

Untersuchung verschiedener Konzepte für OFDMA-PON im Zugangsbereich

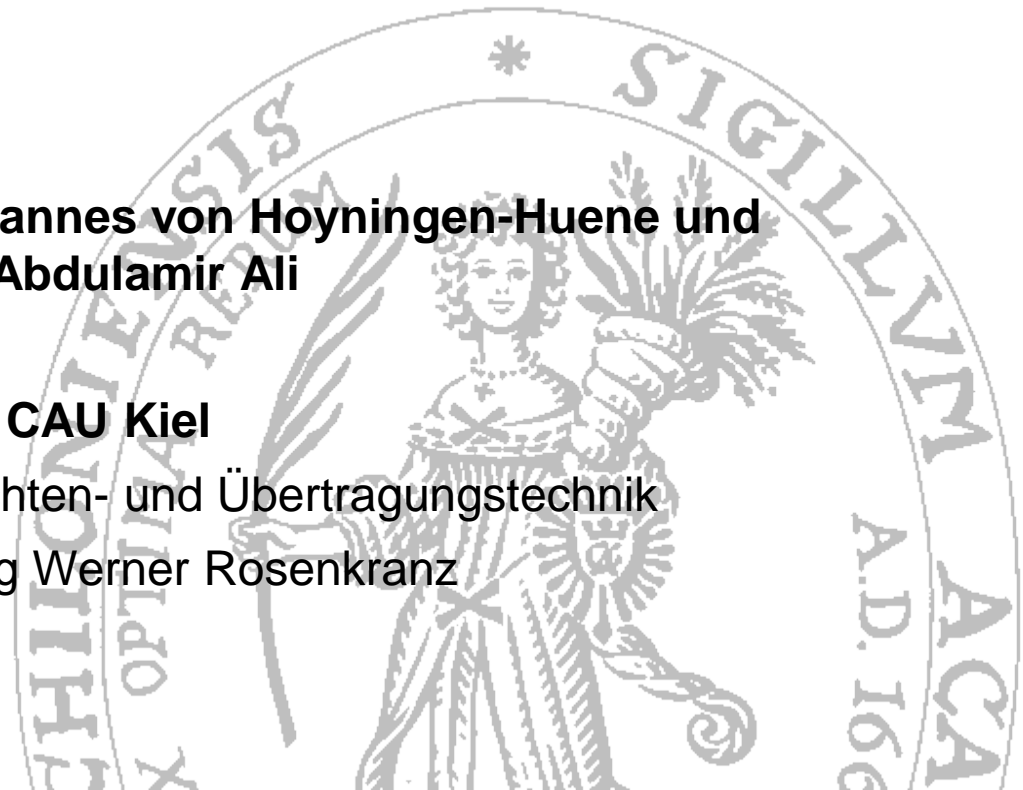
ITG-Workshop, 14.-15. Februar 2011, Dortmund

**Christian Ruprecht, Johannes von Hoyningen-Huene und
Abdulmir Ali**

CAU Kiel

Lehrstuhl für Nachrichten- und Übertragungstechnik

Prof. Dr.-Ing Werner Rosenkranz



Strukturierung

1. Passive Optische Netze (PON)
2. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)
3. Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) im PON
 - 3.1. Konzept
 - 3.2. Downlink: Ansatz + Simulationsergebnisse
 - 3.3. Uplink: Ansätze + Simulationsergebnisse
4. Zusammenfassung

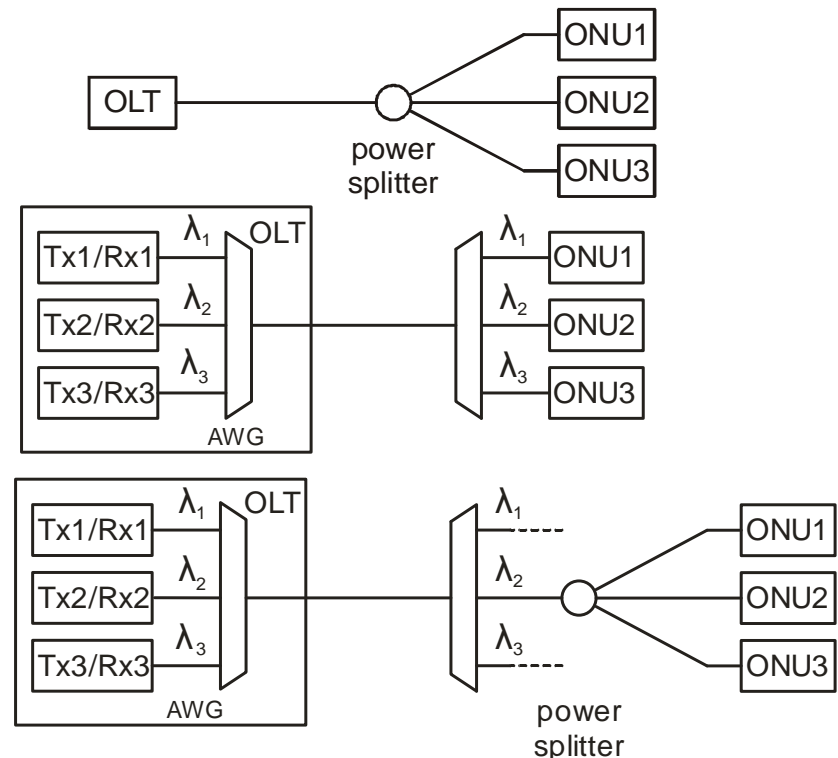
1. Passive Optische Netze (PON)

Bestandteile

- Optical Line Terminal (OLT), netzseitig
- optisches Netz mit Faser Leistungs- und/oder Wellenlängenteilern
- Optical Network Unit (ONU), teilnehmerseitig

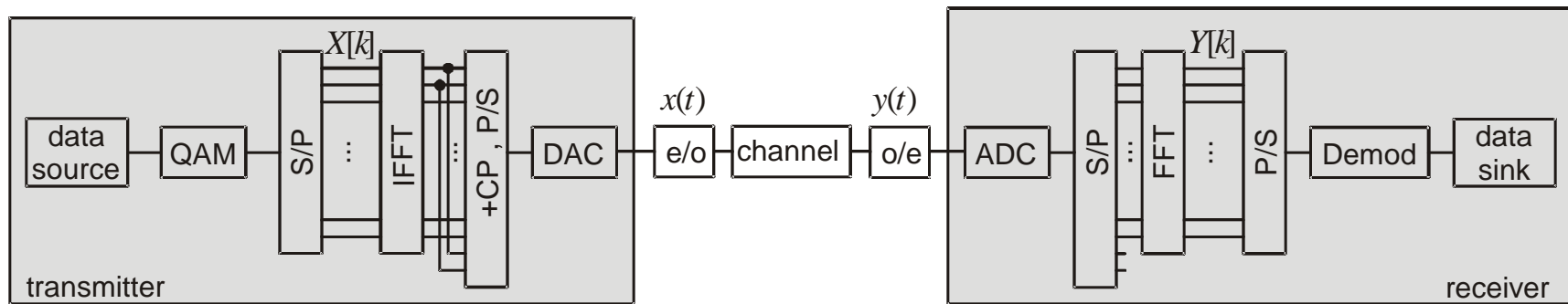
Aufbaukonzepte

- **Powersplitting (TDMA)**
 - Konzept bei EPON und GPON
- **WDM-PON**
 - 1x λ je ONU
 - vergleichbar mit point-to-point
- **Hybrid-PON**
 - WDM + Wellenlängen-Mehrfachzugriff
 - erhöhte Teilnehmerzahl



