

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Abkürzungsverzeichnis, physikalische Konstanten und Materialdaten</b>	<b>1</b>
	<i>E. Voges, K. Petermann</i>	
1.1	Verzeichnis der Abkürzungen	1
1.2	Physikalische Konstanten und Materialdaten	5
1.2.1	Physikalische Konstanten	5
1.2.2	Brechzahl ausgewählter Gläser	6
1.2.3	Komplexe Brechzahl $n - j\kappa$ von Metallen	7
1.2.4	Komplexe Brechzahl $n - j\kappa$ und Amplitudendämpfungskonstante $\alpha = 2\pi\kappa/\lambda$ von Silizium	8
1.2.5	Materialparameter Si, Ge, GaAs, InP	8
1.2.6	Materialparameter Lithiumniobat	10
<b>2</b>	<b>Elektromagnetische Wellen: Grundlagen</b>	<b>12</b>
	<i>R. Ulrich</i>	
2.1	Übersicht	12
2.2	Grundbegriffe	12
2.2.1	Elektrische Ladung, Strom	12
2.2.2	Elektrische, magnetische Felder	13
2.2.3	Feldzerlegungen	15
2.2.4	Maxwell-Gleichungen	15
2.3	Materie im Feld	15
2.3.1	Materialgleichungen	15
2.3.2	Parameter-Abhängigkeiten	18
2.3.3	Randbedingungen	19
2.4	Feldenergie	20
2.5	Wellenausbreitung	21
2.5.1	Wellengleichung	21
2.5.2	Eindimensionale Ausbreitung	23
2.5.3	Ebene Welle im Raum	25
2.5.4	Interferenzfeld im Raum	25
2.5.5	Dispersion	26
2.5.6	Ebene Wellen in anisotropen und gyrotropen Medien	28
2.5.7	Wellenbündel	31
2.5.8	Beugung	32
2.6	Polarisation ebener Wellen	34
2.6.1	Polarisationsellipse	34
2.6.2	Jones-Formalismus	36
2.6.3	Poincaré-Darstellung	38
2.6.4	Stokes/Mueller-Formalismus	40
2.7	Reflexion und Brechung ebener Wellen	42
2.7.1	Reflexion, Brechung	42
2.7.2	Totalreflexion	45

2.7.3	Anisotrope Medien . . . . .	45
2.8	Geometrische Optik . . . . .	46
2.8.1	Eikonal . . . . .	47
2.8.2	Strahlenoptik . . . . .	47
2.8.3	Strahlenbündel-Überlagerung . . . . .	48
2.8.4	Optik paraxialer Strahlen . . . . .	48
2.8.5	Optische Komponenten . . . . .	50
2.8.6	Gaußsche Strahlwellen . . . . .	52
	Spezielle Literatur . . . . .	54
<b>3</b>	<b>Optische Fasern: Grundlagen . . . . .</b>	<b>56</b>
	<i>E. Brinkmeyer</i>	
3.1	Aufbau optischer Fasern . . . . .	56
3.1.1	Grundstruktur . . . . .	56
3.1.2	Faser-Materialien . . . . .	57
3.2	Fasertypen . . . . .	57
3.2.1	Stufenprofilfasern als Einmoden- und Vielmodenfasern . . . . .	57
3.2.2	Vielmodenfasern mit Gradientenprofil und dispersionsmodifizierte Einmodenfasern . . . . .	58
3.3	Beschreibung der Lichtausbreitung in optischen Fasern . . . . .	59
3.3.1	Geometrisch-optische Beschreibung der Lichtausbreitung in Vielmodenfasern . . . . .	59
3.3.2	Modenkonzept . . . . .	60
3.3.3	Vereinfachte Modenbeschreibung bei schwacher Wellenführung . . . . .	60
3.3.4	Die $LP_{01}$ -Grundmode . . . . .	63
3.3.5	Individuelle Moden in Vielmodenfasern und Modenkopplung . . . . .	64
3.3.6	Polarisationseigenschaften von Einmodenfasern . . . . .	64
3.4	Übertragungseigenschaften . . . . .	65
3.4.1	Dämpfung . . . . .	65
3.4.2	Einkopplung in Fasern und lokalisierte Verluste an Koppelstellen . . . . .	68
3.4.3	Pulsverzerrung durch intermodale Dispersion in Vielmodenfasern . . . . .	70
3.4.4	Pulsverzerrung durch chromatische Dispersion . . . . .	71
3.4.5	Pulsverzerrung durch Polarisationsmodendispersion . . . . .	75
3.4.6	Einfluß nichtlinearer Effekte . . . . .	76
	Spezielle Literatur . . . . .	78
<b>4</b>	<b>Einmodenfasern . . . . .</b>	<b>80</b>
	<i>H. Renner</i> (Abschn. 4.1–4.13), <i>R. Ulrich</i> (Abschn. 4.14–4.15), <i>J.-P. Elbers, C. Glingener</i> (Abschn. 4.16)	
4.1	Einleitung . . . . .	80
4.2	Exakte Eigenwellen in Fasern, Moden . . . . .	80
4.2.1	Vektorielle Wellengleichungen . . . . .	80
4.2.2	Eigenwellen, Moden . . . . .	81
4.2.3	Orthogonalität und Vollständigkeit der Moden . . . . .	82
4.2.4	Modenanregung . . . . .	83
4.2.5	Exakte Lösungen in Stufenprofil-Fasern . . . . .	83
4.3	Linear polarisierte Näherungslösungen für schwach führende Fasern . . . . .	84
4.3.1	Schwache Führung, Skalare Näherung . . . . .	84
4.3.2	Linear polarisierte Moden der runden Faser . . . . .	85
4.4	Moden in realen Fasern und Modenkopplung . . . . .	86
4.4.1	Normale Moden und Modenkopplungs-Gleichungen für längenabhängige Störungen . . . . .	86
4.4.2	Schwach verkoppelter Grundmodus . . . . .	87
4.4.3	Regellose schwache Störungen . . . . .	88

