

Optische Netze

Systeme – Planung – Aufbau

2. überarbeitete und aktualisierte Ausgabe

2. überarbeitete und aktualisierte Ausgabe - Mai 2014

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

ISBN 978-3-9811630-9-4

© 2014 dibkom GmbH, 39418 Staßfurt

Sämtliche Rechte - insbesondere das Übersetzungsrecht - an Text und Bildern vorbehalten. Fotomechanische und elektronische Vervielfältigungen nur mit Genehmigung des Herausgebers. Jeder Nachdruck, auch auszugsweise, und jede Wiedergabe der Abbildungen, auch in verändertem Zustand sind verboten.

Warennamen werden in diesem Buch ohne Gewährleistung der freien Verwendbarkeit benutzt.

Druck: Salzland Druck GmbH & Co. KG, 39418 Staßfurt

Printed in Germany - Imprimé en Allemagne

An der Erstellung dieses Buchs haben mitgewirkt:

Ulrich Freyer	dibkom	Köln
Frank Fuhrmann	Grundig SAT Systems GmbH	Nürnberg
Eberhard Gauger	Gauger Consult	Baltmannsweiler
Matthias Hedrich	Diamond	Stuttgart
Stefan Keil	CISCO	Eschborn
Andreas Kohl	Diamond	Stuttgart
Andreas Kraudi-Homann	Teleste	Hildesheim
Klaus Lohse	dibkom	Hildesheim
Jörg Maurer	Wilhelm Sihm Jr. GmbH & Co. KG	Niefern-Oeschelbronn
Michael Schemm	Kathrein Werke	Rosenheim
Prof. Dr.-Ing. Dieter Schwarzenau	Hochschule Magdeburg-Stendal (FH)	Magdeburg
Helmut Schweizer	CMC – Cable Master Consulting	Gilserberg
Dr.-Ing. Jürgen Seidenberg	BKtel communications GmbH	Hückelhoven-Baal
Jürgen Spranger	CISCO	Eschborn
Uli Thurmann	Rhön-Montage Fernmeldebau GmbH	Frammersbach
Björn Weigl	Diamond	Stuttgart

Herausgeber:

Deutsches Institut für Breitbandkommunikation GmbH
Hohenerxlebener Straße 19
39418 Staßfurt

Registergericht: Amtsgericht Stendal
Registernummer: HRB 113509

Geschäftsführung:
Dipl.-Ing. Thomas Lange

Telefax: (03925) 2886 28 Telefon: (03925) 2886 0
Web: www.dibkom.org E-Mail: info@dibkom.org

Vorwort

In der Kabelnetzbranche waren bisher die koaxialen Netze dominierend. Die rasanten Fortschritte der Technologie der Lichtwellenleiter (LWL) führen jedoch zu einer zunehmenden Konkurrenz durch optische Netze. Es besteht deshalb für alle Fachkräfte und Fachbetriebe der Bedarf, sich diesen neuen Aufgaben zu stellen. Dabei geht es neben dem Verständnis der Funktionsweise der optischen Übertragungstechnik und der verschiedenen passiven und aktiven Komponenten auch um die Planung, Installation und Inbetriebnahme optischer Netze, einschließlich der erforderlichen Messtechnik. Das gilt dann ebenso für die Instandsetzung bei auftretenden Störungen oder Fehlern.

Auch wenn der optische Anschluss bei Endgeräten noch die absolute Ausnahme ist, zeigen doch die Konzepte »Fibre to the Curb«, »Fibre to the Building« und »Fibre to the Home«, dass die optische Faser immer näher zum Teilnehmeranschluss vordringt. Dieser evolutionäre Prozess des Übergangs von elektrischen Leitungen zu Lichtwellenleitern wird sich fortsetzen und bietet den Fachbetrieben neue Geschäftsfelder.

