

Experimentelle Untersuchung der OFDM-Übertragung mit direkt moduliertem Laser für das Zugangsnetz

ITG-Workshop 2013

Semjon Schaefer, Johannes von Hoyningen-Huene
und Werner Rosenkranz

Lehrstuhl für Nachrichten- und Übertragungstechnik
Technische Fakultät
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel



- 1. Nachrichtenübertragung mit direkter Modulation (DM)**
- 2. Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)**
- 3. Experimenteller Aufbau von DM-OFDM**
- 4. Messergebnisse**
 - 4.1. 2,5 Gb/s DML
 - 4.2. 10 Gb/s CML
- 5. Zusammenfassung**

Motivation der Nachrichtentechnik:

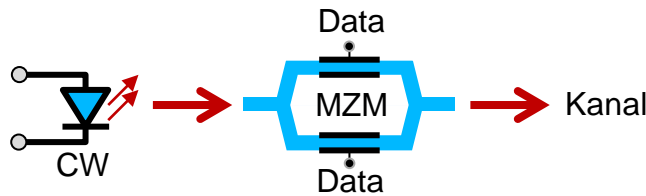
Steigende Nachfrage nach schnellerem und kostengünstigerem Datenverkehr

Bisher:

Datenraten bis 100 Gb/s in der kommerziellen optischen Nachrichtenübertragung

→ nur mit EML möglich

EML



Vorteil

- Hohe max. Modulationsbandbreite
- Geringer bis kein Chirp

Nachteil

- Teure Ausstattung

DML



Vorteil

- Klein und kostengünstig
- Energiesparend

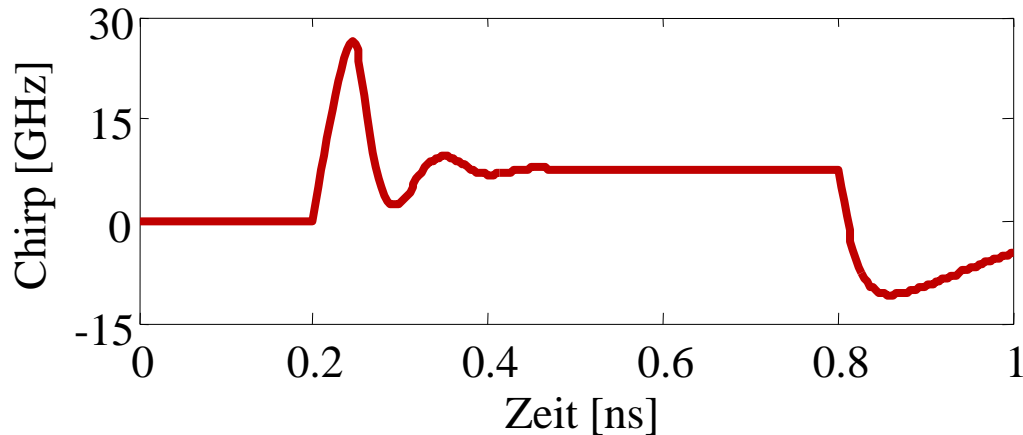
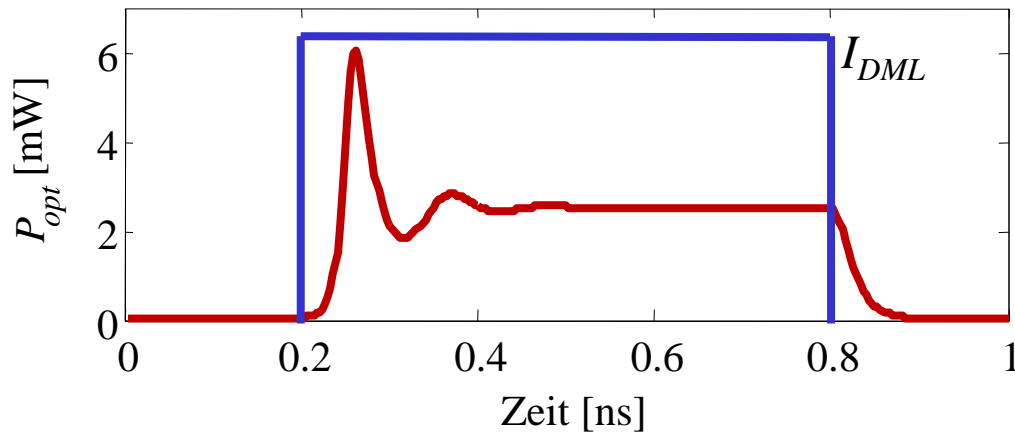
Nachteil

- Geringere Modulationsbandbreite
- Starker Chirp

→ DML für kurze Übertragungsdistanzen interessant (z.B. Access-Bereich)

Dynamikverhalten des DML: Intensität u. Chirp

Numerische Lösung der Ratengleichung:



- Verzögerte Reaktion
- Ein- und Ausschwingverhalten
 - **Limitiert die Bandbreite**

- Abhängigkeit der optischen Frequenz des Lasers von seiner Ausgangsleistung = Chirp
- **Ursache für Dispersion**

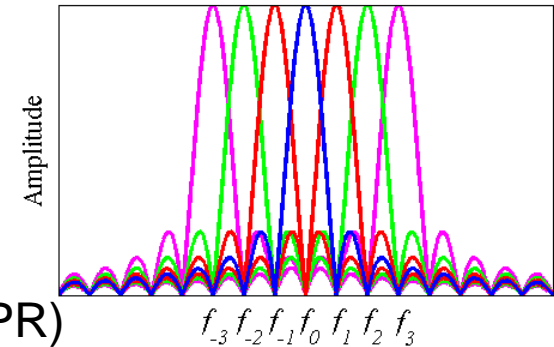
- **OFDM = Orthogonal Frequency Division Multiplexing**
- **Mehrträgerverfahren = Aufteilung der Information auf mehrere Subträger**
- **Subträger liegen orthogonal zu einander**
 - Vermeidung von Crosstalk