4.5	Feldcharakterisierung und Feldradius . . . . .	89
4.5.1	Gaußsche Feldnäherung und Feldradius . . . . .	90
4.5.2	Feldradien für Nicht-Gaußsche Felder . . . . .	92
4.6	Nah- und Fernfeld von Einmodenfasern . . . . .	93
4.6.1	Nahfeld . . . . .	93
4.6.2	Fernfeld und Öffnungswinkel . . . . .	93
4.6.3	Gaußstrahl . . . . .	94
4.7	Faser-Faser-Kopplung . . . . .	95
4.7.1	Gaußähnliche Grundmodenfelder . . . . .	96
4.7.2	Beliebige Grundmodenfelder . . . . .	97
4.7.3	Endflächenreflexion an Faserstoßstellen . . . . .	97
4.8	Chromatische Dispersion und Dispersionskompensation . . . . .	98
4.8.1	Dispersion . . . . .	98
4.8.2	Materialdispersion . . . . .	100
4.8.3	Wellenleiterdispersion . . . . .	101
4.8.4	Dispersion in kaskadierten Fasern . . . . .	102
4.8.5	Dispersion Management . . . . .	102
4.9	Impulsübertragung und Übertragungsfunktion . . . . .	103
4.9.1	Impulsübertragung . . . . .	103
4.9.2	Übertragungsfunktion . . . . .	107
4.10	Dispersionsoptimierte Fasern . . . . .	108
4.10.1	Standardfasern (SF: standard fibers) . . . . .	109
4.10.2	Dispersionsverschobene Fasern (DSF: dispersion-shifted fibers) . . . . .	109
4.10.3	Dispersionsgeglättete Fasern (DFF: dispersion-flattened fibers) . . . . .	110
4.10.4	Dispersionskompensierende Fasern (DCF: dispersion-compensating fibers) . . . . .	112
4.10.5	Non-Zero-Dispersion-Shifted Fibers (NZ-DSF) . . . . .	114
4.10.6	Fasern mit großer effektiver Führungsfläche . . . . .	114
4.11	Fasern mit Mehrstufen- und Gradientenprofil, äquivalente Ersatzfasern . . . . .	115
4.11.1	Fasern mit Mehrstufen-Profil . . . . .	115
4.11.2	Fasern mit Gradientenprofil . . . . .	115
4.11.3	Äquivalente Ersatzfasern . . . . .	116
4.12	Faserdämpfung . . . . .	116
4.12.1	Gekrümmte Fasern: Äquivalentes Brechzahlprofil . . . . .	117
4.12.2	Makrokrümmungsverluste . . . . .	117
4.12.3	Mikrokrümmungsverluste . . . . .	121
4.12.4	Übergangsverluste zwischen gekrümmten und geraden Fasern . . . . .	123
4.12.5	Leckwellenverluste in Depressed-Cladding-Fasern . . . . .	124
4.13	Grenzwellenlängen . . . . .	125
4.13.1	Theoretische Grenzwellenlängen . . . . .	126
4.13.2	Effektive Grenzwellenlänge . . . . .	129
4.14	Polarisation und Doppelbrechung in Einmodenfasern . . . . .	131
4.14.1	Polarisation in Einmoden-Fasern . . . . .	132
4.14.2	Polarisations-Darstellung . . . . .	133
4.14.3	Polarisationsentwicklung in Einmoden-Fasern . . . . .	137
4.14.4	Doppelbrechung und Polarisationsentwicklung . . . . .	143
4.14.5	Polarisations-Hauptzustände . . . . .	149
4.15	Ursachen der Doppelbrechung . . . . .	152
4.15.1	Doppelbrechung aufgrund innerer Ursachen . . . . .	154
4.15.2	Doppelbrechung aufgrund äußerer Ursachen . . . . .	156
4.15.3	Messung von Polarisation und Doppelbrechung entlang einer Faser . . . . .	161
4.15.4	Polarisationserhaltende Fasern . . . . .	163
4.15.5	Faserpolarisatoren . . . . .	168
4.15.6	Polarisationsmodendispersion . . . . .	169
4.15.7	Messung und Simulation der PMD . . . . .	176

4.15.8	Kompensation der PMD	181
4.16	Nichtlineare Effekte in Einmodenfasern	187
4.16.1	Mathematische Beschreibung	189
4.16.2	Numerische Lösung der Ausbreitungsgleichung	194
4.16.3	Selbstphasenmodulation (SPM)	195
4.16.4	Kreuzphasenmodulation (XPM)	197
4.16.5	Vierwellenmischung (FWM)	199
4.16.6	Stimulierte Raman-Streuung (SRS)	201
4.16.7	Stimulierte Brillouin-Streuung (SBS)	203
4.16.8	Solitonen	204
	Spezielle Literatur	205
<b>5</b>	<b>Vielmodenfasern</b>	<b>214</b>
	<i>W. Freude</i>	
5.1	Einführung	214
5.2	Wellen und Moden	216
5.3	Strahlen und Moden	219
5.3.1	Freiraum-Moden	219
5.3.2	Phasenraum	221
5.3.3	Strahlen und Moden in Fasern	221
5.3.4	Modenanregung	229
5.3.5	Gradientenlinse	231
5.4	Nahfeld und Fernfeld	233
5.4.1	Strahldichte	234
5.4.2	Strahlleistung	234
5.4.3	Nah- und Fernfeldintensität	234
5.4.4	Modenleistungsverteilung	236
5.5	Gruppenlaufzeitdispersion	236
5.5.1	Gruppenlaufzeit	236
5.5.2	Profiloptimierung	236
5.5.3	Gruppenlaufzeitdifferenz	237
5.5.4	Impulsantwort	237
5.6	Impulsantwort und Übertragungsfunktion	238
5.6.1	Lineare zeitinvariante Systeme	239
5.6.2	Eigenschaften der Lichtquelle	239
5.6.3	Einmoden-Impulsantwort	240
5.6.4	Einmoden-Leistungs-Impulsantwort	240
5.6.5	Vielmoden-Leistungs-Impulsantwort	242
5.6.6	Laufzeit-Leistungs-Übertragungsfunktion	243
5.7	Faserstörungen und Modenkopplung	244
5.7.1	Störungstypen	244
5.7.2	Makrokrümmungen	246
5.7.3	Mikrokrümmungen	246
5.7.4	Modengleichgewichtsverteilung	247
5.8	Koppelemente	249
5.8.1	Lichtquellen und Fasern	250
5.8.2	Stirnflächenkopplung	251
5.9	Modenrauschen	254
5.9.1	Modenüberlagerung	254
5.9.2	Leistungsfluktuation	255
5.9.3	Signal-Geräusch-Verhältnis	256
	Spezielle Literatur	257

<b>6 Herstellungsverfahren von Lichtwellenleitern</b>	<b>261</b>
<i>K. Kemeter</i>	
6.1 Herstellung von Quarzglas	261
6.2 Eigenschaften von Quarzgläsern	262
6.3 Herstellungsverfahren von Vorformen	265
6.3.1 Reinheit der Ausgangsmaterialien	265
6.3.2 Außendampfabcheidung	266
6.3.3 Innendampfabcheidung	269
6.4 Faserzug	270
6.5 Mechanische Eigenschaften von Lichtwellenleitern	271
6.5.1 Faserfestigkeit	272
6.5.2 Faserbruch	273
6.5.3 Lebensdauer von Lichtwellenleitern	274
Spezielle Literatur	275
<b>7 Lichtwellenleiterkabel</b>	<b>277</b>
<i>R. Engel</i>	
7.1 Bauprinzipien	277
7.1.1 Anforderungen	278
7.1.2 Aufbauregeln	278
7.2 Bauelemente	287
7.2.1 Hohlader	287
7.2.2 Kammer	289
7.3 Bauformen	291
Spezielle Literatur	294
<b>8 Optische Polymerfasern Plastic Optical Fibres (POF)</b>	<b>295</b>
<i>A. Neyer</i>	
8.1 Übersicht über Fasertypen	295
8.2 Stufenindex-Polymerfaser (SI-POF)	296
8.2.1 Aufbau und Herstellung	296
8.2.2 Materialsystem und Dämpfungsverhalten	297
8.2.3 Dispersion und Bandbreite	298
8.2.4 Stufenindexfaser mit verringerter numerischer Apertur (Low-NA-POF)	299
8.2.5 Vielkernfaser (Multicore bzw. MC-POF)	300
8.2.6 Verkabelung der Stufenindexfaser	300
8.3 Gradientenindex-Polymerfaser (GI-POF)	301
8.3.1 Aufbau und Herstellung	301
8.3.2 Materialsysteme und Dämpfungsverhalten	302
8.3.3 Bandbreite	302
8.4 Umweltbeständigkeit von Polymerfasern	302
8.4.1 Biegeempfindlichkeit und mechanische Belastbarkeit	303
8.4.2 Temperatur/Luftfeuchte/Chemische Beständigkeit	303
8.5 Verbindungstechniken und Stirnflächenbearbeitung	304
8.5.1 Verlustmechanismen an der Koppelstelle	304
8.5.2 Stecksysteme	304
8.5.3 Stirnflächenbearbeitung	305
8.6 Komponenten für Übertragungssysteme mit Polymerfasern	306
8.6.1 Sendeelemente	306
8.6.2 Empfangselemente	306
8.6.3 Passive Komponenten: Leistungsteiler und Sternkoppler	306
8.7 Anwendungen von POF-Systemen	307
Spezielle Literatur	308

