

# Inhaltsverzeichnis

---

## Vorwort

<b>1</b>	<b>Vom Klassischen Wellenlängenmultiplex zum Dichten Wellenlängenmultiplex</b> .....	<b>1</b>
1.1	Einleitung.....	1
1.2	Klassisches Wellenlängenmultiplex .....	1
1.3	Dichtes Wellenlängenmultiplex .....	3
1.3.1	Wege zur Erhöhung der Übertragungskapazität.....	3
1.3.2	Struktur des Wellenlängenmultiplex-Systems .....	5
1.3.3	Bandbreite und Wellenlänge .....	7
1.3.4	Genormte Zentralfrequenzen .....	10
1.4	Zusammenfassung.....	12
1.5	Literatur .....	12
<b>2</b>	<b>Komponenten in DWDM-Systemen</b> .....	<b>13</b>
2.1	Steckverbinder .....	13
2.1.1	Einleitung.....	13
2.1.2	Wirkung von Reflexionen und deren Reduzierung.....	13
2.1.3	Steckerstirnflächengeometrien.....	14
2.1.4	High-Power-Stecker.....	18
2.1.5	Zusammenfassung.....	19
2.2	Spleiße .....	19
2.2.1	Einleitung.....	19
2.2.2	Parameter unterschiedlicher Singlemode-LWL.....	20
2.2.3	Reflexionen bei Kopplung unterschiedlicher Lichtwellenleiter.....	21
2.2.4	Dämpfungen bei Kopplung unterschiedlicher Lichtwellenleiter .....	21
2.2.5	Stufen im Rückstreudiagramm .....	23
2.2.6	Spleißen von RC-Fasern.....	25
2.2.7	Zusammenfassung.....	26
2.3	Laserdioden.....	26
2.3.1	Einleitung.....	26
2.3.2	Aufbau der Laserdiode .....	27
2.3.3	Wellenlängenraster im DWDM-System.....	29
2.3.4	Zusammenfassung.....	31
2.4	Optische Empfänger.....	32
2.5	Lichtwellenleiter.....	33
2.5.1	Einleitung.....	33
2.5.2	Standard-Singlemode-Lichtwellenleiter.....	33
2.5.3	Dispersionsverschobener Lichtwellenleiter .....	35

2.5.4	Vierwellenmischung.....	35
2.5.5	Weitere nichtlineare Effekte .....	39
2.5.6	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter .....	40
2.5.7	Low-Water-Peak-Lichtwellenleiter.....	47
2.5.8	Zusammenfassung.....	48
2.6	Optische Verstärker.....	49
2.6.1	Einleitung.....	49
2.6.2	Notwendigkeit des Einsatzes optischer Verstärker .....	49
2.6.3	Faserverstärker .....	51
2.6.4	Wellenleiterverstärker.....	55
2.6.5	Raman-Verstärker .....	55
2.6.6	Der Halbleiterverstärker.....	60
2.6.7	Einsatzfälle für optische Verstärker.....	61
2.6.8	Genormte Streckenlängen .....	63
2.6.9	Trends der optischen Verstärkertechnologien.....	64
2.6.10	Zusammenfassung.....	67
2.7	Nichtreziproke Bauelemente .....	67
2.7.1	Einleitung.....	67
2.7.2	Optischer Isolator .....	68
2.7.3	Optischer Zirkulator .....	69
2.7.4	Zusammenfassung.....	71
2.8	Koppler.....	71
2.8.1	Einleitung.....	71
2.8.2	Definitionen .....	72
2.8.3	Herstellung von Singlemode-Schmelzkopplern.....	73
2.8.4	Typen von Schmelzkopplern .....	75
2.8.5	Schmelzkoppler für die verschiedensten Einsatzfälle .....	79
2.8.6	Integriert-optische Verzweigerkomponenten.....	80
2.8.7	Zusammenfassung.....	81
2.9	Multiplexer und Demultiplexer .....	81
2.9.1	Einleitung.....	81
2.9.2	Faser-Bragg-Gitter .....	82
2.9.3	Arrayed Waveguide Gratings.....	84
2.9.4	Eigenschaften von Multiplexern/Demultiplexern .....	86
2.9.5	Realisierung von DWDM-Multiplexern/Demultiplexern in Standard-Gehäusen zum nachträglichen Einbau.....	87
2.9.6	Zusammenfassung.....	89
2.10	Weitere Komponenten.....	89
2.10.1	Einleitung.....	89
2.10.2	Optische Dämpfungsglieder.....	89
2.10.3	Add/Drop-Multiplexer .....	90
2.10.4	Interleaver .....	91
2.10.5	Optische Cross-Connects .....	92
2.10.6	Externe Modulatoren.....	93
2.10.7	Wavelength-Locker .....	94
2.10.8	Polarisationszustand beeinflussende Bauelemente.....	95
2.10.9	Zusammenfassung.....	97
2.11	Literatur .....	97

