

Ethernet über optische Netze

Die LAN-Technologie Ethernet dominiert die Firmennetze. Daher ist das Bestreben groß, Standorte über Ethernet zu koppeln. Hierbei kommt den Metro-Netzen eine große Bedeutung zu. Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Technologien und Märkte von SDH und WDM bis MPLS und optischen Netzen. Es werden ihre Kennzeichen, Funktionsweisen und Einsatzgebiete beschrieben, wobei das Zusammenspiel mit Ethernet im Mittelpunkt steht.

Ethernet

Verbreitung

Das Ethernet hat den LAN-Bereich geprägt [1a]; es stellt hohe Bitraten preiswert zur Verfügung und ist ein fester Bestandteil aller Firmennetze. Auch in Ihrem Firmennetz ist Fast Ethernet standardmäßig vertreten, und vielleicht nutzen Sie für bestimmte Anbindungen sogar Gigabit Ethernet. In einzelnen Fällen wird bereits 10 Gigabit Ethernet genutzt. Pioneer Consulting ermittelte für Gigabit Ethernet 2003 ein weltweites Marktvolumen von 13,7 Mrd. \$ [1] und für 10 Gigabit Ethernet 2003 ein Volumen von 359 Mill. \$ [1].

Bandbreite ist heute kein begrenzender Faktor mehr für anspruchsvolle Dienste. Geschwichtete Netze schaffen die Infrastruktur für den Einsatz von Voice over IP. Liegt es da nicht nahe, dank der großen Verbreitung von Ethernet auch Unternehmens-Standorte über Ethernet zu koppeln?

Standortkopplung per Ethernet?

Ob Sie in der Industrie oder im Handel tätig sind, die Kopplung der firmeneigenen Standorte spielt für fast alle Branchen und Unternehmen eine wichtige Rolle. Die Standortkopplung erfolgt meist über ein VPN oder über Mietleitungen [3] typischerweise mit Bitraten von 2, 34 oder 155 MBit/s. Mit Bitraten also, die mit Ethernet so gar nichts zu tun haben.

Metro-Netze

Besonderheiten

Die großen Unternehmen sind meist in den großen Städten präsent. Dort befinden sich die Hauptverwaltungen, die Zentralen und die Rechenzentren. Sie sind an die Stadtnetze angebunden und diese zeichnen sich durch eine Reihe von Besonderheiten aus: Eine große Zahl von Kunden, die ganz verschiedene Dienste und Anwendungen nutzen. Sie reichten z. B. von 319 Mrd. Festnetzminuten [3] über 23,6 Mrd. SMS [3], von Internet Zugängen über DSL [3] bis hin zu SAN-Kopplungen.

Infrastruktur

Den breitbandigen Anwendungen stehen heute gut ausgebaute Netze auf der Carrierseite zur Verfügung. Häufig handelt es sich um ein dichtes Netz an Kupferleitungen und um sehr gut ausgebaute Glasfasernetze. Selbst in kleineren Städten sind die Gewerbegebiete häufig an SDH-Ringen mit 2,5 GBit/s angeschlossen. Nach Einschätzung von Infonetics wird der Metro Ethernet Markt von 2,5 Mrd. \$ [2] im Jahr 2002 auf 5,7 Mrd. \$ [2] im Jahr 2005 steigen.

Netzstruktur

In Firmennetzen wird Ethernet eingesetzt, in den Stadtnetzen dagegen SDH. Und SDH unterstützt zunächst ganz andere Bitraten, nämlich die der PDH (z. B. 2, 34, 45, 140 [MBit/s]) und natürlich die Bitraten der SDH (155 MBit/s, 622 Mbit/s, 2,5 Gbit/s, 10 Gbit/s und 40 GBit/s). Anders ausgedrückt: Auf der Netzebene 1 domi-

niert im LAN die Ethernet-Technik, im WAN- und METRO-Bereich dagegen die SDH-Technik. Es gibt kaum Ähnlichkeiten zwischen SDH und Ethernet. SDH ist eine Übertragungstechnik, die zunächst nicht nur die Bitraten von Ethernet unberücksichtigt lässt, sondern sich auch um Switching von Ethernet- oder Routing von IP-Verkehr herzlich wenig kümmert. Was spricht also für SDH?