Vorteile:

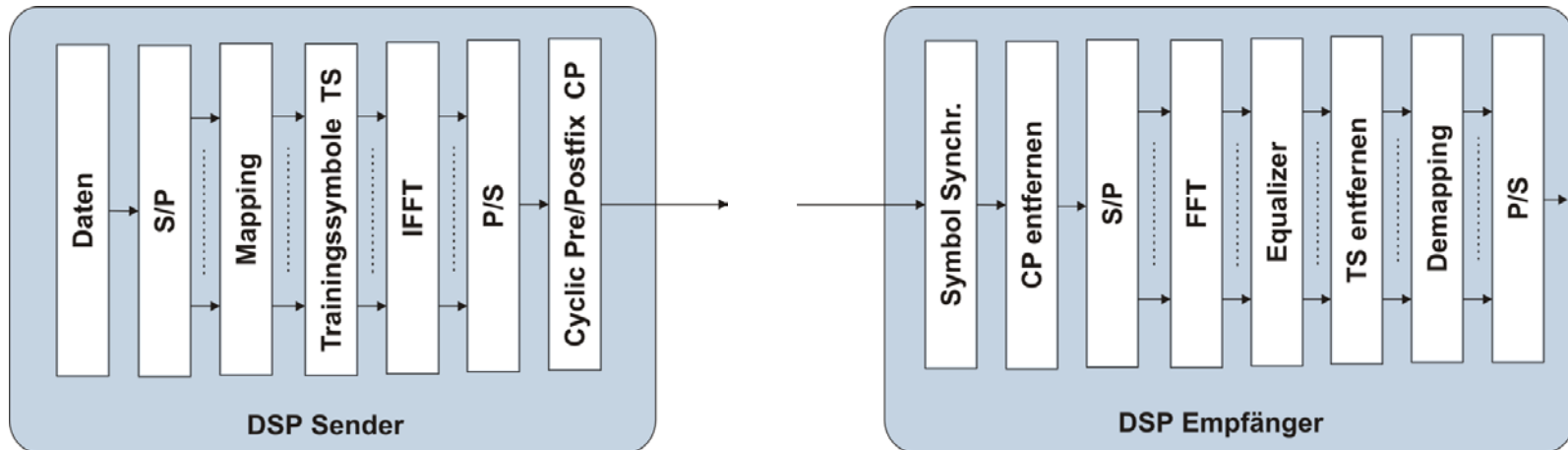
- Hohe spektrale Effizienz
- Einfache Entzerrung

Nachteile:

- Aufwand (durch DSP)
- Hohe Spitzenwerte (PAPR)

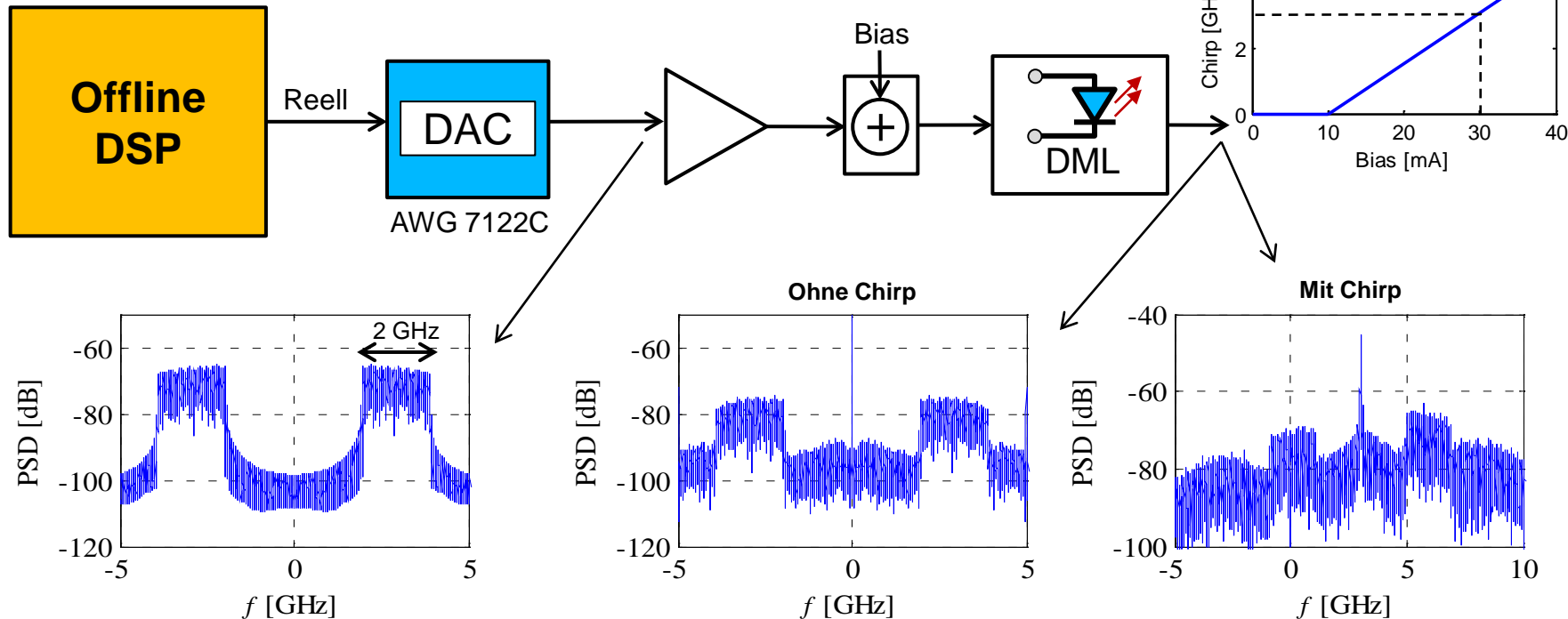


Digitale Realisierung:

