



ITWissen

Das große Online-Lexikon
für Informationstechnologie

OPTISCHE NETZE

KLAUS LIPINSKI (Hrsg.)

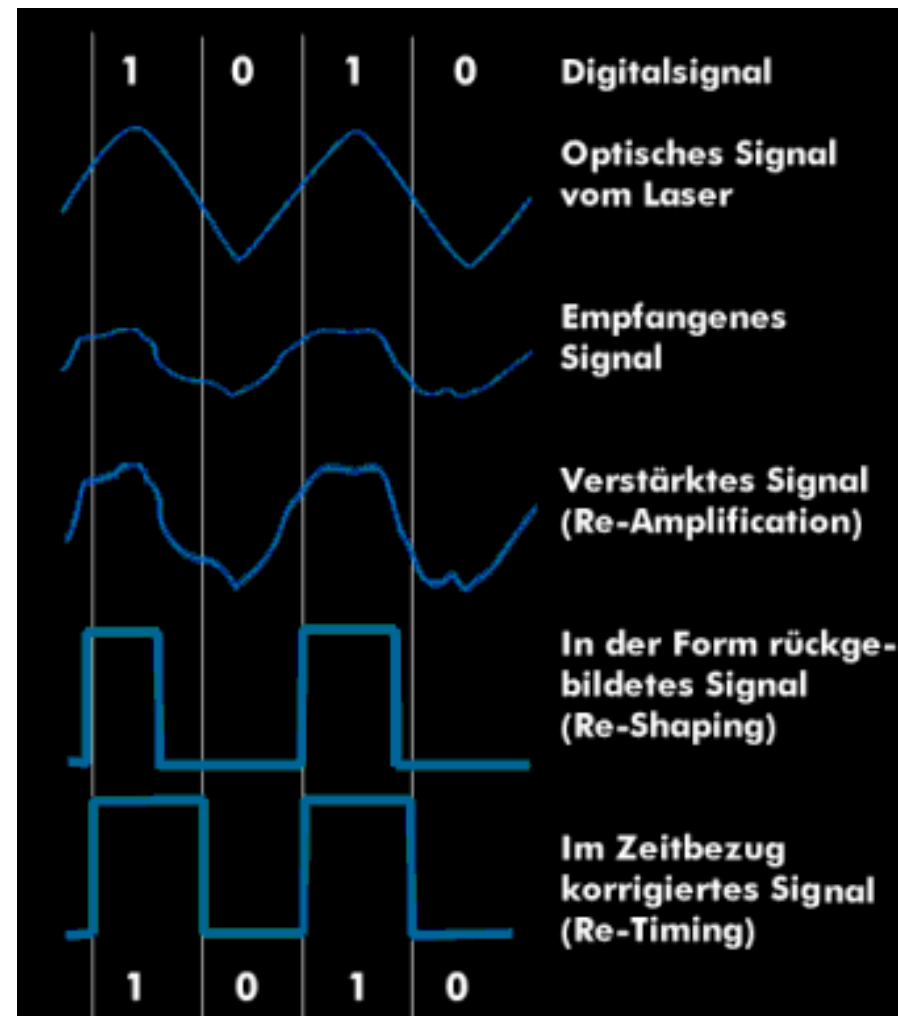
3R-Regeneration
Abstimmbarer Laser
ADM, *add/drop multiplexer*
AON, *active optical network*
AON, *all optical network*
APD, *avalanche photo diode*
ASE, *amplified spontaneous emission*
AU, *administrative unit*
AWG, *arrayed waveguide grating*
Biegekoppler
BPON, *broadband passive optical network*
Bragg-Gitter
C-Band
CDWM, *coarse wave division multiplex*
DCF, *dispersion compensating fiber*
Detektor
DFB, *distributed feedback laser*
DGD, *differential group delay*
Dichroitischer Filter
Diffundierter Koppler
Dispersionskompensation
DMD, *differential mode delay*
DSF, *dispersion shifted fiber*
DWDM, *dense wavelength division multiplexing*
DXC, *digital cross connect*
E-Band
E/O-Wandler
EDFA, *erbium doped fiber amplifier*
Elektro-Absorptions-Modulator
Elektro-optischer Modulator
FPL, *fabry perot laser*
FWM, *four wave mixing Vierwellen-Mischung*
G.709
G.709-Header
Grooming
Hybrid-CWDM/DWDM
ILD, *injection laser diode*
ITU-Grid
Koppler
L-Band
Laserdiode

LED, *light emitting diode*
LH, *long haul*
LwL-Schalter
MEM, *micro electromechanical mirror*
Mikroring-Resonator
MSPP, *multi service provisioning platform*
NAS, *network access station*
NDSF, *non dispersion shifted fiber*
NWDM, *narrow WDM*
NZDSF, *non zero dispersion shifted fiber*
OA, *optical amplifier*
OADM, *optical add/drop multiplexer*
O-Band
OBR, *optical burst router*
OC, *optical carrier*
OCDM, *optical code division multiplexing*
OCh, *optical channel*
ODU, *optical data unit*
O/E-Wandler
OIF, *optical internetworking forum*
OM, *optical multimode*
OMS, *optical multiplex section*
OMUX, *optical multiplexer*
ONE, *optical network element*
ONN, *optical network node*
Optischer Empfänger
Optischer Filter
Optischer Schalter
Optischer Sender
Optisches Budget
Optisches Fenster
Optisches Netz
Optokoppler
OPTU, *optical payload tributary unit*
OPU, *optical payload unit*
OPVC, *optical payload virtual container*
OR, *optical repeater*
OS-Klasse
OSC, *optical supervisory channel*
OSDM, *optical space division multiplexing*
OSNR, *optical signal to noise ratio*
OTDM, *optical time division multiplexing*
OTH, *optical transport hierarchy*

OTN, *optical transport network*
OTS, *optical transmission section*
OTU, *optical transport unit*
OXC, *optical crossconnect*
PBB-TE, *provider backbone bridging-traffic engineering*
PHASAR, *phase array*
Photonik-Netz
PIN, *positive intrinsic negative*
PMD, *polarization mode dispersion*
POH, *path overhead*
POL, *parallel optical links*
PTE, *path terminal equipment*
Q-Faktor
RCLED, *resonant cavity LED*
REG, *regenerator*
ROADM, *reconfigurable optical add/drop multiplexer*
Rückstreuverfahren
Rückstreuverfahren
S-Band
SOA, *semiconductor optical amplifier*
Soliton
Splitter
Sternkoppler
Sub-Wellenlängen-Switching
Taperkoppler
TOADM, *tunable OADM*
U-Band
ULH, *ultra long haul*
VCSEL, *vertical cavity surface emitting laser*
VLH, *very long haul*
Wellenleiterdispersion
Wellenlänge
Wellenlängen-Konverter
Wellenlängen-Switching
Wellenlängenmultiplex
WIXC, *wavelength interchange crossconnect*
WSXC, *wavelength selective cross-connect*
WWDM, *wide wavelength division multiplex*
XGM, *cross gain modulation*
XPM, *cross phase modulation*
Zweiwellen-Mischung

Impressum:
Herausgeber: Klaus Lipinski
Optische Netze
Copyright 2008
DATACOM-Buchverlag GmbH
84378 Dietersburg
Alle Rechte vorbehalten.
Keine Haftung für die angegebenen
Informationen.
Produziert von Media-Schmid
www.media-schmid.de

3R-Regeneration
3R, re-shaping, re-amplification, re-timing



*3R-Verfahren:
Reamplification, Reshaping,
Retiming*

3R-Regeneration (3R, 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.

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 verfälschtes Lichtsignal wiederhergestellt werden. Dabei erfolgt die Wiederherstellung der

Signalform durch das Reshaping, die *Dämpfung* wird durch das Reamplification ausgeglichen und das Taktsignal durch ein Retiming stabilisiert.

Abstimmbarer Laser
tunable laser

Abstimmbare *Laser* werden in *WDM*- und *DWDM*-Systemen als Ersatzlaser eingesetzt. In der DWDM-Technik wird mit hundert und mehr *Wellenlängen* gearbeitet, und damit mit ebenso vielen *Lasern*. Da bei Ausfall eines Lasers die entsprechende Wellenlänge nicht mehr für die Informationsübertragung zur Verfügung steht und man auch nicht jeden Laser redundant aufbauen möchte, werden für diesen Zweck abstimmbare Laser eingesetzt. Diese Laser können über einen Wellenlängenbereich von 40 nm abgestimmt werden, sodass sie in einem 100-GHz-Raster (0,8 nm) insgesamt 50 Wellenlängen abdecken können.

Technologisch handelt es sich um abstimmbare Halbleiter-Laserdioden oder auch um *VCSEL-Laser* mit abstimmbarem Hohlraum.

ADM,
add/drop multiplexer
(Add/Drop-Multiplexer) Mittels des Add/Drop-Multiplexers (ADM) können einzelne Kanäle mit niedriger Bitrate aus einem *SDH*-Übertragungskanal mit hoher Bitrate herausgenommen bzw. eingefügt werden. Es handelt sich um eine Art Crossconnector mit geringer Leistung. Der Add/Drop-Multiplexer kann durch die genaue Festlegung der Lage der von der PDH-Hierarchie benutzten Übertragungssysteme im SDH-Payload auf diese direkt zugreifen, ohne dass sie die gesamte Multiplexhierarchie durchlaufen müssen.

AON,
active optical network Bei den optischen Netzen unterscheidet man zwischen aktiven und passiven optischen Netzen. Während das aktive optische Netz eine Versorgungsspannung für die aktiven Komponenten benötigt, basiert das passive optische Netz (PON) ausschließlich auf passiven optischen Komponenten. Diese Netze werden auch als All Optical Networks (OAN) bezeichnet.

AON
all optical network **AON, 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 einpacken. Man spricht in diesem Zusammenhang von Digital Wrapping.

APD,
avalanche photo diode Eine Avalanche-Fotodiode ist eine Fotodiode für die Umwandlung von Lichtsignalen in elektrische Signale, wie sie in den *Detektoren* von *optischen Netzen* eingesetzt

OPTISCHE NETZE

Lawinenfotodiode

werden. Bei der APD-Diode wird durch Lawinen-Trägervervielfachung (Avalanche-Effekt) eine höhere Empfindlichkeit erzielt als bei anderen Fotodioden oder *PIN-Dioden*. Außerdem kann sie erheblich höhere Datenraten (bis zu 1 Gbit/s) verarbeiten. Lawinenfotodioden haben ihre spektrale Empfindlichkeit bis zu *Wellenlängen* von 1.550 nm.

ASE, amplified spontaneous emission

Die Amplified Spontaneous Emission (ASE) ist eine unerwünschte, spontan auftretende Emission in einem *optischen Verstärker* (OA). Diese Emission erzeugt zusätzliches Rauschen und beeinträchtigt dadurch das Signal-Rausch-Verhältnis.

AU, administrative unit (Verwaltungselement)

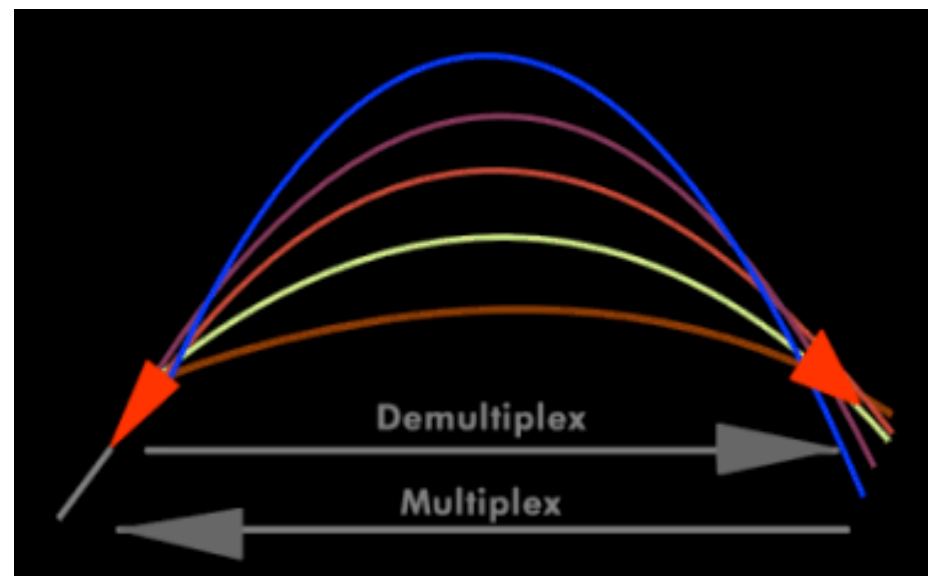
Begriff aus der Synchronen Digital Hierarchie *SDH*. Tributary Units (*TU*), die sich unmittelbar unter der Hierarchie des *STM-1*-Rahmens befinden, können nach bestimmten Kriterien in Gruppen zusammengefasst werden, den so genannten Tributary Unit Group (*TUG*). Diese bilden die Administrative Units (*AU*).

AWG arrayed waveguide grating

Das Arrayed Waveguide Grating (AWG) gehört ebenso wie das *Phase Array* (PHASAR) zu den planaren optischen Filtern, die auf dotiertem Silizium-Oxid basieren. Bei diesen optischen Komponenten wird das Licht am Eingang des Chips aufgefächert, vergleichbar mit der Funktion eines Prismas, und durch mehrere Glasfasern mit geringfügig unterschiedlichen Längen geführt. Durch

Lichtinterferenzen kommt es beim Zusammenführen der Lichtsignale zur Auslöschung oder zur Verstärkung einzelner *Wellenlängen*. Diese Technik kann als integrierte Technik angewandt werden, wobei weitere aktive oder passive Komponenten auf dem Chip integriert werden können.

Arrayed Waveguide Gratings können in *WDM*-Systemen zum Multiplexen und



Aufbau des Arrayed
Waveguide Grating (AWG)

Demultiplexen sowie zum Ausfiltern von verschiedenen Wellenlängen eingesetzt werden. AWDs können in Verbindung mit optischen Schaltern zu *optischen Add/Drop-Multiplexern* (OADM) integriert werden.

Neben AWDs mit festen Wellenlängen, gibt es auch abstimmbare AWD-Komponenten bei denen die Laufzeit der einzelnen Wellenlängen durch Temperatur beeinflusst wird.

Biegekoppler *bending coupler*

Wegen der Reflexionen und der unterschiedlichen Brechzahl zwischen Kernglas und Mantelglas von einer Glasfaser können bei einem gebogenen *Lichtwellenleiter* nach Entfernen der Beschichtung Strahlen zentrifugal austreten oder aufgefangen werden. Soll die Auskopplung permanent erfolgen, wird die zu biegende Faser und die Anschlussfaser bis auf den Kern abgeschliffen und miteinander verklebt. Auf die gleiche Weise ist auch eine Einkopplung möglich. Dadurch wird die Meinung, Glasfaser seien resistent gegen passive Angriffe, zumindest stark relativiert.

BPON, broadband passive optical network *(Passives optisches Breitbandnetzwerk)*

BPON ist wie PON eine passive optische Technik, die im Zugangsbereich eingesetzt wird und mit ATM arbeitet. In dieser PON-Variante werden im Downlink Übertragungsraten von 622 Mbit/s erreicht, im Uplink 155 Mbit/s.

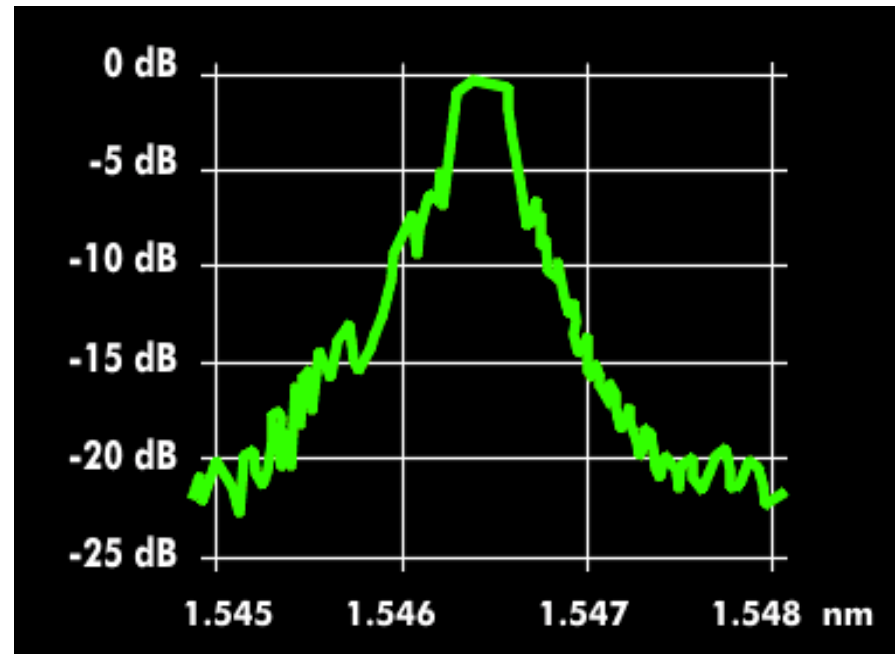
Diese Geschwindigkeiten eignen sich nur bedingt für die Übertragung von hochauflösendem Digital-TV, HDTV, besser ist dafür GPON geeignet. Außerdem ist die Splitrate, die die Anzahl der mit der Zentrale verbundenen Kundensysteme bestimmt, mit 6:1 relativ gering. Eine höhere Splitrate hätte eine bessere Bandbreitennutzung zur Folge; für den angeschlossenen Kunden allerdings auch eine geringere Datenrate.

Um Video übertragen zu können hat die ITU in den BPON-Spezifikationen eine separate *Wellenlänge* spezifiziert.

Bragg-Gitter *(FBG, fiber bragg grating)*

Ein Bragg-Gitter ist ein optisches Gitter, das als *optisches Filter* arbeitet. Das Bragg-Gitter entsteht durch Veränderung der Struktur des Kernmaterials von Glasfasern. Dabei werden mit einem ultravioletten Hochleistungslaser Gitterstrukturen als Zonen mit unterschiedlichen Brechungsindizes in das Kernglas eingebracht. Diese wirken als

Filterfunktion eines
Bragg-Gitters



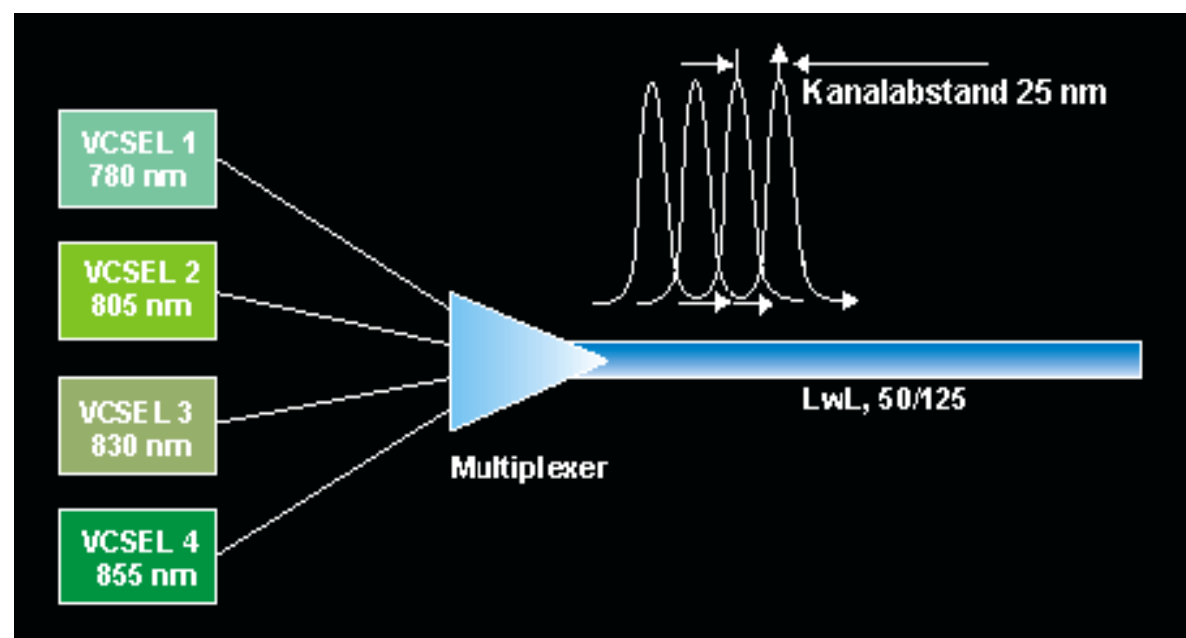
Beugungsgitter. In Abhängigkeit von dem Abstand der Gitter, wird eine bestimmte *Wellenlänge* reflektiert - das ist die Bragg-Wellenlänge -, während alle anderen Wellenlängen das Gitter passieren können. Die Auskopplung der einzelnen Wellenlängen erfolgt über zusätzliche Auskoppellemente. Ein Bragg-Gitter kann auch über planare Wellenleiterschichten aus Silizium-Oxid (SiO₂) oder Germanium-Oxid aufgebaut werden.

Ein solcher passiver optischer Filter zeichnet sich durch eine hohe Wellenlängen-Selektivität aus und wird in *optischen Add/Drop-Multiplexern* (OADM) eingesetzt.

C-Band In *optischen Netzen* wird das C-Band als konventionelles (für C, Conventional) Band bezeichnet, dessen *Wellenlänge* zwischen 1.530 nm und 1.560 nm liegt.

CWDM-Verfahren
*CDWM, 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 Kanalraster von 20 nm. Die Kanalbreite selbst beträgt 13 nm, die verbleibenden 7 nm sind als Sicherheitsabstand zum nächsten Kanal und als

CDWM-Verfahren

Toleranz für die *Laserdioden*. 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.

Bei CWDM, das in der ITU-Empfehlung G.694.1 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.

DCF, *dispersion compensating fiber*
DCF-Faser

Faser mit normaler Dispersion:
100 ps/nm/km
Beispiel: Länge 100 km

Dispersionsfaser:
-16 ps/nm/km
Länge: 6,25 km

Die Dispersion Compensating Fiber (DCF) wird zur *Dispersionskompensation* von konventionellen

Glasfasern eingesetzt. Werden konventionelle Fasern im 1.550-nm-Bereich verwendet, muss bei längeren Strecken die auftretende positive Dispersion kompensiert werden. Die DCF-Faser hat eine negative Dispersion von -100 ps/nm/km, mit der die positive Dispersion einer konventionellen Faser mit 15 ps/nm/km im Längenverhältnis von 1:6 bis 1:7 kompensiert werden kann. Durch den Einsatz der DCF-Faser können auch konventionelle Fasern über längere Strecken eingesetzt werden.

