

Inhaltsverzeichnis

1 Einführung	1
1.1 Beschreibung der Problemstellung	2
1.1.1 Optische Mehrkanal-PMD-Kompensation	5
1.1.2 PMD-Messung im Betrieb	5
1.1.3 Elektronische PMD-Kompensation nach kohärentem Empfänger	6
1.2 Kapitelübersicht	7
2 Theorie	9
2.1 Glasfasern	9
2.2 Elektromagnetische Wellen auf Glasfasern	11
2.3 Polarisation	14
2.3.1 Jones-Vektoren	15
2.3.2 Stokes-Vektoren	17
2.3.3 Projektion des Polarisationszustands auf die Poincaré Kugel	18
2.3.4 Übertragungsmatrizen	20
2.4 Ausbreitungseffekte	23
2.4.1 Chromatische Dispersion	24
2.4.2 Nichtlineare Effekte	26
2.4.3 Intrinsische Doppelbrechung	27
2.5 Modenkopplung	32
2.5.1 Mehrwegeausbreitung durch PMD	33
2.5.2 Polarisationshauptzustände und PMD Vektoren	34
2.5.3 PMD Vektoren höherer Ordnung	37
2.5.4 Infinitesimale Rotation des SOP durch einen PMD Vektor	38
2.5.5 Verkettung von PMD Vektoren	41

2.5.6 Statistische Betrachtung der PMD	42
2.5.7 Das Waveplate - Fasermodell	44
2.5.8 Autokorrelationsbandbreite der PSP	46
3 PMD in Systemen und numerische Modelle	47
3.1 Modellierung digitaler Signale	47
3.1.1 Optische Modulationsformate	48
3.1.2 Signalübertragung über PMD behaftete Fasern	53
3.2 Wellenlängen-Multiplex Übertragung	54
3.3 Rauschen	58
3.3.1 Bewertungskriterien	64
3.4 Numerische Simulation	69
3.4.1 Monte Carlo Simulation	70
3.4.2 Importance Sampling	71
3.4.3 Importance Sampling zur Generierung des Plättchenmodells	74
3.4.4 Verwendete Simulationsumgebung und -parameter	77
4 Messung der PMD	79
4.1 Messung der differentiellen Gruppenlaufzeit	81
4.1.1 Meßverfahren	82
4.2 Messung des PMD-Vektors	88
4.2.1 Messungen im Frequenzbereich	88
4.2.2 Messungen im Zeitbereich	93
4.3 Messung auf datenführenden Fasern	96
4.3.1 Messung der DGD	97
4.3.2 Messung des PMD-Vektors im Frequenzbereich	97
4.3.3 Messung des PMD-Vektors im Zeitbereich	99
4.4 Vergleich der Meßverfahren	108
5 Kompensation der PMD	113
5.1 Optische Kompensatoren	115
5.1.1 PMD Kompensatoren mit maximal vier Freiheitsgraden	116
5.1.2 PMD Kompensatoren mit mindestens fünf Freiheitsgraden	120
5.1.3 Mit bekanntem $\hat{\tau}$ eingestellter Kompensator	123
5.1.4 Mit gemessenem $\hat{\tau}$ gestellter Kompensator	128

5.2	Elektrische Kompensation nach kohärentem Empfang	131
5.2.1	Kohärenter Empfänger mit Signalverarbeitung	132
5.2.2	Breitbandiger PMD Kompensator	136
5.2.3	PMD Kompensation durch FIR Filter	138
5.2.4	PMD Kompensation durch digitale Signalverarbeitung	144
5.3	Vergleich optischer und elektrischer Kompensation	150
6	Zusammenfassung und Ausblick	153
6.1	Zusammenfassung	153
6.2	Ausblick	155
A	Eigenwertgleichung der PSPs	159
B	Herleitung der Maxwell-Boltzmann-Verteilung	163
C	Berechnung der Zeitdifferenz im PolDiv-Empfänger	165
D	Weitere Herleitungen und Beweise	169
D.1	Beweis der Gleichung 2.55	169
E	Tabellen	171