

Optische Netze – Einführung und Motivation

1

Optische Netze sind die Zukunft der Datenverarbeitung. Sie stellen bisher ungeahnte Bandbreiten im Tb/s-Bereich zu einem enorm günstigen Preis pro Bit zur Verfügung. Sie übertreffen die kühnsten Visionen hinsichtlich der Verteilbarkeit von Anwendungen. Der Kapazitätsbedarf des Internets verdoppelt sich je nach geografischer Sichtweise alle sechs bis zwölf Monate. Eine Sättigung der Teilnehmerzahlen ist höchstens in Nordamerika zu erwarten, in allen anderen Teilen der Welt steht das enorme Wachstum erst noch bevor. Insgesamt besitzen noch keine 3% der Weltbevölkerung einen Internet-Anschluss. Die Internet-Bewegung würde völlig ins Leere laufen, wenn man sich bei der Übertragungstechnik auf die bekannten konventionellen Systeme verlassen müsste. Die elektronischen Switches können ihre Übertragungsleistung nämlich nur gemäß dem Moore'schen Gesetz erhöhen, was in etwa eine Verdoppelung der Möglichkeiten ca. 18 Monate vorsieht. Die Schere zwischen Anforderungen und Möglichkeiten geht also immer weiter auseinander.

Optische Datenübertragung gibt es theoretisch schon seit mehreren Jahrzehnten. Die Technologie hat aber gerade in den letzten Jahren erhebliche Umbrüche mitgemacht und speziell für die Optischen Netze bedeuten diese Umbrüche, dass man nicht mehr wie bisher lediglich die Übertragung als solche auf optischen Medien vornehmen kann, sondern zunehmend auch die Funktionen des Kernnetzes, wie Routing und Switching, durch rein optische Technologien realisieren kann.

Bei den Fernnetzen ist der SONET-Standard allgegenwärtig. Er hat durch seine Eigenschaften dazu beigetragen, dass sich die weltweite Kommunikation im letzten Jahrzehnt so enorm entwickeln konnte. Sein wichtigster Beitrag liegt sicher in der Herstellung der Interoperabilität der Lösungen unterschiedlicher Hersteller. SONET ist eine Entwicklung aus den USA und Kanada, die aber letztlich auch in ITU-Standards im Rahmen der synchronen optischen Netzwerkhierarchie eingebettet wurde. Ein weiterer Vorteil von SONET ist die enorme erreichbare Stabilität der nach dem Standard aufgebauten Netze, besonders durch das schnelle Wiederaufsetzen nach Fehlern.

Der synchrone Übertragungsstandard ist allerdings auch sehr komplex und bezieht einen Teil dieser Komplexität aus der Tatsache, dass er im Rahmen der durch die Telefonie geprägten Telekommunikationssysteme entworfen

wurde. Es gibt im Standard eine Vielzahl von Möglichkeiten, Datenströme geringer Bandbreite, wie sie eben bei digitaler Telefonie entstehen, systematisch zu multiplexen, zu pflegen und zu übertragen. Das ist angesichts des Entwicklungshorizonts auch verständlich, führt allerdings zu einer starken Fixierung auf eben diesen Bereich.

Blickt man einige Jahre zurück, dann war der Hauptverkehr in Fernnetzen durch die Telefonie geprägt und der Datenverkehr hatte eine relativ untergeordnete Rolle. Das sieht man auch daran, dass der Datenverkehr oftmals in Telefonformate eingepackt wurde, wie das z.B. im privaten Bereich durch ISDN immer noch geschieht.

Man hat irgendwann gesehen, dass der Datenverkehr einen immer größeren Anteil haben würde, aber die Dinge dennoch falsch eingeschätzt. So kam es zur Entwicklung von ATM, bei dem Datenströme und anderer Verkehr störungsfrei übertragen werden sollten, und zwar auf der Grundlage von asynchronen Zellenströmen, die sich, zwar mit herben Verlusten in der Performance, aber immerhin, auf der SONET-Infrastruktur abbilden lassen. Die Datenraten in ATM und SONET wurden so gut wie es geht aufeinander abgestimmt.

Im Nachhinein ist man immer schlauer, aber man wird den Eindruck nicht los, dass die Entwickler von ATM völlig übersehen haben, dass sich ein anderer Standard entwickelt hat, der alles andere an sich zieht: IP. Zunächst wegen ISO-OSI von der Welt vergessen, feierte die IP-Protokollwelt ihre erste Renaissance im Rahmen der PC-Vernetzung, wo sich User von den proprietären Vorstellungen der Serversoftware-Hersteller wie Novell lösen wollten. Etwas später begann die Internet-Welle zu rollen. Warscheinlich würde aber auch heute immer noch niemand über die Entwicklung des Internets sprechen, wie wir sie heute sehen, wenn nicht die Kommerzialisierung einen wesentlichen Vortrieb gegeben hätte. Mittels neuer Marketing-Konzepte hat die Hoffnung auf das E-Business den Ausbau der Netze wesentlich vorangetrieben. Auch wenn dies in Wellen erfolgt, kann man davon ausgehen, dass der elektronische Handel vor allem im Business-to-Business-Bereich blüht und ca. ab 2003 zu Umsätzen im Bereich von Trillionen US\$ führen wird, einfach wegen der erheblichen damit einhergehenden Vereinfachungen.

Mit ähnlicher Dramatik verlief die Situation bei den Corporate Networks. Nach Jahrzehnten der Herstellerbindung hat sich der LAN-Standard Ethernet zusammen mit IP als einheitlichem Protokoll fulminant durchgesetzt und alle Alternativen in Rente geschickt. Die auf Nebenstellenanlagen basierte Sprachkommunikation in Unternehmen wird ebenfalls auf die IP-LANs verlegt.

Sieht man sich aber in den Bereichen LAN und WAN die Verteilung der Verkehrsarten an, so merkt man, dass der Sprachverkehr prozentual immer weniger wird, einfach deshalb, weil jeder ein Telefon hat, die Anzahl der Telefonate nicht mehr wirklich steigerbar ist und daher insgesamt bezüglich der aggregaten Datenrate praktisch konstant bleibt bzw. ganz schwach wächst. Demgegenüber wächst der Datenverkehr immens und verdoppelt sich im oben angegebenen Zeitraum. Lösungen, die den Sprachverkehr betreffen, sind also zunehmend Sonderlösungen.

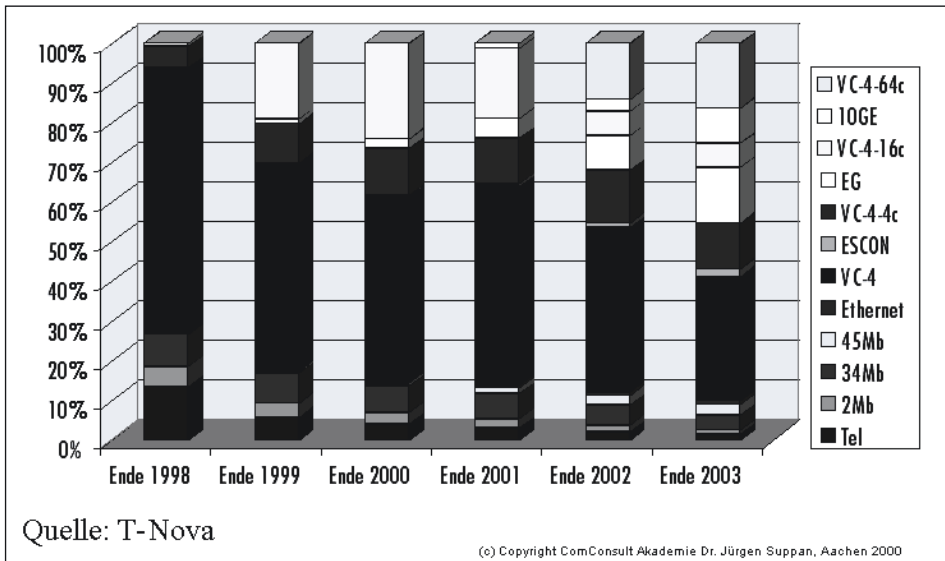


Abb. 1.1.1: Verteilung der Verkehrsarten

Dies trifft die Besitzer von SONET- oder ähnlichen Systemen, also die klassischen Carrier besonders stark, denn sie haben eine Infrastruktur, die optimal für etwas ist, was man eigentlich kaum noch benötigt, eben den konventionellen Sprachverkehr, und sind in keiner Weise darauf gerüstet, mit den Anforderungen des Datenverkehrs zu wachsen. Aber es kommt noch schlimmer: alternative Carrier kaufen Equipment, welches nichts weiter macht als IP-Pakete direkt mit optischen Datenübertragungsressourcen zu verbinden. Damit können sie ein ganz anderes Preis/Leistungsverhältnis erzielen und die konventionellen Anbieter gehörig unter Druck setzen.

Der LAN-Standard Ethernet ist offensichtlich für die Anforderungen des nächsten Jahrzehnts wesentlich besser gerüstet. Nachdem man mit Gigabit-Ethernet auch hohe Übertragungsanforderungen innerhalb von Corporate Networks sehr preisgünstig realisieren konnte und sich dies auch mit atem-

beraubender Geschwindigkeit im Markt durchgesetzt hat, ist mit 10-Gigabit-Ethernet zum ersten Mal ein Standard aufgetaucht, der die Perspektive dieses so erfolgreichen LAN-Standards auf größere Netze erweitert. Für Metroanwendungen wird einfach die Reichweite, die man mit vergleichsweise preiswerter optischer Übertragungstechnologie bei diesem System erzielen kann, drastisch erhöht. 40km laut Standard bedeuten in der Praxis durchaus auch 100km mit passenden Produkten. Ein Standard ist ja immer nur eine Menge von Minimalanforderungen, die von allen eingehalten werden können.

Für den Einsatz in WAN-Umgebungen bekommt der ehrenwerte Ethernet Standard nun zum ersten Mal eine SONET-kompatible Schnittstelle, direkt auf dem Niveau von SONET OC 192-c, also auch bei ca. 10 Gb/s Mit diesen Erweiterungen ist es möglich, Metro- und Fernnetze aufzubauen, die ihrer Art und Natur nach reine IP-Datennetze sind. Sprachverkehr wird man dann mit externer Adaption auf diese Netze bringen und somit werden sich die Rollen in Netzwerken endlich vertauschen.

Dies ist eine Kulturrevolution für die Netze, denn wenn man sich ansieht, wie die optischen Komponenten arbeiten, ist alles andere kalter Kaffee. Man kann davon ausgehen, dass die Technologie der Optischen Netze jetzt wirklich beginnt und in den nächsten Jahren alle elektronischen Komponenten großer oder sehr leistungsfähiger Netze aus dem Kern an den Rand verbannt werden. Dort hat die Elektronik nach wie vor ihre Aufgaben, vor allem in der Konzentration von langsamen Datenströmen. Man sieht auch, dass es für die nächsten Jahre nicht möglich sein wird, optische Switches mit optischen Signalen zu kontrollieren, sondern es zeichnet sich eine Trennung zwischen der Ebene der optischen Übertragung und der Kontrolle des Netzes durch eine ausgefeilte Elektronik ab. Mehr oder minder schnell aus leistungsfähigen oder großen Netzen verschwinden wird die Übertragung auf metallischen Leitern, weil sie einfach auf ca. ein Gb/s auf eine Entfernung von 100m ohne Zwischenverstärker limitiert ist. Metallische Leiter wird es aufgrund ihrer geringen Kosten weiterhin und auf viele Jahre gesehen in Versorgungsbereichen geben, sei es für private Endkunden oder Teilnehmer in einem Corporate Network. Eine wenn auch passive optische Technologie hat zumindestens für Europa noch keine tragfähige Marktreife hinsichtlich des Kosten/Nutzen-Verhältnisses erreicht. Dazu müssten auch die Bedarfe der privaten Haushalte derart ansteigen, dass man sie nicht mehr z.B. durch die Anwendung von Breitband-Koaxialkabel, befriedigen kann.

Es gibt ein ganz einfaches und nachvollziehbares Argument, weshalb die Entwicklung des Internets nur mit optischer Technologie im gewünschten Maße vorangetrieben werden kann. Der Datenverkehr im Internet verdoppelt sich alle 6-12 Monate, je nachdem, welche Prognose man zugrunde legt.

Elektronische Schaltkreise konnten in den letzten Jahrzehnten aber nur nach dem Gesetz von Moore wachsen, ihre Leistung also nur alle 18 Monate verdoppeln. Die Grafik 1.1.2 zeigt sehr anschaulich, dass die Leistung der optischen Übertragungstechnologie wesentlich schneller gewachsen ist. Wäre sie nur mit Moore's Law gewachsen, stünden wir heute ca. bei 50 Gb/s für eine Leitung, möglich ist aber weit über ein Tb/s. Denkt man die Szenarien zu Ende, ergibt sich daraus auch eine dramatische Senkung der Kosten pro übertragenem Bit.

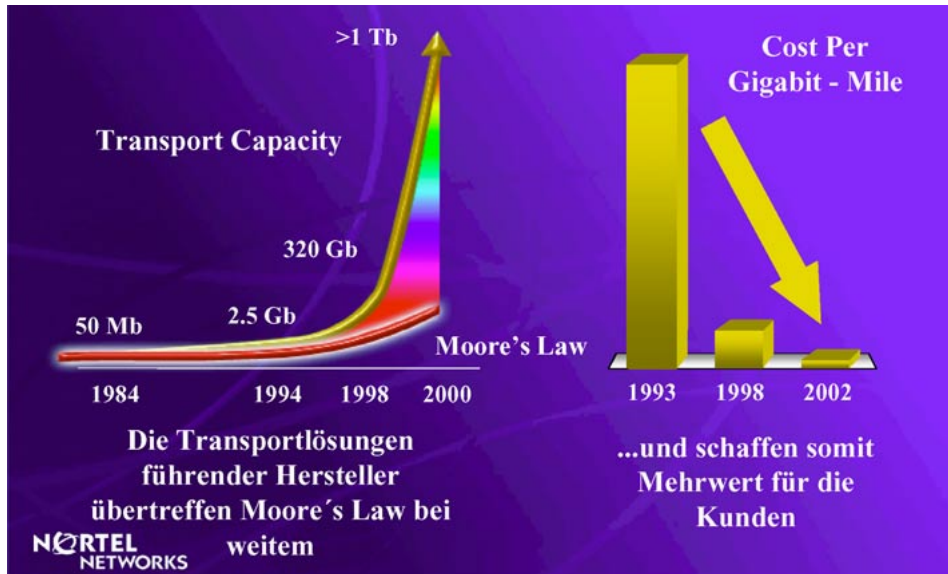


Abb. 1.1.2: Wachstum der optischen Übertragungstechnologie

Allerdings werden auch die Unternehmen von der optischen Technologie erfasst. Wenn man sich ansieht, wie viele Unternehmen auch in Deutschland schon Gigabit-Ethernet haben, kann man sich ausrechnen, wie der Verlauf für die Einführung von 10-Gigabit-Ethernet sein wird. Und exakt zwischen diesen Technologien vollzieht sich der »elektro-optische Bruch«: ein Gigabit kann man noch mit Ausnutzung aller Tricks der Nachrichtentechnik auf metallischen Leitern übertragen, 10 Gigabit definitiv und auch in begründeten Ausnahmefällen nicht mehr.