Detektor
photodetector

Unter einem Detektor versteht man in der Lichtwellenleitertechnik das Empfangselement, mit dem das übertragene Licht in elektrische Signale gewandelt wird. Man unterscheidet dabei zwischen *APD-Dioden*, *PIN-Dioden*, Fototransistoren und Fotodioden.

Da es keine Fotodioden gibt, die das gesamte Wellenlängenspektrum von 600 nm bis 1.600 nm abdecken, bestimmen die Materialeigenschaften der Detektoren den Wellenlängenbereich. Man unterscheidet vom Halbleitermaterial her zwischen Silizium, Germanium und Indium Gallium Arsenid.

Die Silizium-Detektoren (Si) haben einen Spektralbereich von 400 nm bis 1.100 nm, mit einem Maximum bei 850 nm, also exakt die *Wellenlänge* des ersten optischen Fensters von *Lichtwellenleitern*. Diese Detektoren werden darüber hinaus auch für Plastikfasern eingesetzt mit den Fenstern um 650 nm und 780 nm.

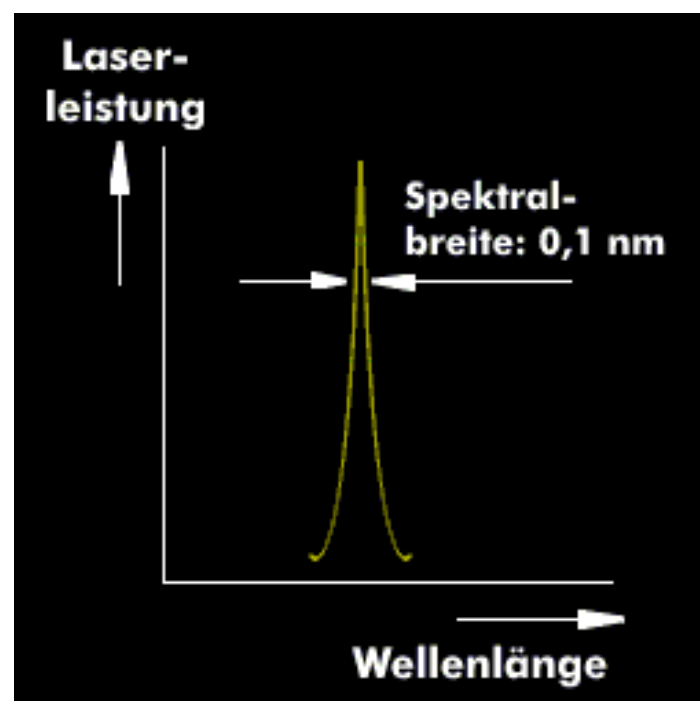
Die Germanium-Detektoren (Ge) haben einen Spektralbereich zwischen 800 nm und 1.600 nm, mit einem Maximum bei 1.550 nm. Bedingt durch einen hohen Rauschanteil sind diese Detektoren mit -60 dBm relativ unempfindlich.

Bei den Indium-Gallium-Arsenid-Detektoren (InGaAs) liegt das Rauschen dagegen bei etwa -90 dBm. Sie decken den spektralen Bereich zwischen 700 nm und 2.000 nm ab und haben ein wenig ausgeprägtes Maximum zwischen 1.300 nm und 1.700 nm.

DFB-Laser *DFB, distributed feedback laser*

Ein Distributed Feedback *Laser* (DFB) zeichnet sich durch seine extrem hohe spektrale Reinheit aus, was sich in einer sehr geringen spektralen Breite des Laserlichtes widerspiegelt. Erreicht man mit normalen Laserdioden Spektralbreiten von bis zu 1 nm, so erreichen DFB-Laser Spektralbreiten von nur 0,1 nm.

Diese hohe spektrale Reinheit schlägt sich in einer geringeren chromatischen Dispersion innerhalb der Monomodefaser nieder, was wiederum in einer wesentlichen Erhöhung der überbrückbaren Entfernungen resultiert. So können mit *DFB-Lasern* bei direkter Modulation Entfernungen von 100 km überbrückt werden, bei Datenraten von 2,5 Gbit/s. Bei Übertragungsraten von 10 Gbit/s reduziert sich die Entfernung auf einige wenige Kilometer. Bei externer Modulation, bei der der DFB-Laser mit konstantem Ausgangslicht arbeitet und die Modulation über eine Modulationseinheit erfolgt, die zwischen den DFB-Laser und dem *Lichtwellenleiter* geschaltet ist, erhöhen sich die Geschwindigkeitswerte ca. um den Faktor 10, da sich durch die externe Modulation die Bedingungen für die chromatische Dispersion verbessern. Die Ausgangsleistung von DFB-Lasern liegt zwischen 1 mW (0 dBm) und 10 mW.



DFB-Laser werden in *optischen Netzen* eingesetzt, aber auch bei Gigabit-Ethernet (GbE) mit überbrückbaren Entfernungen von 10 km.

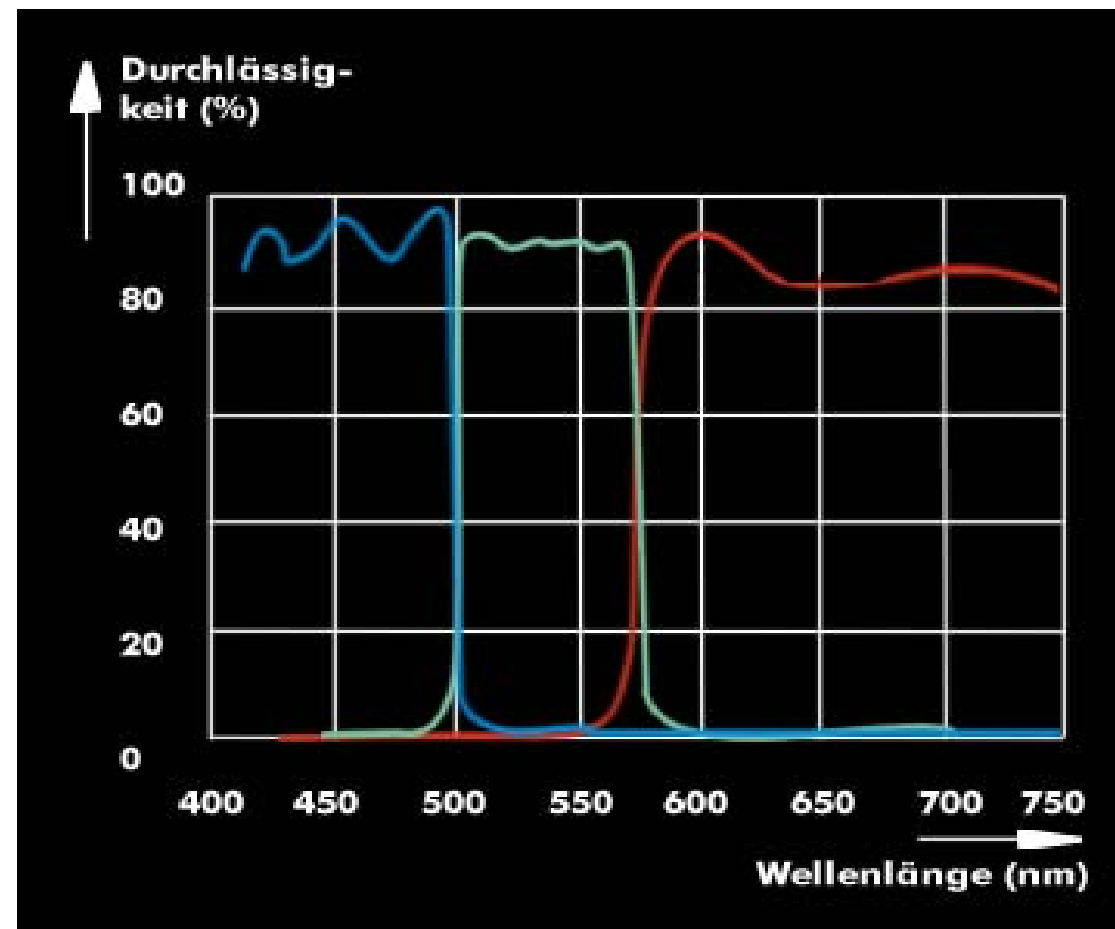
DGD, *differential group delay (Differenzielle Gruppenlaufzeit)*

Bei der differentiellen Gruppenlaufzeit handelt es sich um eine Laufzeit einer Frequenzgruppe in Vierpolen. Die Gruppenlaufzeit spielt in der Übertragungstechnik bei optischen Übertragungssystemen eine Rolle, da in *Lichtwellenleitern* in differenzierbaren Wellenlängengruppen Signalverfälschungen durch Verzögerungen auftreten.

Dichroitischer Filter
dichroitic filter

Der Begriff Dichroismus kommt aus dem Griechischen und bedeutet in der Physik die Zweifarbigkeit von Kristallen beim Lichtdurchgang. Bei den dichroitischen Filtern handelt es sich um Filter für die Farbtrennung, die auf dielektrischen Interferenzen basieren. Diese optischen Filter, die in der optischen Übertragungstechnik, in Displays und in Projektoren eingesetzt werden, arbeiten absorptionsfrei, haben eine hohe

Lichtdurchlässigkeit und eine ausgezeichnete Farbgenauigkeit. Ihre Trennschärfe ist sehr hoch und erreicht ca. 80 % Durchlässigkeit bei einer Wellenlängenänderung von weniger als Nanometern. Dichroitische Filter gibt es als Tiefpässe, Hochpässe oder Bandpässe. Da dichroitische Filter immer nur eine Farbe aus dem Licht ausfiltern, werden in der Projektionstechnik für die Erzeugung der drei



Beispiele für dichroitische Filterkurven

Primärfarben (RGB) drei dichroitische Filter benötigt, wobei der mittlere Wellenlängenbereich für Grün durch ein Bandpass-Filter realisiert wird.

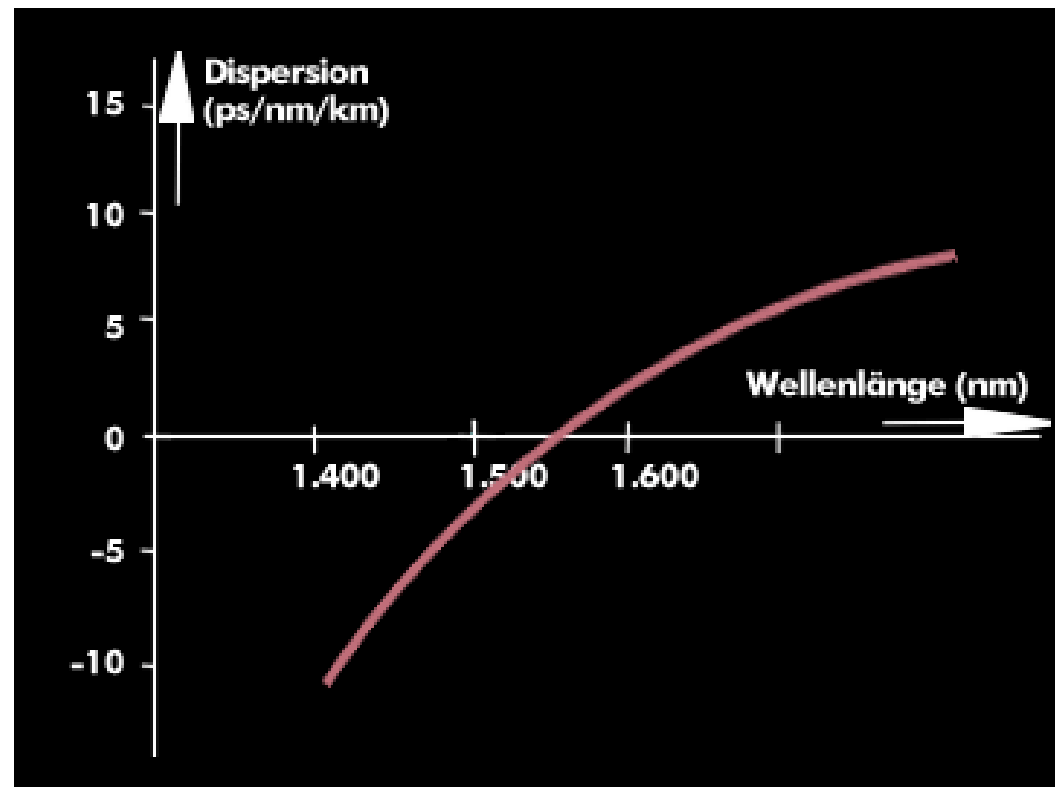
Diffundierter Koppler Bauelement zum Zusammenführen oder Aufteilen der Strahlung in *Lichtwellenleitern*.
diffused coupler Im Gegensatz zu bikonischen Taperkopplern und Biegekopplern sind die Verluste (*Dämpfung*) beim diffundierten *Koppler* sehr klein. Hergestellt werden diffundierte Koppler durch Eindiffundieren von Rinnen in ein Glassubstrat, in denen dann die Moden geführt werden.

Dispersionskompensation In *Lichtwellenleitern* führt die Dispersion zu einer unerwünschten Verbreiterung der Signale. Dieses Zerfließen wird durch die unterschiedlichen Laufzeiten der spektralen Impulskomponenten verursacht und hat eine Reduzierung der Übertragungslänge zur Folge. Kompensiert werden kann dieser Effekt durch Dispersionskompensations-Komponenten, die den optischen Verstärkern und *Regeneratoren* vor- und nachgeschaltet werden und dem Dispersionsverhalten entgegenwirken. Solche Komponenten sind speziell dotierte Glasfasern bei denen der Nulldurchgang der chromatischen Dispersion verschoben ist. Zu nennen sind die *DSF-Faser*, die *DCF-Faser* und die *NZDSF-Faser*. Ein anderes Verfahren arbeitet mit elektronischer Kompensation, bei dem Laufzeitfilter die Dispersion kompensieren.

DMD Differential Mode Delays (DMD) sind Signalverfälschungen, die bei der Übertragung auf Gradientenindex-Profilfasern entstehen können und zwar durch Teilanregungen von *Lasern*. Das Signal wird durch die Profildispersion, die auf produktionstechnische Toleranzen bei der Herstellung der *Lichtwellenleiter* zurückzuführen ist, verformt. Übertragene Impulse werden dadurch breiter und flacher und führen dadurch zu Verzögerungen.

DSF-Faser Um Signalverfälschungen zu kompensieren, die bei der Übertragung über längere Lichtwellenleiterstrecken durch *optische Verstärker* und Dispersion entstehen, wurden Glasfasern mit spezieller Dotierung entwickelt.
DSF, dispersion shifted fiber

*Dispersionsverlauf
einer DSF-Faser*



Die DSF-Faser ist eine von der ITU in der Empfehlung G.653 standardisierte Faser mit spezieller Dotierung, bei der der Nulldurchgang der chromatischen Dispersion in das dritte *optische Fenster* bei 1.550 nm verschoben wurde. Die verbleibende Dispersion liegt bei der DSF-Faser annähernd bei 0, also weit unterhalb von den 15 ps/nm/km einer konventionellen Faser. Dank der verbesserten Dispersion wird die Impulsverbreiterung in

diesem für den Einsatz von *EDFA-Verstärkern* geeigneten Fenster reduziert. Die Streckenlänge und die Übertragungsfrequenz können dadurch erhöht werden.

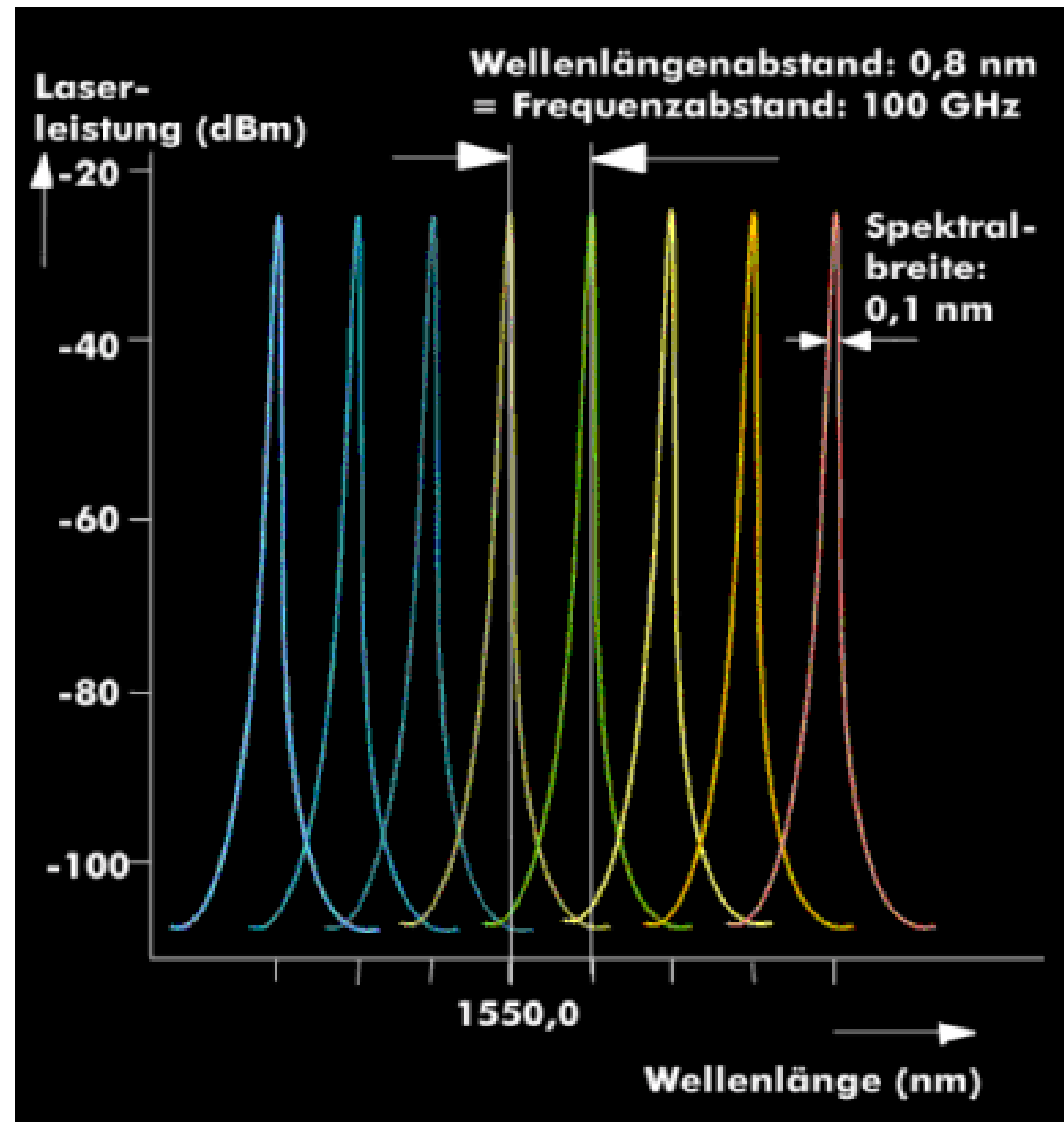
DWDM-Technik *DWDM, dense wavelength division multiplexing*

DWDM ist ein optisches *Wellenlängenmultiplex* mit der enormen Leistungsfähigkeit 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

Wellenlängenraster
bei DWDM



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 die DWDM-Technik unidirektional oder bidirektional arbeiten, also nur in einer Richtung oder auch in beiden Richtungen. Es können bis zu vierzig *OC-48* mit 2,488 Gbit/s gleichzeitig über eine Glasfaser übertragen, was einer *Übertragungsgeschwindigkeit* von 100 Gbit/s entspricht. Dabei

kann die DWDM-Technik unidirektional oder bidirektional arbeiten, also nur in einer Richtung oder auch in beiden Richtungen. 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.

**DXC, digital
cross connect**

*Digital
Cross Connect (DXC)*



Ein Digital Crossconnect (DXC) ist eine Netzwerkkomponente in *SDH*-Netzen. Ein DXC arbeitet als blockierungsfreies Vermittlungssystem

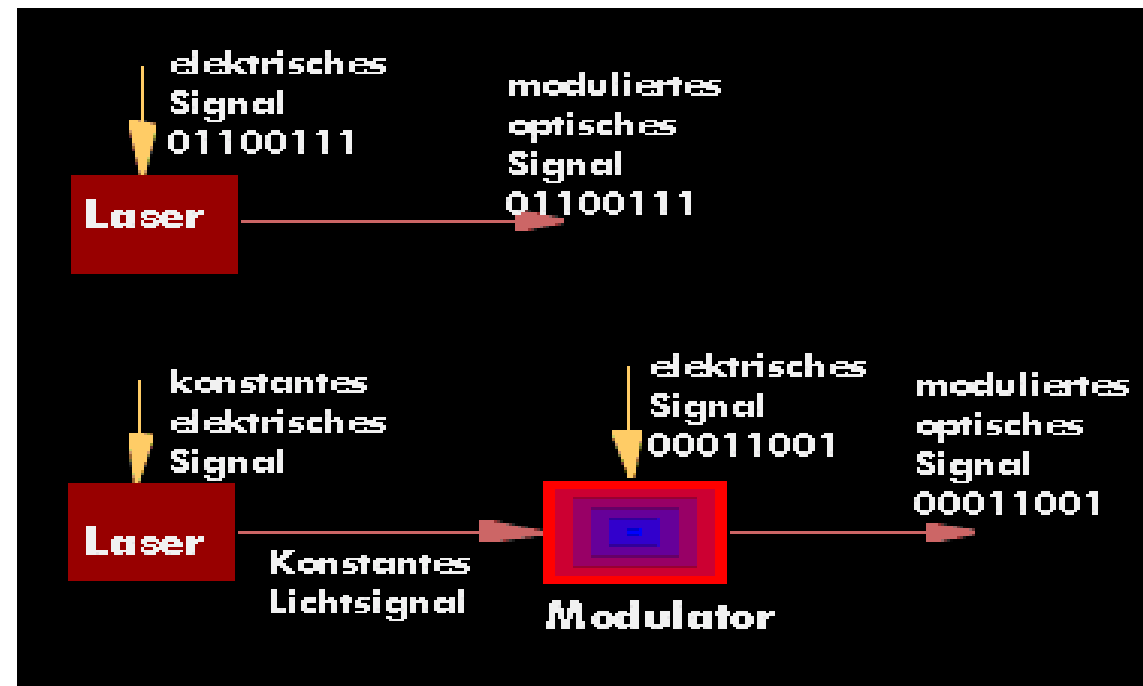
zwischen zwei *STM*-Schnittstellen.