Kennzeichen von SDH-Netzen

Hier sind technische und marktwirtschaftliche Gründe anzuführen. Technisch betrachtet bietet SDH:

- sehr hohe Bitraten, bis 40 GBit/s (STM-256),
- Netzschutz, Umschaltzeiten unterhalb von 50 ms,
- Interworking zwischen verschiedenen Herstellern dank der Standardisierung, Ausnahme: das Management ist herstellerspezifisch,
- leistungsfähiges Netzmanagement, das auch und weltweite Netze überwachen kann und über große Entfernungen z. B. in den Transozeanen [5] eingesetzt werden kann.

Diese Vorteile führten dazu, dass die in SDH-Technik weltweit getätigten Investitionen 2001 etwa 18 Mrd. \$ [4] betragen.

SDH kann also Reichweitenbegrenzungen überwinden. Doch SDH unterscheidet sich fundamental von Ethernet. Wie bringt man die beiden Technologien also zusammen?



Ethernet über SDH

Bei der SDH-Übertragung gibt es ein Grundprinzip: Jedes zu übertragende Signal wird vor der Übertragung in geeignete Virtuelle Container (VC) eingepackt. Diese Virtuellen Container werden von der SDH in fünf Größen bereitgestellt. Am größten ist der VC-4 mit einem Fassungsvermögen von 140 MBit/s [6]. Doch 140 Mbit/s sind für das Ziel der Ethernet-SDH-Kopplung nicht ausreichend.

Für die Übertragung von größeren Bitraten als 140 Mbit/s gibt es eine Lösung: Verkettung. Dabei werden z. B. mehrere VC-4 logisch aneinander gekettet, so dass die nutzbare Bitrate $n \times 140$ Mbit/s beträgt.

So bieten fast alle Hersteller spezielle STM-16 (2,5 GBit/s) Karten an, die 2 x 1 Gigabit Ethernet Signale aufnehmen können. Verkettung wird auch für Router mit STM-16 Interfaces genutzt, um den STM-16 Paketstrom des Routers nicht als 16 x STM-1 im Netz konfigurieren zu müssen.

Diese Art der Verkettung ist starr und dauerhaft. Sie wird als contiguous concatenated bezeichnet und am kleinen "c" erkannt, z. B. STM-16c. Die notwendigen Karten werden in jedem SDH-Netzelement benötigt.

Große Hoffnungen richten sich daher auf eine virtuelle Verkettung. In diesem Falle wird eine besondere Karte nur am Netzein- und Ausgang benötigt. Durch geschickte Verkettung der Virtuellen Container lassen sich nun beliebige Bitraten transportieren. Um z. B. 1 Gigabit Ethernet zu übertragen, können sieben virtuell verkettete VC-4-Container verwendet werden. Diese werden dann als VC-4-7v bezeichnet. Sie fassen knapp 1050 MBit/s, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist. Leider sind die derzeitigen Lösungen hierfür nur proprietär, die Verabschiedung eines Standards zur virtuellen Verkettung wird jedoch erwartet.

SAN-Technologien über SDH

Die heute in den Unternehmen entstehenden immensen Datenmengen müssen gelagert werden. Für das "Storage" haben sich eigene Technologien entwickelt, um die Daten zu transportieren und zu speichern: die SANs – Storage Area Networks. In den SANs dominieren wieder andere Übertragungs-Technologien und Bitraten. Nach einer Prognose der ICD wird in diesem Bereich für 2004 ein weltweites Umsatzvolumen von 71 Mrd. \$ [6b] erwartet.

Sehr weit verbreitet im SAN ist die ESCON (Enterprise Systems Connection) Übertragungstechnologie. Pro ESCON-Kanal werden typischerweise 200 MBit/s benötigt. Viele hundert dieser Kanäle werden bei Datenspiegelungen eingesetzt. Auch hier kann Verkettung helfen. Für die Übertragung von 200 MBit/s ESCON-Kanälen über SDH können vier VC-3 (VC-3-4v) virtuell verkettet werden (Tabelle 1).

Um verschiedene Speichermedien innerhalb eines SANs über hohe Bitraten zu verbinden, wird häufig die Fibre-Channel-Technologie eingesetzt. Auch hier kann SDH durch geschickte Verkettung die Signale aufnehmen und transportieren (Tabelle 1).

Tabelle 1:

Über eine virtuelle Verkettung können unterschiedliche Technologien über SDH übertragen werden.

