

Vorwort zur 12. 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
1.1.6	Zusammenfassung	16
1.2	Materialien und Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	17
1.2.1	Quarzglas	17
1.2.2	Herstellung von Quarzglas-Lichtwellenleitern	19
1.2.2.1	Herstellung eines Kernstabes	19
1.2.2.2	Herstellung der Vorform	23
1.2.2.3	Faserziehen	24
1.2.2.4	Verkabelung	26
1.3	Lichtwellenleiter-Typen und Dispersion	27
1.3.1	Stufenprofil-Lichtwellenleiter und Modendispersion	27
1.3.1.1	Strahlausbreitung im Stufenprofil-LWL	27
1.3.1.2	Dispersion im Stufenprofil-LWL	28
1.3.1.3	Typen von Stufenprofil-LWL	30
1.3.2	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter und Profildispersion	32
1.3.2.1	Strahlausbreitung im Gradientenprofil-LWL	32
1.3.2.2	Dispersion im Gradientenprofil-LWL	34
1.3.2.3	Numerische Apertur im Gradientenprofil-LWL	34
1.3.2.4	Typen von Gradientenprofil-LWL	35
1.3.3	Vergrößerung Bandbreite-Längen-Produkt	39
1.3.3.1	Parabelprofil-LWL mit optimiertem Brechzahlprofil	39
1.3.3.2	Materialdispersion	39
1.3.4	Biegeunempfindlicher Multimode-LWL	43
1.3.5	Standard-Singlemode-Lichtwellenleiter und chromatische Dispersion ...	44
1.3.5.1	Wellenausbreitung im Singlemode-LWL	45
1.3.5.2	Dispersion im Singlemode-LWL	46
1.3.5.3	Wellenleiter Dispersion	46

1.3.5.4	Chromatische Dispersion	47
1.3.5.5	Eigenschaften des Singlemode-LWL	49
1.3.5.6	Parameter Standard-Singlemode-LWL	51
1.3.6	Singlemode-LWL mit reduziertem Wasserpeak	53
1.3.7	Dispersionsverschobener Singlemode-LWL	54
1.3.8	Cut-off shifted Lichtwellenleiter	55
1.3.9	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter	55
1.3.10	NZDSF für erweiterten Wellenlängenbereich	58
1.3.11	Lichtwellenleiter mit reduzierter Biegeempfindlichkeit	59
1.3.11.1	Kategorie A	60
1.3.11.2	Kategorie B	61
1.3.11.3	Praktische Aspekte	62
1.3.12	Kategorien von Singlemode-LWL	63
1.3.13	Trends bei der Faserentwicklung	64
1.3.13.1	Weiterentwicklung des Standard-Singlemode-LWL	64
1.3.13.2	Fasern mit reduziertem Coating-Durchmesser	65
1.3.13.3	Fasern für Raummultiplex	67
1.3.14	Polarisationsmodendispersion (PMD)	68
1.3.14.1	PMD-Effekt	69
1.3.14.2	PMD-Koeffizient	73
1.3.14.3	Polarisationsmodendispersion optischer Bauelemente	75
1.3.14.4	Auswahl der zu messenden Fasern	75
1.3.14.5	PMD-Koeffizient langer Strecken	76
1.3.15	Alterung von Lichtwellenleitern	77
1.3.15.1	Materialeigenschaften	77
1.3.15.2	Durchlaufzeit und Risswachstum	78
1.3.15.3	Statistische Beschreibung der Ausfallwahrscheinlichkeit	80
1.3.15.4	Richtlinien für zulässige Faserspannungen	81
1.3.15.5	Richtlinien für zulässigen Biegeradien	83
1.3.15.6	Effekte, die die Lebensdauer der Faser herabsetzen	85
1.3.15.7	Allgemeine Hinweise zur Faserhandhabung	86
1.3.15.8	Faserhandhabung beim Spleißen	87
1.3.16	Zusammenfassung	88
1.4	Optoelektronische Bauelemente	89
1.4.1	Elektrooptische Wechselwirkungen im Halbleiter	90
1.4.2	Lumineszenzdioden	92
1.4.3	Laserdioden	93
1.4.3.1	Arten von Laserdioden	93
1.4.3.2	Kenngrößen und Eigenschaften von Laserdioden	96
1.4.4	Empfängerdioden	100
1.4.4.1	PIN-Photodiode	100
1.4.4.2	Lawinen-Photodiode	103
1.4.4.3	Wichtige Eigenschaften von Empfängerdioden	103
1.4.5	Transceiver	104
1.4.5.1	Übersicht Transceiver	104
1.4.5.2	Gigabit Interface Converter (GBIC)	104
1.4.5.3	Small Form Factor Pluggable (SFP)	104
1.4.5.4	Nomenklatur von Ethernet-Transceivern	106
1.4.5.5	Reichweiten entsprechend Ethernet-Standard IEEE 802.3	106

