

All-Optical Networks

ENTWURF

32 Seiten

INHALT

1	Einführung	4
2	Lichtwellenleiter (LWL)	4
2.1	Aufbau von Glasfaserkabel	5
2.1.1	Festader / Vollader	6
2.1.2	Kompaktader	6
2.1.3	Hohlader gefüllt	6
2.1.4	Hohlader ungefüllt	7
2.1.5	Bündelader gefüllt	7
2.1.6	Bündelader ungefüllt	8
2.2	Glasfaser Typen	8
2.2.1	Multimodefaser mit Stufenprofil	8
2.2.2	Multimodefaser mit Gradientenprofil	9
2.2.3	Monomodefaser mit Stufenprofil	10
2.3	Optische Übertragungstechnik	10
2.3.1	WDM (wavelength division multiplexing)	11
2.3.2	DWDM-Technik	13
2.3.3	CWDM (coarse wave division multiplex)	14
2.3.4	NWDM (narrow WDM)	14
2.3.5	WWDM (wide wavelength division multiplex)	14
3	Optische Netze - ON (optical networks)	15
3.1	Wellenlängenbereiche für optische Übertragung	16
3.1.1	C-Band	16
3.1.2	E-Band	17
3.1.3	L-Band	17
3.1.4	O-Band	17
3.1.5	S-Band	17
3.1.6	U-Band	17
3.2	Optische Übertragungsstrecke	18
3.2.1	Optisches Budget (optical budget)	18
3.2.2	OTS (optical transmission section)	18
3.2.3	OMS (optical multiplex section)	19
3.2.4	OCh (optical channel)	19
3.3	Optical Transport Hierarchy (OTH)	19
3.4	Optical Transport Unit (OTU)	19
3.5	Optische SDH-Schnittstellen	20
3.6	OTN (optical transport network)	20
4	Optische Netzelemente	22
4.1	Optische Sender (optical transmitter)	22
4.2	Fabry Perot Laser (FPL)	22
4.3	EDFA (erbium doped fiber amplifier)	22
4.4	3R-Regeneration(re-shaping, re-amplification, re-timing)	23
4.5	Wellenlängen-Konverter (Wavelength Converter)	24
4.6	Optical Multiplexer (OMUX)	24
4.6.1	Optischer Add/Drop-Multiplexer (OADM)	24
4.6.2	Optischer Crossconnects (OXC)	25
4.7	Fiber Optic Switch - LWL-Schalter	26
4.8	OBR (optical burst router)	27

4.9	Switching Technologies.....	27
4.9.1	MOEMS (micro optical electromechanical mirror system).....	27
4.9.2	MEM (micro electromechanical mirror).....	27
5	Bilder und Tabellen.....	29
6	Abkürzungen und Begriffe	30
7	Literatur und Web-Links.....	32

1 EINFÜHRUNG

In der Telekommunikation können beim Einsatz optischer Leiter vier Stufen (Generationen) unterschieden werden.

- In der ersten Stufe wurde die Faser nur als Transportmittel benutzt
- in der zweiten Stufe wurden WDM- und DWDM-Geräte hinzugefügt um die Transportkapazität der optischen Netze zu erhöhen
- die dritte Stufe führt zur „all-IP infra structure“ und
- die vierte Stufe zum „all-optical Network“.

Ein All Optical Network (AON) ist ein optisches Netz ohne O/E-Wandler, das ausschließlich auf optischen Komponenten basiert. Ein solches Netz ist in aller Regel ein WDM- bzw. DWDM-Netz mit optischen Zeitmultiplexern (OTDM), optischen Add/Drop-Multiplexern (OADM) und optischen Crossconnect (OXC) für die Wegwahl und die Vermittlung.

Ein All Optical Network sollte im Kernnetz ohne Transponder arbeiten und diese in die Knoten im Randbereich verlagern.

AOL-Netze werden Übertragungsraten von 100 Gbit/s und höher haben und im Zubringerbereich mit einer Wrap-Technik die Zubringersignale wie Gigabit-Ethernet in die hochbitratigen Datenströme des optischen Kernnetzes einpackt. Man spricht in diesem Zusammenhang von Digital Wrapping.

All-optical Networks bestehen aus:

- Lichtwellenleiter-Verbindungen zwischen Netzwerkelementen, die WDM und DWDM-Technologie benutzen, und
- optischen Netzwerkelementen wie Verstärker, Multiplexern, Switches und so weiter.

2 LICHTWELLENLEITER (LWL)

Das schnelle Wachstum des Internets erfordert immer höhere Verbindungsgeschwindigkeiten. Bei high-tech Fasern sind Übertragungsraten von 2,5 bis 10 Gbits / s und weiter bis zu 40 Gbits / s möglich. Ursache für diesen Geschwindigkeitszuwachs sind Verbesserungen beim Fertigungsprozess die Verunreinigungen in Kern und Cladding weitgehend vermeiden. Diese beiden Bestandteile sind bestimmend für die Eigenschaften der Multimode und Monomodefasern.

Jeder Versuch optische Netze zu verstehen beginnt mit dem Verständnis der Vorteile von Lichtwellenleitern. Der offensichtliche Vorteil ist natürlich die hohe Übertragungskapazität - Koaxkabel können unter der Annahme von 64 kbits / s je Verbindung ungefähr 2000 Telefongespräche (= ca. 125 Mbit/s) übertragen. NEC konnte bereits im März 2001 über eine Entfernung von 117 km ca. 10,9 Tbit/s, also 80000 mal mehr als über Koax übertragen.

Weitere Vorteile des LWL sind u.a. folgende:

- **Übertragungslänge**, LWL können Daten wesentlich weiter übertragen als Kupferleitungen ohne dass eine Signalverstärkung oder –regeneration erforderlich ist. Durch Einsatz spezieller Weitverkehrsverfahren ist es möglich Strecken von 1500 bis 2000 Kilometer ohne Signalverstärkung oder –regeneration zu überbrücken wodurch die Kosten für die Verbindung bedeutend reduziert werden.
- **Störungsunempfindlichkeit** gegen Signalverzerrungen durch elektrische Störfelder.
- **Erhöhte Sicherheit**, das Anzapfen von LWL ist wesentlich schwieriger als von Kupferleitungen und kann durch den dadurch verursachten zusätzlichen Leistungsabfall leicht und rasch erkannt werden, während Kupferleitungen über die vorhandene Strahlung wesentlich leichter angezapft werden können.

- **Kosten**, Die höhere Kapazität optischer Systeme bedeutet dass die Produktionskosten von LWL im Mittel wesentlich niedriger sind als jene von Koax-Systemen. Die Verlegungskosten von LWL sind ebenfalls niedriger als jene von Koaxkabeln, da eine LWL-Faser nicht nur um Vieles leichter ist, sondern auch einen wesentlich geringeren Durchmesser besitzt, was bedeutet, dass in einen Kabelkanal wesentlich mehr LWL eingelegt werden können als Koaxleitungen.

Selbstverständlich haben LWL auch Nachteile. Einer der größten sind die Kosten der optische Bauteile, die wesentlich teurer sind als solche für Kupferleitungen. Ein weiterer ist die Installation von LWL welche wesentlich schwieriger ist als jene von Kupferleitungen. Die Anschlussstecker sind ebenfalls eine Schwachstelle. Sie sind nicht nur wenig zuverlässig, sondern verursachen je Stecker einen Verlust von ca. 3 dB. Eine weitere Schwachstelle ist das Spleißen der LWL, wofür Präzisionsgeräte erforderlich sind. Das Biegen von LWL erfordert ebenfalls große Aufmerksamkeit, da zu kleine Biegeradien dazuführen können, dass bei Überschreiten eines kritischen Winkels Licht aus dem Kern austritt.

2.1 Aufbau von Glasfaserkabel

Glasfaserkabel bestehen aus einem Kern (Core), einem Mantel (Cladding) und einer Beschichtung (Primär Coating).

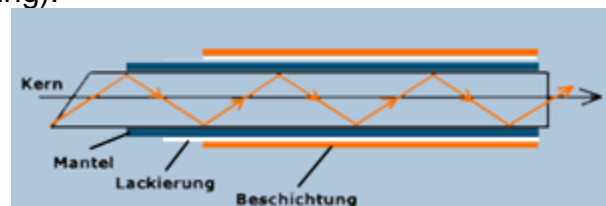


Bild 1 Aufbau einer Glasfaser

Der lichtführende Kern dient zum Übertragen des Signals. Der Mantel ist auch lichtführend, hat jedoch eine niedrige Brechzahl. Die Brechzahl, auch Brechungsindex (Refractive Index) genannt, ist ein Faktor, um den die Lichtgeschwindigkeit in einem optischen Material kleiner ist als im freien Raum (Vakuum). Der Mantel bewirkt dadurch eine Totalreflexion und somit eine Führung der Strahlung im Glasfaser-Kern. Kern und Mantel können als Herz des optischen Systems bezeichnet werden. Die Beschichtung ist ein Schutz vor mechanischen Beschädigungen und ist normalerweise zwischen 150 und 500 μm dick. Zwischen dem Mantel und der Beschichtung befindet sich noch eine 2 bis 5 μm dicke Lackierung. Die Lackierung dient als Schutz, um die feuchte Atmosphäre von der Glasfaser fernzuhalten. Der Kern und der Mantel einer Glasfaser werden hauptsächlich aus Quarzglas hergestellt. Der Preis für die Herstellung von Glasfaserkabel ist mittlerweile niedriger als der eines Übertragungsmediums auf der Basis von Kupfer. Die Beschichtung der Glasfaser besteht aus einem weichen Kunststoff.

Die meisten LWL-Hersteller stellen die eigentliche Fasern (inkl. Primär Coating) nicht her. Diese wird von wenigen Firmen wie z.B. Corning, Siecor oder BICC zugekauft. Bei der Herstellung der Glasfaser wird der Kern und der Mantel schon mit einer Beschichtung, dem Primär Coating (erster Schutzmantel), zum Schutz der Glasfaser versehen. Das Primär Coating reicht als Schutz für die Glasfaser nicht aus. Um die Glasfaser herum befindet sich deshalb eine weitere Schutzhülle, das Sekundär Coating. Diese Schutzhülle besteht aus einem oder mehreren gleichen oder unterschiedlichen, festen Kunststoffen. Es werden dabei vier Grundaufbauten für das LWL-Kabel unterschieden:

- Festader oder auch Vollader
- Kompaktader

- Hohlader gefüllt oder ungefüllt
- Bündelader gefüllt oder ungefüllt

2.1.1 Festader / Vollader

Die Festader besteht aus einer Glasfaser und einer sie fest umgebenden Hülle. Diese Glasfaserkabel sind durch den Aufbau kompakter und leichter als eine Hohlader und im Allgemeinen auch flexibler und druckbeständiger. Temperaturschwankungen und Zugkräfte sind jedoch nur minimal zwischen Schutzhülle und Glasfaser entkoppelt, was aufgrund der unterschiedlichen Materialien zu Problemen führen kann.

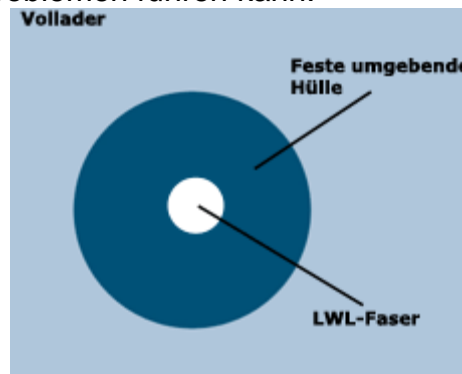


Bild 2 Festader / Vollader

2.1.2 Kompaktader

Die Kompaktader ist vom Aufbau eine Mischung zwischen der Festader und der Hohlader mit dem Unterschied, dass die Schutzhülle nicht fest, sondern lose um die Glasfaser liegt. Jedoch ist der Zwischenraum nicht so groß wie bei der Hohlader. Der Radiale Faserspielraum beträgt dabei nur einige hundertstel Millimeter. Das führt auch zu einer guten Entkopplung von Glasfaser und Hülle. Der Außendurchmesser der Kompaktader ist identisch mit dem der Vollader. Die Vorteile der Kompaktader gegenüber der Vollader sind die bessere Abisolierbarkeit und ihr minimaler Einfluss durch Mikrobiegungen.