	Bitrate [MBit/s] Netto/ Brutto	SDH [MBit/s]	Virtuelle Verkettung
Gigabit Ethernet	1000/ 1250	1050	VC-4-7v
Fibre Channel	800/ 1000	900	VC-4-6v
ESCON	160/ 200	196	VC-3-4v

LCAS (G.7042)

Schnell kamen weitere Wünsche auf, um die SDH-Bandbreite so schonend wie möglich zu nutzen: Eine Verkettung freier virtueller Container soll auch dann möglich sein, wenn die virtuellen Container über verschiedene Wege laufen. Damit eng verbunden ist auch die folgende Anforderung: Der Netzschutz muss Sorge dafür tragen, dass der Ausfall eines einzelnen Weges nicht den Ausfall des gesamten Verkehrs zur Folge hat. Genau zur Beantwortung dieser Fragen wurde LCAS (Link Capacity Adjustment Scheme, G.7042) entwickelt.

Starre Verkehrsströme mit festen Bitraten haben wir damit im Griff. Doch eine Frage bleibt noch offen: Wie können variable Verkehrsströme, in denen Pakete burstartig zur Übertragung anstehen, effizient auf starre Virtuelle Container angepasst werden?

GFP (G.7041)

Mit der Generic Framing Procedure (GFP, G.7041) steht eine Lösung bereit, um Daten unterschiedlichen Ursprungs auf die SDH zu verpacken (mappen). Dazu stehen zwei Einstellungen zur Auswahl:

Sind die zur Übertragung anstehenden Rahmen (Frames) bereits vollständig eingetroffen? Dann wird die Einstellung frame mapped verwendet (Tabelle 2). Sie eignet sich für Ethernet Frames und IP-Pakete.

Sind die Daten zeitkritisch? Dann muss die Übertragung sofort erfolgen, also transparent (Tabelle 2). Hier ist insbesondere an ESCON und Fibre Channel gedacht worden. Diese Technologien werden in großem Umfang im SAN-Bereich eingesetzt, und dort sind viele Vorgänge zeitkritisch.

**Tabelle 2:**

Nutzung von GFP, um Daten verschiedenen Ursprungs über SDH zu transportieren.

	GFP-F Frame mapped	GFP-T Transparent
Voraussetzung:	komplette Rahmen	
Bedeutung:	Laufzeit-schwankungen	sofortige Übertragung
Einsatz:	Ethernet, für IP geplant	ECON, FICON, Fibre Channel, 1 Gigabit Ethernet

Unsere bisherigen Überlegungen hatten den Focus, Ethernet auf SDH zu mappen. Daneben gibt es auch die umgekehrte Bestrebung. Da STM-64 Interfaces am Router teuer sind, verglichen mit 10 Gigabit Ethernet Interfaces, drehen sich viele Überlegungen um eine Anpassung von Rahmen und Bitrate. Ähnlich dem Motto der drei Musketiere "Einer für alle – alle für einen" gilt auch hier: Eine Plattform für alle Technologien! Doch die zentrale Frage bleibt: Welche Technologier kann hierfür eingesetzt werden?

Ethernet über optische Netze

Eine Antwort darauf lautet WDM. Keine andere Technologie ist als universelle Plattform für alle Dienste und Technologien so geeignet wie WDM.

WDM

Ursprünglich wurde WDM bei Faserengpässen oder zum Ausbau der Kapazität auf einzelnen Strecken im WAN eingesetzt. Das Grundprinzip ist in Abb. 1 dargestellt: Es werden verschiedene Wellenlängen auf eine Faser gebündelt. Dieses relativ einfache Prinzip hat weitreichende Konsequenzen. WDM ist dadurch unabhän-

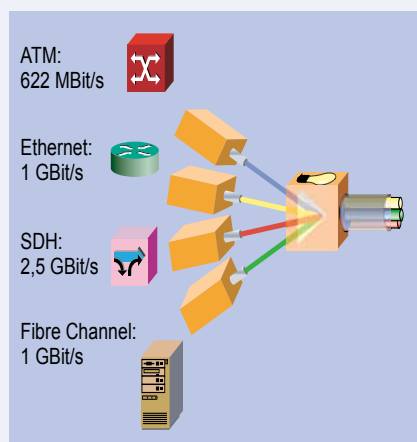


Abb. 1: WDM bedeutet Multiplexen von Wellenlängen.

gig von Rahmenstrukturen und Protokollen, von Overhead und Bitraten. Und genau deshalb ist es universell einsetzbar.

