
Simulativer und experimenteller Vergleich von interferenzfesten und bandbreiteneffizienten Modulationsformaten in WDM-Umgebung

Christoph Wree, Maike Wichers, Torsten Wuth,
Jochen Leibrich, Werner Rosenkranz

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

Ziele in der optischen Weitverkehrsübertragung:

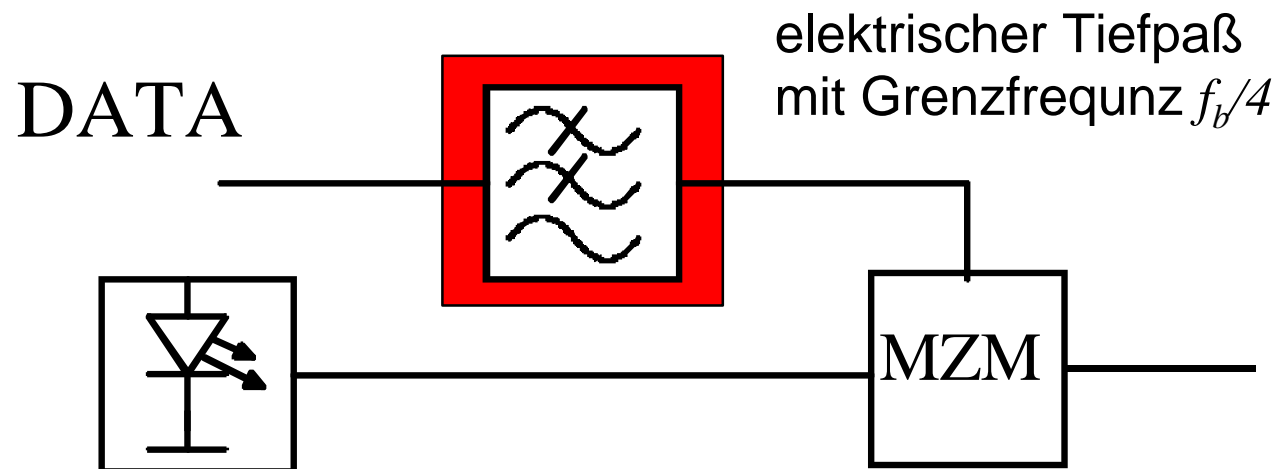
- Steigerung des Datendurchsatzes (engerer Kanalabstand)
- Erhöhung der optisch-transparenten Länge
 - ➔ steigender Einfluß von nichtlinearen Interferenzerscheinungen

bandbreiteneffiziente und interferenzfeste Modulationsformate ermöglichen:

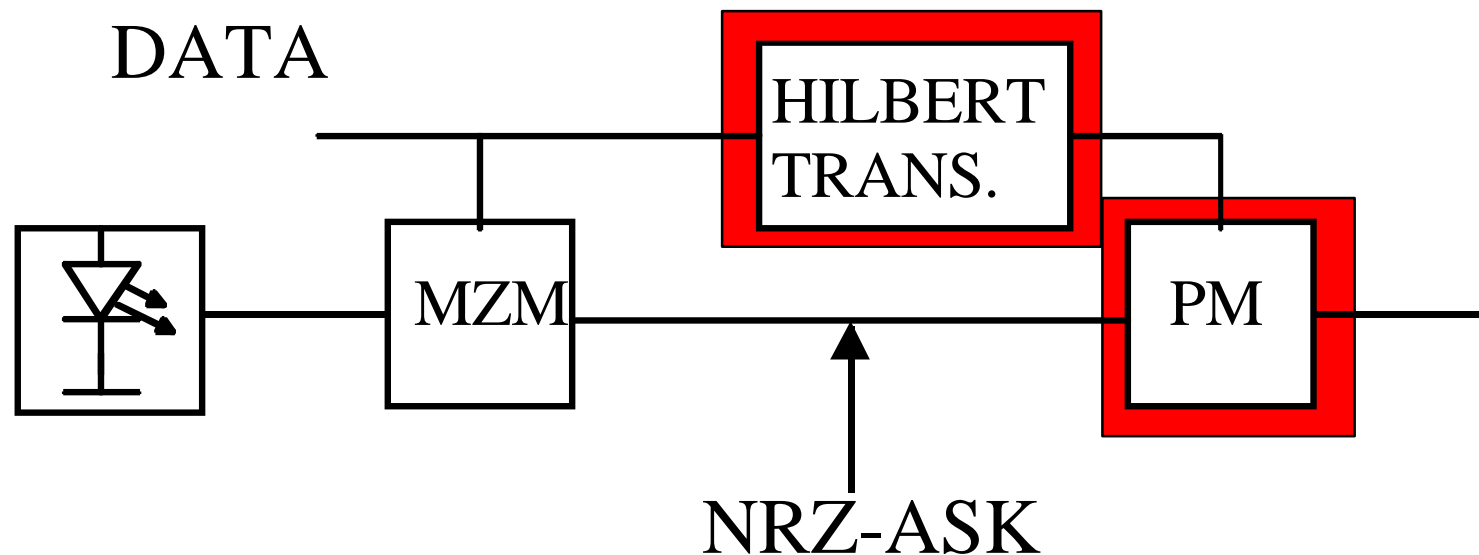
- höhere spektrale Effizienz
- Steigerung der optisch-transparenten Länge

- bandbreiteeffizienten Modulationsverfahren
 - Duobinärmodulation (DB)
 - Einseitenbandmodulation (SSB)
 - differentielle vierstufige Phasenmodulation (DQPSK)
- simulativer Vergleich in WDM-Umgebung hinsichtlich linearer und nichtlinearer Interferenzfestigkeit
 - lineares Übersprechen (lin. Xtalk)
 - Selbstphasenmodulation (SPM)
 - Kreuzphasenmodulation (XPM)
 - Vierwellenmischung (FWM)
- Erstellung von WDM-Meßaufbau
- Vergleich ausgewählter Formate im Meßaufbau
- Zusammenfassung