Prinzip

- Übertragung von schmalbandigen Teilsignalen auf orthogonalen Subträgern
- effiziente Berechnung des Algorithmus durch IFFT und FFT



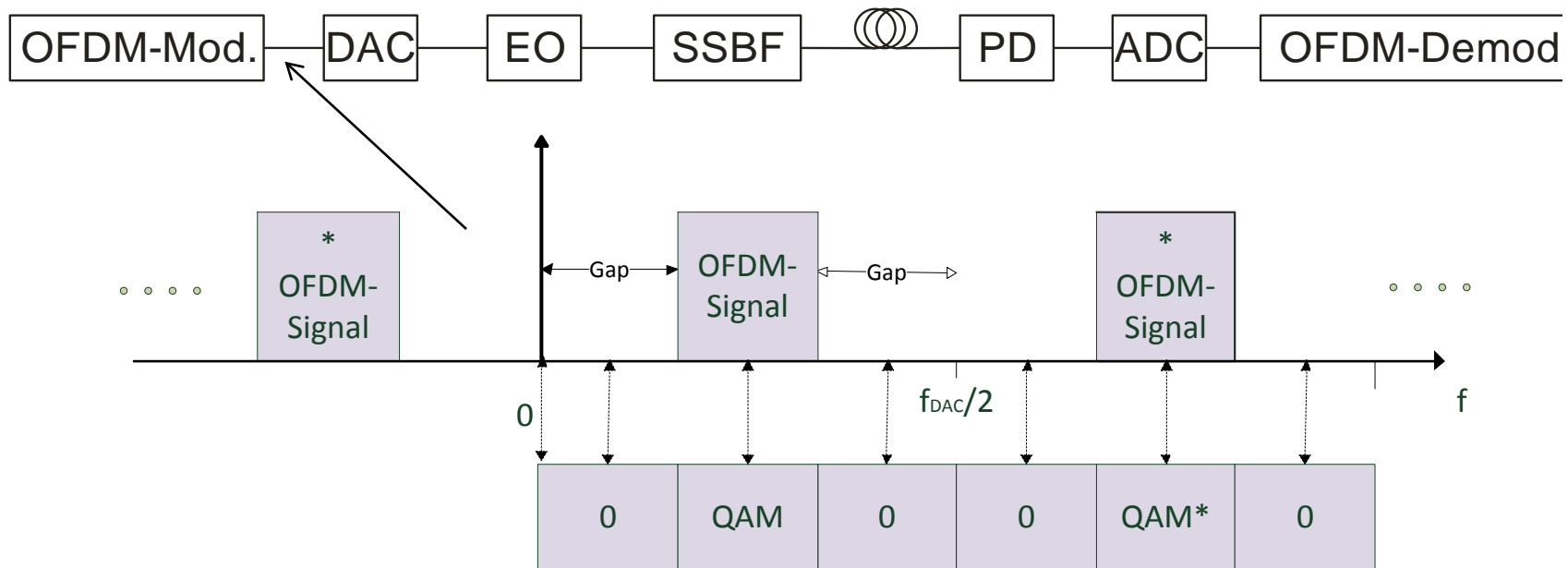
Vorteile

- quasi rechteckförmiges Spektrum, spektrale Effizienz, digital formbar
- einfache Entzerrung, da Frequenzgang in Subträgerbandbreite \approx konstant
- flexible Träger-/Symbolzuweisung

Nachteile

- erfordert DSP und DAC/ADC \rightarrow Aufwand (elektronisch)
- Zeitsignal mit vereinzelt hohen Spitzenwerten (hohes PAPR)

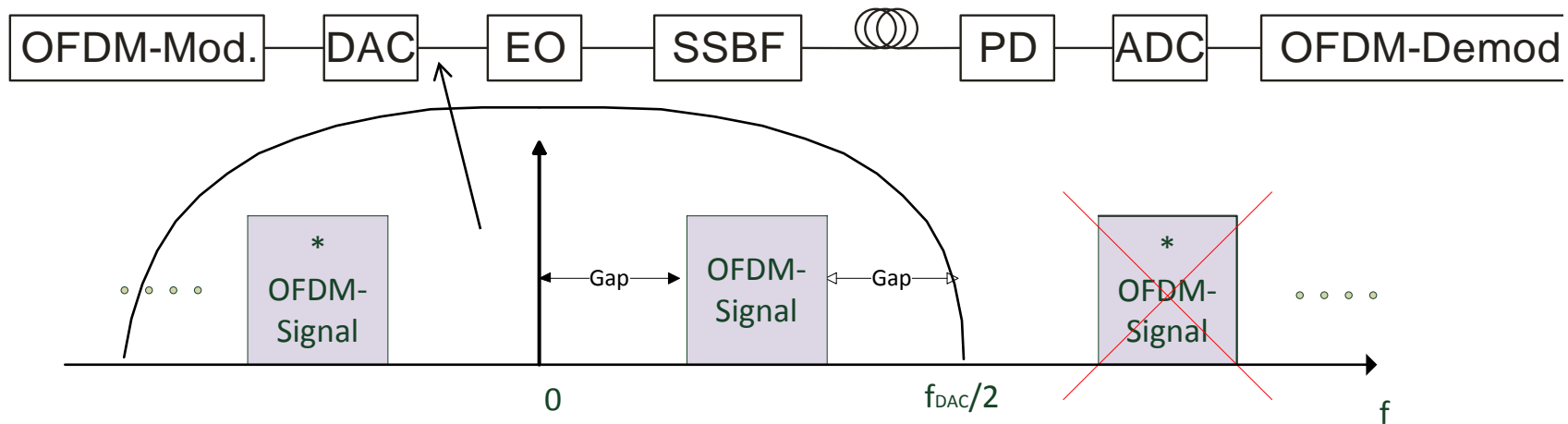
OFDM Empfang: Direktdetektion



Anforderungen an Signal:⁰

- reelles Signal, komplex konjugierte Erweiterung
- Abstand zur halben Abtastfrequenz (DAC!)
- Bandlücke um Störung durch Mischprodukte zu vermeiden (**optimieren**)
- Träger (**optimieren**: Verhältnis Träger-/Signalleistung)