Wegen ihrer großen Leistungsfähigkeit, besonders hinsichtlich der Übertragungskapazität, zählen optische Netze unbestritten zur Breitbandkommunikation. Sie gehören damit auch zum elementaren Wirkungsbereich der **dibkom**, also der Zertifizierung von Planung, Installation und Inbetriebnahme optischer Netze oder Teilen davon. Für die Begleitung einer Schulung vor der Zertifizierung, die Vorbereitung auf die Zertifizierungsprüfung oder das Selbststudium wurde deshalb in der Reihe »**dibkom edition**« in bewährter Kooperation mit der ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V. und dem Fachverband Satellit & Kabel des ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. – das Handbuch „Optische Netze“ erarbeitet. Es ist an der Praxis orientiert, weist eine sinnvolle Struktur auf und stellt deshalb für jede Fachkraft, aber auch jeden fachlich Interessierten, ein hilfreiches Lehr- und Lernbuch dar, welches den neuesten Stand der Technik behandelt. Es leistet aber auch als Nachschlagewerk gute Dienste.

Die erste Auflage des Handbuchs fand in der Branche große Zustimmung. Der schnelle Abverkauf und die fortschreitende Entwicklung bei den optischen Netzen führte nun zu der hier vorliegenden zweiten Auflage. Das bewährte Konzept für die Darstellung der Inhalte blieb dabei unverändert, jedoch erfolgte die Ergänzung verschiedener Abschnitte, außerdem wurden alle Angaben auf den neuesten Stand gebracht.

Das Handbuch „Optische Netze“ bietet aus Sicht der ANGA, der **dibkom** und des ZVEI-Fachverbands Kabel & Satellit auch eine optimale Grundlage für Workshops, Fortbildungsveranstaltungen und sonstige Seminare zu dieser aktuellen Thematik.

ANGA
Verband Deutscher
Kabelnetzbetreiber e.V

dibkom – Deutsches Institut
für Breitbandkommunikation

Fachverband Satellit & Ka-
bel im ZVEI – Zentralver-
band Elektrotechnik- und
Elektronikindustrie e.V




Thomas Braun
Präsident



Ulrich Freyer
Vorsitzender der Projektkommission



Herbert Strobel
Vorsitzender

Inhalt

Einleitung	30
1 Begriffe und grundsätzliche Verfahren der optischen Nachrichtentechnik	35
1.1 Quellen der Begriffe	35
1.2 Querverweise von englischen zu deutschen Begriffen.....	35
1.3 Begriffe und Definitionen.....	36
1.4 Grundsätzliche Verfahren für die optische Übertragungstechnik	46
1.4.1 Übertragungsverfahren	46
1.4.2 Optische Wellenlängen-Multiplexverfahren	49
1.5 Schreibweise von ausgewählten physikalischen Einheiten	53
1.6 Rechnen mit Pegeln.....	53
2 Architekturen optischer Zugangsnetze	54
2.1 Grundlagen	54
2.1.1 Netztopologien	54
2.1.2 Topologien optischer Stern-Systeme	55
2.1.3 Begriffsbestimmung für das Zugangsnetz	56
2.1.4 Internationale Normen und Empfehlungen	57
2.2 Optische Hochfrequenz-Übertragungstechnik.....	57
2.2.1 Hybrid Fibre Coax Netz (HFC-Netz).....	57
2.2.2 Radio Frequency over Glas (RFoG).....	58
2.2.3 Ein Vergleich von RFoG und HFC	59
2.2.4 Übergangsszenarien von koaxialen zu optischen Netzen	62
2.2.5 Optische Netzabschnitte im BK-System	74
2.2.6 Optische Übertragung der Satelliten-ZF	84
2.2.7 Übertragung von CATV- und Satellitensignalen in FTTH-Systemen.....	90
2.3 Ausführungen von FTTX-Strukturen.....	91
2.3.1 Der Weg zu Fibre-to-the-Home (FTTH).....	91
2.3.2 Passive Optische Netze (PON).....	91
2.3.3 Passive optische Netze und RF-Overlay	95
2.4 Ethernet als Punkt-zu-Punkt-Lösung	96
2.4.1 Überblick	96
2.4.2 Anforderungen und Dienste für Punkt-zu-Punkt-Verbindungen	98
2.4.3 Architektur-Ebenen	102
2.4.4 Architektur.....	105
2.5 Optische Hausnetze.....	111
2.5.1 Normung für optische Hausnetze	111
2.5.2 FTTX im Verteilzugangsnetz.....	112
2.5.3 Die funktionalen Elemente	113
2.5.4 Varianten von FTTB	115
2.5.5 Varianten von FTTH.....	116
2.5.6 Anforderungen an die optischen Eigenschaften der Übertragungstrecke der Netzebene 4 ..	118
3 Passive optische Komponenten	119
3.1 Lichtwellenleiter.....	119
3.1.1 Physikalische Grundlagen.....	119
3.1.2 Stufenprofilfaser	126
3.1.3 Gradientenprofil-Faser	126
3.1.4 Multimode-Faser	127
3.1.5 Monomode-Faser.....	127
3.1.6 Optische Übertragung mit polymeren optischen Fasern	129
3.2 Optische Stecker.....	135
3.2.1 Konstruktionen von optischen Steckverbindern.....	135
3.2.2 Ausführungsformen von optischen Steckern	141
3.3 Der optische FC-Steckverbinder.....	142
3.4 Optische Koppler.....	142
3.4.1 Kopplerausführungen.....	142

