
Phasenmodulation als robustes Modulationsformat gegenüber nichtlinearen Interferenzerscheinungen in Langstrecken-DWDM-Systemen

Christoph Wree
Jochen Leibrich
Werner Rosenkranz

studentischer Mitarbeiter: Max Görler

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

Motivation

Ziele in der optischen Weitverkehrsübertragung:

- Steigerung des Datendurchsatzes (engerer Kanalabstand)
- Erhöhung der optisch-transparenten Länge
 - ➔ steigender Einfluss von Fasernichtlinearitäten

robuste (gegenüber Nichtlinearitäten) Modulationsformate ermöglichen:

- höhere spektrale Effizienz
- Steigerung der optisch-transparenten Länge

Gliederung

- Beschreibung Selbstphasen- und Kreuzphasenmodulation
- SPM und XPM induzierte Phasenmodulation und deren Auswirkung
- zweistufige Phasenumtastung statt On/Off-Keying
- Demodulation der Phasenumtastung
- Optische Modulatoren zur Phasenumtastung
- On/Off-Keying und Phasenumtastung im Vergleich:
 - Einkanal-Messungen bei 10Gb/s über 75km
 - WDM-Simulationen: 8x10Gb/s über 1500km bei variiertem Kanalabstand

Beschreibung von Selbstphasen- und Kreuzphasenmodulation

- Beschreibung der Ausbreitung von 2 Kanälen durch 2 gekoppelte Differentialgleichungen (Ergebnisse erweiterbar auf n Kanäle)
- Vernachlässigung von Pulsverzerrungen durch Dispersion
- Laufzeitunterschied zwischen Kanälen einbezogen

$$\begin{aligned} \frac{\partial A_1}{\partial z} + \frac{\mathbf{a}}{2} A_1 &= -j\mathbf{g}_1 \left(|A_1|^2 + 2|A_2|^2 \right) A_1 \\ \frac{\partial A_2}{\partial z} + \frac{\mathbf{a}}{2} A_2 - d_{12} \frac{\partial A_2}{\partial t} &= -j\mathbf{g}_2 \left(|A_2|^2 + 2|A_1|^2 \right) A_2 \end{aligned} \quad (1)$$

A_1, A_2 komplexe Einhüllende der beiden Kanäle

\mathbf{a} Dämpfungskoeffizient, \mathbf{g} Nichtlinearitätskoeffizient

$d_{12} = D \cdot (I_1 - I_2)$ relativer walk-off zwischen den Kanälen, D Dispersionparameter

Phasenmodulation durch SPM und XPM

Lösung für Kanal 1:

$$A_1(L, t) = A_1(0, t) e^{-\frac{a}{2}L} e^{-j\mathbf{f}_1(L, t)} \quad (2)$$

Phasenschwankungen

$$\mathbf{f}_1(L, t) = \mathbf{f}_{1SPM}(L, t) + \mathbf{f}_{1XPM}(L, t)$$

$$= \mathbf{g}_1 |A_1(0, t)|^2 L_{eff} \quad (3)$$

$$+ 2\mathbf{g}_1 \int_0^L |A_2(0, t + d_{12}z)|^2 e^{-az} dz$$

SPM (Intensitätsschwankungen
im eigenen Kanal)

XPM (Intensitätsschwankungen
im Nachbarkanal)

mit $L_{eff} = (1 - \exp(-aL)) / a$

Auswirkung von SPM und XPM

On/Off-Keying (Intensitätsschwankungen)

