

Optische Netze

Systeme – Planung – Aufbau

1. Ausgabe - Oktober 2010

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 978-3-9811630-6-3

© 2010 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
Dr.-Ing. Kilian Halbe	Diamond	Stuttgart
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	Gilsberg
Dr.-Ing. Jürgen Seidenberg	BKtel communications GmbH	Hückelhoven-Baal
Jürgen Spranger	CISCO	Stuttgart
Sven Tschersich	Diamond	Stuttgart
Uli Thurmann	Rhön-Montage Fernmeldebau GmbH	Frammersbach
Andreas Wilharm	ANGA Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber e.V.	Berlin

Herausgeber:

Deutsches Institut für Breitbandkommunikation GmbH
Hohenerxlebener Straße 19
39418 Staßfurt

Registergericht: Amtsgericht Magdeburg
Registernummer: HRB 113509

Geschäftsführung:
Dipl.-Ing. Karl-Heinz Kürbis

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

Vorwort

In der Kabelbranche waren bisher die koaxialen Netze dominierend. Die rasanten Fortschritte der Technologie der Lichtwellenleiter (LWL) zeigen jedoch die aufkommende Konkurrenz optischer 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.

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. Dabei kann es sich um Glasfaser oder um Kunststofffaser handeln. Dieser evolutionäre Prozess wird sich bei neuen Anlagen fortsetzen und ermöglicht den Fachbetrieben interessante neue Geschäftsfelder.

Wegen ihrer großen Leistungsfähigkeit, besonders hinsichtlich der Übertragungskapazität, zählen optische Netze unbestritten zur Breitbandkommunikation. Sie gehören damit auch zum 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 Kabel & Satellit des ZVEI – Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie e.V. – dieses Handbuch erarbeitet. Es weist eine klare Strukturierung auf und stellt deshalb für jeden Fachmann, aber auch jeden fachlich Interessierten, ein praxisorientiertes Nachschlagewerk dar, das den neuesten Stand der Technik behandelt.

Das Handbuch «Optische Netze» ist auch optimal für alle Fortbildungsveranstaltungen und sonstige Seminare zu diesem Thema geeignet. Hier zeigt sich der Vorteil der Kooperation zwischen der dibkom und dem ANGA Competence Center (ACC), weil eine entsprechende Einbindung in die Veranstaltungen und sonstigen Aktivitäten des ACC vorgesehen ist.