3.4.2	Schmelzkoppler.....	143
3.4.3	Planare Koppler	145
3.5	Optische Filter	146
3.5.1	Filterausführungen	146
3.5.2	Schmelzkopplerfilter.....	146
3.5.3	Dünnschichtfilter	147
3.5.4	Bragg-Filter	148
3.5.5	Modenfilter	149
3.5.6	FBG-Reflektor	149
3.6	Optischer Isolator	150
3.7	Optischer Zirkulator.....	151
3.8	Dispersionskompensatoren.....	151
3.8.1	Einleitung.....	151
3.8.2	Dispersionskompensatoren mit Fibre Bragg Gratings	152
3.8.3	Dispersionskompensatoren mit Spezialglasfasern	153
3.9	Kennwerte für Koppler und Wellenlängenmultiplexer	153
4	Aktive optische Komponenten	155
4.1	Optische Sender	155
4.1.1	Optische Sendeelemente.....	155
4.1.2	Strahlende und nicht strahlende Rekombination	155
4.1.3	Lumineszenzdiode	156
4.1.4	Laserdioden	157
4.1.5	Nutzsignalübertragung durch direkte Modulation	162
4.1.6	Externe Modulation	164
4.1.7	Brillouin-Streuung	165
4.1.8	Senderrauschen.....	165
4.1.9	Optische Sender für die analoge Breitbandübertragung	167
4.2	Optische Empfänger	170
4.2.1	Optische Empfangselemente.....	170
4.2.2	Empfängerrauschen.....	174
4.2.3	Optische Empfänger für die analoge Breitbandübertragung	178
4.3	Optische Verstärker	178
4.3.1	Einsatz von Optischen Verstärkern.....	178
4.3.2	Optische Halbleiterverstärker	178
4.3.3	Optische Verstärker mit Glasfasern als aktivem optischen Medium.....	179
4.3.4	Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA)	179
4.4	Module für optische Basisband- und Breitbandübertragung	183
4.4.1	Aktuelle Markttrends und Entwicklungen.....	183
4.4.2	Das Prinzip der Basisbandübertragung und Breitbandübertragung	184
4.4.3	Beschreibung der 10GigE-Schnittstelle	184
4.4.4	Besondere 10GigE-Varianten	186
4.4.5	Sende-Empfänger-Hardware-Technologie für 10 Gbit/s.....	186
4.4.6	Gigabit Ethernet	186
4.4.7	Sende-Empfänger-Technologie für 1GigE	187
4.4.8	Zusammenfassung und Schlußfolgerung	188
4.4.9	Stand der Standardisierung und Multivendor-Anwendbarkeit.....	189
5	Planung optischer Netze.....	192
5.1	Symbole für optische Komponenten	192
5.2	Kennzeichnung von Glasfasern	193
5.3	Planung	193
5.3.1	Allgemeine Hinweise zur Planung von Glasfasernetzen	193
5.3.2	Grundlagen für die Planung optischer Netze	194
5.3.3	Grundlagen zur Berechnung des optischen Budgets	195
5.3.4	Beispiele aus der Praxis.....	202
5.3.5	Verwendung von Wellenlängenmultiplex	205
5.3.6	Verwendung optischer Verstärker	207