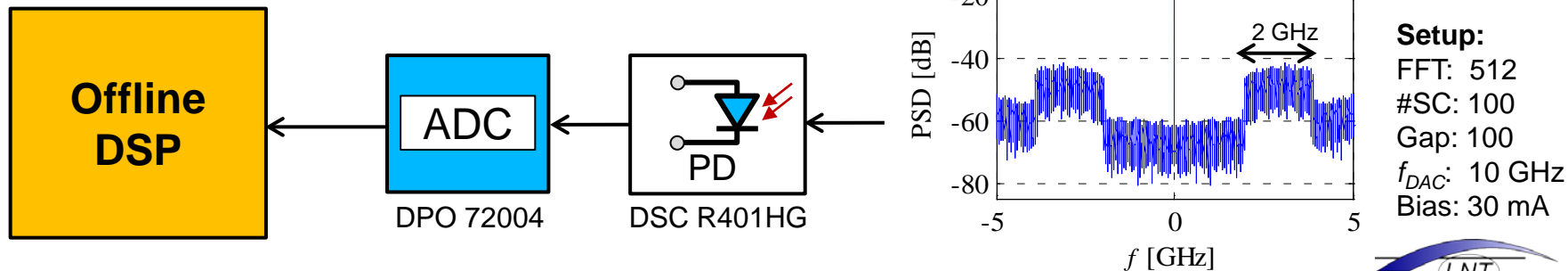


3. Experimenteller Aufbau von DM-OOFDM

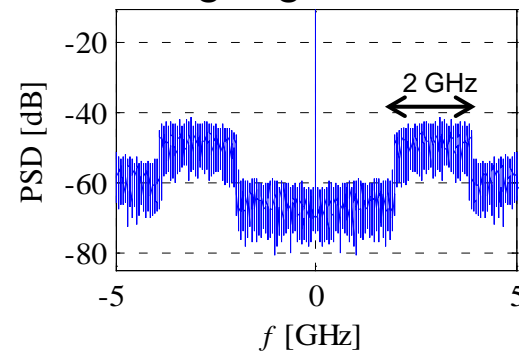
Sender:



Empfänger:



Ausgang PD:



Setup:
 FFT: 512
 #SC: 100
 Gap: 100
 f_{DAC} : 10 GHz
 Bias: 30 mA

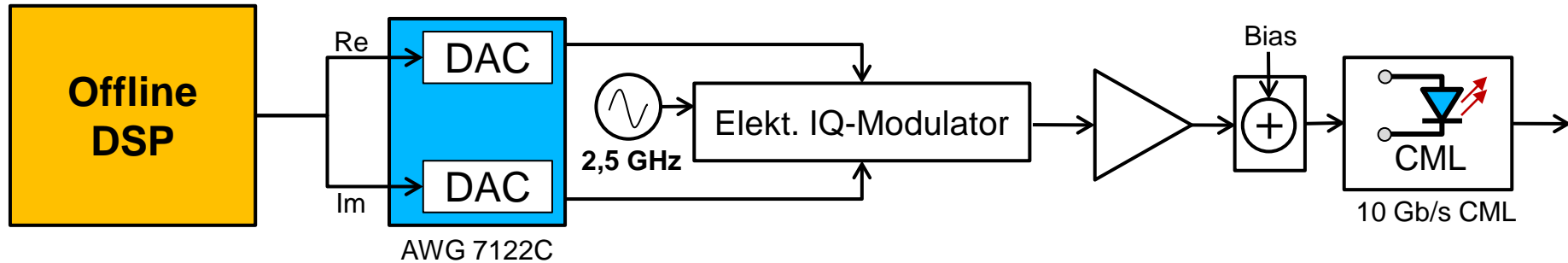
Experimenteller Aufbau mit CML

Hohe Bandbreite des verwendeten CML erlaubt Anwendung des IQ-Modulators

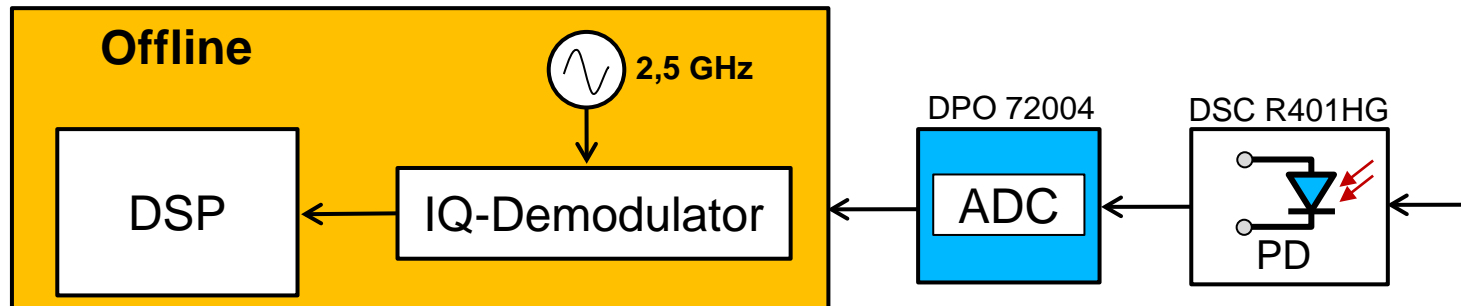
Pro: Volle (I)FFT belegbar
Halbe Abtast- für gleiche Datenrate

