

Inhaltsverzeichnis

Vorwort zur 11. Auflage

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	12
	Dieter Eberlein, Ralph Sattmann (Abschnitt 1.2)	
1.1	Physikalische Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik	13
1.1.1	Prinzip der optischen Informationsübertragung	13
1.1.2	Vor- und Nachteile der LWL-Übertragung	14
1.1.3	Elektromagnetisches Spektrum	16
1.1.4	Signalausbreitung im Lichtwellenleiter	17
1.1.5	Dämpfung im Lichtwellenleiter	21
1.1.5.1	Definition der Dämpfung	21
1.1.5.2	Dämpfungseffekte im Lichtwellenleiter	24
1.1.6	Zusammenfassung	27
1.2	Werkstoffe und Herstellungsverfahren für Lichtwellenleiter	28
1.2.1	Quarzglas	28
1.2.2	Herstellung von Quarzglas-Lichtwellenleitern	30
1.2.2.1	Herstellung eines Kernstabes	30
1.2.2.2	Herstellung der Vorform	34
1.2.2.3	Faserziehen	35
1.2.2.4	Verkabelung	37
1.3	Lichtwellenleiter-Typen und Dispersion	38
1.3.1	Stufenprofil-Lichtwellenleiter und Modendispersion	38
1.3.1.1	Strahlausbreitung im Stufenprofil-LWL	38
1.3.1.2	Dispersion im Stufenprofil-LWL	39
1.3.1.3	Typen von Stufenprofil-LWL	41
1.3.2	Gradientenprofil-Lichtwellenleiter und Profildispersion	43
1.3.2.1	Strahlausbreitung im Gradientenprofil-LWL	43
1.3.2.2	Dispersion im Gradientenprofil-LWL	45
1.3.2.3	Numerische Apertur im Gradientenprofil-LWL	45
1.3.2.4	Typen von Gradientenprofil-LWL	46
1.3.3	Vergrößerung Bandbreite-Längen-Produkt	50
1.3.3.1	Parabelprofil-LWL mit optimiertem Brechzahlprofil	50
1.3.3.2	Materialdispersion	50
1.3.4	Biegeunempfindlicher Multimode-LWL	54
1.3.5	Standard-Singlemode-Lichtwellenleiter und chromatische Dispersion ...	55
1.3.5.1	Wellenausbreitung im Singlemode-LWL	56
1.3.5.2	Dispersion im Singlemode-LWL	57
1.3.5.3	Wellenleiter-Dispersion	57

1.3.5.4	Chromatische Dispersion	58
1.3.5.5	Eigenschaften des Singlemode-LWL	60
1.3.5.6	Parameter Standard-Singlemode-LWL	62
1.3.6	Singlemode-LWL mit reduziertem Wasserpeak	64
1.3.7	Dispersionsverschobener Singlemode-LWL	65
1.3.8	Cut-off shifted Lichtwellenleiter	66
1.3.9	Non-zero dispersion shifted Lichtwellenleiter	66
1.3.10	NZDSF für erweiterten Wellenlängenbereich	69
1.3.11	Lichtwellenleiter mit reduzierter Biegeempfindlichkeit	70
1.3.11.1	Kategorie A	71
1.3.11.2	Kategorie B	72
1.3.11.3	Praktische Aspekte	73
1.3.12	Kategorien von Singlemode-LWL	74
1.3.13	Trends bei der Faserentwicklung	75
1.3.13.1	Weiterentwicklung des Standard-Singlemode-LWL	75
1.3.13.2	Fasern mit reduziertem Coating-Durchmesser	76
1.3.13.3	Fasern für Raummultiplex	78
1.3.14	Polarisationsmodendispersion (PMD)	79
1.3.14.1	PMD-Effekt	80
1.3.14.2	PMD-Koeffizient	84
1.3.14.3	Polarisationsmodendispersion optischer Bauelemente	86
1.3.14.4	Auswahl der zu messenden Fasern	86
1.3.14.5	PMD-Koeffizient langer Strecken	87
1.3.15	Alterung von Lichtwellenleitern	88
1.3.15.1	Materialeigenschaften	88
1.3.15.2	Durchlaufzeit und Risswachstum	89
1.3.15.3	Statistische Beschreibung der Ausfallwahrscheinlichkeit	91
1.3.15.4	Richtlinien für zulässige Faserspannungen	92
1.3.15.5	Richtlinien für zulässigen Biegeradien	94
1.3.15.6	Effekte, die die Lebensdauer der Faser herabsetzen	96
1.3.15.7	Allgemeine Hinweise zur Faserhandhabung	97
1.3.15.8	Faserhandhabung beim Spleißen	98
1.3.16	Zusammenfassung	99
1.4	Optoelektronische Bauelemente	100
1.4.1	Elektrooptische Wechselwirkungen im Halbleiter	101
1.4.2	Lumineszenzdioden	103
1.4.3	Laserdioden	104
1.4.3.1	Arten von Laserdioden	104
1.4.3.2	Kenngößen und Eigenschaften von Laserdioden	107
1.4.4	Empfängerdioden	111
1.4.4.1	PIN-Photodiode	111
1.4.4.2	Lawinen-Photodiode	114
1.4.4.3	Wichtige Eigenschaften von Empfängerdioden	114
1.4.5	Transceiver	114
1.4.6	Zusammenfassung	116
1.5	Literatur	116