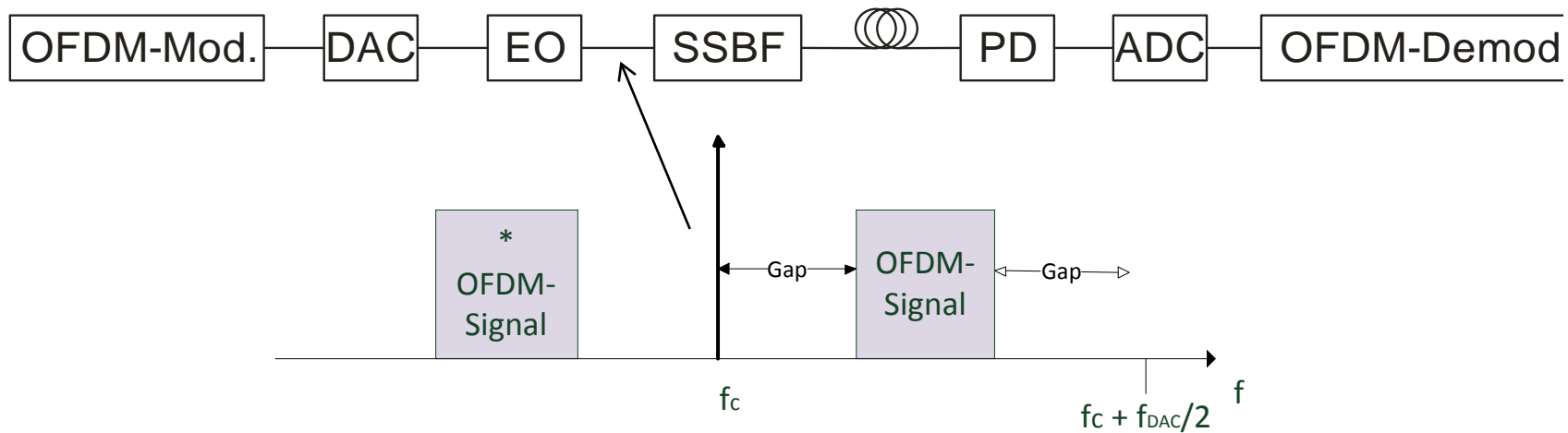
OFDM Empfang: Direktdetektion



Anforderungen an Signal:

- reelles Signal, komplex konjugierte Erweiterung
- Abstand zur halben Abtastfrequenz (DAC!)
- Bandlücke um Störung durch Mischprodukte zu vermeiden (**optimieren**)
- Träger (**optimieren**: Verhältnis Träger-/Signalleistung)

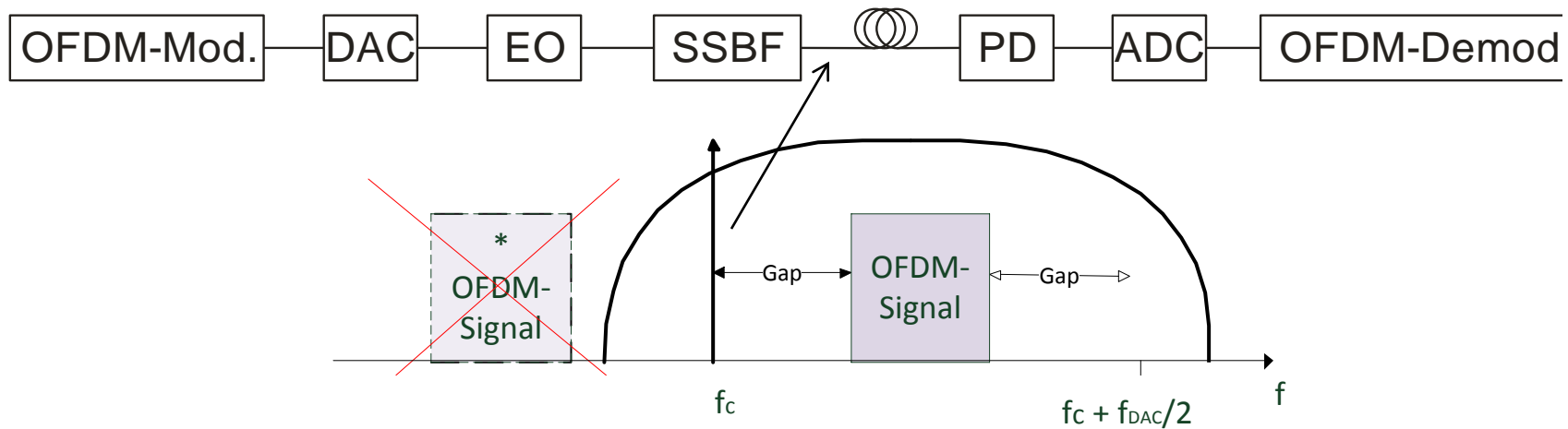
OFDM Empfang: Direktdetektion



Anforderungen an Signal:

- reelles Signal, komplex konjugierte Erweiterung
- Abstand zur halben Abtastfrequenz (DAC!)
- Bandlücke um Störung durch Mischprodukte zu vermeiden (**optimieren**)
- Träger (**optimieren**: Verhältnis Träger-/Signalleistung)