Contra: 2 DACs und IQ-Modulator nötig

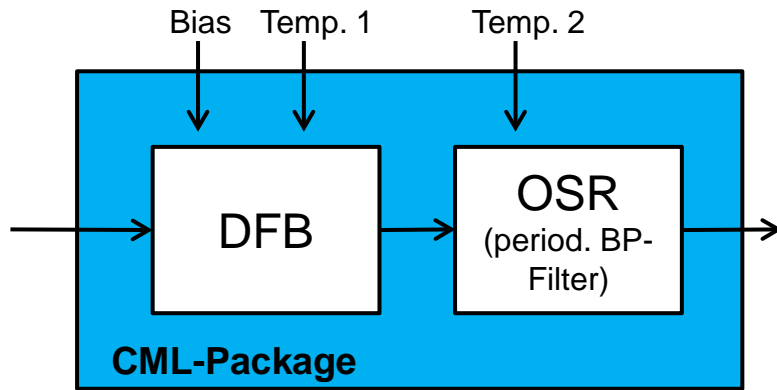
Sender:



Empfänger:

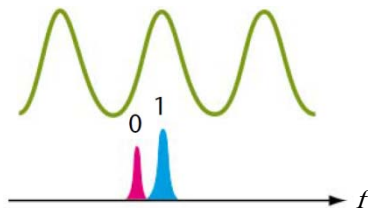
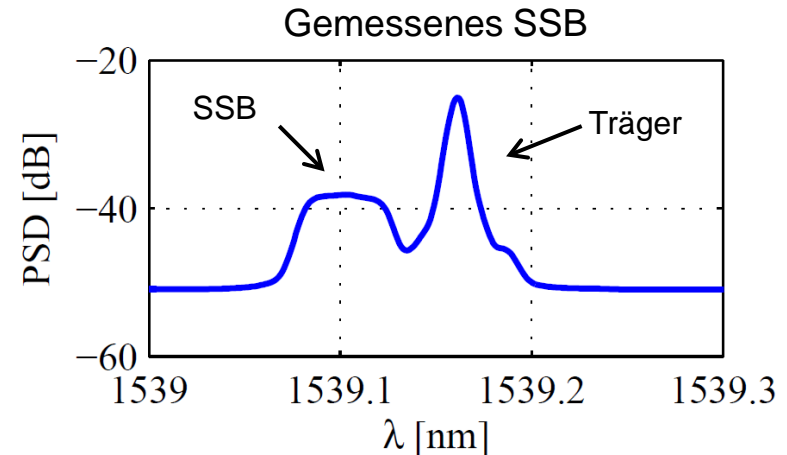
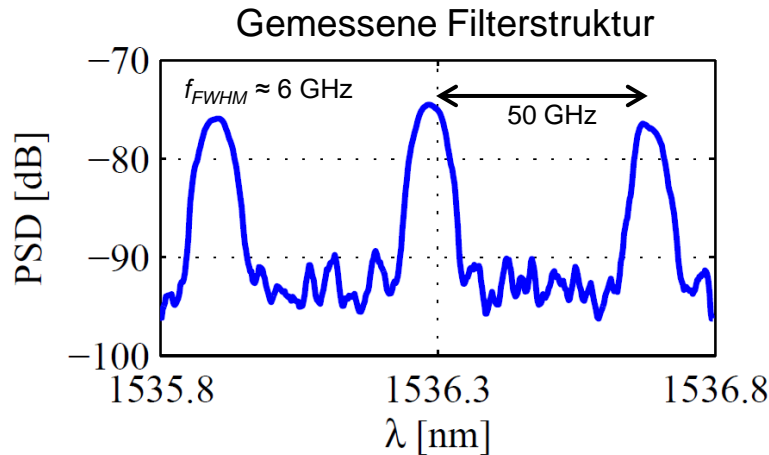


Chirp managed laser (CML)



Kombination aus:

- 10 Gb/s DFB-Laser
- Optical Spectral Reshaper (OSR)
- Temp.1 für Trägerverschiebung
- Temp.2 für Filterverschiebung