2	Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern	117
	Dieter Eberlein	
2.1	Allgemeine Eigenschaften.....	117
2.2	Koppelverluste zwischen Lichtwellenleitern	118
2.2.1	Verluste zwischen Multimode-LWL	119
2.2.2	Verluste zwischen Singlemode-LWL.....	120
2.3	Stirnflächenkontakt.....	121
2.3.1	Stecker mit ebener Stirnfläche	121
2.3.2	Stecker mit physischem Kontakt	122
2.3.3	Schrägschliffstecker	122
2.3.4	APC/HRL-Stecker	123
2.4	Verdrehsicherung	124
2.5	Stift-Hülse-Prinzip	124
2.6	Verringerung der Steckerdämpfung	126
2.6.1	Ablageverfahren	127
2.6.2	Prägeverfahren	127
2.7	Dämpfungs- und Reflexionsklassen	129
2.8	Steckertypen	130
2.8.1	Farbmarkierungen	130
2.8.2	Herkömmliche Steckertypen	131
2.8.3	Small-Form-Factor-Stecker.....	133
2.8.4	Spezielle Steckerlösungen.....	134
2.9	Trends der lösbaren Verbindungstechnik	136
2.9.1	Stecker für den Outdoorbereich	136
2.9.2	Erhöhung der Faserpackungsdichte	137
2.9.2.1	Datenübertragung in Rechenzentren	137
2.9.2.2	Mehrfaserstecker	138
2.9.2.3	URM-Stecker.....	139
2.9.2.4	CS-, SN- und MDC-Stecker	140
2.9.3	Stecker für die Leiterplattenkopplung.....	141
2.9.4	Selbstreinigende Steckeroberflächen	142
2.10	Sorgfalt im Umgang mit Steckverbindern.....	143
2.10.1	Auswirkungen von Verschmutzungen.....	143
2.10.2	Ursachen für Verunreinigungen	144
2.10.3	Steckerreinigung	145
2.10.4	Sichtprüfung an Steckerstirnflächen	149
2.11	Literatur.....	152
3	Nichtlösbare Glasfaserverbindung - Fusionsspleißen	153
	Christina Manzke	
3.1	Einführung	153
3.2	Fusionsspleißen	154
3.2.1	Einflussfaktoren	154
3.2.1.1	Intrinsische Faktoren	155
3.2.1.2	Extrinsische Faktoren	156
3.2.2	Spleißvorbereitung	156

3.2.2.1	Vorbereitung des Arbeitsplatzes	156
3.2.2.2	Kabelvorbereitung	157
3.2.2.3	Faservorbereitung	158
3.2.3	Spleißen	164
3.2.3.1	Justage der Fasern	164
3.2.3.2	V-Nut-Geräte	165
3.2.3.3	3-Achsen-Geräte	166
3.2.3.4	Verschmelzen der Fasern.....	170
3.2.3.5	Selbstjustageeffekt	173
3.2.3.6	Becksche Linie	174
3.2.4	Bestimmen der Spleißdämpfung	174
3.2.5	Zugfestigkeit.....	175
3.2.6	Spleiße mit hoher Festigkeit.....	177
3.2.7	Schutz des Spleißes	178
3.3	Spezielle Spleiße	180
3.3.1	Faserbändchen	180
3.3.1.1	Vorbereiten der Faserbändchen	182
3.3.1.2	Spleißen der Faserbändchen	183
3.3.1.3	Grenzwerte für die Spleißdämpfung	183
3.3.1.4	Schutz des Spleißes	184
3.3.1.5	Abschluss der Strecke	184
3.3.2	Spleißen unterschiedlicher Fasern	184
3.3.2.1	Standard-Singlemode-LWL auf biegeoptimierte Lichtwellenleiter (BIF)..	184
3.3.2.2	Standard-Singlemode-LWL auf NZDS-LWL	187
3.3.2.3	Singlemode-LWL auf hochdotierte Spezialfasern.....	188
3.3.2.4	Singlemode-LWL auf Multimode-LWL	190
3.3.3	Spleißen polarisationserhaltender Fasern	191
3.4	Ausblick	195
3.5	Literatur.....	196
4	Lichtwellenleiter-Messtechnik	197
	Dieter Eberlein	
4.1	Allgemeine Hinweise	197
4.2	Messung von Leistungen und Dämpfungen	199
4.2.1	Definierte Anregung des Multimode-LWL	199
4.2.2	Leistungsmessung	200
4.2.3	Dämpfungsmessung	202
4.2.3.1	Praktische Aspekte	202
4.2.3.2	Auswertung der Messergebnisse	203
4.2.3.3	Normen zur Dämpfungsmessung	204
4.2.3.4	Dämpfungsmessungen an Steckern	204
4.2.3.5	Dämpfungsmessungen an Leitungen	205
4.2.3.6	Hoch genaue Dämpfungsmessung.....	208
4.2.3.7	Allgemeine Hinweise nach DIN ISO/IEC 14763-3	213
4.2.4	Zusammenfassung	213
4.3	Optische Rückstreuung	214
4.3.1	Prinzip der Rückstreuung	214