Über eine solche *SDH*-Komponente, die im Kernnetz eingesetzt wird, können *STM*-Schnittstellen und *E*-Signale nach Art eines Kreuzschienenverteilers geschaltet werden. So kann der DXC die virtuellen Container in einem synchronen Transportmodul *STM-n* umsortieren oder auch in andere *STM-n* übertragen.

E-Band In *optischen Netzen* sind die Übertragungsbereiche von der ITU in G.694 definiert.
E band Es gibt sechs Wellenlängenbereiche. Das *E-Band* liegt zwischen dem *O-Band* und dem *S-Band* mit *Wellenlängen* zwischen 1.360 nm und 1.460 nm.

E/O-Wandler Elektro-optische Wandler wandeln elektrische Signale in Lichtsignale um. Für diese Umwandlung werden in der Kommunikationstechnik *Leuchtdioden* und *Laser* verwendet. Die Umwandlung der elektrischen Signale in Lichtsignale kann direkt im Laser bzw. der Leuchtdiode erfolgen, sie kann aber auch indirekt über einen externen Modulator vorgenommen werden. Im ersten Fall spricht man von direkter Modulation des optischen Signals, im anderen Fall von externer Modulation. Bei diesem Verfahren erhält der Modulator vom Laser einen Lichtstrahl mit konstanter Energie, der dann im

*E/O-Wandlung mit direkter
und externer Modulation*

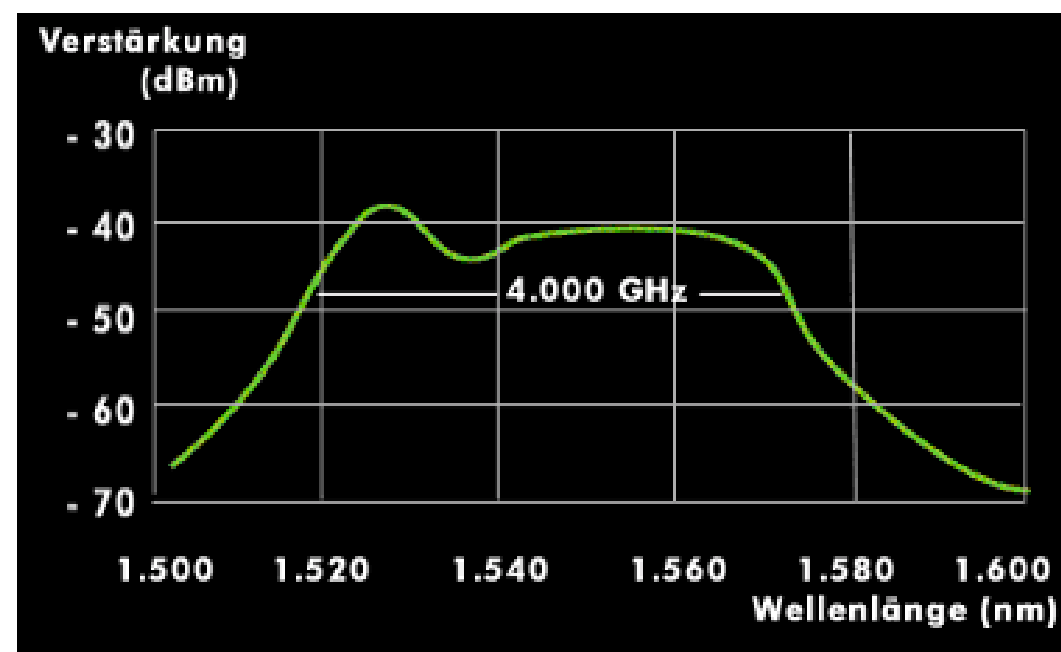


Modulator mit dem elektrischen Signal moduliert wird. Nach dem Verfahren der externen Lichtmodulation arbeitet auch der *Elektro-Absorptions-Modulator* (EA). Als Modulationstechniken kommen ausschließlich digital arbeitende Modulationsverfahren zum Einsatz. Neben der On/Off-Modulation - On

steht für Licht an und entspricht beispielsweise einer logischen "1" und Off der logischen "0" - setzen verschiedene Hersteller von *optischen Sendern* auf die Pulsbreitenmodulation (PWM) und die Pulsfrequenzmodulation (PFM). Darüber hinaus werden auch Kombinationen von mehreren Modulationsverfahren benutzt.

EDFA-Verstärker
*EDFA, erbium doped
fiber amplifizier*

Ein EDFA-Verstärker ist eine passive Komponente zur Verstärkung von Lichtsignalen, wie sie bei *DWDM* auftreten. Es handelt sich dabei um eine mit dem Element Erbium



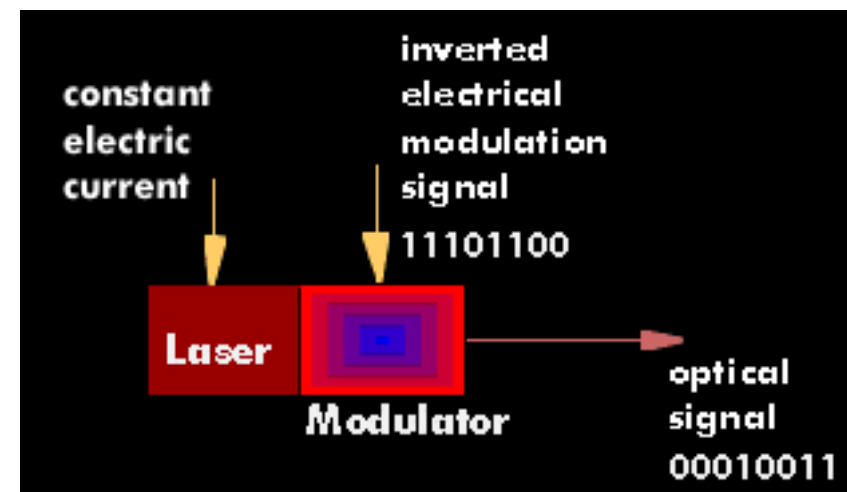
dotierte Glasfaser von einigen Meter Länge, die sich wie eine *Laserdiode* verhält und durch optische Signale stimuliert wird. Um die entsprechenden Energieniveaus in der aktiven Faser zu realisieren, wird über einen Pumplaser, der bei 980 nm oder 1.480 nm arbeitet, der Faser optische Energie zugeführt und sie auf ein höheres Energieniveau

*Verstärkungsverhalten
eines EDFA-Verstärkers*

gebracht. Wenn Signalphotonen eintreffen, fallen die Elektronen auf das ursprüngliche Energieniveau zurück, wobei sie wiederum Photonen erzeugen, die die eintreffenden Photonen verstärken. EDFAs sind breitbandige *optische Verstärker*, die im Wellenlängenbereich von 1.530 nm bis 1.565 nm arbeiten, was einer Bandbreite von etwa 4.000 GHz entspricht. 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.

Elektro-Absorptions-Modulator
EA, electro absorptions modulator

Bei *E/O-Wandlern* hat die externe Modulation von Laserlicht gegenüber der direkten Modulation einige Vorteile, die sich in der chromatischen Dispersion und damit in den möglichen Übertragungsraten auswirken. Bei der externen Modulation wird dem *Laser* eine Modulationseinheit nachgeschaltet, die integraler Bestandteil der Laserkomponente sein kann. Eine solche Komponente ist der Elektro-Absorptions-Modulator, der aus ähnlichem Material besteht wie die Laserdiode.



Aufbau des Elektro-Absorptions-Modulators

Der Elektro-Absorptions-Modulator wird durch elektrischen Strom gesteuert und lässt je nach Polarität der angelegten Spannung

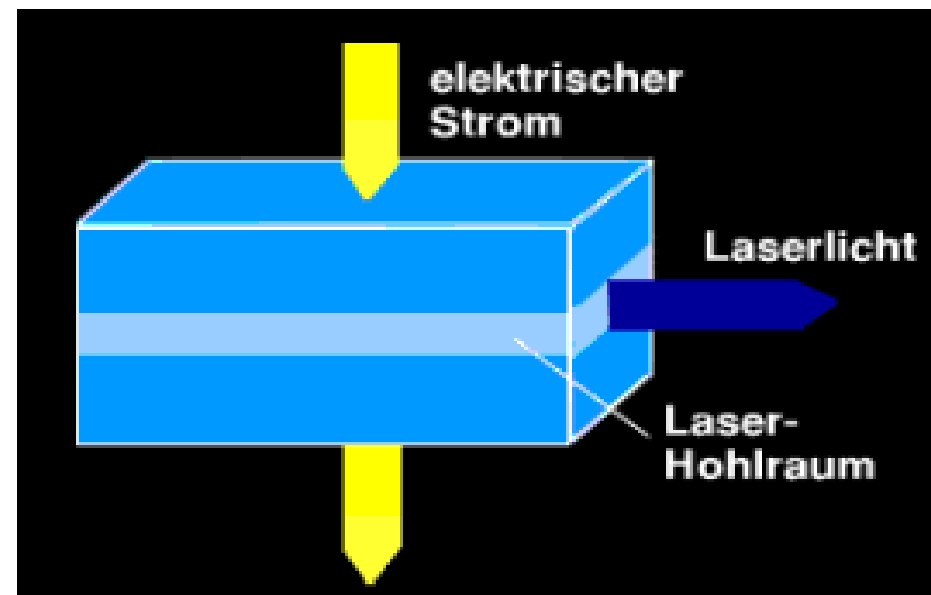
das Laserlicht passieren oder sperrt es bei umgekehrter Polarität. Der vom Laser abgestrahlte Lichtpegel bleibt dabei konstant; die Ausgangspegel des Modulators ändert sich hingegen im Rhythmus der Polaritätsänderung.

Elektro-optischer Modulator
E/O, electro-optical modulator

Bei der Modulation von Laserlicht unterscheidet man zwischen der direkten Modulation und der externen. Für die externe Modulation, die der *Laserdiode* nachgeschaltet ist, gibt es elektro-optische Modulationseinheiten, die auf Absorptionsbasis oder auf einem Verfahren der Wellensubstitution arbeiten.

Der elektro-optische Modulator basiert auf der Veränderung des Brechungsindex. Bei diesem Verfahren ändert sich der Brechungsindex durch Anlegen eines elektrischen Feldes an das dotierte Material. Dies hat zur Folge, dass sich die Phasenlage des Laserlichts verändert, was bedeutet, dass sich die Lichtwellen verschieben. Treffen zwei Lichtwellen mit der gleichen Phasenlage aufeinander, dann addieren sich die Pegel beider Wellen, wodurch die Lichtintensität am Ausgang höher wird. Sind die Phasenlagen allerdings entgegengesetzt, löschen sie sich gegenseitig aus.

FPL-Laser *FPL, fabry perot laser*



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.

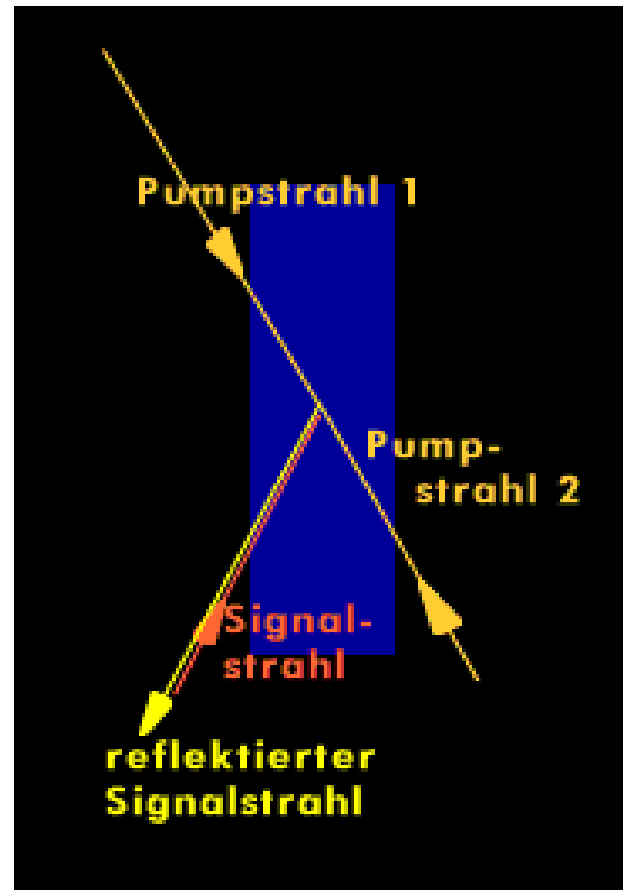
Der Fabry-Perot-Laser besteht aus zwei speziell konstruierten

Halbleiterscheiben, die einander gegenüber liegen und ein anderes Material einschließen, das den aktiver Layer bzw. den Laser Cavity bildet. Der elektrische Strom fließt zwischen den beiden Halbleiterscheiben, wodurch in dem aktiven Layer Licht emittiert wird.

FWM *four wave mixing* *Vierwellen-Mischung*

Die Vierwellen-Mischung ist ein Verfahren zur optischen Verstärkung. Bei diesem Verfahren stehen drei Lichtsignale in Wechselwirkung zueinander. Zwei von ihnen, ein Signalstrahl und ein Pumpstrahl, erzeugen ein virtuelles Abbild, das von einem zweiten Pumpstrahl ausgelesen wird. Die Energie des zweiten Pumpstrahls wird als vierte Welle in die Richtung des Signalstrahls reflektiert.

G.709
G.709



Das Verfahren, das mit einem nichtlinearen Kerr-Effekt arbeitet, wird in *optischen Netzen* bei *DWDM* eingesetzt.

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) Schnittstellen definiert. Dazu gehört das Network Node Interface (NNI), die Schnittstelle zum OTN, die Bestandteil der Empfehlung G.709 ist.

In dieser Schnittstelle werden die drei Layer des optischen Transportnetzes abgebildet: Die physikalische, die die Sektionen zwischen zwei

optischen Systemkomponenten darstellt, die Multiplexebene mit den Transport- und Nutzdaten, wie *OPU*, *ODU* und *OTU*, und der oberste Layer mit den verschiedenen Nutzdaten für Ethernet, ATM, SDH usw.

In G.709 werden die Übertragungsraten für die Optical Transport Units (OTU) definiert, ebenso wie der *G.709-Header*, der aus den drei Datenfeldern für den Overhead, die Nutzdaten und die Vorwärts-Fehlerkorrektur (FEC) besteht.

G.709-Header
(*G.709 header*)

Der Header von *G.709* hat eine gewisse Ähnlichkeit mit den Headern von *SDH* und *Sonet*. Er besteht aus den drei Datenfeldern für den Overhead, 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.

Grooming Zur Verbesserung der Effizienz in *optischen Netzen* werden Verkehrsströme zusammengefasst. Ein solche Zusammenfassung wird als Grooming bezeichnet und sorgt dafür, dass beispielsweise die Strecken mit Wellenmultiplex (*WDM*) besser ausgelastet werden, was zur Reduzierung der Netzkosten beiträgt.

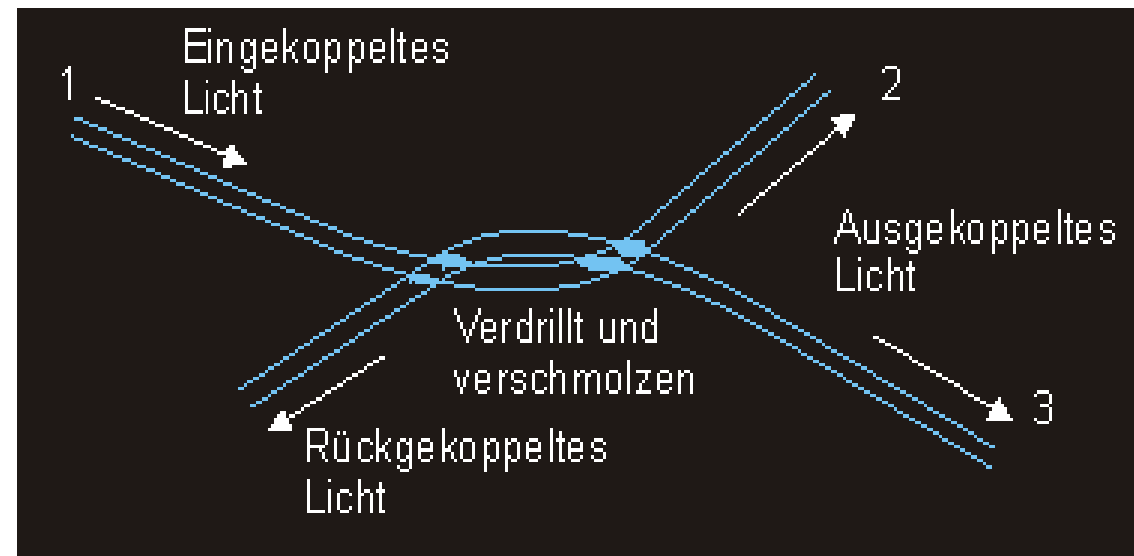
Hybrid-CWDM/DWDM Zwischen *CWDM* und *DWDM* besteht übertragungstechnisch und kostenmäßig eine Lücke, die mit Hybrid-CWDM/DWDM geschlossen wird. Während über *CWDM* nur wenige Übertragungsstrecken parallel aufgebaut werden können, die Technik aber vergleichsweise preiswert ist, können über die kostenintensivere *DWDM*-Technik mehrere hundert Übertragungsstrecken realisiert werden. Mit der hybriden Technik *CWDM/DWDM* geht man einen optionalen Weg, der eine Migration von der preiswerteren *CDWM*- zur umfassenderen *DWDM*-Technik vorsieht.

ILD-Laser Die *ILD-Laserdiode* wird auch als Halbleiter-Laserdiode bezeichnet, weil sie einen speziell gedopten Übergang zwischen einer P-Schicht und einer N-Schicht für die kohärente Lichtstrahlung benutzt. Durch das Dopen werden bei Spannungszuführung Photonen emittiert, die die Lichtstrahlung erzeugen. Der Lasereffekt wird durch eine Rückkopplungsschleife erzeugt.

ITU-Grid Die ITU hat in der Empfehlung G.692 *Wellenlängen-* und Kanalabstände für *WDM-* und *DWDM-Systeme* definiert, das so genannte ITU-Grid. Nach dieser Definition hat das ITU-Grid zwischen zwei Wellenlängen Sicherheitsabstände von 0,8 nm. Der 0,8-nm-Abstand entspricht einem 100-GHz-Spacing. Es gibt allerdings Entwicklungen die mit dem halben oder sogar mit einem Viertel des Wellenlängenabstandes, also mit 0,4 nm oder sogar mit 0,2 nm arbeiten.

Koppler
fiber coupler

*Bikonischer
Taperkoppler*



Koppler sind elektronische Bauelemente zur galvanischen Trennung und zum Isolationsschutz von Signalen. Die Signaltrennung kann optisch erfolgen über *Optokoppler*, sie kann aber auch transformatorisch, kapazitiv oder magnetisch mit einem Magnetkoppler

erfolgen. Koppler dienen in der *Lichtwellenleiter*-Technik zum Aufteilen oder Zusammenführen der die Informationen enthaltenden Infrarotstrahlung, sie arbeiten in aller Regel unidirektional.

Einfache Koppler zum Abzweigen oder Einspeisen sind z.B. Fused Coupler, *Biegekoppler*, diffundierte Koppler und bikonischer *Taperkoppler*. Für die Aufteilung oder Zusammenführung einer größeren Anzahl von Glasfasern werden *Sternkoppler* benutzt. Der Koppler hat einen Eingang und n Ausgänge.

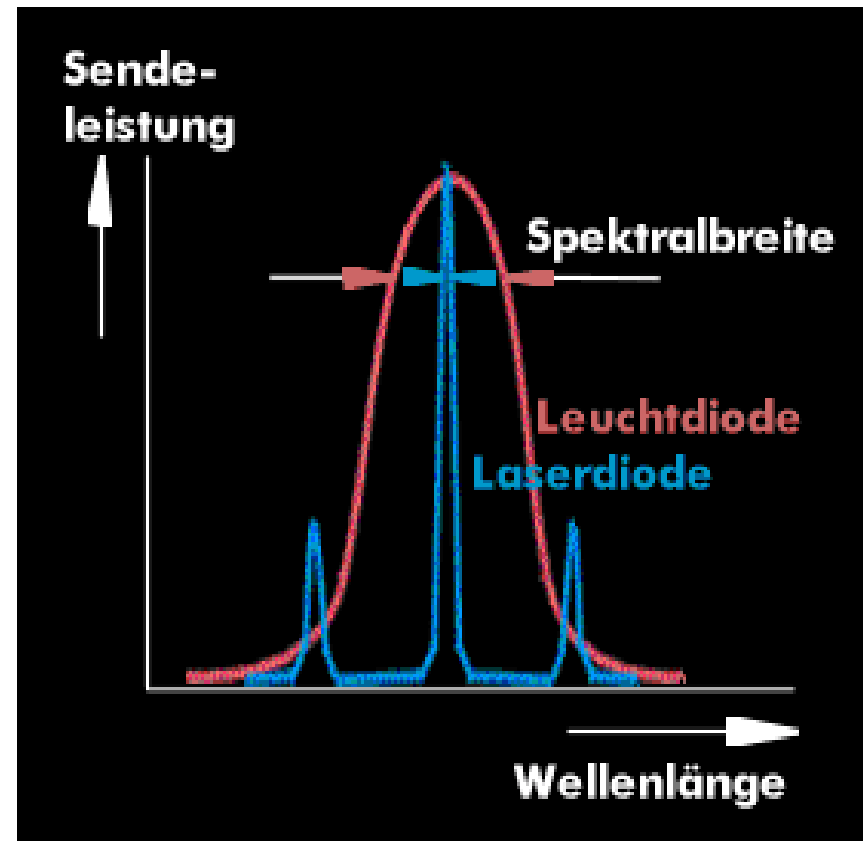
Unidirektionale Koppler und *Splitter* dienen der Realisierung von Verzweigungen innerhalb eines Lichtwellenleiternetzwerkes. Die wesentlichen Parameter sind: Eingangs-Signalverlust, Tap-Verlust und Richtwert.

In Verbindungen mit Splitttern werden Koppler als Multi-Taps bezeichnet. Sie ermöglichen den Anschluss einer größeren Anzahl von Lichtwellenleitern und können 2, 4 oder 8 Ports haben. Durch den Einsatz der Splitter wird verhindert, dass Signale, die von einer Station gesendet werden, an den Port eines anderen Gerätes gelangen. Die optische Leistung teilt sich auf entsprechend der Anzahl der Ausgänge, wodurch eine wesentliche Dämpfungserhöhung stattfindet. Die Kopplerdämpfung errechnet sich aus der *Einfügungsdämpfung* des Kopplers zuzüglich $10 \log(n)$. Die Einfügungsdämpfung ist abhängig von der Anzahl der Ausgänge und liegt zwischen 2 dB und 5 dB, die gesamte Kopplerdämpfung bei 8 dB (bei 4 Ausgängen) und 23 dB (bei 64 Ausgängen).