Durch den enormen Wettbewerbsdruck werden die Carrier in den nächsten Jahren die Struktur ihrer Teilnehmeranschlüsse massiv verändern. In den USA kann man schon sehen, was dabei herauskommt. In vielen Städten der USA gibt es schon ein sog. Yipes Metronetz. Ein solches Netz hat nur eine Sorte Teilnehmeranschluss, nämlich Ethernet mit 100 Mbit/s oder 1 Gb/s zu

einem Preis von ca. 1000 US\$ für den Gigabit-Anschluss. Extreme Standardisierung und die Beschränkung auf das Wesentliche machen es möglich. Der Betrieb eines Yipes-Netzes kann im Grunde von Personal durchgeführt werden, welches lediglich auf Ethernet geschult ist, aber nicht auf Fernnetze und SONET. Auch dieses Personal trägt zur Kostenreduktion bei.

Spätestens dann, wenn solche Anschlussmöglichkeiten auch mit einer hinreichenden Flächendeckung in Deutschland verfügbar sind, wird den größeren Unternehmen klar, dass sie am besten fahren, wenn sie eine einheitliche Sicht des optischen Transportnetzes in einer Kombination aus ihren eigenen 10-Gigabit-Ethernets und den neuen WAN-Möglichkeiten erschließen. Es tun sich aber auch völlig neue Märkte auf, so z.B. für alle, die aus irgendwelchen Gründen leistungsfähige Glasfaser-Infrastrukturen haben und diese im Rahmen von neu zu schaffenden Metronetzen mit relativ einfacher Technologie, nämlich 10-Gigabit-Ethernet mit Wellenlängenmultiplex, ganz anders nutzen können als bisher. Vor allem entsteht durch die Verwendung des Wellenlängenmultiplex in der ersten Zeit eine erhebliche Überkapazität, die man dann günstig weiterverkaufen kann, und sei es nur, um die Konkurrenz und die klassischen Carrier zu ärgern.

Persönlich sehe ich beim Schreiben dieses Buches erhebliche Parallelen zu »Lokale Netze«. Als ich dieses Buch 1983 geschrieben habe, gab es die LAN-Technologie in USA und Europa bei nur wenigen Anbietern. Die Standardisierungssituation war etwas unübersichtlich, aber der Standard IEEE 802 begann langsam aber sicher zu entstehen. Damals herrschten in den Unternehmen Systeme wie SNA oder andere Multiplexsysteme sowie Nebenstellenanlagen, die dem Datenverkehr eine Menge von völlig unnötigen Beschränkungen auferlegt haben und ihre Historie in den alles steuernden Hostsystemen begründeten. Der Gedanke, lokale Netzwerke mit einer übersichtlichen und preiswerten Technologie zu schaffen, erschien revolutionär, und es hat noch eine Zeit lang gedauert, bis die frühe Majorität der Anwender wirklich den Mut gehabt hat, LANs zu installieren. Man wusste aber schon damals, dass sich bestimmte Anwendungen nur mit LANs realisieren ließen, ganz vorne an prominenter Stelle die PC-Vernetzung, ohne die der Einsatz von PCs in Unternehmen mangels eines Steuerungskonzeptes, wie es durch die Server gegeben war, noch chaotischer als ohnehin schon verlaufen wäre.

Heute stehen wir wieder an einer solchen Schwelle. Instinktiv ist vielen Netzwerkverantwortlichen bewusst, dass ihre Corporate-Netze an feste Grenzen stoßen werden und wenn sie die interne Verkehrsentwicklung der letzten Jahre lediglich linear auf die nächsten Jahre projizieren, sehen sie, dass die Wand, gegen die die bisherigen Konzepte fahren, mit einer atemberaubenden Geschwindigkeit näher rückt. Dabei haben sie neue Anwendungen und Konzepte wie Voice over IP, UMTS-Integration oder Speicher-Revolution

vorsichtshalber noch gar nicht auf ihren Performance-Wunschzettel geschrieben. Die Betreiber großer Netze haben weniger ein Performance-Problem als vielmehr ein Wirtschaftlichkeitsproblem, weil sie zu viele alte Technologien aufeinander gestapelt haben. Beide hatten übrigens aus unterschiedlichen Beweggründen ihre Hoffnung auf ATM als Universalwaffe gesetzt, was gründlich danebenging, wie wir wissen. Nun sind sie natürlich mit einer gewissen Berechtigung verschreckt und fassen nur schwer Vertrauen zu neuen Technologien.

Damit ist die Vergleichbarkeit mit der Situation 83/84 bei LANs wirklich gegeben: hier war es damals das Misstrauen gegenüber vollständig dezentralisierten Techniken und die Angst vor der Haltung IBMs. Angst vor einem Hersteller braucht heute niemand mehr zu haben, die Lektion mit den Standards ist gelernt.

Die Komponenten Optischer Netze sind eigentlich gar nicht so kompliziert, aber die Hersteller haben es bislang versäumt, das einem breiteren Publikum mitzuteilen. So werden die Möglichkeiten, Potenziale und Probleme der Optischen Netze meist völlig fasch eingeschätzt. Dabei treffen wir hier nicht auf einen luftleeren Raum: in den USA gibt es bereits eine Reihe von Optischen Netzen, vom Wettrüsten mit DWDM-Strecken einmal ganz abgesehen.

Das Buch soll den Interessenten in die Thematik der Optischen Netze begleiten. Auch wenn vielleicht das »eigene« Netz noch nicht sofortigen Handlungsbedarf erfordert, kann es kein Fehler sein, sich frühzeitig zu informieren.

1.1 Aufbau, Komponenten und Wirkungsbereiche Optischer Netze

Die gesamte verteilte Informationsverarbeitung benutzt vorwiegend das Client/Server-Paradigma. Das führt zu einer Asymmetrie bei den Netzen, die besagt, dass in Richtung der Server die Bandbreite immer größer werden muss. Auch in Deutschland betreiben große Anwender bereits Gigabit-Ethernet-Systeme.

Die Zukunft der Datenübertragung liegt bei den Optischen Netzen. Die Informationen über Optische Netze sind bei den Betroffenen noch wenig verbreitet. Ich muss einfach konstatieren, dass ich z.B. der Ansicht bin, dass effektives E-Business in der Zukunft nur mit Optischen Netzen funktionieren kann.

Optische Netze sind der nächste, wesentliche Evolutionsschritt der Netzwerktechnik. Vielfach stellt man sich jedoch vor, dass diese Systeme an der technologischen Spitze ausschließlich im Wide Area-Bereich benutzt werden.

Das ist falsch. Wegen der enormen Anforderungen, die in den nächsten Jahren an Netze gestellt werden, und dem gleichzeitigen Kostenverfall der entsprechenden Komponenten rücken die optischen Netze bis in die Unternehmensnetze vor. Natürlich gibt es auch aufregende Entwicklungen im Bereich der Fern- und Metropolitan-Netze, die in diesem Buch sicher nicht zu kurz kommen werden.

Anwendungsorientierte Grunddienste wie UMTS, Multimedia und Internet ermöglichen ganz neue Geschäftsmodelle im E-Business. UMTS bedeutet aber z.B. bei 10.000 Teilnehmern eine Datenrate von 20 Gb/s zzgl. erheblichem Overhead. Diese Datenrate will und muss Serverfarmen erreichen, diese werden aber nur ausfallsicher und zuverlässig arbeiten können, wenn sie mit SAN (Storage Area Network) -Konzepten im Bereich mehrerer Dutzend Gb/s versorgt werden.

Die Basis aller Optischen Netze ist die Übertragung auf Glasfasern. Neue verbesserte Glasfasertypen verschiedener Hersteller ermöglichen eine wesentlich größere Reichweite oder die Verwendung günstiger Sende/Empfangskomponenten bei kürzeren Reichweiten. Strahlungssender werden immer kleiner und billiger, allen voran steht die Entwicklung der integrierten VCSELs, Laserdioden mit besonders gutem Wirkungsgrad in vollständig integrierter Technologie. Ein Kanal von 10 Gb/s ist Standard und entsprechende Übertragungssysteme werden von vielen Herstellern angeboten. Noch in diesem Jahr werden aber sehr viele auch 40 Gb/s-Kanäle anbieten. Diese Kanäle können einzeln gebündelt werden oder mittels der DWDM-Technik (Dense Wave Division Multiplex) gemultiplext. Ein DWDM-System hat dann 20, 40 oder noch mehr Kanäle, jeder mit 2,5, 10 oder 40 Gb/s. So kommen letztlich aggregierte Gesamtübertragungsraten im Terabit-Bereich zusammen.

Um diese nun nutzen zu können, bedarf es optischer Switches und entsprechender Add/Drop-Multiplexer, die das Ein- und Ausrangieren von Wellenlängen ermöglichen.

Viele Hersteller arbeiten heute noch vorwiegend auf dem WAN-Bereich, aber mit 10-Gigabit-Ethernet etabliert sich ein mächtiger Standard für die Integration bisheriger Systeme in die neue Welt der optischen Netze. 10GbE ist technologisch mittlerweile eher schon ein »alter Hut«, aber die Standardisierung konvergiert. Der Standard für 10-Gigabit-Ethernet ist seit Mitte 2001 fertig. Nun gibt es keine Entschuldigung für Sonderlocken oder lahme interne Netze mehr.

Verschiedene Hersteller, unter ihnen besonders Extreme Networks oder Foundry Systems, arbeiten an der vordersten Front der Integration. Es gibt jetzt schon Hochleistungsswitches mit integrierbaren WDM-Modulen, die letztlich genauso einfach zu benutzen sind wie andere Einschubmodule zuvor.

Was momentan bleibt, ist das Problem der Kontrolle der gemischten optisch/elektrischen Netze. Allerdings ist die Tendenz zu sehen, auf Firlefanz wie Priorisierung oder Multiprotokollstacks zu verzichten und stattdessen zu klaren Strukturen mit extrem hoher Leistung zu finden. Themen wie Delay oder Varianzen kann man in diesem Zusammenhang zunächst getrost abhaken.

Angesichts der zunehmenden Bedrohungen traditioneller, aber auch moderner LANs stellt sich nun die Frage, wann und wie die optische Technik in die Unternehmensnetze vordringt. Ein größeres Unternehmen wird über kurz oder lang im Access-Bereich seine »eigenen Wellenlängen« für die Hochleistungskommunikation bekommen, einfach um die gewaltigen Datenmengen, die E-Business der nächsten Generation oder UMTS mit sich bringen, verarbeiten zu können. Wie geht es aber dann weiter? Direkt mit einem lokalen optischen Switch in einem lokalen optischen Backbone oder doch noch mit metallischen Leitern? Man muss sich immer überlegen, dass bei 1 Gb/s mit den Drähten endgültig Schluss ist.

Sicherlich werden die meisten Kunden in 2001 hier noch keine allzu großen Schritte machen, aber angesichts der dramatischen Geschwindigkeit dieser Entwicklungen sollte man sich schon recht frühzeitig über die Möglichkeiten und Funktionsweise der Optischen Netze informieren.

Das Potenzial der Optischen Netze kann man nicht einschätzen, wenn man ihre Wirkungsweise nicht versteht und den technischen Fortschritt durch die Integration optischer Komponenten nicht einordnen kann. Optische Sender und Empfänger, Switches und Speicher, die früher als Einzelteil einen 19-Zoll-Schrank gefüllt haben, passen heute auf einen Quadratzentimeter. Das ist die eigentliche Revolution, die uns die Anwendung dieser faszinierenden Technik heute zu vergleichsweise unvorstellbar geringen Kosten ermöglicht.

1.1.1 Zur Entwicklung von Anforderungen und Märkten

Hauptsächlich durch die neuen Anwendungen im Rahmen des E-Business und durch die allgemeine drastische Steigerung des Vernetzungsgrades entsteht ein allgemeiner Bedarf an Bandbreite vom LAN bis zum Fernbereich.

Hier beginnen die gravierenden Unterschiede zwischen Europa und den USA. B2B (Business-to-Business-E-Commerce) funktioniert natürlich nur dann reibungslos, wenn auch Fernverbindungen die nötigen Bandbreite haben. Während man in Deutschland noch auf ein paar lächerlichen Gigabit Bandbreite sitzt, haben die Amerikaner ihre Internet-Infrastruktur schon ganz öffentlich auf das Terabit getestet. Schon im Mai 2000 hat die bekannte Firma »Victorias Secrets«, Vertreiber äußerst geschmackvoller Damenunterwäsche, ihre Fashion-Show aus Cannes mitten im US-Arbeitstag über das Internet übertragen. Da bei einem vorhergehenden Versuch die Server des Anbieters völlig zusammengebrochen waren, hat man sich jetzt Hilfe bei Sun Microsystems, IBM, Yahoo usw. gesucht und diese auch bekommen. Durch eine immense Verstärkung der Serverkapazität haben schließlich 2,5 Millionen US-Bürger gleichzeitig die 20-minütige Show als Video-Stream der Bandbreite 200 Kb/s live gesehen, und zwar ohne nennenswerte Verzögerungen. Das macht ein halbes Tb/s! Aber es waren ja auch noch zwei oder drei andere Dinge im Internet unterwegs, sodass man von einer aggregaten Gesamtleistung des US-Internets jenseits des Terabit-Bereichs ausgehen kann. Etwa alle 100 Tage wird sich diese Leistung verdoppeln. Dies ist keine Zahl im luftleeren Raum, sondern lässt sich alleine aus den bekannten Entwicklungen und Projekten bei Carriern sowie durch eine aufmerksame Marktbeobachtung schließen, denn die Millionen Kilometer neuer Glasfasern werden ja sicherlich nicht zum Spaß verlegt.