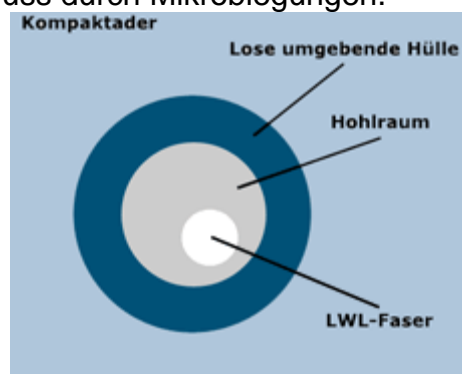


Bild 3 Kompaktader

2.1.3 Hohlader gefüllt

Die gefüllte Hohlader besteht aus einer Glasfaser und einer lose umgebenden Schutzhülle, wobei der Zwischenraum zwischen Glasfaser und Hülle mit einem wasserabweisenden Gel gefüllt ist. Diese Faser ist zwar von den Ausmaßen größer als eine Festader, hat aber meist bessere Eigenschaften bezüglich auf die Hülle wirkender Kräfte, z.B. Temperaturschwan-

kungen und Zugkräfte. Das Füllmaterial schützt u.a. auch vor Längswasser, Querwasser und Druck.

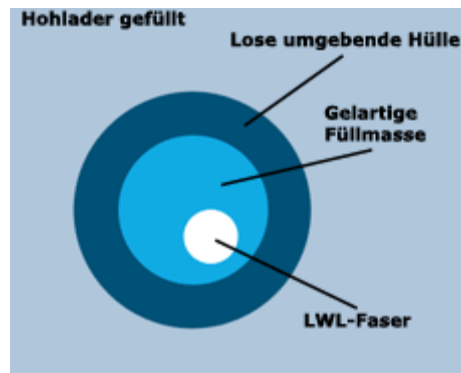


Bild 4 Hohlader gefüllt

2.1.4 Hohlader ungefüllt

Die ungefüllte Hohlader ist eine Hohlader mit nur einer lose umgebenen Hülle um die Glasfaser und ohne Füllmaterial zwischen Faser und Schutzhülle.

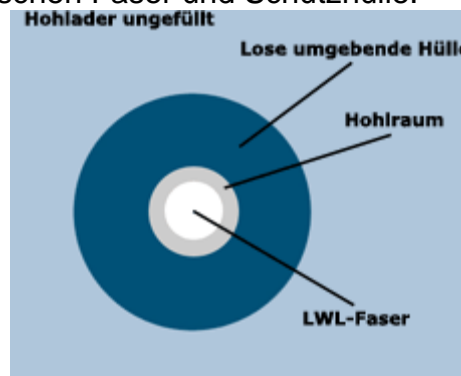


Bild 5 Hohlader ungefüllt

2.1.5 Bündelader gefüllt

Die gefüllte Bündelader besteht aus mehreren Fasern mit einer gemeinsamen Schutzhülle, wobei auch hier wie bei der gefüllten Hohlader der Zwischenraum mit einem wasserabweisenden Gel gefüllt ist. In der Regel werden zwei bis zwölf Fasern kräftefrei gebündelt. Zur Unterscheidung der Lichtwellenleiter sind die Fasern farblich unterschiedlich.

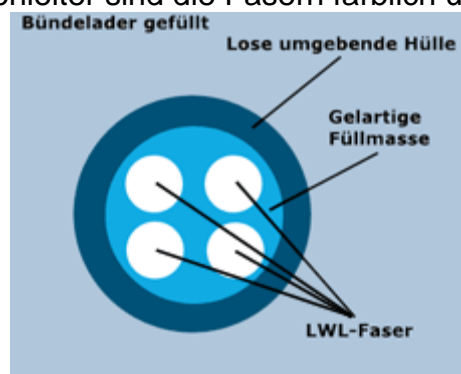


Bild 6 Bündelader gefüllt

2.1.6 Bündelader ungefüllt

Bei der ungefüllten Bündelader ist der Zwischenraum zwischen den Fasern und der umgebenden Schutzhülle nicht mit Füllmaterial gefüllt. Im weiteren Verlauf bei der Herstellung eines LWL-Kabels werden eine oder mehrere Adern (Voll-, Kompakt-, Hohl- oder Bündelader) und eventuell Blindelemente mit einem Stützelement und einer Zugentlastung in einem Kabelmantel verseilt. Die Verseilungshohlräume sind meistens zum Schutz vor Längswasser mit einem Wasser abweisenden Gel gefüllt. Das Stützelement ist ein Element, das in axialer Richtung Zug- und/oder Stauchkräfte aufnehmen kann. Dieses Element befindet sich üblicherweise in der Kabelmitte und besteht meistens aus einem voll dielektrischen Epoxy-Glasfiberstab.

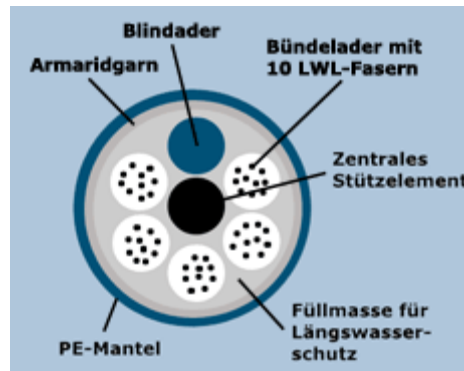


Bild 7 Bündelader ungefüllt

Blindelemente werden eingesetzt, falls die Anzahl der Adern nicht reicht, um das Stützelement zentral in der Kabelseele zu installieren.

2.2 Glasfaser Typen

Für den Einsatz in optischen Übertragungssystemen gibt es heute drei Typen von Glasfasern:

- Multimode-Stufenindexfaser
- Multimode-Gradientenindexfaser
- Singlemode / Monomode-Stufenindexfaser

2.2.1 Multimodefaser mit Stufenprofil

Die Multimodefaser mit Stufenprofil besteht aus einem Kern von etwa 50 bis zu 200 μm Durchmesser und einem Mantel von 100 ... 250 μm Durchmesser. Die Brechzahl des Kern ist deutlich höher als die des Mantels; sie ist dabei aber über den Radius konstant.

An der Grenzfläche zwischen Kern und Mantel findet eine Totalreflexion der in die Faser eingekoppelten Lichtstrahlen statt. Alle Lichtwellen, die den maximalen Akzeptanzwinkel überschreiten, verlassen den Kern, treten in den Mantel über und sind damit nicht mehr nutzbar. Die aus dem Kern austretenden Strahlen verursachen somit Verluste bei der Einkopplung des Lichtes in die Faser. Die in der Faser geführten Lichtstrahlen verlaufen in einer Zickzack-Bewegung innerhalb der Faser.

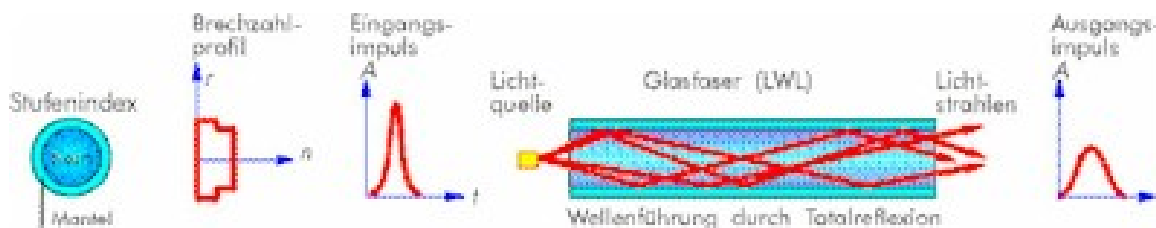


Bild 8 Multimodefaser mit Stufenprofil

Abhängig von der Wellenlänge und den geometrischen Faserabmessungen ist durch gegenseitige Auslöschung (Interferenz) nur eine bestimmte Anzahl von Lichtstrahlen (Moden) ausbreitungsfähig. Bei einem Kerndurchmesser von 100 μm sind dies einige tausend Moden. Diese Moden haben unterschiedliche Wegstrecken zurückzulegen, so dass sie nicht mehr zur gleichen Zeit am anderen Ende der Faser eintreffen (Modendispersion). Dadurch ist die übertragbare Bandbreite beschränkt, so dass sich dieser Fasertyp nicht für die Überbrückung größerer Entfernungen eignet.

Der Vorteil der Multimodefaser mit Stufenprofil liegt in den vergleichsweise niedrigen Herstellungskosten der einfachen Spleiß- bzw. Verbindungstechnik. Die Ursache dafür ist in der großen Querschnittsfläche des Faserkerns (50...200 μm Durchmesser), die bei der Positionierung beim Spleißen oder bei Steckverbindungen im Vergleich zu anderen Fasertypen geringere Anforderungen stellt.

Die Multimodefaser mit Stufenprofil eignet sich wegen der geringen Bandbreite ausschließlich zur Überbrückung relativ kurzer Längen. Sie wird heute nur noch selten für spezielle Einsatzgebiete hergestellt. Sie findet in LANs und in Telekommunikationsnetzen keine Anwendung.

2.2.2 Multimodefaser mit Gradientenprofil

Stellt man eine Faser so her, dass die Brechzahl des Kernes nach aussen hin abnimmt – zum Beispiel durch schichtenweisen Aufbau (Bild 9), so werden die Lichtstrahlen, die unter einem Winkel kleiner als der Akzeptanzwinkel eingestrahlt werden, wieder nach innen gebeugt. Anstelle der Zickzacklinie, wie bei der Multimodefaser mit Stufenprofil, entsteht hier eine wellenförmige Linie des sich ausbreitenden Lichtes.

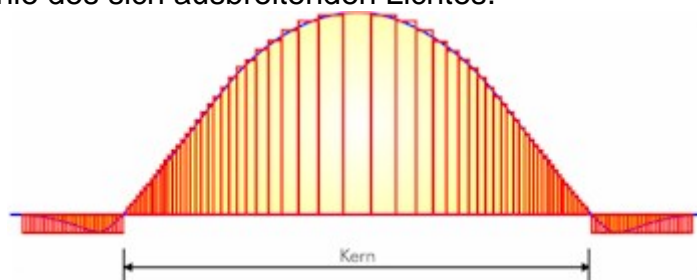


Bild 9 Brechzahlprofil der Multimode-Gradientenindexfaser

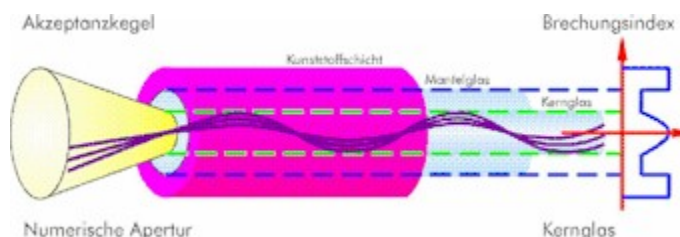


Bild 10 Multimode-Gradientenindexfaser

Je weiter außen ein Strahl verläuft, desto so schneller breitet er sich wegen des kleineren Brechungskoeffizienten aus.

Durch einen entsprechend berechneten Verlauf der Brechzahlverringering nach außen hin (Brechzahl-Indexprofil) gelingt es, die Laufzeitunterschiede der Strahlen, die den längeren Weg zurücklegen, durch die höhere Ausbreitungsgeschwindigkeit auszugleichen. Damit steigt die Bandbreite der Multimodegradientenfaser um das 20- bis 50-fache auf Werte von einigen GHz/km an. Bei sonst gleichen Daten verringert sich die Anzahl der ausbreitungsfähigen Moden, so dass die Einkopplung des Lichtes erhöhte Verluste verursacht. Doch dank des relativ großen Kerndurchmessers und des relativ hohen Bandbreiten-Längenproduktes eignet sich die Gradientenindexfaser, wie sie auch genannt wird, hervorragend im LAN-Bereich bis zu etwa 3000 m.