OPTISCHE NETZE

L-Band (L band) In *optischen Netzen* sind die Übertragungsbereiche von der ITU in G.694 definiert. Das L-Band liegt oberhalb des *C-Bandes* und hat *Wellenlängen* zwischen 1.560 nm und 1.620 nm.

Laserdiode
LD, laser diode



*Spektralverteilung von
Laser und LED*

Laserdioden, auch Halbleiterlaser genannt, sind elektronische Bauelemente für die optische Übertragungstechnik. Sie bestehen aus dotierten Halbleiterschichten und dienen der Erzeugung von Lichtsignalen, die in den *Lichtwellenleitern* die Übertragung übernehmen. In Laserdioden wird die stimulierte Emission zur Lichtverstärkung eingesetzt. Sie modulieren das Lichtsignal in der Intensität und Form einer Amplituden-, Frequenz- oder Phasenmodulation, mit denen Übertragungsfrequenzen von etwa 10 GHz erreicht werden.

Laserdioden haben gegenüber *LEDs* eine wesentlich höhere Ausgangsleistung, die über 5 mW liegt, und sind daher für lange Übertragungstrecken besser geeignet. Sie erzeugen ein kohärentes Licht mit einer spektralen Breite von nur 1 nm, im Falle des *DFB-Lasers* beträgt die spektrale Breite sogar nur 0,1 nm. Die Abstrahlfläche von 5 μm und der geringe Abstrahlwinkel sind ideal für den Einsatz in Verbindung mit Monomodefasern. Die Modulationsfrequenzen können 10 GHz betragen, die Anstiegszeit liegt bei 10 ps, die Lebensdauer ist mit 10.000 Stunden wesentlich geringer als die von LEDs. Nachteilig sind der höhere Schaltungsaufwand gegenüber LEDs sowie die Temperaturabhängigkeit und die Empfindlichkeit gegenüber *Rückstreuungen*. Für das *optische Fenster* bei 850 nm werden *VCSEL-Laser* eingesetzt, bei 1.300 nm kommen *FPL-Laser* zum Einsatz.

LED
light emitting diode
Leuchtdiode

Lumineszenzdiode verwenden Halbleiterkristalle wie Gallium-Arsenid (GaAs), um elektrische Signale in Lichtsignale zu wandeln. Dabei wird die Grenzschicht wie bei einer normalen Diode mit freien Ladungsträgern überschwemmt, die ihre Energie in Form von Licht abgeben.

Leuchtdioden werden ebenso wie Laserdioden in der Kommunikation als Lichtquelle für die Übertragung in optischen Medien benutzt, darüber hinaus in LED-Displays. Da die Abstrahlfläche von LEDs zwischen 50 µm und 100 µm liegt, werden sie primär in Verbindung mit Multimodefasern eingesetzt. LEDs auf der Halbleiterbasis Gallium-Arsenid strahlen auf einer Wellenlänge von 850 nm. Es gibt sie aber auch in anderen Dotierungen für die Wellenlängen bei 1.300 nm und 1.500 nm. Die typischen Ausgangsleistungen liegen bei 1 mW, die Koppelverluste bei -17 dB. Eine LED erzeugt diffuses (inkohärentes) Licht, das in einem relativ großen Winkel abgestrahlt wird. Dieser liegt zwischen 40 und 90 Grad. Die spektrale Fensterbreite beträgt 70 nm und kann mit Modulationsfrequenzen von bis zu ca. 250 MHz moduliert werden. Die generierbaren Impulsanstiegszeiten liegen bei 1 ns, wodurch der Einsatz bei Übertragungsraten von 1 Gbit/s begrenzt ist.

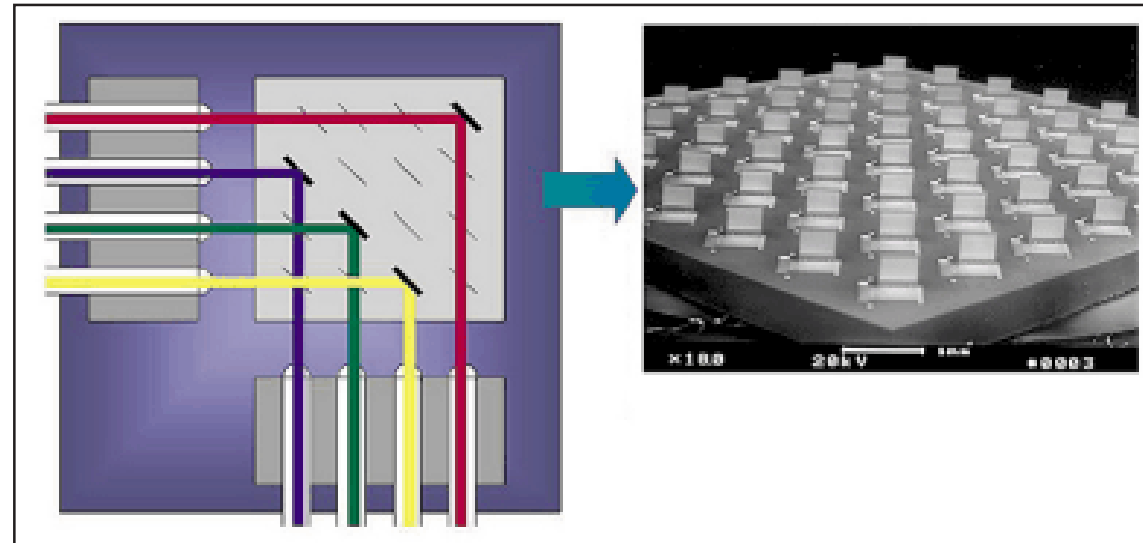
Je nach Einkopplung unterscheidet man bei den LEDs zwischen Flächenemitter-LEDs und Kantenemitter-LEDs. Lumineszenzdiode sind wesentlich preiswerter als Laserdioden und eignen sich besonders für kurze Strecken.

Leuchtdioden gibt es in verschiedenen Farben, Formen und Größen. Die unterschiedlichen Farben werden durch verschiedene Halbleiterkristalle erzeugt. Als Halbleitermaterial kommt vorwiegend aus Siliziumcarbonat (SiC), Galliumphosphor (GaP), Galliumarsenid (GaAs) oder Indiumarsenid (InAs) zum Einsatz. Weiß leuchtende LEDs haben eine blaue Lichtemission die eine darüber liegende Phosphorschicht zur Lichtemission anregt. Daher ist das Licht der weiß leuchtenden LEDs bläulich. Die Farbtemperatur liegt bei etwa 5.600 Kelvin.

LH
long haul Long Haul ist eine von der ITU definierte optische *SDH*-Schnittstelle für weite Entfernungen. Die übertragbaren Entfernungen sind abhängig von der *Wellenlänge* und liegen bei 1.300 nm bei 40 km und bei 1.550 nm bei 80 km.

Diese Technik wird in Long Haul Networks für die Überbrückung von weiten Entfernungen eingesetzt.

LwL-Schalter
(*fiber optic switch*)



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

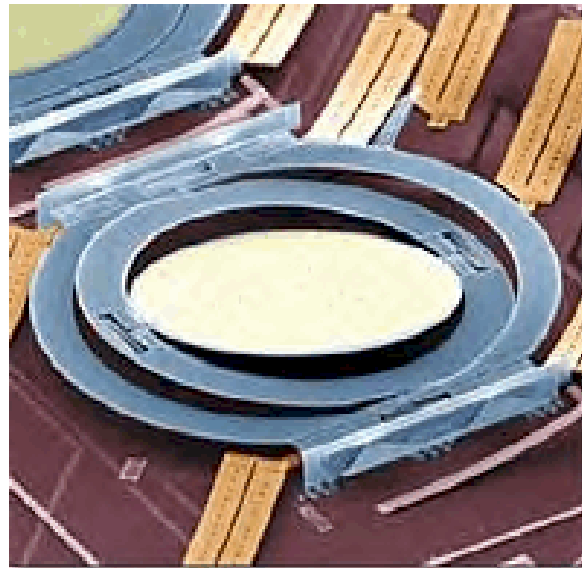
Komponenten wie Linsen und Prismen auf die zweite Faser justiert werden. Bei diesen Schaltern spielt die Präzision der Faserausrichtung die entscheidende Rolle, wobei es sehr schwierig ist, eine Faser hochpräzise, nur wenige Mikrometer genau zu positionieren.

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.

MEM *micro electromechanical mirror* Micro Electromechanical Mirror (MEM) ist ein elektromechanisch arbeitendes Spiegelsystem, das aus mikroskopisch kleinen Spiegeln besteht, die in *optischen Schalter* den Lichtstrahl schalten.

Mikrospiegel Die Mikrospiegel, mit einem Durchmesser von etwa 10 μm , 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.

*Optischer Switch mit
mikroskopischem Spiegel,
Foto: Lucent*



Ein einzelner Spiegel bildet einen optischen Schalter, ein Array mit einigen hundert oder tausend Spiegel bildet einen optischen Kreuzverteiler (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*. Neben dieser Anwendung in den *optischen Netzen* werden Mikrospiegel auch in *DMD-Chips* in Projektoren und in der Automotive-Technik als Sensoren eingesetzt.

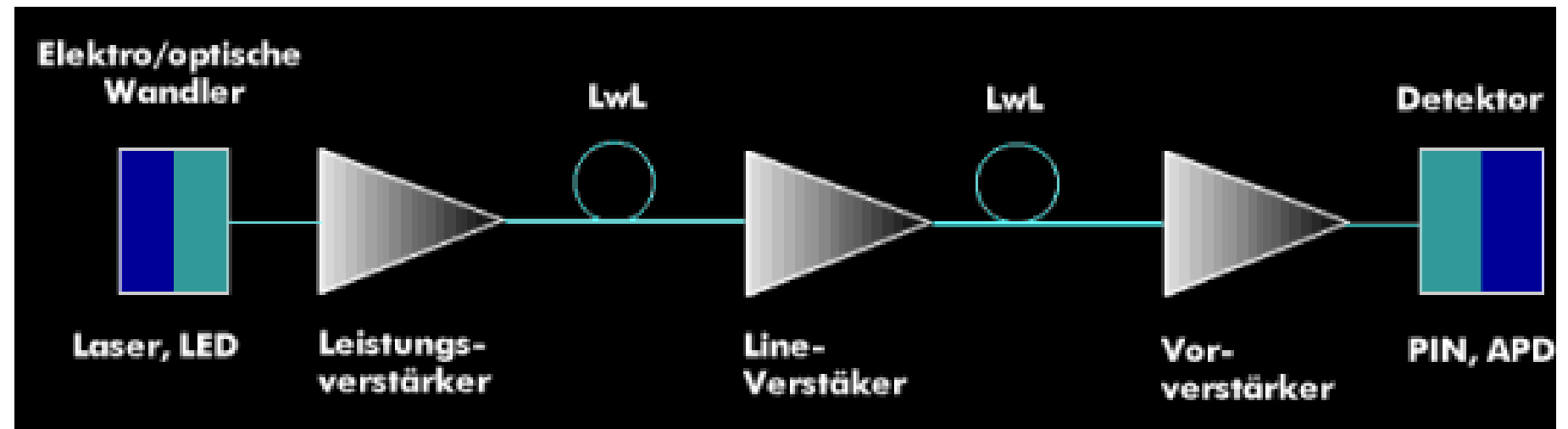
Mikroring-Resonator Halbleiter-Laser wie *FPL-Laser* oder *DFB-Laser* mit nachgeschalteten Filtern oder optischen Verstärkern können nur partiell in planarer Technik realisiert werden. Um diese fertigungstechnischen Einschränkungen zu beheben, hat das Heinrich-Hertz-Institut, Berlin, einen Resonator in Form eines Mikrorings mit einem Durchmesser von 10 μm entwickelt: den Mikroring-Resonator. Ein solcher Mikroring-Resonator kann als *optisches Filter* eingesetzt werden und einzelne *Wellenlängen* ausfiltern.

MSPP, multi service provisioning platform Unter einer Multi Service Provisioning Platform (MSPP) ist das Zusammenwachsen der Zugangstechniken in *optischen Netzen* mit *Wellenlängenmultiplex (WDM)* zu verstehen. Auf dieser Plattform können ATM, Escon, *SDH-Netze* und IP-Netze über Wellenlängenmultiplex transportiert werden, unabhängig von der Signalstruktur und der Struktur der Dienste. Jedem Zubringerdienst wird in speziellen Transponder-Baugruppen eine eigene *Wellenlänge* zugewiesen.

NAS, network access station Network Access Stations (NAS) sind Zubringerkonzentratoren in *optischen Netzen*, die die Verbindung zwischen optischen Kernnetz und Metro- oder Access-Netz realisieren. Sie erfüllen eine Multiplex-Funktion und multiplexen die 320 Kanäle des *DWDM-Kernnetzes* in eine niedrigere Kanalzahl.

- NDSF-Faser**
NDSF, non dispersion shifted fiber Die NDSF-Faser ist eine von der ITU in der Empfehlung G.652 standardisierte Monomodefaser mit spezieller Dotierung. Bei dieser Faser wird der Nulldurchgang der chromatischen Dispersion in das zweite *optische Fenster* verschoben. Dadurch wird die Impulsverbreiterung in diesem Fenster reduziert. NDSF-Fasern haben typische Dispersionswerte von 16 ps/nm bezogen auf einen Kilometer.
- NWDM**
NWDM-Verfahren narrow WDM NWDM ist ein *Wellenlängenmultiplex* (WDM) im 1.300-nm-Bereich, das typischerweise mit 4 Datenströmen in einem Wellenlängenabstand von 25 nm arbeitet.
- NZDSF**
non zero dispersion shifted fiber NZDSF-Faser Bei der Übertragung in *DWDM-Systemen* führt eine Dispersion mit einem Nulldurchgang im *optischen Fenster* bei 1.550 nm, wie im Falle der *DSF-Faser*, zu Interferenzen zwischen den verschiedenen Lichtsignalen. Dieser durch Nichtlinearitäten hervorgerufene Effekt ist ein Mischeffekt, bei dem aus drei Signalen ein viertes gebildet wird. Es entspricht dem Verfahren nach dem Four-Wave Mixing, wobei das vierte Lichtsignal Lichtenergie entzieht und die anderen Lichtsignale stören kann.
Aus diesem Grund müssen in DWDM-Systemen Glasfasern eingesetzt werden, deren Nulldurchgang der Dispersion außerhalb des für DWDM genutzten Wellenlängenbereiches liegt. Bei der NZDSF-Faser, spezifiziert in der ITU-T-Empfehlung G.655, handelt es sich um eine solche Faser.
Die NZDSF-Faser wurde für Übertragungsraten von 10 Gbit/s und 40 Gbit/s optimiert, sie kann im *C-Band* und im *L-Band* betrieben werden und in Zukunft auch im *S-Band* und kann Entfernungen von bis zu 100 km ohne Verstärker überbrücken.
- OA, optical amplifier**
(Optischer Verstärker) Optische Verstärker dienen dazu, die *Dämpfung* von *Lichtwellenleitern* zu kompensieren, indem sie das Eingangssignal um einen bestimmten Faktor regelmäßig erhöhen. Sie werden bei langen Übertragungstrecken im Weitverkehrsbereich eingesetzt.
Unter optischen Verstärkern versteht man Verstärker, bei denen am Eingang ein *O/E-Wandler* das optische Signal in ein elektrisches wandelt, das anschließend

Aufbau eines optischen Übertragungssystems

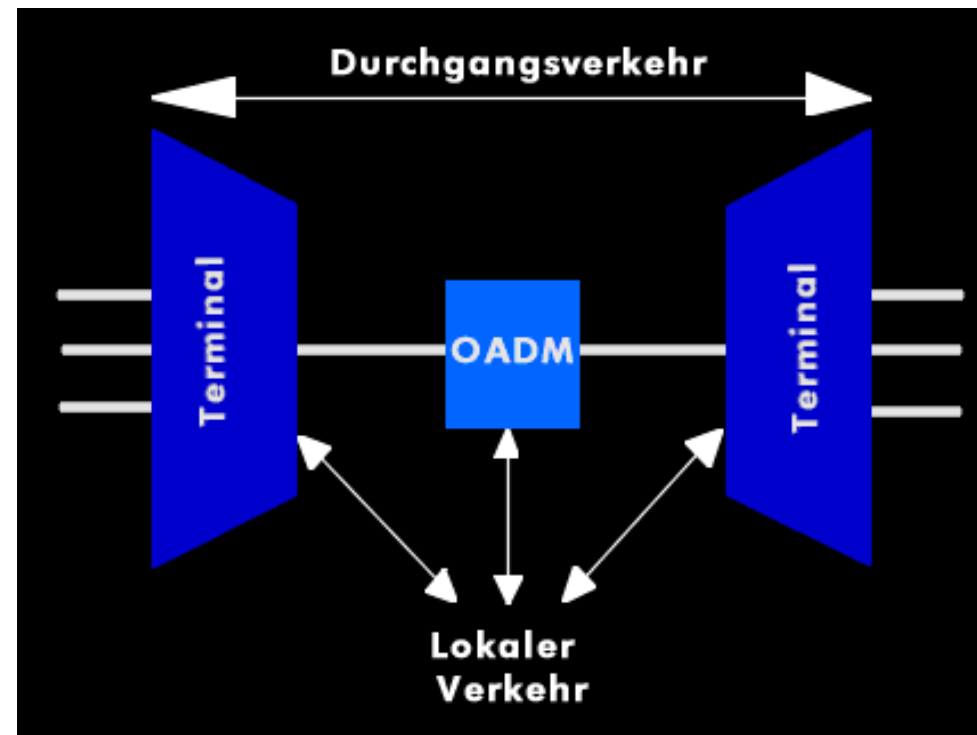


elektronisch verstärkt wird. Am Verstärkerausgang erfolgt wiederum eine elektro-optische Rückwandlung. Es kann sich bei einem optischen Verstärker aber auch um einen solchen handeln, der das Lichtsignal ohne Umwandlung in ein elektrisches Signal verstärkt. Da bei ultraschnellen Bitraten von 20 Gbit/s und mehr die Schaltfunktionen nicht mehr durch opto-elektrische Verfahren realisiert werden können, sind bei diesen Anwendungen reine optische Schaltverfahren erforderlich. An rein optischen Verstärkern sind zu nennen der *Semiconductor Optical Amplifier (SOA)* und *EDFA-Verstärker*. Optische Verstärker verstärken die optischen Signale um bis zu 20 dB, was einem Verstärkungsfaktor von 100 entspricht. Der Rauschabstand ist dabei relativ hoch. Bei den optischen Verstärkern unterscheidet man zwischen dem Leistungsverstärker, der die Leistung des *Lasers* verstärkt und vor der Übertragungsstrecke liegt, dem optischen Linienverstärker (Line Amplifier), der die Dämpfung von langen Lichtwellenleiterstrecken ausgleicht und alle 60 km bis 120 km eingesetzt werden muss, und dem Vor-Verstärker, der am Ende der optischen Übertragungsstrecke liegt und das Lichtsignal für den optischen Decoder anpasst.

OADM
optical add/drop multiplexer
Optischer Add/Drop-Multiplexer

OADMs sind optische Verteil- und Vermittlungskomponenten 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

Funktion des Add/Drop-Multiplexers OADM



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 *Wellenlängen-Switching* in der optischen Netzwerkschicht ermöglicht.

Man unterscheidet zwischen statischen, dynamischen und

rekonfigurierbaren OADMs. Die statischen OADMs sind fest konfiguriert, die dynamischen hingegen fernkonfigurierbar und können Verbindungen auf- und abbauen und die rekonfigurierbaren *ROADMs* haben ein selektives Element mit dem sie einzelne Wellenlängen aus dem Datenstrom herausnehmen können.

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

O-Band In *optischen Netzen* sind die Übertragungsbereiche von der ITU in G.694 definiert. Es gibt sechs Wellenlängenbereiche. Das O-Band liegt im zweiten *optischen Fenster* mit *Wellenlängen* zwischen 1.260 nm und 1.360 nm.

OBR Ein optischer Burst Router (OBR) ist eine rein optische Komponente für die optische *optical burst router* 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

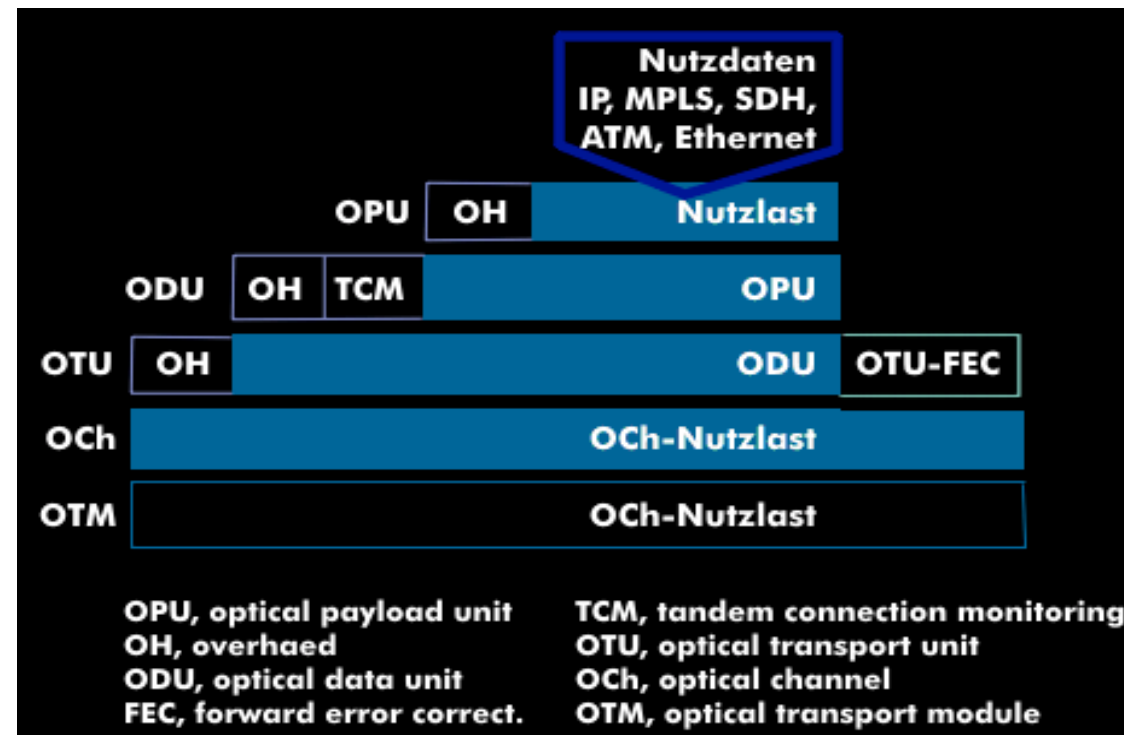
Umsetzung des optischen Burst-Switching ein. Die dritte Schicht hat wie bei Optical Crossconnect (OXC) und Terabit-Routern IP-Funktionalität.