SPM / XPM

Phasenmodulation / Chirp

Dispersion

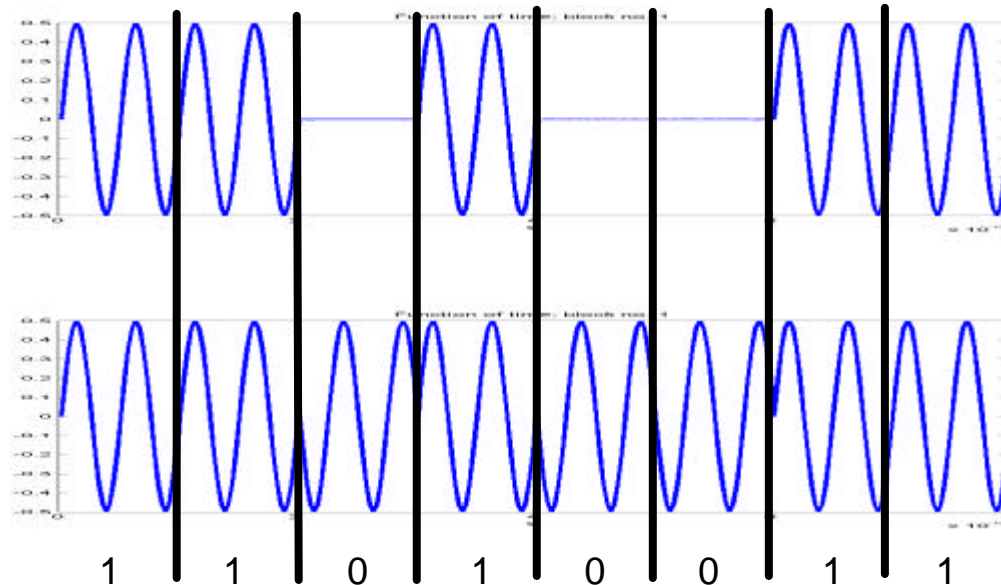
Intensitätsmodulation

ISI / Bitfehler

Zweistufige Phasenumtastung statt On/Off-Keying

On/Off-Keying: Trägersignal an bzw. aus

Intensitätsschwankungen \rightarrow SPM und XPM



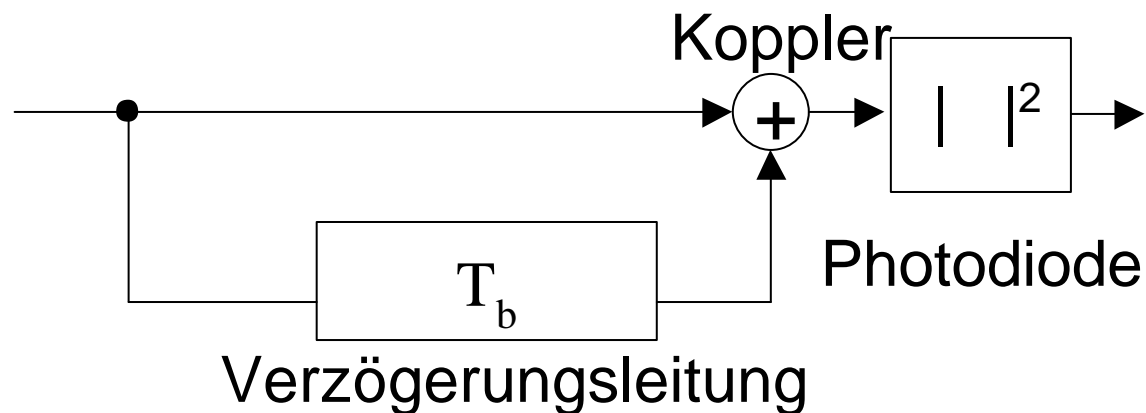
Phasenumtastung: Trägersignal mit Phasenshift 0 („1“) bzw. mit Phasenshift π („0“)

gleichbleibende Intensität \rightarrow reduzierter Einfluss von SPM und XPM

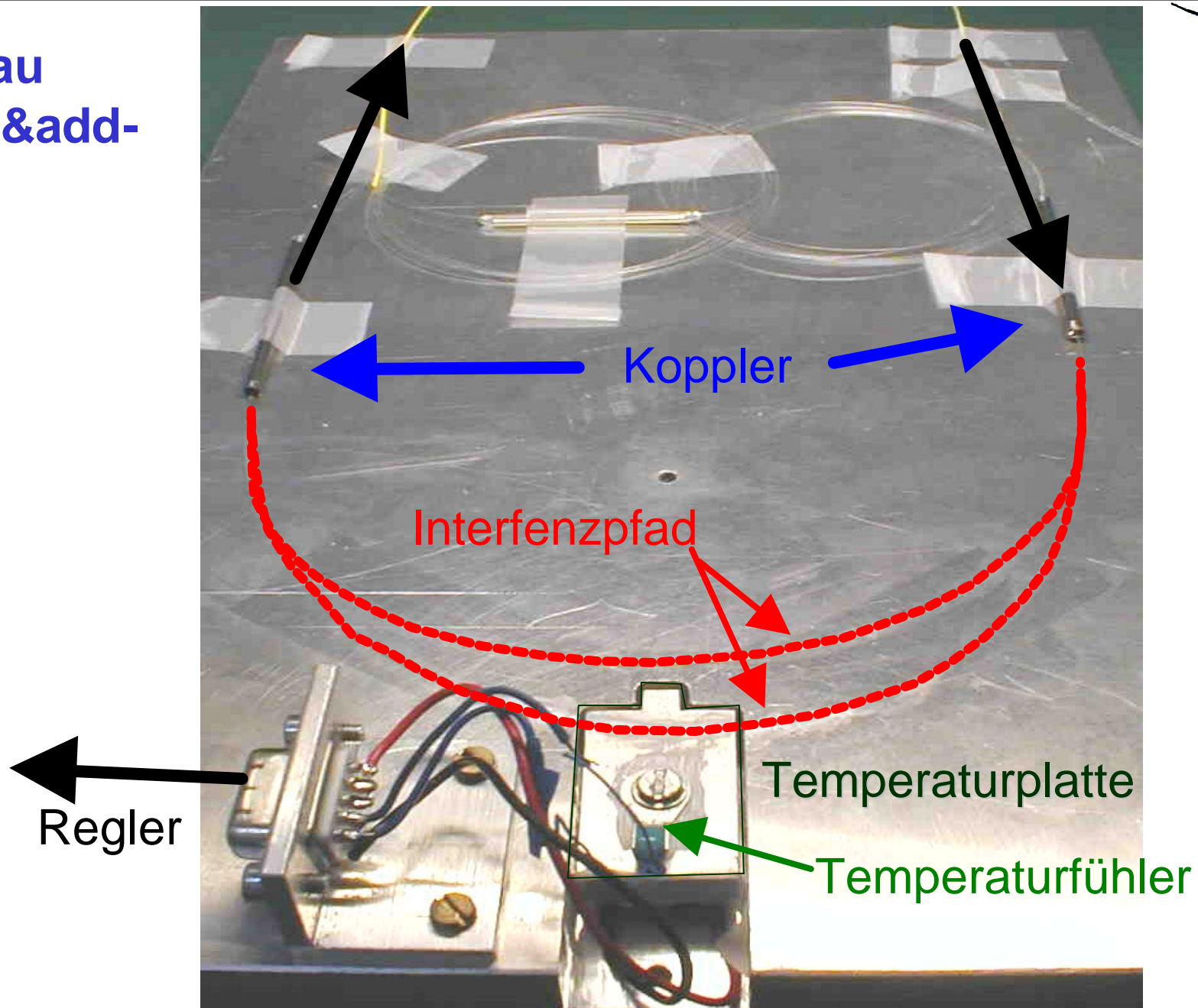
Autokorrelierende DPSK-Demodulation

Differenz aufeinanderfolgender Phasenwerte auswerten (**differential** phase-shift keying: DPSK)