2.2.3 Monomodefaser mit Stufenprofil

Bei der Monomodefaser liegt der Kerndurchmesser in der Größenordnung der Wellenlänge des Lichtes, so dass nur noch eine Mode ausbreitungsfähig ist. Die Mode strahlt auch über den Kern hinaus in den Mantel. Der Durchmesser des Lichtfleckes – auch Modenfelddurchmesser genannt – beträgt bei 1300 nm ca. 9 bis 10 μm . Für alle Berechnungen der Ein- und Auskopplung sowie der Verbindungsverlust in Spleißen- und Steckverbindungen ist nur der Felddurchmesser von Bedeutung, so dass in Datenblättern auch nur dieser und meist nicht der geometrische Kerndurchmesser angegeben wird. Durch die Monomodeausbreitung fällt eine Impulsverbreiterung durch die Wellenlängendispersion völlig weg. Die Bandbreite der Monomodefaser erreicht daher Werte von 1000 GHz/km und mehr.

Durch die kleinen Kerndurchmesser stellen Monomodefasern sehr hohe Forderungen an die Herstellungsverfahren und auch an die Spleiß- und Verbindungstechnik. Die ausgezeichneten Übertragungseigenschaften rechtfertigen jedoch den gegenüber anderen Fasertypen erhöhten Herstellungs- und Montageaufwand.

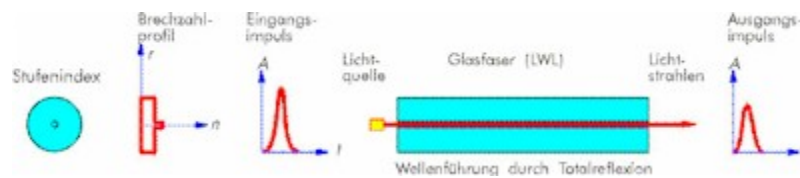


Bild 11 Monomodefaser mit Stufenprofil

Die Monomodefaser entspricht voll den Ansprüchen, die aus den Erfordernissen der individuellen Breitbandkommunikation hervorgeht und wird deshalb hauptsächlich in öffentlichen Netzen für digitale Sprachkommunikation und CATV eingesetzt. Durch die zunehmenden Datenraten hält sie jedoch auch in Datennetzen Einzug.

2.3 Optische Übertragungstechnik

Für die optische Übertragungstechnik auf der Basis von Quarzglas-Lichtwellenleitern nutzt man Wellenlängenbereiche, die sich durch geringe Materialdämpfung auszeichnen. Bei Lichtwellenleitern bilden sich durch Streuung und Absorption Wellenlängenbereiche aus, in denen die Dämpfung geringer ist als in anderen Bereichen. Diese Bereiche nennt man optische Fenster und nutzt sie zur Übertragung für die verschiedenen Moden. Die optischen Fenster liegen bei 850 nm, 1.300 nm und 1.550 nm.

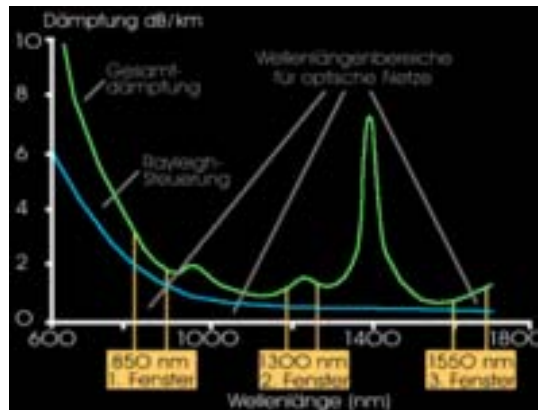


Bild 12 Dämpfungskurven mit optischen Fenstern

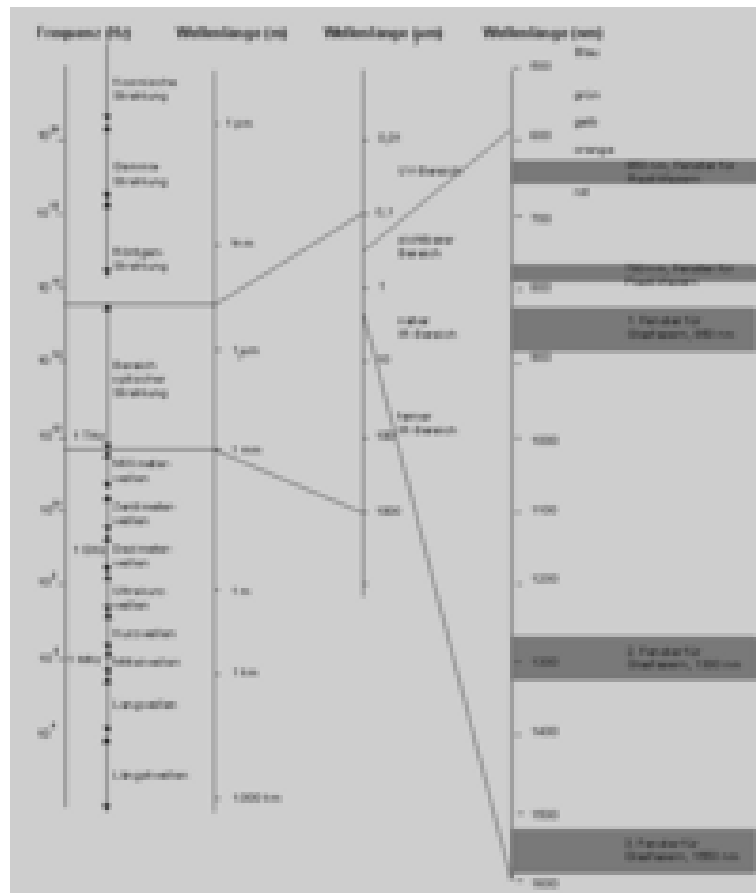


Bild 13 Frequenzbereiche für Lichtwellenübertragung

Die ITU hat für die Übertragung in optischen Netzen insgesamt sechs Wellenlängenbereiche im 2. und 3. optischen Fenster definiert. Danach liegt das O-Band im 2. optischen Fenster, das E-Band, S-Band, C-Band, L-Band und U-Band im 3. optischen Fenster. Der untere Wellenlängenbereich bei 850 nm wird für die Übertragung auf Multimodefasern in lokalen Netzen benutzt und ist von der IEEE u.a. für Gigabit-Ethernet vorgegeben. Typische Dämpfungswerte liegen bei 3 dB/km für 850 nm Wellenlänge und 0,1 dB/km für 1.300 nm mit Monomodefasern.

2.3.1 WDM (wavelength division multiplexing)

Eine LWL-Multiplextechnik, die zu einer besseren Ausnutzung der Lichtwellenleiter-Kapazität führt. Bei der WDM-Technik werden unterschiedliche Lichtwellenlängen zur parallelen Über-

tragung mehrerer Signalen genutzt. An Wellenlängen können die optischen Fenster bei 850 nm, 1.300 nm und 1.550 nm für die Übertragung genutzt werden. Allerdings wird in der Praxis das optische Fenster bei einer Wellenlänge von 1.550 nm genutzt, in dem verschiedenfarbige Lichtsignale übertragen werden. Diese optische Mehrkanaligkeit, die immer ein Vielfaches von zwei hat, also 2 Kanäle, 4, 8, 16, 32, 64 usw. wird durch einen minimalen Sicherheitsabstand zwischen den einzelnen Wellenlängen erreicht. So sind auf konventionellen Glasfasern Übertragungsraten von 10 Gbit/s bei einem Frequenzabstand von 50 GHz technisch realisierbar. Die gleichzeitige Übertragung kann sowohl in einer Übertragungsrichtung erfolgen, aber auch in entgegengesetzten Richtungen.



Bild 14 WDM-System

Dem Prinzip nach wird jedes zu übertragende Signal einer Lichtfrequenz aufmoduliert. So können bei der Benutzung von beispielsweise drei Lichtfrequenzen gleichzeitig drei Signale übertragen werden.

Das optische Koppellement, der Wellenlängen-Multiplexer, bündelt die verschiedenen Lichtwellenlängen und überträgt den gesamten Lichtstrom, der alle diskreten Wellenlängen enthält, über einen Lichtwellenleiter zum Empfangsort, wo er mittels Filtertechniken in die einzelnen Kanäle separiert wird.

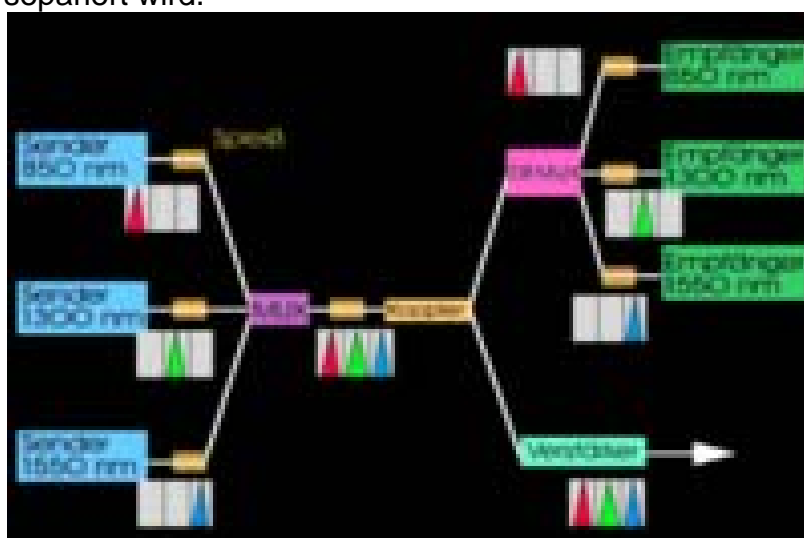


Bild 15 Wellenlängen-Multiplexer/Demultiplexer

Die WDM-Technik, die in optischen Kern- und Anschlussnetzen, wie PON oder APON, eingesetzt wird, wurde von der ITU für diese Anwendungen in den Spezifikationen erweitert (ITU G.983.3). Dafür wurde dem Downstream-Bereich neben dem Wellenlängenbereich zwischen 1.480 nm und 1.500 nm ein weiteres Wellenlängenband zwischen 1.539 nm und 1.565 nm für Video-Übertragungen hinzugefügt.

2.3.2 DWDM-Technik

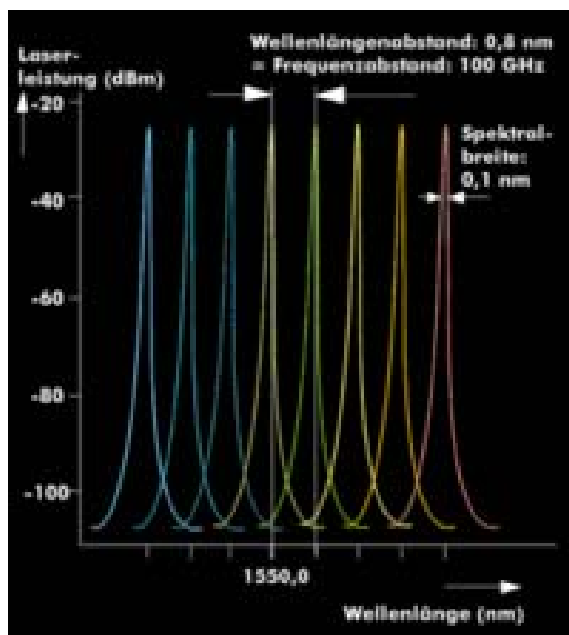


Bild 16 Wellenlängenraster bei DWDM

DWDM ist ein optisches Wellenlängenmultiplex und erlaubt in den verschiedenen Verfahren - CWDM, DWDM, NWDM, WWDM - Übertragungsraten von mehreren Tbit/s. Bei der DWDM-Technik wird der Wellenlängenbereich zwischen 1.260 nm und 1.675 nm für die Übertragung im Weitverkehrsbereich benutzt, der in drei Wellenlängenbänder, dem S-Band, C-Band und L-Band unterteilt ist. Als Grundwellenlänge wird die Wellenlänge des optischen Fensters bei 1.550 nm verwendet, auf die bis zu 160 unterschiedliche Wellenlängen symmetrisch aufmoduliert werden. Diese werden dann über eine Glasfaser übertragen und empfangsseitig durch optische Filter wieder voneinander getrennt.