4.3.2	Rückstreucurve als Messergebnis	217
4.3.3	Interpretation der Ereignistabelle	222
4.3.4	Gestreute und reflektierte Leistungen.....	224
4.3.4.1	Rayleighstreuung	225
4.3.4.2	Reflektierende Ereignisse	229
4.3.5	Zusammenfassung	230
4.4	Analyse von Rückstreudiagrammen	230
4.4.1	Interpretation der Rückstreucurve	230
4.4.1.1	Längenmessung	230
4.4.1.2	Dämpfungsmessung	233
4.4.2	Auswertung problematischer Rückstreudiagramme.....	234
4.4.2.1	Prinzip der bidirektionalen Messung	234
4.4.2.2	Vorteile der bidirektionalen Messung	237
4.4.2.3	Änderung der Rückstredämpfung an der Koppelstelle	238
4.4.2.4	Quasibidirektionalen Rückstremessung.....	239
4.4.3	Kopplung von SM-LWL mit unterschiedlichen Modenfelddurchmessern	240
4.4.4	Zusammenfassung	244
4.5	Interpretation der Messergebnisse	244
4.5.1	Vergleich zwischen Dämpfungs- und Rückstreucurve	244
4.5.2	Mittelung der Messergebnisse	246
4.5.3	Zusammenfassung	247
4.6	Parameter und Definitionen	247
4.6.1	Dynamik	247
4.6.2	Impulswiederholrate	248
4.6.3	Impulslänge und Auflösungsvermögen	250
4.6.4	Totzonen	252
4.6.5	Weitere Parameter	253
4.6.6	Zusammenfassung	254
4.7	Praktische Hinweise zur Rückstremessung	254
4.7.1	Allgemeine Hinweise	254
4.7.2	Vor- und Nachlauf-LWL.....	256
4.7.2.1	Vorteile	256
4.7.2.2	Einseitige Messung mit Vorlauf-LWL	258
4.7.2.3	Beidseitige Messung mit Vor- und Nachlauf-LWL	258
4.7.3	Geisterreflexionen.....	260
4.7.4	Auswertung und Dokumentation.....	264
4.7.5	Fehlanpassungen.....	264
4.7.5.1	Unterschiedliche LWL-Parameter	264
4.7.5.2	Unterschiedliche Steckerstirnflächen	265
4.7.5.3	Unterbrochener physischer Kontakt.....	266
4.7.5.4	Gleiche Steckerstirnflächen	266
4.7.5.5	Zusammenfassung	268
4.7.6	Kriterien zur Beurteilung der Qualität der installierten Strecke.....	268
4.7.6.1	Allgemeine Hinweise Abnahmevorschriften	269
4.7.6.2	Vorschlag Abnahmevorschrift Multimode-LWL	270
4.7.6.3	Vorschlag Abnahmevorschrift Singlemode-LWL	270
4.7.7	Zusammenfassung	272
4.8	Reflexionsmessungen	272
4.9	LWL-Überwachungssysteme	273

