

Vorwort zur 9. Auflage

1	Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik.....	1
	Dieter Eberlein	
1.1	Physikalische Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	1
1.1.1	Prinzip der optischen Informationsübertragung	2
1.1.2	Vor- und Nachteile der LWL-Übertragung	3
1.1.3	Elektromagnetisches Spektrum	5
1.1.4	Signalausbreitung im Lichtwellenleiter	6
1.1.5	Dämpfung im Lichtwellenleiter	10
1.1.5.1	Definition der Dämpfung	10
1.1.5.2	Dämpfungseffekte im Lichtwellenleiter	12
1.1.6	Zusammenfassung	16
1.2	Lichtwellenleiter-Typen und Dispersion	16
1.2.1	Stufenprofil-Lichtwellenleiter und Modendispersion	17
1.2.1.1	Strahlausbreitung im Stufenprofil-LWL	17
1.2.1.2	Dispersion im Stufenprofil-LWL	18
1.2.1.3	Typen von Stufenprofil-LWL	19
1.2.2	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter und Profildispersion	22
1.2.2.1	Strahlausbreitung im Gradientenprofil-LWL	22
1.2.2.2	Dispersion im Gradientenprofil-LWL	23
1.2.2.3	Numerische Apertur im Gradientenprofil-LWL	24
1.2.2.4	Typen von Gradientenprofil-LWL	25
1.2.3	Vergrößerung Bandbreite-Längen-Produkt	28
1.2.3.1	Parabelprofil-LWL mit optimiertem Brechzahlprofil	28
1.2.3.2	Materialdispersion	29
1.2.4	Standard-Singlemode-Lichtwellenleiter und chromatische Dispersion ...	33
1.2.4.1	Wellenausbreitung im Singlemode-LWL	34
1.2.4.2	Dispersion im Singlemode-LWL	35
1.2.4.3	Wellenleiter-Dispersion	35
1.2.4.4	Chromatische Dispersion	36
1.2.4.5	Eigenschaften des Singlemode-LWL	38
1.2.4.6	Singlemode-LWL-Typen	40
1.2.4.7	Parameter Standard-Singlemode-LWL	40
1.2.5	Singlemode-LWL mit reduziertem Wasserpeak	42
1.2.6	Dispersionsverschobener Singlemode-LWL	43
1.2.7	Cut-off shifted Lichtwellenleiter	44
1.2.8	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter	44
1.2.9	NZDSF für erweiterten Wellenlängenbereich	47

1.2.10	Lichtwellenleiter mit reduzierter Krümmungsempfindlichkeit	48
1.2.10.1	Klasse A	49
1.2.10.2	Klasse B	50
1.2.10.3	Praktische Aspekte	51
1.2.11	Polarisationsmodendispersion (PMD)	52
1.2.11.1	PMD-Effekt	53
1.2.11.2	PMD-Koeffizient	56
1.2.11.3	Polarisationsmodendispersion optischer Bauelemente	58
1.2.11.4	Auswahl der zu messenden Fasern	59
1.2.11.5	PMD-Koeffizient langer Strecken	60
1.2.12	Alterung von Lichtwellenleitern	60
1.2.12.1	Materialeigenschaften	61
1.2.12.2	Durchlaufzeit und Risswachstum	62
1.2.12.3	Statistische Beschreibung der Ausfallwahrscheinlichkeit	63
1.2.12.4	Richtlinien für zulässige Faserspannungen	64
1.2.12.5	Richtlinien für zulässigen Krümmungsradien	66
1.2.12.6	Effekte, die die Lebensdauer der Faser herabsetzen	68
1.2.12.7	Allgemeine Hinweise zur Faserhandhabung	69
1.2.12.8	Faserhandhabung beim Spleißen	70
1.2.13	Zusammenfassung	71
1.3	Optoelektronische Bauelemente	72
1.3.1	Elektrooptische Wechselwirkungen im Halbleiter	73
1.3.2	Lumineszenzdioden	75
1.3.3	Laserdioden	77
1.3.3.1	Arten von Laserdioden	77
1.3.3.2	Kenngößen und Eigenschaften von Laserdioden	79
1.3.4	Empfängerdioden	84
1.3.4.1	PIN-Photodiode	84
1.3.4.2	Lawinen-Photodiode	86
1.3.4.3	Wichtige Eigenschaften von Empfängerdioden	87
1.3.5	Zusammenfassung	88
1.4	Literatur	88
2	Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern	89
	Christian Kutza	
2.1	Lösbare Verbindungstechnik in optischen Übertragungssystemen	89
2.1.1	Allgemeine Anforderungen an lösbare Koppelstellen	90
2.1.2	Optisch ideale Koppelstellen	91
2.1.3	Kopplung von Multimode-Lichtwellenleitern	91
2.1.4	Kopplung von Singlemode-Lichtwellenleitern	93
2.2	Reale Koppelstellen	93
2.2.1	Multimode-Lichtwellenleiter-Kopplung	94
2.2.2	Singlemode-Lichtwellenleiter-Kopplung	96
2.2.3	Faser-Aktivelement-Kopplung	96
2.2.4	Ursachen optischer Verluste an lösbaren Koppelstellen	99
2.2.5	Intrinsische Verluste	100
2.2.6	Extrinsische Verluste	102