Die Kanalabstände betragen 0,8 nm. Der 0,8-nm-Abstand entspricht einem 100-GHz-Spacing zwischen zwei Kanälen und wird als ITU-Grid bezeichnet. Weitere standardisierte Kanalabstände betragen 50 GHz, 25 GHz und 12,5 GHz, was Wellenlängenabständen von 0,4 nm, 0,2 nm oder 0,1 nm entspricht. Marktgängig sind derzeit Systeme mit 16 bis 64 Kanälen. Für die Reichweite hat die ITU Entfernungen optische SDH-Schnittstellen von 80 km, 120 km und 160 km spezifiziert, bekannt als Long Haul, Very Long Haul (VLH) und Ultra Long Haul (ULH).

Die Voraussetzungen für die DWDM-Technik wurden durch die moderne Halbleitertechnologie geschaffen, die DFB-Laser mit einer geringen spektralen Bandbreite zur Verfügung stellt, damit mehrere Übertragungskanäle in einem optischen Fenster realisiert werden können. Darüber hinaus ermöglicht die moderne Kopplertechnik deutlich geringere Kanalabstände, weil sie steile Filterkurven und hohe Sperrdämpfungen aufweist. Auch bei den Faserverstärkern (OFA und EDFA) wurden wesentliche entwicklungstechnische Fortschritte erzielt.

In der praktischen Anwendung kann man mit der DWDM-Technik bis zu vierzig OC-48 mit 2,488 Gbit/s gleichzeitig über eine Glasfaser übertragen, was einer Übertragungsgeschwindigkeit von 100 Gbit/s entspricht. Im Rahmen der 10-Gigabit-Ethernet-Technologie rücken Übertragungswerte von 1 Tbit/s in den Bereich des Möglichen, wenn man davon ausgeht, dass man 80 Kanäle mit jeweils 10 Gbit/s überträgt.

2.3.3 CWDM (coarse wave division multiplex)

Das CWDM-Verfahren ist ein Wellenlängenmultiplex für Stadtnetze und Anschlussnetze. Die Übertragung erfolgt in 18 Kanälen mit Wellenlängen zwischen 1.270 nm und 1.610 nm mit einem Kanalabstand von 20 nm. Die Übertragungsrate liegt bei 2,5 Gbit/s pro Kanal, so dass mit einem Vierkanal-Multiplexer maximale Übertragungsraten von 10 Gbit/s, beispielsweise für 10GbE, möglich sind.

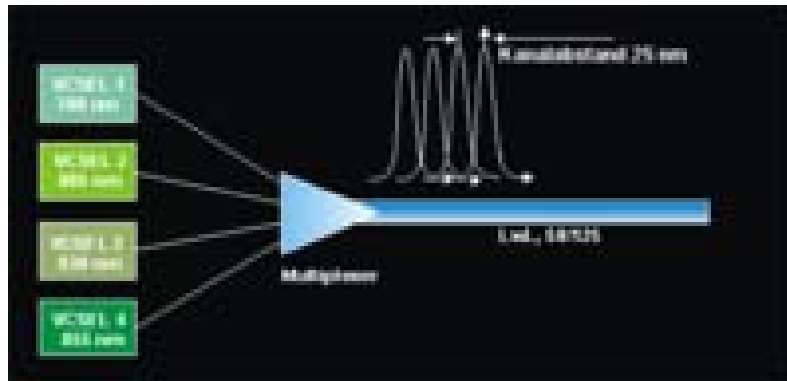


Bild 17 Wellenlängenmultiplex bei der CWDM-Technik

Bei CWDM, das in der ITU-Empfehlung G.649.1 beschrieben ist, werden VCSEL-Laser als schmalbandige Emissionsquellen eingesetzt. Der Signal-Rauschabstand zwischen den einzelnen Kanälen ist mit mindestens 25 dB angegeben.

Der Einsatz von CWDM mit Gradientenfasern sieht den Wellenlängenbereich im unteren optischen Fenster vor. Dabei beträgt der Kanalabstand 25 nm, die vier Wellenlängen liegen ab 780 nm aufwärts. CWDM-Strecken können als Punkt-zu-Punkt-Verbindungen über Entfernungen bis 50 km realisiert werden. Der Übergang von der CWDM-Technik zur DWDM-Technik kann mittels Hybrid-CWDM/DWDM erfolgen.

2.3.4 NWDM (narrow WDM)

NWDM ist ein Wellenlängenmultiplex (WDM) im 1.300-nm-Bereich, das typischerweise mit 4 Datenströmen in einem Wellenlängenabstand von 25 nm arbeitet.

2.3.5 WWDM (wide wavelength division multiplex)

Wellenlängenmultiplex zur Erhöhung der Übertragungskapazität von Lichtwellenleitern. Das WWDM-Verfahren arbeitet im Gegensatz zum CWDM-Verfahren im zweiten optischen Fenster und wurde im Rahmen der 10-Gigabit-Ethernet-Standardisierung, 10GbE, diskutiert. Die Kanalabstände von WWDM betragen 50 nm und mehr; zur Übertragung werden die optischen Fenster von 1.300 nm und 1.550 nm benutzt.

3 OPTISCHE NETZE - ON (OPTICAL NETWORKS)

Einfache optische Netze können sowohl voll vermascht als auch sternförmig aufgebaut sein. Dabei sind alle Knoten ringförmig mit einem LWL-Kabel verbunden. Für jeden Verbindungsweg ist ein färbig dargestellter Kanal (Wellenlänge) vorgesehen. Beim voll vermaschten Netz führen zu jedem Knoten vier kommende und vier gehende Verbindungswege, beim Sternnetz setzt der Hub die kommenden Wellenlängen in die Wellenlänge des jeweiligen Zielknotens um.

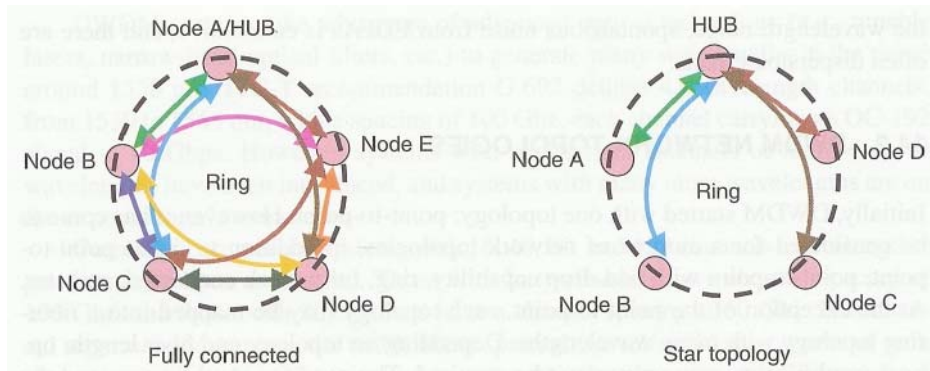


Bild 18 WDM Maschen- und Sternnetz

Optische Kernnetze, auch als Photonik-Netze bekannt, sind breitbandige Hochgeschwindigkeitsnetze, die auf optischer Übertragungstechnologie mit den entsprechenden optischen Übertragungskomponenten basieren. Bei diesen rein optischen Netzen spricht man von All-Optical-Networks.

Neben den rein optischen Übertragungskomponenten können optische Netze auch mit E/O- und O/E-Wandlern arbeiten.

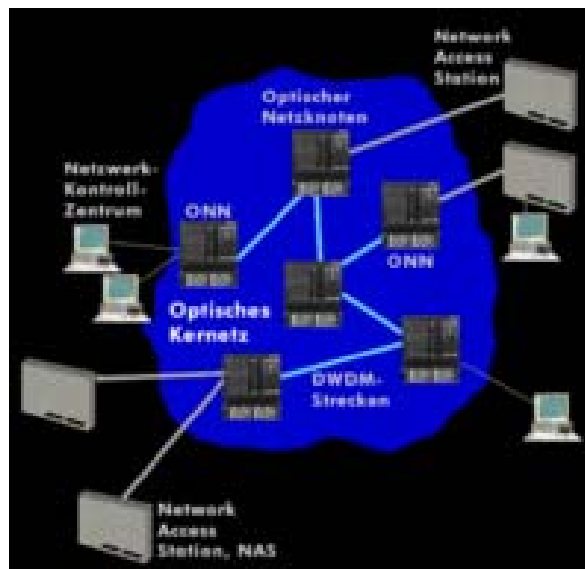


Bild 19 Struktur eines optischen Kernnetzes mit DWDM-Strecken

Optische Netze nutzen Lichtwellenleiter für die Übertragung der modulierten Lichtsignale. Für die Generierung des optischen Signals werden elektro-optische Wandler, bei hochwertigen Systemen vorwiegend Laserdioden eingesetzt, aber auch LEDs. Die Lichtmodulation erfolgt in NRZ-Codierung, und zwar entweder direkt, d.h. der Laserstrahl wird im Laser moduliert, oder extern, wobei der Laser einen konstanten Lichtstrahl sendet, der in einer nachgeschalteten Modulationseinrichtung, einem elektro-optischen Modulator oder einem Elektro-

Absorptions-Modulator (EA) moduliert wird. Für die Signalmrückwandlung, die Wandlung der optischen Signale in elektrische Signale, nimmt man bei leistungsfähigen Systemen APD-Dioden, PIN-Diode oder Fototransistoren.

Optische Netze nutzen als Transportstruktur die SDH-Hierarchie oder OTH-Hierarchie und verwenden optische Netzkomponenten (ONE). Dabei handelt es sich um optische Verstärker (OA), Regeneratoren (REG), optische Multiplexer (OMUX), optische Crossconnects (OXC) sowie weitere Komponenten für die Dispersionskompensation, die Filterung und das Wellenlängenmultiplex (WDM). Darüber hinaus werden je nach Konzept des optischen Netzes die Lichtsignale über O/E-Wandler in elektrische Signale umgeformt, die anschließend über Netzknoten wie ATM-Switches, IP-Router, SDH-Multiplexer und Ethernet-Switches vermittelt und über elektro-optische Wandler wieder in Lichtsignale umgesetzt werden.

Neben den optischen Netzen, die auf den Übertragungstrecken mit elektro-optischer und opto-elektrischer Umwandlung arbeiten, gibt es noch die reinen All Optical Networks (AON), bei denen die Verstärkung und Vermittlung ausschließlich auf optischer Basis erfolgt. Optische Netze findet man im Weitverkehrsbereich, bei den Stadtnetzen und auch in Unternehmensnetzen. Im Weitverkehrsbereich sind solche Netze durch die Längen der Übertragungstrecken charakterisiert. Diese Übertragungstrecken werden wegen der großen überbrückbaren Entfernungen mit Monomodefasern aufgebaut, und sind von der ITU spezifiziert. Die Spezifikationen berücksichtigen die Dämpfung, die damit überbrückbaren Entfernungen und die Anzahl der einsetzbaren Verstärker.

3.1 Wellenlängenbereiche für optische Übertragung

In optischen Netzen sind die Übertragungsbereiche von der ITU definiert. Es gibt sechs Wellenlängenbereiche.

