

# Optische Netze – Systeme, Planung, Aufbau

Im Oktober 2010 stellte das Deutsche Institut für Breitbandkommunikation (*dibkom*) sein viertes Fachbuch innerhalb der *dibkom* edition vor, das aus einer Gemeinschaftsinitiative mit dem Verband Deutscher Kabelnetzbetreiber (ANGA) und dem ZVEI-Fachverband „Satellit & Kabel“ entstanden ist. Eine Vielzahl von Autoren aus Industrie, Hochschule und dem Kabelnetz-Umfeld haben für dieses Handbuch eine ausgewogene Mischung an Themen aus Theorie und Praxis auf über 250 großformatigen Seiten zusammengestellt. Damit eignet sich dieses Handbuch für die Verwendung in der Aus- und Weiterbildung, für das Selbststudium und für die Vorbereitung zur Zertifizierung von Fachkräften durch die *dibkom*.

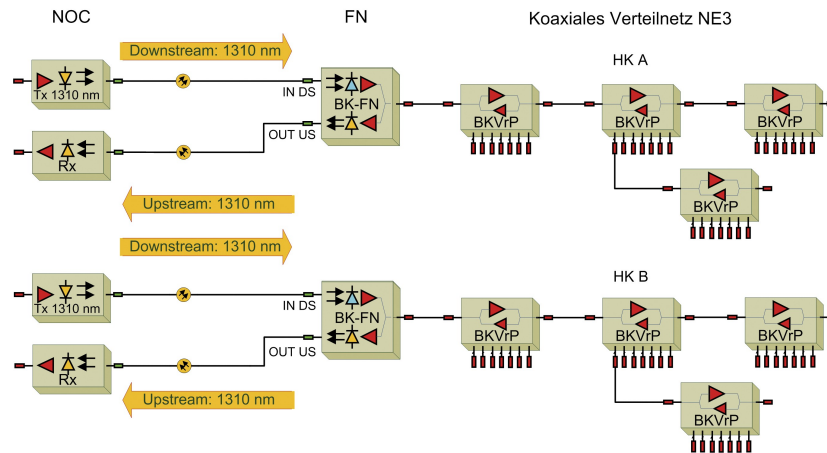
Nach dem **Kabelnetz-Handbuch**, für das derzeit die 6. Auflage vorbereitet wird, dem **Multi-media-Handbuch** in 2. Auflage und dem ebenfalls in 2010 erschienenen **BK-Handbuch** reagiert die *dibkom* mit dem Fachbuch „**Optische Netze**“ auf die zunehmende Bedeutung der optischen Übertragungstechnik innerhalb der Breitband-Kommunikationsnetze (BK-Netze) und vor allem auch in Form neuer Netzstrukturen für FTTx-Anwendungen. Daraus ergibt sich für alle Fachkräfte und Fachbetriebe der Bedarf, sich diesen neuen Aufgaben zu stellen und die Möglichkeiten und Funktionen neuer optischer Netzkonzepte kennenzulernen. Dazu gehören grundlegende Kenntnisse der Funktionsweise der optischen Übertragungstechnik und der verschiedenen passiven und aktiven Komponenten sowie auch der Planung, Installation und Inbetriebnahme optischer Netze, einschließlich der erforderlichen Messtechnik.

Das erste Kapitel des Fachbuchs ist einer sehr ausführlichen Beschreibung der Begriffe der optischen Nachrichtentechnik gewidmet, die für ein gutes Verständnis der nachfolgenden Kapitel unverzichtbar sind. Da auch hier, wie in fast allen Bereichen der modernen Nachrichtentechnik, die englische Begriffswelt dominierend ist, wurde den Definitionen der eigentlichen Begriffe eine Referenzliste zwischen englischen und, soweit gebräuchlich, deutschen Begriffen vorangestellt.