2.3	Technologien für lösbare Lichtwellenleiter-Verbindungen	107
2.3.1	Übersicht der Verbindungstechnologien	108
2.3.2	Optische Steckverbinder	109
2.3.3	Stecker mit direkter Stirnflächenkopplung	110
2.3.4	Stecker mit Strahlaufweitung	110
2.3.5	Power-Solution-Stecker	111
2.3.6	Mehrfasersysteme	112
2.3.7	Quasilösbare Verbindungen	114
2.4	Kenngrößen von lösbaren optischen Koppelstellen	115
2.4.1	Optische Kenngrößen der Koppelstelle	116
2.4.2	Einfügedämpfung	117
2.4.3	Reflexionsdämpfung	118
2.4.4	Mechanische und Umgebungsparameter	122
2.5	Steckverbinderstandards und Montagetechnologien	122
2.5.1	Standardisierung und Normung	122
2.5.2	Übersicht aktueller Steckerstandards	124
2.5.3	Neuentwicklungen	126
2.5.4	Montagetechnologien	128
2.5.5	Klebertechnologien	128
2.5.6	Crimp- & Cleave-Technologie	131
2.5.7	Lösungen für Feldmontage	132
2.6	Literatur	134

3 Nichtlösbare Glasfaserverbindung - Fusionsspleißen 135 Christina Manzke, Jürgen Labs (Abschnitt 3.2)

3.1	Einführung	135
3.2	Werkstoffe und Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	136
3.2.1	Werkstoffe für Lichtwellenleiter	136
3.2.2	Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	138
3.2.2.1	Herstellen der Vorform	138
3.2.2.2	Faserziehen	142
3.3	Fusionsspleißen	143
3.3.1	Einflussfaktoren	144
3.3.1.1	Intrinsische Faktoren	144
3.3.1.2	Extrinsische Faktoren	145
3.3.2	Spleißvorbereitung	146
3.3.2.1	Vorbereitung des Arbeitsplatzes	146
3.3.2.2	Kabelvorbereitung	147
3.3.2.3	Faservorbereitung	147
3.3.3	Spleißen	152
3.3.3.1	Justage der Fasern	152
3.3.3.2	V-Nut-Geräte	153
3.3.3.3	3-Achsen-Geräte	154
3.3.3.4	Verschmelzen der Fasern	157
3.3.3.5	Selbstjustageeffekt	160
3.3.3.6	Becksche Linie	161
3.3.4	Bestimmen der Spleißdämpfung	162