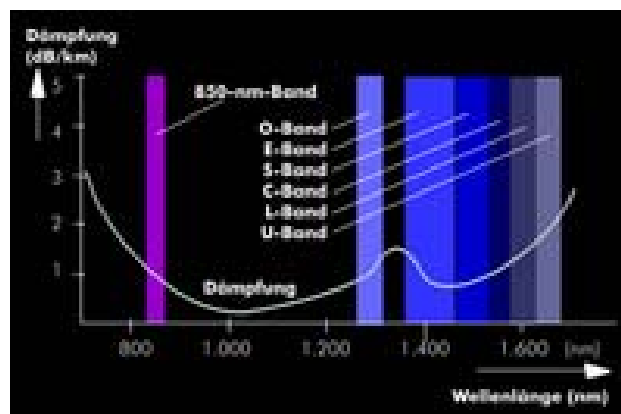


Bild 20 von ITU definierte Wellenlängenbereiche für die optische Übertragung

3.1.1 C-Band

- In der Mikrowellentechnik ist das C-Band das Frequenzband zwischen 4 GHz und 8 GHz. In der Satellitenkommunikation wird als C-Band der Frequenzbereich zwischen 4,20 GHz und 6,40 GHz definiert. Dieser Bereich wird bevorzugt für die Satellitenübertragung mit GEO-Satelliten benutzt. Dabei werden für das Uplink das Frequenzband von 3,6 GHz bis 4,2 GHz als Empfangsband benutzt und für das Downlink das Frequenzband von 5,8 GHz bis 6,4 GHz als Sendeband.
- In optischen Netzen wird das C-Band als konventionelles (für C, Conventional) Band bezeichnet, dessen Wellenlänge zwischen 1.530 nm und 1.565 nm liegt.

3.1.2 E-Band

- In der Mikrowellentechnik und der Radartechnik belegt das V-Band¹ den Frequenzbereich zwischen 50 GHz und 75 GHz.
- In optischen Netzen sind die Übertragungsbereiche von der ITU definiert. Es gibt sechs Wellenlängenbereiche. Das E-Band liegt unterhalb des S-Bandes mit Wellenlängen zwischen 1.360 nm und 1.460 nm.

3.1.3 L-Band

- Dieses Frequenzband liegt im Bereich der Dezimeterwellen zwischen 0,390 GHz und 1,550 GHz. Das L-Band wird für Satellitenkommunikation und Satellitenradio benutzt, ebenso wie für Mikrowellen- und Radaranwendungen. Die Frequenzbereiche sind bei den verschiedenen Anwendungen unterschiedlich. So wird das L-Band für Radaranwendungen zwischen 1 GHz und 2 GHz spezifiziert, für Hohlleiter zwischen 1,12 GHz und 1,7 GHz.
- In der Satellitenkommunikation mit LEO-Satelliten werden im L-Band beispielsweise über den Downlink die Nutzdaten von den Iridium-Satelliten hin zu den Mobilstationen übertragen.
- Bei dem Global Positioning System (GPS) ist das L-Band in die zwei Frequenzbänder L1 und L2 unterteilt. Die Mittenfrequenz von L1 beträgt 1,57542 GHz, die von L2 1,22760 GHz. Das L1-Band wird für militärische Anwendungen benutzt, die Signale sind verschlüsselt, das L2-Band arbeitet unverschlüsselt und ist für die zivile Nutzung.
- In optischen Netzen sind die Übertragungsbereiche von der ITU definiert. Das L-Band hat danach Wellenlängen zwischen 1.565 nm und 1.620 nm.

3.1.4 O-Band

- Das O-Band liegt im zweiten optischen Fenster mit Wellenlängen zwischen 1.260 nm und 1.310 nm.

3.1.5 S-Band

- Das S-Band liegt im 3. optischen Fenster bei Wellenlängen zwischen 1.460 nm und 1.530 nm.
- Ein Frequenzband für die Satellitenübertragung und für Interkontinentalverbindungen im Frequenzbereich von 1,55 GHz bis 5,20 GHz. Die mittlere Wellenlänge liegt bei 10 cm. Das S-Band ist in sich nochmals unterteilt. Für die Mikrowellentechnik und Radaranwendungen hat die IEEE das S-Band zwischen 2 GHz und 4 GHz spezifiziert.

3.1.6 U-Band

- In der Mikrowellentechnik belegt das U-Band den Frequenzbereich zwischen 40 GHz und 60 GHz. In der Radartechnik ist dieser Bereich von dem V-Band von 40 GHz bis 75 GHz belegt.

¹ Das V-Band ist ein Frequenzband das im Millimeterwellen-Bereich liegt mit Frequenzen zwischen 46,0 GHz und 56,0 GHz. Das V-Band liegt oberhalb des *Q-Bandes*. Beide Bänder sind für die Satellitenkommunikation und werden häufig auch gemeinsam als *Q/V-Band* bezeichnet.

- In optischen Netzen sind die Übertragungsbereiche von der ITU definiert. Es gibt sechs Wellenlängenbereiche. Das U-Band ist das Band mit den längsten Wellenlängen zwischen 1.625 nm und 1.675 nm.

3.2 Optische Übertragungsstrecke

3.2.1 Optisches Budget (optical budget)

Das optische Budget ist die Gesamtheit aller die Lichtleistung beeinflussenden Faktoren auf einer optischen Übertragungsstrecke. Das in eine Glasfaser eingespeiste Lichtsignal unterliegt auf der optischen Übertragungsstrecke den Lichtpegel verstärkenden und dämpfenden Faktoren. Das gesamte Budget muss dabei so bemessen sein, dass die verstärkenden Faktoren, also die Pegelanhebung durch optische Verstärker, am Ende der Übertragungsstrecke in jedem Fall größer sind als die Pegel dämpfenden Faktoren, die durch die Dämpfung der Glasfaser, durch Spleiße, Stecker und passive optische Komponenten hervorgerufen werden.

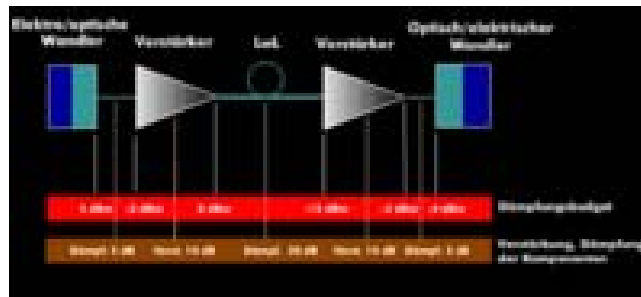


Bild 21 Ermittlung des Dämpfungsbudgets am Beispiel einer optischen Verbindung

Das optische Budget ist also die Pegelbetrachtung einer optischen Verbindung, beginnend beim Einspeisungspegel der optischen Quelle, des Lasers oder der LED, über die Dämpfungswerte des Lichtwellenleiters unter Berücksichtigung der Länge, der Dämpfungswerte der Anschlusskomponenten, der Pegelanhebung durch Verstärker und der Empfindlichkeit des optischen Empfängers. Dieses Budget ist eine unerlässliche Betrachtung für die fehlerfreie Datenübertragung.

3.2.2 OTS (optical transmission section)

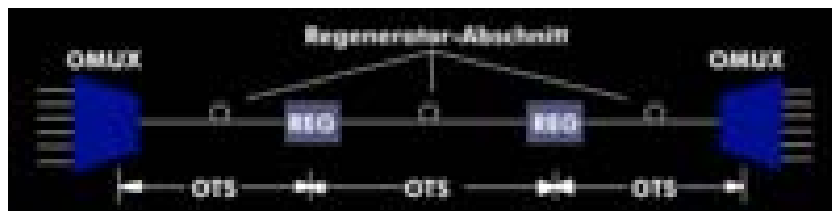


Bild 22 Regenerator-Abschnitte in der OTH-Hierarchie

Die Optical Transmission Section (OTS) ist der optische Übertragungsabschnitt zwischen zwei optischen Regeneratoren oder zwischen einem optischen Multiplexer (OMUX) und einem Regenerator in der OTH-Hierarchie. Alle OTS-Stecken zusammen bilden die Optical Multiplex Section (OMS), vergleichbar der Multiplex Section (MS) in der SDH-Hierarchie.

3.2.3 OMS (optical multiplex section)

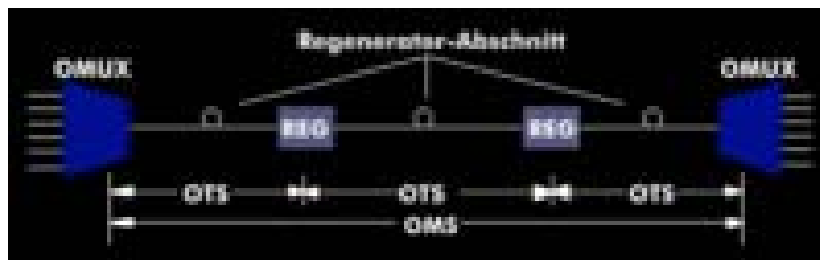


Bild 23 Multiplex-Abschnitt in einem optischen Netzwerk (OTH)

In der OTH-Hierarchie wird der Übertragungsabschnitt zwischen zwei optischen Multiplexern (OMUX) als Optical Multiplex Section (OMS) bezeichnet, vergleichbar mit der Multiplex Section (MS) in der SDH-Hierarchie. Der OMS-Übertragungsabschnitt setzt sich zusammen aus den einzelnen Optical Transmission Section (OTS).

3.2.4 OCh (optical channel)

In der OTH-Hierarchie werden die optischen Container als Optical Channel (OCh) bezeichnet und entsprechen damit funktional den virtuellen Containern (VC) der SDH-Hierarchie. Über die Optical Channels werden hochbitratige Signale transportiert. Bei diesen Signalen kann es sich um SDH-Signale handeln, aber ebenso um Datenpakete von Gigabit-Ethernet oder Fibre-Channel.

3.3 Optical Transport Hierarchy (OTH)

Mit der optischen Transporthierarchie (OTH) werden in optischen Netzen auf der Übertragungsebene einheitliche Signalstrukturen, Überwachungs- und Alarmfunktionen definiert. Die optische Transporthierarchie ist die Transporttechnik für das optische Transportnetz (OTN). In ihr wurden bewährte Techniken aus der synchronen digitalen Hierarchie (SDH) und der DWDM-Technik konsolidiert, wobei auf aufwendige Multiplexstrukturen verzichtet wird und stattdessen moderate Anforderungen an die Taktung gestellt werden. Die OTH-Technik bietet eine konvergente elektrische und optische Übertragungstechnik, die für breitbandige Datenströme optimiert wurde und diese Datenströme zwischen der elektrischen und optischen Ebene verschalten kann.

OTH ist von der ITU in der Empfehlung G.709 standardisiert und bietet den verschiedenen Client-Signalen eine optische Transporteinheit (OTU).

Der ITU-Standard G.709 führt die Bezeichnung "Network Node Interface for the Optical Transport Network" und definiert die Schnittstelle sowie den Transportdienst für die Nutzdaten über die standardisierte SDH-Hierarchie und OTH-Hierarchie. Die ITU hat für das optische Transportnetz (OTN) neue Schnittstellen definiert. Dazu gehört das Network Node Interface (NNI), die Schnittstelle zum OTN, die Bestandteil der Empfehlung G.709 ist.

3.4 Optical Transport Unit (OTU)

Die optische Transporteinheit (OTU) ist der im ITU-Standard G.709 festgelegte Datenrahmen für die Übertragung in optischen Netzen. Der Datenrahmen besteht aus drei Datenfeldern: dem Overhead (OH), den Nutzdaten und der Vorwärts-Fehlerkorrektur (FEC). Das Datenfeld für den Overhead ist 16 Byte lang und unterstützt betriebliche, administrative und wartungsorientierte Funktionen, entsprechend den OAM-Funktionen für Operation, Administration, and Maintenance. Das Datenfeld für die Nutzdaten ist 3.808 Byte lang und wird gefolgt von dem

256 Byte langen Datenfeld für Forward Error Correction (FEC), die mit dem Reed-Solomon-Code arbeitet. Bei hohen Datenraten von 10 Gbit/s und darüber stellt die Vorwärts-Fehlerkorrektur zusätzliche codierte Daten bereit, die eine Fehlererkennung und Fehlerkorrektur durch den Empfänger gewährleisten.

Im Nutzdatenfeld, der Payload, sind die im optischen Transportnetz definierten Nutzdaten von ATM, SDH, Ethernet, 10GbE oder andere. Das können STS-Signale sein, aber ebenso Ethernet- oder IP-Pakete. Der gesamte Datenrahmen ist in Zeilen und Spalten gegliedert, wobei eine Spalte einem Byte entspricht.