<b>9 Fasermeßtechnik und Fasercharakterisierung</b>	<b>310</b>
<i>E. Brinkmeyer</i>	
9.1 Bestimmung von Geometrie- und Brechzahl Daten optischer Fasern	310
9.1.1 Messung geometrischer Kenngrößen	310
9.1.2 Brechzahlprofil-Meßmethoden	310
9.1.3 Bestimmung der numerischen Apertur von Vielmodenfasern	312
9.1.4 Messung des nichtlinearen Brechzahl-Koeffizienten $n_2$	313
9.2 Bestimmung der Eigenschaften von Wellenfeldern in optischen Fasern	314
9.2.1 Grenzwellenlängen-Messungen an optischen Fasern	314
9.2.2 Messung des Felddurchmessers von Einmodenfasern	318
9.2.3 Messung von Polarisationszuständen und Polarisationszustands- Änderungen in einmodigen Fasern	321
9.3 Bestimmung der Übertragungseigenschaften optischer Fasern	322
9.3.1 Faser-Dämpfungsmessungen	322
9.3.2 Dispersionsmessungen	329
9.4 Bestimmung von Eigenschaften faseroptischer Komponenten	337
9.4.1 Relevante Meßgrößen faseroptischer Komponenten	337
9.4.2 Transmissions- und Reflexionsmessungen an faseroptischen N-Toren	338
9.4.3 Hochauflösende Reflektometrieverfahren	339
Spezielle Literatur	344
<b>10 Faseroptische Verbindungen</b>	<b>347</b>
<i>B. Mende, K. Behm</i>	
10.1 Verbindungstechniken, Überblick	347
10.2 Grundlagen der Kopplung ein- und vielmodiger Lichtwellenleiter	348
10.2.1 Koppeldämpfung und ihre Ursachen	348
10.2.2 Einfluß geometrischer und optischer Faserparameter auf die Koppeldämpfung (Intrinsische Verluste)	349
10.2.3 Einfluß der Justage und der Oberflächengüte der Faserenden auf die Koppeldämpfung (Extrinsische Verluste)	350
10.2.4 Einfluß von Reflexionen auf die Koppeldämpfung (Fresnelsche Verluste)	353
10.3 Spleißverbindungen	353
10.3.1 Mechanische Spleißverbindungen	354
10.3.2 Thermisches Spleißen	356
10.3.3 Mehrfachspleißen	359
10.4 Optische Steckverbinder	360
10.4.1 Aufbau optischer Steckverbinder	360
10.4.2 Physikalischer Kontakt (PC)	362
10.4.3 Physikalischer Kontakt mit Winkelschliff (APC)	363
10.4.4 Technische Anforderungen an optische Steckverbinder	363
10.4.5 Steckerbauformen	365
10.4.6 Steckerkonfektionierung	372
Spezielle Literatur	377
<b>11 Strahlenoptische Komponenten</b>	<b>378</b>
<i>H. Fouckhardt</i>	
11.1 Spiegel	378
11.2 Optische spektrale Filter	382
11.3 Abbildende optische Elemente	387
11.4 Prismen und Beugungsgitter als dispersive optische Elemente	395
11.5 Polarisatoren und optische Isolatoren	400
Spezielle Literatur	404

<b>12 Faseroptische Komponenten</b> . . . . .	<b>405</b>
<i>R. Zengerle (Abschn. 12.1–12.8), E. Brinkmeyer (Abschn. 12.9)</i>	
12.1 Optische Verzweigungen . . . . .	405
12.1.1 Stoßgekoppelte Strukturen . . . . .	406
12.1.2 Konzentrierte Koppler (Strahlteiler) . . . . .	406
12.1.3 Faser-Richtkoppler . . . . .	407
12.1.4 Verzweiger höherer Ordnung . . . . .	409
12.1.5 Sternkoppler . . . . .	410
12.2 Optische Filter . . . . .	411
12.2.1 Frequenzselektive symmetrische Richtkoppler . . . . .	411
12.2.2 Frequenzselektive asymmetrische Richtkoppler . . . . .	411
12.2.3 Gitterunterstützte Faserrichtkoppler . . . . .	412
12.2.4 Mach-Zehnder-Filter . . . . .	413
12.2.5 Faser-Ringresonatoren . . . . .	414
12.2.6 Fabry-Perot Faserresonatoren (Interferometer) . . . . .	414
12.2.7 Faseranschliffilter . . . . .	415
12.2.8 Mehrkern Faserfilter . . . . .	416
12.2.9 Komplexe faseroptische Gitterfilter . . . . .	416
12.3 Faseroptische Multiplexer-Komponenten . . . . .	417
12.3.1 Faseroptische Mehrkanal-Demultiplexer . . . . .	417
12.3.2 Add-Drop-Multiplexer . . . . .	417
12.4 Faseroptische Schalter und Modulatoren . . . . .	418
12.4.1 Allgemeine Hinweise . . . . .	418
12.4.2 Mikromechanische Faserschalter . . . . .	418
12.4.3 Faseroptische Modulatoren . . . . .	420
12.5 Polarisationskomponenten . . . . .	420
12.5.1 Polarisationssteller . . . . .	420
12.5.2 Polarisatoren . . . . .	421
12.6 Halbleiterlaser mit Fasergitter-Kopplung . . . . .	421
12.6.1 Frequenzstabilisation mittels externem Fasergitter . . . . .	421
12.6.2 Kurzpuls laser . . . . .	421
12.7 Dispersionskompensatoren . . . . .	422
12.7.1 Kompensationsverfahren . . . . .	422
12.7.2 Kompensatoren mittels Photonischer Kristall-Fasern . . . . .	422
12.8 Sonstige faseroptische Komponenten . . . . .	422
12.8.1 Faseroptische Dämpfungs- und Abschlußglieder . . . . .	422
12.8.2 Faseroptische Koppellemente . . . . .	423
12.8.3 Faserintegrierte Isolatoren . . . . .	425
Spezielle Literatur (Abschn. 12.1–12.8) . . . . .	426
12.9 Faseroptische Gitter . . . . .	428
12.9.1 Herstellung . . . . .	428
12.9.2 Berechnung von Faser-Bragg-Gittern . . . . .	431
12.9.3 Gittertypen und Eigenschaften . . . . .	433
12.9.4 Anwendungen . . . . .	436
Spezielle Literatur (Abschn. 12.9) . . . . .	440
<b>13 Optische Aufbau- und Verbindungstechniken</b> . . . . .	<b>442</b>
<i>J.-R. Kropp</i>	
13.1 Anforderungen an die Aufbau- und Verbindungstechnik . . . . .	442
13.1.1 Charakteristische Technik in der Telekommunikation . . . . .	442
13.1.2 Modultechnik für die Datenkommunikation . . . . .	443
13.1.3 Einsatz im Arbeitsbereich . . . . .	444
13.1.4 Allgemeine Entwicklungstrends . . . . .	444
13.2 Grundlegende Typen von optischen Modulen . . . . .	445