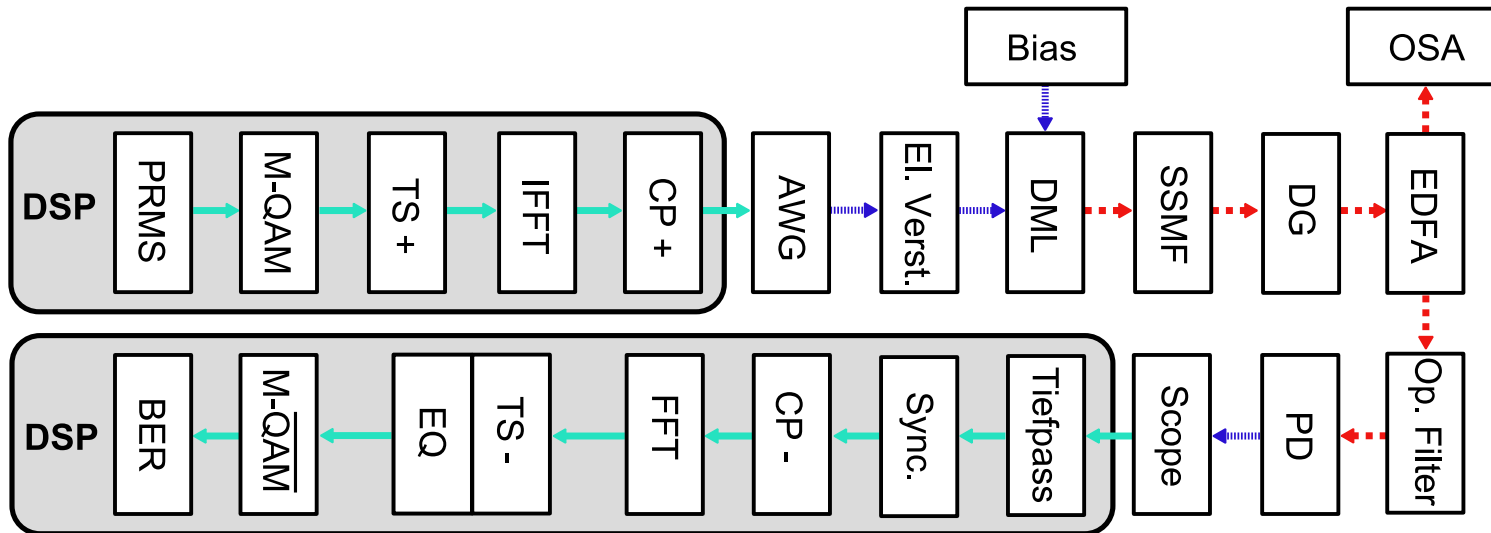


- Extinction ratio wird vergrößert
- Dispersionseinfluss wird verringert

Parameter offline processing

Setup:

Parameter	DML	CML
FFT-Länge N_{FFT}	512	512
Subträger SC	128	128-320
Cyclic Pre/Postfix CP	2/2	2/2
Trainingssymbole pro OFDM-Frame TS	4	4
Datensymbole pro OFDM-Frame DS	32	32
M-QAM	$M = 4, 8, 16$	$M = 4, 8, 16$
Abtastfrequenz f_{DAC}	12 GHz	12 / 24 GHz

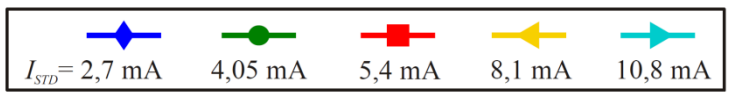
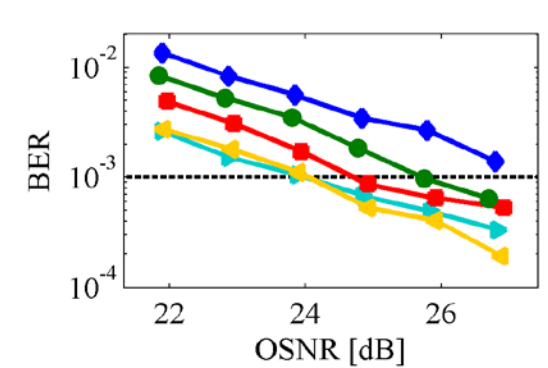
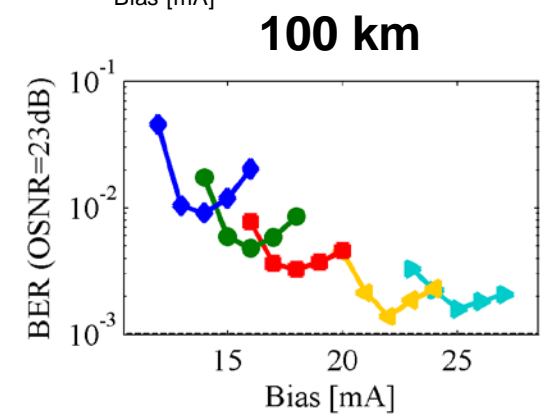
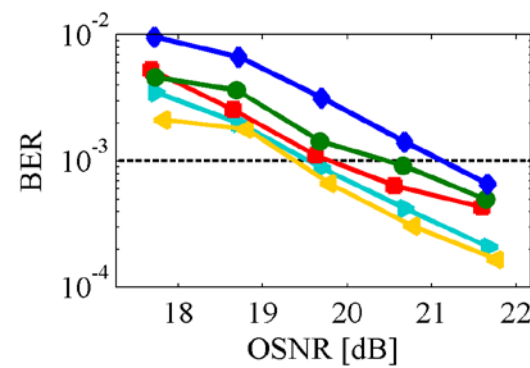
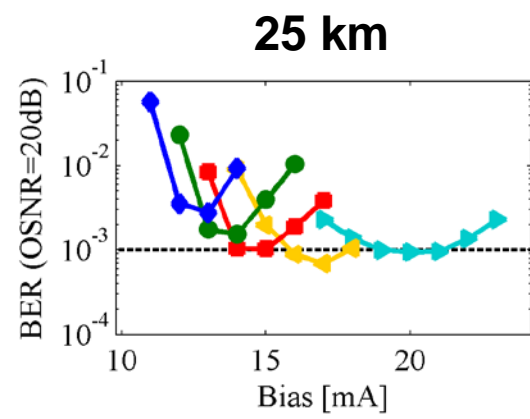
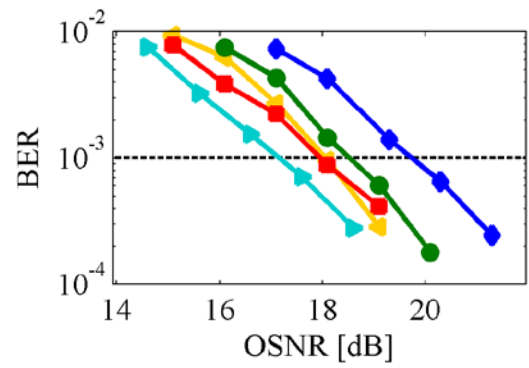
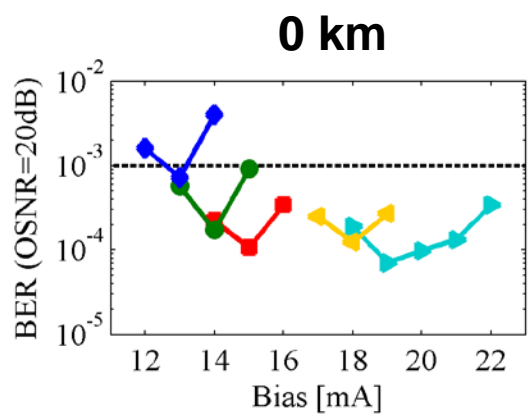
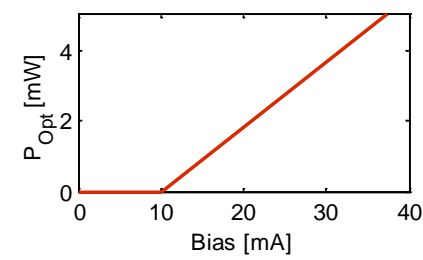