WDM-Markt

Der weltweite DWDM-Markt lag 2001 zwischen 7,1 – 9,8 Mrd. \$ [7,8]. Demgegenüber nimmt sich der europäische METRO-WDM-Markt trotz eines Equipment-Umsatzes von 285 Mill. \$ [9] im Jahr 2002 auf 363 Mill. \$ [9] in diesem Jahr gemäß einer Studie der RHK eher bescheiden aus. Wie kommt das?

DWDM – Dense WDM (G.694.1)

Metro-Netze stellen andere Anforderungen als WAN-Backbones, demzufolge kommen auch andere Geräte zum Einsatz. Die Ziele, die im WAN verfolgt werden, sind andere als die des Metro-Bereiches. Im WAN werden sehr hohe Kapazitäten über große Entfernungen benötigt, das Gerät muss skalierbar und wartungsarm sein. Deshalb setzen die meisten Carrier DWDM (Abb. 2) im WAN ein. Dafür werden viele Wellenlängen benötigt, die sich dicht in die optischen Fenster drängen.

Heutige Geräte bieten z. B. 10 GBit/s pro 160 Wellenlängen (=1,6 TBit/s) bei einem Kanalabstand von 0,4 oder 0,8 nm. Die Hersteller arbeiten be-

reits an der nächsten Generation. Erfolgreiche Tests mit Kanalabständen von 0,05 nm [10] für 2,5 GBit/s oder aber 1021 Kanälen [11] verheißen unbegrenzte Möglichkeiten. Der Terabit-Bereich [12] steht damit offen und wird z. B. bei Transozeannetzen intensiv genutzt. Diese Präzision fordert ihren Preis, und die Geräte sind teuer. Und so ist das Bestreben, Ethernet-Verkehr über teure Infrastruktur zu übertragen, sehr verhalten.

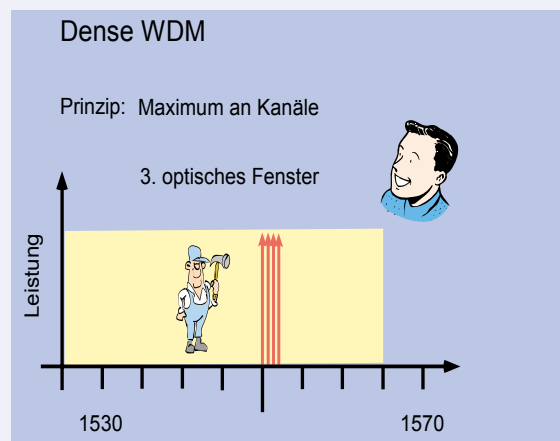


Abb. 2: DWDM: sehr viele Kanäle, sehr kleiner Kanalabstand mit hoher Leistung für große Reichweiten.

CWDM – Coarse WDM (G.694.2)

Bei CWDM (Abb. 3) kann man alle Vorteile des WDM nutzen, muss sie aber nicht bezahlen. Um also den Preis niedrig zu halten, sind die Laser nicht temperaturgeregelt, die Kanalabstände groß (20 nm) und die eingekoppelte Leistung so bemessen, dass sich 50 km Reichweite oder etwas mehr erreichen lassen. Und so sind es vornehmlich diese Geräte, die im Metro-Bereich und den Firmennetzen zum Einsatz kommen.

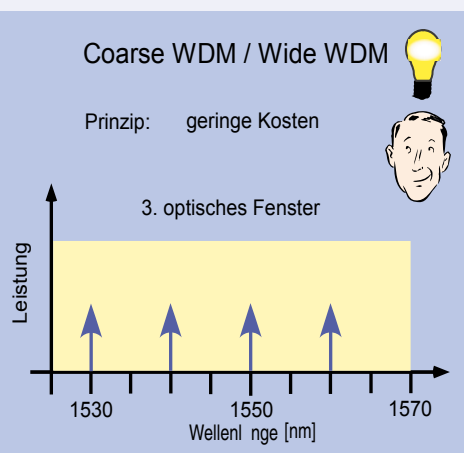


Abb. 3: CWDM: wenige Kanäle im großen Abstand zu günstigen Preisen

DWDM über CWDM

Die Begrenzungen von CWDM liegen in der Reichweite und der Skalierbarkeit, doch kann erstgenanntes durch optische Verstärker und letztgenanntes durch ein geschicktes Einbeziehen von DWDM umgangen werden. Um einen nachträglichen Kapazitätsausbau zu realisieren, kann ein CWDM-Kanal durch mehrere, da enger zusammenliegende DWDM-Kanäle nachträglich ersetzt werden, freilich unter Abstrichen der ursprünglichen Kostenvorteile.