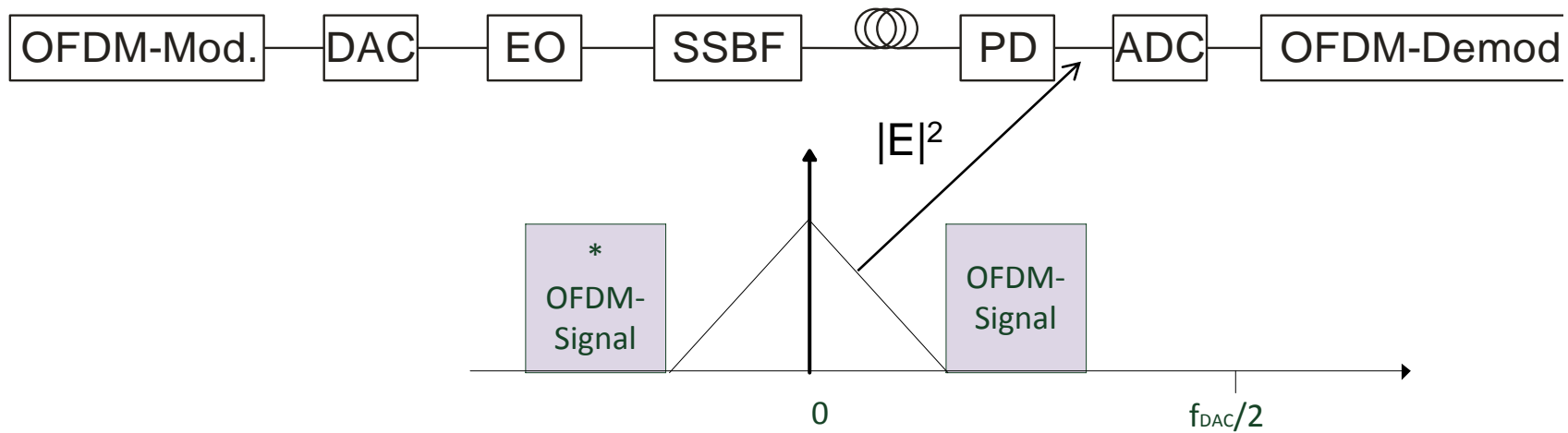
OFDM Empfang: Direktdetektion



Anforderungen an Signal:

- reelles Signal, komplex konjugierte Erweiterung
- Abstand zur halben Abtastfrequenz (DAC!)
- Bandlücke um Störung durch Mischprodukte zu vermeiden (**optimieren**)
- Träger (**optimieren**: Verhältnis Träger-/Signalleistung)

OFDM Empfang: Direktdetektion

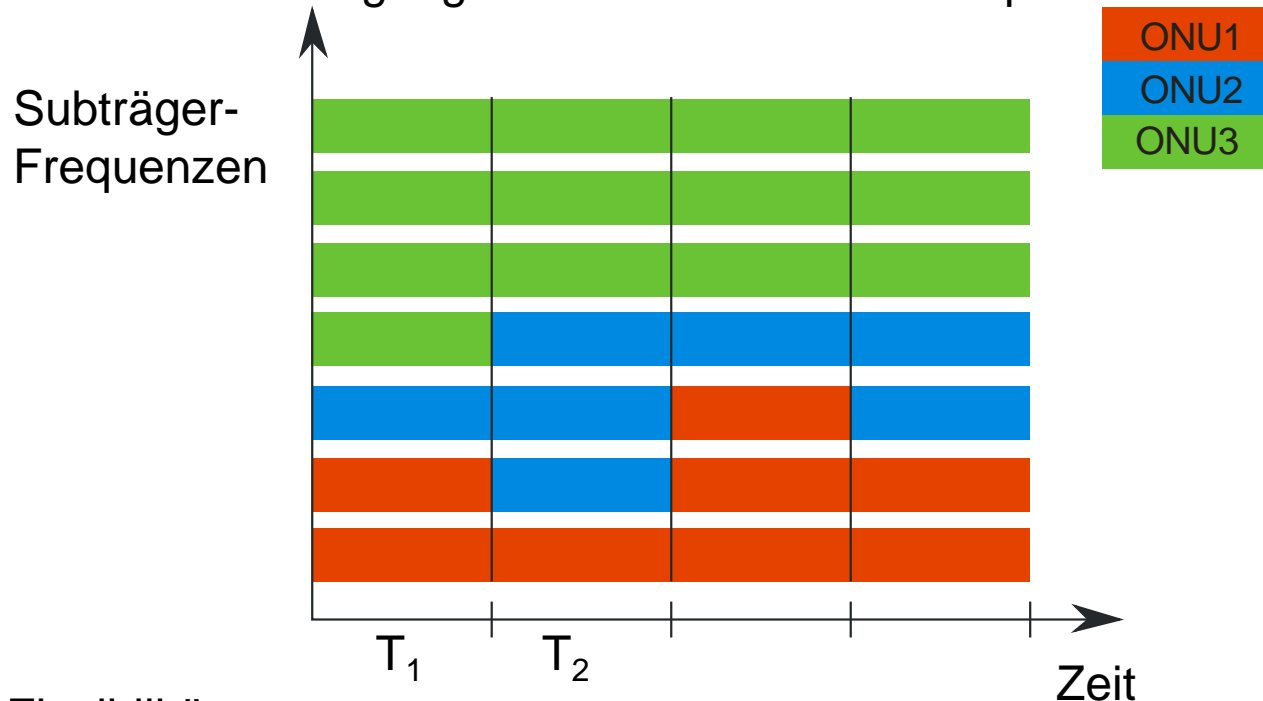


Anforderungen an Signal:

- reelles Signal, komplex konjugierte Erweiterung
- Abstand zur halben Abtastfrequenz (DAC!)
- Bandlücke um Störung durch Mischprodukte zu vermeiden (**optimieren**)
- Träger (**optimieren**: Verhältnis Träger-/Signalleistung)

3.1. OFDMA: Mehrfachzugriff

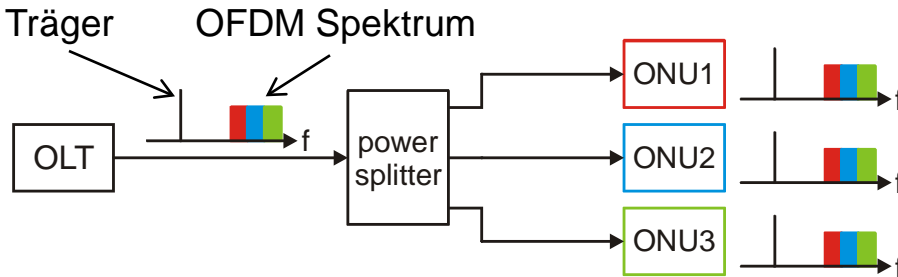
- verschiedene Subträgergruppen werden verschiedenen ONUs zugeteilt
- Gruppen sind skalierbar im Zeit- und Frequenzbereich
→ verschiedene Belegungen zu verschiedenen Zeitpunkten T



Vorteil:

- hohe Flexibilität
- Transparenz für bestehende Netze
- Kombination mit TDM und WDM möglich

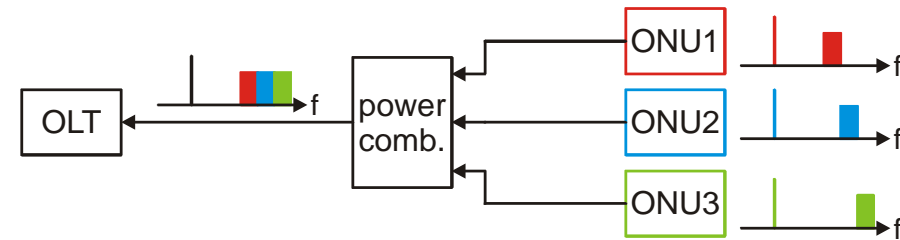
Downlink



- OLT erzeugt OFDM Signal mit Anteilen für alle ONUs
- jede ONU empfängt gesamtes Signal
- Auswertung nur der jeweiligen Signalanteile