13.2.1	Optische Bauteile mit Einzelgehäusen . . . . .	445
13.2.2	Optische Bauteile in Gehäusen mit integriertem Lichtwellenleiteranschluß . . . . .	447
13.2.3	Gehäuse mit Steckbucht . . . . .	448
13.3	Optische Kopplungsprinzipien . . . . .	450
13.3.1	Stumpfkopplung . . . . .	450
13.3.2	Linsenkopplung . . . . .	451
13.3.3	Kopplung mit Linsentaper . . . . .	451
13.4	Justier- und Fixiertechnik in optischen Modulen . . . . .	452
13.4.1	Fixierung mit aktiver Justage . . . . .	452
13.4.2	Justierfreie Fixierung . . . . .	456
13.5	Kapselung der optischen Chipkomponenten . . . . .	458
13.5.1	Hermetische Dichtung . . . . .	459
13.5.2	Kapselung durch Umhüllung mit Kunststoff . . . . .	459
	Spezielle Literatur . . . . .	460
<b>14</b>	<b>Planare optische Schaltungen . . . . .</b>	<b>461</b>
	<i>R. März</i>	
14.1	Einführung . . . . .	461
14.1.1	Wellenleiterstrukturen . . . . .	462
14.1.2	Steuerung integriert-optischer Bauelemente . . . . .	463
14.2	Berechnungsverfahren . . . . .	464
14.2.1	Eigenmodenanalyse . . . . .	464
14.2.2	Theorie gekoppelter Moden . . . . .	469
14.2.3	Theorie lokaler Normalmoden . . . . .	470
14.2.4	Strahlausbreitung . . . . .	470
14.2.5	Numerische Verfahren . . . . .	473
14.3	Bauelemente der integrierten Optik . . . . .	475
14.3.1	Gekrümmte Wellenleiter . . . . .	475
14.3.2	Hornstrukturen (Taper) . . . . .	476
14.3.3	Richtkoppler . . . . .	477
14.3.4	Vielmodenkoppler . . . . .	478
14.3.5	Beugungsgitter und Phased Arrays . . . . .	480
14.3.6	Kontradirektionale Koppler . . . . .	485
14.4	Integriert-optische Schaltungen . . . . .	486
14.4.1	Weitere Grundkomponenten . . . . .	487
14.4.2	Zusammengesetzte Komponenten und Netzwerke . . . . .	489
14.4.3	Mach-Zehnder-Bauelemente . . . . .	490
14.4.4	Periodische und quasiperiodische Strukturen . . . . .	491
14.5	Technologien der integrierten Optik . . . . .	493
14.5.1	Glasbasierte Materialsysteme . . . . .	494
14.5.2	III-V Halbleiter . . . . .	495
14.5.3	Lithiumniobat ( $\text{LiNbO}_3$ ) . . . . .	496
14.5.4	Polymere . . . . .	497
14.5.5	CAD für integriert-optische Schaltungen . . . . .	498
14.5.6	Vergleiche zwischen Mikrooptik und integrierter Optik . . . . .	499
	Spezielle Literatur . . . . .	500
<b>15</b>	<b>Optische Modulatoren und Schalter . . . . .</b>	<b>505</b>
	<i>D. Hoffmann</i>	
15.1	Überblick . . . . .	505
15.2	Physikalische Modulations- und Schalteffekte . . . . .	505
15.2.1	Skalare Effekte . . . . .	506
15.2.2	Tensorielle Effekte . . . . .	507
15.2.3	Ladungsträgereffekte . . . . .	509



15.2.4	Franz-Keldysch-Effekt (FKE)	512
15.2.5	Quanteneffekte	513
15.3	Wellenleiter und Elektroden	519
15.3.1	Wellenleiter	519
15.3.2	Elektroden	520
15.4	Technologie	525
15.4.1	LiNbO <sub>3</sub>	525
15.4.2	III/V-Halbleiter	527
15.4.3	SiO <sub>2</sub> /Si	527
15.4.4	Polymere	529
15.4.5	Glas	529
15.5	Refraktive Bauelemente	530
15.5.1	Phasenmodulatoren	530
15.5.2	Mach-Zehnder-Modulatoren	531
15.5.3	Richtkoppler	534
15.5.4	Digitale optische Schalter (DOS)	537
15.5.5	X-Schalter	539
15.5.6	Schaltmatrizen	540
15.6	Absorptive Bauelemente	541
15.6.1	EA-Modulatoren (III/V-Halbleiter)	541
15.7	Polarisationsmodulation	544
15.7.1	TE-TM-Konverter	544
15.7.2	Polarisationsregelung	548
15.8	Ausblick	550
	Spezielle Literatur	551
<b>16</b>	<b>Nichtlineare Optik und optische Signalverarbeitung</b>	<b>555</b>
	<i>H. G. Weber</i>	
16.1	Einleitung	556
16.2	Grundlagen der nichtlinearen Optik	556
16.2.1	Nichtlineare Polarisation und Suszeptibilität	556
16.2.2	Zusammenstellung von nichtlinearen optischen Effekten	558
16.2.3	Phasenanpassung	560
16.2.4	Physikalische Mechanismen der Nichtlinearität	560
16.2.5	Materialien mit der Suszeptibilität $\chi^{(2)}$	562
16.2.6	Materialien mit der Suszeptibilität $\chi^{(3)}$	562
16.2.7	Summenfrequenzerzeugung, Frequenzverdopplung, Frequenzverdreifachung	563
16.2.8	Differenzfrequenzerzeugung, parametrische Verstärkung, optisch parametrischer Oszillator	564
16.2.9	Vierwellenmischung	565
16.2.10	Nichtlineare Brechzahl, optischer Kerr-Effekt	566
16.2.11	Selbstphasenmodulation, Kreuzphasenmodulation	567
16.3	Der Halbleiter-Laserverstärker als Funktionselement der optischen Signalverarbeitung	568
16.3.1	Aufbau eines Halbleiter-Laserverstärkers	568
16.3.2	Funktionsweise eines Halbleiter-Laserverstärkers	569
16.3.3	Optische Nichtlinearität des Halbleiter-Laserverstärkers	571
16.3.4	Nichtlineare Brechzahl- und Gewinnmodulation im Halbleiter-Laserverstärker	572
16.3.5	Selbstphasenmodulation, Kreuzphasenmodulation, Gewinnmodulation im Halbleiter-Laserverstärker	573
16.3.6	Vierwellenmischung im Halbleiter-Laserverstärker	574
16.4	Optische Wellenlängenumsetzer/Frequenzumsetzer	575
16.4.1	Funktion und Vergleich der Wellenlängenumsetzer/Frequenzumsetzer	575