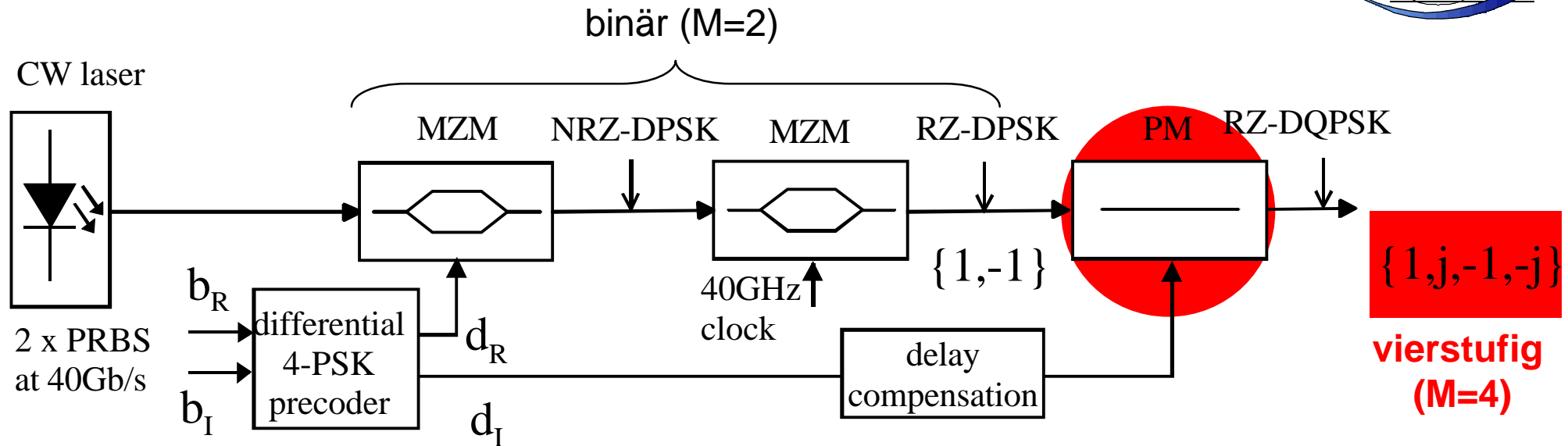
- erfordert:
 - differentielle zweistufige Vorcodierung
 - Tiefpaßfilterung des elektrischen Datenstrom (Grenzfrequenz: Viertel der Datenrate)
- Nutzen:
 - annähernde Halbierung des Datenspektrums



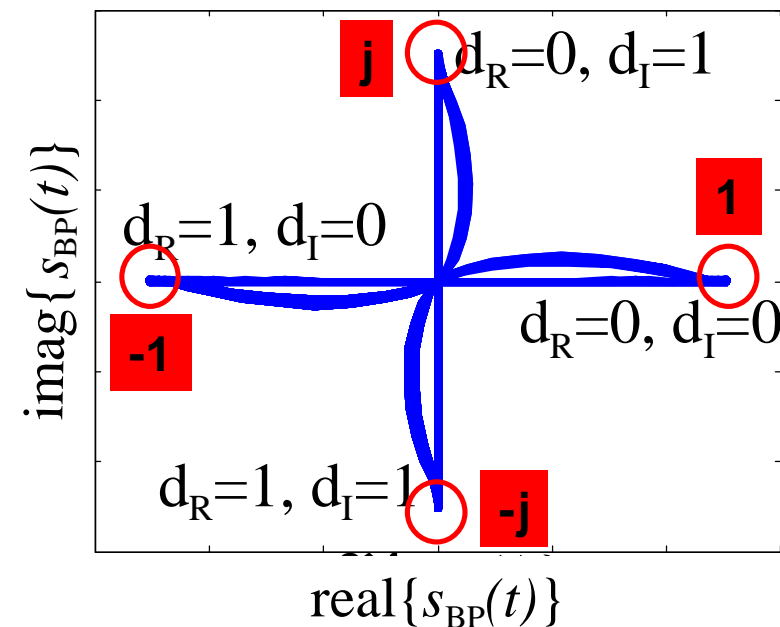
- erfordert: (in der hier gewählten Realisierung)
 - zusätzlichen Phasenmodulator
 - elektrischen Hilberttransformator
- Nutzen:
 - annähernde Halbierung des Spektrums durch Unterdrückung eines Seitenbandes



differentielle vierstufige Phasenmodulation (Sender)



Signal in komplexer Zahlenebene

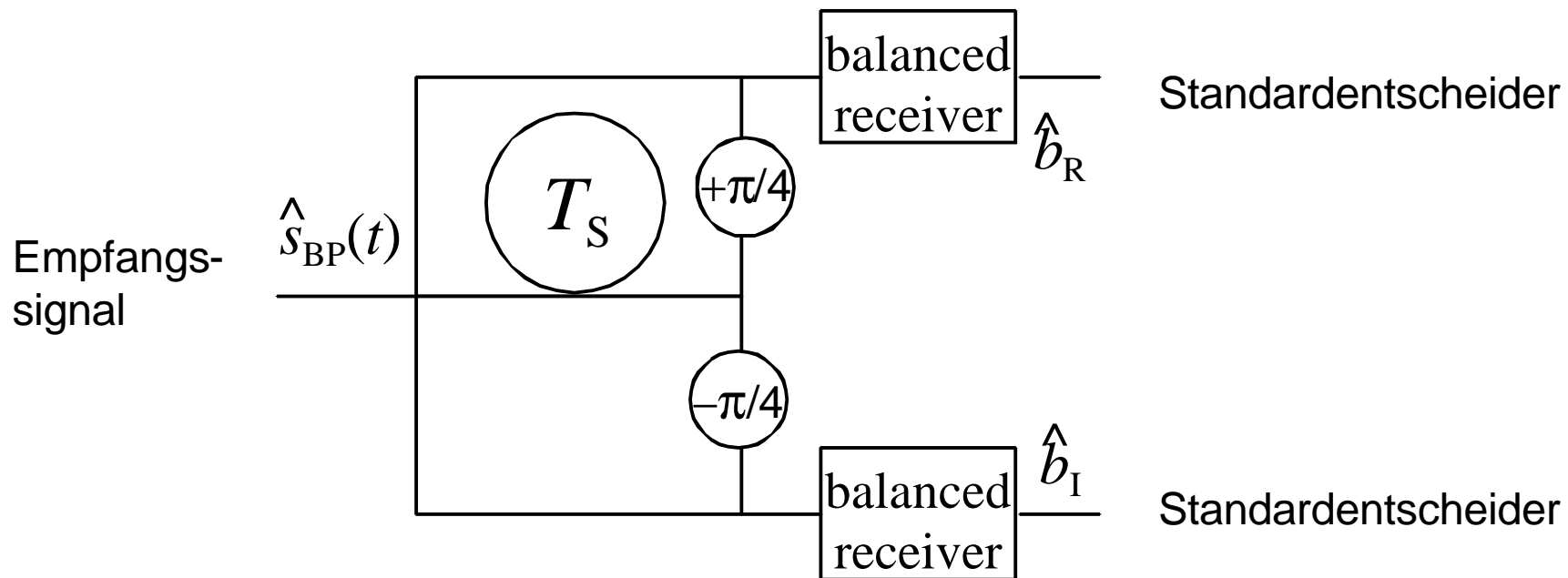


Phasenmodulator (PM) mit Phasendrehung 90° ($d_I=1$) oder 0° ($d_I=0$) erzeugt vier Symbole