Optische Netze

Doch WDM eröffnet ganz neue Dimensionen. Mit der Vielzahl an Wellenlängen, durchstimmbaren Lasern und optischen Switches ist alles bereit für optische Netze. Diese optischen Netze zeigen interessante Gemeinsamkeiten mit MPLS (Multiprotocol Label Switching). Die zentrale Idee und zugleich das fundamentale Kennzeichen des Label Switching ist es, am Netzeingang eine Routingentscheidung zu treffen (und nur dort!), während im Netzkern gswitched wird.

Die Vision des MPLS

MPLS vergibt dazu mit dem Protokoll LDP (Label Distribution Protocol) auf den einzelnen Wegabschnit-

ten Labels. Die MPLS-Router pflegen für diese Labels eine zusätzliche Tabelle, die FIB – Forward Information Base. Die Arbeitsweise kennen Sie vom Umsteigen am Bahnhof her: Ankunft auf Gleis 4, zur Weiterfahrt auf Gleis 12. Das ist Switching.

In Abb. 4 sind die Labels als Farben dargestellt und der Einfachheit halber, alle Abschnitte zum Ziel mit der gleichen Farbe versehen. Die MPLS-Router (LSR – Label Switch Router) lesen das Label, werten die FIB aus und schalten das Paket auf den Ausgabe-Port.

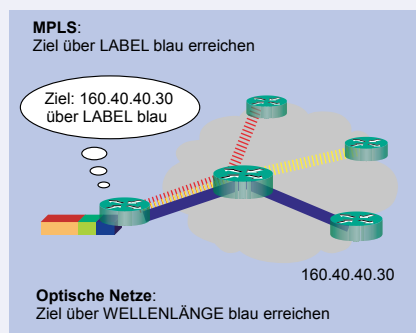


Abb. 4: Analogie zwischen MPLS und optischen Netzen

Die Wellenlängen sind die Labels

Optische Netze können das ebenfalls. Hier werden nicht Labels in Headern von Paketen für die Wegabschnitte, sondern Wellenlängen für Ziele vergeben. Die Trassen im Netz mit hoher Verkehrslast bekommen dafür eine eigene Wellenlänge. Im Netzkern sind optische Switches, sie schalten rein optisch. Optische Switches werden von verschiedenen Herstellern angeboten. Mit ihnen können 4-32 Wellenlängen [13] gswitched werden.

Wellenlänge statt Adresse

Am Netzeingang wird die Adresse ausgewertet und erkannt, dass dieses Ziel über die Wellenlänge blau (Abb. 4) erreicht wird. Jetzt dient die Wellenlänge als Adresse. Das Paket wird auf Wellenlänge blau gelegt z. B. mittels durchstimmbarer Laser. Diese verfü-

gen über verschiedenen Ausgabe-Wellenlängen, die die Kanalabstände bei WDM bereits berücksichtigen.

Transparente optische Netze

Man sieht sofort die Vorteile dieser Lösung: Da auf Basis von Wellenlängen gearbeitet wird, ist man unabhängig von Protokollen und Bitraten. Damit entfallen sämtliche Konvertierungen, mit denen wir uns z. B. bei Ethernet über SDH, LCAS und GFP beschäftigten. Das bedeutet auch, dass man anders als im MPLS-Umfeld keine vertieften Protokollkenntnisse in IS-IS, OSPF, BGP-4 und ggf. in ATM benötigt. Die Unabhängigkeit von bestimmten Bitraten stellt einen Investitionsschutz dar.

Optische Netze stellen eine einheitliche und außerordentlich leistungsstarke Plattform für alle Technologien, Dienste, Protokolle und Anwendungen bereit.

Licht und Schatten

Wo Licht ist, fällt auch Schatten. Optische Switches und die benötigten durchstimmbaren Laser sind verhältnismäßig teuer, und Investitionen werden gegenwärtig eher zurückgestellt. Die Anzahl der Wellenlängen, die als Adressen Verwendung finden, ist begrenzt. Diese Begrenzung resultiert aus den optischen Fenstern, d. h. aus der Natur der Glasfaser. Das bedeutet, es können ebenso viele Trassen eingerichtet werden, wie Wellenlängen vorhanden sind. Für die Trassen mit sehr hoher Verkehrslast ist die Anzahl der Wellenlängen sicherlich ausreichend, doch die Flexibilität, die über Routing-Protokolle möglich ist, bleibt zunächst unerreicht.

