

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 13. Auflage

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	1
	Dieter Eberlein, Ralph Sattmann (Abschnitt 1.2)	
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	13
1.1.5.3	Makrobiegeverluste	15
1.1.5.4	Mikrobiegeverluste	17
1.1.6	Zusammenfassung	19
1.2	Materialien und Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	20
1.2.1	Quarzglas	20
1.2.2	Herstellung von Quarzglas-Lichtwellenleitern	23
1.2.2.1	Herstellung eines Kernstabes	23
1.2.2.2	Herstellung der Vorform	26
1.2.2.3	Faserziehen	28
1.2.2.4	Verkabelung	30
1.3	Lichtwellenleiter-Typen und Dispersion	31
1.3.1	Stufenprofil-Lichtwellenleiter und Modendispersion	31
1.3.1.1	Strahlausbreitung im Stufenprofil-LWL	31
1.3.1.2	Dispersion im Stufenprofil-LWL	32
1.3.1.3	Typen von Stufenprofil-LWL	34
1.3.2	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter und Profildispersion	36
1.3.2.1	Strahlausbreitung im Gradientenprofil-LWL	36
1.3.2.2	Dispersion im Gradientenprofil-LWL	38
1.3.2.3	Numerische Apertur im Gradientenprofil-LWL	38
1.3.2.4	Typen von Gradientenprofil-LWL	40
1.3.3	Vergrößerung Bandbreite-Längen-Produkt	43
1.3.3.1	Parabelprofil-LWL mit optimiertem Brechzahlprofil	43
1.3.3.2	Materialdispersion	43
1.3.4	Biegeunempfindlicher Multimode-LWL	47
1.3.5	Standard-Singlemode-LWL und chromatische Dispersion	48
1.3.5.1	Wellenausbreitung im Singlemode-LWL	49

1.3.5.2	Dispersion im Singlemode-LWL	50
1.3.5.3	Wellenleiterdispersion	50
1.3.5.4	Chromatische Dispersion	51
1.3.5.5	Eigenschaften des Singlemode-LWL	53
1.3.5.6	Parameter Standard-Singlemode-LWL	55
1.3.6	Singlemode-LWL mit reduziertem Wasserpeak.....	57
1.3.7	Dispersionsverschobener Singlemode-LWL	58
1.3.8	Cut-off shifted Lichtwellenleiter	59
1.3.9	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter	59
1.3.10	NZDSF für erweiterten Wellenlängenbereich	62
1.3.11	Lichtwellenleiter mit reduzierter Biegeempfindlichkeit	63
1.3.11.1	Kategorie A	64
1.3.11.2	Kategorie B	65
1.3.11.3	Praktische Aspekte	66
1.3.12	Kategorien von Singlemode-LWL	67
1.3.13	Parameter zur Charakterisierung der Fasern.....	68
1.3.14	Trends bei der Faserentwicklung	69
1.3.14.1	Weiterentwicklung des Standard-Singlemode-LWL.....	69
1.3.14.2	Fasern mit reduziertem Coating-Durchmesser	71
1.3.14.3	Zusammenfassung der Qualitätsmerkmale	73
1.3.14.4	Fasern für Raummultiplex	73
1.3.15	Polarisationsmodendispersion (PMD)	75
1.3.15.1	PMD-Effekt.....	76
1.3.15.2	PMD-Koeffizient	80
1.3.15.3	Polarisationsmodendispersion optischer Bauelemente.....	82
1.3.15.4	Auswahl der zu messenden Fasern	83
1.3.15.5	PMD-Koeffizient langer Strecken	83
1.3.16	Alterung von Lichtwellenleitern	84
1.3.16.1	Materialeigenschaften	85
1.3.16.2	Durchlaufzeit und Risswachstum	86
1.3.16.3	Statistische Beschreibung der Ausfallwahrscheinlichkeit.....	87
1.3.16.4	Richtlinien für zulässige Faserspannungen	88
1.3.16.5	Richtlinien für zulässige Biegeradien.....	90
1.3.16.6	Effekte, die die Lebensdauer der Faser herabsetzen	92
1.3.16.7	Allgemeine Hinweise zur Faserhandhabung.....	93
1.3.16.8	Faserhandhabung beim Spleißen	94
1.3.16.9	Zusammenfassung Alterung	95
1.3.17	Zusammenfassung LWL-Typen und Dispersion.....	96
1.4	Optoelektronische Bauelemente.....	97
1.4.1	Elektrooptische Wechselwirkungen im Halbleiter.....	98
1.4.2	Lumineszenzdiode	100
1.4.3	Laserdiode	101
1.4.3.1	Arten von Laserdiode	101
1.4.3.2	Kenngrößen und Eigenschaften von Laserdiode	104
1.4.4	Empfängerdiode	108
1.4.4.1	PIN-Photodiode	108
1.4.4.2	Lawinen-Photodiode	111
1.4.4.3	Wichtige Eigenschaften von Empfängerdiode	111
1.4.5	Transceiver	112

