

# Untersuchung der Dispersionstoleranz für den nichtlinearen optischen Kanal in gemischt-modulierten WDM-Systemen

Christina Hebebrand, Werner Rosenkranz  
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Lehrstuhl für Nachrichten- und Übertragungstechnik  
Kaiserstrasse 2, D-24143 Kiel  
Tel.: +49 431 880 6304, Fax: +49 431 880 6303, Email: [ch@tf.uni-kiel.de](mailto:ch@tf.uni-kiel.de)

## Einleitung

Die Aufrüstung bestehender Systeme mit robusteren Modulationsformaten kann aus Kostengründen nur Kanal für Kanal erfolgen. Daher werden in diesem Beitrag WDM-Systeme untersucht, die mit verschiedenen Modulationsformaten wie ASK-NRZ, DPSK-RZ und DQPSK-RZ betrieben werden. Dazu wird im ersten Teil für ein WDM-System, welches nur mit einem der Modulationsformate betrieben wird, die Dispersionstoleranz für den nichtlinearen Kanal betrachtet und das optimale Dispersionsschema für das jeweilige Modulationsformat bestimmt. Im zweiten Teil wird dann die Dispersionstoleranz für den nichtlinearen Kanal von einem WDM-System untersucht, welches mit ASK-NRZ und DPSK-RZ bzw. DQPSK-RZ betrieben wird. Für beide Systeme werden verschiedene Dispersionsschemata untersucht.

## Simulationsaufbau und Bestimmung der Dispersionstoleranz für den nichtlinearen Kanal

Simuliert wurde ein 5-Kanal-WDM-System mit 50 GHz Kanalabstand bei einer Datenrate von 10 Gb/s. Im Sender wurden die zu untersuchenden Modulationsformate ASK-NRZ, DPSK-RZ und DQPSK-RZ generiert. Die beiden DQPSK-RZ Kanäle wurden mit 5 Gb/s betrieben, so dass alle Modulationsformate eine Bitrate von 10 Gb/s auf dem Kanal hatten.

Für den ersten Teil wurde in allen fünf Sendern das gleiche Modulationsformat generiert, für den zweiten Teil in vier Sendern das Modulationsformat ASK-NRZ und in einem Sender das Modulationsformat DPSK-RZ bzw. DQPSK-RZ.

Das System wird durch eine variable Vor-, Inline- und Nachkompensation der Dispersion charakterisiert. Ein Span besteht aus einer 100 km langen Übertragungsfaser (SMF), einer dispersionskompensierenden Faser (DCF) variabler Länge und zwei EDFAs, die so eingestellt wurden, dass sie sämtliche Leistungsverluste auf den Fasern ausgleichen. Die Anzahl der simulierten Spans wurde variiert. Im Empfänger findet die Demodulation für DPSK-RZ und DQPSK-RZ mit Hilfe von einem Mach-Zehnder-Interferometer und Balanced Detection statt.

Im ersten Teil wird für jedes Modulationsformat die Kombination aus Vor-, Inline- und Nachkompensation mit der kleinsten Eye Opening Penalty (EOP) bestimmt, aus der sich dann das optimale Dispersionsschema für das jeweilige Modulationsformat ergibt.

Die Dispersionstoleranz für den nichtlinearen Kanal wird bestimmt, indem für jede Kombination aus Vor- und Inlinekompensation die Nachkompensation variiert wird, so dass eine Dispersionswanne entsteht. Mit Hilfe dieser Dispersionswanne kann die Dispersionstoleranz für den nichtlinearen Kanal bei einer EOP von 1 dB bestimmt werden.

## Ergebnisse und Diskussion

Im ersten Teil zeigt sich, dass in einem reinen DPSK-RZ WDM-System das Modulationsformat DPSK-RZ am robustesten gegenüber Änderungen am Dispersionsschema [1] und den nichtlinearen Effekten ist, insbesondere der Kreuzphasenmodulation (XPM), wie schon in [2] gezeigt. Ebenso zeigt sich, dass DQPSK-RZ in einem nur mit DQPSK-RZ betriebenen WDM-System deutlich robuster ist als ASK-NRZ in einem ausschließlich mit ASK-NRZ betriebenen WDM-System.

Im zweiten Teil lässt sich erkennen, dass der DPSK-RZ- bzw. DQPSK-RZ-Kanal in einem mit ASK-NRZ gemischt betriebenen WDM-System im Vergleich zum ersten Teil stark degradiert wird. Insbesondere der Einfluss der XPM auf diesen Kanal wird durch die umgebenden ASK-NRZ-Kanäle größer. Die umgebenden ASK-NRZ-Kanäle hingegen werden durch den DPSK-RZ- bzw. DQPSK-RZ-Kanal nicht gestört. Ebenso zeigt sich, dass DPSK-RZ und DQPSK-RZ in einem mit ASK-NRZ gemischt betriebenen WDM-System weniger robust gegenüber Änderungen am Dispersionsschema sind als im ersten Teil. So hat DPSK-RZ bei einer Eingangsleistung von 3 dBm und einer Übertragungslänge von 2000 km zwar eine größere maximale Dispersionstoleranz als ASK-NRZ in einem reinen ASK-NRZ WDM-System, die Dispersionstoleranz für ein ASK-NRZ optimiertes Dispersionsschema ist jedoch sehr klein. Es zeigt sich, dass die Dispersionstoleranz bei einem für ASK-NRZ optimierten Dispersionsschema für den DPSK-RZ Kanal schlechter ist als für einen ASK-NRZ-Kanal in einem rein mit ASK-NRZ betriebenen WDM-System. Der DQPSK-RZ-Kanal wird im Vergleich mit dem DPSK-RZ-Kanal stärker degradiert, man kann mit einer Dispersionstoleranz größer Null bei einer Eingangsleistung von 3 dBm nur 500 km übertragen. Die Dispersionstoleranz des DQPSK-RZ-Kanals für ein ASK-NRZ optimiertes Dispersionsschema ist ebenfalls schlechter als die eines ASK-NRZ-Kanals in einem reinen ASK-NRZ WDM-System.

## Zusammenfassung

DPSK-RZ bzw. DQPSK-RZ in einem mit ASK-NRZ gemischt betriebenen WDM-System ist anfälliger gegenüber nichtlinearen Effekten und Änderungen am Dispersionsschema als in einem reinen DPSK-RZ bzw. DQPSK-RZ WDM-System. Die Dispersionstoleranz dieses Kanals ist für ein ASK-NRZ optimiertes Dispersionsschema schlechter als für einen ASK-NRZ-Kanal in einem ausschließlich mit ASK-NRZ betriebenen WDM-System.

Es ist zu vermuten, dass mit steigendem Anteil der DPSK-RZ bzw. DQPSK-RZ Kanäle an der Gesamtanzahl der Kanäle in einem gemischt betriebenen WDM-System sich das Systemverhalten dieser Kanäle verbessert.

## Literatur

- [1] E. Corbel, G. Charlet, S. Bigo, ECOC 2004, paper 2.4.5, Stockholm, Sweden
- [2] J. Leibrich, C. Wree, W. Rosenkranz, APOC 2002, Proceedings of SPIE, 14-18.10.2002, paper 4906-01