Durch die mittelfristige Verfügbarkeit der Optischen Netze werden die Preise für Bandbreite dramatisch fallen, vielleicht auf Werte um 5% der heutigen Kosten auf die Sicht von ca. 5 Jahren. Die Gardner Group prognostiziert bereits für 2002 die Verfügbarkeit von WAN-Anschlüssen mit einer Leistung von 1 Gb/s für ca. 1000 US\$ pro Monat in den USA. Vergleichen Sie das bitte mit Ihrem aktuellen Megabit-Preis.

1.1.2 Optische Netze, Überblick

Unter Optischen Netzwerken versteht man Telekommunikationsnetze, die auf optischer Übertragungstechnologie und entsprechenden Komponenten basieren und Weiterleitung von Informationen sowie Aufbereitung und Wiederherstellung von Signalen auf dem Niveau der Lichtwellen durchführen. Außerdem fasst man auch die durch solche Netze gelieferten Dienste mit diesem Begriff zusammen. Dies steht deutlich im Gegensatz zu bisherigen Definitionen z.B. auf dem Bereich der LANs, wo zwar die Datenübertragung auf Lichtwellenleitern, das Switching und die Signalaufbereitung aber in herkömmlicher Weise durch elektronische Komponenten durchgeführt werden.

Die Netzwerkdienstleistungsanbieter, Carrier oder Provider genannt, steht vor dem Problem, dass für immer größere Anforderungen hinsichtlich der Bandbreite immer weniger Kapazität in Lichtwellenleitern bereitsteht. Die Technologie, z.B. auf der Basis elektronischer ATM-Switches mit Hilfe elektro-optischer Wandler Lichtwellenleiter zu benutzen, stößt im unteren Gb/s-Bereich an ihre Grenzen. Also muss man den revolutionären Schritt tun und Netze bauen, bei denen der gesamte Informationstransfer einschließlich Switching und Recovery von Signalen in rein optischer Technik ausgeführt wird. Man spricht hier in der Literatur auch von der Technologie »Optical Layer in Transport Networks«. Diese rein optische Technik erlaubt wesentlich höhere Bandbreiten und erhebliche Kostensenkungen für die Anwendungen des Informationszeitalters wie Internet, Multimedia, Video und andere weiterentwickelte digitale Dienste. Es stellt sich dann eine Reihe von Fragen, die hier beantwortet werden sollen. Wie unterscheidet sich ein Optisches Netz von herkömmlichen Netzen? Welche Anwendungen passen am besten zu Optischen Netzen? Welche Technologien gibt es, wie werden sie sich entwickeln und wie sind die Markttrends?

In den frühen Achzigern hat man begonnen, Lichtwellenleiter in Telefon- und Datennetzen einzusetzen. Von da an haben sich diese Systeme erheblich weiterentwickelt, was die Qualität anbetrifft, und sind dabei erheblich günstiger geworden. Im LAN-Bereich konnten sich verschiedene Vorteile der Lichtwellenleiter nicht so stark entfalten, sodass ihr Einsatz hier bis auf Ausnahmefälle auf den Backbone/Steig-Bereich beschränkt blieb. Im Grunde genommen kann man die Entwicklung der digitalen Telekommunikationsnetze in drei wesentliche Stufen einteilen: asynchron, synchron und optisch.

Die ersten digitalen Netze waren asynchron. In asynchronen Netzen wird das übertragene Signal von der internen Uhr eines jeden Netzwerkelements selbst gesteuert. Da sich diese internen Uhren und ihre Einstellungen alle erheblich voneinander unterscheiden konnten, konnten ankommende und abgehende Signale erhebliche Varianzen im Timing aufweisen, was vielfach zu Bitfehlern führte. Als die Technik der Lichtwellenleiter aufkam, gab es keine Standards darüber, wie die Netzwerk-Elemente die optischen Signale formatieren sollten. Tausende proprietäre Verfahren – nicht nur hinsichtlich der Informationsdarstellung, sondern auch hinsichtlich der Bitraten und Protokolle erschwerten es den Providern, Equipment unterschiedlicher Hersteller miteinander zu verbinden und – zusammen zu betreiben.

Die Notwendigkeit, Standards zu schaffen, führte zur synchronen optischen Netzwerk-Hierarchie, SONET. SONET standardisiert Übertragungsraten, Codierungsschemata, Hierarchien von Bitraten sowie Betriebs- und Wartungsfunktionalitäten. Wir kennen aus diesem Umfeld die »OC«-Datenraten (Optical Channel), z.B. OC-3 mit 155 Mb/s. SONET definiert auch die Arten

von Netzwerkeinrichtungen, die man benötigt, Netzwerk-Architekturen, die die Hersteller implementieren können, und die Funktionalität, die jeder Knoten besitzen muss. Provider konnten jetzt Geräte unterschiedlicher Hersteller im Vertrauen auf eine gemeinschaftliche Grundfunktionalität benutzen. SONET hat für diesen Bereich eine ähnliche Bedeutung wie IEEE 802 für LANs und ist auch in dieser Zeit entstanden. Eine im Umfeld von SONET definierte Architektur ist der sog. SDH-Ring, ein ringförmiges Optisches Netzwerk. Wie der Begriff »synchron« schon nahe legt, sind alle Systeme nach SONET zentral getaktet. Im Gegensatz zu LANs weisen sie keine Pakete variabler Länge, sondern Basis-Formate fester Länge für die Übertragung auf. In diese Basis-Formate muss die Nutzlast eingepackt werden. Die Basis-Formate haben allerdings ordentliche Größen und sind nicht so aufgeteilt wie die ATM-Zellen.

Systeme nach den SONET-Definitionen gibt es schon eine geraume Zeit und der Aspekt, der ihnen ein langes Leben beschert hat, ist die Skalierbarkeit in der Netzwerk-Leistung, in letzter Zeit der Kernpunkt überhaupt. In SONET gibt es theoretisch die Möglichkeit, die Bitraten nach einem festen Entwicklungsschema immer weiter zu erhöhen. Die einzige Anforderung ist, dass Datenströme geringerer SONET-Bitraten in Datenströmen höherer Bitraten verlustfrei gebündelt und entsprechend wieder entbündelt werden können. So nimmt z.B. ein 622-Mbps-OC-4-Kanal 4 155-Mbps-OC-3-Kanäle auf. Daher auch die manchmal sehr »krumm« erscheinenden Bitraten mit mehreren Stellen hinter dem Komma. Allerdings, sobald man die höheren Bitraten implementieren möchte, stößt man an physikalische Grenzen der Laser-Lichtquellen und Glasfasern. Außerdem wird die Technik, mit der man Zubringersysteme an das Hauptnetz anschließt, immer komplizierter. Kunden verlangen mehr Service, höhere Bandbreiten und die Übertragung verschiedenster Informationsströme zu immer geringeren Kosten. Um Ende-zu-Ende-Connectivity für die unterschiedlichen Wünsche im Rahmen hoher Übertragungskapazität zu gewährleisten, wurde ein neues Paradigma benötigt: das Optische Netz, welches die geforderte hohe Bandbreite (im Tb/s-Bereich) mit wellenlängenorientierten Ende-zu-Ende-Dienstleistungen erbringt.

Es gibt drei Ebenen, die wir gleich weiter besprechen werden. Die äußerste ist die Access-Ebene, wo letztlich ein Multiplexer zum Kunden Zugriff auf ein relativ lokales System hat, welches mittels eines optischen Gateways in einen Regionalbereich eingekoppelt wird. Im Regionalbereich gibt es etwa 8-40 verschiedene Lichtwellenlängen. Die Knoten des Regionalbereiches wiederum klinken sich in einen entsprechenden Fernbereichs-Backbone ein, der nach heutigem Stand ca. 40-500 verschiedene Lichtwellenlängen hat. Dies ist schon seit langem die Grund-Struktur von Telekommunikationssystemen, der Unterschied ist aber jetzt, dass es von Kunde zu Kunde reine optische Ende-zu-Ende-Verbindungen gibt.

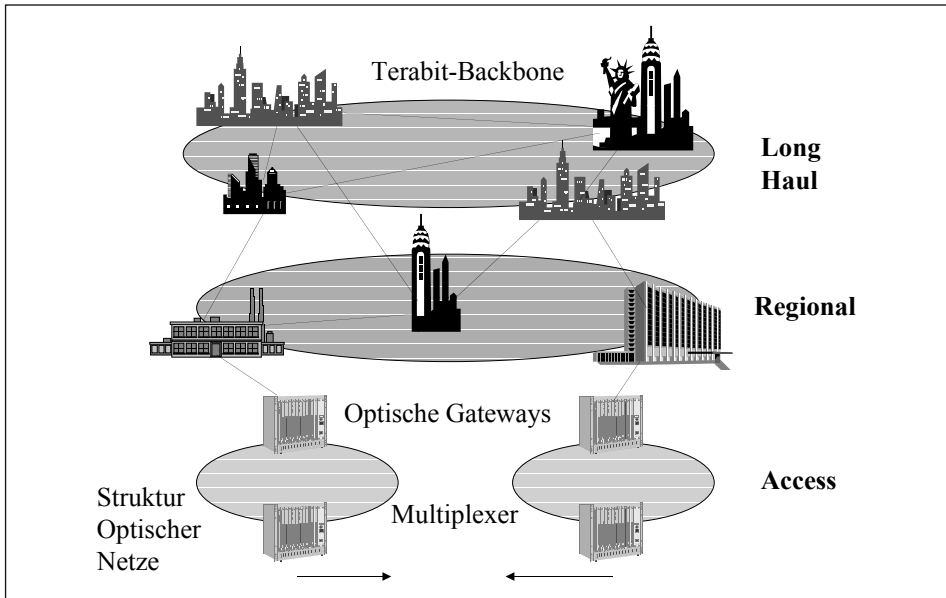


Abb. 1.1.3: Ende-zu-Ende-Wellenlängen-Services

In den Bildern 1.1.4, 1.1.5 und 1.1.6 sieht man die Entwicklung. Bei einem konventionellen Glasfaser-Übertragungssystem gibt es eine Informationsquelle, deren Gehalt auf ein Sendesignal, z.B. aus einem Laser, moduliert wird. Das Ergebnis wird dann über die Glasfaser übertragen und am Ende demoduliert. Bei diesen konventionellen Systemen haben sich schnell zwei Untergruppen herausgebildet: ausgesprochen preisgünstige Systeme mit vergleichsweise geringer Leistung und teure Hochleistungssysteme. Erstere bestehen z.B. aus einer Leuchtdiode als Sender, einer Multimodefaser als Medium und einem einfachen Fototransistor als Empfänger. Sie werden z.B. in LANs eingesetzt. Hochwertige Systeme arbeiten grundsätzlich mit Lasern, meist mit Singlemodedfasern und Avalanche-Fotodioden als Empfänger. Sie werden dort eingesetzt, wo hohe Übertragungsleistung und Qualität wichtiger sind als die Kosten der einzelnen Leitung, also z.B. im WAN-Bereich und bei Backbones.

Die Leistung dieser konventionellen Systeme war für die Begriffe der letzten Jahre schon relativ hoch. Deshalb hat man Informationen aus mehreren elektrischen Datenquellen vor der optischen Übertragungstrecke gemultiplext und das elektronische »Summensignal« dann als Grundlage für die Modulation des Lichtes genommen. Die Informationen müssen in diesem Fall am Ende der Übertragungstrecke nicht nur decodiert, sondern auch elektronisch demultiplext werden. Der Standard SONET/SDH ist die Zementierung die-

ser Art elektro/optischer Mehrkanalsysteme für den WAN- und Telefonie-Bereich.

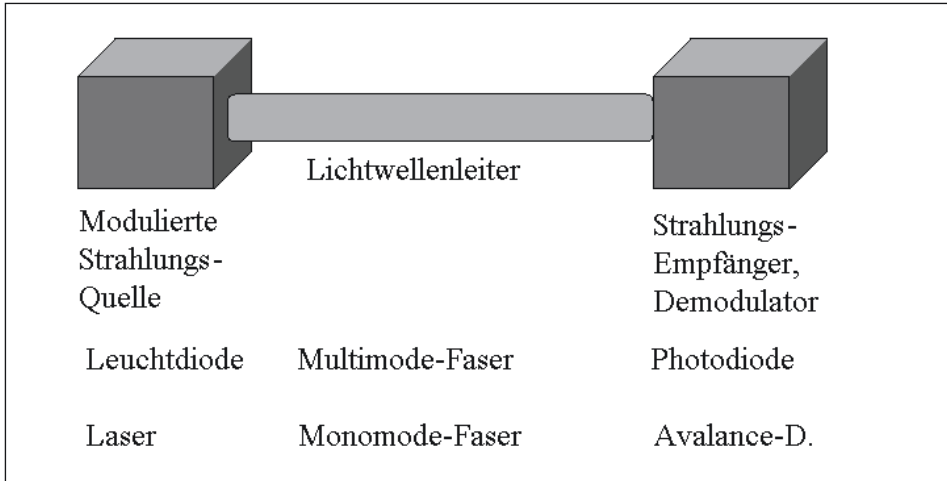


Abb. 1.1.4: Konventionelles System

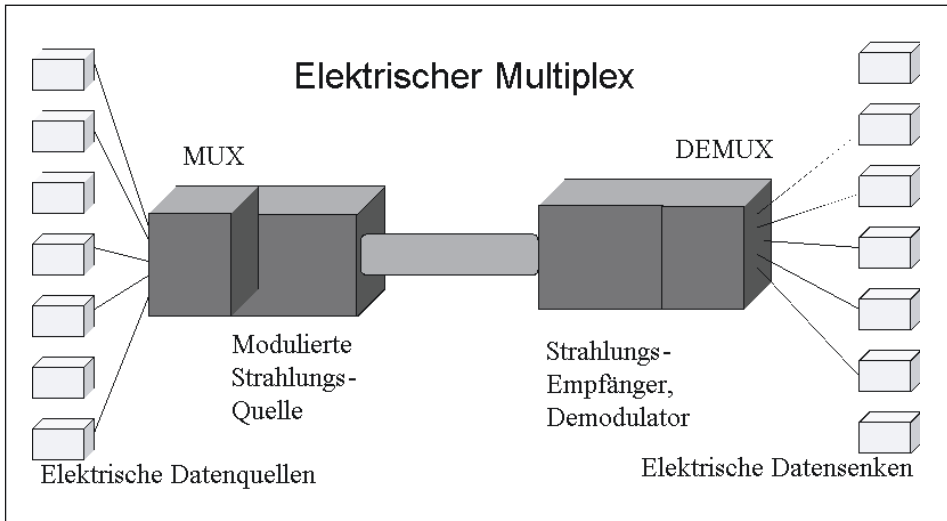


Abb. 1.1.5: Elektrischer Multiplex

Wellenlängenmultiplex bedeutet nun, dass für jede zu übertragende Information eine eigene Wellenlänge zur Verfügung steht. Wie bei einem einkanaligen System wird jede Information auf das Signal eines Lasers aufgeprägt.