16.4.2	Wellenlängenumsetzung durch Kreuzgewinnmodulation . . . . .	576
16.4.3	Wellenlängenumsetzung durch Kreuzphasenmodulation . . . . .	577
16.4.4	Wellenlängenumsetzung durch Vierwellenmischung . . . . .	578
16.4.5	Wellenlängenumsetzung durch Differenzfrequenzerzeugung . . . . .	580
16.5	Routing-Elemente mit Selbststeuerung . . . . .	580
16.5.1	Selbstschalten induziert durch optische Signalleistung . . . . .	580
16.5.2	Nichtlinearer Richtkoppler . . . . .	580
16.5.3	Nichtlineares Faserring-Interferometer . . . . .	581
16.6	Routing-Elemente mit optisch induzierter Fremdsteuerung . . . . .	582
16.6.1	Optisch gesteuerte optische Schalter . . . . .	582
16.6.2	Das nichtlineare Faserring-Interferometer als Schalter . . . . .	582
16.6.3	Interferometer-Schalter mit Halbleiter-Laserverstärker . . . . .	584
16.6.4	Schalten durch Vierwellenmischung . . . . .	586
16.6.5	Soliton-Schalter . . . . .	586
16.7	Optische Bistabilität . . . . .	587
16.8	Optische Signalregeneration . . . . .	588
16.9	Optische Phasenkonjugation (Optical-Phase Conjugation) . . . . .	588
	Spezielle Literatur . . . . .	589
<b>17</b>	<b>Optische Sender: Grundlagen . . . . .</b>	<b>594</b>
	<i>H. Burkhard</i>	
17.1	Kristallstruktur . . . . .	595
17.1.1	Zinkblende-Struktur . . . . .	595
17.2	Reziprokes Gitter . . . . .	597
17.3	Bandstruktur . . . . .	597
17.3.1	Schrödinger-Gleichung, Brillouin-Zone . . . . .	597
17.3.2	Elektronische Zustände in endlichen Strukturen . . . . .	600
17.3.3	Leitungs- und Valenzband-Diskontinuitäten . . . . .	602
17.3.4	Zustandsdichten . . . . .	602
17.4	Rekombinationsmechanismen . . . . .	604
17.4.1	Strahlende Übergänge . . . . .	604
17.4.2	Stimulierte Emission, Verstärkung/Absorption . . . . .	607
17.4.3	Spontane Emission . . . . .	609
17.5	Nichtstrahlende Rekombination . . . . .	612
17.5.1	Defekt-Rekombination (Störstellen-Rekombination) . . . . .	612
17.5.2	Oberflächen- und Grenzschicht-Rekombination . . . . .	612
17.5.3	Auger-Rekombination . . . . .	612
17.6	Brechungsindex . . . . .	613
17.7	$\alpha_H$ -Parameter . . . . .	616
17.8	Verspannte Quantenfilme . . . . .	617
	Spezielle Literatur . . . . .	620
<b>18</b>	<b>Lumineszenzdiode . . . . .</b>	<b>622</b>
	<i>R. Oberschmid, G. Bogner</i>	
18.1	Einleitung . . . . .	622
18.2	Physikalische Grundlagen der Halbleiteremitter . . . . .	623
18.2.1	Ideale Lumineszenzdiode . . . . .	623
18.2.2	Reale Lumineszenzdiode . . . . .	624
18.2.3	Wirkungsgrade von Leuchtdioden . . . . .	625
18.2.4	Strom-Spannungs-Charakteristik von LEDs . . . . .	625
18.2.5	Emissionsspektren von LED-Strukturen . . . . .	626
18.3	Strahlungskopplung . . . . .	626
18.3.1	Abstrahlcharakteristik, Strahldichte der Leuchtschicht . . . . .	626
18.3.2	Strahlungsauskopplung aus einer LED-Oberfläche in den Halbraum . . . . .	626

18.3.3	Strahlungskopplung in Ein- und Vielmodenfasern . . . . .	627
18.4	Flächenemitter . . . . .	629
18.4.1	Aufbau des Flächenemitters . . . . .	629
18.4.2	Größe und Wirkung der Rest-Querleitfähigkeit bei einer Stromeingrenzung . . . . .	629
18.4.3	Größenordnungen der Wärmeableitung, Stromdichten, Strahlungsdichten . . . . .	630
18.4.4	Ersatzschaltbild . . . . .	631
18.4.5	Spannungs-Stromkennlinien . . . . .	632
18.4.6	Strom-Leistungskennlinie . . . . .	632
18.4.7	Modulationsverhalten . . . . .	633
18.4.8	Zuverlässigkeit und ihre Verkettung mit Bauteileigenschaften . . . . .	634
18.4.9	Weiterentwicklungen der Flächenemitter zur gezielten Strahlungsauskopplung über Fasern . . . . .	634
18.5	Eigenschaften von Kantenemittern im Vergleich zu Flächenemittern . . .	635
18.5.1	Aufbau von Kantenemittern . . . . .	635
18.5.2	Mit Flächenemittern vergleichbare Eigenschaften . . . . .	636
18.5.3	Von Flächenemittern abweichende Eigenschaften . . . . .	636
18.5.4	Superlumineszenz-Kantenemitter . . . . .	637
18.6	Sendedioden für Plastikfasern und für Freiraumübertragung . . . . .	637
18.7	Vergleich der Eigenschaften verschiedener Chip-Bauformen . . . . .	637
	Spezielle Literatur . . . . .	638
<b>19</b>	<b>Laserdioden . . . . .</b>	<b>639</b>
	<i>S. Hansmann</i>	
19.1	Doppelheterostruktur als optischer Wellenleiter . . . . .	639
19.1.1	Optischer Füllfaktor . . . . .	641
19.1.2	Laterale Wellenführung . . . . .	642
19.2	Ausführungsformen gewinn- und indexgeführter Laserdioden . . . . .	644
19.2.1	Gewinngeführte Laserstrukturen . . . . .	644
19.2.2	Schwach indexgeführte Laserstrukturen . . . . .	645
19.2.3	Stark indexgeführte Laserstrukturen . . . . .	647
19.3	Fabry-Perot Laserdioden . . . . .	648
19.3.1	Anschwingbedingung . . . . .	648
19.3.2	Beschreibung mit Ratengleichungen . . . . .	650
19.3.3	Schwellenstrom und Ausgangsleistung . . . . .	651
19.3.4	Optisches Spektrum . . . . .	652
19.4	Spektral einmodige Laserdioden . . . . .	653
19.4.1	DFB Laser . . . . .	654
19.4.2	Eigenschaften indexgekoppelter DFB Laser . . . . .	656
19.4.3	Gewinngekoppelte Laser . . . . .	658
19.4.4	DBR Laser . . . . .	660
	Spezielle Literatur . . . . .	660
<b>20</b>	<b>Laserdioden mit Vertikalresonator (VCSELs) für optische Verbindungssysteme . .</b>	<b>662</b>
	<i>K. J. Ebeling</i>	
20.1	Grundlegende Eigenschaften von VCSELs . . . . .	663
20.1.1	Laserresonator . . . . .	664
20.1.2	Stehwellenfeld im VCSEL . . . . .	666
20.1.3	Schwellengewinn und Photonenlebensdauer . . . . .	667
20.1.4	Wirkungsgrad und Strom-Spannungs-Charakteristik . . . . .	669
20.2	Emissionseigenschaften von VCSELs . . . . .	671
20.2.1	Bauelementstruktur von protonenimplantierten und selektiv oxidierten VCSELs . . . . .	671