<b>3</b>	<b>Dispersion im Singlemode-Lichtwellenleiter</b> .....	99
3.1	Physikalische Grundlagen.....	99
3.2	Chromatische Dispersion .....	101
3.2.1	Einleitung.....	101
3.2.2	Wellenleiterdispersion .....	101
3.2.3	Materialdispersion .....	102
3.2.4	Längenbegrenzungen infolge chromatischer Dispersion .....	104
3.2.5	Dispersionskompensation .....	108
3.2.6	Zusammenfassung.....	119
3.3	Polarisationsmodendispersion .....	120
3.3.1	Einleitung.....	120
3.3.2	Polarisation des Lichts und ihre Beschreibung .....	121
3.3.3	PMD-Effekt.....	125
3.3.4	Statistischer Charakter der Polarisationsmodendispersion.....	127
3.3.5	Polarisationsmodendispersion in alten und modernen Lichtwellenleitern .....	130
3.3.6	Polarisationsmodendispersion auf langen LWL-Strecken.....	132
3.3.7	Polarisationsmodendispersion optischer Bauelemente .....	134
3.3.8	Polarisationsmodendispersion bei 40 Gbit/s und PMD-Kompensation.....	135
3.3.9	Zusammenfassung.....	136
3.4	Literatur .....	137
<b>4</b>	<b>Messtechnik</b> .....	138
4.1	Messungen an DWDM-Systemen.....	138
4.1.1	Modifikation der herkömmlichen Messungen.....	138
4.1.2	Typische Messungen an DWDM-Systemen .....	140
4.2	Spektrale Messungen .....	142
4.2.1	Einleitung.....	142
4.2.2	Verfahren zur optischen Spektralanalyse.....	145
4.2.3	Messtechnik zur optischen Spektralanalyse .....	149
4.2.4	Zusammenfassung.....	153
4.3	Messung der chromatischen Dispersion .....	153
4.3.1	Einleitung.....	153
4.3.2	Impulsverzögerungs-Methode (time-of-flight) .....	154
4.3.3	Phasenverschiebungs-Methode.....	159
4.3.4	Differentielle Phasenverschiebungs-Methode.....	160
4.3.5	Zusammenfassung.....	161
4.4	Messung der Polarisationsmodendispersion .....	161
4.4.1	Einleitung.....	161
4.4.2	Methoden zur PMD-Messung.....	162
4.4.3	Interferometrische Methode .....	163
4.4.4	Fixed-Analyser-Methode .....	168
4.4.5	Zusammenfassung.....	171
4.5	Bitfehlerraten-Messung .....	171
4.6	Q-Faktor-Messung .....	173
4.6.1	Einleitung.....	173
4.6.2	Asynchrone Methode .....	175
4.6.3	Synchrone Methode .....	178
4.6.4	Zusammenfassung.....	178

4.7	Universelle Messlösungen .....	178
4.8	Literatur .....	180
<b>5</b>	<b>40 Gbit/s-Technologie</b> .....	<b>181</b>
5.1	Einleitung.....	181
5.2	Technologische Herausforderungen .....	182
5.3	Literatur .....	184
<b>6</b>	<b>Trends</b> .....	<b>185</b>
6.1	Grobes Wellenlängenmultiplex .....	185
6.2	Solitonen .....	189
6.3	Komponenten .....	194
6.4	Erhöhung der spektralen Effektivität .....	197
6.5	Hinweise zum Aufbau moderner Netze.....	199
6.6	Planung und Installation im Bereich von Rechenzentren.....	201
6.7	Ausblick.....	202
6.8	Literatur .....	205
<b>7</b>	<b>Standardisierung</b> .....	<b>207</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>211</b>
8.1	Abkürzungen .....	211
8.2	Formelzeichen und Maßeinheiten .....	214
8.3	Fachbegriffe .....	215
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	<b>226</b>