Ausblick

Doch die Planungen gehen weiter. Die Begrenzung der Wellenlängen kann umgangen werden, wenn die Geräte am Netzeingang über zwei Eigenschaften verfügen: Intelligenz und



durchstimmbare Laser. Ein Router kann seine Pakete auf mehreren Wellenlängen ausgeben. Das Paket kommt auf Wellenlänge blau herein, die ist aber auf dem nächsten Wegabschnitt schon vergeben. Unser intelligenter Router erkennt dies und muss einen Wellenlängenkonflikt vermeiden. Also ändert er Wellenlänge blau auf gelb, die ist auf dem Abschnitt noch nicht verwendet. Die Analogie zu MPLS wird deutlich: Lesen eines Labels, Ausgabe mit einem anderen Label.

Diese Arbeitsweise optischer Netze wird als Virtual Wavelength Path Routing bezeichnet. Sie ist sehr leistungsstark und verfolgt ähnliche Ziele wie MPLS, allerdings auf ganz anderem Wege. Das optische Verschalten ist ein Schritt in Richtung eines Konzepts, welches bei der IETF als GMPLS, Generalized MPLS [14], aktuell diskutiert wird.

Zusammenfassung

Ausgehend von Ethernet werden die Märkte beobachtet und die Technologien beschrieben, die als zukunftsweisend für den Metro-Bereich gelten. Metro-Netze basieren auf SDH-Technik, und SDH bietet Verkettung und GFP an, um Ethernet-Rahmen zu mappen. WDM kann als universelle Plattform für Ethernet und andere Technologien wie Fibre Channel dienen. WDM-Netze können mit Routern und optischen Switches zu optischen Netzen ausgebaut werden. Hier können Wellenlängen geschwitched werden, was dem Switchen von Labels bei MPLS sehr ähnlich ist. Verglichen mit MPLS stellen optische Netze einen vielversprechenden Ansatz dar, der bei der aktuellen Diskussion um GMPLS bereits berücksichtigt wird.

Kurse

Zu dem beschriebenen Themenfeld bieten wir folgende Kurse an:

- Moderne Metro-Technologien – Ethernet, DPT, RPR, WDM, Fibre Channel (Verfügbar 2004)
- [Optische Netze und WDM – Übertragung und Verschaltung](#)
- [Synchronous Digital Hierarchy – Strukturen, Taktung, Netzschutz](#)
- [Optical Transmission Networks \(E-Learning\)](#)
- [Ethernet-Netzwerke – Verkabelung, Hardware, Protokolle](#)
- [Multiprotocol Label Switching – Grundlagen und Anwendungen](#)

Weitere Informationen gibt es immer auf unserer Homepage www.experteach.de.

Anhang

Blick auf den Markt

1 GE-Markt (Pioneer Consulting)

2003: \$13.7 bn
2008: 7.4 bn

Pioneer Consulting. "The Evolution to 10-Gigabit Ethernet: A Fresh Assessment of Worldwide Opportunities in Access, LAN, MAN and WAN Markets" zitiert in fibers.org, 27.02.2003, <http://www.fibers.org/articles/news/5/2/20/1>

10 GE-Markt (Pioneer Consulting)

2003: \$359 m 2008: 2.6 bn

Pioneer Consulting. "The Evolution to 10-Gigabit Ethernet: A Fresh Assessment of Worldwide Opportunities in Access, LAN, MAN and WAN Markets" zitiert in fibers.org, 27.02.2003, <http://www.fibers.org/articles/news/5/2/20/1>

DWDM-Markt weltweit

(International Data Corp.)

2001 \$ 9.8 billion
2005 \$37 billion

Integrated Communications Design, June 18, 2001, vol. 4, no. 6, p. 12 "Intel acquires optical-networking business lines"

DWDM-Markt weltweit

(KMI, 2001)

1998: \$ 2.3 billion
1999: \$ 4.2 billion
2000: \$ 8.3 billion
2001: \$ 7.1 billion (- 14%)

KMI: "DWDM Markets in Transition" LightWave, 12.10.2001, "Global DWDM market to resume growth in 2002, varying by region" http://lw.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=OnlineArticles&SubSection=Display&PUBLICATION_ID=13&ARTICLE_ID=121736&email=101201

Ethernet over WDM

"The number of customers that need to transport even 100 Mbit/s of Ethernet across the WAN [wide-area network] is relatively small," says Ron Steudler, systems architect for Agere. "The number of customers that require GigE connections between buildings is also very small. Of the \$12 bn being spent on telecom equipment, less than \$50-100 m is spent on delivering Ethernet over WDM in metro networks."