In der ITU-Empfehlung G.709 werden sind folgende OTU-Übertragungsraten definiert:

OTU1 mit 2,666 057 143 Gbit/s,

OTU2 mit 10,709 225 316 Gbit/s und

OTU3 mit 43,018 413 559 Gbit/s.

3.5 Optische SDH-Schnittstellen

Die ITU kennt mehrere optische SDH-Schnittstellen:

Long Haul (LH),

Very Long Haul (VLH) und

Ultra Long Haul (ULH) für Entfernungsbereiche zwischen 80 km und 160 km.

Streckenbezeichnung	Dämpfung	Länge	Verstärker	Gesamtlänge
Long Haul (LH)	22 dB	80 km	7	8x80 km, 640 km
Very Long Haul (VLH)	33 dB	120 km	4	5x120 km, 600 km
Ultra Long Haul (ULH)	44 dB	160 km	0	

Tabelle 1 Optische SDH-Schnittstellen

Längere Übertragungsstrecken von bis zu mehreren tausend Kilometern können durch eine Übertragungstechnik realisiert werden, die auf Solitonen basiert. Bei dieser Technik wird die Impulsverbreiterung, hervorgerufen durch die chromatische Dispersion, durch die Impulskompression der nichtlinearen Effekte ganz oder teilweise kompensiert. Diese Impulskompression wird durch Materialeigenschaften der Glasfaser im C-Band und L-Band verursacht. Solche Solitonen-Systeme können ohne Zwischenverstärkung Übertragungsstrecken von bis zu 20.000 km mit Datenraten von bis zu 10 Gbit/s oder 1.000 km mit 40 Gbit/s überbrücken.

3.6 OTN (optical transport network)

Das optische Transportnetz (OTN) ist ein von der ITU standardisiertes Netz in denen Carrier mittels eines Transportdienstes Nutzdaten von Kunden übertragen. Es handelt sich um eine konsequente Weiterentwicklung der synchronen digitalen Hierarchie (SDH) und der WDM-Technik.

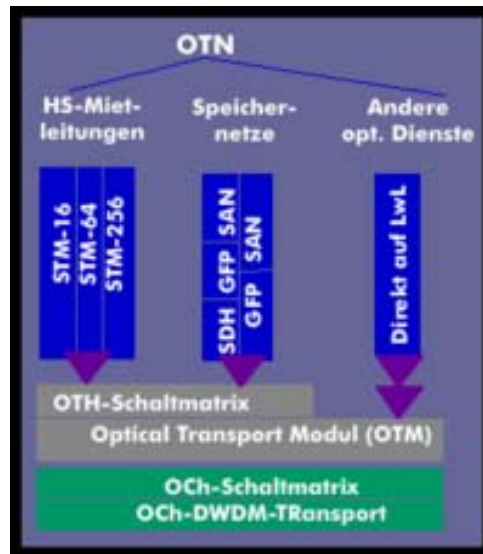


Bild 24 Struktur des optischen Transportnetzes (OTN)

Das optische Transportnetz basiert auf der OTH-Hierarchie, ist eine Technik für Kernnetze und besteht aus drei Layern. Der unterste Layer, der Optical Transmission Section (OTS), beschreibt die optische Faserstrecke zwischen zwei optischen Systemkomponenten. Das können optische Verstärker (OA), optische Add/Drop-Multiplexer (OADM) oder optischer Cross Connects (OXC) sein. Der darüber liegende Layer, der Optical Multiplex Section (OMS) umfasst die Multiplexfunktionen einer DWDM-Verbindung zwischen zwei Netzwerkknoten. Der oberste Layer ist der Optical Channel Layer (OCh) und bezieht sich auf den optischen Kanal zwischen zwei Teilnehmern.

Das optische Transportnetz kann bei voller Bandbreite 10-Gbit/s-Ethernet von Ethernet-Switches und Routern übertragen. Der Transport erfolgt über Optical Transport Units (OTU) mit Übertragungsraten von 2,7 Gbit/s (OTU-1), 10,7 Gbit/s (OTU-2) oder 43 Gbit/s (OTU-3). Es ist nach den G-Empfehlungen der ITU standardisiert. Eine der wichtigeren Standards der G-Serie ist der Standard G.709, in dem die Nutzdaten in ATM, SDH, IP, Ethernet und sonstige unterschieden werden. In diesem Standard ist auch die Schnittstelle Network Node Interface (NNI) zum optischen Transportnetz definiert.

4 OPTISCHE NETZELEMENTE

4.1 Optische Sender (optical transmitter)

Der optische Sender ist eine elektronisch-optische Baugruppe, die die elektrischen Signale in Lichtsignale umwandelt und diese für die Übertragung über LWL aufbereitet. Eine solche Baugruppe besteht aus einem E/O-Wandler, der die Lichtmodulation erzeugt, und einem nachgeschalteten optischen Verstärker, der die Adaption an den LWL vornimmt. E/O-Wandler sind Leuchtdioden oder Laserdioden.

Die Einkopplung der Lichtenergie in die Glasfaser kann unmittelbar an der Fotodiode erfolgen oder über eine optische Verlängerung und ist abhängig von der Lichtleistung, der emittierenden Oberfläche, des Einkopplungswinkels sowie den Streu- und Reflexionsverlusten. Das Verhältnis der emittierenden Oberfläche zur Größe der Faserstirnfläche spielt bei der Light-einkopplung eine entscheidende Rolle, da nur die Lichtenergie eingekoppelt werden kann, die im richtigen Einkopplungswinkel auf das Kernglas trifft. Diese Lichtleistung spiegelt sich in der numerischen Apertur (NA) wider. Je kleiner das Verhältnis zwischen emittierender Oberfläche und Kernglasoberfläche ist, desto besser ist der Wirkungsgrad der Einkopplung.

4.2 Fabry Perot Laser (FPL)

Fabry-Perot-Laser sind Laserdioden, die ihre maximale Leistung bei Wellenlängen von 1.300 nm haben. Die spektrale Breite ihrer Strahlung liegt bei 7 nm. Fabry-Perot-Laser reduzieren durch ihre hohe spektrale Reinheit den Einfluss der chromatischen Dispersion und kommen u.a. bei 10-Gigabit-Ethernet zum Einsatz.

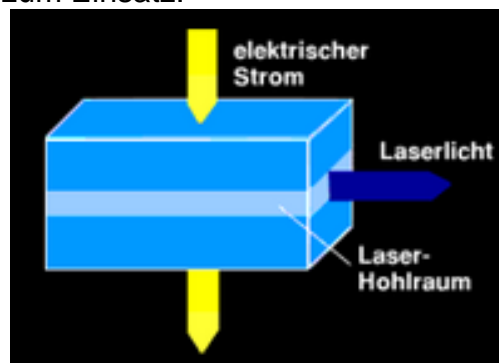


Bild 25 Aufbau des Fabry-Perot-Laser

Der Fabry-Perot-Laser besteht aus zwei speziell konstruierten Halbleiterscheiben, die einander gegenüber liegen und ein anderes Material einschließen, das den aktiven Layer bzw. den Laser Cavity bildet. Der elektrische Strom fließt zwischen den beiden Halbleiterscheiben, wodurch in dem aktiven Layer Licht emittiert wird.

4.3 EDFA (erbium doped fiber amplifier)

Ein EDFA-Verstärker ist eine passive Komponente zur Verstärkung von Lichtsignalen, wie sie bei DWDM auftreten die im C-Band (ca. 1530 bis 1560 nm) und L-Band (ca. 1570 bis 1600 nm) arbeitet; für das S-Band (unter 1480 nm) werden andere Dotiersubstanzen benötigt. Beim EDFA-Verstärker handelt es sich um eine mit dem Element Erbium dotierte Glasfaser von einigen Meter Länge, die sich wie eine Laserdiode verhält und durch optische Signale stimuliert wird. Um die entsprechenden Energieniveaus in der aktiven Faser zu realisieren, wird über einen Pumplaser, der bei 980 nm oder 1.480 nm arbeitet, der Faser optische Ener-

gie zugeführt und sie auf ein höheres Energieniveau gebracht. Wenn Signalphotonen eintreffen, fallen die Elektronen auf das ursprüngliche Energieniveau zurück, wobei sie wiederum Photonen erzeugen, die die eintreffenden Photonen verstärken.

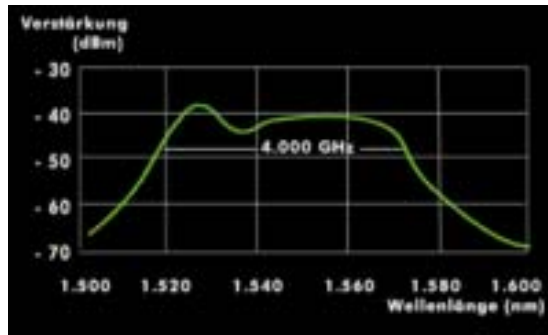


Bild 26 Verstärkungsverhalten eines EDFA

EDFAs bieten eine direkte Verstärkung des gesamten, aus multiplen Wellenlängen zusammengesetzten optischen Signals. Dabei ist es unerheblich, ob vier, acht, sechzehn oder vierzig unterschiedliche Wellenlängen am Eingang des optischen Verstärkers anliegen. Mittels EDFA-Verstärker können Distanzen von 120 km und mehr überbrückt werden.

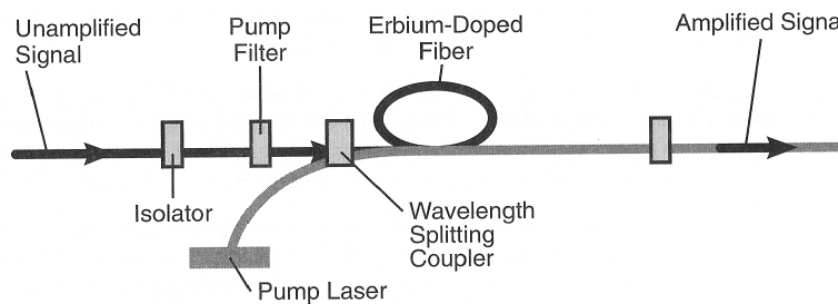


Bild 27 Prinzipdarstellung eines erbium doped fiber amplifiers (EDFA)

4.4 3R-Regeneration(re-shaping, re-amplification, re-timing)

Unter der 3R-Regeneration versteht man die Wiederaufbereitung von Signalen in optischen Übertragungssystemen. Diese Signalwiederaufbereitung muss aufgrund der gedämpften und durch die Dispersion der Lichtwellenleiter verzerrten Datensignale erfolgen.

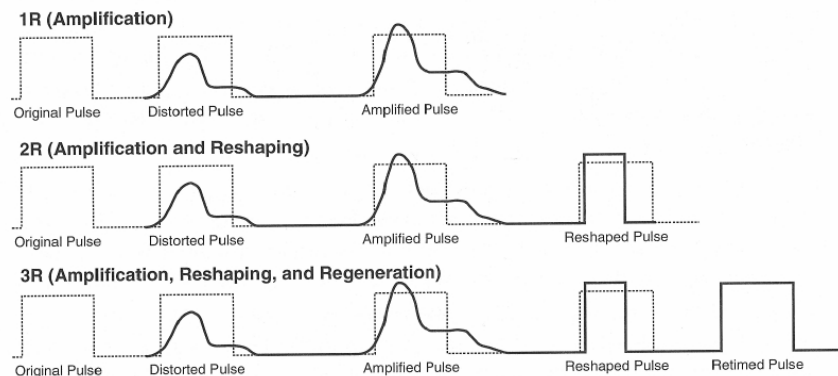


Bild 28 3R-Verfahren: Reamplification, Reshaping, Retiming

Da eine einfache Nachverstärkung des Lichtsignals den hohen Ansprüchen an die optische Übertragungstechnik nicht gerecht wird, spricht man von einer 3R-Regeneration, was für Reshaping, Reamplification und Retiming steht. Nur mit dieser Methode kann ein verfälsch-

tes Lichtsignal wiederhergestellt werden. Dabei erfolgt die Wiederherstellung der Signalf orm durch das Reshaping, die Dämpfung wird durch das Reamplification ausgeglichen und das Taktsignal durch ein Retiming stabilisiert.