durch RZ-Modulation unempfindlicher gegenüber nichtlinearen Effekten

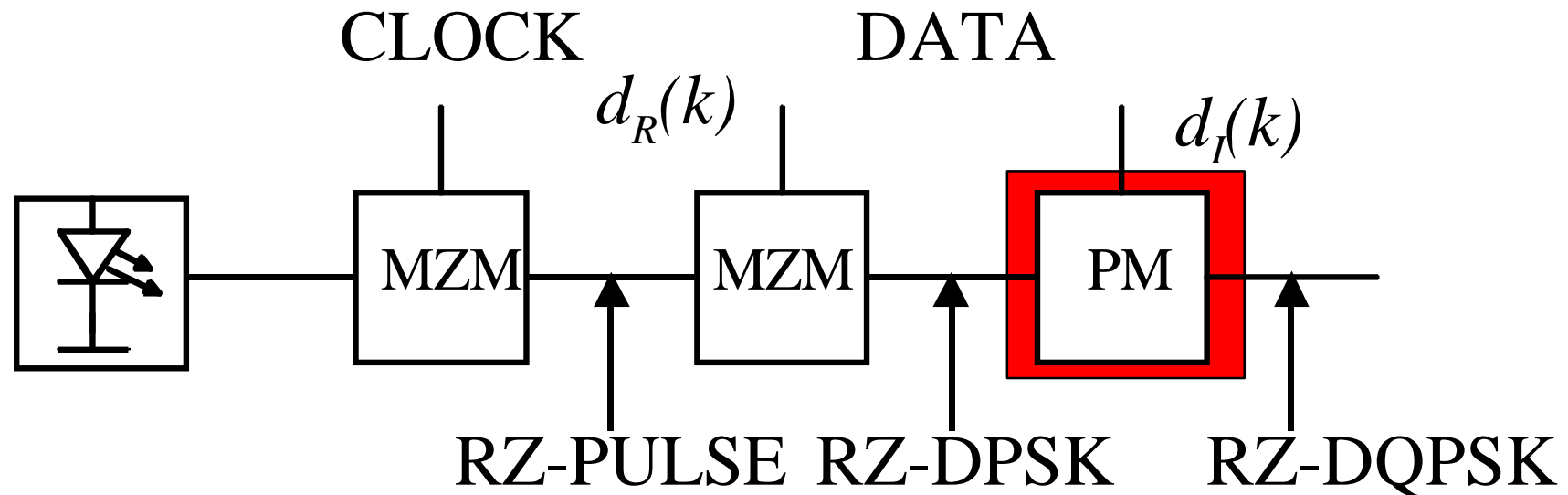
elektronische Komponenten operieren auf Symbolrate, die halb so hoch wie Datenrate

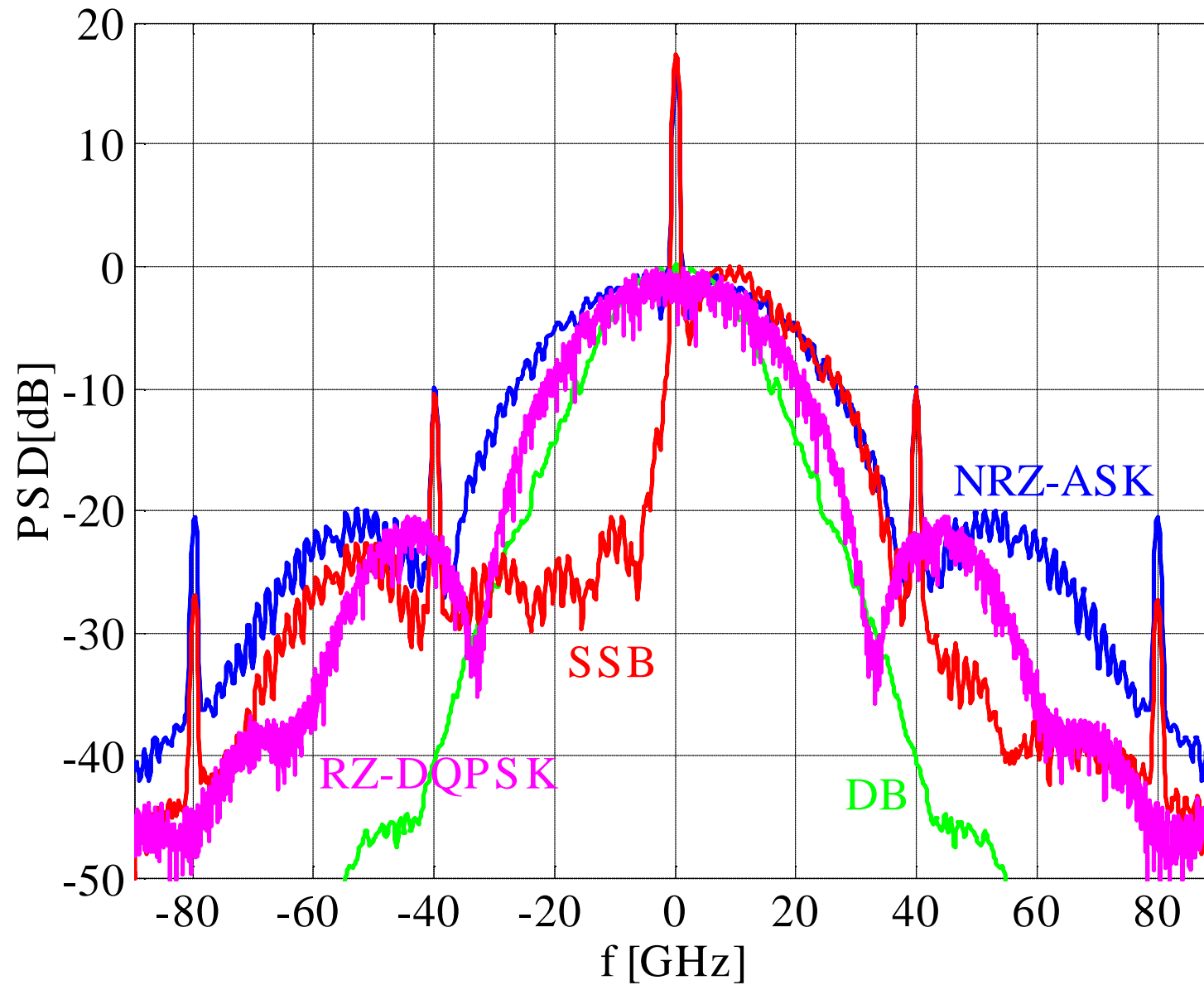
- autokorrelierender DQPSK Empfänger erlaubt die Detektion ohne Lokaloszillator
➔ keine Synchronisation notwendig
- DQPSK Empfänger realisiert durch Mach-Zehnder Interferometer gefolgt von Standard-Photodiode oder bipolarem Empfänger (balanced receiver: zwei Photodioden mit Differenzverstärker)