Diese modulierten Signale unterschiedlicher Wellenlängen werden dann durch einen passiven optischen Multiplexer zu einem Summensignal zusammengeführt, welches auf der Glasfaser übertragen wird. Am Ende der Glasfaser zerlegt zuerst ein passiver Wellenlängendemultiplexer das Licht-Summensignal in die Lichtsignale der einzelnen Kanäle. Diese werden dann decodiert.

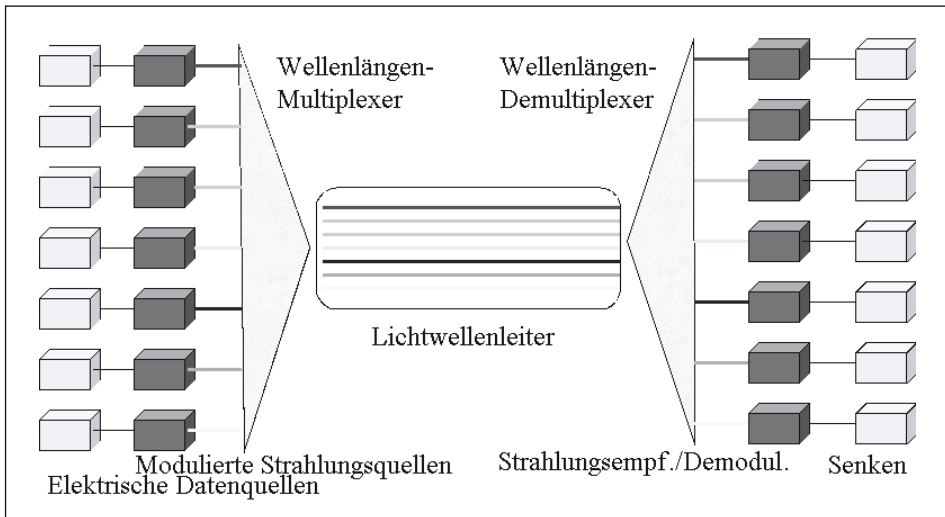


Abb. 1.1.6: Wellenlängenmultiplex

Wegen der enormen Bandbreite der einzelnen Wellenlängenkanäle von bis zu 40 Gb/s wird man ggf. verschiedene, vergleichsweise schmalbandige Informationsströme auf diese Kanäle wieder einzeln elektronisch multiplexen.

Optische Netze haben mit der Anwendung der WDM-Technik (Wavelength Division Multiplexing) begonnen, die auf herkömmlichen Glasfasern zusätzliche Kapazität bereitstellen kann. Heutige WDM-Systeme holen z.B. aus einer OC-3 Faser, die bisher mit 155 Mbps-ATM benutzt wurde, locker 40 Gb/s heraus, ohne zusätzliche Zwischenverstärker auf Distanzen bis zu 200km. Wie bei SONET bilden definierte Netzwerk-Elemente und Architekturen die Basis des Optischen Netzes. Im Gegensatz zu allen anderen Systemen, wo Bitraten und Frame-Strukturen als Grundbausteine angesehen werden, basiert das Optische Netz aber auf Wellenlängen. Die Komponenten des Optischen Netzes werden dadurch definiert, wie die Wellenlängen im Netz behandelt, übertragen oder implementiert werden. Sieht man das Telekommunikationsnetz im Rahmen einer schichtenorientierten Architektur, so verlangt das Optische

Netz die Hinzufügung einer optischen Schicht. Diese Layer sind allerdings etwas anders als im OSI-Modell. Die erste Schicht, der Services Layer, ist derjenige, wo die Dienste wie Datenübertragung, das Telekommunikationsnetz »betreten«. Die zweite Schicht, der SONET-Layer, sorgt für die Wiederaufbereitung von Signalen, Leistungsmonitoring und Übertragung. Sie ist transparent für den Services Layer. Mit dem Optischen Netz kommt nun eine dritte Schicht, den Optical Layer. Sie wird von den Standardisierungsgremien zurzeit festgelegt, wird aber wahrscheinlich eine ähnliche Funktionalität wie der SONET-Layer haben, nur eben rein optisch. Man stellt an das Optische Netz allerdings noch weitergehende Anforderungen: es soll auch optische Signale hoher Bitrate übertragen können, die nicht den SONET-Definitionen entsprechen, sodass die Optical Layer ihrerseits wieder transparent gegenüber dem SONET-Layer sein muss. Der Optical Layer stellt individuelle Wellenlängen statt elektrischer SONET-Signale bereit. Hintergrund dieser Definitionen ist u.a. der Wunsch nach einer rein optischen Übertragung von IP-Signalen.

Es gibt eine Reihe von Gründen, die die Entwicklung rein optischer Netze vorangetrieben haben. Die ersten Implementierungen Optischer Netze hat man auf Routen vorgenommen, bei denen die Fiber-Übertragungskapazität limitiert ist. Provider benötigten mehr Kapazität zwischen zwei Stellen, aber höhere Datenraten bzw. mehr Fiber Optic-Kabel waren nicht möglich. Die zusätzliche Installation von Kabeln ist immer sehr aufwendig und sehr teuer. Die einzige Möglichkeit besteht darin, mehr TDM-Signale auf einen Lichtwellenleiter zu packen. Dies kann die WDM-Technik. Dadurch, dass jede primäre Zeichenschwingung auf eine andere Lichtfrequenz aufmoduliert wird, können mehrere Signale parallel durch eine Faser geschickt werden, wobei jedes Lichtsignal so reist, als sei es allein. Wenn man nun immer mehr Daten auf einen einzigen Lichtwellenleiter legt, bekommt die Frage der Zuverlässigkeit einen immer höheren Stellenwert. Bei Netzen mit elektrischer Signalübertragung kann jedes Netzwerkelement die Signale wieder aufbereiten, z.B. durch Integration mit einem Schmitt-Trigger. Außerdem kann man die Netzwerkelemente redundant zusammenschalten und auf allen Ebenen Fehlerkorrekturen vornehmen.

In einem WDM-System mit vielen Kanälen auf einer einzigen Faser führt das Durchtrennen dieser Faser zu fürchterlichen Fehlern, die ggf. verschiedene unterschiedliche Systeme abstürzen lassen. Wenn man die Wiederherstellung von Signalwegen eher auf der optischen als auf der elektrischen Ebene durchführt, können Optische Netze Redundanzschaltungen schneller und wirtschaftlicher durchführen. Das kann man sogar so weit treiben, dass Optische Netze Redundanzfunktionen für solche Netze bieten, die selbst kein eigenes Schutzschema haben. Im Rahmen der Implementierung Optischer Netze können Provider somit Redundanzfähigkeiten bei asynchronen, eingebetteten

Systemen nachrüsten, ohne diese erst mit Hilfsmitteln im Bereich des elektrischen Switchings auszurüsten.

In Systemen, die lediglich WDM benutzen, braucht jede Lokation, die Signale demultiplext, elektrische Netzwerk-Elemente für jeden einzelnen Kanal, auch wenn zurzeit gar kein Verkehr an dieser Stelle ist. Im Rahmen der Implementierung eines Optischen Netzes braucht man nur für diejenigen Wellenlängen, die an dieser Stelle Daten(verkehr) hineinbringen oder herausnehmen, entsprechende elektro-optische Umsetzer. Alle Wellenlängen, die Datenströme transportieren, die an dieser Stelle weder ankommen noch abgehen, können einfach durchgeschaltet werden, und man benötigt keinerlei Konverter. Systematisch angewandt, kann dies zu enormen Einsparungen im Equipment führen. Das Routen von Verkehr über Raumeinheiten und Wellenlängen spart die elektronischen Switches ein und vereinfacht die Verwaltung des Netzes.

Eine der wichtigsten Möglichkeiten, Gewinn aus einem Optischen Netz zu ziehen, ist es, Bandbreite zu verkaufen und keine Glasfaserverbindungen, wie dies ja meist heute geschieht. Durch die Maximierung der Bandbreite auf einer Faser können die Provider sogar Wellenlängen verkaufen, die der Kunde dann unabhängig von der Bandbreite (bis zu der oberen Kapazitätsgrenze) nutzen kann. Für die Kunden bedeutet das letztlich die gleichen Möglichkeiten, als ob sie direkt eine Faser mieten.

1.1.3 Wichtige Technologien

Basis eines Optischen Netzes sind fortschrittliche optische Technologien, die die notwendigen Funktionen in rein optischer Technik realisieren. Wir werden hier die wichtigsten jeweils kurz erläutern.

1.1.3.1 Breitband-WDM

Die erste Erscheinungsform von WDM ist Breitband-WDM. 1994 hat man zum ersten Mal bikonische Koppler verschmolzen und damit zwei Signale auf einer Faser kombiniert. Wegen der Begrenzungen der Technologie, besonders dem nichtlinearen Dämpfungsverhalten der Faser, mussten die Signalfrequenzen weit auseinander gehalten werden, um Interferenzen zu vermeiden. Typischerweise hat man Signale mit einer Wellenlänge von 1310 nm und 1550 nm benutzt und kam so auf 5 Gb/s auf einer Faser. Obwohl derartige Anordnungen nicht mit der Leistung modernster Systeme mithalten können, haben sie doch die Kosten bereits fast halbiert, dadurch dass man eine einzige Faser für die Übertragung von Signalen, die man sonst auf zwei Fasern verteilt hätte, nehmen konnte. In der Anfangszeit wurden WDM-Systeme mit

wenigen Kanälen vor allem für die Einsparung von Zwischenverstärkern benutzt, siehe Abb. 1.1.7

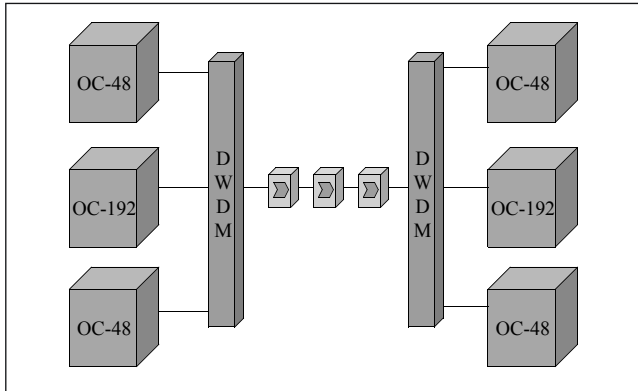


Abb. 1.1.7: SONET-Kanäle konzentriert über WDM

1.1.3.2 Optische Verstärker

Eine weitere wichtige Entwicklung, vielleicht sogar der wichtigste Meilenstein in der Entwicklung Optischer Netze, ist der Erbium-dotierte optische Verstärker. Durch die Anreicherung eines kleinen Stranges der Faser mit einem seltenen Edelmetall wie Erbium können optische Signale verstärkt werden, ohne das Signal in eine elektrische Darstellung zurückzubringen zu müssen. Solche Verstärker bringen erhebliche Kostenvorteile vor allem in Fernnetzen. Die Leistung optischer Verstärker hat sich wesentlich verbessert, bei signifikant geringerem Rauschen und günstigerer Verstärkung. Die Gesamtleistung konnte ebenfalls gesteigert werden, sodass heute Verstärkungsfaktoren von 20 dBm am Ausgang erreicht werden können, das ist etwa ein Faktor von 100. Eine weitere wichtige Entwicklung sind die integrierten optischen Verstärker, die Semiconductor Optical Amplifiers. Während man die Erbium-dotierten Verstärker vor allem zur Überwindung größerer Distanzen benötigt, sind die SOAs hervorragende Elemente bei der Konstruktion optischer Switches, Router und Add/Drop-Multiplexer, weil sie fast unauffällig in die optische Struktur integriert werden können.

1.1.3.3 Dense Wavelength Division Multiplexing DWDM

Mit der Verbesserung bei optischen Filtern und Laser-Technologie wurde die Möglichkeit zur Kombination von mehr als zwei Signal-Wellenlängen auf einer Faser Realität. DWDM kombiniert verschiedene Signale auf der gleichen Faser und kann heute 40-80 unterschiedliche Kanäle schaffen. Verschiedene

Hersteller sprechen schon von 400 bis 500 Kanälen. Durch die Implementierung von DWDM-Systemen und optischen Verstärkern können Netze eine Vielzahl von Bitraten (z.B. OC-48 oder OC-192) und eine Vielzahl von Kanälen auf einer einzigen Faser bereitstellen. Die benutzten Wellenlängen liegen alle in dem Bereich, wo die optischen Verstärker optimal funktionieren, also zwischen 1530 und 1565 nm.