- realisierbar auch mit IM und DD

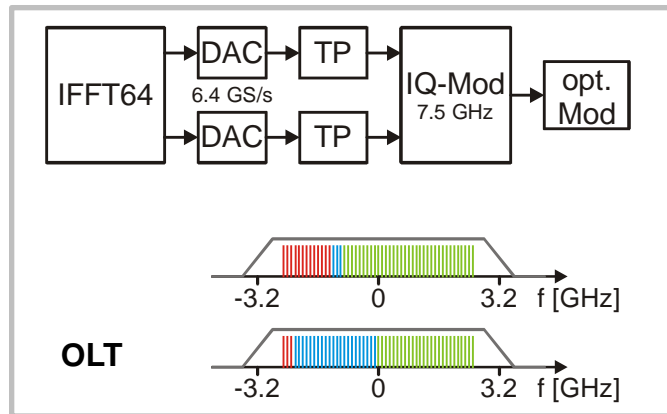
Uplink



- jede ONU erzeugt OFDM-Signal mit eigenen Anteilen
- Überlagerung der Einzelsignale
- gemeinsame Auswertung aller Signalanteile in OLT

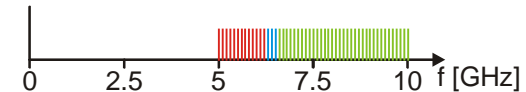
- Probleme bei Verwendung mit DML und DD

3.2. OFDMA-Downlink mit dynamischer Bandbreite

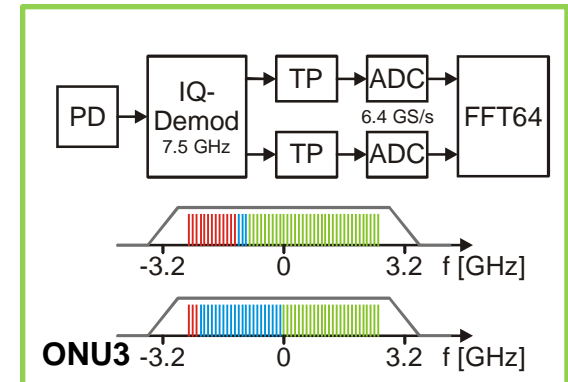
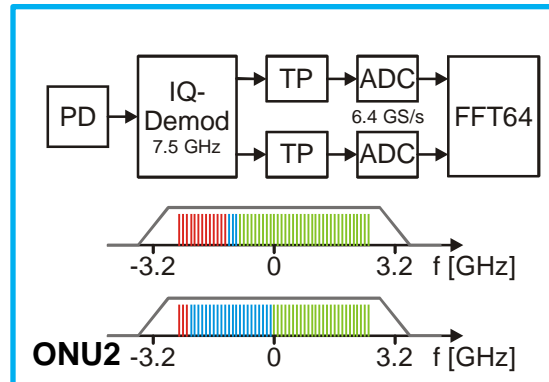
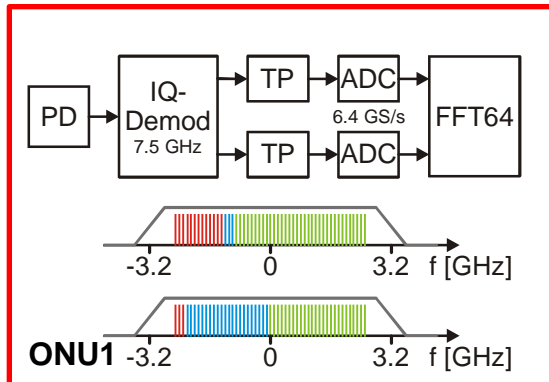
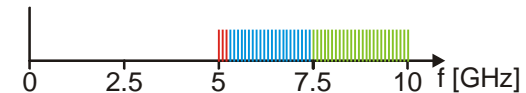


- Komplexes OFDM Symbol
- IQ-Modulation
- $N_{FFT} = 64$
- $f_{AD} = 6.4 \text{ GS/s}$

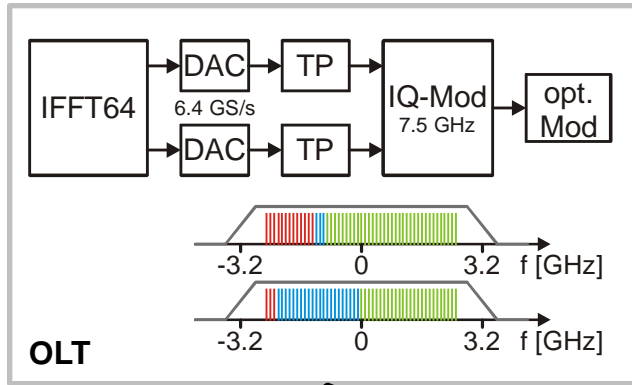
Belegung T_1 :



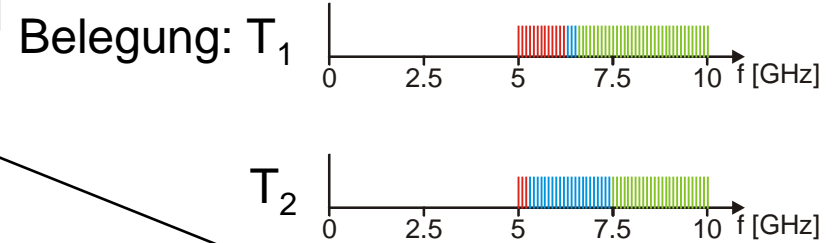
Belegung T_2 :



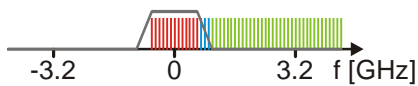
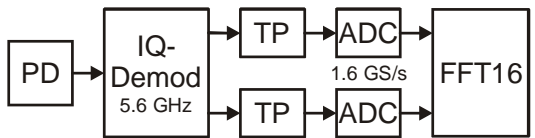
3.2. OFDMA-Downlink mit dynamischer Bandbreite und reduziertem ONU-Frontend



$$\frac{f_{s,Tx}}{N_{FFT,Tx}} = \Delta f = \frac{f_{s,Rx}}{N_{FFT,Rx}} = \frac{a_r}{a_r} \frac{f_{s,Tx}}{N_{FFT,Rx}}$$

