

2812-0632

Dr. Franz-Joachim Kauffels

# Optische Netze



# Inhaltsverzeichnis

<b>Vorwort</b>	<b>11</b>
Optische Netze auf dem Weg in die Anwendung	11
<b>1 Optische Netze – Einführung und Motivation</b>	<b>15</b>
1.1 Aufbau, Komponenten und Wirkungsbereiche Optischer Netze	21
1.1.1 Zur Entwicklung von Anforderungen und Märkten	23
1.1.2 Optische Netze, Überblick	24
1.1.3 Wichtige Technologien	31
1.1.3.1 Breitband-WDM	31
1.1.3.2 Optische Verstärker	32
1.1.3.3 Dense Wavelength Division Multiplexing DWDM	32
1.1.3.4 Schmalband-Laser und VCSELs	34
1.1.3.5 Fiber Bragg-Gitter	35
1.1.3.6 Dünnschichtsubstrate	35
1.1.3.7 Weitere Entwicklungen bei Komponenten	36
1.1.4 Anwendungen der Komponenten	37
1.1.5 Märkte für optische Netze	38
1.1.6 Design- und Planungsaspekte	39
1.1.7 Evolution der Netze	42
1.2 Anwendungsbereich: E-Business-feste Infrastrukturen	44
1.3 Anwendungsbereich: UMTS	63
1.4 Wege der Hersteller	68
1.4.1 Cisco Systems: IP & Optical	68
1.4.2 Nortel Networks: das lokale Internet	75
1.4.3 Ciena: das intelligente Optische Netz	79
1.4.4 Extreme Networks: Ethernet Everywhere	84
1.5 Zusammenfassung und Überblick über den Inhalt des Buches	85
<b>2 Strukturelle Aspekte Optischer Netze und Standards</b>	<b>89</b>
2.1 Grundüberlegungen	90
2.2 Schichtenmodell für Optische Netze	105
2.3 Synchronous Optical Network – SONET	113
2.3.1 SONET-Überblick	114
2.3.2 Warum Synchronisation?	116
2.3.3 Frame-Format-Struktur	117

2.3.4	Overheads	121
2.3.5	Pointer	128
2.3.6	SONET-Multiplexing	131
2.3.7	SONET-Netzelemente	132
2.3.7.1	Terminal-Multiplexer	133
2.3.7.2	Regenerator	133
2.3.7.3	Add/Drop-Multiplexer	133
2.3.7.4	Digitale Weitband-Cross-Connects	135
2.3.7.5	Breitband-Digital-Cross-Connect	136
2.3.7.6	Digital Loop Carrier	136
2.3.8	SONET-Netzkonfigurationen	137
2.3.8.1	Punkt-zu-Punkt	137
2.3.8.2	Punkt-zu-Vielpunkt	138
2.3.8.3	Hub-Netz	138
2.3.8.4	Ringnetz	138
2.3.9	Der SDH-Standard	139
2.4	ITU-T G.709	140
2.4.1	Motivation	140
2.4.2	Die G-709-Schnittstelle	145
2.4.3	Das G-709-Rahmenformat	148
2.4.4	Wertung und Ausblick	150
2.5	Zusammenfassung und Überleitung	151
<b>3</b>	<b>Optische Übertragungstechnologie</b>	<b>153</b>
3.1	Ausflug in die Physik	157
3.1.1	Zur Natur des Lichts	157
3.1.2	Weitere wichtige Effekte	167
3.1.2.1	Polarisation	167
3.1.2.2	Interferenz	168
3.1.2.3	Brechung	169
3.1.3	Wichtige Effekte aus der Festkörperphysik	170
3.1.3.1	Energiebänder in Festkörpern	170
3.1.3.2	Halbleiter	173
3.1.3.3	Zener- und Avalanche-Effekt	178
3.1.3.4	Laser	180
3.2	Grundaufbau optischer Übertragungssysteme	186
3.2.1	Einkanalsysteme	186
3.2.2	Mehrkanal-Wellenlängenmultiplex-Systeme	187
3.3	Strahlungsquellen und Modulatoren	191
3.3.1	Strahlungsquellen	191
3.3.2	Modulation	195
3.4	Lichtwellenleiter	197