4.5 Wellenlängen-Konverter (Wavelength Converter)

Ein Wellenlängen-Konverter ist eine Komponente in optischen Netzen, bei der das Lichtsignal einer bestimmten Wellenlänge in eine andere Wellenlänge umgesetzt wird. Wie bei der Mischung von HF-Signalen nutzt man beim Wellenlängen-Konverter die Nichtlinearität eines Laser-Verstärkers, um die optischen Signale in ein anderes optisches Wellenspektrum zu transformieren. Das am Eingang anstehende optische Signal oder auch ganze Wellenlängenbänder werden im optischen Umsetzer mit einer Mischfrequenz gemischt und damit in ein anderes Wellenlängenband übertragen.

Bei der Wellenlängen-Konversion nutzt man drei verschiedene Verfahren: Die Cross Phase Modulation (XPM), die Cross Gain Modulation (XGM) und die Vierwellen-Mischung (FWM).

4.6 Optical Multiplexer (OMUX)

Wie bei den kupferbasierten Multiplexern gibt es auch bei den optischen Multiplexern verschiedene Multiplex-Verfahren, die in den optischen Netzen (ON) eingesetzt werden.

Man unterscheidet bei den optischen Multiplexern zwischen dem Raummultiplex und dem Wellenlängenmultiplex (WDM).

Das Raummultiplex entspricht der Aufteilung der einzelnen optischen Übertragungsstrecken auf jeweils eigene Glasfasern.

Beim Wellenlängenmultiplex erhält jeder einzelne optische Übertragungskanal eine eigene Wellenlänge auf einem Lichtwellenleiter. Je nach Verfahren können die Wellenlängenabstände zwischen zwei Wellenlängen 50 nm und mehr betragen wie beim WWDM, sie können aber auch unter 1 nm liegen wie beim DWDM.

4.6.1 Optischer Add/Drop-Multiplexer (OADM)

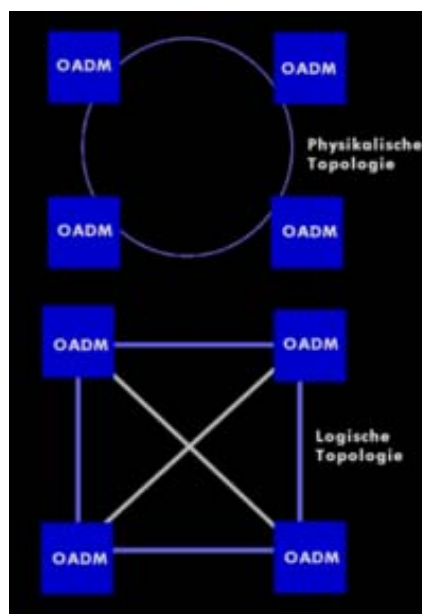


Bild 29 Physikalische und logische Struktur mit OADMs

OADM sind optische Verteilkomponenten in optischen Netzen. Beim OADM handelt es sich um eine Variante eines Demultiplexers, der aus dem Multiplexsignal eine begrenzte Anzahl von Wellenlängen herausfiltert. Funktionell kann diese optische Komponente individuelle Wellenlängen auf einen Lichtwellenleiter hinzufügen (Add) oder von diesem entfernen (Drop). Die herausgefilterten Signale können dann in ein Anschlussnetz eingespeist, in eine höhere Bitrate überführt oder unmittelbar zu einem Teilnehmerknoten übertragen werden. Mithin erfüllt der optische Add/Drop-Multiplexer die Funktionalität eines optischen Routers, der ein transparentes Switching in der optischen Netzwerkschicht ermöglicht.



Bild 30 Funktion des Add/Drop-Multiplexers OADM

Man unterscheidet zwischen statischen und dynamischen OADMs, wobei die statischen OADMs fest konfiguriert sind, die dynamischen hingegen fernkonfigurierbar sind und Verbindungen auf- und abbauen können.

In der physikalischen Topologie, einer vermaschten Ringstruktur, besitzt jeder OADM-Knoten für die Kommunikation mit jedem anderen Knoten des Rings eine eigene Wellenlänge.

4.6.2 Optischer Crossconnects (OXC)

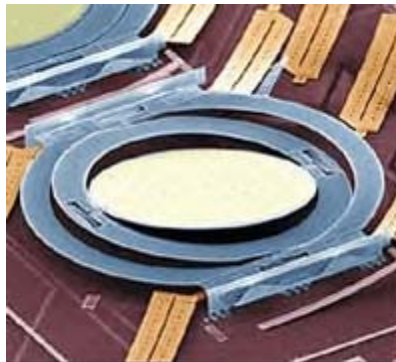


Bild 31 Optischer Switch mit mikroskopischem Spiegel, Foto: Lucent

Optical Crossconnects (OXC) sind optische Schalter, die in optischen Netzen und Kernnetzen eingesetzt werden und als blockierungsfreie Vermittlungssysteme zwischen beliebigen (STM)-Schnittstellen fungieren. Ein optischer Kreuzverteiler ist eine Funktionseinheit, die aus einem optischen Schalter, einem Wellenlängenschalter und einem Wellenlängen-Konverter besteht. Ein OXC kann somit ankommende Lichtwellenleiter auf jede beliebige ausgehende Faser schalten; in diesem Fall arbeitet er als optischer Raumswitch. Er kann als Wellenlängenschalter beliebige Wellenlängen von einer ankommenden Faser auf jeden ausgehenden Faser schalten, was der Funktion des Wellenlängenmultiplex entspricht, und darüber hinaus kann ein OXC Wellenlängen konvertieren und diese auf eine Ausgangsfaser legen. Mit der OXC-Technik können optische Netze in vermaschten Topologien aufgebaut werden.

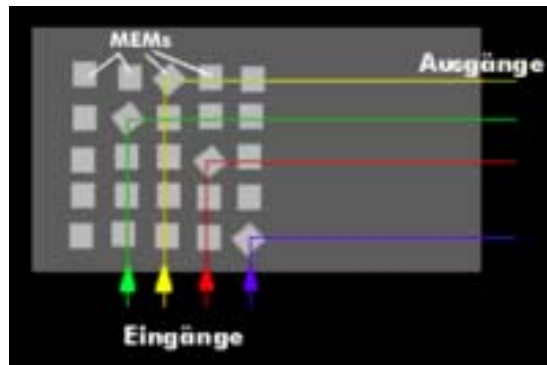


Bild 32 MEMs für den Optical Crossconnect

Ein optischer Crossconnect arbeitet mit Wellenlängen (Lambdas). Dabei entspricht ein optischer Pfad einem durch MPLS Traffic Engineering signalisierten Label Switch Pfad (LSP). Ein optischer Crossconnect besteht aus zwei Komponenten: der Kontroll-Komponente und der Forwarding-Komponente. Die Kontroll-Komponente steuert den Verkehrsfluss, sie findet Ressourcen im optischen Netz, wie freie Wellenlängen, sammelt Topologie- und Zustandsinformationen, übernimmt die Pfadwahl und das Verbindungs-Management im optischen Netz und sorgt für Ausfallsicherheit.

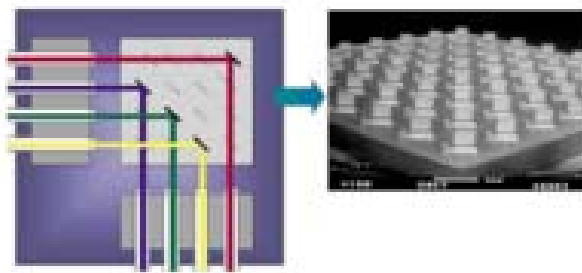


Bild 33 Aufbau eines optischen Schalters mit durchlässigen Spiegeln.

Die Forwarding-Komponente wird durch den Aufbau von Switching-Tabellen im Cross-Connect gesteuert. Diese beinhalten das eingehende Interface, die eingehende Wellenlänge sowie das ausgehende Interface und die ausgehende Wellenlänge.

4.7 Fiber Optic Switch - LWL-Schalter

LWL-Schalter finden ihren Einsatz beispielsweise bei redundanten LWL-Strecken, auf die bei Bedarf umgeschaltet wird, oder bei der Umschaltung auf Messeinrichtungen. Es gibt rein mechanisch arbeitende LWL-Schalter, bei denen die Fasern über optische Komponenten wie Linsen und Prismen auf die zweite Faser justiert werden. Bei diesen Schaltern spielt die Präzision der Faserausrichtung die entscheidende Rolle, wobei es sehr schwierig ist, eine Faser hochpräzise, nur wenige Mikrometer genau zu positionieren.

Neben den mechanisch arbeitenden LWL-Schaltern gibt es noch die elektromechanischen und piezoelektrischen Schalter. Rein elektronisch arbeitende Schalter arbeiten mittels Flüssigkristalltechnik oder nach einem Verfahren, bei dem das Licht über eine Blasentechnik geschaltet wird. Die Lichtschalter erreichen Schaltgeschwindigkeiten von 40 Gbit/s und darüber.

4.8 OBR (optical burst router)

Ein optischer Burst Router (OBR) ist eine rein optische Komponente für die optische Datenpaketvermittlung, die im optischen Kernnetz und im Bereich der Netzkanten eingesetzt wird. OBRs vermitteln auf rein optischer Basis Datenpakete oder Bursts.

Von der Schichtenstruktur her unterstützen OBRs auf der physikalischen Schicht DWDM-Verbindungen, setzen auf der zweiten Ebene Label-Switching mit direkter Umsetzung des optischen Burst-Switching ein. Die dritte Schicht hat wie bei Optical Crossconnect (OXC) und Terabit-Routern IP-Funktionalität.

4.9 Switching Technologies

4.9.1 MOEMS (micro optical electromechanical mirror system)

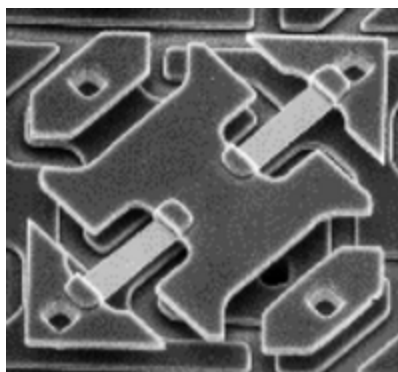


Bild 34 DMD-Spiegel unter dem Mikroskop, Foto: Texas Instruments

Die in Mikromechanik ausgeführte MOEMS-Technologie wird in DMD-Chips und in DLP-Projektoren verwendet. Es handelt sich dabei um steuerbare Mikrospiegel, die stark fokussierte Lichtstrahlen durch eine Kippbewegung steuern.

In einem DMD Chip sind zwei DMD Spiegel nebeneinander untergebracht. Jeder dieser Spiegel ist nur 16 Mikrometer groß und weniger als 1 Mikrometer vom Nachbarn entfernt. Da kleinere Spiegel sich schneller bewegen können, wurden die Pixel mit der Zeit auf 14 Mikrometer verkleinert. Neueste DLP-Chips, die mit der Fast Track Pixel (FTP) Technik ausgestattet sind, messen sogar nur 10,8 Mikrometer. Diese Größe hat den Vorteil, dass für zukünftige 1080i Auflösungen die Objektive und die Lightengine nicht geändert werden müssen. Zum anderen haben sie den Vorteil, dass sich das Farbrad schneller drehen kann und der Regenbogen-Effekt minimiert wird. Die Spiegel lassen sich nur in zwei Richtungen $+10^\circ$ bis -10° neigen. Neue Spiegel lassen sich sogar um $+12^\circ$ bis -12° neigen, damit ist es möglich, Kontrastwerte von über 2500:1 zu erreichen.

Um das Streulicht zwischen den Spiegeln zu vermindern, wurde die DM3 (Dark Metal) Technik angewandt, wo der dritte metallische Layer vom Chip mit einem anorganischen Material beschichtet wird.