20.2.2	Ausgangscharakteristiken	672
20.2.3	Intensitätsverteilungen der transversalen Moden	673
20.2.4	Emissionswellenlängen transversaler Moden	675
20.2.5	Temperaturverhalten	677
20.2.6	Ein- und zweidimensionale VCSEL-Arrays	679
20.2.7	Kurz- und langwellige VCSELs	681
20.3	Modulations- und Rauschverhalten	681
20.3.1	Ratengleichungen	681
20.3.2	Kleinsignalnäherungen der Ratengleichungen	683
20.3.3	Strommodulation	684
20.3.4	Relatives Intensitätsrauschen	685
20.3.5	Großsignalmodulationseffekte	687
20.3.6	Emissionslinienbreite	689
20.4	Optische Datenverbindungen mit VCSELs	689
20.4.1	Lichteinkopplung in Einmodenfasern	689
20.4.2	Hochbitratige Datenübertragung	691
20.4.3	Rückwirkungsempfindlichkeit	692
20.5	Ausblick	693
	Spezielle Literatur	694
<b>21</b>	<b>Modulations- und Rauschverhalten, Wellenlängenabstimmung und Faserkopplung</b>	<b>696</b>
	<i>M.-C. Amann</i>	
21.1	Modulationsverhalten	696
21.1.1	Kleinsignalmodulationsverhalten	697
21.1.2	Longitudinales Modenspektrum	702
21.2	Rauschverhalten	703
21.2.1	Langevin-Kräfte	704
21.2.2	Intensitätsrauschen	704
21.2.3	Modenverteilungsrauschen	705
21.2.4	Frequenzrauschen und Linienbreite	705
21.3	Rückwirkungsempfindlichkeit	707
21.4	Modenkopplung von Laserdioden	708
21.5	Wellenlängenabstimmung	709
21.5.1	Monolithisch integrierte Laserdioden	710
21.5.2	Laserdioden mit externem Resonator	713
21.6	Wellenlängenstabilisierung	713
21.7	Faserkopplung	715
21.8	Augensicherheit	716
	Spezielle Literatur	718
<b>22</b>	<b>Faserverstärker und Faserlaser</b>	<b>719</b>
	<i>N. Schunk (Abschn. 22.1–22.8), A. Bahl, U. Unrau (Abschn. 22.9)</i>	
22.1	Grundlagen	719
22.1.1	Elektronen-Zustandsniveaus bei Seltene-Erd-Ionen	720
22.2	Modellierung von Faserverstärkern	723
22.2.1	Eingangsparameter für die Modellierung optischer Faserverstärker	726
22.2.2	Gewinn-Charakteristik eines Faserverstärkers	727
22.2.3	Gewinnsättigung	731
22.3	Rauschen des Faserverstärkers	733
22.3.1	Rauschzahl des Faserverstärkers	733
22.4	Kaskadierung von Faserverstärkern	737
22.4.1	Rauschzahl einer Übertragungsstrecke mit einem Verstärker	737
22.4.2	Rauschverhalten einer Übertragungsstrecke mit kaskadierten Faserverstärkern	738

22.5	Eigenschaften Erbium-dotierter Faserverstärker . . . . .	740
22.5.1	Spektrale Eigenschaften . . . . .	740
22.5.2	Glättung des Verstärkungsspektrums . . . . .	743
22.5.3	EDFA für den 1560–1600 nm Bereich (L-Band) . . . . .	744
22.5.4	EDFA mit hoher Signalausgangsleistung, Doppelmantel EDFA . . . . .	747
22.5.5	Dynamische Eigenschaften des EDFA . . . . .	749
22.6	Raman- und Brillouin-Verstärker . . . . .	751
22.6.1	Gewinn und Rauschverhalten des Raman-Faserverstärkers . . . . .	752
22.6.2	Gewinn und Rauschverhalten des Brillouin-Faserverstärkers . . . . .	755
22.6.3	Aufbau von Raman-Faserverstärkern . . . . .	756
22.7	Faserlaser . . . . .	759
22.7.1	Faserlaser als Signalquelle . . . . .	759
22.7.2	Faserlaser als Pumpquelle für Faserverstärker . . . . .	760
22.7.3	Raman-Faserlaser . . . . .	761
22.8	Faserverstärker und Faserlaser mit LPE-Gläsern . . . . .	762
22.8.1	Faserverstärker mit LPE-Gläsern im Bereich 1,3 $\mu\text{m}$ . . . . .	762
22.8.2	Faserverstärker im Bereich der Telekommunikation . . . . .	766
22.8.3	Faserlaser im Wellenlängenbereich $\lambda > 2 \mu\text{m}$ . . . . .	767
22.8.4	Faserlaser für den sichtbaren Wellenlängenbereich . . . . .	767
22.9	Gläser mit niedriger Phononenenergie (LPE-Gläser) . . . . .	768
22.9.1	Einleitung . . . . .	768
22.9.2	Verlustmechanismen in Gläsern . . . . .	769
22.9.3	Messung der Phononenenergie . . . . .	771
22.9.4	Generelle Eigenschaften von LPE-Gläsern . . . . .	773
22.9.5	LPE-Glassysteme . . . . .	773
22.9.6	Vergleich der verschiedenen Glassysteme . . . . .	777
22.9.7	Entwicklungsstand von LPE-Glasfasern . . . . .	778
22.9.8	Ausblick . . . . .	779
	Spezielle Literatur . . . . .	780
<b>23</b>	<b>Optische Empfänger . . . . .</b>	<b>784</b>
	<i>H.-G. Bach</i>	
23.1	Optische Empfangsstufen . . . . .	785
23.1.1	Grundlagen zur optisch/elektrischen Signalwandlung . . . . .	785
23.1.2	Detektionsempfindlichkeit beim Geradeausempfang . . . . .	786
23.1.3	Detektionsbandbreite . . . . .	789
23.1.4	Alternative Konzepte zum einfachen Geradeausempfang . . . . .	789
23.1.5	Heterodynempfang . . . . .	790
23.1.6	Prinzipieller Empfängeraufbau: Photodetektor und elektrischer Vorverstärker . . . . .	790
23.1.7	Bauformen und Eigenschaften von Photodioden . . . . .	790
23.1.8	Photoleiter als Photodetektoren . . . . .	796
23.1.9	Einfluß des elektrischen Vorverstärkerrauschens auf die minimal detektierbare Empfangsleistung . . . . .	796
23.2	Grundsaltungen optischer Empfänger für Breitband- und Schmalbandanwendungen . . . . .	797
23.3	Vorverstärkerschaltungseigenschaften mit verschiedenen aktiven Elementen . . . . .	800
23.3.1	Photoempfänger mit FET (Hochimpedanzschaltung, Transimpedanzschaltung) . . . . .	800
23.3.2	Photoempfänger mit Bipolartransistor . . . . .	803
23.3.3	Empfänger mit FETs im Vergleich zu bipolaren Transistoren . . . . .	803
23.4	Hybride und monolithisch integrierte Empfangsstufen (OEICs) . . . . .	805
23.4.1	Hybride Photoempfänger für 0,85 $\mu\text{m}$ bis 1,55 $\mu\text{m}$ Wellenlänge . . . . .	805