ANGA
Verband Deutscher Ka-
belnetzbetreiber e.V




Thomas Braun
Präsident

dibkom – Deutsches Institut
für Breitbandkommunikation




Ulrich Freyer
Vorsitzender des Beirats

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




Herbert Strobel
Vorsitzender

Inhalt

Einleitung	26
1 Begriffe der optischen Nachrichtentechnik	29
1.1 Quellen der Begriffe	29
1.2 Querverweise von englischen zu deutschen Begriffen.....	29
1.3 Begriffe.....	30
1.4 Schreibweise von ausgewählten physikalischen Einheiten	40
1.5 Grundsätzliche Verfahren für die optische Übertragungstechnik	41
2 Architekturen optischer Zugangsnetze	44
2.1 Optische Netzabschnitte in der Übersicht.....	44
2.1.1 HFC-Netze	44
2.1.2 Optische Netzabschnitte im BK-System	45
2.2 Ausführungen von FTTX-Strukturen.....	55
2.2.1 Der Weg zu Fibre-to-the-Home (FTTH).....	55
2.2.2 Passive Optische Netze (PON).....	55
2.2.3 Passive optische Netze und RF-Overlay	58
2.2.4 Ein Vergleich von RFoG und HFC	60
2.3 Ethernet als Punkt-zu-Punkt-Lösung	62
2.3.1 Überblick	62
2.3.2 Kundenanforderungen für Ethernet Punkt-zu-Punkt.....	64
2.3.3 Architektur-Ebenen	68
2.3.4 Architektur.....	70
2.4 Optische Übertragung der Satelliten-ZF	77
2.4.1 Einleitung.....	77
2.4.2 Der Träger-Rauschabstand an der Empfangsstelle.....	78
2.4.3 Ausführung von optischen SAT-ZF-Systemen	80
2.4.4 Träger-Rauschabstand für ein optisches System	81
2.4.5 Optische SAT-ZF-Übertragung mit Frequency-Stacking	81
2.5 Optische Hausnetze.....	83
2.5.1 Normung für optische Hausnetze	83
2.5.2 FTTX auf Netzebene 4.....	84
2.5.3 Die funktionalen Elemente	84
2.5.4 Varianten von FTTB	87
2.5.5 Varianten von FTTH.....	89
2.5.6 Anforderungen an die optischen Eigenschaften der Übertragungsstrecke der Netzebene 4	90
2.6 Übergangsszenarien von koaxialen zu optischen Netzen	91
2.6.1 Vorbemerkung.....	91
2.6.2 Koaxiale Netze	91
2.6.3 Hybrid Fibre Coax Netz (HFC-Netz).....	93
2.6.4 Platzierung der Fibre Nodes näher am Kunden.....	98
2.6.5 Optische Netze	99
3 Passive optische Komponenten	104
3.1 Lichtwellenleiter.....	104
3.1.1 Physikalische Grundlagen.....	104
3.1.2 Stufenprofilfaser	109
3.1.3 Gradientenprofil-Faser	109
3.1.4 Multimode-Faser	110
3.1.5 Monomode-Faser.....	110
3.1.6 Optische Übertragung mit polymeren optischen Fasern	113
3.2 Optische Stecker.....	118
3.2.1 Konstruktionen von optischen Steckverbindern.....	118
3.2.2 Ausführungsformen von optischen Steckern	124
3.3 Optische Koppler.....	125
3.3.1 Kopplerausführungen.....	125
3.3.2 Schmelzkoppler.....	125

3.3.3	Planare Koppler	127
3.4	Optische Filter	128
3.4.1	Filterausführungen	128
3.4.2	Schmelzkopplerfilter	128
3.4.3	Dünnschicht-Filter	129
3.4.4	Bragg-Filter	130
3.4.5	Phased-Array Multiplexer	130
3.5	Dispersionskompensatoren	131
3.5.1	Einleitung	131
3.5.2	Dispersionskompensatoren mit Fibre Bragg Gratings	131
3.5.3	Dispersionskompensatoren mit Spezialglasfasern	132
3.6	Kennwerte für Koppler und Wellenlängenmultiplexer	133
4	Aktive optische Komponenten	135
4.1	Optische Sender	135
4.1.1	Optische Sendeelemente	135
4.1.2	Strahlende und nichtstrahlende Rekombination	135
4.1.3	Lumineszenzdiode	136
4.1.4	Laserdioden	137
4.1.5	Nutzsignalübertragung durch direkte Modulation	142
4.1.6	Externe Modulation	144
4.1.7	Brillouin-Streuung	145
4.1.8	Senderrauschen	145
4.1.9	Optische Sender für die analoge Breitbandübertragung	147
4.2	Optische Empfänger	150
4.2.1	Optische Empfangselemente	150
4.2.2	Empfängerrauschen	154
4.2.3	Optische Empfänger für die analoge Breitbandübertragung	158
4.3	Optische Verstärker	158
4.3.1	Einsatz von Optischen Verstärkern	158
4.3.2	Optische Halbleiterverstärker	158
4.3.3	Optische Verstärker mit Glasfasern als aktivem optischen Medium	159
4.3.4	Erbium Doped Fibre Amplifier (EDFA)	159
4.4	Module für optische Basisband- und Breitbandübertragung	163
4.4.1	Aktuelle Markttrends und Entwicklungen	163
4.4.2	Das Prinzip der Basisbandübertragung und Breitbandübertragung	164
4.4.3	Beschreibung der 10GigE-Schnittstelle	164
4.4.4	Besondere 10GigE-Varianten	166
4.4.5	Sende-Empfänger-Hardware-Technologie für 10 GBit/s	166
4.4.6	Gigabit Ethernet	166
4.4.7	Sende-Empfänger-Technologie für 1GigE	168
4.4.8	Zusammenfassung und Schlußfolgerung	169
4.4.9	Stand der Standardisierung und Multivendor-Anwendbarkeit	169
5	Planung und Dokumentation optischer Netze	170
5.1	Symbole für optische Komponenten	170
5.2	Planung	171
5.2.1	Allgemeine Hinweise zur Planung von Glasfasernetzen	171
5.2.2	Kennzeichnung von Glasfasern	172
5.3	Grundlagen für die Planung optischer Netze	172
5.3.1	Einleitung	172
5.3.2	Grundlagen zur Berechnung des optischen Budgets	172
5.3.3	Wellenlängenmultiplex	175
5.3.4	Optische Verstärker	177
5.3.5	Planung mit Softwareunterstützung	178
5.4	Einfache Dokumentation	180