Es gibt heute zwei Grundtypen von DWDM-Systemen: unidirektionale und bidirektionale. Bei unidirektionalen Systemen wandern alle Lichtwellen in der gleichen Richtung durch die Faser, während bidirektionale Systeme in zwei Bänder aufgeteilt sind, die in entgegengesetzten Richtungen laufen. Im definitorischen Gegensatz zu DWDM steht CWDM (Coarse WDM), bei dem weniger Kanäle mit größerem Abstand zwischen den Kanälen definiert werden als bei DWDM. Dadurch kann man eine stark vereinfachte Übertragungstechnologie benutzen, die immer noch wesentlich leistungsfähiger ist als alles, was wir an Übertragung auf metallischen Leitungen kennen, aber kaum teurer. So ist z.B. eine bekannte technologische Grenze die Übertragung von 1 Gb/s über 100 m auf Cat5/Cat6-UTP-Kabeln. Der entsprechende Transceiver ist für LAN-Verhältnisse recht aufwendig. Ein in Großserie hergestellter optischer Transceiver mit z.B. 4 Kanälen mit jeweils 2,5 Gb/s, also zusammen 10 Gb/s überwindet auf einem ebenfalls preiswerten Multimode-Glasfaserkabel locker 250-350 m; die Grenze dieser Technologie ist zum Zeitpunkt der Manuskripterstellung ein vollständig integrierter Transceiver mit acht Kanälen à 10 Gb/s, also zusammen 80 Gb/s auf ebenfalls ca. 300 m etwas besserem Multimode-Kabel. Hier haben wir eine Leistungssteigerung um einen Faktor von ca. 200 bei einer Kostensteigerung schlimmstenfalls um den Faktor 5.

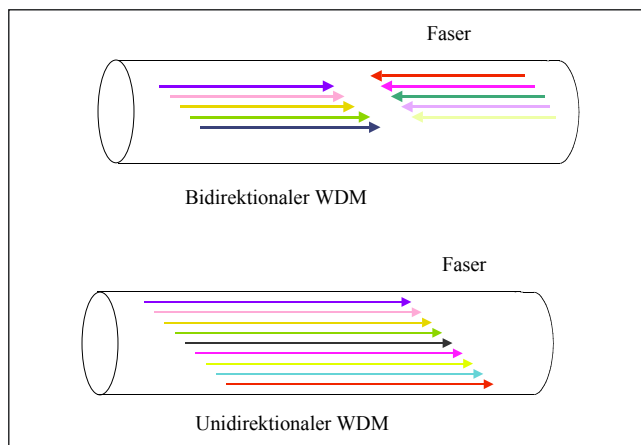


Abb. 1.1.8: Uni- und Bidirektionaler WDM

1.1.3.4 Schmalband-Laser und VCSELs

Ohne eine schmale, stabile und kohärente Lichtquelle wären die ganzen anderen Komponenten in einem optischen Netz nutzlos. Laser mit schmalen Bandbreiten liefern die monochromatische Lichtquelle mit dem schmalen Wellenlängenbereich, die in einem optischen Netz einen Kanal repräsentiert. Man unterscheidet zwischen Lasern, die extern moduliert werden, und sog. integrierten Laser-Technologien. Je nachdem, was man benutzt, kann der Präzisions-Laser Bestandteil des DWDM-Systems oder in ein SONET-Netzwerk-Element eingebettet sein. In letzterem Fall heißt dies eingebettetes System. Wenn der Präzisions-Laser in einem Modul namens Transponder Teil des WDM-Equipments ist, wird dies als offenes System bezeichnet, weil jeder Billig-Laser-Transmitter auf dem SONET-Netzwerk als Input benutzt werden kann. Weitere Verbesserungen hinsichtlich wesentlich engerer Packungsdichten und erweiterter Verwendungsmöglichkeiten ergeben sich durch die integrierte optische Technologie, die vor allem die sog. Vertikalemitter-Laserdioden hervorgebracht hat. Mit solchen VCSELs kann man z.B. sehr preiswerte Übertragungssysteme aufbauen, wie sie im LAN- und MAN-Bereich benötigt werden. Ein 10-Gigabit-Ethernet Adapter mit VCSELs kann für weit unter 500 US\$ gebaut werden, die Leistungsgrenze liegt momentan bei der Übertragung von ca. 40 Gb/s auf einer Distanz von 310 m über preiswerte Multimodfasern. Derartige Systeme werden Verkabelung und Backbones interner Netze vollständig revolutionieren.

Anwendungen	↑	a little	imaging	printers			
			datacom	opto couplers			
		illumination	scanners	sensors	IrDA		
		a lot	imaging	sensors	storage	telecom	telecom
		storage	storage	datacom	datacom	datacom	
		visible blue / green	visible red	IR 750-1050 nm	LW 1.3 μm	LW 1.55 μm	
Wellenlängen							
Material		InGaN/GaN	InAlGaP/GaAs	InAlGaAs/GaAs	GaInNAs/GaAs InGaAs/GaAsQD GaAsSb/GaAs	InAlGaAsSb/InP InAlGaAs/InP	
Probleme		current injection	high temperature operation	high speed modulation	reliable fabrication	reliable fabrication	
					high temperature operation	high temperature operation	

Abb. 1.1.9: VCSEL-Anwendungsbereiche

1.1.3.5 Fiber Bragg-Gitter

Kommerziell verfügbare Fiber Bragg-Gitter sind ganz wichtige Komponenten für WDM und Optische Netze. Ein Fiber Bragg-Gitter ist eine kleine Fasersektion, die so modifiziert wurde, dass sie periodische Änderungen des Brechungsindex der Faser hervorruft. In Abhängigkeit vom Abstand zwischen diesen Änderungen wird eine bestimmte Lichtfrequenz – mit der sog. Bragg-Resonanz-Wellenlänge – zurückreflektiert, während alle anderen Wellenlängen durchgelassen werden. Diese wellenlängenspezifischen Eigenschaften des Gitters machen Fiber Bragg-Gitter nützlich für den Aufbau von Ein- und Auskoppelstellen bzw. -Multiplexern. Bragg-Gitter kann man aber auch für die Kompensation der Modendispersion und die allgemeine Signalfilterung benutzen. Mittlerweile gibt es auch integrierte Bragg-Gitter, die unmittelbar mit anderen integrierten optischen Strukturen zusammenarbeiten.

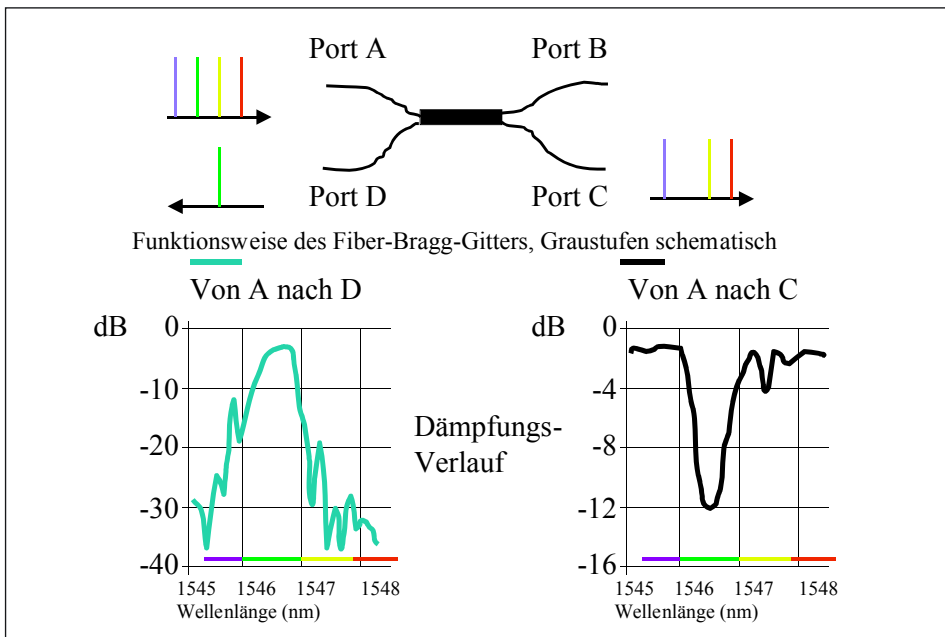


Abb. 1.1.10: Übertragungscharakteristik eines Fiber Bragg-Gitters

1.1.3.6 Dünnfilmsubstrate

Wenn man ein dünnes Glas oder ein Polymer-Substrat mit einem dünnen Interferenzfilm dielektrischen Materials einhüllt, kann das Substrat dazu gebracht werden, nur eine spezifische Wellenlänge durchzulassen und alle anderen zu reflektieren. Durch die Integration verschiedener derartiger Kompo-

nenten kann man viele optische Elemente kreieren, wie z.B. Multiplexer, Demultiplexer und Einrichtungen zur Ein- und Auskopplung von Signalen.

1.1.3.7 Weitere Entwicklungen bei Komponenten

Es gibt eine Reihe von Schlüsselkomponenten für Optische Netze. Mit der Weiterentwicklung der Technologien werden diese Komponenten wie einstellbare Filter, Switches und Wellenlängenkonverter immer billiger und leistungsfähiger.

Man entwickelt zurzeit. eine sog. Gain-Switching-Technologie, also Elemente, die gleichzeitig vermitteln und verstärken. Zurzeit gibt es solchen Systeme schon für die Datenraten OC-48 (2,5 Gb/s) und OC-192 (10 Gb/s). Man erwartet auf dieser Basis aber bald sog. Electronic Time Division Multiplexing (ETDM) oder Optical Time Division Multiplexing (OTDM) -Technologien für die Datenrate OC-768 (40 Gb/s). Fortschritte machen momentan integrierte Laser-Modulatoren, die billigere Schmalband-Transmitter ermöglichen. Forschungen für die Verbesserung der Signalqualität durch Polarisations-Mode, Dispersions-Abschwächung, phasenoptimierte Binärübertragung (PSBT) und immer wieder verbesserte Filtertechnologien versprechen signifikante Verbesserungen hinsichtlich der gesteigerten Systemleistung und Netzwerk-Kapazität. Verschiedene dieser Entwicklungen werden zunächst dazu benutzt, die Signalqualität bei der Benutzung von Seekabeln zu steigern. Denn immer noch sind es Seekabel, die für weltweite Verbindungen mit sehr hoher Datenrate sorgen, und kaum irgendwelche Funknetze, deren Bedeutung in der Zukunft sogar weiter abnehmen könnte.

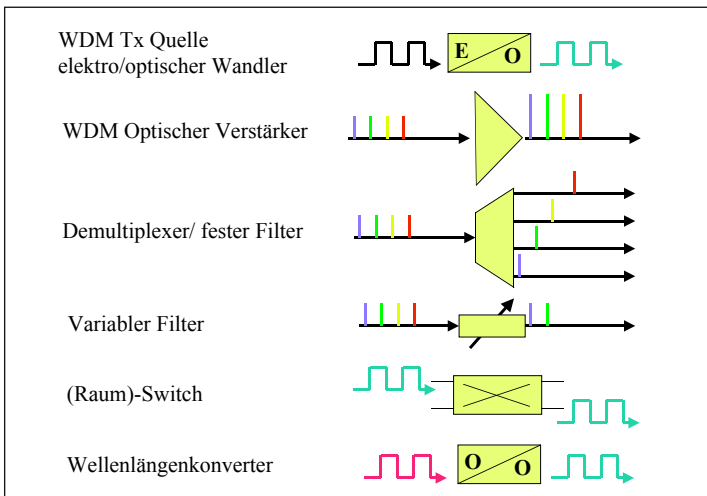


Abb. 1.1.11: Komponenten

Für die Zwecke dieser Einleitung stellen wir die wichtigsten Komponenten in einfachen Blockschaltbildern vor. Die detaillierte Erklärung der Funktionsweise wird in den Kap. 3 und 4 vorgenommen.

1.1.4 Anwendungen der Komponenten

Unabhängig von den im Einzelnen angewandten Komponenten muss ein Optisches Netz eine Reihe spezifischer Funktionen erbringen, um die gewünschte Effektivität zu erlangen. Das erste Kernelement in einem Optischen Netz ist der optische Multiplexer. Der Multiplexer kombiniert verschiedene Wellenlängen auf eine einzelne Faser; hierdurch können alle unterschiedlichen Signale auf einer Fiber übertragen werden. Die ersten Anwendungen sind, wie schon gesagt, Kapazitätserweiterungen einzelner Fasern bei Engpässen, aber die Multiplexer sind generell vielfältige Zutrittspunkte zum optischen Layer, z.B. zur Ein- und Auskopplung von Signalen oder als optischer Kreuzschienenverteiler. Weitere wichtige Komponenten sind die Wellenlängenswitches. Sie machen das Gleiche wie ein elektrischer Switch: dieser verteilt auf Ports ankommende Signale auf abgehende Ports. Ein Wellenlängenswitch kann zwischen unterschiedlichen Wellenlängen vermitteln. Es wurde bereits weiter oben ausgeführt, dass der beste Zugang zur Funktionsweise eines Optischen Netzes der ist, sich vorzustellen, die Wellenlängen seien die Ports, an die man Informationen übergibt. Ein Wellenlängenswitch nimmt also an seinen Eingangsports Informationen in Form von moduliertem Licht bestimmter Wellenlängen auf und »schaltet« diese Information auf moduliertes Licht einer anderen Wellenlänge. Diese Switches sind die kompliziertesten Einrichtungen im Optischen Netz. Schließlich braucht man Wellenlängenkonverter, die einfach von einer Wellenlänge auf eine andere umschalten, ohne hierbei aber eine Vermittlungsfunktion im Sinne eines Wellenlängenswitches auszuüben.

In Abb. 1.1.12 zeigen wir schon einmal einen optischen Add/Drop-Multiplexer. Er wird in Kap. 4 genau in seiner Funktionsweise beschrieben.