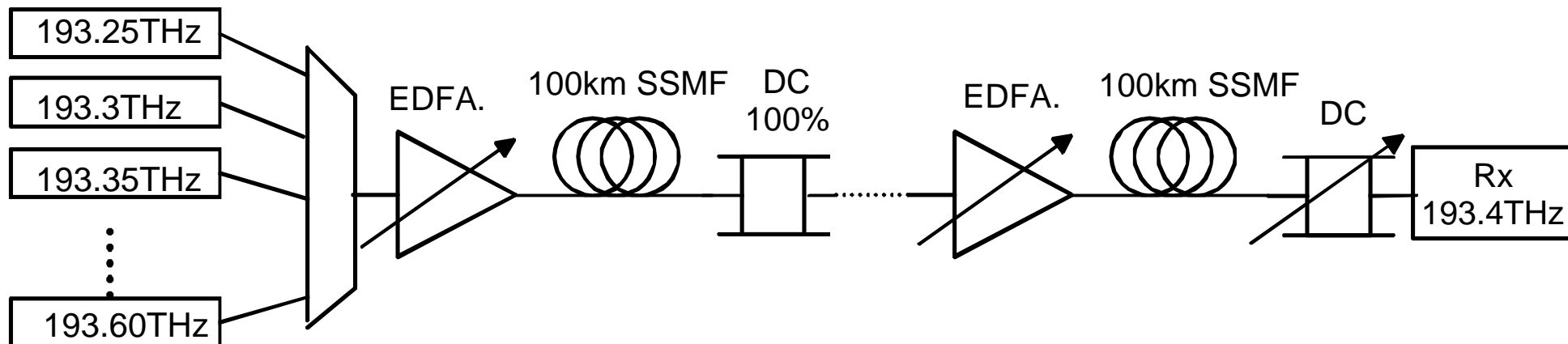
- um Original-Datenströme b_R , b_I zu empfangen, wird differentieller vierstufiger Vorcodierer benötigt

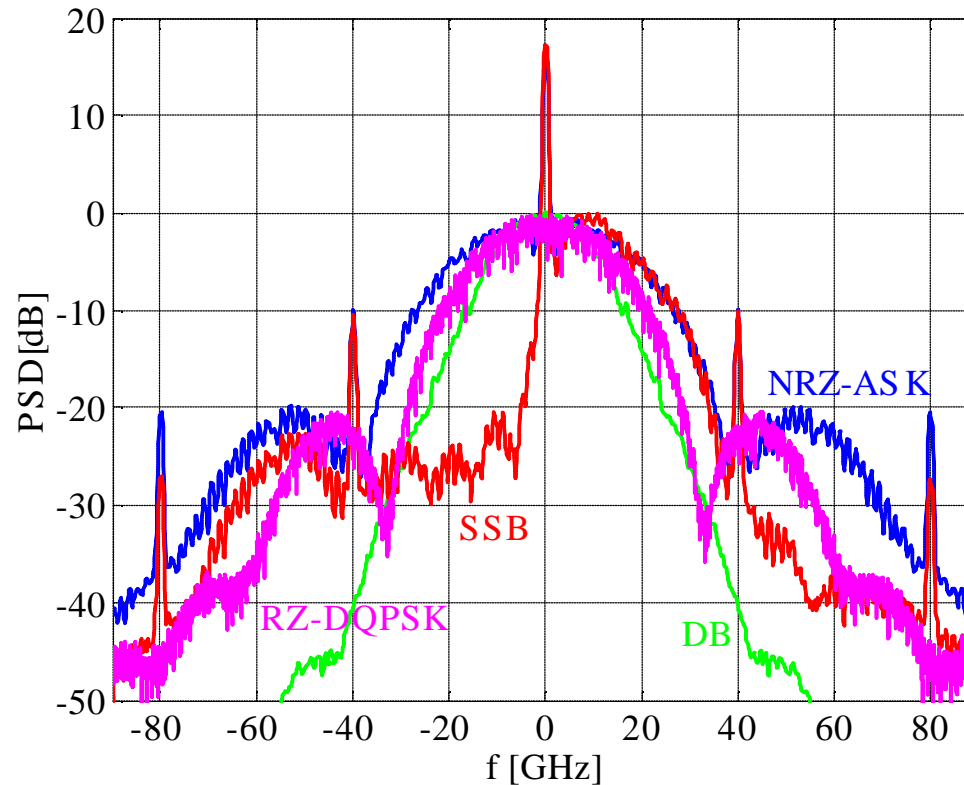
- erfordert:
 - differentielle vierstufige Vorcodierung
 - zusätzlichen Phasenmodulator
 - optisches Mach-Zehnder-Interferometer vor Photodiode zur Demodulation
- Nutzen:
 - Vierstufenverfahren mit hoher spektraler Effizienz