6	Installation und Inbetriebnahme optischer Netze	185
6.1	Sicherheitsbestimmungen für die Handhabung von Geräten mit Lasern	185
6.1.1	Einleitung.....	185
6.1.2	Biologische Wirkung der Laserstrahlung	185
6.1.3	Ermittlung der Gefährdung.....	186
6.1.4	Laserklassen.....	187
6.1.5	Gefährdungsgrade	187
6.1.6	Standort-Kategorien.....	188
6.1.7	Regeln und Normen für optische Kommunikationssysteme	189
6.2	Handhabung von Lichtwellenleiterkomponenten	190
6.2.1	Störeinflüsse bei Lichtwellenleiterkabeln	190
6.2.2	Störeinflüsse bei optischen Steckverbindungen	191
6.3	Netzeinstallationen in den verschiedenen Netzabschnitten	192
6.3.1	Ausführung von Installationen in Hausnetzen.....	192
6.4	Glasfaser-Sammelpunkt.....	194
6.5	Kabelverlegung	199
6.5.1	Einleitung.....	199
6.5.2	Lagerung und Transport von Kabeltrommeln	199
6.5.3	Kabelzug begrenzende und einschränkende Faktoren.....	199
6.5.4	Vorbereitung des Kabelzugs	201
6.5.5	Einziehen von Hand mit Röhrenschlange	201
6.5.6	Einziehen mit Winde	201
6.5.7	Einblasen von LWL-Kabel	202
6.5.8	Mikrorohr und Minikabel.....	203
6.5.9	Multirohr und Mikrokabel.....	204
6.5.10	Dokumentation des Kabelzugs	204
6.6	Thermisches Spleißen	207
6.6.1	Einleitung.....	207
6.6.2	Vorbereitung von Lichtwellenleitern zum Spleißen	207
6.6.3	Spleißprozess	208
6.6.4	Schützen und Ablegen der fertig gespleißten Faser	211
6.7	Messtechnik für optische Übertragungssysteme	213
6.7.1	Grundsätzliche Betrachtungen.....	213
6.7.2	Vorbereitung einer Messung an optischen Geräten und Bauteilen	213
6.7.3	Optische Leistungsmessung	214
6.7.4	Optische Dämpfungsmessung	215
6.7.5	Optical Time Domain Reflectometer	215
6.7.6	Optische Testwerkzeuge für den Feldeinsatz	220
6.7.7	Jittermessung.....	221
6.7.8	Bitfehlerhäufigkeit.....	224
6.7.9	Empfängerempfindlichkeit.....	226
6.8	Praxis der Fehlersuche in optischen Netzen	226
6.8.1	Allgemeine Hinweise.....	226
6.8.2	Fehlersuche innerhalb eines betriebsbereiten Netzes.....	226
6.8.3	Fehlersuche nach dem Neubau eines optischen Links	227
7	Verzeichnisse	233
7.1	Abkürzungen	233
7.2	Normen	238
7.3	Literatur	241
7.4	Bildnachweise	243
7.5	Stichwortverzeichnis	244