3.3.5	Zugfestigkeit	163
3.3.6	Spleiße mit hoher Festigkeit	164
3.3.7	Schutz des Spleißes	165
3.4	Spezielle Spleiße	167
3.4.1	Faserbändchen	167
3.4.1.1	Vorbereiten der Faserbändchen	169
3.4.1.2	Spleißen der Faserbändchen	169
3.4.1.3	Grenzwerte für die Spleißdämpfung	170
3.4.1.4	Schutz des Spleißes	170
3.4.1.5	Abschluss der Strecke	170
3.4.2	Spleißen unterschiedlicher Fasern	171
3.4.2.1	Standard-Singlemode-LWL auf biegeoptimierte Lichtwellenleiter (BIF)..	171
3.4.2.2	Standard-Singlemode-LWL auf NZDS-LWL	173
3.4.2.3	Singlemode-LWL auf hochdotierte Spezialfasern	175
3.4.2.4	Singlemode-LWL auf Multimode-LWL	176
3.4.3	Spleißen polarisationserhaltender Fasern	177
3.5	Ausblick	181
3.6	Literatur	182
4	Lichtwellenleiter-Messtechnik	183
	Dieter Eberlein	
4.1	Allgemeine Hinweise	183
4.2	Messung von Leistungen und Dämpfungen	185
4.2.1	Verfahren zur Herstellung einer Modengleichgewichtsverteilung	185
4.2.2	Leistungsmessung	186
4.2.3	Dämpfungsmessung	188
4.2.3.1	Praktische Aspekte	188
4.2.3.2	Auswertung der Messergebnisse	189
4.2.3.3	Normen zur Dämpfungsmessung	190
4.2.3.4	Dämpfungsmessungen an Steckern	190
4.2.3.5	Dämpfungsmessungen an Leitungen	191
4.2.3.6	Allgemeine Hinweise nach DIN ISO/IEC 14763-3	194
4.2.4	Zusammenfassung	195
4.3	Rückstreuung als universelles Messverfahren	195
4.3.1	Prinzip der Rückstreuung	195
4.3.2	Rückstreukurve als Messergebnis	198
4.3.3	Interpretation der Ereignistabelle	203
4.3.4	Gestreute und reflektierte Leistungen	206
4.3.4.1	Rayleighstreuung	206
4.3.4.2	Reflektierende Ereignisse	210
4.3.5	Zusammenfassung	211
4.4	Analyse von Rückstreudiagrammen	211
4.4.1	Interpretation der Rückstreukurve	211
4.4.1.1	Längenmessung	211
4.4.1.2	Dämpfungsmessung	214
4.4.2	Auswertung problematischer Rückstreudiagramme	215
4.4.2.1	Prinzip der bidirektionalen Messung	215

4.4.2.2	Vorteile der bidirektionalen Messung	218
4.4.2.3	Änderung der Rückstredämpfung an der Koppelstelle	219
4.4.3	Kopplung von SM-LWL mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern	220
4.4.4	Zusammenfassung	223
4.5	Interpretation der Messergebnisse	224
4.5.1	Vergleich zwischen Dämpfungs- und Rückstreu Kurve	224
4.5.2	Mittelung der Messergebnisse	225
4.5.3	Zusammenfassung	226
4.6	Parameter und Definitionen	226
4.6.1	Dynamik	226
4.6.2	Impulswiederholrate	228
4.6.3	Impulslänge und Auflösungsvermögen	230
4.6.4	Totzonen	232
4.6.5	Weitere Parameter	233
4.6.6	Zusammenfassung	234
4.7	Praktische Hinweise zur Rückstremessung	234
4.7.1	Allgemeine Hinweise	234
4.7.2	Vor- und Nachlauf-LWL	235
4.7.2.1	Vorteile	235
4.7.2.2	Einseitige Messung mit Vorlauf-LWL	237
4.7.2.3	Beidseitige Messung mit Vor- und Nachlauf-LWL	238
4.7.3	Geisterbilder	239
4.7.4	Auswertung und Dokumentation	243
4.7.5	Fehlanpassungen	244
4.7.5.1	Unterschiedliche LWL-Parameter	244
4.7.5.2	Unterschiedliche Steckerstirnflächen	245
4.7.5.3	Unterbrochener physischer Kontakt	245
4.7.5.4	Gleiche Steckerstirnflächen	246
4.7.5.5	Zusammenfassung	247
4.7.6	Kriterien zur Beurteilung der Qualität der installierten Strecke	248
4.7.6.1	Allgemeine Hinweise Abnahmevorschriften	249
4.7.6.2	Vorschlag Abnahmevorschrift Multimode-LWL	249
4.7.6.3	Vorschlag Abnahmevorschrift Singlemode-LWL	250
4.7.7	Zusammenfassung	251
4.8	Reflexionsmessungen	251
4.9	LWL-Überwachungssysteme	253
4.9.1	Dunkelfasermessung	253
4.9.2	Messung der aktiven Faser	254
4.10	Messungen an DWDM-Systemen	255
4.10.1	Modifikation der herkömmlichen Messungen	255
4.10.2	Spektrale Messungen	256
4.10.3	Dispersionsmessungen	257
4.10.4	Zusammenfassung	257
4.11	Literatur	257