- differentieller Vorcodierer notwendig
- kein Lokaloszillator
- nach optischem delay&add-Filter Standardempfänger verwendbar

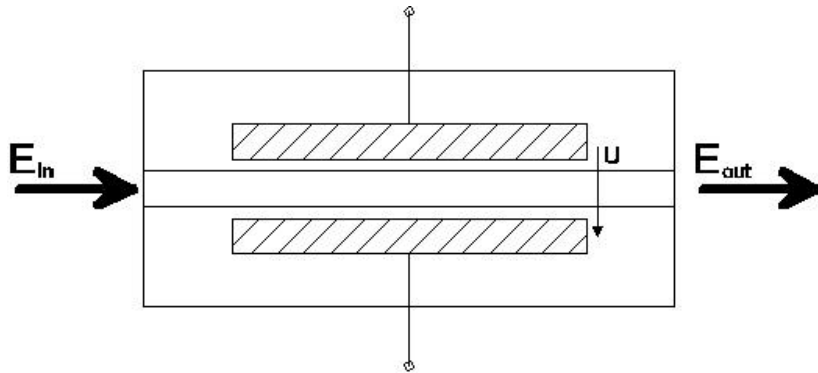


Aufbau delay&add- Filter

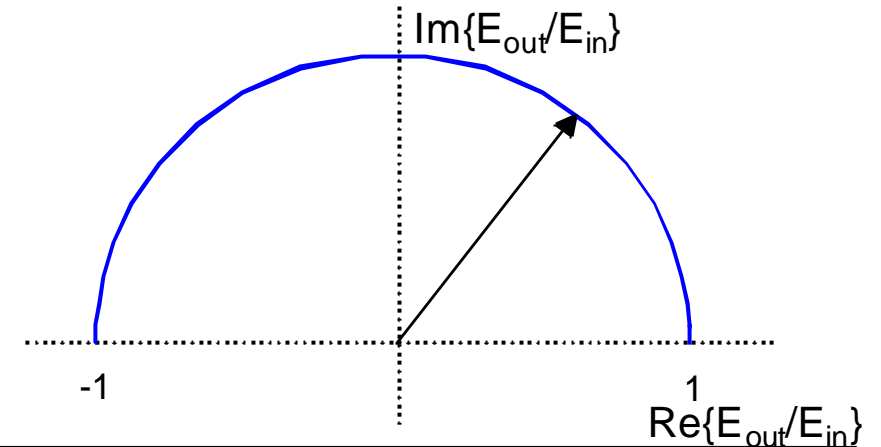


Optische Modulatoren zur Phasenumtastung