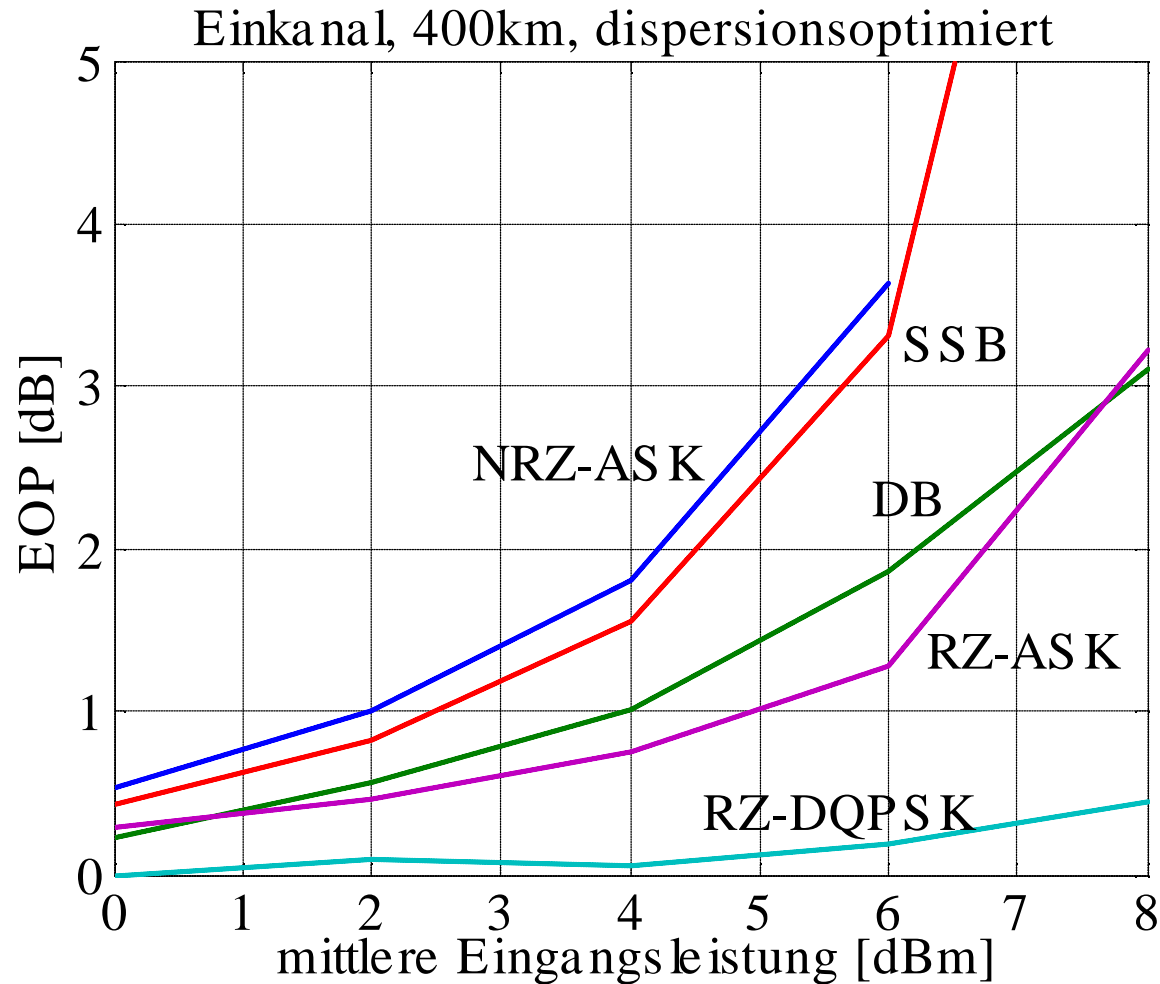
- Untersuchung im Einkanalsystem
 - Dispersionstoleranz
 - Einfluß von Selbstphasenmodulation
- Untersuchung im Mehrkanalsystem bei halbierten (50GHz) Kanalabstand
 - kombinierter Einfluß von linearem und nichtlinearen Effekten
 - getrennter Einfluß der begrenzenden Effekte
 - lineares Übersprechen (lin. Xtalk)
 - Selbstphasenmodulation (SPM)
 - Kreuzphasenmodulation (XPM)
 - Vierwellenmischung (FWM)





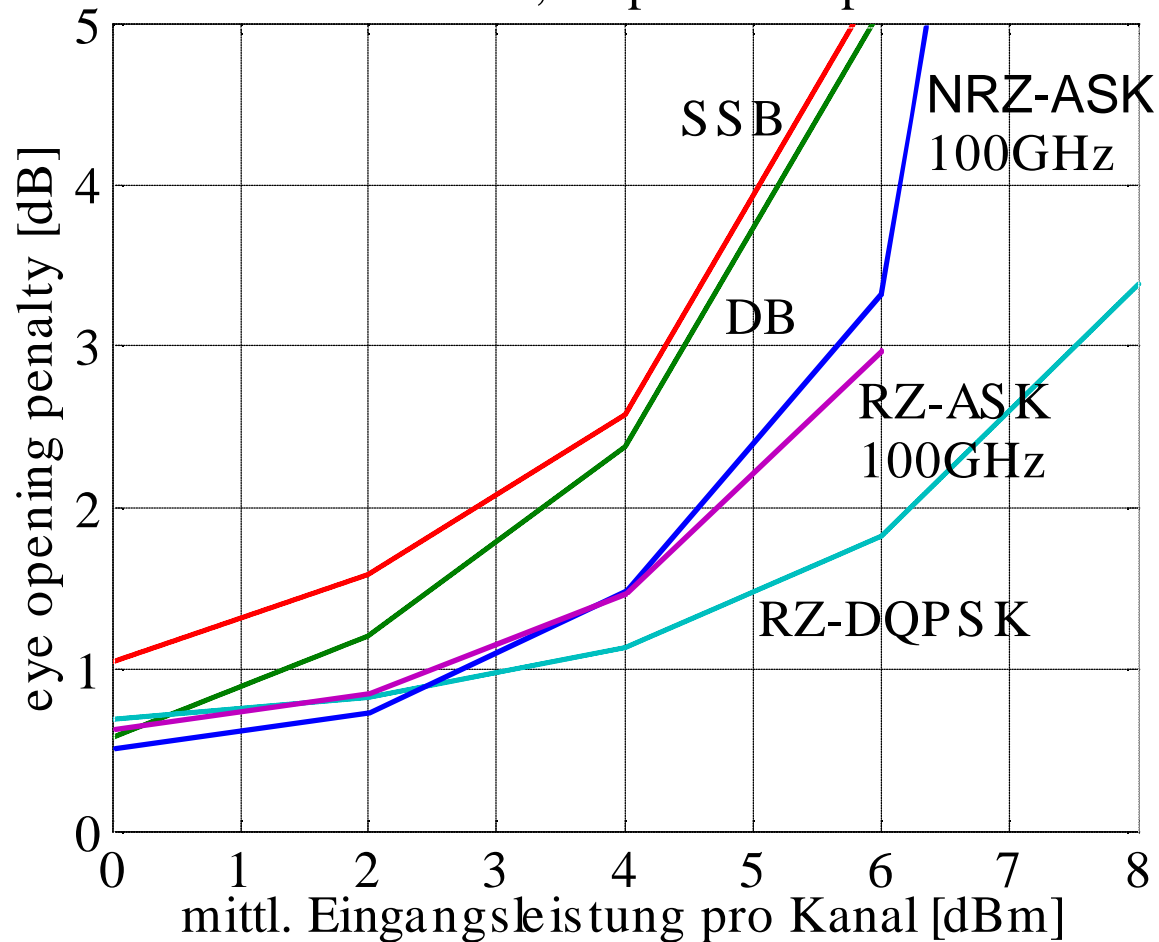
Dispersionstoleranz (eye opening penalty < 3dB)
nach 4x100km bei 0dBm Eingangsleistung

	DB	RZ-DQPSK	SSB	NRZ-ASK
Dispersions- toleranz	480ps/nm	440ps/nm	300ps/nm	190ps/nm