**Aufbau mit CML
zusätz. mit IQ-
Mod./ Demod.**

4.1. Messergebnisse mit DML

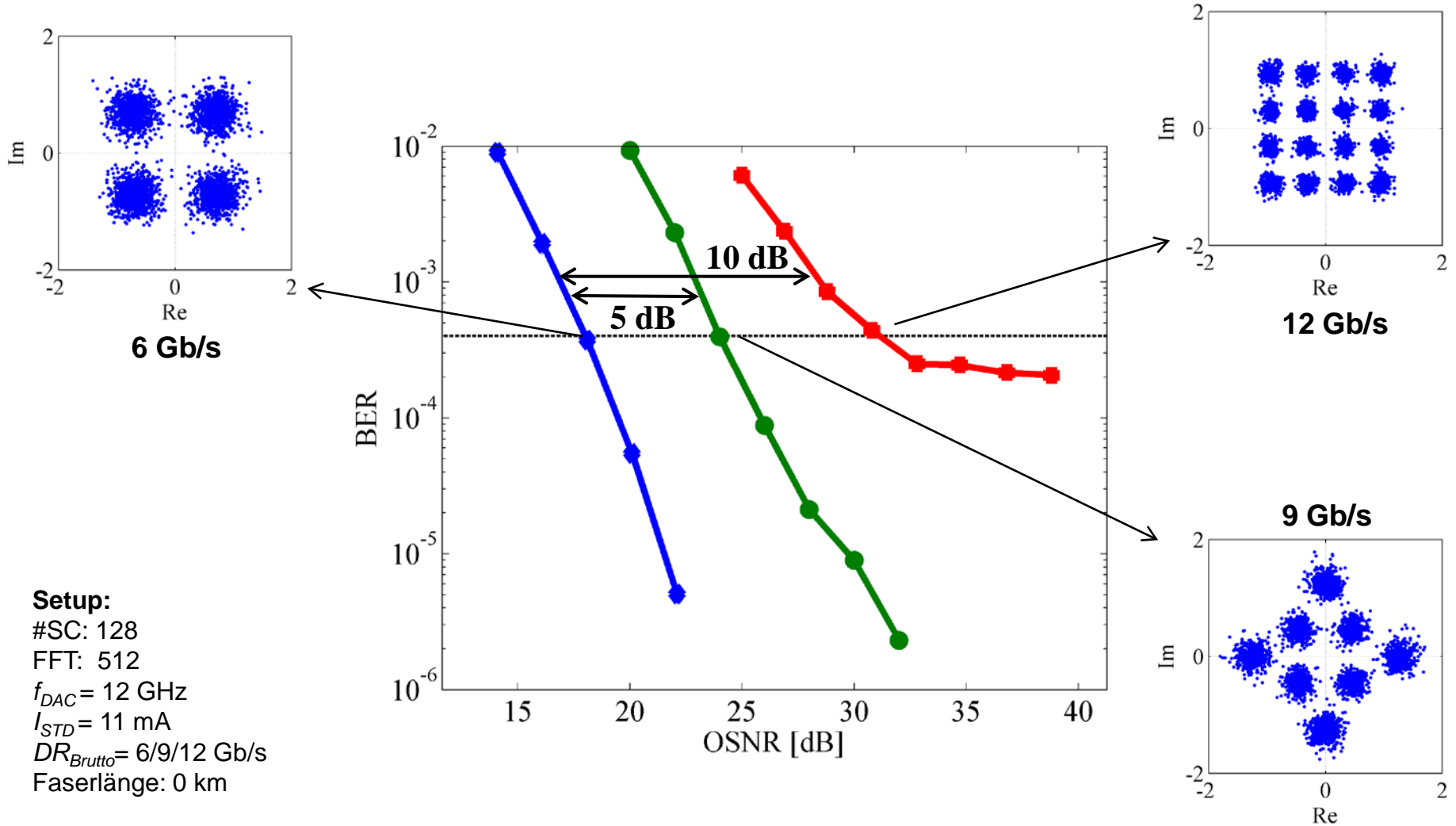
Bias-Optimierung für 4-QAM Übertragung (6 Gb/s)