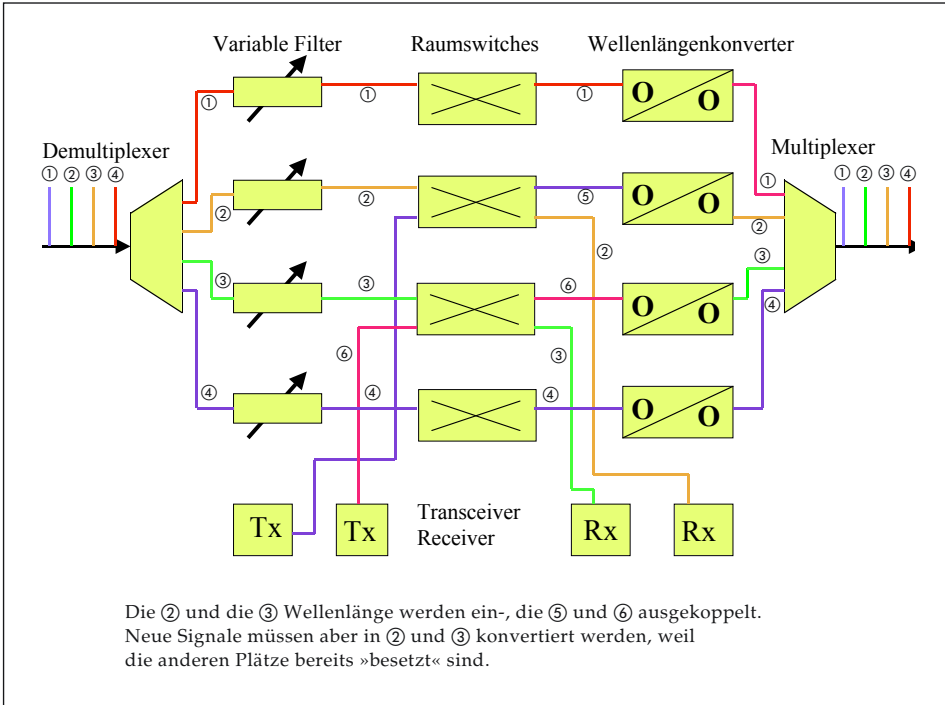


Abb. 1.1.12: Optischer ADD/DROP Multiplexer

1.1.5 Märkte für optische Netze

Die Evolution des optischen Layers in Telekommunikations-Netzwerken wird in Stufen in verschiedenen Teilmärkten ablaufen, weil die Verkehrstypen und Kapazitäts-Anforderungen in jedem dieser Märkte unterschiedlich sind. Alles in allem ist ein ganz enormes Wachstum zu sehen, schon in 2001 kann dieser Markt ca. 3 Milliarden US\$ umsetzen. Der wichtigste Schub ist bei Fernnetzen zu verzeichnen, denn nirgendwo wird die schnelle Entwicklung von Bandbreite so dringend benötigt. Die Ausdehnung über teilweise mehrere tausend Kilometer, relativ große Strecken zwischen den Vermittlungsknoten und hohe Bandbreitanforderungen vor allem durch die starke Benutzung des Internets haben schon früh zur Benutzung optischer Verstärker und von Breitband-WDM-Systemen geführt, hauptsächlich zur Kostenreduktion. Netze im MAN-Bereich sind typischerweise in höherem Grade verwoben und geografisch beschränkt. Die Aufgabe dieser Netze ist nicht nur die Gewährleistung der Kommunikation innerhalb der Metropolitan Area zu besonders geringen Kosten, sondern auch die effektive Anbindung an Fernverkehrs-

netze. Technisch gesehen ist die Situation der MANs besonders interessant, weil die modernen Fiber Optic-Übertragungstechnologien die hier vorkommenden Distanzen von z.B. 20 km zwischen zwei Vermittlungseinrichtungen ohne weitere Zwischenverstärker überbrücken können. Wellenlängen-Ein- und Auskoppler sowie Wellenlängen-Switches werden hier für weitere Leistungssteigerungen sorgen. Schließlich benötigt man noch die Möglichkeit, die »letzte Meile« zum Kunden zu überwinden. Dafür gibt es direkt eine ganze Ansammlung unterschiedlicher Technologien, die auch in Zukunft koexistieren werden. Hierzu zählen viele der bislang gewachsenen Infrastrukturen wie xDSL, Breitbandkabelnetze, SONET-Ringe usw., aber auch Neuentwicklungen wie 10-Gigabit-Ethernet. Leider ziehen die meisten gewachsenen Strukturen unnütze Altlasten hinter sich her, sodass mittelfristig auch hier eine gewisse Vereinheitlichung zu sehen ist. Wichtig ist in jedem Falle ein asynchroner Transponder, der es einer breiten Spanne von Signalen unterschiedlicher Bitraten erlaubt, das Optische Netz zu betreten. Optische Netze, die für den Bereich der letzten Meile konstruiert werden, müssen billig sein und dennoch wirkliche Dienstleistung auf der Grundlage der Wellenlängen-Vermittlung anbieten.

Der größte Entwicklungsschub geht allerdings zurzeit von dem Wunsch aus, die Technologie der Fernnetze zu bereinigen und durch alleinige Anwendung des IP-Protokolls auf den Optischen Netzen zu einer einfacheren Gesamtstruktur zu kommen. Dies nennt man auch Layer-Konvergenz. Man entwickelt zurzeit vor allem 10-Gigabit-Ethernet vor diesem Hintergrund.

1.1.6 Design- und Planungsaspekte

Eine der größten Anforderungen bei der Planung Optischer Netze ist die Planung des optischen Layers. Dabei können nämlich eine Reihe von Schwierigkeiten auftreten. Idealerweise liefert das Optische Netz Ende-zu-Ende-Dienstleistungen vollständig in der optischen Domäne, ohne irgendwie zwischendurch Signale in ein elektrisches Format zu konvertieren. Unglücklicherweise wird es in den nächsten 5-10 Jahren nicht möglich sein, Signale auf großen Distanzen wirklich völlig ohne elektrische Zwischenverstärkung zu übertragen. Auch wenn optische Regeneratoren kommerziell breit verfügbar werden, müssen die Abstände zwischen den einzelnen Punkten des Netzwerks sorgfältig designt werden, um die Signalqualität über einen ganzen Pfad stabil zu halten. Viele Faktoren müssen hierbei in Betracht gezogen werden, z.B. das optische Signal/Rauschverhältnis (OSNR), die (multi)chromatische Dispersion und noch einige Dutzend weiterer nichtlinearer Effekte, die das Licht auf der Reise durch die Faser begleiten. Die chromatische Dispersion hat einen ähnlichen Effekt wie die Modendispersion. Bei der Moden-

dispersion werden Signale dadurch verformt, dass die Teile des Lichtstrahls, der das Signal darstellt, in Abhängigkeit von ihrem Ausbreitungswinkel im Rahmen der unterschiedlichen Brechungsindizes im Lichtwellenleiter unterschiedliche Laufzeiten aufweisen. Die chromatische Dispersion entsteht dadurch, dass sich die Wellenlänge des Lichtes während der Übertragung über eine lange Strecke im Lichtwellenleiter hauptsächlich durch Mitschwingen in der atomaren Gitterstruktur leicht ändern kann. Ein Lichtstrahl besteht ja aus vielen Milliarden kleinster Strahlen, denen nun jeweils ein unterschiedliches Schicksal beschieden ist; bei manchen ändert sich die Lichtwellenlänge leicht nach unten, bei anderen leicht nach oben, wieder andere kommen praktisch unverändert durch. Dies führt tatsächlich dazu, dass das kohärente monochromatische Licht aus dem Laser am Ende einer langen Übertragungsstrecke nicht mehr monochromatisch und auch weniger kohärent ist. Neben dem primären Effekt der einfachen Signalverformung entsteht darüber hinaus noch ein weiteres, viel schwerwiegenderes Problem: wenn wir auf einer Faser viele Kanäle mit unterschiedlichen Wellenlängen übertragen wollen, haben die unmodulierten primären Trägerwellen keinen allzu großen Abstand untereinander. Dieser Abstand wird nach Modulation mindestens um die doppelte Frequenz der Zeichenschwingung reduziert. Muss man nun mit einer hohen chromatischen Dispersion rechnen, muss der »Sicherheitsabstand« zwischen den primären Trägerwellen untereinander umso größer sein. Praktisch bedeutet dies eine Senkung der Anzahl möglicher Kanäle auf der Faser und damit eine Verteuerung des einzelnen Kanals. Ein Effekt also, mit dem man grundsätzlich nicht spaßen kann. Hinsichtlich der Faser kann man übrigens wenig machen. Die Modendispersion kann man ja weitestgehend durch die Verwendung besonders dünner Glasfasern in Monomodekabeln eindämmen. Eine Einengung der möglichen nutzbaren Frequenzen wäre aber geradezu kontraproduktiv.

Die Grundeinheit in einem Optischen Netz ist die Wellenlänge. Wenn es in einem Netz verschiedene Wellenlängen gibt, wird es wichtig, jede einzelne zu verwalten und zu switchen zu können. Einer der Vorteile Optischer Netze ist es, dass die Netzwerkarchitektur für jede Wellenlänge anders sein kann. Z.B. kann eine Wellenlänge in einem Netz Bestandteil einer Ringkonfiguration sein, während eine andere Wellenlänge, die das gleiche Netz benutzt, eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung herstellt. Diese Flexibilität hat zu zwei Definitionen von Ende-zu-Ende-Dienstleistungen des Optischen Netzes geführt: Wellenlängenwege (Wavelength Paths WPs) und virtuelle Wellenlängenwege (Virtual Wavelength Paths VWPs). Die einfachste Implementierung eines Wellenlängendienstes in einem Optischen Netz ist der WP. Im Rahmen der Benutzung eines WPs betritt und verlässt ein Signal den optischen Layer mit der gleichen Wellenlänge, und diese Wellenlänge wird auch innerhalb des Netzes beibehalten. Im Grunde genommen wird die Wellenlänge also nur

dazu benutzt, zwei Punkte miteinander zu verbinden. Auch wenn ein WP einfach zu implementieren ist, kann dieser Ansatz zu Limitierungen in der Kapazität des Netzwerks und so zu unnötig hohen Kosten führen. Bei VWP kann ein Signalpfad in einem Optischen Netz mehrere unterschiedliche Wellenlängen haben. Durch die Vermeidung einer dedizierten Verbindung kann das Netz Wellenlängen immer wieder neu zuordnen und die Nachrichtenübertragung damit optimieren.

Einer der größten Vorzüge Optischer Netze ist die Möglichkeit, abgebrochene oder anderweitig zerstörte Verbindungen auf dem optischen Layer zu rekonfigurieren. Durch die Implementierung eines Redundanzschemas im optischen Layer können die optischen Knoten den Schutz für alle Wellenlängen eines Weges selbst übernehmen, wobei die Schaltzeiten in der Nähe der Schaltzeiten entsprechender Konfigurationen bei heutigen SONET-Ringen, also in der Größenordnung von 10-100 ms liegen. Die elektrische Rekonfiguration bei Wide AreaNetzen liegt heute in der Größenordnung 10-100 Sekunden. Da die Redundanzfunktionen auf dem optischen Layer stattfinden, benötigen die angeschlossenen elektronischen Switches keine aufwendigen Redundanzmechanismen mehr, die heute immense Kosten nach sich ziehen. Außerdem kann man mit optischer Rekonfiguration die Wellenlängen besser ausnutzen. Es gibt verschiedene Methoden für die Redundanz in optischen Systemen, die alle ihren elektronischen Gegenstücken ähnlich sehen. Am einfachsten ist die Redundanz für eine individuelle Verbindung, einen Link. Sie kann dadurch erreicht werden, dass es für einen Link einen Ersatzweg über ein anderes Kabel gibt. Das wird man aber nicht so machen, dass man grundsätzlich Kabel zieht, die dann anderweitig nicht benutzt werden. Vielmehr kann man auf Ersatzwegen Wellenlängen vordefinieren, die im Falle des Ausfalls für die Redundanz benutzt werden. Ein Link-Redundanzschema hilft aber nicht in allen Fällen weiter, sondern man benötigt eigentlich ein 1:n-Weg-Redundanzschema. Hier werden alle möglichen Wege von Ende zu Ende des Netzes betrachtet und man definiert, welche anderen Wege, Teilwege oder Wellenlängen im Falle des Ausfalls eines Weges oder Teilweges benutzt werden sollen. Natürlich stößt jedes dieser Verfahren irgendwann an Grenzen, wo die Hintereinanderwirkung multipler Fehler schließlich zu unerwünschten Ausfällen führt. Vielleicht die beliebteste Methode, Optische Netze zu konstruieren, ist der Ring. Optische Ringe arbeiten genau wie ihre elektronischen Gegenstücke. Obwohl man hier ggf. mehr und längere Glasfaserleitungen benötigt als bei anderen Redundanzschemata, sind Ringe beliebt, weil sie einen sehr hohen Grad von Verfügbarkeit gewährleisten können. Durch die Aufteilung von Wellenlängen in Gruppen können die Netzwerkplaner bestimmte Wellenlängen in den optischen Layer schalten, während andere Wellenlängen im Rahmen eines normalen SONET-Systems arbeiten. Diese Partitionierung erlaubt eine sanfte Migration von optischen

Ringsystemen. Für die nächsten Jahre bedarf es aber eines ausgeklügelten Management-Systems, um Optische Netze zu betreiben, weil diese zunächst meist unterhalb von SONET-Systemen betrieben werden. Diese haben aber ihr eigenes Kapazitäts-, Performance- und Redundanz-Management und es besteht einfach die Gefahr, dass hier etwas durcheinander gerät, was natürlich nicht wünschenswert ist. Außerdem muss zwischen dem Optischen Netz und dem SONET vermittelt werden. Im Optischen Netz muss es Netzwerk-Management-Systeme geben, die die Signalqualität hinsichtlich einzelner Wellenlängen und hinsichtlich gesamter Ende-zu-Ende-Verbindungen laufend überwachen. Mit der Einführung von Ein/Ausgangsmultiplexern und optischen Kreuzschienenverteiltern wird das natürlich nicht gerade einfacher. Analysesysteme müssen für die Fehlersuche z.B. in der Lage sein, einzelne Wellenlängen herauszusondern und isoliert zu betrachten. Aber auch die Gesamtüberwachung von 40 oder mehr optischen Kanälen ist nicht so simpel und es bedarf neuer, ausgefeilter Methoden. Ein heutiger Netzwerkanalysator muss Datenraten von 10 oder 100 Mb/s verkraften können. Bei 1 Gb/s würde eine 100-Gbyte-Platte in weniger als 800 Sekunden überlaufen, bei einem Tb/s wären es nur noch Bruchteile einer Sekunde, aber so schnell kann die Platte ja gar nicht arbeiten. Es wird an dieser Stelle offensichtlich, dass die Überwachungsinstrumente, die für Terabit-Netze benötigt werden, völlig neuer und anderer Architekturen bedürfen, als dies heute der Fall ist. Parallelverarbeitung in höchstem Maße und die Anwendung intelligenter Regelwerke in Echtzeit wären eine Alternative zur Speicherung und Sichtung der Daten. Außerdem, wer soll sich schon ein Terabit absehen? Schließlich wird man noch dafür sorgen müssen, dass die schönen neuen Dienste auch bei den Kunden ankommen können.