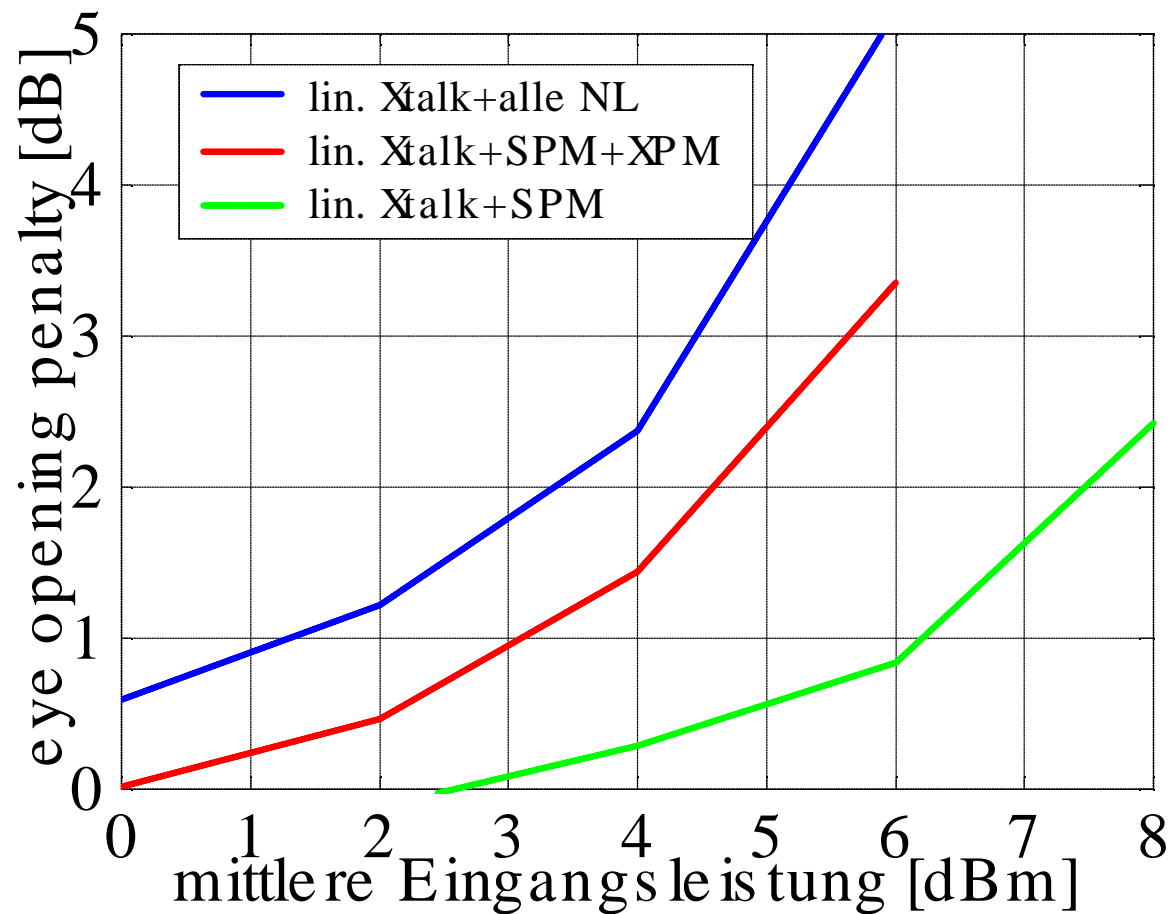


	DB	RZ-DQPSK	SSB	NRZ-ASK	RZ-ASK
Eingangslstg. bei EOP=2dB	6,2dBm	>8dBm	4,5dBm	4,2dBm	6,7dBm