23.4.2	Hybrid-Empfänger für den 40 Gbit/s-Bitratenbereich . . . . .	805
23.4.3	Optoelektronische Integration von Empfängerschaltkreisen für 1,3 $\mu\text{m}$ bis 1,55 $\mu\text{m}$ Wellenlänge . . . . .	806
23.5	Modultechnik optischer Empfänger . . . . .	811
23.5.1	Mechanischer Aufbau der Chips (Detektor, Verstärker, etc.) . . . . .	811
23.5.2	Gestaltung der optischen Kopplung zur Photodiode (Faser-Chip-Kopplung) . . . . .	812
23.5.3	Gestaltung der elektrischen Anschlüsse (HF-Ausgänge, DC-Versorgungen) . . . . .	813
23.5.4	Hochfrequenzaspekte in der Modultechnik . . . . .	813
23.5.5	Trends in der Modultechnik . . . . .	813
23.6	Empfänger mit optischen Vorverstärkern . . . . .	814
23.7	Empfänger für digitale Signale . . . . .	815
23.7.1	Aufbau eines digitalen optischen Empfängers . . . . .	815
23.7.2	Modulationsformate: RZ und NRZ . . . . .	816
23.7.3	Detektionsempfindlichkeit digitaler Signale . . . . .	817
23.7.4	Bitfehlerwahrscheinlichkeit . . . . .	817
23.7.5	Zusammenhang: Signal-Rausch-Verhältnis und Bitfehlerwahrscheinlichkeit . . . . .	817
23.7.6	Empfindlichkeit von Photoempfängern für digitale optische Signale, Personick-Theorie . . . . .	818
23.7.7	Taktrückgewinnung (Schmalbandfilter oder PLL) . . . . .	820
23.7.8	Entscheider- und Retimingstufe . . . . .	821
23.7.9	Mehrstufige (multi-level) Modulationsformate . . . . .	821
23.8	Kohärente optische Empfänger . . . . .	821
23.8.1	Vergleich: Heterodyn/Homodyn-Empfang vs. Geradeausempfang . . . . .	822
23.8.2	OEIC-Technologie eines optischen Heterodynempfängers . . . . .	822
	Spezielle Literatur . . . . .	823
<b>24</b>	<b>Photonische Kommunikationsnetze . . . . .</b>	<b>828</b>
	<i>H. R. van As, N. Hanik</i>	
24.1	Entwicklung der optischen Übertragungstechnik . . . . .	828
24.2	Modulationsverfahren der optischen Übertragungstechnik . . . . .	829
24.2.1	Mathematische Beschreibung modulierter optischer Signale . . . . .	830
24.2.2	Leistungsfähigkeit der optischen Modulationsverfahren . . . . .	832
24.2.3	Direktempfang . . . . .	832
24.2.4	Überlagerungsempfang . . . . .	834
24.3	Elektronische Systeme der Übertragungstechnik . . . . .	836
24.3.1	Die Plesiochrone Digitale Hierarchie (PDH) . . . . .	836
24.3.2	Die Synchrone Digitale Hierarchie (SDH) . . . . .	837
24.4	Techniken und Komponenten photonischer Netze . . . . .	840
24.4.1	Multiplextechniken . . . . .	840
24.4.2	Komponenten photonischer Netze . . . . .	840
24.4.3	Optisches Schichtenmodell . . . . .	843
24.4.4	Struktur photonischer Netze . . . . .	843
24.4.5	Universelle Glasfasernetze . . . . .	844
24.5	Breitbandnetze . . . . .	844
24.5.1	Trends in Telekommunikationsnetzen . . . . .	844
24.5.2	Netzarchitektur und Netzbereiche . . . . .	846
24.5.3	Protokollstrukturen . . . . .	854
24.5.4	Asynchroner Transfer Modus (ATM) . . . . .	856
24.5.5	Die Internet-Technik . . . . .	859
24.5.6	IP über WDM . . . . .	861
24.6	Optische Paketvermittlung . . . . .	862

24.7	Photonische lokale Netze . . . . .	864
24.7.1	Photonisches LAN mit einer Sterntopologie . . . . .	864
24.7.2	Photonisches Multihop-LAN . . . . .	865
	Spezielle Literatur . . . . .	866
<b>25</b>	<b>Übertragungsstrecken mit Zeitmultiplex . . . . .</b>	<b>868</b>
	<i>G. Veith, B. Wedding, H. Bülow</i>	
25.1	Technologien und Begrenzungen hochbitratiger optischer Übertragungssysteme . . . . .	868
25.1.1	Zeitmultiplexechniken . . . . .	868
25.1.2	Übertragungsbedingte Systembegrenzungen . . . . .	869
25.2	Übertragungssysteme mit optischen Verstärkern . . . . .	872
25.2.1	Signal-Rausch-Verhältnis eines optisch verstärkten Signals . . . . .	873
25.2.2	Empfänger-Q-Faktor mit EDFAs . . . . .	875
25.3	Dispersionskompensationsverfahren . . . . .	876
25.3.1	Dispersionsbegrenzung der Systemreichweiten . . . . .	876
25.3.2	Passive optische Dispersionskompensationsverfahren . . . . .	879
25.3.3	Elektronische Entzerrung dispersionsbedingter Störungen . . . . .	883
25.3.4	Nichtlineare optische Dispersionskompensationsverfahren . . . . .	886
25.4	Einfluß der Polarisationsmodendispersion . . . . .	889
25.4.1	Durch PMD hervorgerufene Signalverzerrung . . . . .	889
25.4.2	Zeitliche Fluktuation der PMD . . . . .	890
25.4.3	PMD-Grenzwert . . . . .	891
25.4.4	Die PMD installierter Faserstrecken . . . . .	892
25.4.5	PMD höherer Ordnung . . . . .	892
25.4.6	Reduzierung der PMD-Verzerrung . . . . .	893
25.5	Hochbitratige Übertragung über globale Distanzen . . . . .	895
	Spezielle Literatur . . . . .	895
<b>26</b>	<b>Übertragungsstrecken mit Wellenlängenmultiplexbetrieb . . . . .</b>	<b>898</b>
	<i>P. Krummrich, E. Gottwald, K. Kotten, H. Geiger, C. Glingener, C. Scheerer, G. Fischer</i>	
26.1	Grundlegender Systemaufbau . . . . .	898
26.2	Komponenten . . . . .	899
26.2.1	Sender . . . . .	899
26.2.2	Empfänger . . . . .	901
26.2.3	Filter . . . . .	902
26.2.4	Optische Verstärker . . . . .	904
26.2.5	Übertragungsfasern . . . . .	906
26.2.6	Dispersionskompensatoren . . . . .	907
26.3	Systemauslegung . . . . .	908
26.3.1	Pegel-Management . . . . .	909
26.3.2	Lineare und nichtlineare Verzerrungen . . . . .	911
26.3.3	Gezielte Nutzung nichtlinearer Effekte . . . . .	914
26.3.4	Dispersions-Management . . . . .	914
26.3.5	Dynamische Systemregelung und Überwachung . . . . .	915
26.4	Systemvarianten . . . . .	917
26.4.1	Terrestrische Systeme . . . . .	917
26.4.2	Metro-Strecken . . . . .	918
26.4.3	Transozeanische Systeme . . . . .	918
26.5	ITU-Festlegungen . . . . .	919
	Spezielle Literatur . . . . .	920