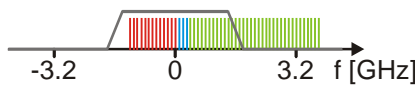
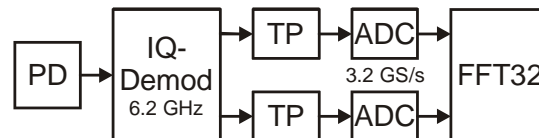


$$a_r = 1/4, f_{s,Rx} = 1.6 \text{ GS/s}, N_{FFT} = 16$$



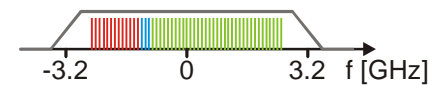
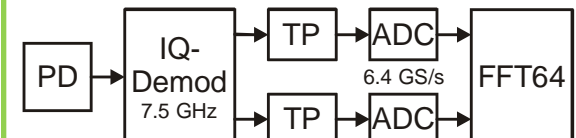
ONU1

$$a_r = 1/2, f_{s,Rx} = 3.2 \text{ GS/s}, N_{FFT} = 32$$



ONU2

$$a_r = 1, f_{s,Rx} = 6.4 \text{ GS/s}, N_{FFT} = 64$$

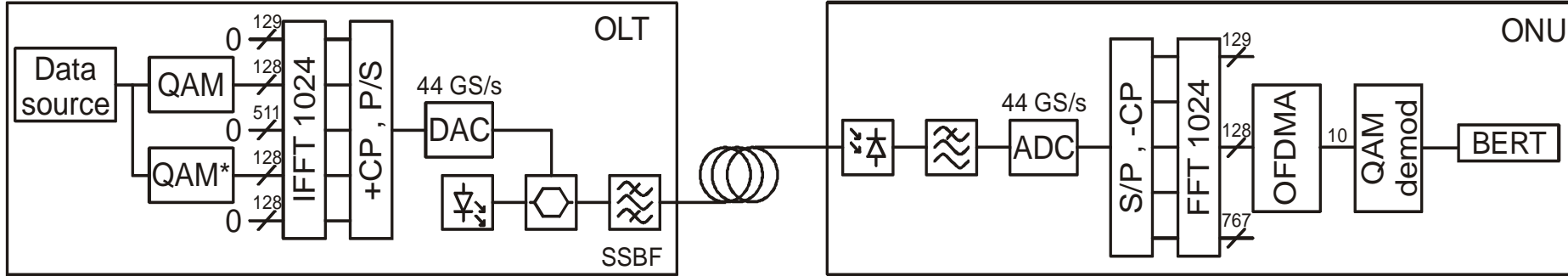


ONU3

3.2. OFDMA-Downlink: Simulationen

OFDMA Modul:

Extrahieren von Daten einzelner Subträger



Simulation:

$N_{FFT} = 1024$ (128 belegt)

Gap = 128

CP = 4 / 1024

$B_{SSB} = 11.5$ GHz

kein ASE Rauschen → thermische Rauschleistungsdichte der Fotodiode: $4 \cdot 10^{-22}$ A²/Hz

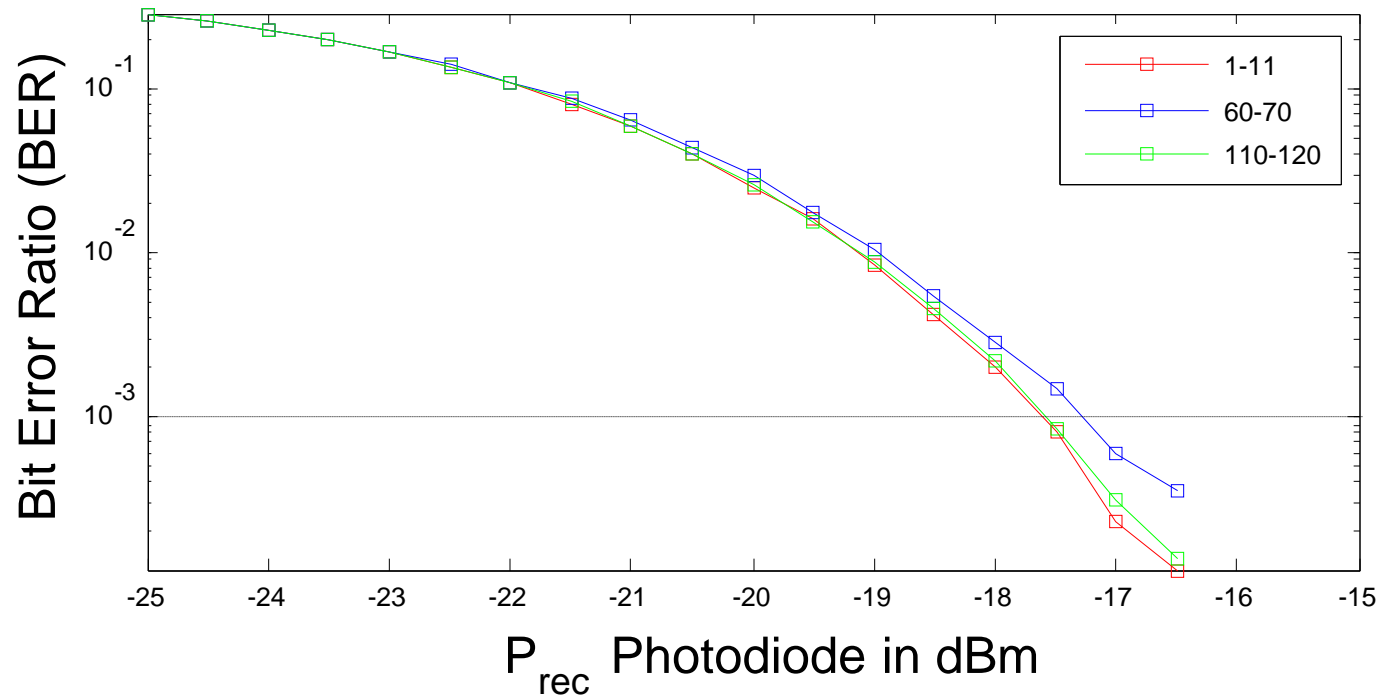
Max. Datenrate: netto 10 Gb/s, brutto 11 Gb/s (inkl. 7% FEC und CP)