1.4.5.1	Übersicht Transceiver	112
1.4.5.2	Gigabit Interface Converter (GBIC)	112
1.4.5.3	Small Form Factor Pluggable (SFP)	113
1.4.5.4	Nomenklatur von Ethernet-Transceivern	114
1.4.5.5	Reichweiten entsprechend Ethernet-Standard IEEE 802.3	115
1.4.5.6	Ausblick	116
1.4.6	Zusammenfassung	117
1.5	Literatur	118
2	Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern	119
	Dieter Eberlein	
2.1	Allgemeine Eigenschaften	119
2.2	Koppelverluste zwischen Lichtwellenleitern	120
2.2.1	Verluste zwischen Multimode-LWL	121
2.2.2	Verluste zwischen Singlemode-LWL	122
2.3	Stirnflächenkontakt	123
2.3.1	Stecker mit ebener Stirnfläche	123
2.3.2	Stecker mit physischem Kontakt	124
2.3.3	Schrägschliffstecker	124
2.3.4	APC/HRL-Stecker	125
2.4	Verdrehsicherung	126
2.5	Stift-Hülse-Prinzip	126
2.6	Verringerung der Steckerdämpfung	128
2.6.1	Ablageverfahren	129
2.6.2	Prägeverfahren	129
2.7	Dämpfungs- und Reflexionsklassen	131
2.8	Steckertypen	132
2.8.1	Farbmarkierungen	132
2.8.2	Herkömmliche Steckertypen	133
2.8.3	Small-Form-Factor-Stecker	135
2.8.4	Spezielle Steckerlösungen	136
2.9	Trends der lösbaren Verbindungstechnik	138
2.9.1	Stecker für den Outdoorbereich	138
2.9.2	Erhöhung der Faserpackungsdichte	139
2.9.2.1	Datenübertragung in Rechenzentren	139
2.9.2.2	Mehrfaserstecker	140
2.9.2.3	URM-Stecker	142
2.9.2.4	CS-, SN-, MDC und MMC-Stecker	143
2.9.3	Stecker für die Leiterplattenkopplung	146
2.10	Sorgfalt im Umgang mit Steckverbindern	146
2.10.1	Auswirkungen von Verschmutzungen	146
2.10.2	Ursachen für Verunreinigungen	148
2.10.3	Steckerreinigung	149
2.10.4	Sichtprüfung an Steckerstirnflächen	153
2.11	Literatur	156

3	Nichtlösbare Glasfaserverbindung - Fusionsspleißen	157
	Christina Osterberg	
3.1	Einführung	157
3.2	Fusionsspleißen	158
3.2.1	Einflussfaktoren	158
3.2.1.1	Intrinsische Faktoren	159
3.2.1.2	Extrinsische Faktoren	160
3.2.2	Spleißvorbereitung	160
3.2.2.1	Vorbereitung des Arbeitsplatzes	160
3.2.2.2	Kabelvorbereitung	161
3.2.2.3	Faservorbereitung	162
3.2.3	Spleißen	168
3.2.3.1	Justage der Fasern	168
3.2.3.2	V-Nut-Geräte	169
3.2.3.3	3-Achsen-Geräte	170
3.2.3.4	Verschmelzen der Fasern	174
3.2.3.5	Selbstjustageeffekt	177
3.2.3.6	Becksche Linie	178
3.2.4	Bestimmen der Spleißdämpfung	178
3.2.5	Zugfestigkeit	179
3.2.6	Spleiße mit hoher Festigkeit (high strength)	181
3.2.7	Schutz des Spleißes	182
3.3	Spezielle Spleiße	184
3.3.1	Faserbändchen	184
3.3.1.1	Vorbereiten der Faserbändchen	186
3.3.1.2	Spleißen der Faserbändchen	187
3.3.1.3	Grenzwerte für die Spleißdämpfung	187
3.3.1.4	Schutz des Spleißes	188
3.3.1.5	Abschluss der Strecke	188
3.3.2	Spleißen unterschiedlicher Fasern	188
3.3.2.1	Standard-Singlemode-LWL auf biegeoptimierte Lichtwellenleiter (BIF)..	188
3.3.2.2	Standard-Singlemode-LWL auf NZDS-LWL	191
3.3.2.3	Singlemode-LWL auf hochdotierte Spezialfasern	192
3.3.2.4	Singlemode-LWL auf Multimode-LWL	194
3.3.3	Spleißen polarisationserhaltender Fasern	195
3.4	Ausblick	199
3.5	Literatur	200
4	Lichtwellenleiter-Messtechnik	201
	Dieter Eberlein	
4.1	Allgemeine Hinweise	201
4.2	Messung von Leistungen und Dämpfungen	203
4.2.1	Definierte Anregung des Multimode-LWL	203
4.2.2	Leistungsmessung	204
4.2.3	Dämpfungsmessung	206
4.2.3.1	Praktische Hinweise	206