Mit dem nächsten Kapitel „*Architekturen optischer Zugangsnetze*“ wird dann auf 60 Seiten gleich das Hauptthema des Buches aufgegriffen, nämlich eine umfassende Darstellung der heute verwendeten Konzepte und Strukturen optischer Netze, bevor man anschließend auf die dafür benötigten aktiven und passiven Komponenten zu sprechen kommt. Mit dieser Umkehr der sonst üblichen Reihenfolge möchte man den in optischer Übertragungstechnik vorgebildeten Leser schneller an das zentrale Thema heranführen, ohne dass für den Einsteiger wesentliche Grundsatzinformationen fehlen würden.

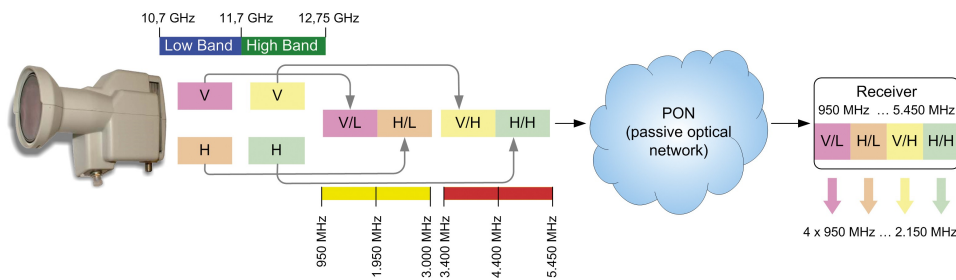
Die Beschreibung der Architekturen optischer Zugangsnetze startet mit den im deutschen BK-Netz im Laufe der Zeit eingeführten optischen Netzabschnitten. Anhand sehr anschaulicher Blockschaltbilder ([Bild 1](#)) werden optische BK-Verbindungsstrukturen, die Pilottechnik BK 2000 als erste HFC-Struktur, bidirektionale HFC-Verbindungen zwischen übergeordneter und benutzerseitiger BK-Verstärkerstelle sowie E- und L-Systeme beschrieben. Letztere werden für die Übertragung von analog und digital modulierten Fernsehkanälen, sowie die Übertragung von interaktiven Rückwegsignalen in der Netzebene 2.2d verwendet.

Der zweite Schwerpunkt bei den optischen Zugangsnetzen liegt auf den FTTx- Architekturen und generell den passiven optischen Netzen (PON), über die heute die verschiedenen Ethernet-Übertragungsverfahren (Gigabit-Ethernet, 10 Gigabit Ethernet), RF-Overlay- und RF-over-Glass-Techniken (RFoG) abgewickelt werden. Auf Grund der Wichtigkeit von Ethernet, wird dieser Technik ein eigenes Unterkapitel gewidmet, in dem u.a. auch auf die darüber für Geschäfts- und Privatkunden abgewickelten Dienste eingegangen wird.



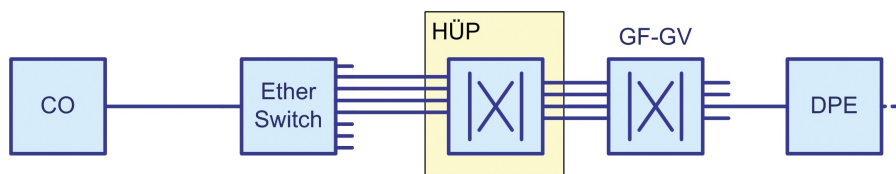
**Bild 1: HFC-Struktur mit bi-direktionalen optischen Links (1310 nm)**

Nicht zuletzt auf Grund der Verfügbarkeit von LNBs mit optischem Ausgang kommt die optische Übertragungstechnik vermehrt auch im Bereich der Satelliten-ZF-Übertragung zum Einsatz. Damit können z.B. größere Entfernungen zwischen einer abgesetzten Satellitenantenne und einer Kopfstelle ohne wesentlichen Qualitätsverlust überbrückt werden. Mit der sogenannten Frequency-Stacking-Technik können alle Empfangsbereiche von Satelliten (Unter- und Ober-Band sowie Horizontal und Vertikal mit insgesamt 4,1 GHz Nutz-Bandbreite), über eine Faser in einem PON übertragen werden (Bild2).



