

# Inhaltsverzeichnis

## Vorwort

### Vorwort zur 8. Auflage

<b>1</b>	<b>Grundlagen der Lichtwellenleiter-Technik .....</b>	<b>13</b>
	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	Dispersionssverschobener 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	Lumineszenzdioden .....	82
1.3.3	Laserdioden .....	83
1.3.4	Empfängerdioden .....	91
1.3.5	Zusammenfassung .....	94
1.4	Literatur .....	95

<b>2</b>	<b>Lösbare Verbindungstechnik von Lichtwellenleitern.....</b>	<b>96</b>
Christian Kutzat		
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 lösbareren 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	Kenngrößen von lösbareren optischen Koppelstellen.....	122
2.4.1	Optische Kenngrößen 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	Klebetechnologie .....	135
2.5.6	Crimp- & Cleave-Technologie .....	138
2.5.7	Lösungen für Feldmontage .....	139
2.6	Literatur .....	141
<b>3</b>	<b>Nichtlösbare Glasfaserverbindung - Fusionsspleißen.....</b>	<b>142</b>
Christina Manzke, 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 Spleiße .....	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
<b>4</b>	<b>Lichtwellenleiter-Messtechnik .....</b>	<b>187</b>
	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	Rückstreumessung als universelles Messverfahren .....	198
4.3.1	Prinzip der Rückstreumessung .....	198
4.3.2	Rückstreukurve als Messergebnis .....	201
4.3.3	Gestreute und reflektierte Leistungen .....	206
4.3.4	Zusammenfassung .....	209
4.4	Analyse von Rückstreuogrammen .....	209
4.4.1	Interpretation der Rückstreukurve .....	209
4.4.2	Auswertung problematischer Rückstreuogramme .....	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 Rückstreukurve .....	221
4.5.2	Mittelung der Messergebnisse .....	223
4.5.3	Zusammenfassung .....	224
4.6	Parameter und Definitionen .....	224
4.6.1	Dynamik .....	224
4.6.2	Impuls wiederholrate .....	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 Rückstreumessung .....	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

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

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
<b>6</b>	<b>Entwicklungsrichtungen .....</b>	<b>306</b>
	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
<b>7</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>347</b>
	Dieter Eberlein	
7.1	Abkürzungen .....	347
7.2	Formelzeichen und Maßeinheiten .....	350
7.3	Fachbegriffe .....	353