- Signal-Clipping an Schwelle vs.
- Zu hohes Träger-Signal-Verhältnis



- **Optimaler Bias variiert je nach Aussteuerung und Distanz**
- **Hohe Aussteuerung verbessert das BER**

Maximale Übertragungskapazität des DML (B2B)

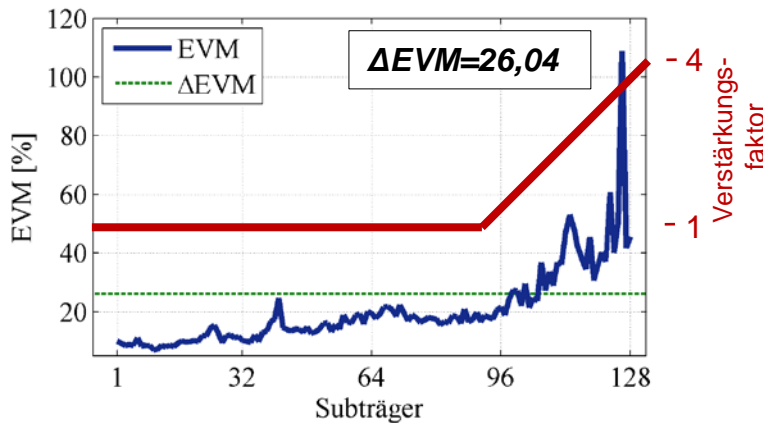


Setup:
 #SC: 128
 FFT: 512
 $f_{DAC} = 12$ GHz
 $I_{STD} = 11$ mA
 $DR_{Brutto} = 6/9/12$ Gb/s
 Faserlänge: 0 km

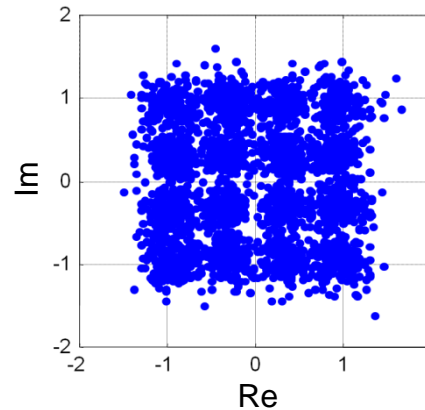
Optimierung der 16-QAM-Übertragung

Power Loading = Leistungsanpassung einzelner Subträger

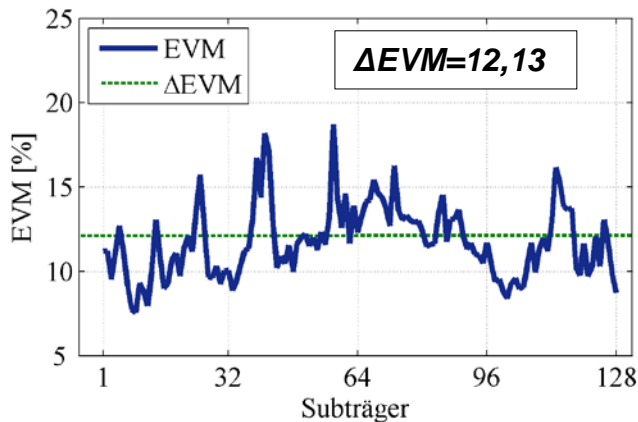
Ohne Power Loading:



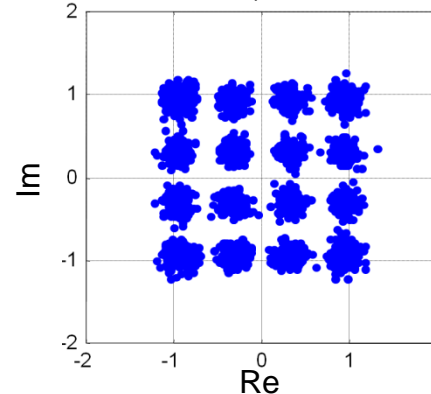
BER=2,34e-2 (@30dB OSNR)



Linear ansteigende Verstärkung ab Subträger 90



BER=4,47e-4 (@30dB OSNR)

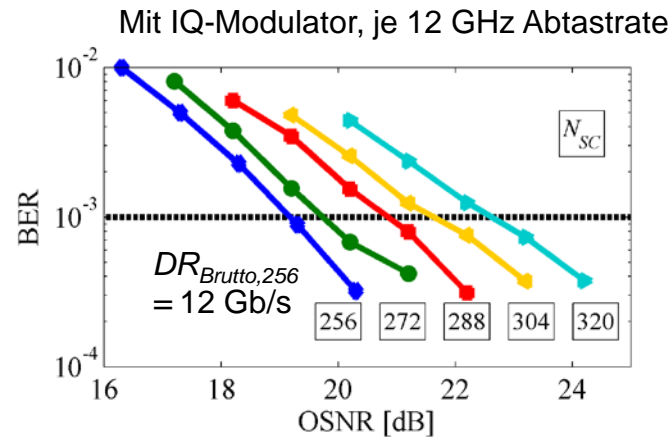
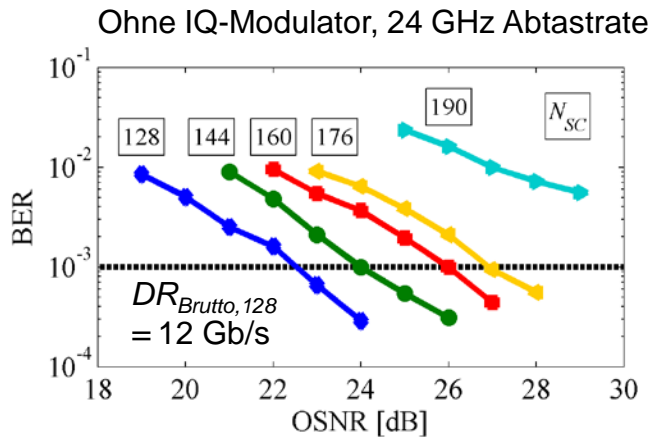