Subträgerrate: 0.078 Gb/s/Subträger

Subträgerfrequenzabstand: 43 MHz

Ergebnis: Simulation OFDMA-Downlink

Simulation von ver. Subträgergruppen: 1-11,60-70,110-120



Simulation mit 50 km Faser (linear)

leicht unterschiedliche BER bei verschiedenen Subträgergruppen

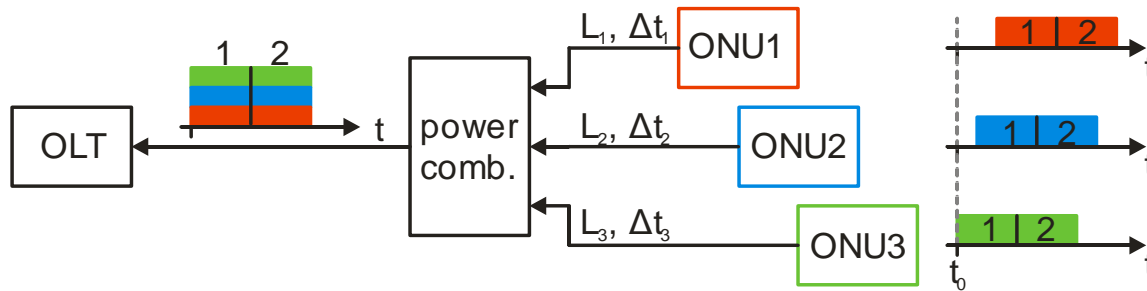
→ unterschiedlicher Einfluss der Filterung



3.3. OFDMA-Uplink: Problemdarstellung

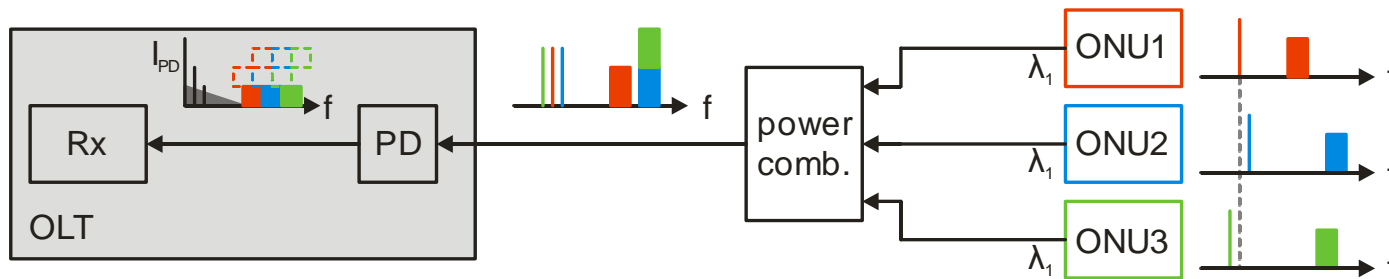
N Signalanteile aus N Quellen

- gemeinsame Demodulation in OLT erfordert Synchronität in Zeit und Frequenz



Zeit:

- Einzelsignale besitzen unterschiedliche Laufzeiten von ONU zu OLT
- Korrektur durch unterschiedliche Startzeitpunkte → Scheduling erforderlich



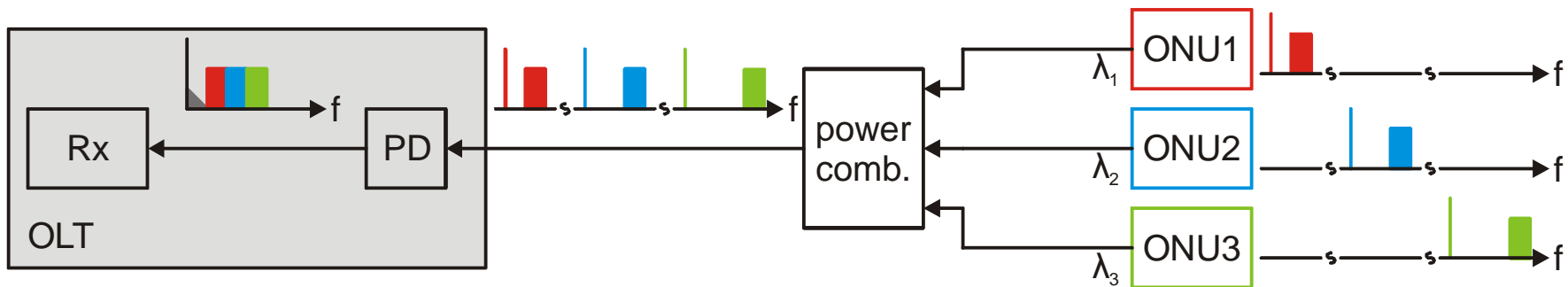
Frequenz:

- Einzelsignale dürfen sich spektral nicht überlappen
- mit verschiedenen Lasern nicht exakt gleiches λ möglich
- Verlust von Orthogonalität, Intermodulation

3.3. OFDMA-Uplink: Lösungsmöglichkeiten (1)

Methode 1:

- direkte Modulation in den ONUs auf deutlich unterschiedlichen Wellenlängen
- Detektion mit einer PD in OLT
- Intermodulationsprodukte außerhalb der PD-Bandbreite



nach Dayou Qian und Neda Cvijetic, IEEE Journal of Lightwave Technology, 2010

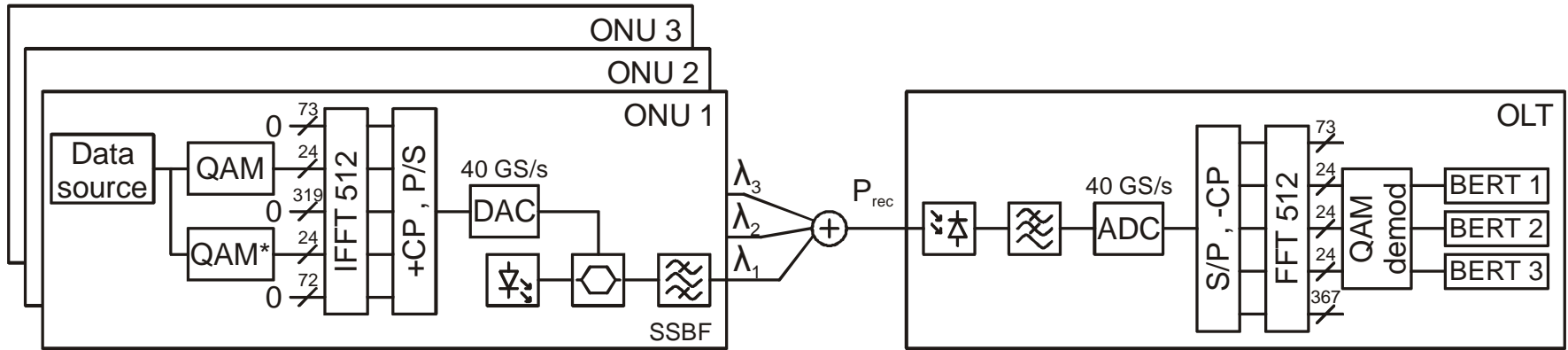
Vorteil:

- einfaches System mit DML und DD

Nachteil:

- erhöhter Wellenlängenbedarf (WDM)

