

Inhalt

1	Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	11
1.1	Physikalische Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	11
1.1.1	Prinzip der optischen Informationsübertragung	12
1.1.2	Vor- und Nachteile der LWL-Übertragung	13
1.1.3	Elektromagnetisches Spektrum	15
1.1.4	Signalausbreitung im Lichtwellenleiter	17
1.1.5	Dämpfung im Lichtwellenleiter	20
1.1.6	Zusammenfassung	27
1.2	Lichtwellenleiter-Typen und Dispersion	28
1.2.1	Stufenprofil-Lichtwellenleiter und Modendispersion	28
1.2.2	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter und Profildispersion	33
1.2.3	Vergrößerung Bandbreite-Längen-Produkt	39
1.2.4	Biegeunempfindliche Multimode-LWL	45
1.2.5	Standard-Singlemode-LWL und chromatische Dispersion	47
1.2.6	Singlemode-Lichtwellenleiter mit reduziertem Wasserpeak	56
1.2.7	Dispersionsverschobener Singlemode-Lichtwellenleiter	57
1.2.8	Cut-off shifted Lichtwellenleiter	58
1.2.9	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter	59
1.2.10	NZDSF für erweiterten Wellenlängenbereich	62
1.2.11	Lichtwellenleiter mit reduzierter Biegeempfindlichkeit	62
1.2.12	Kategorien von Singlemode-LWL	66
1.2.13	Trends bei der Faserentwicklung	67
1.2.14	Polarisationsmodendispersion (PMD)	72
1.2.15	Alterung von Lichtwellenleitern	84
1.2.16	Zusammenfassung	94
1.3	Optoelektronische Bauelemente	95
1.3.1	Elektrooptische Wechselwirkungen im Halbleiter	96
1.3.2	Sender und Empfänger	98
1.3.3	Transceiver	99
1.4	Literatur	105
2	Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern	107
2.1	Allgemeine Eigenschaften	107

2.2	Koppelverluste zwischen Lichtwellenleitern	108
2.2.1	Verluste zwischen Multimode-LWL	109
2.2.2	Verluste zwischen Singlemode-LWL	110
2.3	Stirnflächenkontakt	111
2.3.1	Stecker mit ebener Stirnfläche	111
2.3.2	Stecker mit physischem Kontakt	112
2.3.3	Schrägschliffstecker	113
2.3.4	APC/HRL-Stecker	114
2.4	Verdrehsicherung	114
2.5	Stift-Hülse-Prinzip	115
2.6	Verringerung der Steckerdämpfung	117
2.6.1	Ablageverfahren	117
2.6.2	Prägeverfahren	118
2.7	Zur Kompatibilität von geprägten und getunten 0,1 dB-Steckern	120
2.7.1	Einfluss der Technologie auf die geometrischen Parameter	120
2.7.2	Mischung von geprägten Steckern mit getunten Steckern	122
2.8	Dämpfungs- und Reflexionsklassen	124
3	Lichtwellenleiter-Messtechnik	127
3.1	Allgemeine Hinweise	127
3.2	Messung von Leistungen und Dämpfungen	129
3.2.1	Definierte Anregung des Multimode-LWL	129
3.2.2	Leistungsmessung	130
3.2.3	Dämpfungsmessung	132
3.2.4	Zusammenfassung	139
3.3	Optische Rückstreuung	139
3.3.1	Prinzip der Rückstreuung	140
3.3.2	Rückstreckurve als Messergebnis	142
3.3.3	Interpretation der Ereignistabelle	148
3.3.4	Reflektierende Ereignisse	150
3.3.5	Überlagerung mehrerer Reflexionen	151
3.3.6	Zusammenfassung	152
3.4	Analyse von Rückstreudiagrammen	152
3.4.1	Interpretation der Rückstreckurve	152
3.4.2	Auswertung problematischer Rückstreudiagramme	156
3.4.3	Kopplung von Singlemode-LWL mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern	161
3.4.4	Geisterreflexionen	165
3.4.5	Zusammenfassung	169

4	Fiber to the Home/Building	171
4.1	Anforderungen an die Bandbreite	171
4.2	Netzstrukturen	174
4.2.1	Ethernet-Punkt-zu-Punkt (EP2P)	174
4.2.2	Punkt-zu-Multi-Punkt	175
4.2.3	Vergleich der Varianten	181
4.3	Offene Infrastruktur	182
4.4	Wellenlängenbelegung bei FTTx	182
4.5	Normen	183
4.5.1	Gigabit-PON	184
4.5.2	Gigabit-Ethernet-PON	184
4.5.3	Next-Generation PON	185
4.5.4	Downstream 10 Gbit/s	185
4.5.5	TWDM-PON	186
4.5.6	Wellenlängenmultiplex-PON (P2P WDM-PON)	187
4.5.7	Zusammenfassung FTTx-Varianten	190
5	Planen von LWL-Strecken aus physikalischer Sicht	191
5.1	Allgemeine Regeln	191
5.2	Planung des Dämpfungsbudgets	192
5.3	Pegeldiagramm	195
5.4	Dispersion in Lichtwellenleitern	198
5.4.1	Chromatische Dispersion	198
5.4.2	Dispersionstoleranz	200
5.4.3	Kompensation der chromatischen Dispersion	201
5.4.4	Chromatische Dispersion bei Fasermischungen	203
5.5	Systemplanung	203
5.5.1	Einkanalübertragung	203
5.5.2	Grobes Wellenlängenmultiplex	205
5.5.3	Dichtes Wellenlängenmultiplex	206
5.6	Zusammenfassung	207
6	Trends der optischen Nachrichtenübertragung	209
6.1	Wichtige aktuelle Entwicklungen	209
6.2	Dichtes Wellenlängenmultiplex	210
6.2.1	Zwei Wege zum hochbitratigen System	210
6.2.2	Grundlagen Dichtes Wellenlängenmultiplex	213
6.2.3	Bandbreite und Wellenlänge	214
6.2.4	Genormtes Raster	216
6.2.5	Anforderungen an die Komponenten	218

6.3	Grobes Wellenlängenmultiplex	230
6.3.1	Einsatzfälle für Grobes Wellenlängenmultiplex	230
6.3.2	Normung Grobes Wellenlängenmultiplex	232
6.3.3	Erschließung des gesamten Wellenlängenbereiches	233
6.3.4	Anforderungen an die Komponenten	235
6.3.5	DWDM-over-CWDM-Technik	236
6.3.6	Zusammenfassung	237
6.4	Passives und aktives Wellenlängenmultiplex	239
6.5	Probleme beim Übergang zu höheren Datenraten	240
6.6	Bauelemente für flexible optische Netze	241
6.7	Weiterentwicklung der Modulationsverfahren	242
6.7.1	Grundlagen der Modulation	242
6.7.2	Herkömmliche Modulation	243
6.7.3	Höherwertige Modulation	244
6.7.4	Beispiel für Modulationsverfahren	244
6.7.5	Fortgeschrittene Übertragungsverfahren	247
6.8	Datenraten größer als 100 Gbit/s	248
6.9	Zusammenfassung und Ausblick	249
7	Anhang	251
7.1	Abkürzungen	251
7.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	256
7.3	Fachbegriffe	259
	Register	272
	Abbildungsverzeichnis	278
	Tabellenverzeichnis	285