3.4.1	Grundsätzliche Eigenschaften von Lichtwellenleitern	197
3.4.1.1	Dämpfungseffekte allgemeiner Natur	198
3.4.1.2	Dispersionseffekte auf Lichtwellenleitern	201
3.4.1.3	Weitere nichtlineare Effekte	205
3.4.2	Ausführungsformen von Lichtwellenleitern	207
3.4.2.1	Multimodefasern	208
3.4.2.2	Monomode-Fasern	212
3.5	Strahlungsempfänger	214
3.6	Aufbau und Eigenschaften von Lichtwellenleiterkabeln	215
3.7	Optische Verbindungstechnik	219
3.7.1	Spleißtechnik	220
3.7.2	Steckertechnik	221
3.7.2.1	FSMA-Stecker	222
3.7.2.2	ST-Stecker	223
3.7.2.3	FC/PC-Stecker	223
3.7.2.4	BNC- und Biconic-Stecker	224
3.7.2.5	DIN-Stecker	224
3.7.2.6	FDDI-MIC-Stecker	224
3.7.2.7	Duplex SC-Stecker	225
3.8	Einmessung von Lichtleiterverbindungen	225
3.9	Optische Sternkoppler	226
3.10	Optische Multiplexer	229
3.11	Verstärker	232
3.11.1	EDFAs	233
3.11.2	SOAs	239
3.12	Zusammenfassung und Überleitung	240
<b>4</b>	<b>Bausteine</b>	<b>241</b>
4.1	Schlüsselkomponenten	242
4.2	Integration optischer Komponenten	248
4.3	Optische Speicher	254
4.4	Optische Koppler und Switches	257
4.4.1	Raumswitcharchitekturen	257
4.4.2	Charakterisierung und Komplexität von Permutationsswitches	259
4.4.3	Wellenband-Raumswitches	265
4.4.4	Optomechanische Switches	267
4.4.5	Lithium-Niobat-Trioxyd- und andere optisch integrierte Koppler	270
4.4.6	Photonischer Bubble Jet-Switch	277
4.5	Zusammenfassung und Überleitung	281

<b>5</b>	<b>Die Ethernet-Evolution</b>	<b>283</b>
5.1	Zur Entwicklung von Anforderungen und Märkten	284
5.2	10-Gigabit-Ethernet	290
5.2.1	Ziele bei der Entwicklung des 10-GbE-Standards	292
5.2.2	Struktur des Dokumentes IEEE 802.3ae	294
5.2.3	LAN-PHY	297
5.2.3.1	LAN-PHY-Übertragungstechniken, Übersicht	298
5.2.3.2	Parallele Übertragung	301
5.2.3.3	Serielle Übertragung	302
5.2.3.4	WWDM-Übertragung	304
5.2.3.5	Analoge Übertragung	306
5.2.3.6	10-GbE über Kupfer	306
5.2.4	IEEE 802.3ae-WAN-PHY	307
5.2.4.1	WAN-PHY-Terminologie	308
5.2.5	Das WAN-PHY-Layer-Modell	315
5.2.6	UniPHY	320
5.2.7	XAUI, XGSS und XGMII	325
5.3	Aktuelle Ausführungsformen von 10-Gigabit-Ethernet	331
5.4	Ethernet in the First Mile	332
5.5	Zusammenfassung und Überleitung	344
<b>6</b>	<b>Optische Internet-Lösungen: die nächste Generation</b>	<b>345</b>
6.1	Einführung	346
6.2	Grundsätzliche Bemerkungen zum Aufbau optischer Weitverkehrsnetze	347
6.2.1	Das MPLS-Modell für die Kontrollebene	353
6.2.2	Exkurs Layer-2/3-Switching	357
6.3	Bausteine für Optische Netze der nächsten Generation	364
6.3.1	Vergleich von 2,5, 10- und 40-Gb/s-DWDM-Systemen	364
6.3.2	Optische Add/Drop-Multiplexer	367
6.3.3	Optische Cross-Connects	368
6.4	Der Weg zu vollständig optischen Netzen	369
6.4.1	Garantie von QoS in optischen Transportnetzen	369
6.4.1.1	Ultrabreitband-SDH	370
6.4.1.2	Voll transponderisierte Optische Netze	371
6.4.1.3	All-optical Networks	372
6.4.2	Schutz in optischen Transportnetzen	373
6.4.2.1	Schutz optischer Multiplex-Sektionen	374
6.4.2.2	Schutz von Subnetzverbindungen optischer Kanäle	375
6.4.2.3	Optical Channel Shared Protection Ring	375
6.5	Automatisch gewitchte Optische Netze (ASONS)	376
6.5.1	ASON-Grundkonzepte	377

6.5.2	Grundeigenschaften eines ASON	378
6.5.2.1	Neue Diensttypen	378
6.5.2.2	Automatische Bereitstellung von Dienstleistungen	378
6.5.2.3	Verbesserte Systemskalierbarkeit für Operations Support	379
6.5.2.4	Verteiltes Wiederaufsetzen nach Fehlern	380
6.6	Optische Terabit-Router	381
6.6.1	Grundüberlegungen	381
6.6.2	Konstruktive Alternativen	387
6.6.2.1	T-Router	388
6.6.2.2	Optical Cross-Connect (OXC)	390
6.6.2.3	Optical Burst Router (OBR)	390
6.6.3	Realisierungsbeispiel eines optischen Burst Routers	391
6.7	Zusammenfassung	399
<b>7</b>	<b>Regional- und Metronetze</b>	<b>401</b>
7.1	Grundüberlegungen zur wirtschaftlichen Struktur moderner Netze	404
7.2	Ergebnisse von TELIA	411
7.3	Yipes	415
7.4	Konstruktive Überlegungen	425
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>431</b>
	<b>Stichwortverzeichnis</b>	<b>441</b>