OC, *optical carrier* Optical Carrier (OC) bezeichnet die Grundbitrate der nordamerikanischen *Sonet*-Hierarchie *STS-n*. Die Grundbitrate OC-1 beträgt 51,84 Mbit/s und entspricht STS-1. Die Vielfachen der Grundbitrate werden mit OC-3, OC-9, OC-12, OC-18, OC-24, OC-36 und OC-48 bezeichnet und entsprechen der Multiplikation mit der Grundbitrate von 51,840 Mbit/s. OC-3 hat also eine Übertragungsrate von 155,520 Mbit/s, OC-9 von 466,560 Mbit/s, OC-12 von 622,08 Mbit/s, OC-18 von 933,120 Mbit/s, OC-24 von 1,244 Gbit/s, OC-36 von 1,866 Gbit/s, OC-48 von 2,488 Gbit/s, OC-96 von 4,976 Gbit/s, OC-192 von 9,953 Gbit/s und OC-768 von ca. 40 Gbit/s.

OCDM *Optisches Codemultiplex
optical code division
multiplexing* Bei der OCDM-Technik sind die einzelnen Kanäle durch binäre Sequenzen gekennzeichnet, die vor der Übertragung im Zeit- oder Frequenzbereich codiert sind. Informationen eines bestimmten Kanals werden senderseitig vor dem Multiplexen mit der entsprechenden Kanalcodierung versehen und empfangsseitig nach dem Demultiplexen wieder decodiert.

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.

ODU *optical data unit* Die Optical Data Unit (ODU) ist ein Ultrabreitband-Signalformat für die Überwachung eines optischen Breitbandkanals in *SDH*-Netzen. Die Optical Data Unit enthält die Optical Payload Unit (*OPU*) in dem die Nutzdaten der verschiedenen Netze enthalten sind und unterstützt darüber hinaus die *abschnittmäßige Fehlerkontrolle (TCM)*. Dieses Format, in dem Client-Signale mit ihren Bitraten und Formaten abgebildet werden, bietet eine optimierte Unterstützung



OTN-Struktur der
Dateneinheiten

bei nominalen Bitraten von 2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s und 40 Gbit/s; wodurch dem Datenkommunikationsnetzwerk mehr Bandbreite zur Verfügung steht. Neben diesen nominalen Bitraten wurde 2007 mit 120 Gbit/s eine weitere Stufe in der *OTH-Hierarchie* definiert, die mit ODU4 bezeichnet wird. Der Super-Container ODU4 unterstützen den vollständig transparenten Transport von

neun 10-Gigabit-Ethernet oder auch *100-Gigabit-Ethernet*. In beiden Fällen bietet der ODU4-Container hinreichend Platz, um sämtliche Payloads mit ihren Overheads zu transportieren.

O/E-Wandler
(*O/E converter*)

Opto-elektrische Wandler wandeln Lichtsignale in elektrische Signale um. Da man es bei der optischen Übertragung mit sehr geringen Lichtpegeln zu tun hat, werden für die Umwandlung Fototransistoren, Fotodioden und Avalanche Photo Diode (*APD*) benutzt. Für den kurzwelligen Bereich bis 850 nm nahe dem *optischen Fenster* werden Silizium-Dioden verwendet, während bei der *Wellenlänge* von 1.300 nm Indium-Gallium-Arsenid bevorzugt wird.

OIF
*optical internetworking
forum*

Das Optical Internetworking Forum (OIF) beschäftigt sich u.a. mit der Durchgängigkeit von Diensten in *optischen Netzen*. Dazu wurde von dem OIF eine Spezifikation für die UNI-Schnittstelle entwickelt, die OIF UNI Signalling 1.0 für die Signalisierung. Ein weiterer Schritt ist mit GMPLS, das Label-Switching in optischen Systemen. OIF UNI Signalling erlaubt u.a. die Aktivierung von weiteren Farben in einem optischen *Add/Drop-Multiplexer* zum Zwecke der dynamischen Bandbreitenanpassung.

OM-Klasse

OM, optical multimode

*Definition der
OM-Klassen*

Kategorie	Kerndurchmesser (µm)	Größte Dämpfung (dB/km)		Kleinste Bandbreite (MHz x km)	
		850 nm	1300 nm	850 nm	1300 nm
OM1	50/62,5	3,5	1,5	200	500
OM2	50/62,5	3,5	1,5	500	500
OM3	50	3,5	1,5	1.500	500

Bei den OM-Klassen handelt es sich um die standardisierte Klassifizierung von *Lichtwellenleitern* für die

LwL-Verkabelung, vergleichbar der Klassifizierung von TP-Kabeln (Kategorie) für die strukturierte Verkabelung (EN 50173 und ISO/IEC 11801). Die Standardisierung, die die Verkabelung von Gigabit-Ethernet und 10-Gigabit-Ethernet unterstützen soll, wird von ISO/IEC durchgeführt und sieht drei Klassen für Multimodefasern (OM1, OM2, OM3) und eine Klasse für Monomodefasern (OS1) vor.

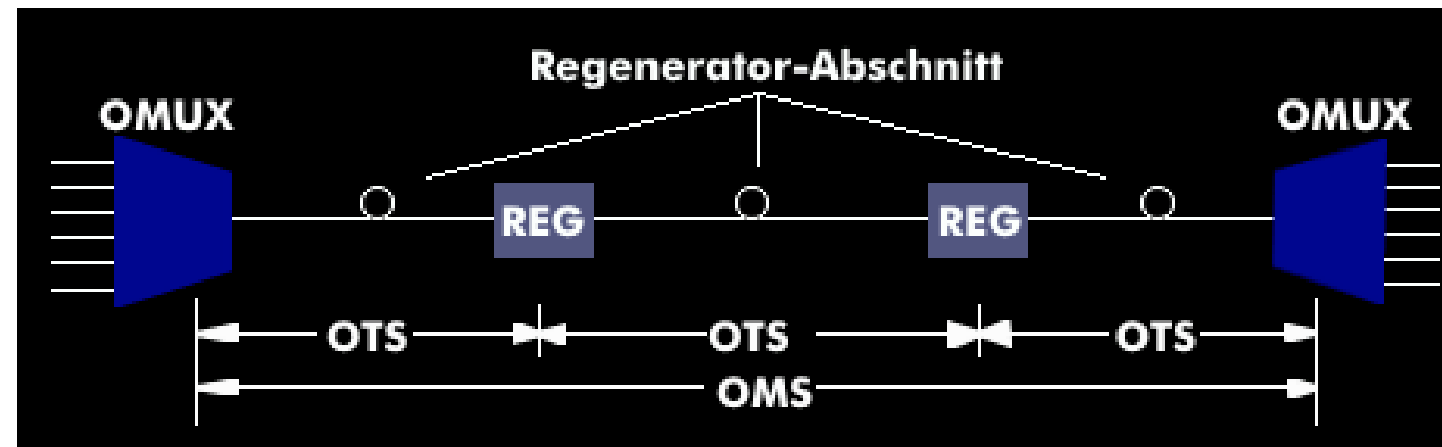
In der Standardisierung sind unterschiedliche Vorgaben für Einmoden- und Gradientenindex-Profilfasern und die zum Einsatz kommenden Übertragungsfenster vorgesehen, wobei auch die verschiedenen Anregebedingungen durch *LED* und *Laser* berücksichtigt werden.

Die drei optischen Klassen repräsentieren als minimale Übertragungslängen 300 m, 500 m und 2.000 m.

Für die Lichtübertragung stehen in allen drei OM-Klassen die *Wellenlängen* von 850 nm und 1.300 nm zur Verfügung, die Dämpfungswerte sind in allen drei Klassen gleich, dagegen sind die Bandbreitenlängenprodukte sehr unterschiedlich und reichen von 200 MHz x km bei OM1 mit 850 nm bis zu 1.500 MHz x km für OM3. OM3 wird allerdings mit einem VCSEL-Laser spezifiziert, der wesentlich effizienter arbeitet als Laser, die in Verbindung mit Monomodefasern verwendet werden. In dieser Konfiguration können bei 10-Gigabit-Ethernet Entfernungen von 300 m überbrückt werden. Wobei dies nur durch Einhaltung der äußerst engen Grenzwerte für die Differential Mode Delay (*DMD*) sichergestellt wird.

OMS
optical multiplex section

Multiplex-Abschnitt in einem
optischen Netzwerk (OTH)



In der OTH-
Hierarchie wird
der
Übertragungs-
abschnitt
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).

OMUX
optical multiplexer
Optischer Multiplexer

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. Die einzelnen Wellenlängen werden durch optische Filter wie dichroitische Filter, Bragg-Gitter oder Phase Arrays (PHASAR) gewonnen. Je nach Verfahren können die Wellenlängenabstände zwischen zwei Wellenlängen 50 nm und mehr betragen wie beim WWDM, 20 nm wie bei CDWM aber auch unter 1 nm liegen wie beim DWDM.

ONE
optical network element

ONE, optical network element

In der OTH-Hierarchie gibt es verschiedene optische Netzelemente wie optische Multiplexer (OMUX), optische Verstärker (OA), optische Add/Drop-Multiplexer (OADM) für das Einfügen und Entnehmen von Übertragungskanälen und einige weitere

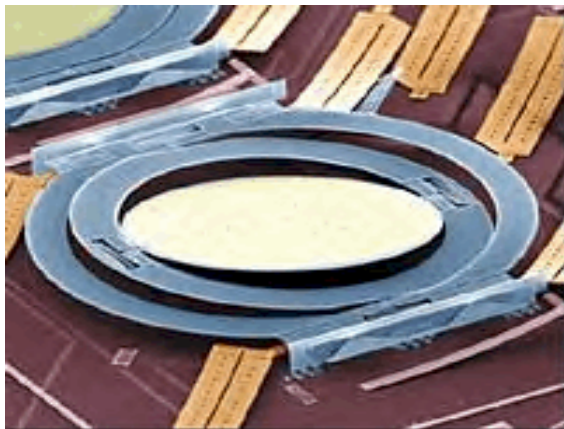
Komponenten. Die Funktionen dieser einzelnen Komponenten sind in den optischen Netzkomponenten (ONE), die an beiden Enden einer optischen Übertragungsstrecke angeschlossen sind, zusammengefasst.

- ONN,**
optical network node
(*Optischer Netznoten*)
- Optische Netznoten (ONN) sind Netzkomponenten des optischen Kernnetzes, funktionell vergleichbar mit einem Vermittlungsknoten in konventionell aufgebauten Netzen. Optische Netznoten sind über die Glasfaserstrecken miteinander vermascht, sie können *DWDM*- und *WDM*-Signale erzeugen und dekodieren und besitzen Switching- und Routing-Funktionalität. Die Verbindung vom optischen Kernnetz zum Metropolitan- oder zum Access-Netz erfolgt über entsprechende Schnittstellen. Dies können Übergänge von der *DWDM*-Technik auf die *CWDM*-Technik sein oder standardisierte Schnittstellen für Gigabit-Ethernet und 10-Gigabit-Ethernet. Ein Terabit-Router bildet beispielsweise einen optischen Netznoten.
- Optischer Empfänger**
(*optical receiver*)
- Ein optischer Empfänger muss das aus einer Glasfaser ausgekoppelte Lichtsignal in ein elektrisches Signal wandeln, dieses verstärken und demodulieren. Eine der wesentlichen elektronischen Komponenten eines optischen Verstärkers ist der *O/E-Wandler*, das ist eine Fotodiode oder ein Fototransistor wie beispielsweise die *PIN-Diode* oder die *APD-Diode*, der das empfangene Lichtsignal in ein elektrisches Signal umwandelt. Der optische Empfänger ist in seinen Empfangseigenschaften an den *Lichtwellenleiter* angepasst und hat eine mehrere hundert Micron große selektive Erkennungsregion, die das einfallende Licht aufnimmt. Da die modulierten Lichtsignale äußerst schwach sind, müssen die umgewandelten elektrischen Signale mit hochempfindlichen rauscharmen Operationsverstärkern verstärkt werden. Die Signalaufbereitung erfolgt in nachgeschalteten elektronischen Schaltungen.
- Optischer Filter**
(*optical filter*)
- Optische Filter sind Wellenleiterkomponenten, die in *optischen Netzen* mit *Wellenlängenmultiplex* (WDM) eingesetzt werden. Mit ihnen können aus einem Wellenlängengemisch einzelne *Wellenlängen* ausgefiltert werden. Beispiele für optische Filter sind *dichroitische Filter* und *Bragg-Gitter*, *Arrayed Waveguide Gratings*

(AWG) und *Phase Arrays* (PHASAR).

Mehrere Filtertechniken arbeiten mit einer Dünnschicht-Technik mit kaskadierten Interferenzfiltern über die die jeweiligen Wellenlängen ausgekoppelt werden. Durch die Kaskadierung erhöhen sich allerdings bei hoher Kanalzahl die Einfügeverluste solcher Filter. Planare Filter wie der PHASAR arbeiten mit dotiertem SiO₂, das für die Wellenlängen speziell strukturiert werden muss.

Optischer Schalter (optical switch)

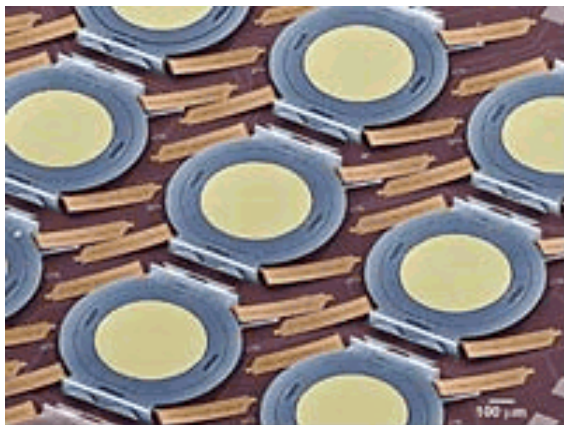


Der optische Schalter ist eine Komponente in *optischen Netzen*, die Lichtsignale zwischen verschiedenen *Lichtwellenleitern* schalten kann, ohne die Signale vorher in elektrische Signale umzuwandeln.

Optische Schalter arbeiten mit unterschiedlichen Verfahren. Ein elektromechanisches Verfahren, das mit mikroskopisch kleinen Spiegeln arbeitet, den *Micro Electromechanical Mirrors* (MEM). Bei diesem Verfahren werden die Mikrospiegel in ihren Achsen gekippt. Ein anderes Verfahren arbeitet mit durchlässigen Spiegeln. Dabei können die Spiegel reflektieren oder als nichtreflektierende Scheibe die Lichtsignale durchlassen.

Andere Verfahren arbeiten rein optisch auf der Basis von optischen *Kopplern* oder optischen Schaltnetzwerken, wieder andere auf der Technik von Flüssigkristallen oder Bubble-Jets. Bei letztgenannter Technik werden beim Schaltvorgang Bubbles (Kammern) mit einer Flüssigkeit gefüllt, die einen anderen Brechungsindex hat als die ungefüllte Kammer. Mit dieser Technik können derzeit Schaltzeiten von etwa 10 ns erreicht werden.

Optische Schalter sind Schalter, die im ns-Bereich auf der physikalischen Schicht die Signale schalten. Spitzenwerte für die Schaltfrequenz liegen über 50 GHz.



Optischer Sender (optical transmitter)

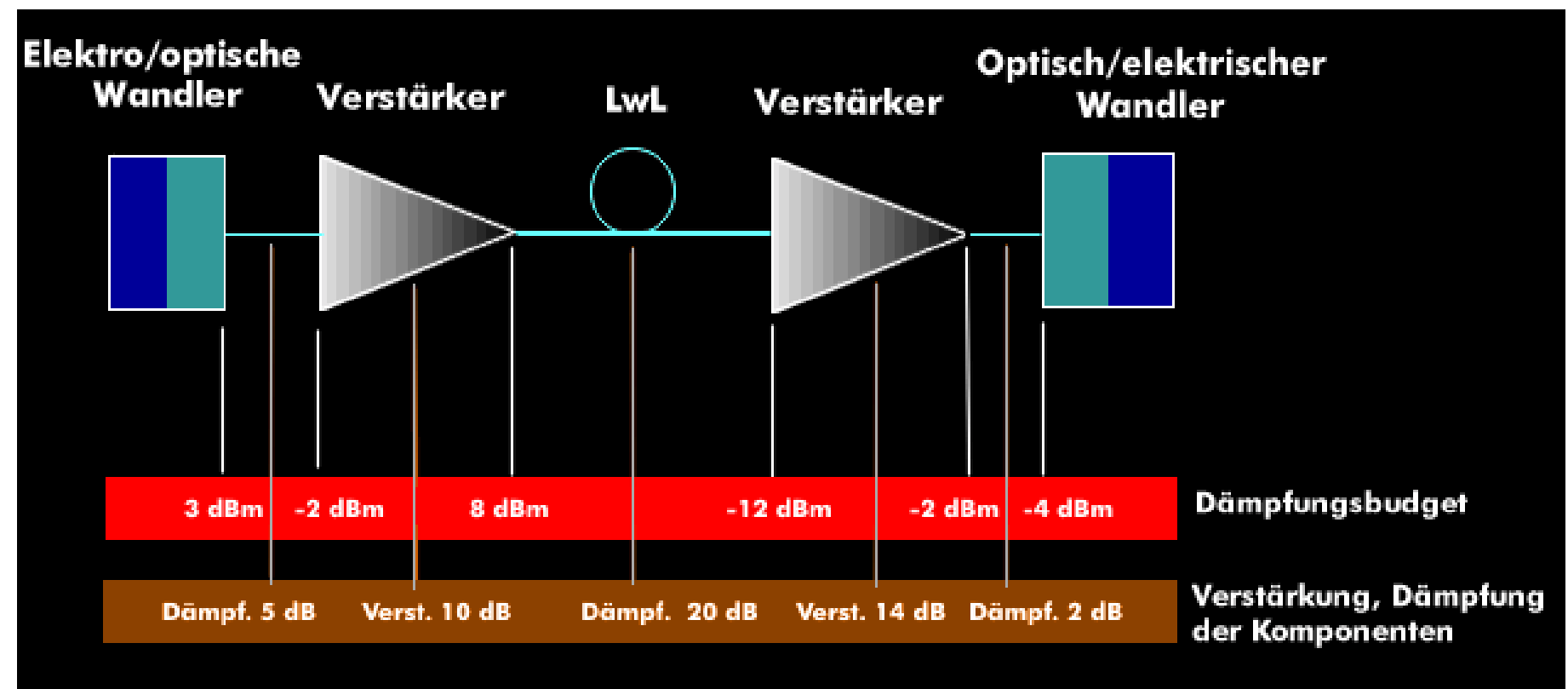
Der optische Sender ist eine elektronisch-optische Baugruppe, die die elektrischen Signale in Lichtsignale umwandelt und diese für die Übertragung über *LWL* aufbereitet. Eine solche Baugruppe besteht aus einem *E/O-Wandler*, der die Lichtmodulation erzeugt, und einem nachgeschalteten *optischen Verstärker*, 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 Lichteinkopplung 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.

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

Ermittlung des Dämpfungsbudgets am Beispiel einer optischen Verbindung

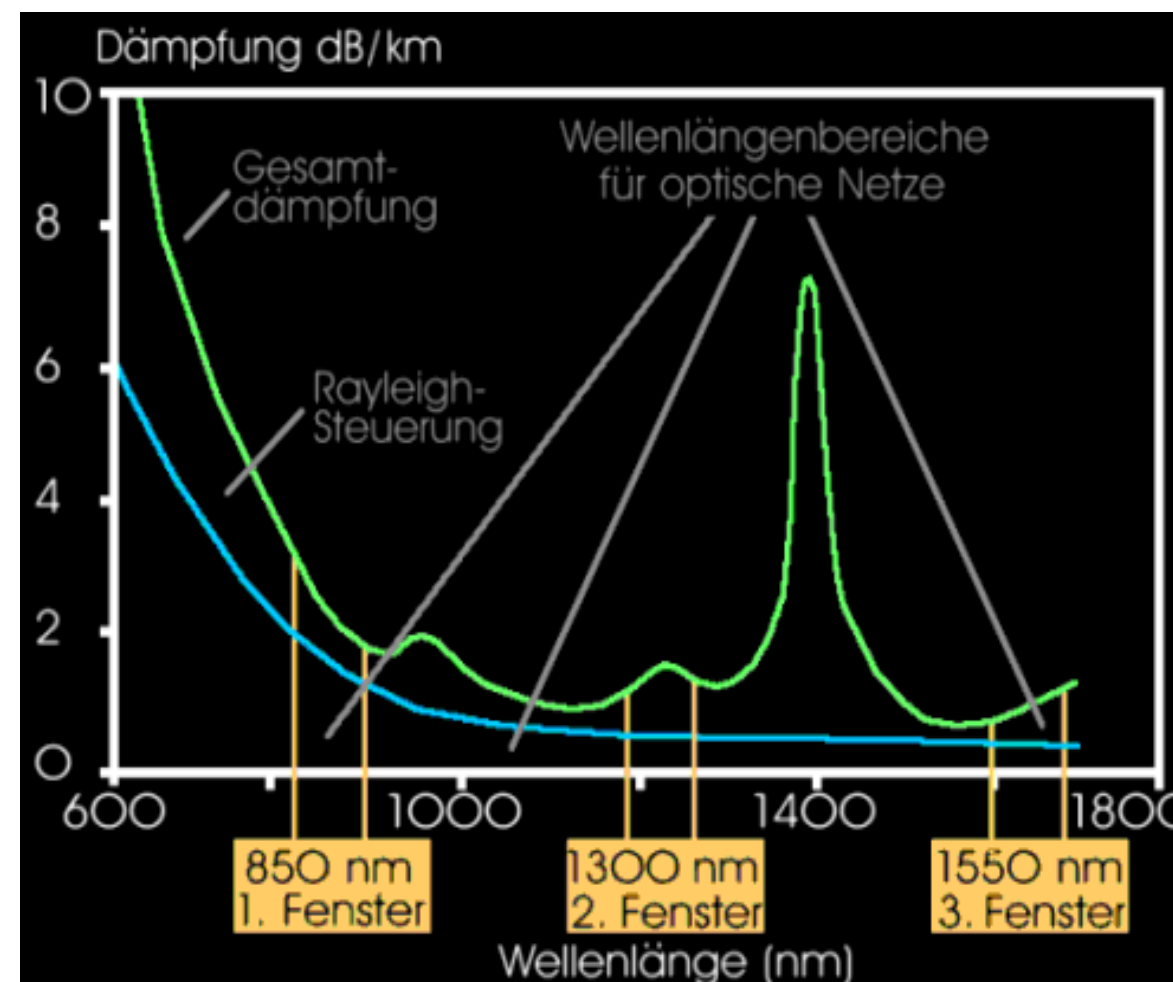


die pegeldämpfenden Faktoren, die durch die *Dämpfung* der Glasfaser, durch Spleiße, Stecker und passive optische Komponenten hervorgerufen werden. Das optische Budget ist also die Pegelbetrachtung einer optischen Verbindung, beginnend beim Einspeisungspegel der optischen Quelle, des *Lasers* oder der *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.

