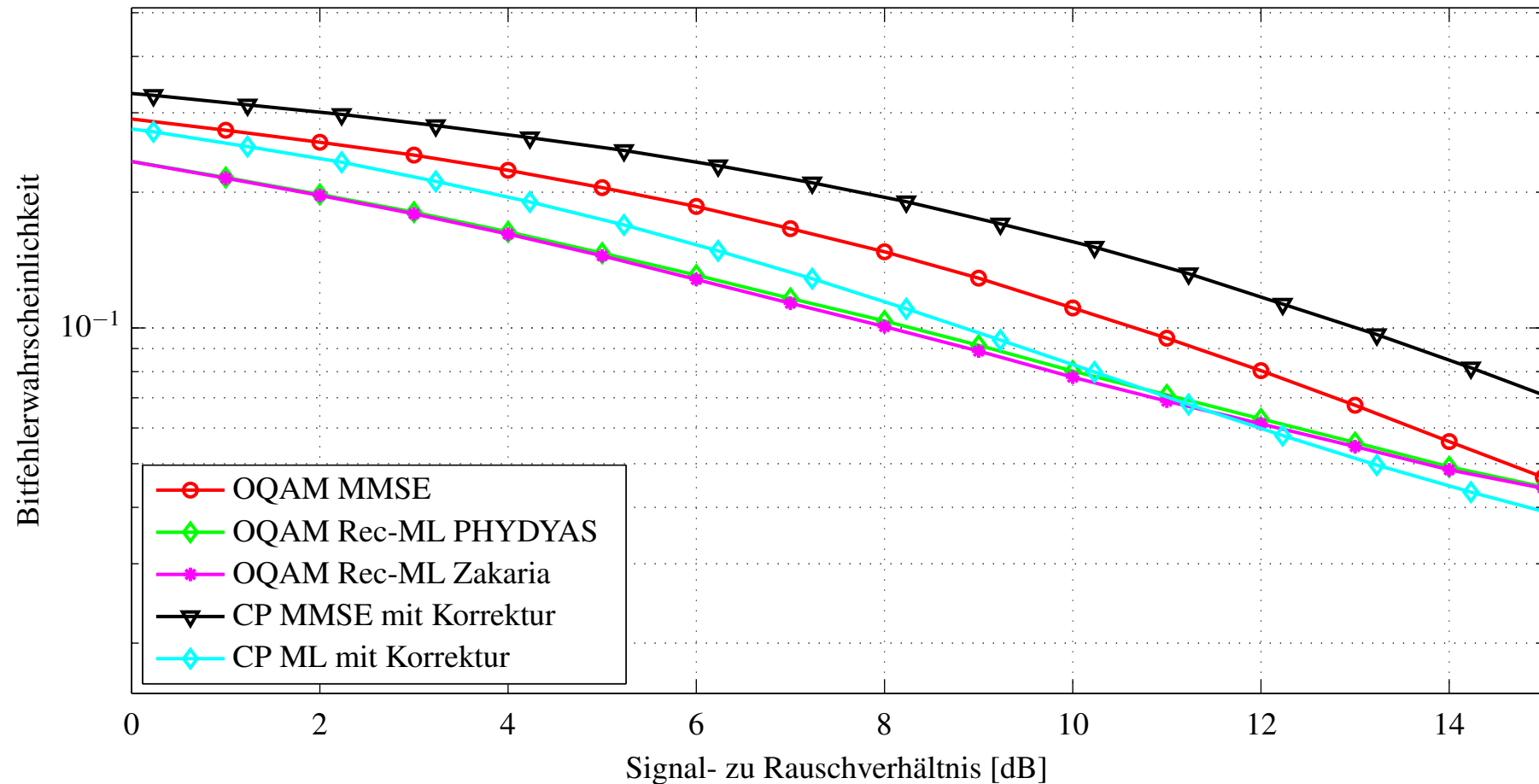
# MIMO mit Raummultiplex

## Rec-ML-Entscheider nach PHYDYAS



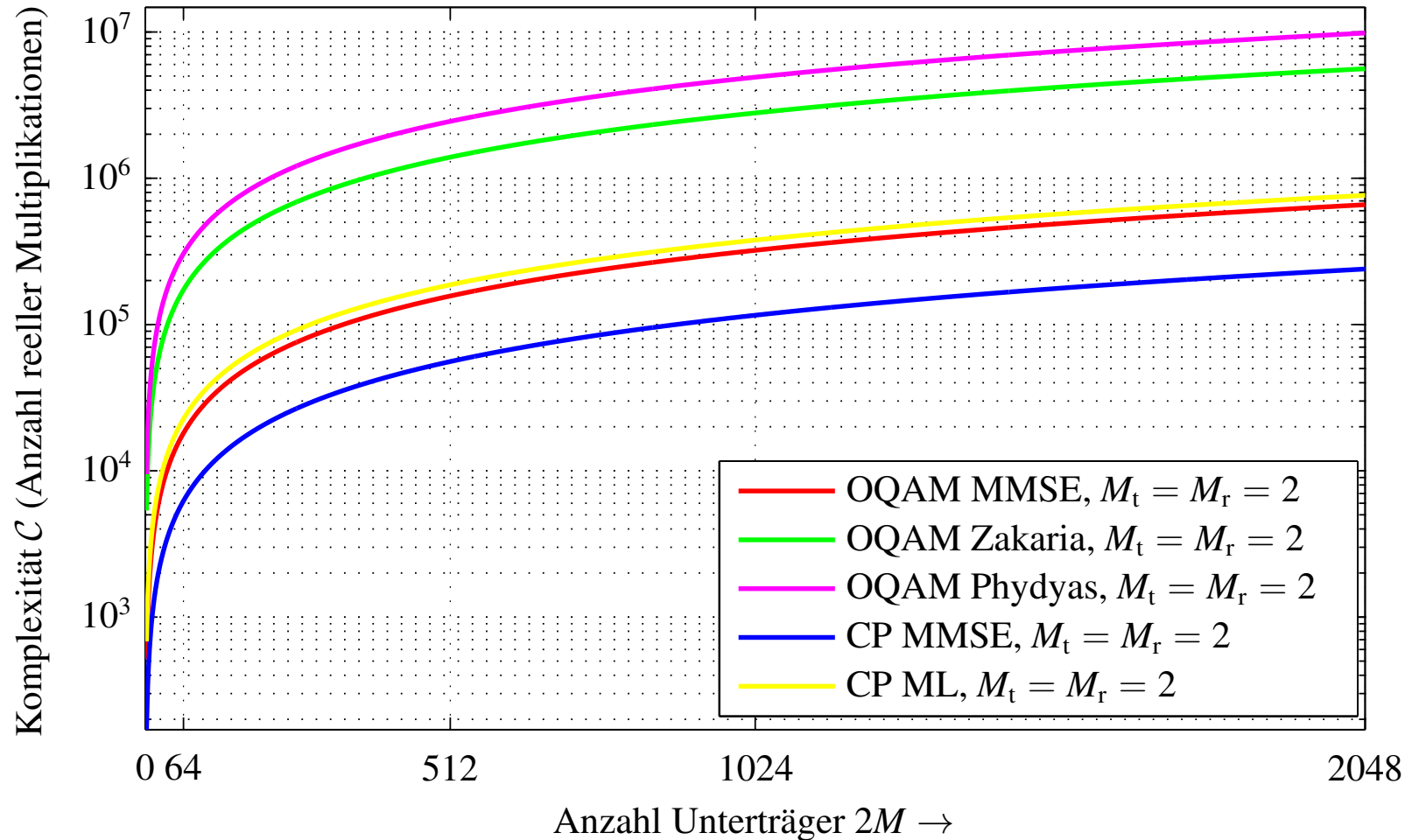
# MIMO mit Raummultiplex

## Leistungsfähigkeit



# MIMO mit Raummultiplex

## Komplexität



# Fazit

## Zusammenfassung

- Intrinsische Interferenz kann je nach OQAM-Modulation unterschiedliche Zeit- und Frequenzabhängigkeiten aufweisen

Unter Annahme der vorgestellten MIMO-Algorithmen und dem Simulationsszenario:

- Räumliche Diversität: MRC-Ansatz für OQAM-OFDM
  - Bei geringfügig höherer Komplexität ist OQAM-OFDM bei niedrigen SNR-Werten leistungsfähiger
- Raummultiplex: Verschiedene mehrstufige Modelle für OQAM-OFDM
  - Alle Modelle wesentlich rechenaufwändiger als der ML-Entscheider für CP-OFDM, bei niedrigen SNR-Werten leistungsfähiger





# Fazit

## Aussicht

- Leistungsfähigkeit bei niedrigerer oder höherer Frequenzselektivität des Übertragungskanals
- Eliminierung der intrinsischen Interferenz auf der Senderseite
- Implementierung der Algorithmen auf einer realen Testumgebung (z. B. LabVIEW und USRP-Boards)