**Bild 2: Schematischer Aufbau einer optischen SAT-ZF-Übertragung**

Bei der Beschreibung optischer Hausnetze wird insbesondere Bezug auf die bei DKE erschienene Anwendungsregel VDE-AR-E 2800-901 mit dem Titel „Breitbandkommunikation – Gebäudeanschluss (FTTB) und Wohnungsanschluss (FTTH) an Lichtwellenleiternetze“ genommen. Dazu werden die funktionalen Elemente, u.a. der Glasfaser-Standortverteiler, -Gebäudeverteiler, -Sammelpunkt und -Teilnehmeranschluss definiert, mit deren Hilfe eine große Vielzahl von Varianten von FTTB- und FTTH-Ausführungen systematisch dargestellt werden. Ein Beispiel zeigt Bild 3.



**Bild 3: FTTH-Variante, Ethernet mit Punkt-zu-Punkt-Verbindung**

Im abschließenden Unterkapitel werden, ausgehend von der Grundstruktur des BK-Netzes, Übergangsszenarien von koaxialen zu optischen Netzen beschrieben. Vorgestellt werden dazu HFC-Netze mit optischer Ring- oder optischer Punkt-zu-Punkt-Struktur, Clusterhalbierung und Frequency-Stacking für die Rückwegübertragung, digitale Rückwegübertragung, Verlegung der Fibre Nodes näher zum Teilnehmer, PON-Strukturen und schließlich sogar aktive optische Netze. Bei diesen wird jeder Teilnehmer mit einer eigenen Faser versorgt

und die aktiven Komponenten (Transmitter) sitzen im Verteilzentrum (z.B. bBKVrSt) und bei den Endteilnehmern selbst.

Im Kapitel „Passive optische Komponenten“ werden die Grundlagen für Lichtwellenleiter, optische Steckverbinder, Koppler und Filter gelegt. Bevor bei den Lichtwellenleitern auf die verschiedenen Bauformen eingegangen wird, werden die folgenden physikalischen Effekte anhand von Bildern und Formeln erklärt:

- Führung von Licht in Leitern
- Brechung und Reflexion
- Totalreflexion
- Numerische Apertur
- Ausbreitungsfähige Moden
- Dispersion mit ihren verschiedenen Ausprägungen
- Dämpfung durch Streuung und Absorption

Da in Kommunikationsnetzen fast ausschließlich Monomode-Fasern zum Einsatz kommen, werden diese ausführlich vorgestellt, während Multimode-Fasern mit Stufen- oder Gradientenprofil nur kurz erwähnt werden. Im Unterkapitel zu Polymer-Optischen Fasern (POF) werden dagegen POF mit Stufenindex- und mit Gradientenindex-Profil detailliert dargestellt.

Bei den optischen Steckverbindern werden zunächst die prinzipiellen Konstruktionen und Materialien sowie die Bestimmung des wichtigen Parameters „Einfügedämpfung“ beschrieben. Am Beispiel der Fusionstechnologie des Herstellers DIAMOND wird u.a. ein kompletter Montageablauf in Wort und Bild dargestellt. Von den heute im praktischen Einsatz hauptsächlich verwendeten optischen Steckverbindern werden die Serien *SC*, *E-2000* (auch in Duplexversion) sowie *LC* (mit der kompatiblen Variante *F-3000*) vorgestellt.

Abschließend werden die Funktionsprinzipien, die Ausführungsformen und die wesentlichen Parameter für optische Koppler und optische Filter behandelt. Eine übersichtliche Tabelle zu Kennwerten für Koppler und Wellenlängenmultiplexer mit den verschiedenen Dämpfungsbegriffen, dem Koppelverhältnis, der Leistungsteilung und der Isolation, den zugehörigen verbalen und mathematischen Definitionen und einer bildlichen Erläuterung schließen das gesamte Kapitel der passiven optischen Komponenten ab.