1.1.7 Evolution der Netze

Mit der Entwicklung Optischer Netze sehen sich die Planer einem Dilemma hinsichtlich der bestmöglichen Ausnutzung des Netzes gegenüber: auf der einen Seite verlangen die Zugriffsnetze, mit denen Endteilnehmer oder andere Netze an das Optische Netz gebracht werden sollen, Transparenz hinsichtlich der Bitraten und der Formate. Dies würde für Flexibilität sorgen und den direkten reibungslosen Anschluss von Zubringernetzen mit ATM, TCP/IP, SONET oder irgendeinem anderen Format ohne zusätzliche Konversionsverluste bzw. Konversionskosten ermöglichen. Außerdem könnte man Wellenlängen hinzunehmen oder weglassen, ohne das originale Signalformat zu beeinflussen. Unglücklicherweise fällt dieses transparente Modell auf die Nase, wenn man es auf Metropolitan- oder Wide Area-Netze anwenden möchte. Wenn die Distanzen immer größer werden, müssen Carrier die Kapazität maximieren, um Kosten zu reduzieren, aber das Zulassen von belie-

bigen Datenraten und Formaten würde die Kosten wegen der vielen Fallunterscheidungen nach oben treiben. Das Dilemma besteht also darin, dass Netzwerke die Flexibilität brauchen, eine große Spannbreite von benutzerorientierten Leistungen anzubieten, dies aber ohne Effektivitätsverluste im Fernbereich. Die Lösung dafür ist das optische Gateway, welches mit existierenden optischen Netzwerk-Elementen zusammenarbeitet. Zunächst einmal haben die Carrier die Basis für weitere Aktivitäten durch die Einführung von DWDM-Systemen, meist mit 40 Kanälen, gelegt. Diese werden nunmehr ergänzt durch sog. Optical Add/Drop-Multiplexer, OADMs. Sie reichern die DWDM-Endstellen um einige zusätzliche Möglichkeiten an. Sie können in das System verschiedene von außen kommende/nach außen gehende Wellenlängen einkoppeln/auskoppeln und erfüllen damit eine wichtige Aufgabe.

Ganz wichtig ist, dass die OADM-Technologie asynchrone Transponder in das Optische Netz bringt, die es erlauben, direkt mit umsatzbringenden Diensten zu kommunizieren. So kann man ATM-Netze, breitbandige IP-Netze und passende LANs direkt via passende Wellenlänge in das optische Netz einkoppeln. Die Transpondertechnologie erweitert auch den Lebenshorizont älterer Glasfasernetze, indem einfach die Arbeitsfrequenz auf eine passende Wellenlänge umgesetzt wird, die Schutz-, Redundanz- und Managementfunktionen unterliegt. Der OADM ist außerdem das Grundelement optischer bidirektionaler liniengeschalteter Ringe (OBSRs).

Um das Optische Netzwerk effizient benutzen zu können, die Bandbreitenkapazität zu maximieren und dabei die Protokolltransparenz zu bewahren, wird das optische Gateway ein kritisches Netzwerk-Element. Aus einer Vielzahl von Bitraten, Formaten und Protokollen von alten »Legacy«-Netzen mit wenigen Mb/s bis hin zu 10-Gb/s-SONET-Systemen muss eine gemeinsame Transportstruktur gebildet werden, die den Verkehr beim Zutritt zum optischen Layer steuert. Man hat lange Zeit gedacht, dies könne man mit ATM machen, aber der Grund für ATM lag mehr in der festen Zellenlänge als in anderen Merkmalen. Mittlerweile ist die Technologie aber so weit fortgeschritten, dass auch die Verarbeitung variabler Formate keine größeren Probleme mehr bereitet, sodass man jetzt eher an einer direkten IP-Steuerung arbeitet. Allerdings muss man sich noch überlegen, wo man die Steuerungsintelligenz hinlegt. Wenn nämlich das Optische Netz sehr intelligent ist, benötigt man wesentlich weniger Steuerung in den Zubringernetzen als bisher. Ist das aber nicht so, muss man die Zubringernetze umso mehr aufrüsten.

Optische Ring-Architekturen nutzen rekonfigurierbare OADMs. Die Ring-Architektur ist ein in der TK-Industrie bekanntes und beliebtes Schema, welches jetzt auf die optische Domäne angewendet werden kann. Der optische Ring benutzt die gleichen Basis-Rekonfigurationsmechanismen wie z.B. ein FDDI-Ring, kann aber mehr. Günstig ist vor allem eine Kopplung zwischen

optischen Ringen und bestehenden SONET-Fiber-Ringen. Netzwerk-Elemente haben eine intelligente Software, die einen Modulfehler oder einen Fiberbruch sofort bemerkt und den Verkehr automatisch in die andere Richtung über den Ring schickt. Diese Architektur ermöglicht es den Providern, ihren Kunden ausfallsichere Verbindungsdienste anzubieten. Aber die Netzwerk-Elemente unterstützen jetzt viele Wellenlängen. Im Falle des Fiberbruchs muss das Optische Netz 40 oder mehr verschiedene optische Signale in weniger als 50 Millisekunden rerouten. Da optische Ringe aber umso wirtschaftlicher werden, je größer sie sind, ist die Umschaltzeit kritisch. Eine Technologie, mit der man das schaffen will, ist das sog. Network Protection Equipment NPE, welches die Umschaltzeiten in großen optischen Netzen signifikant reduziert. Anstatt Verkehr von Netzwerkelementen, die Nachbarn einer Bruchstelle sind, umzuleiten, leitet der OBLSR mit NPE den Verkehr von dem Knoten aus um, wo der Verkehr das Netz betritt. Dies schützt den Verkehr davor, ggf. quer durch das ganze Netz gezogen zu werden, und verbessert so die durchschnittliche Schaltzeit.

In einer optischen Domäne, in der 40 optische Kanäle auf einer einzigen Faser transportiert werden können, braucht man ein Netzwerk-Element, welches verschiedene Wellenlängen an Input-Ports akzeptieren und sie an die passenden Output-Ports im Netz leiten kann. Dies ist der optische Kreuzverteiler OXC. Ein OXC benötigt drei Baueinheiten: Fiber Switch: die Möglichkeit, alle Wellenlängen von einer eingehenden Faser auf eine abgehende Faser zu bringen, Wavelength Switch: die Möglichkeit, spezifische Wellenlängen einer Faser auf verschiedene ausgehende Fasern zu legen, und Wellenlängen-Konverter: die Möglichkeit, ankommende Wellenlängen von einem Port entgegenzunehmen und auf andere Wellenlängen an ausgehenden Ports zu konvertieren. All dies muss zudem noch in einer streng nichtblockierenden Architektur aufgebaut sein.

All dies diskutieren wir in Kapitel 6 ausführlich weiter.

1.2 Anwendungsbereich: E-Business-feste Infrastrukturen

Vielfach wird E-Business oder E-Commerce lediglich mit durch das Internet realisierten Handelsstrukturen assoziiert, wobei immer wieder die gleichen Beispiele wie amazon.com strapaziert werden. Diese Perspektive ist allerdings sehr eingeschränkt und führt schnell in die Irre, da die Anwendungsbereiche für reine endverbraucherorientierte Handelssysteme schnell an ihre Grenzen stoßen und die Perspektive für weitergehenden Nutzen in allen anderen geschäftlichen Belangen verstellt werden. Auch eine Konzentration auf

die neueren Marketingparadigmen erschließt das Potenzial von E-Business nicht vollständig.

Natürlich ist es ein wichtiger Schritt, Beziehungen zu Kunden und Zulieferern mit den neueren Hilfsmitteln wie Web-Technologie durch Installation entsprechender Server aufzubauen. Hiermit kann man vor allem relativ schnell zu positiven Ergebnissen kommen, was weitere Projekte in dieser Hinsicht fördert. Aber es ist wichtig, immer zu begreifen, dass dies nur der Anfang eines langen Weges ist.

B2C, B2B und B2E führen letztlich auf ein komplexes Geflecht von Beziehungen.

Basis für alle Realisierungen und Rückgrat der Lösungen ist aber ein erstklassiges, skalierbares, zuverlässiges, steuerbares und wirtschaftliches Netzwerk mit sehr hohen Leistungsreserven.

Denn wie wir in den vergangenen Jahren lernen konnten, kommen Anforderungen an die Netzwerk-Infrastruktur u.U. relativ plötzlich. Wenn eine Infrastruktur nicht von ihrer Konstruktion her auf Wachstum ausgerichtet ist, wird es manchmal schwierig, wenn nicht unmöglich sein, neue Dienste einzuführen. Manchmal ergeben sich auch zunächst Anforderungen durch die Technik selbst, wie bei UMTS. Wir werden beleuchten, was die Einführung von UMTS für die Unternehmen bedeutet, wenn man es richtig zu Ende denkt. Unsere Kunden entwickeln ihre Netze permanent weiter und sind damit im letzten Jahrzehnt sehr gut gefahren. Unternehmen, die diesem Punkt nicht so viel Aufmerksamkeit geschenkt haben, mussten üble Überraschungen erleben, die bis hin zur teuren Auswechslung der Netzwerk-Infrastruktur geführt haben. Wegen der enormen Wichtigkeit soll in diesem Kapitel nicht so sehr die Technik im Vordergrund stehen, sondern eine allgemeine Sensibilisierung. Es fällt immer wieder auf, dass in Unternehmen und Organisationen die Probleme und Möglichkeiten der Vernetzung nicht richtig kommuniziert werden. So entsteht z.B. bei vielen Führungskräften der Eindruck, dass ein Netz eine lästige Sache ist, die immer nur Geld kostet und deren Sinn eigentlich nicht so richtig einzusehen ist. Vor diesem Hintergrund wird es besonders schwierig, die notwendigen vorausschauenden Investitionen freizuklopfen. E-Business Projekte sollten generell auch dazu dienen, die Lage der Netzwerk-Verantwortlichen in dieser Hinsicht zu verbessern. Vor allem kann man nicht einfach hergehen und Projekte in guter Hoffnung ohne jede Prüfung auf die bestehende Struktur aufsetzen.

Übertragung über Lichtwellenleiter gibt es schon lange. Optische Netze systematisieren diese Möglichkeiten und bringen durchaus 120-1000 Kanäle auf jede Faser. Jeder dieser Kanäle hat 2,5, 10 oder 40 Gb/s rohe Übertragungskapazität. Können Sie sich vorstellen, wie preisgünstig Bandbreite im Fern-

verkehr werden wird? Man kommt ja heute schon ins Staunen, wenn man sich in Europa oder USA Carrier ansieht, die diese Technik bereits verwenden und damit Preise ermöglichen, die vor kurzem noch undenkbar gewesen wären. Diese Leistung steht auch irgendwann einmal vor Ihrer Tür. Und die allerwenigsten Netze, die heute installiert sind, können dann damit umgehen. Die optischen Netze werden die Business-Welt massiv verändern, weil jetzt endlich die Bandbreite da ist, die wir für die Geschäftsmodelle, die wir immer schon im Kopf haben, eigentlich benötigen. In diesem Umfeld können Handlungsempfehlungen erarbeitet werden, die die Grundlage für weitere Planungen bilden.

Interessant wird es für den Betreiber einer E-Business-Lösung dann, wenn wirklich Erfolg eintritt. Die meisten Betreiber ignorieren die Tatsachen, dass man mit dem Internet wirklich potenziell Millionen von Interessenten erreicht. Normalerweise werden sich diese nicht alle plötzlich auf dem Server versammeln, sondern zwar mit großer Streuung, insgesamt aber in einer übersichtlichen Bandbreite kommen. Allerdings, es gibt auch Spitzentage, die durch unterschiedliche Ereignisse ausgelöst werden können. Wird die Site in einer überregionalen Zeitung oder in einer großen Fachzeitung beworben oder gar in irgendeinem redaktionellen Zusammenhang positiv erwähnt, geht die Post ab. Obwohl man genau ausrechnen kann, was in einem solchen Falle passiert und welche technologischen Randbedingungen erfüllt sein müssen, damit auch diese große Kundenschar bewältigt werden kann, hat dies irgendwie niemand ernsthaft gemacht. Das Ergebnis ist immer das Gleiche: große Betroffenheit und der kollektive Versuch, die eigenen Zehen zu hypnotisieren.

Was es bedeutet es, wenn ca. 100.000 Tageszugriffe bewältigt werden müssen? Neben der Kapazität der Multiprocessor-Server, für deren Optimierung es genügend Berechnungen gibt, muss auch die entsprechende Zugangskapazität aus dem Wide Area Network vorhanden sein. Nehmen wir ohne Berücksichtigung von Cache-Vorgängen an, dass jeder Kunde 10 Minuten auf dem Server verweilt und eine Ziel-Datenrate von 16 Kbit/s erhalten soll, was schon deutliche Grenzen bei der grafischen Gestaltung einer Site oder bei der Verwendung remote zu ladender Programmeinheiten nach sich zieht. Wir nehmen weiterhin an, dass der Kunde 30% seiner Verweildauer übertragungstechnisch aktiv ist. Diesen Wert kann man hierzulande beobachten, in den USA ist er deutlich geringer. Der Grund hierfür liegt in den immer noch recht hohen Kosten pro Minute für einen Internet-Zugang. Die Leute beeilen sich und versuchen, Inhalte schnell zu erfassen. Größere Inhaltsmengen werden heruntergeladen und später offline angesehen oder ausgedruckt (was natürlich teurer ist, aber darüber denkt kaum ein Endbenutzer nach). Pro Kunde müssen also insgesamt pro Besuch 2,88 Mbit übertragen werden. Bei 100.000 Kunden pro Tag sind dies 288 Gbit. Konzentrieren sich die Kunden auf eine

Kernzeit von drei Stunden, muss eine Übertragungskapazität von 26,7 Mbit/s zum Server vorhanden sein. Viele Chefs, die großzügig für den Internet-Anschluss eine ISDN-Leitung spendieren, würgen den Erfolg des Projekts also von vorneherein ab.