<b>27 Netze mit Wellenlängenmultiplex</b>	922
<i>A. Gladisch</i>	
27.1 Einführung	922
27.2 Allgemeine Betrachtung von Transportnetzen	922
27.2.1 Die Struktur von Kommunikationsnetzen	922
27.2.2 Funktionale Modellierung von Transportnetzen	923
27.2.3 Die architektonischen Komponenten eines Layer Networks	925
27.3 WDM-Netze	927
27.3.1 Struktur und Elemente der WDM-Netze	927
27.3.2 Das funktionale Modell des WDM-Netzes	930
27.3.3 Einsatzpotentiale von WDM-Systemen und Netzen	931
27.3.4 Offene Probleme von WDM-Netzen	933
27.4 Ausblick	937
Spezielle Literatur	941
Akronyme	942
<b>28 Optische Zugangsnetze</b>	943
<i>N. Gieschen</i>	
28.1 Was sind Zugangsnetze?	943
28.2 Netzinfrastruktur für Zugangsnetze	945
28.2.1 Infrastruktur existierender Telefon-Zugangsnetze	945
28.2.2 Netzinfrastruktur optischer Zugangsnetze	947
28.2.3 Der Einfluß der Netzinfrastruktur auf die Entwicklung der Zugangsnetze	949
28.3 Gestaltung optischer Zugangsnetze	951
28.3.1 Topologien für den Netzzugang	951
28.3.2 Netzelemente und Komponenten	954
28.3.3 Passive optische Netze (PON)	956
28.3.4 Aktive optische Netze (AON)	959
28.3.5 Hybridnetze	960
28.4 Übertragungsverfahren für optische Zugangsnetze	962
28.4.1 Bi-direktionale Übertragung auf Glasfasern	963
28.4.2 Übertragungs- und Kanalzugriffsverfahren für PON	967
28.4.3 Störeinflüsse	973
28.5 Der Glasfaseranschluß	975
28.5.1 Transceiver	976
28.6 Fiber in the loop (FITL) Realisierungen	979
28.6.1 Schmalband-Universalnetz OPAL	979
28.6.2 Breitband-Universalnetz FSAN	981
28.7 Ausblick oder wann kommt FTTH	982
Spezielle Literatur	983
Liste spezieller Abkürzungen	983
<b>29 Optische Datennetze</b>	985
<i>J. Lenge, C. Schwantes</i>	
29.1 Einführung	985
29.2 Eingliederung von Datennetzen in die Netzwerk-Architektur	985
29.3 Das ISO/OSI-Referenzmodell und die IEEE-802-Standards	987
29.4 Datenraten und Leitungscodierung	990
29.5 Topologien	993
29.5.1 Punkt-zu-Punkt-Verbindung	993
29.5.2 Bustopologie	994
29.5.3 Ringtopologie	994



29.5.4	Sterntopologie	994
29.5.5	Baumtopologie	995
29.6	Netzkopplung (Internetworking)	995
29.6.1	Repeater	995
29.6.2	Bridges	995
29.6.3	Router	996
29.6.4	Hubs	996
29.6.5	Switches	997
29.6.6	Gateways	997
29.7	Systemnetze (SANs)	998
29.7.1	Fibre Channel	999
29.7.2	ESCON/SBCON	1001
29.7.3	FICON	1002
29.7.4	Optische Parallelverbindungen	1003
29.8	Lokale Netze (LANs)	1003
29.8.1	Ethernet	1004
29.8.2	Token Ring	1010
29.8.3	FDDI	1016
	Spezielle Literatur	1027
<b>30</b>	<b>Optische Mikrowellentechniken in Zugangsnetzen für die Mobilkommunikation</b>	<b>1029</b>
	<i>G. Grosskopf</i>	
30.1	Hybride Glasfaser-Funksysteme (hybrid fibre radio systems, HFR)	1029
30.1.1	HFR-Systeme mit direkter und externer Intensitätsmodulation	1031
30.1.2	Mikrowellenerzeugung mit optischen Heterodynverfahren	1035
30.2	Komponenten für die optische Mikrowellentechnik	1039
30.3	Beispiele von drahtlosen Zugangsnetzen mit optischer Mikrowellenerzeugung und Übertragung	1043
	Spezielle Literatur	1044
<b>31</b>	<b>Optische Freiraumverbindungen</b>	<b>1046</b>
	<i>T. Wiesmann, G. Ohm</i>	
31.1	Einführung	1046
31.1.1	Anwendungen in der Satellitenkommunikation	1046
31.1.2	Anforderungen beim Weltraumeinsatz	1048
31.2	Streckenauslegung	1049
31.2.1	Besonderheiten des Freiraumkanals	1049
31.2.2	Übersicht über das Gesamtsystem	1049
31.2.3	Komponenten und Kenngrößen des Kommunikations-Subsystems (Direktempfang)	1051
31.2.4	Komponenten und Kenngrößen des Kommunikations-Subsystems (Überlagerungsempfang)	1053
31.2.5	Optische Baugruppen und optische Aspekte	1057
31.3	Ausrichtung und Nachführung	1059
31.3.1	Gesamtaufbau des Ausricht- und Nachführsubsystems	1059
31.3.2	Verbindungsaufbau	1060
31.3.3	Schwenkmechanismen	1064
31.4	Terminal-Beispiele	1065
31.4.1	Direktempfang bei 850 nm und 1550 nm	1065
31.4.2	Homodynempfang bei 1064 nm	1066
	Spezielle Literatur	1070
	Liste spezieller Abkürzungen	1071

<b>32 Infrarot-Datenübertragung</b>	1072
<i>C. von Helmolt, U. Krüger</i>	
32.1 Einführung	1072
32.2 Komponenten für die IR Freistrahübertragung und Augensicherheitsaspekte	1073
32.2.1 Strahlenphysikalische Größen	1073
32.2.2 Sendekomponenten	1074
32.2.3 Empfangselemente	1075
32.2.4 Sicherheitsaspekte	1076
32.3 Charakterisierung des optischen Freiraumkanals	1077
32.3.1 Atmosphärische Übertragung	1077
32.3.2 Störungen durch Fremdlicht	1078
32.3.3 Ungerichtete Übertragung	1078
32.3.4 Gerichtete Übertragung	1079
32.4 Modulationsverfahren und Systeme	1080
32.4.1 Modulationsverfahren	1080
32.4.2 Systeme	1081
Spezielle Literatur	1081
<b>Sachverzeichnis</b>	1083

Optische Kommunikationstechnik

Handbuch für Wissenschaft und Industrie

Voges, E.; Petermann, K. (Hrsg.)

2002, XXV, 1110 S., Hardcover

ISBN: 978-3-540-67213-5