4.9.2 MEM (micro electromechanical mirror)

Micro Electromechanical Mirror (MEM, Mikrospiegel) ist ein elektromechanisch arbeitendes Spiegelsystem, das aus mikroskopisch kleinen Spiegeln besteht, die in optischen Schaltern den Lichtstrahl schalten. Die Mikrospiegel, mit einem Durchmesser von etwa $10\ \mu\text{m}$, sind auf speziellen Drehzapfen gelagert und können in drei Achsen gekippt werden. Die Neigung der

Mikrospiegel wird durch elektrostatische Felder verursacht, die von den Schaltlogiken erzeugt werden, die sich unterhalb der Mikrospiegel befinden.

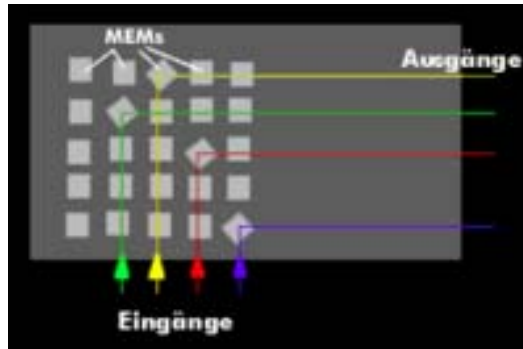


Bild 35 MEMs für den Optical Crossconnect

Ein einzelner Spiegel bildet einen optischen Schalter, ein Array mit einigen hundert oder tausend Spiegel bildet einen optischen Cross Connect (OXC).

Eine solche Spiegelanordnung arbeitet in einer Schutzatmosphäre, eignet sich für Raummultiplex, liegt allerdings von den Schaltzeiten her nur im Mikrosekunden-Bereich. Darüber hinaus gibt es Laufzeitunterschiede zwischen den verschiedenen Wellenlängen.

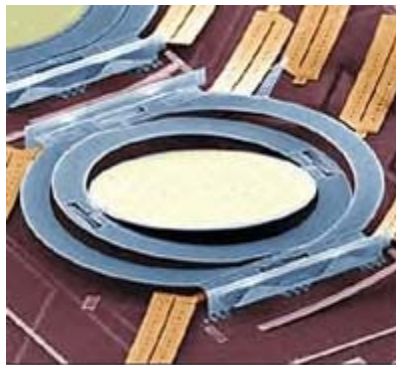


Bild 36 Optischer Switch mit mikroskopischem Spiegel, Foto: Lucent

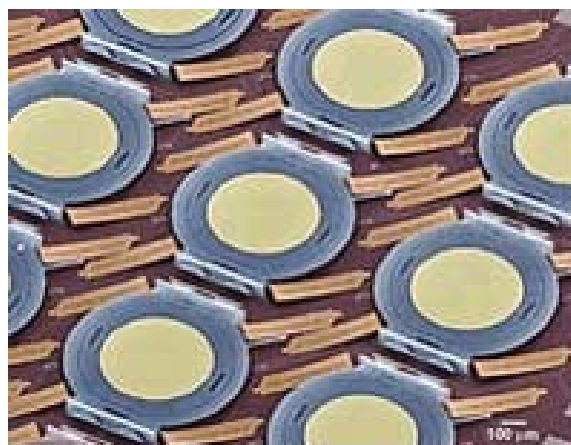


Bild 37 Optischer Crossconnect mit einem Array aus mikroskopischen Spiegeln, Foto: Lucent

Neben dieser Anwendung in den optischen Netzen werden Mikrospiegel auch in DMD-Chips in Projektoren und in der Automotive-Technik als Sensoren eingesetzt.

5 BILDER UND TABELLEN

Bild 1	Aufbau einer Glasfaser	5
Bild 2	Festader / Vollader.....	6
Bild 3	Kompaktader	6
Bild 4	Hohlader gefüllt.....	7
Bild 5	Hohlader ungefüllt.....	7
Bild 6	Bündelader gefüllt	7
Bild 7	Bündelader ungefüllt.....	8
Bild 8	Multimodefaser mit Stufenprofil	9
Bild 9	Brechzahlprofil der Multimode-Gradientenindexfaser	9
Bild 10	Multimode-Gradientenindexfaser	9
Bild 11	Monomodefaser mit Stufenprofil	10
Bild 12	Dämpfungskurven mit optischen Fenstern.....	11
Bild 13	Frequenzbereiche für Lichtwellenübertragung	11
Bild 14	WDM-System.....	12
Bild 15	Wellenlängen-Multiplexer/Demultiplexer	12
Bild 16	Wellenlängenraster bei DWDM.....	13
Bild 17	Wellenlängenmultiplex bei der CWDM-Technik.....	14
Bild 18	WDM Maschen-und Sternnetz	15
Bild 19	Struktur eines optischen Kernnetzes mit DWDM-Strecken.....	15
Bild 20	von ITU definierte Wellenlängenbereiche für die optische Übertragung	16
Bild 21	Ermittlung des Dämpfungsbudgets am Beispiel einer optischen Verbindung	18
Bild 22	Regenerator-Abschnitte in der OTH-Hierarchie	18
Bild 23	Multiplex-Abschnitt in einem optischen Netzwerk (OTH)	19
Bild 24	Struktur des optischen Transportnetzes (OTN).....	21
Bild 25	Aufbau des Fabry-Perot-Laser.....	22
Bild 26	Verstärkungsverhalten eines EDFA.....	23
Bild 27	Prinzipdarstellung eines erbium doped fiber amplifier (EDFA).....	23
Bild 28	3R-Verfahren: Reamplification, Reshaping, Retiming.....	23
Bild 29	Physikalische und logische Struktur mit OADMs	24
Bild 30	Funktion des Add/Drop-Multiplexers OADM	25
Bild 31	Optischer Switch mit mikroskopischem Spiegel, Foto: Lucent.....	25
Bild 32	MEMs für den Optical Crossconnect.....	26
Bild 33	Aufbau eines optischen Schalters mit durchlässigen Spiegeln.....	26
Bild 34	DMD-Spiegel unter dem Mikroskop, Foto: Texas Instruments.....	27
Bild 35	MEMs für den Optical Crossconnect.....	28
Bild 36	Optischer Switch mit mikroskopischem Spiegel, Foto: Lucent.....	28
Bild 37	Optischer Crossconnect mit einem Array aus mikroskopischen Spiegeln, Foto: Lucent.....	28
Tabelle 1	Optische SDH-Schnittstellen	20

6 ABKÜRZUNGEN UND BEGRIFFE

add-drop capability	Möglichkeit einem Übertragungsmedium Wellenlängen zu entnehmen und/oder hinzuzufügen
add-drop multiplexer	Multiplexer zum Austausch von Wellenlängen (Datenströmen)
AON	All Optical Networks
asynchronous transfer mode	Asynchroner Transport Modus, ein modernes Übermittlungsverfahren
ATM	Asynchroner Transport Modus, ein modernes Übermittlungsverfahren
attenuation	Dämpfung
cladding	Cladding = reflektierende Schutzschicht aus Glas um die eigentliche Glasfaser
computational rounding.....	Computer berechnete Rundung
conduit	Rohrkabel, Kabel-Verlegerohr
core network	Kernnetz
crossconnects.....	Schaltelement mit vielen Ein- und Ausgängen (ähnlich Switch)
CWDM	coarse wave division multiplex
dense wavelength division multiplexing	dichtes Wellenlängenmultiplex (mit Abständen von 200 GHz oder weniger zwischen den Frequenzen)
distortion	Signalverzerrung
DWDM	dense wavelength division multiplexing
DWDM	dichtes Wellenlängenmultiplex
EDFA	erbium doped fiber amplifier
edge switches	Gateway-Vermittlungsstelle, verbindet zwei Netze
FEC	vorwärts-Fehlerkorrektur, forward error correction
flat gain	konstante Verstärkung
FPL	Fabry-Perot-Laser
gear	Geräte, Einrichtung
graded index	Gradientenprofil
grooming.....	Kombinieren ankommender Datenströme nach ihrem Ziel oder anderen Kriterien
imperviousness.....	Undurchlässigkeit
ITU-T.....	Internationales Normungsgremium
LH	Long Haul
long haul network.....	Weitverkehrsnetz
LSP	Label Switch Pfad
mapped.....	Mit einer bestimmten Adresse in einen Datenstrom einfügen
MEM	micro electromechanical mirror
meshed network	Maschennetz
MOEMS	micro optical electromechanical mirror system
MS	Multiplex Section
NA.....	numerischen Apertur
NNI	Network Node Interface
numerical aperture.....	numerische Apertur, Brechzahlunterschied zwischen Kern- oder Profilmitte und Mantel
NWDM	narrow WDM

OA	optical amplifier, optische Verstärker
OBR.....	optischer Burst Router
OC	optischer Übertragungsweg
Och	Optical Channel
OH	Overhead
OMS	Optical Multiplex Section
ON	Optische Netze
Optical carrier	optischer Übertragungsweg
OTDM	optischer Add/Drop-Multiplexer
OTH.....	optischen Transporthierarchie
OTN.....	optische Transportnetz
OTS	optical transmission section
OTU.....	optische Transporteinheit, Optical Transport Unit
OXC.....	optischer Crossconnect
rare element.....	seltene Erde
REG.....	Regenerator
resilience.....	unverwüßlich
scalability	Stufung, Abstufung
scatter	streuen (Licht)
SDH	synchrone digitale Hierarchie, ein modernes digitales Übertragungsverfahren für Lichtwellenleiter
SONET	synchrones optisches Netz, ein modernes digitales Übertragungsverfahren für Lichtwellenleiter
stepped index	Stufenprofil
strand.....	Faden, Litze
synchronous digital hierarchy	synchrone digitale Hierarchie, ein modernes digitales Übertragungsverfahren für Lichtwellenleiter
synchronous optical network.....	synchrones optisches Netz, ein modernes digitales Übertragungsverfahren für Lichtwellenleiter
tapping.....	anzapfen, abzweigen
time division multiplexing	Zeitmultiplex-Verfahren
topology	Physikalische Struktur eines TK-Netzes
ULH	Ultra Long Haul
VLH.....	Very Long Haul
wavelength division multiplexing..	Wellenlängenmultiplex, Verfahren mehrere Wellenlängen auf einem Lichtwellenleiter zu transportieren
waveshape.....	Wellenform
WDM.....	wavelength division multiplexing
WDM.....	Wellenlängenmultiplex
wiring duct.....	Kabelschacht, Kabelkanal
WWDM	wide wavelength division multiplex

7 LITERATUR UND WEB-LINKS

- [1] Stamatios V. Kartalopoulos, Introduction to DWDM Technology, IEEE Press 2000, ISBN 0-7803-5399-4
- [21] Franz-Joachim Kauffels, Optische Netze, Verlag: mitp 2001, 1. Aufl., ISBN: 382664090X
- [3] Roland Kiefer, Peter Winterling, DWDM, SDH & Co. - Technik und Troubleshooting in optischen Netzen, Hüthig Fachverlage 2002, ISBN: 3826650271
- [4] Ottmar Krauss, DWDM und Optische Netze, Verlag Publicis Corporate Publishing 2002, 1. Aufl., ISBN: 3895781738
- [5] David Greenfield, The Essential Guide to Optical Networks, Prentice Hall 2002, ISBN 0-13-042956-2

(Web-Links: Stand:Februar 2006-08-24)

http://www.itwissen.info/definition/lexikon//_wdmwdm_wdmwavelength%20division%20multiplexing%20wdm_wdmwellenl%e4ngenmultiplex.html

http://www.daetwyler.net/d/produkte/unilan/service/handbuch/kapitel/kapitel4_5.htm

<http://www2.rad.com/networks/1999/wdm/wdm.htm>

<http://e-technik.naurod.com/hauptseite/kopf.htm>

http://www.pse.siemens.at/apps/pseauftritt/ge/pseinternet.nsf/CD_Index?OpenFrameset&Bookmark&/0/PKFD393B34CF4644EEC12569EE003A4879