4.2.3.2	Auswertung der Messergebnisse	207
4.2.3.3	Normen zur Dämpfungsmessung	208
4.2.3.4	Dämpfungsmessungen an Steckern	208
4.2.3.5	Dämpfungsmessungen an Leitungen	209
4.2.3.6	Hoch genaue Dämpfungsmessung	212
4.2.3.7	Allgemeine Hinweise nach DIN ISO/IEC 14763-3	217
4.2.4	Zusammenfassung	217
4.3	Optische Rückstreumessung	218
4.3.1	Prinzip der Rückstreumessung	218
4.3.2	Rückstreukurve als Messergebnis	221
4.3.3	Interpretation der Ereignistabelle	226
4.3.4	Gestreute und reflektierte Leistungen	228
4.3.4.1	Rayleighstreuung	229
4.3.4.2	Reflektierende Ereignisse	233
4.3.5	Zusammenfassung	234
4.4	Analyse von Rückstreudiagrammen	234
4.4.1	Interpretation der Rückstreukurve	234
4.4.1.1	Längenmessung	234
4.4.1.2	Dämpfungsmessung	237
4.4.1.3	Dämpfungsmessung an sehr kurzen Strecken	238
4.4.2	Auswertung problematischer Rückstreudiagramme	239
4.4.2.1	Prinzip der bidirektionalen Messung	239
4.4.2.2	Vorteile der bidirektionalen Messung	243
4.4.2.3	Änderung der Rückstreudämpfung an einer Koppelstelle	243
4.4.2.4	Quasibidirektionalen Rückstreumessung	245
4.4.3	Kopplung von SM-LWL mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern	246
4.4.4	Zusammenfassung	249
4.5	Interpretation der Messergebnisse	250
4.5.1	Vergleich zwischen Dämpfungs- und Rückstreukurve	250
4.5.2	Mittelung der Messergebnisse	251
4.5.3	Zusammenfassung	252
4.6	Parameter und Definitionen	252
4.6.1	Dynamik	253
4.6.2	Impulswiederholrate	254
4.6.3	Impulslänge und Auflösungsvermögen	255
4.6.4	Totzonen	258
4.6.5	Weitere Parameter	253
4.6.6	Zusammenfassung	260
4.7	Praktische Hinweise zur Rückstreumessung	260
4.7.1	Allgemeine Hinweise	260
4.7.2	Vor- und Nachlaufprüfschnur	261
4.7.2.1	Vorteile	261
4.7.2.2	Einseitige Messung mit Vorlaufprüfschnur	264
4.7.2.3	Beidseitige Messung mit Vor- und Nachlaufprüfschnur	264
4.7.3	Geisterreflexionen	266
4.7.4	Auswertung und Dokumentation	270
4.7.5	Fehlanpassungen	270
4.7.5.1	Unterschiedliche LWL-Parameter	270
4.7.5.2	Unterschiedliche Steckerstirnflächen	271

4.7.5.3	Unterbrochener physischer Kontakt.....	272
4.7.5.4	Gleiche Steckerstirnflächen.....	272
4.7.5.5	Zusammenfassung	274
4.7.6	Kriterien zur Beurteilung der Qualität der installierten Strecke.....	274
4.7.6.1	Allgemeine Hinweise Abnahmevorschriften	275
4.7.6.2	Vorschlag Abnahmevorschrift Multimode-LWL.....	276
4.7.6.3	Vorschlag Abnahmevorschrift Singlemode-LWL	276
4.7.7	Zusammenfassung	278
4.8	Reflexionsmessungen	278
4.9	LWL-Überwachungssysteme	279
4.9.1	Dunkelfasermessung.....	280
4.9.2	Messung der aktiven Faser	280
4.10	Messungen an DWDM-Systemen.....	281
4.10.1	Modifikation der herkömmlichen Messungen	281
4.10.2	Spektrale Messungen.....	282
4.10.3	Dispersionsmessungen.....	283
4.10.4	Zusammenfassung	283
4.11	Literatur.....	283
5	Fiber-to-the-Home/Building	284
	Dieter Eberlein	
5.1	Anforderungen an die Bandbreite.....	284
5.2	Netzstrukturen	286
5.2.1	Ethernet-Punkt-zu-Punkt (EP2P)	287
5.2.2	Punkt-zu-Multi-Punkt	288
5.2.2.1	Aktives optisches Netz (AON).....	288
5.2.2.2	Passives optisches Netz (PON)	289
5.2.3	Vergleich der Varianten.....	293
5.3	Offene Infrastruktur	284
5.4	Wellenlängenbelegung bei FTTx.....	294
5.5	Normen	295
5.5.1	Breitband-PON.....	296
5.5.2	Gigabit-PON.....	296
5.5.3	Gigabit-Ethernet-PON	297
5.5.4	Next-Generation PON	297
5.5.5	Downstream 10 Gbit/s.....	297
5.5.6	TWDM-PON	298
5.5.7	Wellenlängenmultiplex-PON (P2P WDM-PON)	299
5.5.8	Zusammenfassung FTTx-Varianten.....	301
5.6	Passive Komponenten	302
5.6.1	Steckverbinder.....	302
5.6.2	Lichtwellenleiter	303
5.6.3	Kabel für FTTx-Projekte.....	304
5.6.4	Koppler	305
5.6.5	Ratgeber für Planung und Bau (DTAG)	307
5.7	Aktive Komponenten	309
5.7.1	Sender.....	309
5.7.2	Empfänger.....	310