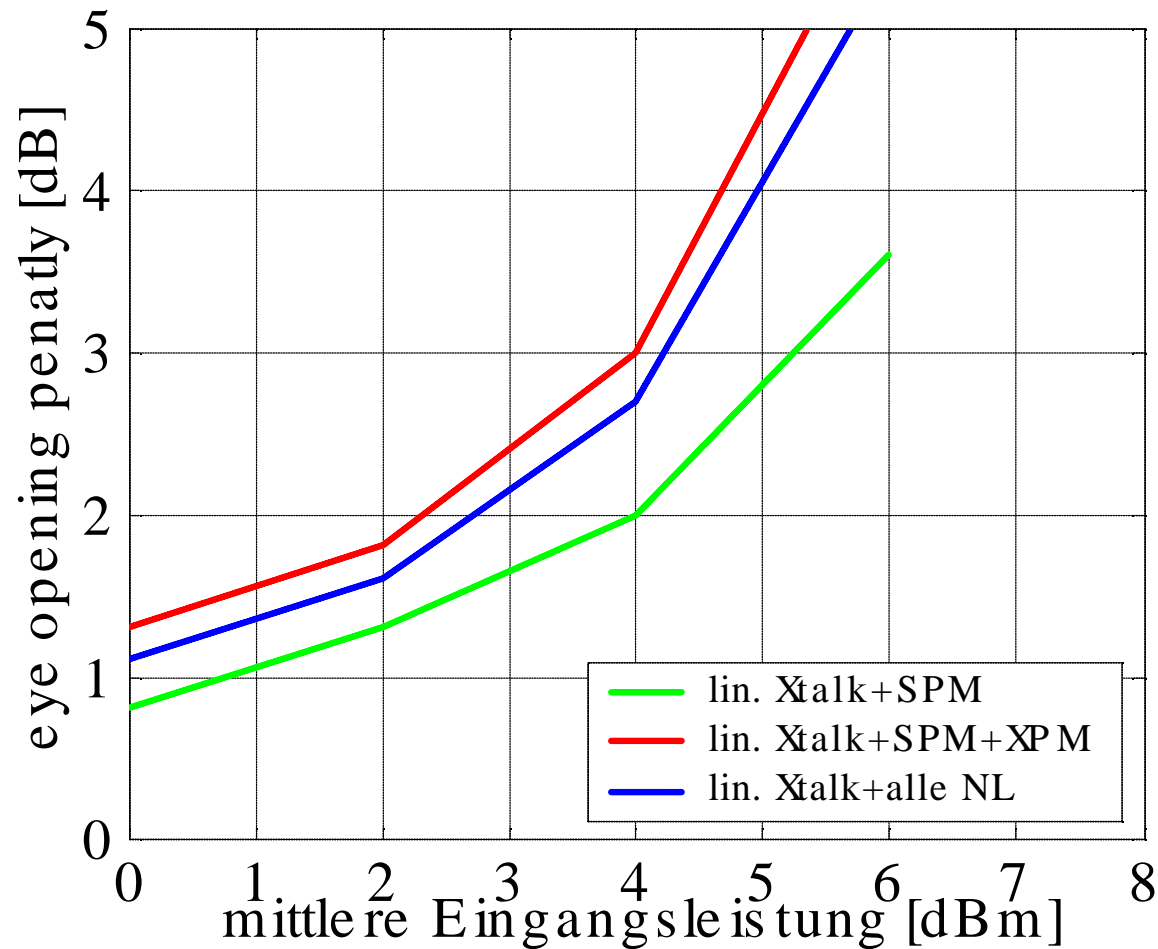
WDM 50GHz, dispersionsoptimiert



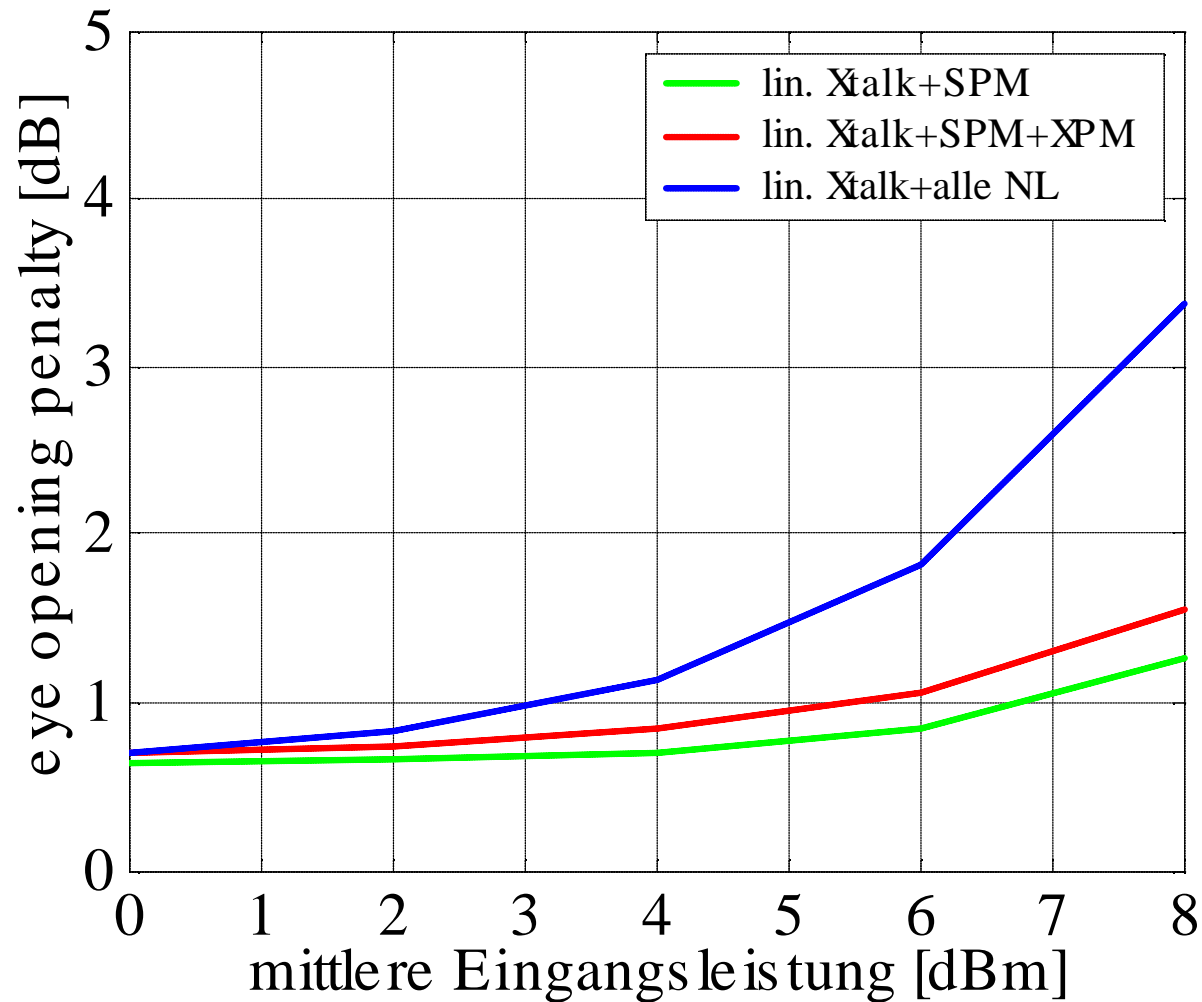
	DB	RZ-DQPSK	SSB
Eingangslstg. bei EOP=2dB	3,3dBm	6,3dBm	2,8dBm



- stärkster Einfluß durch XPM
- moderater Einfluß durch SPM und FWM



- stärkster Einfluß durch SPM und linearem Xtalk
- sehr geringer Einfluß durch FWM

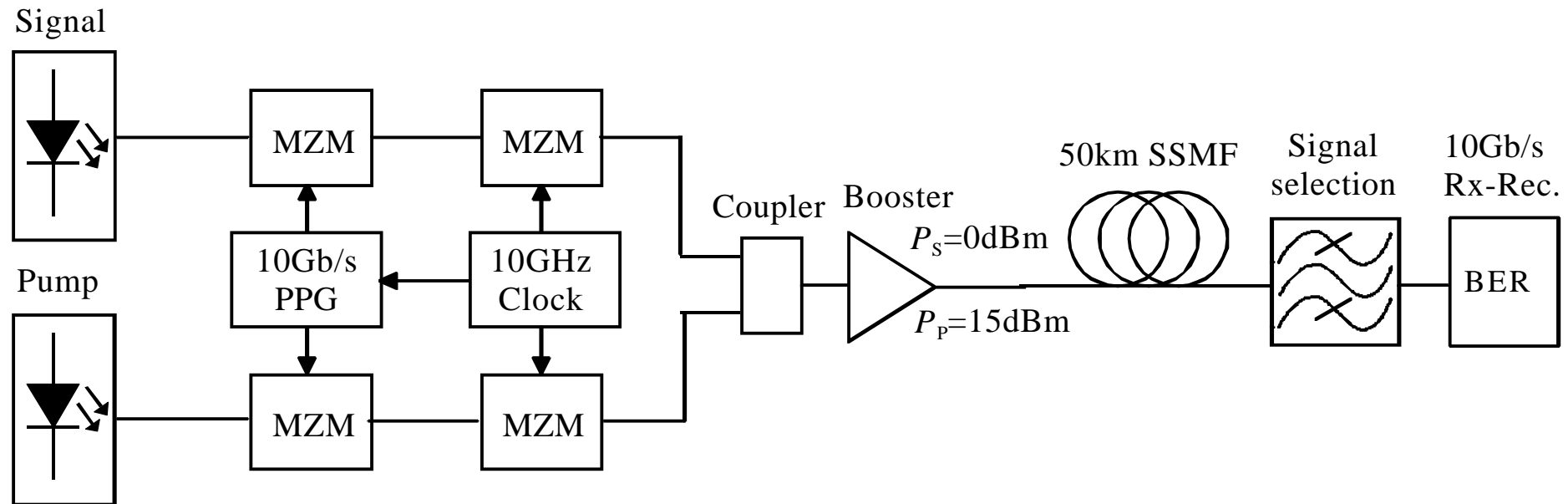


- stärkster Einfluß durch FWM und linearem Xtalk
- sehr geringer Einfluß durch SPM und XPM