1.4.5.6	Ausblick	108
1.4.6	Zusammenfassung	109
1.5	Literatur	109
2	Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern	111
	Dieter Eberlein	
2.1	Allgemeine Eigenschaften	111
2.2	Koppelverluste zwischen Lichtwellenleitern	112
2.2.1	Verluste zwischen Multimode-LWL	113
2.2.2	Verluste zwischen Singlemode-LWL	114
2.3	Stirnflächenkontakt	115
2.3.1	Stecker mit ebener Stirnfläche	115
2.3.2	Stecker mit physischem Kontakt	116
2.3.3	Schrägschliffstecker	116
2.3.4	APC/HRL-Stecker	117
2.4	Verdrehsicherung	118
2.5	Stift-Hülse-Prinzip	118
2.6	Verringerung der Steckerdämpfung	120
2.6.1	Ablageverfahren	121
2.6.2	Prägeverfahren	121
2.7	Dämpfungs- und Reflexionsklassen	123
2.8	Steckertypen	124
2.8.1	Farbmarkierungen	124
2.8.2	Herkömmliche Steckertypen	125
2.8.3	Small-Form-Factor-Stecker	127
2.8.4	Spezielle Steckerlösungen	128
2.9	Trends der lösbaren Verbindungstechnik	130
2.9.1	Stecker für den Outdoorbereich	130
2.9.2	Erhöhung der Faserpackungsdichte	131
2.9.2.1	Datenübertragung in Rechenzentren	131
2.9.2.2	Mehrfaserstecker	132
2.9.2.3	URM-Stecker	133
2.9.2.4	CS-, SN- und MDC-Stecker	134
2.9.3	Stecker für die Leiterplattenkopplung	135
2.9.4	Selbstreinigende Steckeroberflächen	136
2.10	Sorgfalt im Umgang mit Steckverbindern	137
2.10.1	Auswirkungen von Verschmutzungen	137
2.10.2	Ursachen für Verunreinigungen	138
2.10.3	Steckerreinigung	139
2.10.4	Sichtprüfung an Steckerstirnflächen	143
2.11	Literatur	146
3	Nichtlösbare Glasfaserverbindung - Fusionsspleißen	147
	Christina Manzke	
3.1	Einführung	147

3.2	Fusionsspleißen	148
3.2.1	Einflussfaktoren	148
3.2.1.1	Intrinsische Faktoren	149
3.2.1.2	Extrinsische Faktoren	150
3.2.2	Spleißvorbereitung	150
3.2.2.1	Vorbereitung des Arbeitsplatzes	150
3.2.2.2	Kabelvorbereitung	151
3.2.2.3	Faservorbereitung	152
3.2.3	Spleißen	158
3.2.3.1	Justage der Fasern	158
3.2.3.2	V-Nut-Geräte	159
3.2.3.3	3-Achsen-Geräte	160
3.2.3.4	Verschmelzen der Fasern	164
3.2.3.5	Selbstjustageeffekt	167
3.2.3.6	Becksche Linie	168
3.2.4	Bestimmen der Spleißdämpfung	168
3.2.5	Zugfestigkeit	169
3.2.6	Spleiße mit hoher Festigkeit	171
3.2.7	Schutz des Spleißes	172
3.3	Spezielle Spleiße	174
3.3.1	Faserbändchen	174
3.3.1.1	Vorbereiten der Faserbändchen	176
3.3.1.2	Spleißen der Faserbändchen	177
3.3.1.3	Grenzwerte für die Spleißdämpfung	177
3.3.1.4	Schutz des Spleißes	178
3.3.1.5	Abschluss der Strecke	178
3.3.2	Spleißen unterschiedlicher Fasern	178
3.3.2.1	Standard-Singlemode-LWL auf biegeoptimierte Lichtwellenleiter (BIF) ..	178
3.3.2.2	Standard-Singlemode-LWL auf NZDS-LWL	181
3.3.2.3	Singlemode-LWL auf hochdotierte Spezialfasern	182
3.3.2.4	Singlemode-LWL auf Multimode-LWL	184
3.3.3	Spleißen polarisationserhaltender Fasern	185
3.4	Ausblick	189
3.5	Literatur	190