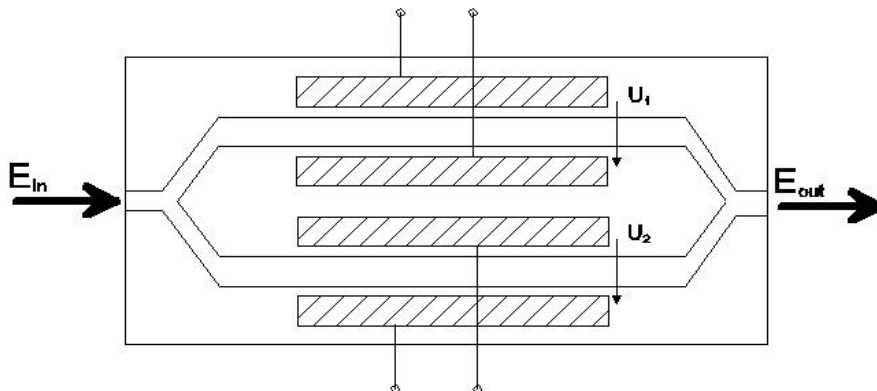
Ansatz 1: Phasenmodulator



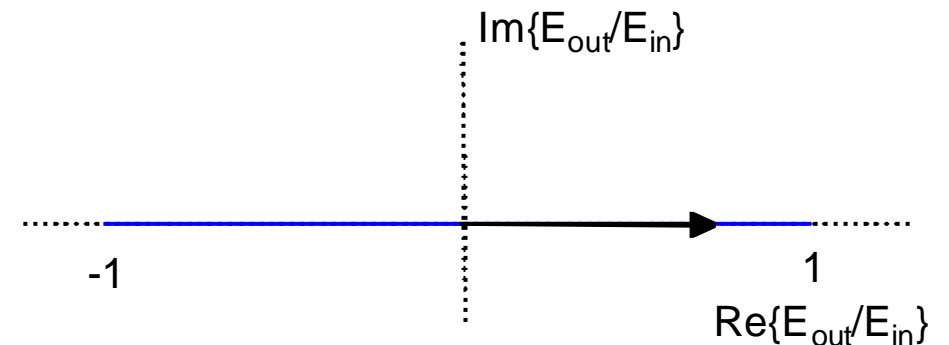
konstanter Betrag und Chirp



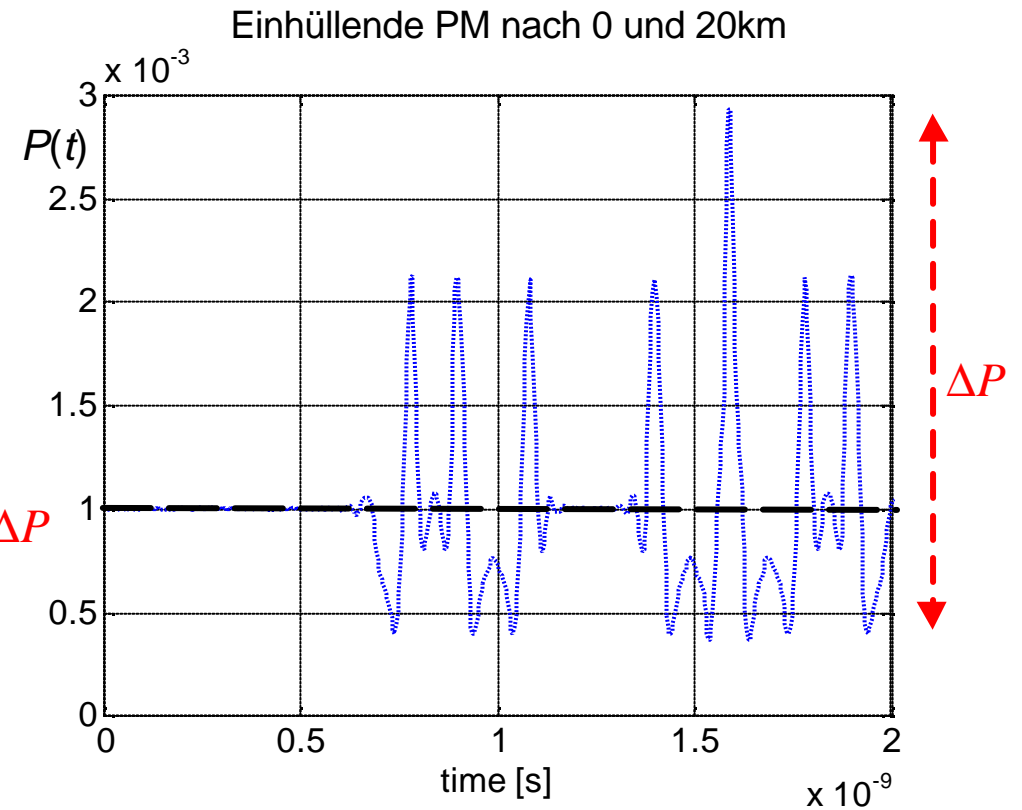
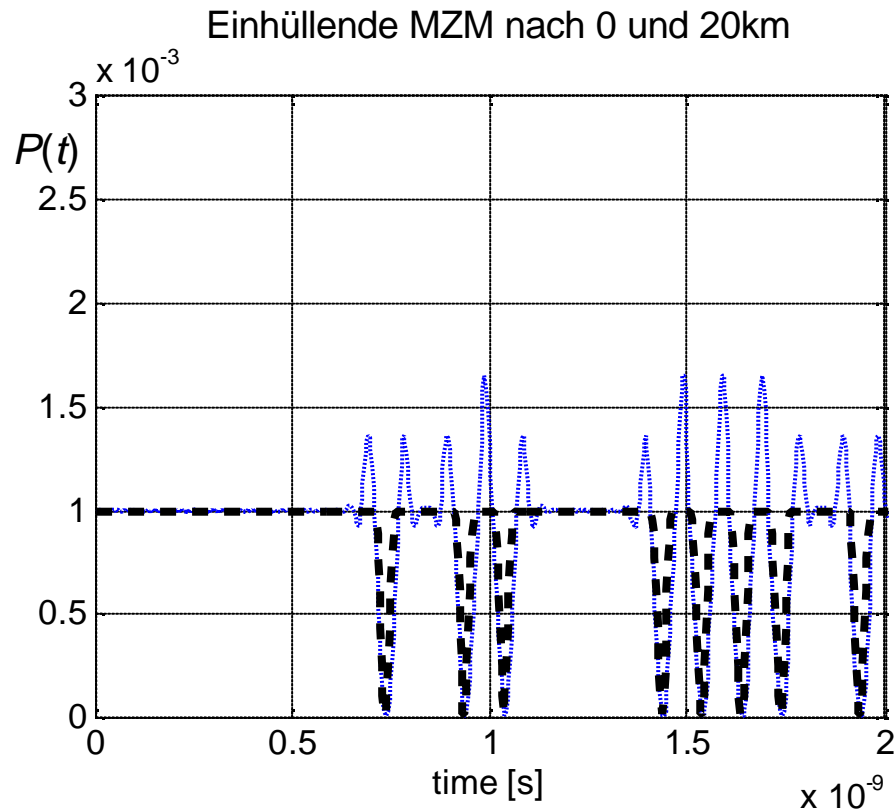
Ansatz 2: Mach-Zehnder Modulator im push-pull-Betrieb



