

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	
1	Vom Klassischen Wellenlängenmultiplex zum Dichten Wellenlängenmultiplex 1
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
2	Komponenten in DWDM-Systemen 13
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

3	Dispersion im Singlemode-Lichtwellenleiter	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
4	Messtechnik	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
5	40 Gbit/s-Technologie	181
5.1	Einleitung.....	181
5.2	Technologische Herausforderungen	182
5.3	Literatur	184
6	Trends	185
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
7	Standardisierung	207
8	Anhang	211
8.1	Abkürzungen	211
8.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	214
8.3	Fachbegriffe	215
	Stichwortverzeichnis	226