Optisches Fenster (optical window)

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 Wellenlängen-



Dämpfungskurven mit optischen Fenstern

bereiche 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.

Die ITU hat für die Übertragung in *optischen Netzen* insgesamt sechs Wellenlängenbereiche im 2. und 3. optischen Fenster (F2, F3) 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 (F1) 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.

Optisches Netz (ON, optical network)

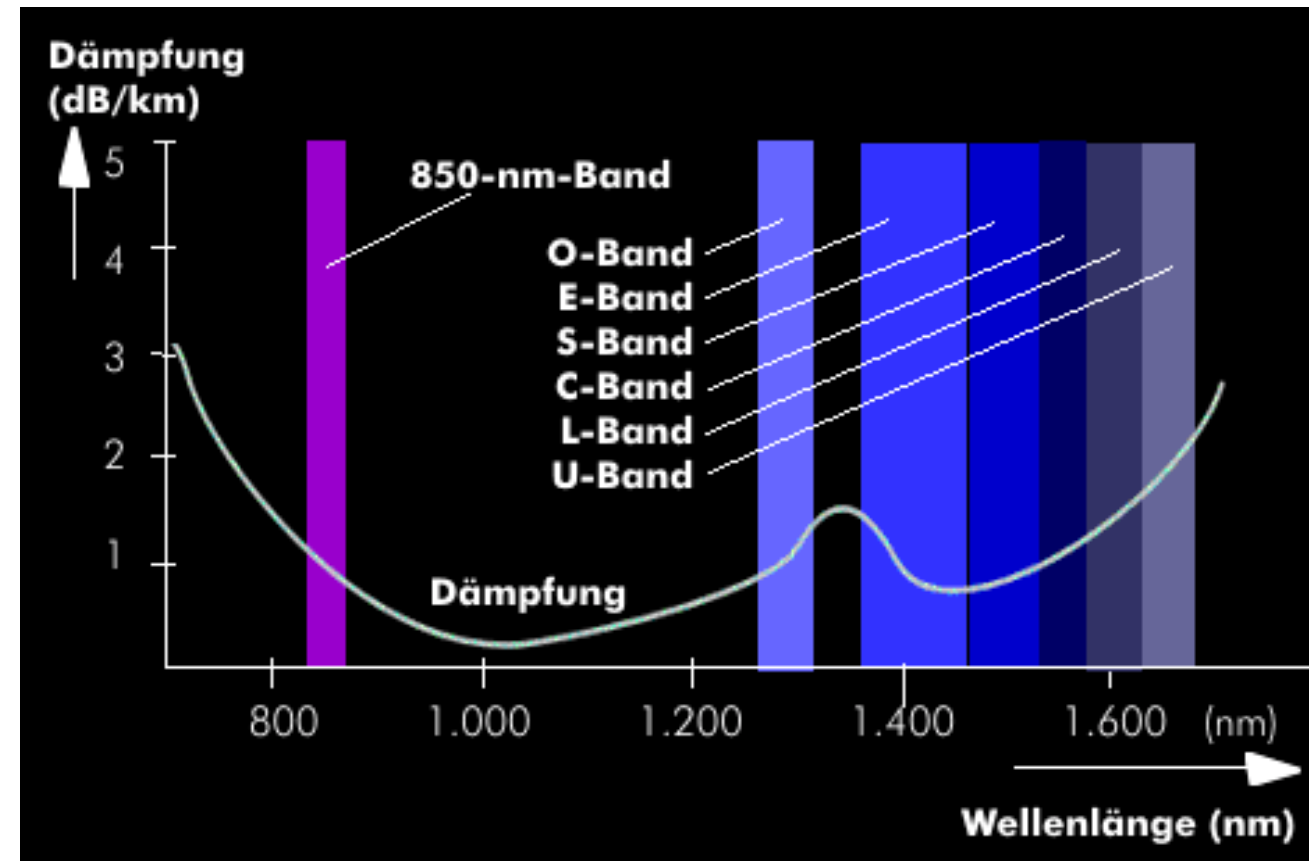
Optische Netze, auch als *Photonik-Netze* bekannt, sind breitbandige Hochgeschwindigkeitsnetze, die auf optischer Übertragungstechnologie mit den entsprechenden optischen Übertragungskomponenten basieren. Bei diesen rein optischen Netzen spricht man von All-Optical-Networks.

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

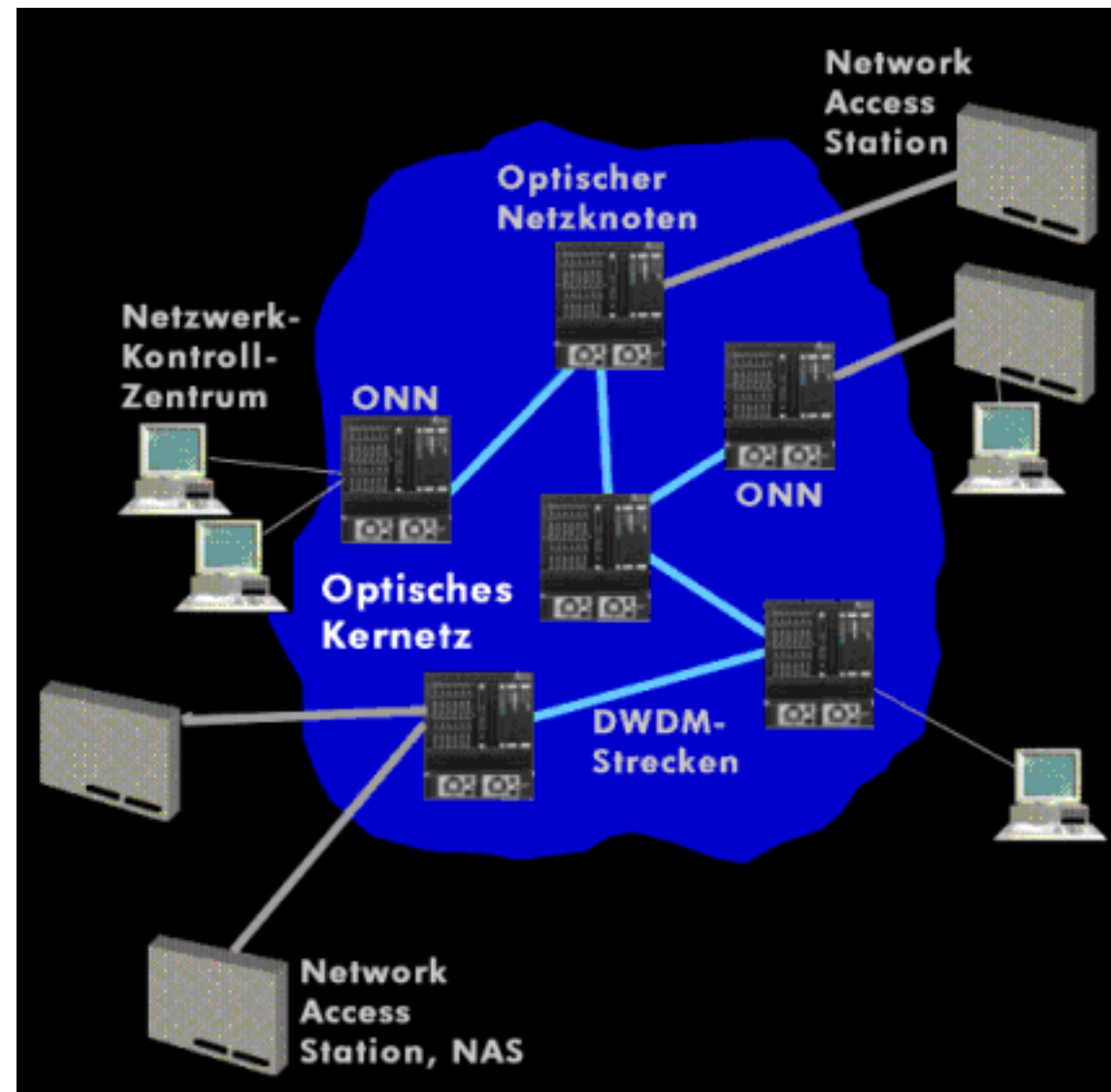
Optische Netze nutzen *Lichtwellenleiter* für die Übertragung der modulierten Lichtsignale. Für die Generierung des optischen Signals werden elektro-optische

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



Von der ITU definierte Wellenlängenbereiche für die optische Übertragung



*Struktur eines optischen
Kernnetzes mit
DWDM-Strecken*

sendet, der in einer nachgeschalteten Modulationseinrichtung, einem elektro-optischen Modulator oder einem *Elektro-Absorptions-Modulator* (EA) moduliert wird. Für die Signalarückwandlung, 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 Netzknotten 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 Übertragungsstrecken 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 Übertragungsstrecken charakterisiert. Diese Übertragungsstrecken 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.

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 mit 40 Gbit/s überbrücken.

Optokoppler (*optical coupler*)

Optische *Koppler* koppeln Lichtenergie bidirektional zwischen mehreren *Lichtwellenleitern*.

Der Kopplertyp hat maßgeblichen Einfluss auf die Moden, wobei ausschließlich Multimodefasern, also die Stufenindex-Profilfaser und die Gradientenfaser, für Kopplermechanismen Verwendung finden. Es gibt Kopplertypen ohne Modenabhängigkeit, aber auch solche mit starker Abhängigkeit. Bei den Kopplertypen unterscheidet man vom Verfahren her die *Sternkoppler* und die T-Koppler, vom Prinzip her Koppler mit Taper-Prinzip, Versatz-, Gabel-, Kernanschliff-, Kernverschmelzungs- und Strahlenteiler-Prinzip sowie Koppler mit Gradienten-Linsen.

Der wichtigste Parameter für Optokoppler ist die *Einfügungsdämpfung*, die im Allgemeinen zwischen 0,5 dB und 1 dB liegt. Eine Ausnahme bilden Koppler nach dem Versatz-Prinzip und dem Taper-Prinzip, die Werte zwischen 2 dB und 3,5 dB haben.

- OPTU,** *optical payload tributary unit* In einem *optischen Transportnetz* (OTN) können dem Endkunden verschiedene Hochgeschwindigkeits-Services wie Escon oder Gigabit-Ethernet bereitgestellt werden. Die Optical Payload Virtual Container (OPVC) sorgen für ein einheitliches Format der verschiedenen Services. Die Optical Payload Tributary Unit (OTN) spiegelt den Ausgang der OPVCs in einen Timeslot und sorgt für eine einheitliche Taktung.
- OPU,** *optical payload unit* In der Optical Payload Unit (OPU) werden die Nutzdaten mit dem Overhead zusammengefasst. Bei den Nutzdaten kann es sich um solche aus ATM, MPLS, SDH, Ethernet oder anderen Protokollen handeln. Die Optical Payload Unit bildet in Verbindung mit dem *Tandem Connection Monitoring* (TCM) und einem weiteren Header die Optical Data Unit (ODU).
- OPVC,** *optical payload virtual container* In einem *optischen Transportnetz* (OTN) gibt es verschiedene Services für den Endkunden. Dazu gehören Escon, Sonet, Gigabit-Ethernet oder Fibre Channel. Die Optical Payload Virtual Container (OPVC) sorgen dafür, dass der Service in ein einheitliches Format dargestellt wird. Der OPVC ist der einzige Level, der geändert werden muss, wenn ein neuer Servicetyp unterstützt werden soll.
- OR,** *optical repeater* (Optischer Repeater) Der optische Repeater dient dazu, eventuelle Lichtsignaldämpfungen auszugleichen. Obwohl die Reichweite von *Lichtwellenleitern*, speziell die der Monomodefaser, außerordentlich hoch ist, muss bei sehr langen Strecken das Signal in gewissen Abständen von einem optischen Repeater verstärkt und auch regeneriert werden. Dazu wird das optische Signal verstärkt, die Flankensteilheit der Impulse wiederhergestellt und anschließend wieder in das nächste Glasfaserkabel eingespeist. In LwL-LANs übernimmt der Repeater die gleichen Funktionen wie in kupferbasierten LANs, wobei er das Lichtsignal decodiert, in ein elektrisches Signal umformt und es anschließend über eine *LED* oder *Laserdiode* in den Lichtwellenleiter einspeist.

- OS-Klasse** Bei der OS-Klasse handelt es sich um die Spezifikation für eine leistungsfähige Monomodefaser für den Einsatz in 10-Gigabit-Ethernet. Mit dieser von der ISO/IEC eingeführten Klassifizierung von Monomodefasern und Gradientenindex-Profilfasern, dafür wurden die *OM-Klassen* entwickelt, werden neu entwickelte leistungsfähige *Lichtwellenleiter* für den Einsatz in Hochgeschwindigkeitsnetzen spezifiziert. In der OS-Klassifizierung gibt es die Klasse OS1, die als Fasertyp E9..10/125 µm vorsieht, mit einer *Dämpfung* von 1,0 dB/km bei den oberen beiden optischen Fenstern. Für 850 nm liegen noch keine Spezifikationen vor.
- OS class*
- OSC** Der Optical Supervisory Channel (OSC) ist ein optionaler Überwachungskanal in *WDM-* und *DWDM-Systemen*. In diesem Kanal werden zusätzliche Überwachungsfunktionen im DWDM-Overhead übertragen. In der optischen Transporthierarchie hat das OSC-Signal eine eigene *Wellenlänge* und wird im optischen Ausgangsverstärker eingeführt. Neben der Überwachung der optischen Übertragungstrecke dient es auch dem Management.
- optical supervisory channel*
- OSDM** Beim optischen Raummultiplex (OSDM) handelt es sich um eine Parallelschaltung von mehreren Lichtwellenleitern; um eine *LwL-Kabel* mit mehreren Glasfasern. Jeder Kanal ist dabei einem eigenen Lichtwellenleiter zugeordnet und hat unterschiedliche Bitraten und Modulationstechniken. Bei der Verlegung sind ungenutzte Lichtwellenleiter einzuplanen, die im Störfall als Ersatzweg geschaltet werden können. Im Zusammenhang mit *100-Gigabit-Ethernet* ist dafür der Begriff Ribbon Fiber entstanden. Für diese Übertragungstechnik gibt es gebündelte Lichtwellenleiter mit über 5.000 einzelnen Glasfasern.
- optical space division multiplexing*
Optisches Raummultiplex
- OSNR** Der optische Signal-Rauschabstand ist ein Maß zur Bewertung der Performance von *optischen Netzen* (ON). Der Rauschabstand (OSNR) ist für Systeme mit optischen Verstärkern definiert, und zwar als Verhältnis der optischen Signalleistung zur so genannten »Amplified Spontaneous Emission« (*ASE*) der *optischen Verstärker*.
- optical signal to noise ratio*
Optischer Signal-Rauschabstand

OPTISCHE NETZE

OTDM
optical time division multiplexing
Optisches Zeitmultiplex

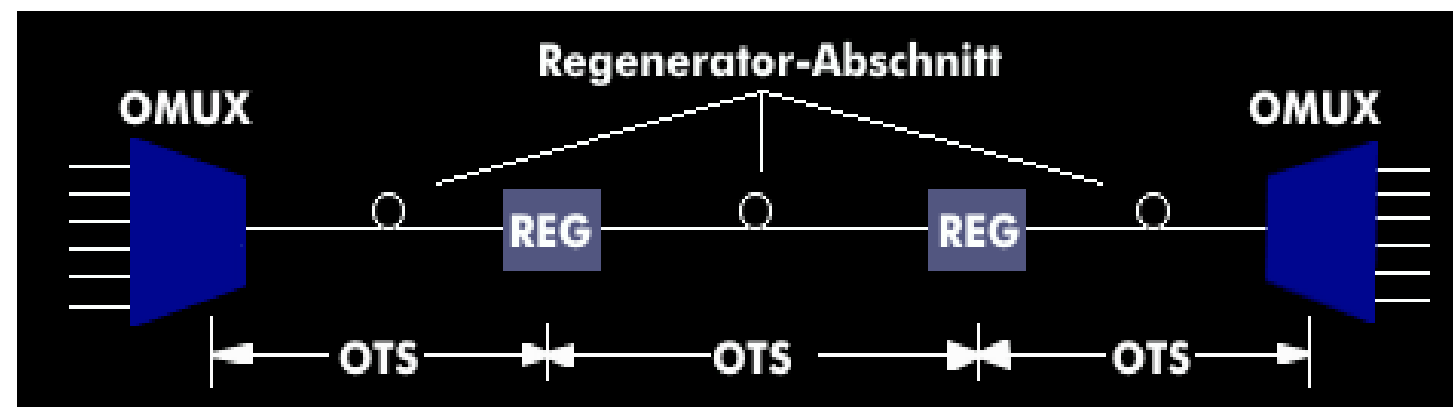
Die optische Zeitmultiplextechnik ist vergleichbar mit der elektrischen Zeitmultiplextechnik. Die zu übertragenden Signale werden zeitlich ineinander verschachtelt und dadurch nacheinander über einen *Lichtwellenleiter* gesendet. Die einzelnen Datenströme werden mit einer um den Multiplexfaktor höheren Datenrate komprimiert und empfangsseitig in einem OTDM-Demultiplexer wieder gedehnt.

OTH, *optical transport hierarchy*
OTH-Hierarchie

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. Der Transport der Datenströme erfolgt über Container, die in der OTH-Technologie als Optical Channel (OCh) bezeichnet werden. Diese hochbitratigen Datenströme können aus Gigabit-Ethernet, Fibre-Channel, aus dem *SDH-Netz* oder dem ATM-Netz stammen. Über eine Rahmenbildung werden aus diesen paketvermittelten Signalen Datenpakete erzeugt, die über *E/O-Wandler* in optische Signale gewandelt und einer *Wellenlänge* aufmoduliert werden. Die einzelnen Wellenlängen werden in dem nachgeschalteten *optischen Multiplexer* (OMUX) zu einem optischen Gruppensignal

Regenerator-Abschnitte in der OTH-Hierarchie



gemultiplext und über einen *optischen Verstärker* dem *Lichtwellenleiter* zugeführt. Das Signal für die

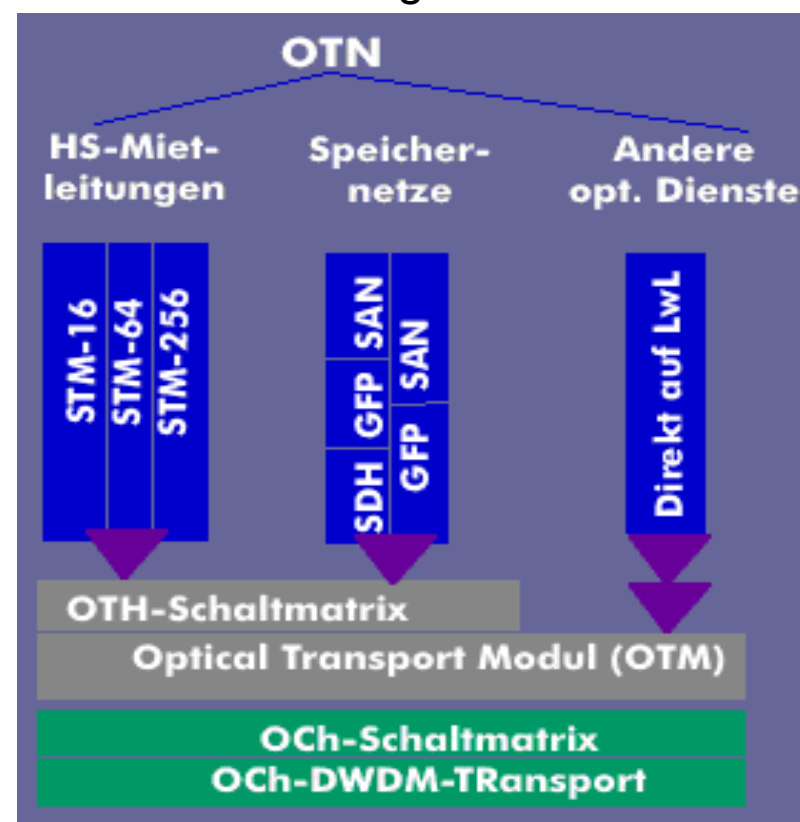
Überwachung und das Management, der Optical Supervisory Channel (OSC) wird mit eigener Wellenlänge dem optischen Ausgangsverstärker zugeführt. OTH ist von der ITU in der Empfehlung G.709 standardisiert und bietet den verschiedenen Client-Signalen eine *optische Transporteinheit* (OTU).

OTN, optical transport network
(Optisches Transportnetz)

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 DWDM-Technik.

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 Kreuzverteiler* (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 nominalen Übertragungsraten von 2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s, 40 Gbit/s und in Zukunft auch mit 120 Gbit/s. In Verbindung mit der DWDM-Technik werden Datenraten von mehreren Terabit erzielt, was zu der Bezeichnungen *100-Gigabit-Ethernet* oder *Terabit-Ethernet* geführt hat. In der ITU-Empfehlung G.709 sind die



Struktur des optischen Transportnetzes

Datenraten für die optischen Transporteinheiten (OTU) festgelegt, die die Nutzdaten von ATM, SDH, Ethernet und sonstigen Protokollen enthalten. In diesem Standard ist auch die Schnittstelle Network Node Interface (NNI) zum optischen Transportnetz definiert.

OTS *optical transmission section* 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*.