Einbrüche im Betrag, aber chirpfrei



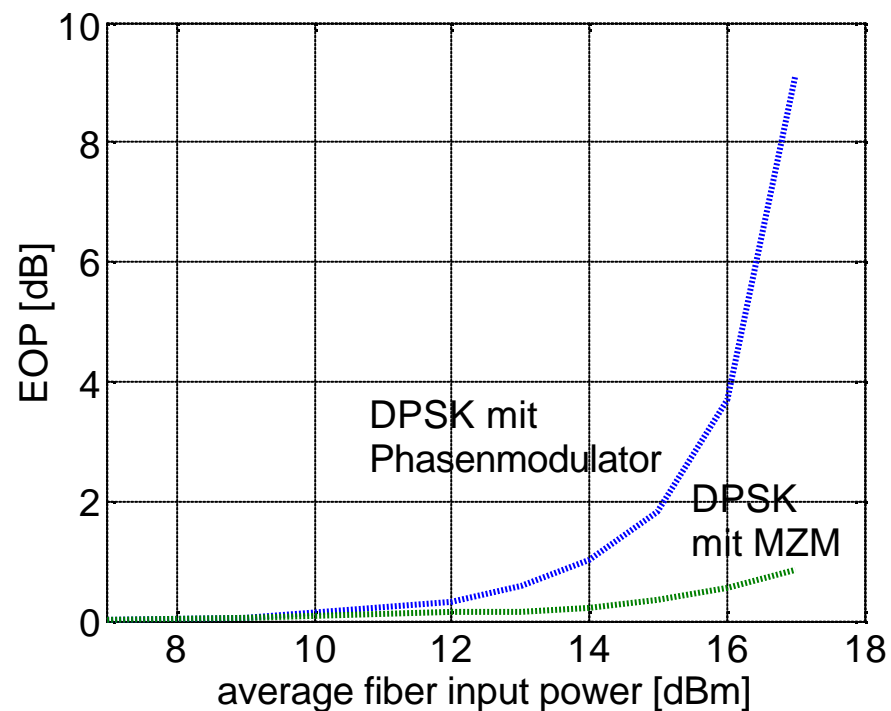
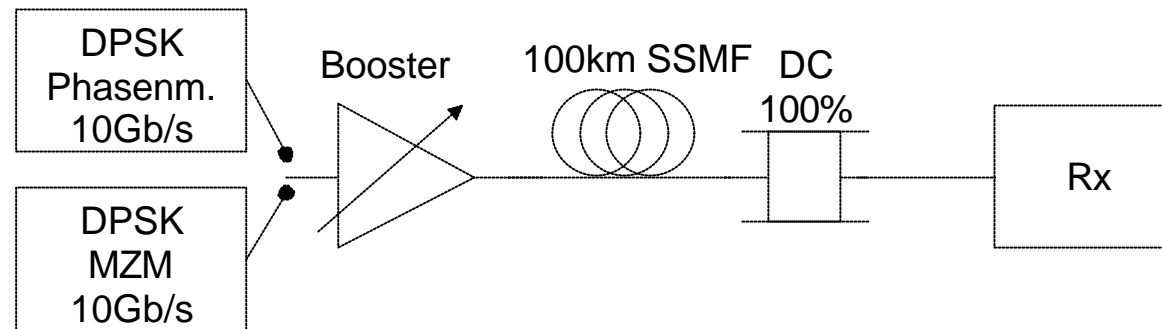
Phasen- und MZ-Modulator im Vergleich bei 10Gb/s: Einfluss von Dispersion auf Betrag des PSK-Signal



- back-to-back Einhüllende
- Einhüllende nach 20km
- ← → Intensitätsschwankungen

Phasenmodulator: konstante Einhüllende aufgehoben durch Wechselwirkung von Chirp und Dispersion

Phasen- und MZ-Modulator im Vergleich: 10Gb/s über 100km, kompensiert mit SPM

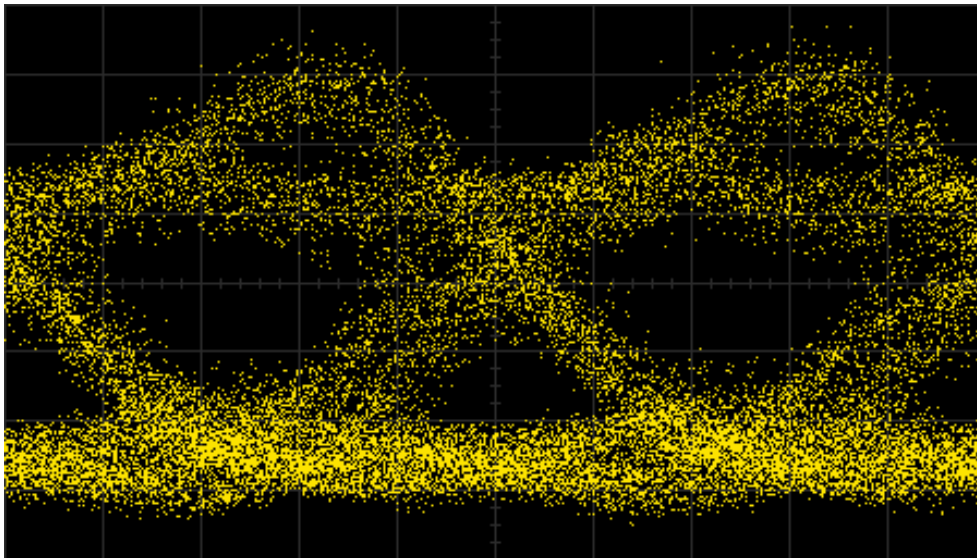
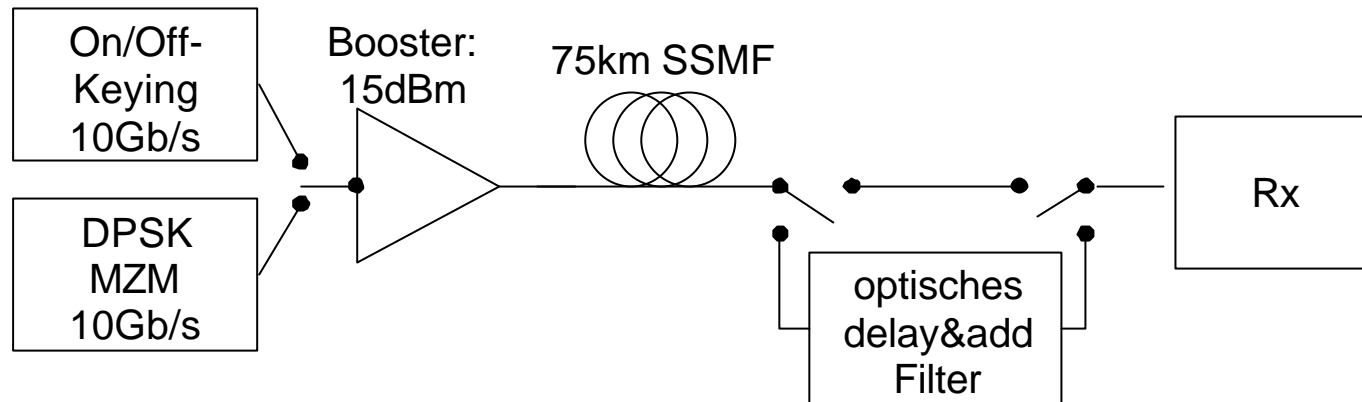