Das Hauptkapitel „Aktive optische Komponenten“ ist untergliedert in:

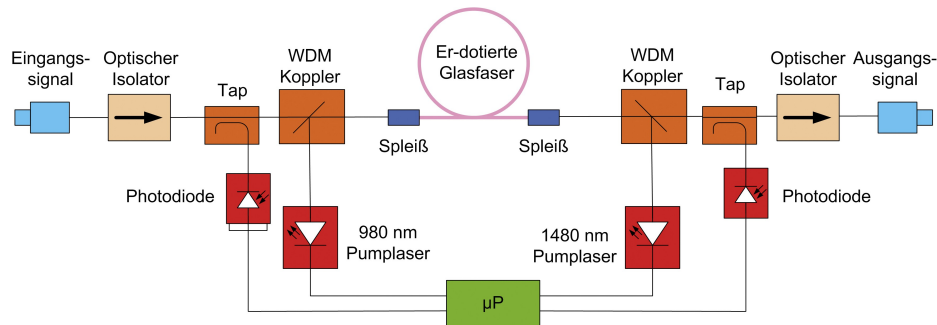
- Optische Sender
- Optische Empfänger
- Optische Verstärker
- Optische Transceiver für Basisband- und Breitbandübertragung

Auch hier wird der Einstieg jeweils über eine Beschreibung der physikalischen Funktionen der optischen Sende- und Empfangselemente (Laser und Dioden) genommen, bevor die verschiedenen, im praktischen Einsatz befindlichen Bauformen behandelt werden. Bei den Sendern sind dies die Lumineszenzdioden sowie die Fabry-Perot- und DFB-Laser. Die für die Nutzsignalübertragung anwendbaren Modulationsarten „Direkte Modulation“ und „Externe Modulation“ sowie die bei der optischen Übertragung auftretenden Störeffekte wie die „Brillouin-Streuung“ und das Senderrauschen (Schrottrauschen) werden sehr ausführlich beschrieben und durch entsprechende Formeln und Bilder unterstützt. Blockschaltbilder eines direkt und eines extern modulierten optischen Senders für die analoge Breitbandübertragung runden dieses Unterkapitel ab.

Als Empfangselemente kommen prinzipiell pn-Photodioden, pin-Photodioden und Avalanche-Photodioden (APD) in Frage, deren Wirkungsweisen in Wort und Bild erläutert werden. Das Empfängerrauschen in Form von Schrottrauschen und thermischem Rauschen wird

sehr ausführlich beschrieben, da es einen hohen Einfluss auf die Gesamtqualität einer optischen Übertragung hat.

Bei den optischen Verstärkern liegt der Schwerpunkt der Beschreibung auf dem EDFA-Verstärkertyp (Erbium Doped Fibre Amplifier), der heute am häufigsten in LWL-Netzen im Wellenlängenbereich um 1550 nm zur Anwendung kommt. Die Funktionsweise wird mit dem Blockschaltbild in Bild 4 illustriert. In einer Tabelle und zusätzlichen Begriffsdefinitionen werden die wichtigsten Übertragungsparameter eines GFF-EDFA-Verstärkers vorgestellt, wobei der Zusatz „GFF“ auf einen eingebauten Verstärkungsentzerrer hinweist.



**Bild 4: Blockschaltbild eines optischen EDFA-Verstärkers**

Unter der Überschrift „Module für optische Basisband- und Breitbandübertragung“ werden als letzte Gruppe aktiver optischer Komponenten kombinierte Sende-/Empfangsgeräte, sogenannte Transceiver, vorgestellt, die vor allem für die standardisierten Verfahren 1-Gbit/s-Ethernet (1GigE) und 10-Gbit/s-Ethernet (10GigE) zur Verfügung stehen. In diesem Zusammenhang wird auch auf die wesentlichen Funktionen der 10GigE- und der 1GigE-Schnittstelle eingegangen. Da es sich dabei um einen Massenmarkt handelt, konnten innerhalb kurzer Zeit unter Nutzung des technologischen Fortschritts große Fortschritte beim Formfaktor (Modulgröße) und bei der Energieeffizienz solcher Module erzielt werden (Bild 5).