OTU
optical transport unit
Optische Transporteinheit

Netzebene	Nominelle Datenrate	Äquivalente SDH/Sonet-Raten
2,5 Gbit/s ODU1 Payload	2,488 320 Gbit/s 2,488 320 Gbit/s	STM-16/OC-48
OTM1	2,666 057 143 Gbit/s	
10 Gbit/s ODU2 Payload	9,953 280 Gbit/s 9,995 276 992 Gbit/s	STM-64/OC-192
OTM2	10,709 225 316 Gbit/s	
40 Gbit/s ODU3 Payload	39,813 120 Gbit/s 40,150 159 322 Gbit/s	STM-256/OC-768
OTM3	43,018 413 559 Gbit/s	

*Standardisierte
OTH-Bandbreiten*

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). Im Nutzdatenfeld, dem 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: OTU-1 mit 2,666 057 143 Gbit/s, OTU-2 mit 10,709 225 316 Gbit/s, OTU-3 mit 43,018 413 559 Gbit/s und OTU-4 mit nominal 120 Gbit/s.

Die Datenraten von über 40 Gbit/s werden mit einer speziellen Modulationstechnik,

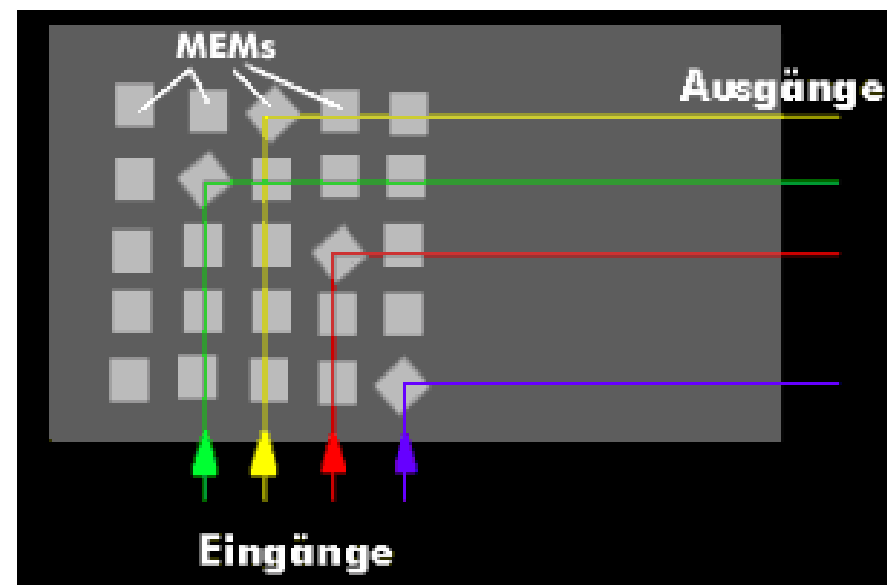
dem RZ-DQPSK, erzielt. In Verbindung mit der *DWDM-Technik* können so über einen *Lichtwellenleiter* bis zu 6,8 Tbit/s übertragen werden. Dieser theoretische Wert errechnet sich aus der Übertragungsrate von 43 Gbit/s und den 160 verschiedenen *Wellenlängen* der DWDM-Technik.

OXC
optical crossconnect
Optischer Kreuzverteiler

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. Er kann ankommende *Lichtwellenleiter* auf jede beliebige ausgehende Faser schalten; in diesem Fall arbeitet er als optischer Raumswitch. Er kann im *Wellenlängen-Switching* einzelne *Wellenlängen* von einer ankommenden Faser auf jede ausgehende 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.

Ein optischer Crossconnect, auch bekannt als Fiber Crossconnect (FXC), arbeitet mit Wellenlängen (Lambdas). Dabei entspricht ein optischer Pfad einem durch MPLS Traffic-Engineering signalisierten Label Switch Pfad (LSP).



*MEMs für den Optical
Crossconnect*

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.

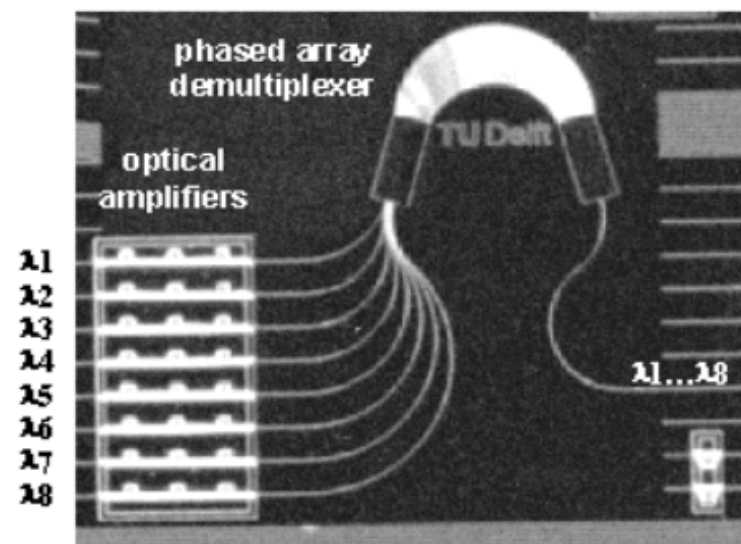
Die Forwarding-Komponente wird durch den Aufbau von Switching-Tabellen im Cross-Connect gesteuert. Diese beinhalten das eingehende Interface, die eingehende Wellenlänge sowie das ausgehende Interface und die ausgehende Wellenlänge.

PBB-TE, *provider backbone bridging-traffic engineering*

PBB-TE ist eine von Nortel entwickelte Carrier-Grade Ethernet-Variante, die für den sicheren Transport in Next Generation Networks (NGN) eingesetzt werden soll. Es handelt sich um eine Ethernet-Tunneling-Technologie mit der Datenpfade innerhalb großer *Carrier-Ethernet-Netze* gesteuert werden können. PBB-TE unterstützt die Dienstgüte (QoS) und kann in spezielle Pfade für spezifische Verkehrstypen benutzen. Die PBB-TE-Technik wird als Provider Backbone Transport (PBT) weiterentwickelt und soll eine preiswerte Alternative zu MPLS darstellen.

PHASAR, *phase array*

*Planare optische
Komponente mit integriertem
Phasar,
Foto: TU Gent*



Das Phase Array (PHASAR) oder *Arrayed Waveguide Gratings (AWG)* ist eine in planarer, integrierter Technik aufgebaute optische Komponente für das Multiplexen bzw. das Demultiplexen.

Das Phase Array zeichnet sich dadurch aus, dass die Phasen der einzelnen *Wellenlängen* beim mehrkanaligen Multiplexen und Demultiplexen konstant sind. Dem Verfahren nach arbeiten Phasare mit unterschiedlich

langen *Lichtwellenleitern*, die die Phasenverschiebungen bei unterschiedlichen Wellenlängen kompensieren.

Photonik-Netz
photonic network

Ein Photonik-Netz ist ein *optisches Netz*. Der Begriff wurde für einige Forschungsprojekte benutzt, hat sich aber allgemein nicht durchgesetzt. Unter einem Photonik-Netz versteht man allgemein ein optisches Netz mit optischen

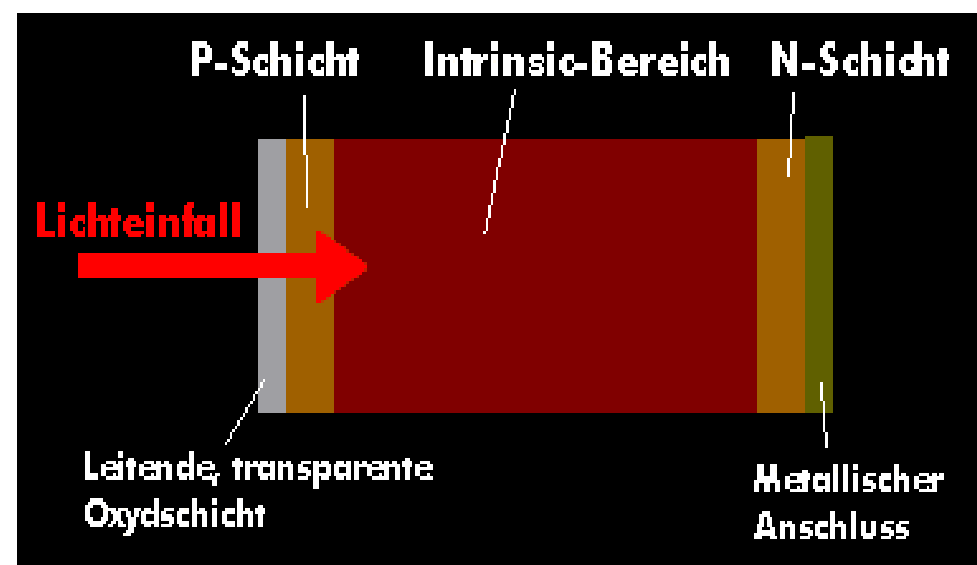
Komponenten, speziell wird diese Bezeichnung aber bei Netzen mit *Wellenlängenmultiplex* (WDM, DWDM, OFDM) verwendet.

PIN-Diode *PIN, positive intrinsic negative*

Die PIN-Diode kann ein optische *Detektor* sein, also eine Fotodiode, sie kann aber auch als steuerbarer frequenzabhängiger Widerstand arbeiten; je nachdem ob sie in Sperr- oder Durchlassrichtung betrieben wird. Als Fotodiode arbeitet die PIN-Diode in Sperrrichtung und wandelt Lichtsignale in elektrische Signale um.

Wie aus der Bezeichnung erkennbar, besteht die PIN-Diode aus drei Schichten: einer positiv dotierten P-Schicht, einer negativ dotierten N-Schicht und der zwischen beiden liegende Intrinsic-Bereich, in dem sich nur wenige freie Ladungsträger befinden. Der Intrinsic-Bereich hat eine Breite von etwa 500 nm bis 1.000 nm, wogegen die P- und N-Schicht nur etwa 10 nm bis 30 nm breit sind. Fällt Licht auf den Intrinsic-Bereich werden Elektronen aus dem atomaren Verbund gerissen und stehen für den Ladungstransport zur Verfügung. Je höher die Lichtstärke, desto mehr freie Elektronen stehen zur Verfügung.

Neben der PIN-Diode werden in *E/O-Wandlern* auch die empfindlicheren *APD-Dioden* oder Fototransistoren eingesetzt.



Die PIN-Diode ist unempfindlicher als die APD, dafür aber temperaturstabiler und kostengünstiger. Spitzenwerte für die Empfindlichkeit liegen zwischen -40 dBm (25 Mbit/s) und -55 dB (2 Mbit/s) bei 850 nm *Wellenlänge*.

Wird die PIN-Diode in Durchlassrichtung betrieben, dann kann man die Raumladungszone in

der Breite steuern und erhält damit die Funktion eines kapazitiven Widerstandes. In dieser Funktion wird die PIN-Diode in HF-Schaltungen, so beispielsweise in HF-Dämpfungsgliedern.

*Aufbau einer
PIN-Diode*

PMD
*polarization mode
dispersion*
**Polarisationsmoden-
Dispersion**

Die Polarisationsmoden-Dispersion ist ein Modulationsformat, das in der *DWDM-Technik* eingesetzt wird. Die Polarisationsmoden-Dispersion ist auf die Unsymmetrie des Kernglases eines *Lichtwellenleiters* zurückzuführen, die durch externe Einflüsse wie Druck, Zug und Temperatur beeinflusst werden kann. Diese Unsymmetrie führt zu Laufzeitunterschieden zwischen zwei senkrecht zueinander stehenden Polarisationsmoden. Die Polarisationsmoden-Dispersion ist der über einen definierten Wellenlängenbereich gemittelte Wert der *differenziellen Gruppenlaufzeit* (DGD). Die Zufälligkeit von PMD macht es schwierig diese zu kompensieren. Der Einfluss ist bis zu Übertragungsraten von 10 Gbit/s vernachlässigbar gering, aber bei Geschwindigkeiten von 40 Gbit/s, also einer Pulsdauer von nur 25 ps, machen sich Beeinträchtigungen bemerkbar.

POH
path overhead
Pfadkopfteil

Zu den Funktionen des Path Overheads (POH) im *STM-Datenrahmen* gehören in erster Linie die Qualitätsüberwachung und Kennzeichnung des Containers. Im einzelnen erfüllt der Path Overhead folgende Funktionen: Beschreibung des Absenders, Fehlererkennung, Zusammensetzung des Container-Inhaltes, Pfad-

Byte	Funktionen
J1	Pfadkennung
B3	Qualitätsüberwachung
C2	Zusammens. des Containers
G1	Übertragungsfehler
F2, F3	Wartung
H4	Kennzeichnung Übertragungsrahmen
K3	Ersatzschaltung
N1	Tandem Connection Monitoring

Status, Informationen über die Pfad-Ersatzschaltung und die Überwachung eines Carrier-Abschnitts.

Die Funktionen werden während der Übertragung der Nutzdaten (Container) innerhalb eines *SDH-Netzwerkes* ausgeführt. Der Path Overhead begleitet den Container während des gesamten Übertragungsweges und wird erst am Zielknoten wieder entfernt.

Der Path Overhead wiederholt sich in jedem *STM-Datenrahmen* mit dem

*Pfad-Overhead (POH)
von VC-3/4*

*Path-Overhead (POH)
für VC-11/12*

Byte	Funktionen
V5	Fehlerüberwachung
J2	Pfadkennung
N2	Tandem Connection Monitoring
K4	Ersatzschaltung

gleichen Inhalt, wobei sich lediglich die Path- und Section-Traces ändern können ebenso wie der Bitfehlerzähler.

Beim Path Overhead unterscheidet man zwischen dem Higher Order Path Overhead und dem Lower Order Path Overhead mit einer etwas eingeschränkten Funktionalität. Die Higher Order Path Overheads sind durch

die virtuellen Container VC-3 und VC-4 gekennzeichnet und dient dem Transport von 140 Mbit/s, 34 Mbit/s und ATM-Signalen. Die Lower Order Path Overheads der virtuellen Container VC-2, VC-11 und VC-12 dienen dem Transport von 1,544 Mbit/s, 2,048 Mbit/s und ATM-Signalen.

POL *parallel optical links* Parallel Optical Links (POL) sind Höchstgeschwindigkeits-Kurzstreckenverbindungen, die aus mehreren parallelen *Lichtwellenleitern* bestehen. Für die POL-Verbindungen, die für Entfernungen bis zu 300 m geeignet sind, gibt es spezielle mehrkanalige Bauelemente als Sende- und Empfangseinrichtung. Über die parallelen Verbindungen können beispielsweise bei einer 12-kanaligen Strecke und einer Datenrate von 2,5 Gbit/s pro Monomodefaser, also insgesamt 30 Gbit/s übertragen werden.

PTE, *path terminal equipment* Ein Path Terminal Equipment (PTE) arbeitet in *optischen Netzen* als *Terminal-Multiplexer* auf Path-Ebene für DS-, STS- und andere Signale. Sie werden eingesetzt, um plesiochrone und synchrone Signale, PDH und SDH, zu höherbitratigen STM-Signalen zu multiplexen.

Q-Faktor *Q factor* Der Q-Faktor ist ein Maß für die Qualität von optischen Übertragungstrecken. Er wird als Zahlenwert angegeben, der die Qualität des optischen Übertragungssignals widerspiegelt. "Q" steht dabei nicht als Akronym für Qualität, sondern ist das mathematische Formelzeichen für das Gaußsche Fehlerintegral. Der Q-Faktor erlaubt direkte Rückschlüsse auf die zu erwartende Bitfehlerrate.

Ermittelt wird der Q-Faktor aus dem Augendiagramm, das bei einem höheren Q-Wert weiter geöffnet ist als bei einem niedrigeren.

RCLED
resonant cavity LED

Die RCLED ist eine *Leuchtdiode*, die mit einem Resonanzkörper arbeitet und sich gegenüber der normalen Leuchtdiode durch eine geringere spektrale Bandbreite auszeichnet. Die RCLED leuchtet bei 650 nm mit einer spektralen Breite von 10 nm. Die übertragbare Datenrate beträgt 600 Mbit/s, der Sendepiegel liegt bei -2 dBm bis -6 dBm.

REG, *regenerator*
Regenerator

Ein Regenerator ist eine elektrische oder optische Komponente in *SDH*-Netzen oder *optischen Netzen*, die das durch *Dämpfung* und Dispersion verzerrte Lichtsignal wieder regeneriert.

Regeneratoren leiten ihr Taktsignal aus dem ankommenden Eingangssignal ab und erneuern Teile des Overheads hinsichtlich Amplitude und Takt. Der *STM*-Datenrahmen hat einen speziellen Overhead, den Regenerator Section Overhead (*RSOH*), über den die abschnittsweise Regeneration des Signals informativ abgewickelt werden kann. Dieser RSOH wird vom Regenerator ausgewertet.

ROADM, *reconfigurable*
optical add/drop
multiplexer

Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM) zeichnen sich gegenüber den statischen OADMs dadurch aus, dass sie ein konfigurierbares Element besitzen mit dem einzelne *Wellenlängen* aus dem Lichtstrom aussortiert werden können. Mit solchen ROADMs kann der Netzwerk-Administrator eine dynamische Rekonfiguration der Wellenlängen vornehmen.

Rückstreuverfahren
back scattering technique

Von Rückstreuung spricht man bei der Übertragung in *Lichtwellenleitern*. Ein geringer Bruchteil des Lichtes, das durch Streuung aus seiner Richtung abgelenkt wurde, gelangt in rückwärtige Richtung. Es läuft also im LwL zum Sender zurück. Durch Beobachtung des zeitlichen Verlaufs des rückgestreuten Lichts mit Hilfe eines Strahlteilers am Sender, kann man nicht nur die Länge und *Dämpfung* eines installierten Lichtwellenleiters von einem Ende aus messen, sondern auch lokale

Unregelmäßigkeiten.

Die Rückstreuung wird durch die Rayleigh-Streuung und durch Änderungen im Kernglas verursacht. Wobei das Kernglas selbst durch Querschnittsänderungen sowie durch so genannte Mikro- und Makrokrümmungen zu der Rückstreuung beiträgt. Unter Mikrokrümmungen sind fertigungstechnische Toleranzen in der Lage des Kernglases zum Mantelglas zu verstehen; Makrokrümmungen hingegen entstehen bei der Kabelverlegung durch Nichteinhaltung des Biegeradius.

Das Maß für die Rückstreuung ist die Rückstredämpfung, der Logarithmus aus dem Verhältnis von eingestrahelter zu reflektierter Energie. Die Rückstredämpfung ist ein wichtiges Gütekriterium für LwL-Stecker und Spleiße.

Rückstreuverfahren
(*back scattering technique*) Meßmethode in einem *Lichtwellenleiter*. Mit dem Backscattering-Verfahren ist es möglich, die Länge eines Glasfaserkabels von einem Ende aus zu messen sowie den Dämpfungsverlauf innerhalb des Kabels. Außerdem lassen sich Unregelmäßigkeiten, wie schlechte Spleiße, LwL-Stecker und ähnliches aufspüren. Das Verfahren beruht darauf, den zur Lichtquelle hin reflektierten, also zurückgestreuten, Strahlenanteil zu messen (*OTDR*).

S-Band Die Bezeichnung S-Band gibt es auch in der optischen Übertragungstechnik.

S band Dieses optische S-Band wurde von der ITU unter G.694 definiert und hat Wellenlängen zwischen 1.460 nm und 1.530 nm.

SOA-Verstärker
SOA, semiconductor optical amplifier Ein Semiconductor Optical Amplifier (SOA) ist ein auf Halbleiterbasis arbeitender *optischer Verstärker*. Die aktive Komponente, die aus den Halbleitermaterialien Indium, Gallium und Arsenid besteht, kann bei entsprechender Dotierung in den übertragungstechnisch relevanten Wellenlängenbereichen von 1.300 nm und 1.550 nm eingesetzt werden. Der rein optisch arbeitende SOA wird von einem injizierten Strom elektrisch gepumpt und nutzt dabei die nichtlineare Effekte bei der Kreuzverstärkungs-Modulation (*XGM*), neuere Verfahren arbeiten mit interferometrischen Anordnungen. Vom Aufbau her besteht ein SOA aus einer

zentralen, etwa 600 μm langen aktiven Zone sowie zwei etwa 100 μm langen passiven Zonen an der Eingangs- und Ausgangsseite. Die aktive Zone liegt auf einer heterogenen Struktur und besteht aus einem 0,2 μm dicken dehnbaren aktiven Layer, der zwischen zwei 0,1 μm dicken Layern eingebettet ist. Dieser aktive Layer verjüngt sich und ermöglicht dadurch die optische Kopplung zum darunter liegenden passiven Wellenleiter.

SOAs erreichen Verstärkungsfaktoren von bis zu 30 dB bei Bandbreiten von 2 GHz bis 10 GHz und Ausgangsleistungen von 12 dBm. Die optische Bandbreite beträgt 40 nm. Die optischen Halbleiterverstärker eignen sich für die Integration in Komponenten für das optische Zeitmultiplex (*OTDM*), wie Optical Add/Drop Multiplexer (*OADM*), Optical Crossconnect (*OXC*), *Wellenlängen-Konverter* oder *optische Schalter*. Die in SOAs eingesetzte Technologie ist die Schlüsseltechnologie für weitere optische Komponenten, so für den Wellenlängen-Konverter, den *Regenerator*, für *optische Filter*, Vor-, Inline- und Leistungsverstärker.

Soliton
soliton waves Solitonen sind Wellen, die sich wie Teilchen verhalten und ohne Änderung ihrer Form oder Geschwindigkeit über weite Strecken ausbreiten. Solitonen werden beispielsweise als elektromagnetische Impulse auf elektrischen Leitungen übertragen oder als optische Solitonen auf *Lichtwellenleitern*. Sie zeichnen sich durch eine in Amplitude und Phase exakt definierte Impulsform aus, die sich ohne Formänderung in Glasfasern übertragen lässt. In Lichtwellenleitern wird ihre Ausbreitung durch die Kompensation von linearen und nichtlinearen Effekten, wie der Dispersion und dem Kerr-Effekt, wenig beeinträchtigt; die Signalform weist eine relativ hohe Stabilität aus. Durch diese Eigenschaft können Solitonen-Systeme mit minimaler *Dispersionskompensation* in *optischen Netzen* (ON) und optischen Übertragungsstrecken mit mehreren tausend Kilometern Reichweite eingesetzt werden.

Splitter Ein Splitter ist eine passive Komponente, die ankommende Signalenergie auf mehrere Leitungen aufteilt.