daher im folgenden:

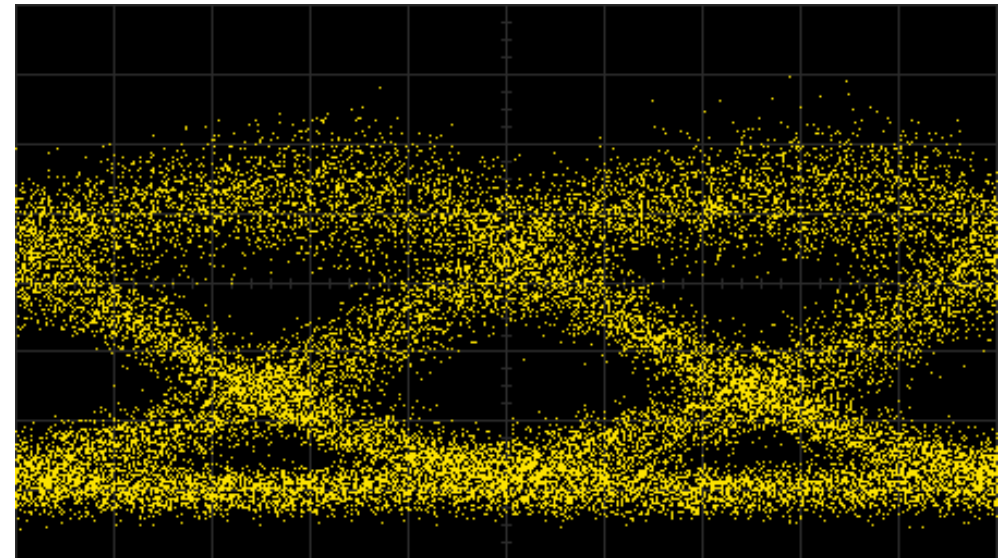
DPSK-Erzeugung mit MZM

Einkanalmessungen bei 10Gb/s über 75km bei 15dBm

Augendiagramme: On/Off-Keying und DPSK

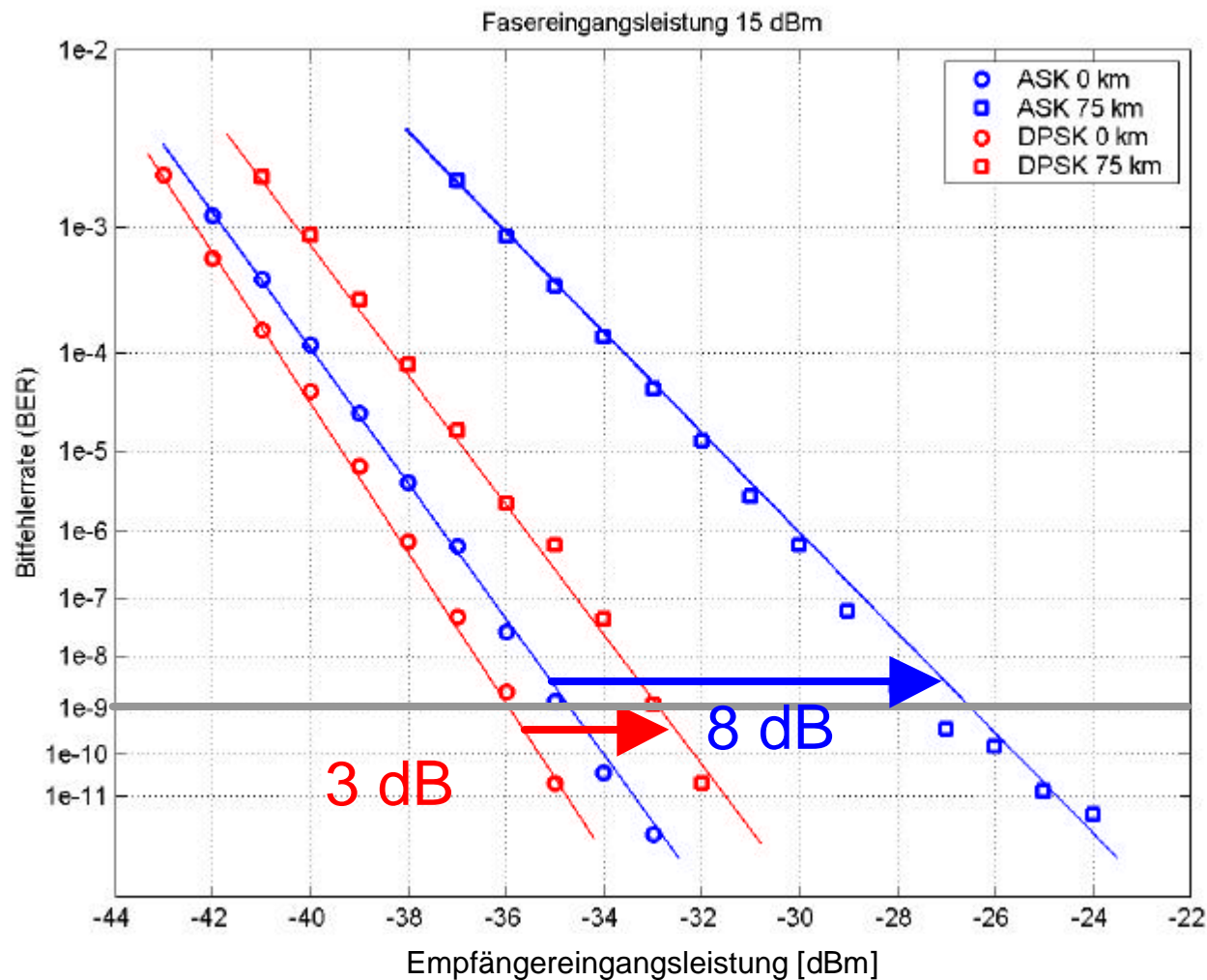