Erhebliche Signalverbesserung durch PL möglich

Geeignetes PL kann mit EVM-Diagramm geschätzt werden

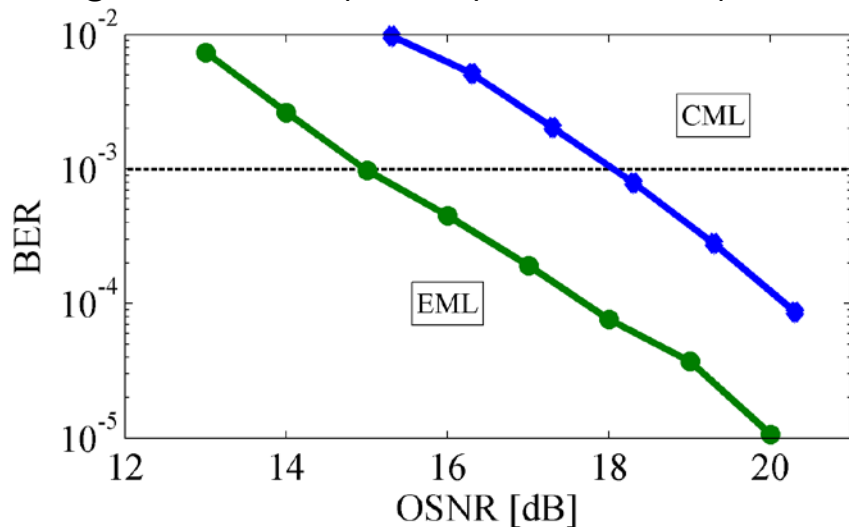
4.2. Messergebnisse mit CML

- Vergleich ohne und mit IQ-Modulator, 100 km, 4-QAM



Verbesserung um ca. 3 dB bei gleicher Datenrate

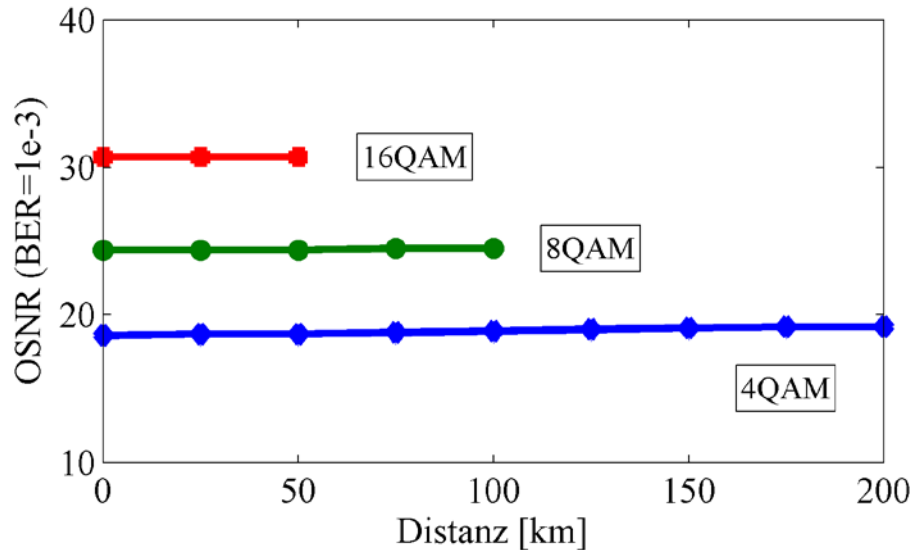
- Vergleich CML (Labor) und EML (Simulation)



- Setup:** 100 km, 256 Subträger
- EML um ca. 4 dB besser

30G DM-OOFDM Übertragung mit CML

- Reichweitenmessung in Abhängigkeit des Modulationsformats:



Nahezu konstantes OSNR
(256 SC, $f_{DAC} = 12$ GHz, $DR = 6$ GS/s)

- Maximal erreichte Datenrate

$L = 50$ km, 16-QAM, 512 FFT, 320 Subträger, $f_{DAC} = 12$ GHz

$$DR_{Brutto} = 30 \text{ Gb/s} \text{ für } BER = 3 \cdot 10^{-3}$$

$$DR_{Netto} = DR_{Brutto} * 0,88 = 26,5 \text{ Gb/s}$$

5. Zusammenfassung

- Kombination des günstigen DML mit der Effizienz von OFDM
- Datenraten von ca. 30 Gb/s bis 50 km Faserlänge experimentell erzielt
- Signalbeeinträchtigungen überwiegend durch den Chirp (DML)
- Einfluss des Chirps durch Einseitenbandfilterung im CML minimiert
- Alternative zur externen Modulation auf kurzen Übertragungsstrecken

Vielen Dank!