3.3. Simulation des OFDMA-Uplink (B2B)



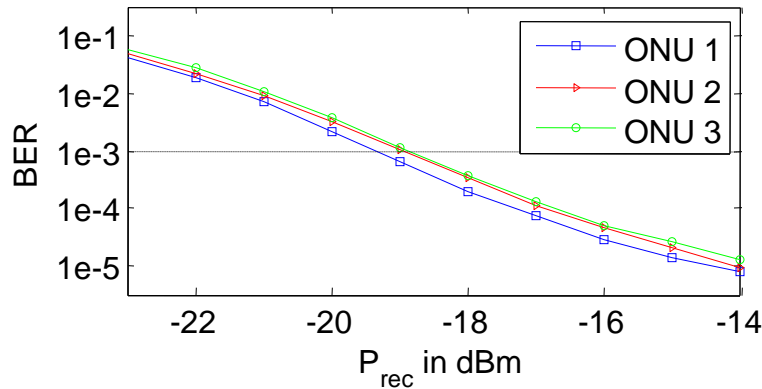
Simulationsparameter:

- FFT-Länge: 512
- Subträgerbelegung: 73-96 (ONU1), 97-120 (ONU2), 121-144 (ONU3)
- Mapping Subträger: 4-QAM
- Cyclic Prefix (CP): 1/128
- DAC/ADC Abtastrate: 40 GS/s
- Bandbreite des optischen Gesamtsignals (Einseitenband): 11.25 GHz
- thermische Rauschleistungsdichte der Fotodiode: $4 \cdot 10^{-22} \text{ A}^2/\text{Hz}$
- Datenrate: brutto 3 x 3,75 Gb/s (inkl. 7% FEC und CP), netto 3 x 3,48 Gb/s

3.3. Simulation des OFDMA-Uplink, Ergebnisse

Ideale Lösung:

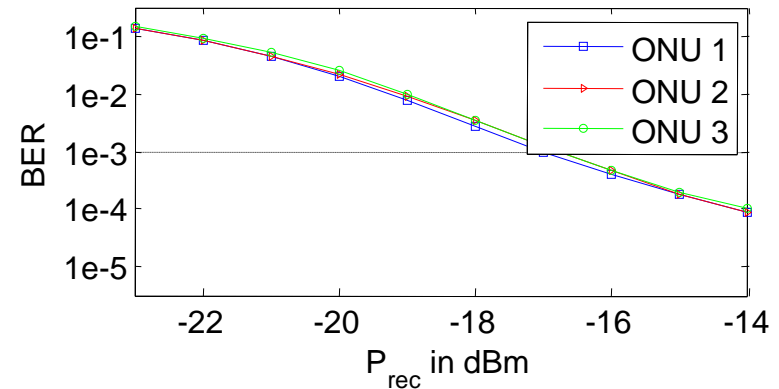
OFMDA auf exakt gleicher Wellenlänge:
 $\lambda_1 = \lambda_2 = \lambda_3$ (ideal, nicht realisierbar)



- phasenrichtige Addition der Träger
- stärkere Empfindlichkeit
- Signalanteile unterschiedlich nah zu Filterflanken
 → leicht unterschiedliche BER

Lösungsmöglichkeit 1:

OFDMA auf verschiedenen Wellenlängen: $\lambda_1 \neq \lambda_2 \neq \lambda_3$

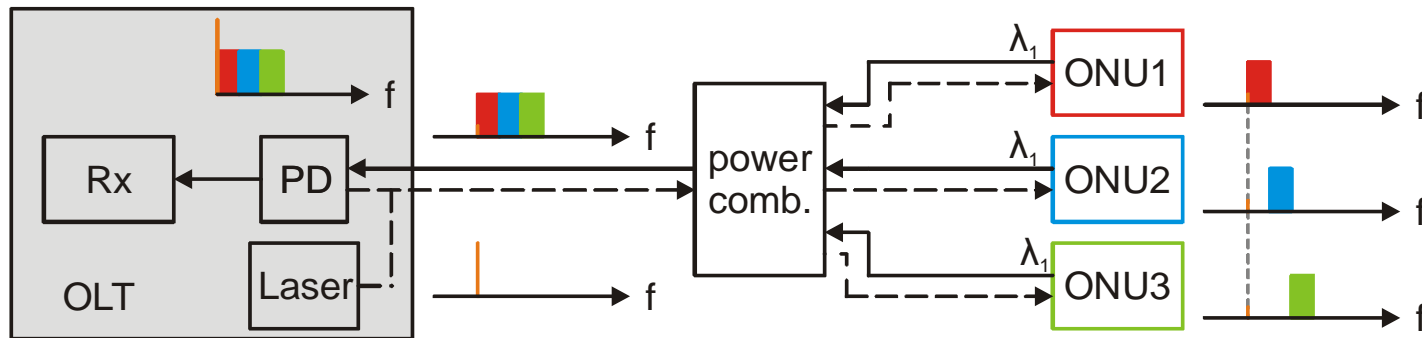


- Demodulation nur mit eigenem Träger
- geringere Empfindlichkeit:
 $1/\sqrt{3} \approx -2,39\text{dB}$
- BER-Kurven ähnlicher!

3.3. OFDMA-Uplink: Lösungsmöglichkeiten (2)

Methode 2: Quellenfreie ONUs

- zentrale Trägererzeugung in OLT oder Remote Node, unmoduliert mitgeschickt
- Modulation und gegebenenfalls Trägerunterdrückung in den ONUs
- keine spektrale Überlagerung, da ONUs wellenlängensynchron
- kohärente Detektion in OLT → keine Frequenzlücke nötig



nach Dayou Qian und Neda Cvijetic, IEEE Photonics Technology Letters, 2009

Vorteil:

- OFDMA mit einer Wellenlänge, spektral effizient

Nachteil:

- Aufwand durch Trägerverteilung an ONU (extra Faser oder Zirkulatoren)
- zeitliche Stabilität des Lasers erforderlich (z.B. ECL)

4. Zusammenfassung

OFDMA interessante Möglichkeit für Mehrfachzugriff im PON

- spektral effizient
- Datenraten skalierbar in Zeit und Frequenz

OFDMA-Downlink

- 1 Signalquelle, keine wesentlichen Unterschiede zu OFDM point-to-point
- Möglichkeit zur Reduktion des ONU-Frontends (Abtastfrequenz und FFT-Länge)

OFDMA-Uplink

- N Signalquellen, Probleme durch zeitliche und spektrale Unsicherheit
- Lösungsmöglichkeiten erhöhen Aufwand bzw. Anzahl der WDM-Kanäle für Uplink
- ebenfalls Möglichkeit zur Reduktion des ONU-Frontends (Abtastfrequenz und FFT-Länge)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