On/Off-Keying

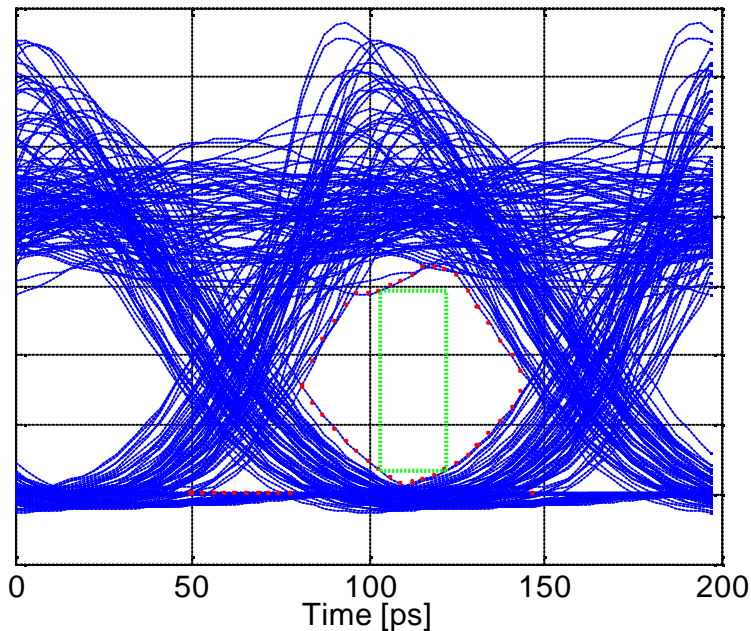
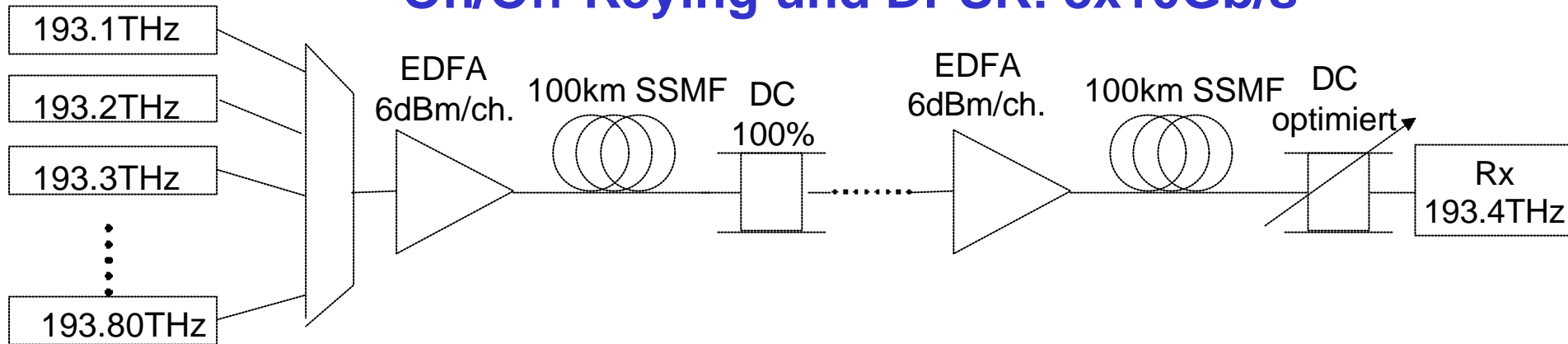


DPSK

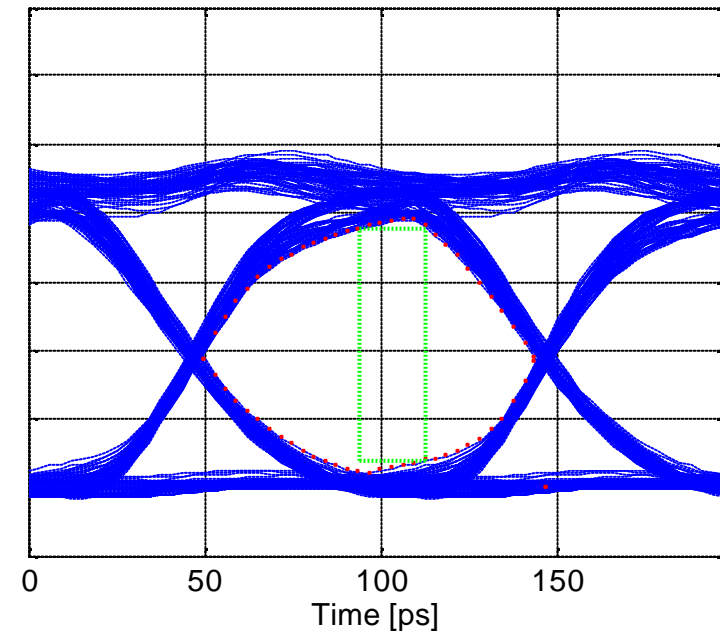
BER-Messungen bei 10Gb/s über 75km bei 15dBm: On/Off-Keying und DPSK