In der optischen Übertragungstechnik dient der Splitter als optischer Verteiler, der die Signale auf bis zu 32 *Lichtwellenleiter* verteilt. Praktischen Einsatz findet der optische Splitter in optischen Netzwerkeinheiten (ONU) im Anschlussbereich von Zugangsnetzen.

In Breitbandnetzen übernimmt der Splitter die frequenzmäßige Verteilerfunktion. Er unterteilt den eingehenden Frequenzbereich auf mehrere Ausgangsfrequenzbereiche mit geringerer Leistung. Eine bekannte Splitteranwendung ist der DSL-Splitter, der den Sprach- oder ISDN-Bereich von dem DSL-Datenbereich trennt.

Kehrt man die Funktion des Splitters um, erhält man einen Combiner, der mehrere Leitungseingänge zu in einem einzelnen Leitungsausgang zusammenschließt.

Sternkoppler *STK, optical star coupler*

Sternkoppler sind Glasfaser-Koppelemente, bei denen ein eingehendes Lichtsignal sternförmig in mehrere Fasern aufgeteilt wird. Es gibt mehrere unterschiedliche Verfahren, um ein Lichtsignal sternförmig auf mehrere Glasfasern aufzuteilen. Ein Verfahren basiert auf dem Verdrillen und Verschmelzen von mehreren Fasern, ähnlich wie es bei dem bikonischen *Taperkoppler* mit zwei Fasern erfolgt. Ein anderes Verfahren verwendet diffuses Glas, das an einer Stirnseite verspiegelt ist. Das Lichtsignal wird an einer Stirnseite eingekoppelt, in dem diffusen Glas gebrochen, an der anderen Stirnseite am Spiegel reflektiert und in die anderen Fasern ausgekoppelt. Die *Dämpfung* des Lichtes ist entsprechend hoch. Ein drittes Verfahren benutzt ein diffundiertes Glasplättchen, in das Moden-führende Kanäle eindiffundiert sind und über die Lichtenergie ein- und ausgekoppelt wird. Diese *Koppler* zeichnen sich dadurch aus, dass sie geringe Lichtverluste haben.

Sternkoppler werden als zentrale Bauelemente für sternförmige Lichtwellenleiternetze eingesetzt. Er verbindet zahlreiche Sender und Empfänger und verteilt die Signalleistung, die ein angeschlossener Sender liefert, gleichmäßig auf alle angeschlossenen Empfänger. Optische Sternkoppler gibt es in aktiver Bauart (mit elektrischem Zwischenverstärker) oder in passiver Bauart (ohne).

Das Prinzip ist, dass es von allen angeschlossenen Stationen jeweils eine Hin- und eine Rück-Lichtwellenleitung gibt. Licht, das auf einer Eingangsleitung ankommt, wird

gesammelt und über ein Streuverfahren an alle Rückleiter verteilt. Dabei muss auf einer höheren Schicht eine Synchronisation der Sender durchgeführt werden, damit zu einer Zeit nur eine Station sendet. Die bei LANs hierfür üblicherweise verwandten Verfahren sind hierzu grundsätzlich geeignet. Jeder optische Sternkoppler unterstützt nur eine begrenzte Anzahl von Anschlüssen (z.B. 32), da der Aufbau hier seine technischen Grenzen hat.

Aktive Koppler sind unter Berücksichtigung einer maximalen Laufzeit von einem Ende des Netzwerkes zum anderen beliebig kaskadierbar.

Sub-Wellenlängen-Switching (*sub-wavelength switching*)

Bei dem *Sub-Wellenlängen-Switching* wird gegenüber dem Wellenlängen-Switching eine weitere Multiplextechnik hinzugefügt: typischerweise das des optischen Zeitmultiplex, das mehrere Verkehrsströme zusammenfasst. Man spricht auch von *Grooming*. Durch den Einsatz von deterministischen oder statistischen Multiplexverfahren gibt es diverse technologische Ansätze wie beispielsweise das Switching von optischen Bursts (*OBS*), das der optischen Pakete (*OPS*) oder das *Optical Time Division Multiplexing* (*OTDM*).

Das Sub-Wellenlängen-Switching wird als eine von drei Vermittlungstechniken in *Carrier Ethernet Transport* (*CET*) eingesetzt.

Taperkoppler *taper coupler*

Der bikonische Taperkoppler (*Bi-Taper*) ist ein einfacher *Koppler*, der in den Anfangsjahren der optischen Netze eingesetzt wurde. Vom Prinzip her handelt es sich um zwei Glasfasern, die mit einigen Windungen umeinander gewickelt und verschmolzen werden. Die gegeneinander verdrillten Glasfasern werden fast bis zur Schmelztemperatur erhitzt und dabei etwas gestreckt. Durch dieses Verfahren entstehen Fasern, die verjüngt und wieder erweitert sind.

Durch die Verjüngung des Kerndurchmessers entsteht die Taperfunktion, durch die flache Moden in steile Moden gewandelt werden und die numerische Apertur ansteigt. Es erfolgt ein Modenaustausch zwischen den beiden Fasern. Hat das verdrillte Teilstück eine bestimmte Länge, erhält man einen Koppler mit wellentrennenden Eigenschaften. Das Verfahren kann auch bei *Sternkopplern* mit mehr als zwei Fasern

angewendet werden.

Beim bikonischen Taperkoppler mussten die miteinander gekoppelten *Wellenlängen* einen weiten Abstand voneinander haben. Deswegen haben die diese Komponenten mit Wellenlängen von 1.310 nm und 1.550 nm gearbeitet und hatten die doppelte Bandbreite von einer einzelnen Glasfaser, also 5 Gbit/s.

TOADM,
tunable OADM

Ein abstimmbarer *OADM* ist eine Komponente für *optische Netze* und arbeitet mit abstimmbaren Filtern. Es gestattet das Einfügen (Add) und Entfernen (Drop) von einigen wenigen optischen *Wellenlängen*, während die meisten Kanäle den TOADM ohne Beeinflussung passieren. Ein TOADM bietet sich als preisere Alternative zu einem Demultiplex-Multiplex-Switch basierend auf einem rekonfigurierbaren optischen *Add/Drop-Multiplexer* an.

Die Abstimmbbarkeit eines TOADMs umfasst den Bereich zwischen zwei Wellenlängen.

U-Band
U band

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.

ULH
ultra long haul

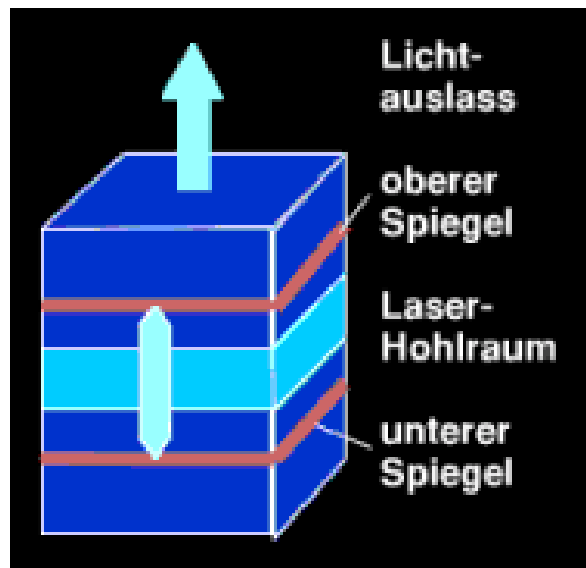
Ultra *Long Haul* (ULH) sind optische Verbindungen, die ohne Signal-Regeneration über hundert Kilometer reichen. Bei diesen Systemen sind die Kompensationsverfahren, ebenso wie die Vorwärts-Fehlerkorrektur (FEC) und die Verbindungskontrolle, wesentlich verbessert gegenüber den kürzeren Übertragungstechnologien.

Streckenbezeichnung	Dämpfung	Länge	Verst.	Gesamtlänge
Long-Haul, L	22 dB	80 km	7	8x80 km, 640 km
Very Long-Haul, V	33 dB	120 km	4	5x120 km, 600 km
Ultra Long-Haul, U	44 dB	160 km	0	

Die drei Hauptkategorien für
Übertragungstrecken

Die ITU spezifiziert den Ultra-Long-Haul-Bereich mit 160 km bei *Wellenlängen* von 1.550 nm. Neben dieser optischen *SDH*-Schnittstelle hat die ITU weitere *SDH*-Schnittstellen für Short Haul (Kurzstrecken), Long Haul (Langstrecken) und sehr langen Strecken, Very Long Haul (*VLH*) definiert.

VCSEL-Laser *VCSEL, vertical cavity surface emitting laser*



VCSEL sind kleine Hochleistungslaser für die optische Übertragungstechnik. Sie zeichnen sich durch eine hohe Datenrate aus und benötigen einen relativ niedrigen Treiberstrom.

VCSELs wurden für die High-Speed-Übertragung entwickelt, sie arbeiten in allen optischen Fenstern, bei 850 nm, 1.310 nm und 1.550 nm, haben eine geringe Strahldivergenz und eine einfache Faser-Einkopplung. Die Ausgangsleistung beträgt bei kontinuierlicher Strahlung über 1 mW. Mit VCSEL-Technik können vierkanalige Übertragungssysteme mit jeweils 10 Gbit/s, also insgesamt 40 Gbit/s über 300 m auf Multimodefasern realisiert werden.

Der VCSEL-Laser selbst benötigt keine externe Optik, dadurch entfallen kritisch zu justierende Teile wie Einkoppler, was den Laser-Aufbau unempfindlich macht gegen mechanische Erschütterungen.

VCSELs arbeiten auf einem Resonatorprinzip mit so genannten Bragg-Reflektoren, die bestimmte *Wellenlängen* reflektieren, andere hingegen absorbieren.

VLH *very long haul*

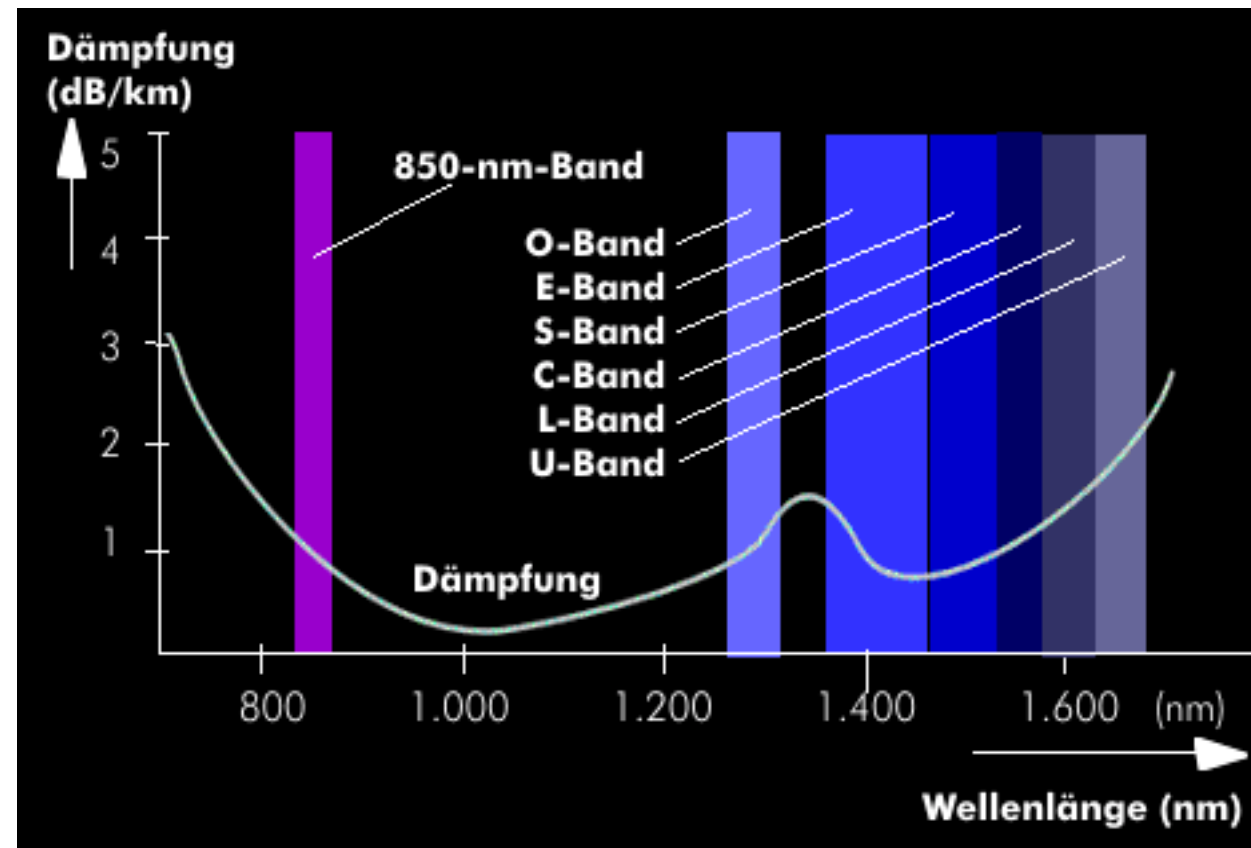
Very Long Haul ist eine von der ITU definierte optische *SDH*-Schnittstelle für sehr weite Entfernungen. Die übertragbaren Entfernungen sind abhängig von der *Wellenlänge* und liegen bei 1.300 nm bei 60 km und bei 1.550 nm bei 120 km.

Wellenleiterdispersion *(waveguide dispersion)*

Dispersionen wirken sich durch eine Verschlechterung der Gruppenlaufzeit und somit durch eine Verbreiterung der Impulse aus. Die Wellenleiterdispersion, oder auch Profildispersion, ist abhängig von der Konsistenz des *LwL* und der Einstrahlungsquelle. Selbst bei Ansteuerung mittels *Laserdiode* kann die Wellenleiterdispersion bei Monomodefasern und großen Entfernungen zum Problem werden.

Wellenlänge
(wavelength)

Von der ITU definierte
Wellenlängenbereiche für
die optische Übertragung



Unter der Wellenlänge versteht man den entfernungsmäßigen Abstand zwischen zwei gleichen, aufeinander folgenden Schwingungszügen einer periodischen Wellenbewegung. Die Wellenlänge ist abhängig von der Signalausbreitungsgeschwindigkeit. Die Wellenlänge wird mit dem griechischen

Buchstaben Lambda bezeichnet und errechnet sich aus der Frequenz und der Geschwindigkeit, mit der die Welle übertragen wird. Dies ist durchaus unterschiedlich zwischen elektromagnetischen Wellen, die über Luft übertragen werden, elektrischen Wellen in elektrischen Kabeln, optischen Wellen in *Lichtwellenleitern* und Schallwellen, die über Luft übertragen werden.

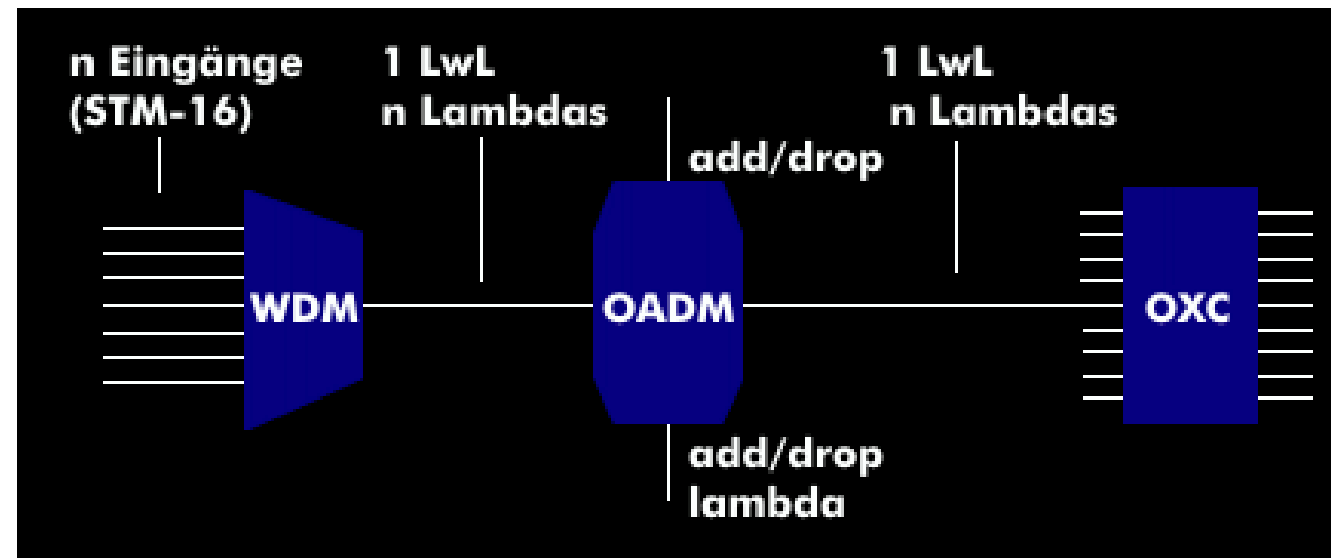
Bei der Lichtübertragung in *optischen Netzen* repräsentieren unterschiedliche Wellenlängen unterschiedliche, allerdings nicht sichtbare Farben.

Die ITU hat für die Übertragung in optischen Netzen sechs Übertragungsbänder definiert.

Es handelt sich dabei um das *O-Band*, *E-Band*, *S-Band*, *C-Band*, *L-Band* und *U-Band* im Wellenlängenbereich zwischen 1.260 nm und 1.675 nm. Ein weiteres Übertragungsband, das Multimedia-Band oder 850-nm-Band, ist nicht von der ITU definiert wird allerdings von IEEE für Gigabit-Ethernet vorgegeben, liegt im ersten *optischen Fenster* bei 850 nm.

- 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). Neben den erwähnten Verfahren gibt es auch die der optisch-elektrisch-optischen Umsetzung in Verbindung mit einer *3R-Regeneration*.
- Wellenlängen-Switching**
(*wavelength switching*) Das *Wellenlängen-Switching*, auch als Lambda-Switching oder Photonic-Switching bezeichnet, ist eine Schlüsseltechnik für die Vermittlungstechniken in optischen Transportnetzen (*OTN*) und damit auch in *Carrier-Ethernet*. Weitere sind das *Sub-Wellenlängen-Switching* und das Ethernet-Tunnel-Switching. Mit dem Wellenlängen-Switching können einzelne Wellenlängen eines eingehenden *Lichtwellenleiters* auf mehrere andere Wellenlängen eines ausgehenden *Lichtwellenleiters* geschaltet werden. In Verbindung mit der *DWDM-Technik*, mit der der Lichtstrahl in über 100 separate Wellenlängen aufgeteilt werden kann, wird mit dem Lambda-Switching ein virtueller Lichtpfad aufgebaut, vergleichbar einer virtuellen Verbindung. Lambda-Switching entspricht als Routingtechnik dem traditionellen Routing und Switching. Die Lambda-Router sind die Knoten an den Verbindungspunkten und werden durch die *optischen Crossconnect* (OXC) oder *optische Add/Drop-Multiplexer* (OADM) gebildet.
- Wellenlängenmultiplex**
(*WDM, wavelength division multiplexing*) WDM ist eine *LwL-Multiplex*technik, die zu einer besseren Ausnutzung der Lichtwellenleiter-Kapazität führt. Bei der WDM-Technik werden unterschiedliche Lichtwellenlängen zur parallelen Übertragung von mehreren Signalen genutzt. An *Wellenlängen* können die *optischen Fenster* bei 850 nm, 1.300 nm und 1.550 nm für

WDM-System



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.

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.

Die WDM-Technik, die in optischen Kernnetzen und im Anschlussbereich mit 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.

Die *DWDM-Technik* erlaubt in den verschiedenen Verfahren - *CWDM*, *DWDM*, *NWDM*, *WWDM* - Übertragungsraten bis in den Terabit-Bereich.

Bei fester *Übertragungsgeschwindigkeit* (z.B. Lichtgeschwindigkeit c) stimmt WDM mit Frequenzmultiplex (FDM) überein, weil $c = f \cdot \lambda$ ist.

WIXC, *wavelength interchange crossconnect*

Der WIXC erfüllt die Funktion des *WSXC* und die eines *Wellenlängen-Konverters*. Jede Eingangs-Wellenlänge kann in eine andere Ausgangs-Wellenlänge konvertiert und auf auf jede angeschlossene Glasfaser geschaltet werden.

So kann beispielsweise die Wellenlänge 1 von der Faser 1 in Wellenlänge 5 konvertiert werden und auf Faser 2 geschaltet werden.

WSXC, *wavelength selective cross-connect*

Ein *WSXC* arbeitet intern als *Wellenlängenmultiplex* und kann einzelne *Wellenlängen* von einem *Lichtwellenleiter* auf andere schalten. So beispielsweise die Wellenlänge 2 von der eingehenden Glasfaser 2 auf die ausgehende Glasfaser 3, oder die Wellenlänge 4 von LwL 1 auf den ausgehenden LwL 5. Ein solcher Crossconnect wird in vermaschten Netzstrukturen in Gebäuden eingesetzt, aber auch zur Verbindung von Mehrfach-WDM-Ringen. Dabei findet keine Wellenlängen-Konvertierung statt, die gleiche Wellenlänge wird in beiden miteinander verbundenen Ringen benutzt.

WWDM
wide wavelength division multiplex
WWDM-Verfahren

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.

XGM
cross gain modulation

Bei der Cross Gain Modulation (XGM), einem Verfahren für die Wellenlängenkonvertierung von Lasersignalen, wird die Konvertierung durch Kreuzverstärkungen erzielt, wobei der Wellenlängenversatz bei der so genannten CSS-Modulation von der Qualität des Mischungssignals abhängt.

- XPM** *cross phase modulation* Die Cross Phase Modulation (CPM) ist eines von mehreren Verfahren für die Wellenlängenkonvertierung. Dieses Verfahren nutzt einen SOA-basierten Mach-Zehnder-Interferometer und moduliert eingehende Trägerfrequenzen in der Phasenlage. Das Mach-Zehnder-Interferometer konvertiert diese Phasenmodulation in eine Amplitudenmodulation.
- Zweiwellen-Mischung** *two wave mixing* Die Zweiwellen-Mischung ist ein Verfahren zur Lichtverstärkung. Dieses Verfahren basiert auf Lichtbrechung, die vom Brechungsindex des Kristalls abhängt. Lichtsignale mit entgegengesetzter Phasenlage kompensieren sich gegenseitig oder löschen sich sogar aus, Lichtsignale mit gleicher Phasenlage verstärken sich gegenseitig, wobei das eine Lichtsignal Energie an das andere Lichtsignal abgibt. Wird die Information auf den verstärkten Lichtstrahl aufmoduliert, wird diese ebenfalls verstärkt.