5.7.3	Optische Verstärker	311
5.8	Faserabschluss beim Teilnehmer	311
5.8.1	Pigtail mit Fusionsspleißgerät anspleißen.....	312
5.8.2	Pigtail mit mechanischem Spleißgerät anspleißen	313
5.8.3	Stecker mit Fusionsspleißgerät anspleißen	313
5.8.4	Stecker durch mechanischen Spleiß anspleißen	314
5.8.5	Verlegung vorkonfektionierter Kabel	314
5.9	Budgetplanung	315
5.10	Normung	316
5.11	Messungen an FTTB/H-Netzen	318
5.11.1	Allgemeine Hinweise	318
5.11.2	Ausbauszenario DTAG FTTH-Netze (Eigenausbau).....	318
5.11.3	Empfehlungen der Deutschen Telekom.....	319
5.12	Förderung durch den Bund	320
5.13	Zusammenfassung	321
5.14	Literatur	321
6	Optische Übertragungssysteme	322
	Dieter Eberlein	
6.1	Planung von LWL-Strecken aus physikalischer Sicht.....	322
6.1.1	Allgemeine Regeln	322
6.1.2	Planung des Dämpfungsbudgets	323
6.1.3	Pegeldiagramm	326
6.1.4	Dispersion in Lichtwellenleitern	328
6.1.4.1	Chromatische Dispersion	328
6.1.4.2	Dispersionstoleranz	330
6.1.4.3	Kompensation der chromatischen Dispersion	331
6.1.5	Systemplanung	334
6.1.6	Zusammenfassung.....	336
6.2	Mehrkanalübertragung über MTP/MPO-Stecker	336
6.2.1	Einsatzfälle	336
6.2.2	Mehrkanalübertragung	337
6.2.3	Beschaltungsmöglichkeiten	341
6.2.4	Dämpfungsmessung an Mehrfaserkabeln	343
6.3	Realisierung hoher Bandbreiten mit Multimode-LWL	345
6.3.1	Von Ethernet zu 10-Gigabit-Ethernet	345
6.3.2	40/100-Gigabit-Ethernet.....	347
6.3.3	Physikalische Begrenzungen	348
6.3.4	Bandbreiten-Definitionen	348
6.3.4.1	LED-Bandbreite	348
6.3.4.2	EMB-Bandbreite	349
6.3.4.3	minEMBc-Bandbreite	350
6.3.5	Kategorien von Multimode-Lichtwellenleitern	350
6.3.6	Zusammenfassung	351
6.4	Systeme mit Kunststoff-Lichtwellenleitern	352
6.4.1	Eigenschaften von Kunststoff-Lichtwellenleitern.....	352
6.4.2	Komponenten für Kunststoff-LWL-Systeme	353
6.4.3	Verbindungstechnik	354

6.4.4	Passive optische Komponenten	354
6.4.5	Einsatz von Kunststoff-Lichtwellenleitern	355
6.4.6	Weitere Entwicklungen	355
6.4.7	Zusammenfassung	356
6.5	Optische Freiraumübertragung	356
6.5.1	Vergleich mit herkömmlichen Verfahren	356
6.5.2	Einsatzfelder	358
6.5.3	Prinzip der optischen Freiraumübertragung	358
6.5.4	Besonderheiten der optischen Freiraumübertragung	360
6.5.5	Optische Freiraumübertragungssysteme	361
6.5.6	Budgetkalkulation.....	362
6.5.7	Zusammenfassung und Ausblick	363
6.6	Literatur	364
7	Anhang	365
	Dieter Eberlein	
7.1	Abkürzungen	365
7.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	369
7.3	Fachbegriffe	373
8	Stichwortverzeichnis	386
9	Autorenverzeichnis	393