WDM-Untersuchungen über 1500km bei 6dBm/ch.: On/Off-Keying und DPSK: 8x10Gb/s



On/Off-Keying: letzter Span 630ps/nm unterkompensiert



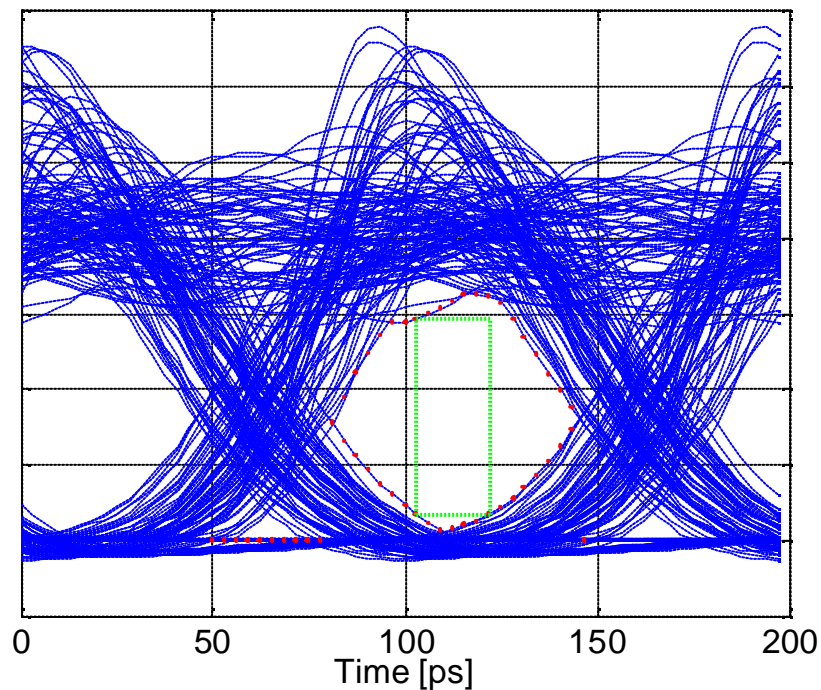
DPSK: letzter Span 100% Kompensation

WDM-Untersuchungen über 1500km bei 6dBm/ch.: On/Off-Keying (100GHz) und DPSK (50GHz)

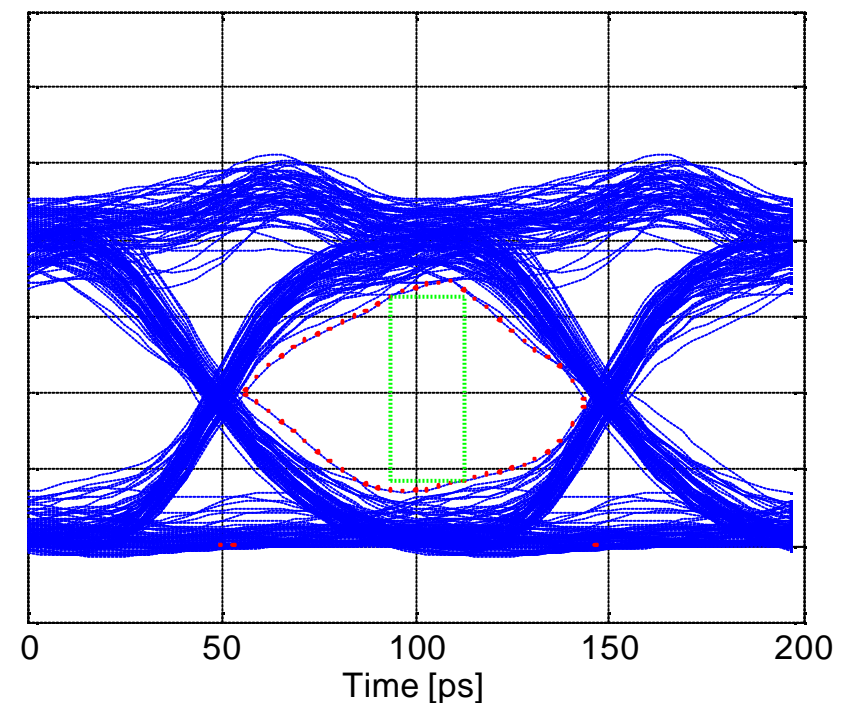
Verzerrungen aufgrund von XPM und SPM

Robustheit bei DPSK erlaubt kleineren Kanalabstand

On/Off-Keying mit 100GHz Kanalabstand



DPSK mit 50GHz Kanalabstand



Zusammenfassung

- Intensitätsschwankungen führen zu SPM und XPM
- daher Phasenumtastung mit konstanter Einhüllender anstatt On/Off-Keying
- Veränderung am Sender und Empfänger:
 - Mach-Zehnder Modulator mit veränderter Ansteuerung
 - zusätzliches optisches delay&add-Filter vor der Photodiode
- 10Gb/s Messungen: DPSK robuster gegenüber SPM als On/Off-Keying
- Langstrecken-WDM: DPSK toleranter gegenüber SPM und XPM
 - daher kleinerer Kanalabstand oder weitere Übertragung möglich