

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

Vorwort zur 8. Auflage

1	Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	13
	Dieter Eberlein	
1.1	Physikalische Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	13
1.1.1	Prinzip der optischen Informationsübertragung	14
1.1.2	Vorteile der Nachrichtenübertragung über Lichtwellenleiter	15
1.1.3	Elektromagnetisches Spektrum	16
1.1.4	Signalausbreitung im Lichtwellenleiter	17
1.1.5	Dämpfung im Lichtwellenleiter	21
1.1.6	Zusammenfassung	27
1.2	Lichtwellenleiter-Typen und Dispersion	27
1.2.1	Stufenprofil-Lichtwellenleiter und Modendispersion	28
1.2.2	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter und Profildispersion	32
1.2.3	Parabelprofil-Lichtwellenleiter mit optimiertem Brechzahlprofil und Materialdispersion	39
1.2.4	Standard-Singlemode-Lichtwellenleiter und chromatische Dispersion	44
1.2.5	Singlemode-Lichtwellenleiter mit reduziertem Wasserpeak	54
1.2.6	Dispersionsverschobener Singlemode-Lichtwellenleiter	55
1.2.7	Cut-off shifted Lichtwellenleiter	56
1.2.8	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter	56
1.2.9	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter für erweiterten Wellenlängenbereich	59
1.2.10	Lichtwellenleiter mit reduzierter Krümmungsempfindlichkeit	59
1.2.11	Polarisationsmodendispersion (PMD)	62
1.2.12	Alterung von Lichtwellenleitern	71
1.2.13	Zusammenfassung	78
1.3	Optoelektronische Bauelemente	79
1.3.1	Elektrooptische Wechselwirkungen im Halbleiter	80
1.3.2	Lumineszenzdiode	82
1.3.3	Laserdioden	83
1.3.4	Empfängerdioden	91
1.3.5	Zusammenfassung	94
1.4	Literatur	95

2	Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern.....	96
	Christian Kutza	
2.1	Lösbare Verbindungstechnik in optischen Übertragungssystemen	96
2.1.1	Allgemeine Anforderungen an lösbare Koppelstellen	97
2.1.2	Optisch ideale Koppelstellen	98
2.1.3	Kopplung von Multimode-Lichtwellenleitern	98
2.1.4	Kopplung von Singlemode-Lichtwellenleitern	100
2.2	Reale Koppelstellen	100
2.2.1	Multimode-Lichtwellenleiter-Kopplung	101
2.2.2	Singlemode-Lichtwellenleiter-Kopplung	103
2.2.3	Faser-Aktivelement-Kopplung	103
2.2.4	Ursachen optischer Verluste an lösbaren Koppelstellen	106
2.2.5	Intrinsische Verluste	107
2.2.6	Extrinsische Verluste	108
2.3	Technologien für lösbare Lichtwellenleiter-Verbindungen	114
2.3.1	Übersicht der Verbindungstechnologien	115
2.3.2	Optische Steckverbinder	115
2.3.3	Stecker mit direkter Steckerstirnflächenkopplung	117
2.3.4	Stecker mit Strahlaufweitung	117
2.3.5	Power-Solution-Stecker	118
2.3.6	Mehrfasersysteme	119
2.3.7	Quasilösbare Verbindungen	121
2.4	Kenngößen von lösbaren optischen Koppelstellen	122
2.4.1	Optische Kenngößen der Koppelstelle	123
2.4.2	Einfügedämpfung	124
2.4.3	Reflexionsdämpfung	125
2.4.4	Mechanische und Umgebungs-Parameter	129
2.5	Steckverbinderstandards und Montagetechnologien	129
2.5.1	Standardisierung und Normung	129
2.5.2	Übersicht aktueller Steckerstandards	131
2.5.3	Neuentwicklungen	133
2.5.4	Montagetechnologien	135
2.5.5	Klebertechnologie	135
2.5.6	Crimp- & Cleave-Technologie	138
2.5.7	Lösungen für Feldmontage	139
2.6	Literatur	141
3	Nichtlösbare Glasfaserverbindung - Fusionsspleißen	142
	Christina Mancke, Jürgen Labs	
3.1	Einführung	142
3.2	Werkstoffe und Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	143
3.2.1	Werkstoffe für Lichtwellenleiter	143
3.2.2	Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	145
3.3	Fusionsspleißen	151
3.3.1	Einflussfaktoren	151
3.3.2	Spleißvorbereitung	153
3.3.3	Spleißen	159