Fibers.org, 16.04.2003, "Ethernet and WDM are a winning combination" by Annie Lindstrom <http://fibers.org/articles/news/5/4/12/1>

Zahlen: p. 3, FibreSystems Europe February 2003 p21.

Ethernet Metro market (Infonetics)

Market for metro Ethernet equipment, Infonetics

2002: \$ 2.5 bn
2006: \$ 5.7 bn

Zitiert in Fibers.org, 16.04.2003, "Ethernet and WDM are a winning combination" by Annie Lindstrom <http://fibers.org/articles/news/5/4/12/1>

Zahlen: p. 1, FibreSystems Europe February 2003 p21.

European Metro WDM market (RHK)

2001: about \$375 million (der Grafik entnommen, blaue Säule)
2002: \$285 million
2003: \$363 million

"As a result, metro WDM now represents just over 10% of the optical networking-equipment market in Europe and could reach 13% in 2003."

Fibers.org, 07.04.2003, "Will WDM measure up in the metro network?" by Mark Lum (RHK), Roy Rubenstein (RHK), <http://fibers.org/articles/news/5/4/6/1>
FibreSystems Europe February 2003 p13.



Fibre Channel

Garnter Dataquest, 2002
 Markt für Fibre Channel Produkte:
 2001: 1,46 Mrd. \$ +13%
 Marktanteile: 34% Brocade
 Communications Systems

Metro Ethernet Markt

Nach Einschätzung von Infonetics wird der Metro Ethernet Markt von 2,5 Mrd. \$ [2] im Jahr 2002 auf 5,7 Mrd. \$ [2] im Jahr 2005 steigen.

SDH

KMI Research, 2002
 SONET/SDH/Next-generation.
 2001: \$ 1 billion
 2006: \$18 billion
 Traditional SONET/SDH
 2000: \$ 17.4 billion
 2006: \$ 4.6 billion
 Digital cross-connect (DXC)
 2000: \$ 4.0 billion
 2006: \$ 2.6 billion

KMI: "Optical Networking: SONET/SDH/Next-Generation Equipment" Zitiert in LIGHTWAVE europe, July 2002, p.13, "Next-generation SONET/SDH market USD18bn by 2006"

Storage Market (IDC)

Storage market: 2004: USD71bn
 Software USD9bn
 services USD24
 LIGHTWAVE Europe, July 2002, p.13, "Storage market USD71bn by 2004"

Literatur

[1a] Stefan Marthe, LANline, I/2003, März 2003, S.82-85, "Glasfasernetze in Unternehmen"

[1] Pioneer Consulting. "The Evolution to 10-Gigabit Ethernet: A Fresh Assessment of Worldwide Opportunities in Access, LAN, MAN and WAN Markets" zitiert in fibers.org, 27.02.2003,
<http://www.fibers.org/articles/news/5/2/20/1>

[2] Zitiert in Annie Lindstrom, Fibers.org, 16.04.2003, "Ethernet and WDM are a winning combination"
<http://fibers.org/articles/news/5/4/12/1>, Zahlen: p. 1, FibreSystems Europe February 2003 p21.

[3] Regulierungsbehörde, Jahresbericht 2002 – Marktbeobachtungsdaten der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
 A) Telekommunikationsdienstleistungen 2002: 61 Mrd. €, Verteilung: 36% Festnetz, 33% Mobilfunk, 14,6% Sonstige, 9,5% Carrier-Carrier (Interconnection), 4,6% Kabelfernsehen, 2,3% Mietleitungen, S.14
 B) Festnetzwahlverbindungen: 319 Mrd. Minuten, werden die DSL-Verbindungen hinzuge-rechnet: 413 Mrd. Minuten, S.22
 C) S.27,28
 D) Ende 2002: 3,195 Mill. DSL-Anschlüsse, S.18

[4] KMI Research, 2002: "Optical Networking: SONET/SDH/Next-Generation Equipment" Zitiert in LIGHTWAVE Europe, July 2002, p.13, "Next-generation SONET/SDH market USD18bn by 2006"
 17,4 Mrd \$ entfallen auf klassische SDH und 1 Mrd. \$ auf Next-Generation Equipment.