experimenteller 2x10Gb/s WDM-Aufbau zur Messung des XPM-Einflusses

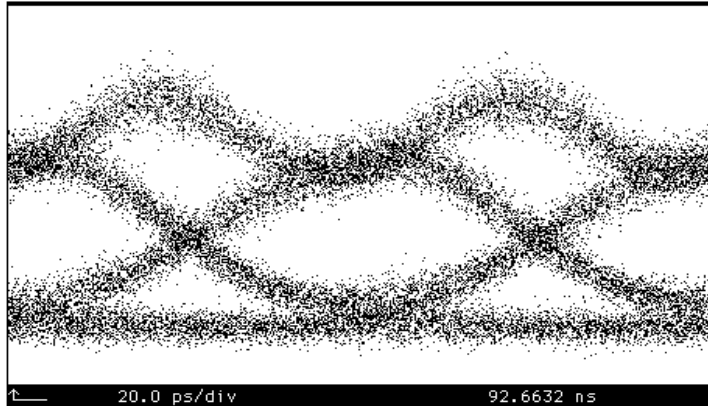


2x10Gb/s, $P_s=0\text{dBm}$ and $P_p=15\text{dBm}$, Kanalabstand 40GHz über 50km SSMF

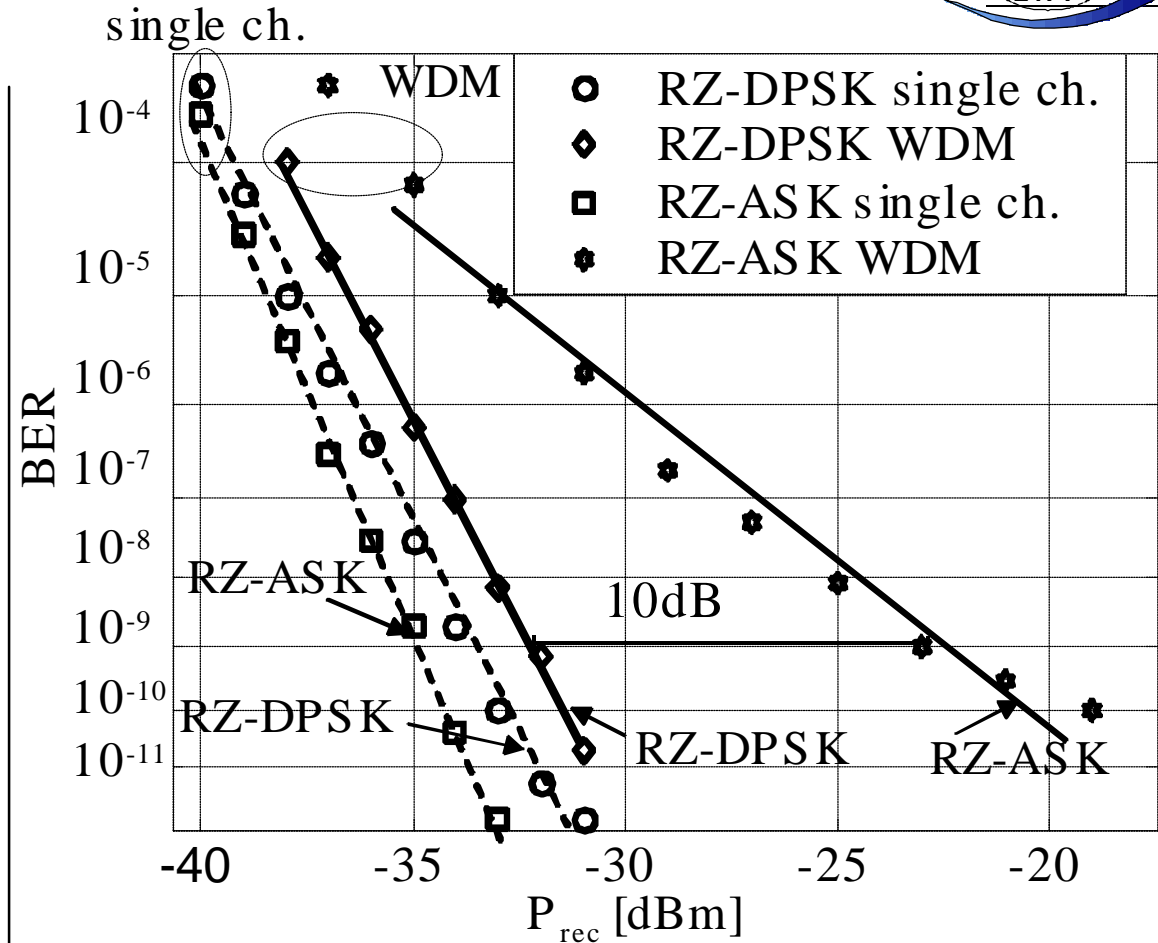
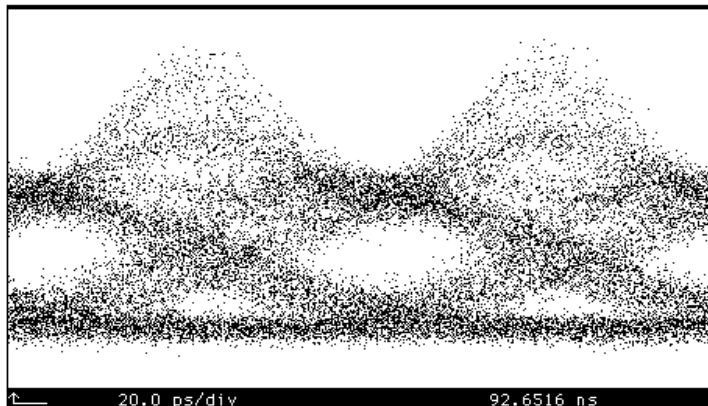


- Übertragung wird ausschließlich durch XPM begrenzt
- SPM und FWM vernachlässigbar, weil $P_s=0\text{dBm}$

Augendiagramm für RZ-DPSK



Augendiagramm für RZ-ASK



über 50km unkompensierte SSMF mit $Df=40\text{GHz}$

- XPM verursachtes **power penalty** für 2x10Gb/s
- **10dB für RZ-ASK** verglichen mit RZ-DPSK

- Duobinär-, Einseitenband und vierstufige Phasenmodulation erzielen mindestens $0,8\text{b/s/Hz}$ (40Gb/s bei 50GHz Kanalabstand möglich)
- alle Modulationsverfahren kompatibel zum Direktempfang
- Phasenmodulation am robustesten gegenüber nichtlinearem Interferenzerscheinungen (insbesondere gegenüber SPM, XPM)
- Einfluß der verschiedenen nichtlinearen Effekte sehr unterschiedlich für Duobinär-, Einseitenband- und Phasenmodulation
- erste Messungen im 2-Kanal-WDM-System bestätigen robustes Verhalten der zweistufigen Phasenmodulation gegenüber XPM