3.3.4	Bestimmen der Spleißdämpfung	169
3.3.5	Zugfestigkeit	170
3.3.6	Schutz des Spleißes	173
3.4	Spezielle Spleiße	174
3.4.1	Faserbändchen	174
3.4.2	Spleißen unterschiedlicher Fasern	178
3.4.3	Spleißen polarisationserhaltender Fasern	182
3.5	Ausblick	186
3.6	Literatur	186
4	Lichtwellenleiter-Messtechnik	187
	Dieter Eberlein	
4.1	Allgemeine Hinweise	187
4.2	Messung von Leistungen und Dämpfungen	188
4.2.1	Verfahren zur Herstellung einer Modengleichgewichtsverteilung	189
4.2.2	Leistungsmessung	190
4.2.3	Dämpfungsmessung	192
4.2.4	Zusammenfassung	198
4.3	Rückstreuungsmessung als universelles Messverfahren	198
4.3.1	Prinzip der Rückstreuungsmessung	198
4.3.2	Rückstreuurve als Messergebnis	201
4.3.3	Gestreute und reflektierte Leistungen	206
4.3.4	Zusammenfassung	209
4.4	Analyse von Rückstreudiagrammen	209
4.4.1	Interpretation der Rückstreuurve	209
4.4.2	Auswertung problematischer Rückstreudiagramme	213
4.4.3	Kopplung von Singlemode-Lichtwellenleitern mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern	218
4.4.4	Zusammenfassung	221
4.5	Interpretation der Messergebnisse	221
4.5.1	Vergleich zwischen Dämpfungs- und Rückstreuurve	221
4.5.2	Mittlung der Messergebnisse	223
4.5.3	Zusammenfassung	224
4.6	Parameter und Definitionen	224
4.6.1	Dynamik	224
4.6.2	Impulswiederholrate	226
4.6.3	Impulslänge und Auflösungsvermögen	227
4.6.4	Totzonen	229
4.6.5	Weitere Parameter	231
4.6.6	Zusammenfassung	231
4.7	Praktische Hinweise zur Rückstreuungsmessung	232
4.7.1	Allgemeine Hinweise	232
4.7.2	Vor- und Nachlauf-LWL	233
4.7.3	Geisterbilder	236
4.7.4	Kurvenauswertung	240
4.7.5	Fehlanpassungen	242
4.7.6	Kriterien zur Beurteilung der Qualität der installierten Strecke	246
4.7.7	Zusammenfassung	249

4.8	Reflexionsmessungen	250
4.9	LWL-Überwachungssysteme	252
4.9.1	Dunkelfasermessung	252
4.9.2	Messung der aktiven Faser	253
4.10	Messungen an DWDM-Systemen	254
4.10.1	Modifikation der herkömmlichen Messungen	254
4.10.2	Spektrale Messungen	254
4.10.3	Dispersionsmessungen	255
4.10.4	Zusammenfassung	256
4.11	Literatur	256
5	Optische Übertragungssysteme	257
	Dieter Eberlein	
5.1	Systemparameter	257
5.2	Planung des Dämpfungsbudgets	258
5.3	Systemplanung	262
5.3.1	Übertragungskapazität	262
5.3.2	Zeitverhalten des Gesamtsystems	263
5.3.3	Zeitverhalten der Faser	264
5.3.4	Berücksichtigung Dämpfung und Dispersion	267
5.3.5	Zusammenfassung	268
5.4	Lichtwellenleiter bis zum Kunden	268
5.4.1	Anforderungen an die Bandbreite	269
5.4.2	Netzstrukturen	269
5.4.3	Normen	274
5.4.4	Komponenten und Technologien	275
5.4.5	Zusammenfassung	276
5.5	Topologien	276
5.6	Systeme mit Kunststoff-Lichtwellenleitern	278
5.6.1	Eigenschaften von Kunststoff-Lichtwellenleitern	278
5.6.2	Komponenten für Kunststoff-LWL-Systeme	280
5.6.3	Verbindungstechnik	280
5.6.4	Passive optische Komponenten	282
5.6.5	Einsatz von Kunststoff-Lichtwellenleitern	282
5.6.6	Weitere Entwicklungen	283
5.6.7	Zusammenfassung	283
5.7	Gigabit-, 10-Gigabit-, 100-Gigabit-Ethernet	284
5.7.1	Von Ethernet zu 10-Gigabit-Ethernet	284
5.7.2	40/100-Gigabit-Ethernet	286
5.7.3	Physikalische Begrenzungen	287
5.7.4	Zusammenhang zwischen Einkopplung und Bandbreite	287
5.7.5	Außermittigte Einkopplung	288
5.7.6	Vergleich der beiden optischen Fenster	289
5.7.7	Laseroptimierte Multimode-Lichtwellenleiter	291
5.7.8	Klassen von Multimode-Lichtwellenleitern	293
5.7.9	Zusammenfassung	294
5.8	Optische Freiraumübertragung	294
5.8.1	Vergleich mit herkömmlichen Verfahren	294

5.8.2	Einsatzfelder	296
5.8.3	Prinzip der optischen Freiraumübertragung	296
5.8.4	Besonderheiten der optischen Freiraumübertragung	298
5.8.5	Optische Freiraumübertragungssysteme	299
5.8.6	Zusammenfassung	300
5.9	Weitere Systeme	301
5.9.1	Digitale Hierarchien und Netzstrukturen	301
5.9.2	Weitverkehrsnetze	303
5.9.3	Netze mit optischen Verstärkern	304
5.10	Literatur	305
6	Entwicklungsrichtungen	306
	Wolfgang Glaser	
6.1	Kanalbündelung in der Lichtwellenleiter-Technik	307
6.1.1	Verfahren der Kanalbündelung	307
6.1.2	Realisierung optischer Bündelungstechniken	308
6.1.3	DWDM-Systeme	310
6.1.4	CWDM-Systeme	314
6.1.5	OTDM-Systeme	317
6.2	Integration von Lichtwellenleiter-Funktionsgruppen	318
6.2.1	Entwicklung der optischen Signalverarbeitung	318
6.2.2	Integrationstechnologien	319
6.2.3	Grundstrukturen	321
6.2.4	Realisierung von Funktionsgruppen	324
6.2.5	Forschungsrichtungen	328
6.2.6	Zusammenfassung	329
6.3	Optische Verstärkung	329
6.3.1	Anwendungsgebiete	329
6.3.2	Faserverstärker	332
6.3.3	Halbleiterverstärker	336
6.4	Nichtlineare Optik	338
6.4.1	Nichtlineare Effekte	338
6.4.2	Das Soliton	342
6.4.3	Soliton-Anwendung	344
6.5	Literatur	345
7	Anhang	347
	Dieter Eberlein	
7.1	Abkürzungen	347
7.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	350
7.3	Fachbegriffe	353