SONET/SDH/Next-generation
 2001: \$ 1 billion
 2006: \$18 billion
 Traditional SONET/SDH
 2000: \$ 17.4 billion
 2006: \$ 4.6 billion
 Digital cross-connect (DXC)
 2000: \$ 4.0 billion
 2006: \$ 2.6 billion

[5] Transozeannetze, das SEA-ME-WE 3 (South East Asia-Middle East-Western Europe) ist ein SDH-Netz. Es verbindet 39 Punkte in 33 Ländern und hat eine Gesamtlänge von ca. 38.000 km.

ALCATEL, <http://www.alcatel.com/telecom/mbd/publi/newslink/9902/cover.htm>
 Telekom Praxis 11/98 D. Freudensprung et al, "Seekabelanlagen für internationale Telekommunikation", S. 15-28

LIGHTWAVE, May 2002, "China Mobile chooses France Telecom for first interconnection deal", p. 59 (1, 59-60),
http://lw.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=Archives&Subsection=Display&ARTICLE_ID=143000

[6] Der Nutzlast des VC-4 fasst knapp 150 MBit/s z. B. im Falle von ATM-Zellen: 9 Zeilen * 260 Spalten * 8 Bit/Byte * 8000 Rahmen/s = 149,76 MBit/s
 Für das Mapping eines E4-Signals sperrt die Rahmenstruktur die X- und Y-Bytes..

[6a] CIR Inc., 2003: "Bandwidth Services Forecast Report: 2003-2006"
 LightWave, 30.04.2003, "US optical bandwidth services market to top \$4.5 billion by 2006, says CIR" http://lw.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=OnlineArticles&SubSection=Display&PUBLICATION_ID=13&ARTICLE_ID=175110&pc=ENL
 market opportunity for services provisioned over optically based circuits
 2003: \$2.08 billion
 2006: \$4.62 billion
 "[...] SONET-based OC-n services will dominate the overall market, capturing a 60% share each of the next four years [...]"

[6b] LIGHTWAVE Europe, July 2002, p.13, "Storage market USD71bn by 2004"
 Storage Market (IDC)
 Storage market: 2004: USD71bn
 Software USD9bn
 services USD24

[7] KMI: " DWDM Markets in Transition" LightWave, 12.10.2001, "Global DWDM market to resume growth in 2002, varying by region",

http://lw.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=OnlineArticles&SubSection=Display&PUBLICATION_ID=13&ARTICLE_ID=121736&email=101201

DWDM-Markt weltweit (KMI, 2001)
 1998: \$ 2.3 billion
 1999: \$ 4.2 billion
 2000: \$ 8.3 billion
 2001: \$ 7.1 billion (- 14%)

[8] Integrated Communications Design, June 18, 2001, vol. 4, no. 6, p. 12 "Intel acquires optical-networking business lines"
 DWDM-Markt weltweit (International Data Corp., 2001)
 2001 \$ 9.8 billion
 2005 \$37 billion

[9] Mark Lum, Roy Rubenstein, Fibers.org, 07.04.2003, "Will WDM measure up in the metro network?"
<http://fibers.org/articles/news/5/4/6/1>, FibreSystems Europe February 2003 p13.
 "As a result, metro WDM now represents just over 10% of the optical networking-equipment market in Europe and could reach 13% in 2003."

[10] Laser Focus World, December 2001, Vol. 37, No. 12, Technology Review 2001, p. S16, "Dense WDM channels, new fibers", Feldtest von vier Unternehmen

[11] Susan Curtis, Fibers.org, 02.04.2003, "Life in the ultrafast lane",
<http://fibers.org/articles/news/5/4/2/1>, FibreSystems America & Asia March 2003 p25
 "[...] Knox and his colleagues to build and demonstrate a WDM system with 1021 separate wavelengths."

[12] Stefan Marthe, Scientific Reports, IWKM 2000, Band C, Kommunikationstechnik, "Der Aufbruch in den Terabit-Bereich – Visionen und Wirklichkeit aus der Sicht des Marktes"

[13] Optische Netze und WDM – Übertragung und Verschaltung, ExperTeach 2003

[14] <http://www.ietf.org/internet-drafts/draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-07.txt>