5	Optische Übertragungssysteme	259
	Dieter Eberlein	
5.1	Systemparameter	259
5.2	Planung des Dämpfungsbudgets	260
5.3	Systemplanung	266
5.3.1	Übertragungskapazität	266
5.3.2	Zeitverhalten des Gesamtsystems	266
5.3.3	Zeitverhalten der Faser	267
5.3.3.1	Arten der Dispersion	267
5.3.3.2	Zeitverhalten Multimode-LWL	268
5.3.3.3	Zeitverhalten Singlemode-LWL	269
5.3.4	Berücksichtigung Dämpfung und Dispersion	270
5.3.4.1	Übertragung hoher Datenraten über Multimode-LWL	271
5.3.4.2	CWDM-System, Standard-Singlemode-LWL, 2,5 Gbit/s	271
5.3.4.3	Standard-Singlemode-LWL, 10 Gbit/s	272
5.3.5	Zusammenfassung	273
5.4	Lichtwellenleiter bis zum Kunden	273
5.4.1	Anforderungen an die Bandbreite	274
5.4.2	Netzstrukturen	276
5.4.2.1	Ethernet-Punkt-zu-Punkt (EP2P)	277
5.4.2.2	Punkt-zu-Multi-Punkt	278
5.4.3	Vergleich der Varianten	284
5.4.3.1	Vergleich der technischen Aspekte	285
5.4.3.2	Vergleich der wirtschaftlichen Aspekte	286
5.4.3.3	Schlussfolgerungen	287
5.4.4	Offene Infrastruktur (Open Access)	288
5.4.5	Wellenlängenbelegung bei FTTx	289
5.4.6	Normen	290
5.4.7	Komponenten	291
5.4.7.1	Steckverbinder	291
5.4.7.2	Lichtwellenleiter	292
5.4.7.3	Kabel	293
5.4.7.4	Koppler	294
5.4.7.5	Weitere Komponenten	296
5.4.8	Faserabschluss beim Teilnehmer	297
5.4.9	Zusammenfassung	297
5.5	Topologien	298
5.6	Systeme mit Kunststoff-Lichtwellenleitern	300
5.6.1	Eigenschaften von Kunststoff-Lichtwellenleitern	300
5.6.2	Komponenten für Kunststoff-LWL-Systeme	301
5.6.3	Verbindungstechnik	302
5.6.4	Passive optische Komponenten	303
5.6.5	Einsatz von Kunststoff-Lichtwellenleitern	303
5.6.6	Weitere Entwicklungen	304
5.6.7	Zusammenfassung	305
5.7	Gigabit-, 10-Gigabit-, 40-Gigabit-, 100-Gigabit-Ethernet	305
5.7.1	Von Ethernet zu 10-Gigabit-Ethernet	305
5.7.2	40/100-Gigabit-Ethernet	307

5.7.3	Physikalische Begrenzungen	309
5.7.4	Zusammenhang zwischen Einkopplung und Bandbreite	309
5.7.5	Außermittigte Einkopplung.....	310
5.7.6	Vergleich der beiden optischen Fenster.....	311
5.7.7	Laseroptimierte Multimode-Lichtwellenleiter.....	313
5.7.7.1	LED-Bandbreite (BLP).....	313
5.7.7.2	EMB-Bandbreite	313
5.7.7.3	minEMBc-Bandbreite	315
5.7.8	Klassen von Multimode-Lichtwellenleitern	315
5.7.9	Zusammenfassung	316
5.8	Optische Freiraumübertragung	316
5.8.1	Vergleich mit herkömmlichen Verfahren	317
5.8.2	Einsatzfelder	318
5.8.3	Prinzip der optischen Freiraumübertragung	319
5.8.4	Besonderheiten der optischen Freiraumübertragung	320
5.8.5	Optische Freiraumübertragungssysteme	321
5.8.6	Zusammenfassung	323
5.9	Weitere Systeme	323
5.9.1	Digitale Hierarchien	323
5.9.1.1	Plesiochrone Digitale Hierarchie.....	323
5.9.1.2	Synchrone Digitale Hierarchie	324
5.9.1.3	Optisches Transportnetz.....	325
5.9.2	Netzstrukturen	325
5.9.3	Weitverkehrsnetze.....	327
5.9.4	Netze mit optischen Verstärkern.....	327
5.10	Literatur.....	328
6	Anhang	329
	Dieter Eberlein	
6.1	Abkürzungen	329
6.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	333
6.3	Fachbegriffe	336
7	Stichwortverzeichnis	349
8	Autorenverzeichnis	356