4 Lichtwellenleiter-Messtechnik **191**

Dieter Eberlein

4.1	Allgemeine Hinweise	191
4.2	Messung von Leistungen und Dämpfungen	193
4.2.1	Definierte Anregung des Multimode-LWL	193
4.2.2	Leistungsmessung	194
4.2.3	Dämpfungsmessung	196
4.2.3.1	Praktische Hinweise	196
4.2.3.2	Auswertung der Messergebnisse	197
4.2.3.3	Normen zur Dämpfungsmessung	198
4.2.3.4	Dämpfungsmessungen an Steckern	198
4.2.3.5	Dämpfungsmessungen an Leitungen	199

4.2.3.6	Hoch genaue Dämpfungsmessung	202
4.2.3.7	Allgemeine Hinweise nach DIN ISO/IEC 14763-3	207
4.2.4	Zusammenfassung	207
4.3	Optische Rückstreuung	208
4.3.1	Prinzip der Rückstreuung	208
4.3.2	Rückstreckkurve als Messergebnis	210
4.3.3	Interpretation der Ereignistabelle	216
4.3.4	Gestreute und reflektierte Leistungen	218
4.3.4.1	Rayleighstreuung	219
4.3.4.2	Reflektierende Ereignisse	223
4.3.5	Zusammenfassung	224
4.4	Analyse von Rückstreckdiagrammen	224
4.4.1	Interpretation der Rückstreckkurve	224
4.4.1.1	Längenmessung	224
4.4.1.2	Dämpfungsmessung	227
4.4.2	Auswertung problematischer Rückstreckdiagramme	228
4.4.2.1	Prinzip der bidirektionalen Messung	228
4.4.2.2	Vorteile der bidirektionalen Messung	231
4.4.2.3	Änderung der Rückstreckdämpfung an der Koppelstelle	232
4.4.2.4	Quasibidirektionalen Rückstreckmessung	233
4.4.3	Kopplung von SM-LWL mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern	234
4.4.4	Zusammenfassung	238
4.5	Interpretation der Messergebnisse	238
4.5.1	Vergleich zwischen Dämpfungs- und Rückstreckkurve	238
4.5.2	Mittelung der Messergebnisse	240
4.5.3	Zusammenfassung	241
4.6	Parameter und Definitionen	241
4.6.1	Dynamik	241
4.6.2	Impulswiederholrate	242
4.6.3	Impulslänge und Auflösungsvermögen	244
4.6.4	Totzonen	246
4.6.5	Weitere Parameter	247
4.6.6	Zusammenfassung	248
4.7	Praktische Hinweise zur Rückstreckmessung	248
4.7.1	Allgemeine Hinweise	248
4.7.2	Vor- und Nachlaufprüfschnur	250
4.7.2.1	Vorteile	250
4.7.2.2	Einseitige Messung mit Vorlauf-LWL	252
4.7.2.3	Beidseitige Messung mit Vor- und Nachlauf-LWL	252
4.7.3	Geisterreflexionen	254
4.7.4	Auswertung und Dokumentation	258
4.7.5	Fehlanpassungen	258
4.7.5.1	Unterschiedliche LWL-Parameter	258
4.7.5.2	Unterschiedliche Steckerstirnflächen	259
4.7.5.3	Unterbrochener physischer Kontakt	260
4.7.5.4	Gleiche Steckerstirnflächen	260
4.7.5.5	Zusammenfassung	262
4.7.6	Kriterien zur Beurteilung der Qualität der installierten Strecke	262
4.7.6.1	Allgemeine Hinweise Abnahmevorschriften	263