5.3.7	Planung mit Softwareunterstützung	208
5.4	Einfache Dokumentation	211
6	Installation optischer Netze.....	216
6.1	Aufbau von Lichtwellenleiterkabeln	216
6.1.1	Kabelaufbau	217
6.2	Handhabung von Lichtwellenleiterkomponenten	219
6.2.1	Störeinflüsse bei Lichtwellenleiterkabeln	219
6.2.2	Störeinflüsse bei optischen Steckverbindungen	220
6.2.3	Patchkabel.....	223
6.2.4	Break-Out-Kabel	223
6.2.5	Pigtails.....	224
6.2.6	Adapter und optische Dämpfungsglieder	224
6.3	Netzeinstellungen in den verschiedenen Netzabschnitten	224
6.3.1	Ausführungen von Installationen in RFoG-Netzen	224
6.3.2	Ausführung von Installationen in Hausnetzen.....	225
6.4	Kabelverlegung	232
6.4.1	Einleitung.....	232
6.4.2	Lagerung und Transport von Kabeltrommeln	232
6.4.3	Kabelzug begrenzende und einschränkende Faktoren.....	232
6.4.4	Vorbereitung des Kabelzugs	234
6.4.5	Einziehen von Hand mit Röhrenschlange	234
6.4.6	Einziehen mit Winde	234
6.4.7	Einblasen von LWL-Kabel	235
6.4.8	Mikrorohr und Minikabel.....	236
6.4.9	Multirohr und Mikrokabel.....	237
6.4.10	Dokumentation des Kabelzugs	237
6.5	Thermisches Spleißen	240
6.5.1	Einleitung.....	240
6.5.2	Vorbereitung von Lichtwellenleitern zum Spleißen	240
6.5.3	Spleißprozess	241
6.5.4	Schützen und Ablegen fertig gespleißter Fasern.....	244
7	Betrieb optischer Netze	246
7.1	Sicherheitsbestimmungen für die Handhabung von Geräten mit Lasern	246
7.1.1	Einleitung.....	246
7.1.2	Biologische Wirkung der Laserstrahlung	246
7.1.3	Ermittlung der Gefährdung.....	247
7.1.4	Laserklassen	248
7.1.5	Gefährdungsgrade	248
7.1.6	Standort-Kategorien.....	249
7.1.7	Regeln und Normen für optische Kommunikationssysteme	250
7.2	Messtechnik für optische Übertragungssysteme	251
7.2.1	Grundsätzliche Betrachtungen.....	251
7.2.2	Vorbereitung einer Messung an optischen Geräten und Bauteilen	252
7.2.3	Optische Leistungsmessung	252
7.2.4	Optische Dämpfungsmessung	253
7.2.5	Optical Time Domain Reflectometer (OTDR).....	255
7.2.6	Optische Testwerkzeuge für den Feldeinsatz	261
7.2.7	Jittermessung.....	261
7.2.8	Bitfehlerhäufigkeit.....	264
7.2.9	Empfängerempfindlichkeit.....	266
7.3	Praxis der Fehlersuche in optischen Netzen	266
7.3.1	Allgemeine Hinweise	266
7.3.2	Fehlersuche innerhalb eines im Betrieb befindlichen Netzes.....	267
7.3.3	Fehlersuche nach dem Neubau eines optischen Netzes.....	270

8	Verzeichnisse	276
8.1	Abkürzungen	276
8.2	Normen	282
8.3	Literatur	286
8.4	Web-Adressen	287
8.5	Bildnachweise	288
8.6	Stichwortverzeichnis	289