**Bild 5: Größenentwicklung für 10GigE-Sender-Empfänger (Transceiver)**

Mit dem Kapitel „Planung und Dokumentation optischer Netze“ wendet sich das Buch wieder praktischen Themen der Realisierung optischer Netze zu. Es beginnt mit einer Darstellung der wichtigsten Symbole für optische Komponenten, die zum größten Teil in der internationalen Norm IEC 60617 festgelegt sind und bei der Darstellung von Blockschaltbildern verwendet werden sollen. Allgemeine Hinweise zur Planung von Glasfasernetzen und zur farblichen Kennzeichnung von Glasfasern innerhalb eines Kabels runden den Eingangsteil dieses Kapitels ab. Hier wird besonders darauf hingewiesen, dass es eine Vielzahl firmen- und anwenderspezifische Farbcodes für Glasfasern gibt, obwohl mit der DIN IEC 60304 bereits seit langem eine internationale Norm dafür gibt.

Die Berechnung des optischen Budgets sowohl für Punkt-zu-Punkt- als auch für Punkt-zu-Multipunkt-Verbindungen stellt ein zentrales Thema der Planung dar. Sie wird hier anhand vieler Beispiele transparent und nachvollziehbar für Vorwärts- und Rückweg sowie verschiedene Wellenlängen dargestellt. Dazu sind lediglich die Dämpfungsparameter der einzelnen aktiven und passiven Komponenten erforderlich, wobei auch Beiträge in der Größenordnung von 0,1 dB, wie etwa von Steckverbindern, im Gesamtbudget zu berücksichti-

gen sind. Sollen zusätzlich Wellenlängenmultiplex-Systeme betrachtet werden, wird die Berechnung entsprechend aufwändiger.

In einem kurzen Abschnitt wird auf die Möglichkeiten einer software-gestützten Planung mit Hilfe der allseits bekannten „AND-Software“ eingegangen. Die Planung von Microduct-Systemen sowie Vorschläge zu einer einfachen Dokumentation in Form von Trassenplänen, grafischen Darstellungen einer Glasfaserstruktur, einer Beschaltungstabelle eines Hauptverteilers sowie der Kennzeichnungen an Kabeln und Geräteanschlüssen runden dieses Kapitel ab.

Im Kapitel „*Installation und Inbetriebnahme optischer Netze*“ sind alle Themen zusammengefasst, die den Installateur bei der Errichtung und Wartung optischer Netze betreffen. Allem Weiteren voran werden die Sicherheitsbestimmungen für die Handhabung von Geräten mit Lasern mit Themen wie

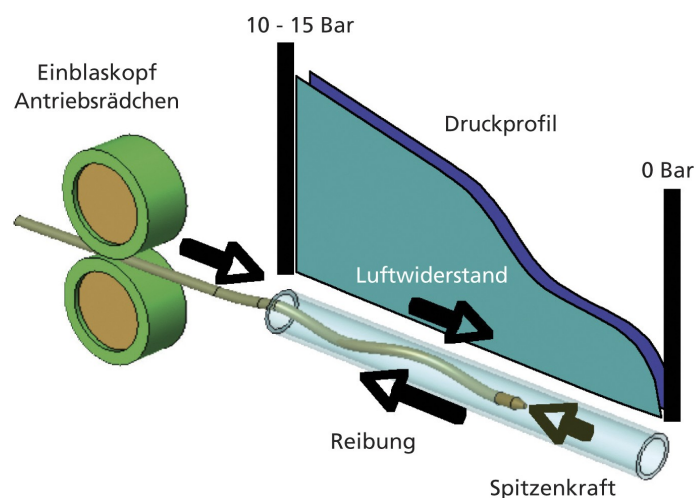
- Biologische Wirkung der Laserstrahlung
- Ermittlung der Gefährdung
- Laserklassen
- Gefährdungsgrade
- Standort-Kategorien bezüglich des Zugangs zum optischen Kommunikationssystem
- Regeln und Normen zur Arbeit mit optischen Kommunikationssystemen.