4.7.6.2	Vorschlag Abnahmevorschrift Multimode-LWL	264
4.7.6.3	Vorschlag Abnahmevorschrift Singlemode-LWL	264
4.7.7	Zusammenfassung	266
4.8	Reflexionsmessungen	266
4.9	LWL-Überwachungssysteme	267
4.9.1	Dunkelfasermessung	268
4.9.2	Messung der aktiven Faser	268
4.10	Messungen an DWDM-Systemen	269
4.10.1	Modifikation der herkömmlichen Messungen	269
4.10.2	Spektrale Messungen	270
4.10.3	Dispersionsmessungen	270
4.10.4	Zusammenfassung	271
4.11	Literatur	271
5	Fiber-to-the-Home/Building	272
	Dieter Eberlein	
5.1	Anforderungen an die Bandbreite	272
5.2	Netzstrukturen	274
5.2.1	Ethernet-Punkt-zu-Punkt (EP2P)	275
5.2.2	Punkt-zu-Multi-Punkt	276
5.2.2.1	Aktives optisches Netz (AON)	276
5.2.2.2	Passives optisches Netz (PON)	277
5.2.3	Vergleich der Varianten	281
5.3	Offene Infrastruktur	282
5.4	Wellenlängenbelegung bei FTTx	282
5.5	Normen	283
5.5.1	Breitband-PON	284
5.5.2	Gigabit-PON	284
5.5.3	Gigabit-Ethernet-PON	284
5.5.4	Next-Generation PON	285
5.5.5	Downstream 10 Gbit/s	285
5.5.6	TWDM-PON	286
5.5.7	Wellenlängenmultiplex-PON (P2P WDM-PON)	287
5.5.8	Zusammenfassung FTTx-Varianten	289
5.6	Passive Komponenten	290
5.6.1	Steckverbinder	290
5.6.2	Lichtwellenleiter	290
5.6.3	Kabel für FTTx-Projekte	291
5.6.4	Koppler	293
5.6.5	Ratgeber für Planung und Bau (DTAG)	295
5.7	Aktive Komponenten	296
5.7.1	Sender	296
5.7.2	Empfänger	298
5.7.3	Optische Verstärker	298
5.8	Faserabschluss beim Teilnehmer	299
5.8.1	Pigtail mit Fusionsspleißgerät anspleißen	299
5.8.2	Pigtail mit mechanischem Spleißgerät anspleißen	300

5.8.3	Stecker mit Fusionsspleißgerät anspleißen	301
5.8.4	Stecker mit mechanischem Spleißgerät anspleißen	301
5.8.5	Verlegung vorkonfektionierter Kabel	301
5.9	Budgetplanung	302
5.10	Normung	304
5.11	Messungen an FTTH/B-Netzen	304
5.11.1	Allgemeine Hinweise	304
5.11.2	Empfehlungen der Deutschen Telekom	305
5.12	Förderung durch den Bund	306
5.13	Zusammenfassung	306
5.14	Literatur	307
6	Optische Übertragungssysteme	308
	Dieter Eberlein	
6.1	Planung von LWL-Strecken aus physikalischer Sicht	308
6.1.1	Allgemeine Regeln	308
6.1.2	Planung des Dämpfungsbudgets	309
6.1.3	Pegeldiagramm	312
6.1.4	Dispersion in Lichtwellenleitern	314
6.1.4.1	Chromatische Dispersion	314
6.1.4.2	Dispersionstoleranz	317
6.1.4.3	Kompensation der chromatischen Dispersion	317
6.1.5	Systemplanung	319
6.1.6	Zusammenfassung	320
6.2	Mehrkanalübertragung über MTP/MPO-Stecker	321
6.2.1	Einsatzfälle	321
6.2.2	Mehrkanalübertragung	322
6.2.3	Beschaltungsmöglichkeiten	325
6.2.4	Dämpfungsmessung an Mehrfaserkabeln	327
6.3	Realisierung hoher Bandbreiten mit Multimode-LWL	329
6.3.1	Von Ethernet zu 10-Gigabit-Ethernet	329
6.3.2	40/100-Gigabit-Ethernet	330
6.3.3	Physikalische Begrenzungen	331
6.3.4	Bandbreiten-Definitionen	331
6.3.4.1	LED-Bandbreite	332
6.3.4.2	EMB-Bandbreite	332
6.3.4.3	minEMBc-Bandbreite	333
6.3.5	Kategorien von Multimode-Lichtwellenleitern	334
6.3.6	Zusammenfassung	334
6.4	Systeme mit Kunststoff-Lichtwellenleitern	335
6.4.1	Eigenschaften von Kunststoff-Lichtwellenleitern	335
6.4.2	Komponenten für Kunststoff-LWL-Systeme	336
6.4.3	Verbindungstechnik	337
6.4.4	Passive optische Komponenten	337
6.4.5	Einsatz von Kunststoff-Lichtwellenleitern	338
6.4.6	Weitere Entwicklungen	338
6.4.7	Zusammenfassung	339

6.5	Optische Freiraumübertragung	339
6.5.1	Vergleich mit herkömmlichen Verfahren	339
6.5.2	Einsatzfelder	341
6.5.3	Prinzip der optischen Freiraumübertragung	341
6.5.4	Besonderheiten der optischen Freiraumübertragung	343
6.5.5	Optische Freiraumübertragungssysteme	344
6.5.6	Budgetkalkulation.....	345
6.5.7	Zusammenfassung und Ausblick	346
6.6	Literatur.....	347
7	Anhang	348
	Dieter Eberlein	
7.1	Abkürzungen	348
7.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	352
7.3	Fachbegriffe	356
8	Stichwortverzeichnis	369
9	Autorenverzeichnis	376