4.9.1	Dunkelfasermessung	274
4.9.2	Messung der aktiven Faser	274
4.10	Messungen an DWDM-Systemen	275
4.10.1	Modifikation der herkömmlichen Messungen	275
4.10.2	Spektrale Messungen	276
4.10.3	Dispersionsmessungen	277
4.10.4	Zusammenfassung	277
4.11	Literatur	277
5	Fiber-to-the-Home/Building	278
	Dieter Eberlein	
5.1	Anforderungen an die Bandbreite	278
5.2	Netzstrukturen	280
5.2.1	Ethernet-Punkt-zu-Punkt (EP2P)	281
5.2.2	Punkt-zu-Multi-Punkt	282
5.2.2.1	Aktives optisches Netz (AON)	282
5.2.2.2	Passives optisches Netz (PON)	283
5.2.3	Vergleich der Varianten	287
5.3	Offene Infrastruktur	288
5.4	Wellenlängenbelegung bei FTTx	288
5.5	Normen	289
5.5.1	Breitband-PON	290
5.5.2	Gigabit-PON	290
5.5.3	Gigabit-Ethernet-PON	290
5.5.4	Next-Generation PON	291
5.5.5	Downstream 10 Gbit/s	291
5.5.6	TWDM-PON	292
5.5.7	Wellenlängenmultiplex-PON (P2P WDM-PON)	293
5.5.8	Zusammenfassung FTTx-Varianten	295
5.6	Passive Komponenten	296
5.6.1	Steckverbinder	296
5.6.2	Lichtwellenleiter	296
5.6.3	Kabel für FTTx-Projekte	297
5.6.4	Koppler	299
5.6.5	Ratgeber für Planung und Bau (DTAG)	301
5.7	Aktive Komponenten	302
5.7.1	Sender	302
5.7.2	Empfänger	304
5.7.3	Optische Verstärker	304
5.8	Faserabschluss beim Teilnehmer	305
5.8.1	Pigtail mit Fusionsspleißgerät anspleißen	305
5.8.2	Pigtail mit mechanischem Spleißgerät anspleißen	306
5.8.3	Stecker mit Fusionsspleißgerät anspleißen	307
5.8.4	Stecker mit mechanischem Spleißgerät anspleißen	307
5.8.5	Verlegung vorkonfektionierter Kabel	307
5.9	Budgetplanung	308
5.10	Normung	310

5.11	Messungen an FTTH/B-Netzen	310
5.11.1	Allgemeine Hinweise	310
5.11.2	Empfehlungen der Deutschen Telekom	311
5.12	Förderung durch den Bund	312
5.13	Zusammenfassung	312
5.14	Literatur	312
6	Optische Übertragungssysteme	313
	Dieter Eberlein	
6.1	Planung LWL-Strecken aus physikalischer Sicht.....	313
6.1.1	Allgemeine Regeln	313
6.1.2	Planung des Dämpfungsbudgets	314
6.1.3	Pegeldiagramm	317
6.1.4	Dispersion in Lichtwellenleitern	319
6.1.4.1	Chromatische Dispersion	319
6.1.4.2	Dispersionstoleranz	321
6.1.4.3	Kompensation der chromatischen Dispersion	322
6.1.5	Systemplanung	324
6.1.6	Zusammenfassung	325
6.2	Mehrkanalübertragung über MTP/MPO-Stecker	326
6.2.1	Einsatzfälle	326
6.2.2	Mehrkanalübertragung	327
6.2.3	Beschaltungsmöglichkeiten	330
6.2.4	Dämpfungsmessung an Mehrfaserkabeln	332
6.3	Realisierung hoher Bandbreiten mit Multimode-LWL	334
6.3.1	Von Ethernet zu 10-Gigabit-Ethernet	334
6.3.2	40/100-Gigabit-Ethernet	335
6.3.3	Physikalische Begrenzungen	336
6.3.4	Bandbreiten-Definitionen	336
6.3.4.1	LED-Bandbreite	337
6.3.4.2	EMB-Bandbreite	337
6.3.4.3	minEMBc-Bandbreite	338
6.3.5	Kategorien von Multimode-Lichtwellenleitern	339
6.3.6	Zusammenfassung	339
6.4	Systeme mit Kunststoff-Lichtwellenleitern	340
6.4.1	Eigenschaften von Kunststoff-Lichtwellenleitern	340
6.4.2	Komponenten für Kunststoff-LWL-Systeme	340
6.4.3	Verbindungstechnik	342
6.4.4	Passive optische Komponenten	342
6.4.5	Einsatz von Kunststoff-Lichtwellenleitern	343
6.4.6	Weitere Entwicklungen	343
6.4.7	Zusammenfassung	344
6.5	Optische Freiraumübertragung	344
6.5.1	Vergleich mit herkömmlichen Verfahren	344
6.5.2	Einsatzfelder	346
6.5.3	Prinzip der optischen Freiraumübertragung	346
6.5.4	Besonderheiten der optischen Freiraumübertragung	348

6.5.5	Optische Freiraumübertragungssysteme	349
6.5.6	Budgetkalkulation	350
6.5.7	Zusammenfassung und Ausblick	351
6.6	Literatur	352
7	Anhang	353
	Dieter Eberlein	
7.1	Abkürzungen	353
7.2	Formelzeichen und Maßeinheiten	357
7.3	Fachbegriffe	361
8	Stichwortverzeichnis	374
9	Autorenverzeichnis	381