Bei der Handhabung von LWL-Komponenten sind bei den Fasern Vorgaben zum Macro- und Micro-Bending einzuhalten, während bei Steckverbindern alle Arten von Verunreinigungen oder mechanische Verletzung der Stirnflächen zu vermeiden sind.

Der Ausführung von optischen Installationen in Hausnetzen wird ein eigenes Unterkapitel gewidmet. Darin werden neben allgemeinen Installationshinweisen die wesentlichen Geräte und Einrichtungen wie Hausübergabepunkt, GF-Standortverteiler, -Gebäudeverteiler, -Sammelpunkt und -Teilnehmeranschluss in ihren Funktionen beschrieben und über beispielhafte Produktfotos dokumentiert.

Zur Kabelinstallation zwischen HÜP und GF-Teilnehmeranschluss werden folgende Möglichkeiten beschrieben:

- Verlegen von Bündeladerkabeln
- Verlegen von speziellen Riserkabeln im Steigbereich eines Gebäudes
- Verlegen von Leerrohrsystemen und anschließendes Einblasen der Glasfasern



**Bild 6: Prinzipskizze zur Einblastechnik**

Die heute häufig praktizierte Einblastechnik (Bild 6) und die konventionelle Kabelzugtechnik werden jeweils in größeren Abschnitten mit vielen Illustrationen und Bildern beschrieben. Beispiele eines Verlegeprotokolls und eines Zugdiagramms runden diese Beschreibungen ab.

Das Unterkapitel „*Thermisches Spleißen*“ befasst sich mit der Vorbereitung von Lichtwellenleitern zum Spleißen, der Theorie des Spleißprozesses mit der Faser- und Kernpositionierung und beschreibt das sogenannte LID-Verfahren (Light Injection and Detection) und das PAS-System (Profile Alignment System). Verschiedene mechanische Schutzeinrichtungen für die Spleißstelle selbst und für das Ablegen der gespleißten Fasern ergänzen diese Ausführungen.

Im Unterkapitel „*Messtechnik*“ werden zunächst Prüfverfahren an Glasfasern in die Kategorien

- Mechanisch
- Geometrisch
- Optisch
- Übertragungstechnisch

unterteilt, wobei sich die ersten drei auf Prüfungen im Herstellprozess und der begleitenden Qualitätssicherung beziehen, während die übertragungstechnischen Prüfungen auch bei der bereits installierten Faser zur Anwendung kommen. Des Weiteren werden die folgenden Standard-Messverfahren beschrieben:

- Optische Leistungsmessung
- Optische Dämpfungsmessung
- Optische Zeitbereichs-Reflektometrie (OTDR)
- Jittermessung
- BER-Messung
- Messung der Empfängerempfindlichkeit

Praktische Anleitungen zur Fehlersuche in optischen Netzen komplettieren das Unterkapitel „*Optische Messtechnik*“.

Wie in jedem Fachbuch der dibkom edition werden auch hier die vorangegangenen Themenbereiche durch umfangreiche Verzeichnisse zu den Themen Abkürzungen, Normen, begleitende Literatur, wertvolle Web-Adressen und durch ein sehr detailliertes Stichwortverzeichnis ergänzt.

Das Handbuch „*Optische Netze*“ kann zum Preis von 36,80 € (incl. MWSt. zzgl. Versandkosten) direkt bei der dibkom-Geschäftsstelle ([info@dibkom.org](mailto:info@dibkom.org)) oder über den Buchhandel (ISBN 978-3-9811630-6-3) bezogen werden.