Gibt es überhaupt solche Systeme und Server, werden Sie jetzt vielleicht fragen. Von der Konstruktion der Server her ist die Datenrate weniger ein Problem als die Parallelität. Wir haben in größeren Enterprise-Umfeldern Intranet-Server stehen, die weit über den 100 Mbit/s-Bereich hinaus arbeiten, sonst wäre ja so eine Entwicklung wie Gigabit-Ethernet völliger Unfug. Die Teilnehmer an diesen Servern, also die eigenen Mitarbeiter, bleiben praktisch dauerhaft eingeloggt und führen ggf. je nach Verarbeitungsmodell ihre gesamten Transaktionen über die Server aus, natürlich besonders, wenn dünne Clients als Netzcomputer eingesetzt werden. Die Parallelität vieler Zugriffe führt jedoch manche Betriebssystemvarianten an ihren Grenzen. Dies gilt besonders für Windows NT und das allseits so beliebte LINUX. Das Betriebssystem muss in der Lage sein, parallele Zugriffe auf vielfache Prozessoren zu leiten. Dieses sog. Asymmetrische Multiprocessing funktioniert nicht bei allen Varianten gleich gut.

Systeme, die nach außen hin mit einer solchen Leistung betrieben werden, sind z.B. die der amerikanischen Börse Nasdaq-Amex. Im Falle von besonderen Ereignissen, die allgemeiner Natur oder auf eine bestimmte börsennotierte Firma bezogen sein können, wollen plötzlich Millionen von Benutzern weltweit auf die sich stetig verändernden Kurse schauen. Hier hilft nur noch brutale Power. Ähnliche Dramen können sich auf den Servern der Internet-Auktionshäuser abspielen, die auch sozusagen täglich ausgebaut werden müssen. An der Site der Comdirekt Bank können Sie die Tageszeit ablesen: zu den Haupthandelszeiten sind die Antwortzeiten in einem völlig uninteressanten Bereich, lediglich Mittags haben sie eine gute Chance, hineinzukommen.

Wir wollen mit den Zahlen noch etwas spielen. Mit einem normalen ISDN-Multiplexanschluss von 2,048 Mbit/s senken Sie nach der Modellrechnung die Zahl der möglicherweise gleichzeitig aktiven Kunden auf deutlich unter 10.000. Mit einer Verbreiterung der Kernzeit, wie sie z.B. bei den Internet-Banken zu sehen ist, auf ca. 8 Stunden, könnten Sie mit einem ISDN-Multiplexanschluss etwa 20.000 Kunden bedienen. Dies gilt aber nur für die angenommene schlappe Grafik und die Annahme der Pausen während des Surfens. Sobald sich am Benutzerverhalten etwas ändert, ändern sich auch die Randbedingungen. Wenn die Benutzer von normalen Modems weg zu ADSL gehen, ist die zu bedienende Datenrate nicht mehr 16 kBit/s, sondern über 1 Mbit/s, also das über 60-fache. Dennoch werden die Server nicht sofort davon sterben, denn mit einer erhöhten Datenrate wird sich die Aktivitäts-

rate von 30% deutlich senken. Allerdings ist dies kein dauerhafter Effekt, sondern nur eine Veschnaufpause, weil die ADSL-Kunden langsam aber sicher anfangen werden, mehr Grafik, mehr Qualität und mehr Video- und Audio-Streams zu verlangen.

Man weiß mittlerweile, dass die Internet-Kunden besonders ungeduldig sind, viele von ihnen kommen aus einer eiligen Motivation heraus auf den Gedanken, dieses Medium zu benutzen. Hat ein Anbieter einen Kunden erst einmal geworben, könnte er ihn bei schlechten Antwortzeiten auch schnell wieder los sein, vor allem bei vergleichbaren Angeboten. Selbst ein leichter Mehrwert wird aber selten als Ausgleich für schlechtes Antwortzeitverhalten akzeptiert. Ist der Kunde erste einmal von einem Konkurrenten gut bedient worden, kommt er nicht mehr zurück. Dann war der ganze Werbeaufwand für die Katz. Besonders ärgerlich ist es, wenn die eigene Kampagne Auslöser für das Problem ist:

erfolgreiche Kampagne = viele neue Interessenten

viele neue Interessenten = viel Verkehr und hohe Belastung

viel Verkehr und hohe Belastung bei schlechten Systemen = zu langsame Antwortzeiten

zu langsame Antwortzeiten = Verlust von Bestandskunden, also

erfolgreiche Kampagne = Verlust von Kunden !!!!!!!!!!!

Das ist ja nun wirklich das Dümme, was passieren kann.

Die genannten Datenraten können schon bei einfachen Shop-Systemen auftreten, denn der Schnittstelle zum Kunden hin ist es relativ gleichgültig, ob nun kundenspezifische Daten im Rahmen des One-to-One-Marketing fließen oder nicht.

Viele Kunden werden deshalb dazu übergehen, den Betrieb einfacher Server- und Shop-Systeme auf einen Provider zu verlagern. Hier wurden allerdings schon sehr schlechte Erfahrungen gemacht, weil die Provider sich gerne um die rechtsverbindliche Zusicherung von Bandbreiten drücken und in Deutschland auch äußerst unterschiedliche Flächendeckung haben.

Außerdem kann man sich sein eigenes Grab graben, wenn man einen einfachen Shop-Server auslagert und dann später in Richtung One-to-One-Marketing laufen möchte. Die Provider verwenden heute meist Shop-Software, die hierfür nicht ausgerichtet ist.

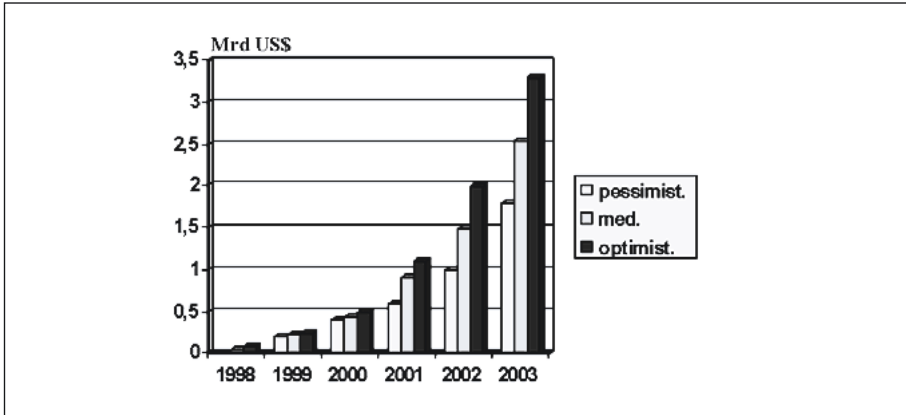


Abb. 1.2.1: E-Business Wachstum B2C

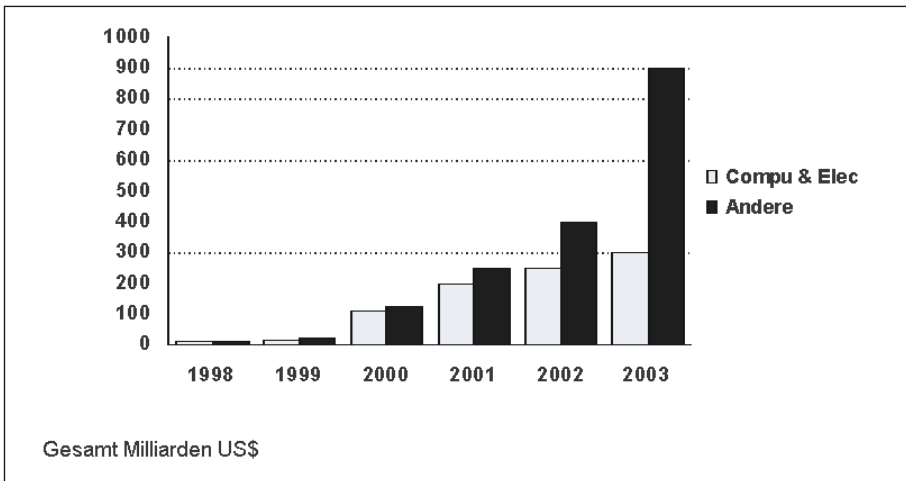


Abb. 1.2.2: E-Business Wachstum B2B

Für die Server und die internen Netze geht es aber mit der Integration betriebswirtschaftlicher Prozesse und perfekter Individualisierung des Kunden erst richtig los: der Merchant-Server bildet zwar die Schnittstelle zum Kunden, muss sich aber, um Anfragen beantworten oder Kundenprofile bearbeiten zu können, Informationen von anderen Systemen holen.

Steht der Merchant-Server beim Provider, muss dann eine umso schnellere Leitung zwischen Provider und Produkt/Dienstleistungsanbieter geschaltet werden.

Ein Merchant-Server stellt erhebliche Anforderungen an die nachgelagerte DV-Infrastruktur. Insbes. Datenbankabfragen sind problematisch, weil sie sozusagen immer in kleinen, in sich abgeschlossenen Zyklen laufen müssen. Für professionelle Lösungen, die eine Vielzahl von Kunden bedienen können, kommen hier nur UNIX-Cluster mit »möglichst wenig NT« in Frage, weil die notwendige Transaktionsrate normalen Servern die Leichenblässe auf das Gehäuse treibt. Wirklich hilfreich ist in diesem Zusammenhang auch der Rückgriff auf den Host. Es ergibt sich darüber hinaus noch der Vorteil, dass das Host-Personal schon seit vielen Jahren gewohnt ist, mit hohen Transaktionsraten umzugehen. Nicht nur an der Systemumgebung, sondern auch an der Geschicklichkeit des Personals liegt es nämlich, wie lange Systemausfälle wirklich dauern und wie viele Kunden in dieser Zeit verloren gehen. Es gibt bereits Erfahrungen über den Ausfall von Web-Servern, die einen Verlust von 10 Millionen Kunden nach sich gezogen haben. Wirklich kein guter Tag für das betroffene Unternehmen! Alle neuen Techniken, wie die Verbindung von mehreren leistungsfähigen Kleinsystemen zu Clustern, müssen erst einmal zeigen, dass sie die Zuverlässigkeit von Hosts erreichen.

An einem Host-Betriebssystem kann man genau einstellen, welche Leistung auf welche Prozesse verteilt wird und auch schnell Aussagen darüber machen, was das im Einzelnen kostet. Bei einem verteilten System stehen derartige Funktionen nicht immer so bereit, wie man dies gerne hätte, und außerdem können Redundanzforderungen zu recht unüberschaubaren Gesamtkosten führen.

Wesentliche Bereiche des Electronic Business sind zusammengefasst:

1. *Business over the Internet*. Ohne realistische Anforderungen und Randbedingungen kann das Design von E-Commerce-Lösungen die Bedarfe der Anwender nicht treffen. Modelle und Mechanismen von Forschungsgebieten wie Mikro-Ökonomie und Marketing-Theorie müssen zum Verständnis des Benutzerverhaltens und daraus resultierend zum Setzen von Entwicklungszielen herangezogen werden.
2. *Security & Payment*. Eine sichere Kommunikations-Infrastruktur ist eine lebenswichtige Vorbedingung für kommerzielle Transaktionen über weltweite Netze. Das Konzept der Sicherheit muss weiter reichen als bis zu den bekannten Fragestellungen um Autorisierung, Authentifizierung und Verschlüsselung. Die Zertifizierung öffentlicher Schlüssel, Merkmale für Dienstqualität, Kreditkartenzahlung usf. sind weitere Themen. Mit wenigen Ausnahmen bestehen E-Commerce-Transaktionen aus Warenfluss oder Dienstleistungen und Zahlungen hierfür. Sichere Zahlungsmöglichkeiten und -Dienste müssen leicht in Frameworks für E-Commerce integriert werden können.

3. *Inter-organisational Workflow Management*. Die Integration von Geschäftsprozessen über die Grenzen einer Organisation hinweg ist eine Herausforderung für das Management und die Technologie. Die Probleme der Prozessintegration betreffen die Sicherheit in heterogenen Umgebungen, Verwaltungs- und juristische Aspekte sowie die Software-Technologie.
4. *Middleware and Brokerage*. Die Middleware verteilter Systeme muss eine Brücke zwischen den grundsätzlichen Kommunikations-Subsystemen und der anwendungsspezifischen Software für Business-Einheiten bilden. Hier bilden sich zurzeit offensichtlich spezielle Standards heraus. Zum einen zeigt sich, dass nur die objektorientierte SW-Technologie überhaupt eine Möglichkeit bietet, zum gewünschten Erfolg zu kommen, und dass mit dem Standard CORBA (Common Object Request Broker Architecture) der OMG (Object Management Group) hier ein Konsens geschaffen wird, der, wie üblich, nur von Microsoft mit einem anderen Modell unterlaufen wird. Zum anderen haben aber auch wichtige Hersteller hier bereits etwas aufzuweisen, wie IBM mit den Elementen des San Francisco-Projekts oder – besonders eindrucksvoll – SAP mit einer Software, die den Besitzer einer R/3-Installation extrem schnell in die Lage versetzt, in erster Ausbaustufe einen Web-Laden und später noch mehr im Internet zu betreiben.

Weitere Unsicherheiten kommen aus dem juristischen Bereich, da insbesondere das elektronische Vertragswesen noch lückenhaft sein kann.

Klar ist aber mittlerweile, dass man in vielen Geschäftsbereichen nicht auf irgendwelche theoretischen Ergebnisse warten kann, sondern mit E-Commerce starten muss, weil die Anderen es auch tun und die viel beschworene Globalisierung hier zuerst stattfindet. Dann kommt man nicht zu einer Lösung, sondern startet einen kontinuierlichen Prozess der permanenten Änderungen und Verbesserungen. Es scheint wichtig zu sein, auch an Vorstände zu kommunizieren, dass man bereits in einer frühen Phase Profit machen kann, wenn man es geschickt anstellt, wie besonders Dell und Cisco eindrucksvoll belegen, die anders als das viel strapazierte Beispiel amazon.com sehr schnell in der dreistelligen Millionen-Gewinnzone waren.

Damit stellt sich jedoch für jede Organisation (Unternehmen, Behörde, Campus, ...) die Frage nach einer technischen Infrastruktur, die auch in Zukunft den verschiedenen identifizierten Problembereichen Rechnung tragen kann und ihren Besitzer/Betreiber stützt statt behindert: das »E-Business-feste« interne Netz, in diesem Buch ab jetzt kurz **EBF-LAN**. Ohne ein EBF-LAN sind theoretische Planungen und Abbildungen von Geschäftsprozessen auf Clients und Servern sowie weitere Anstrengungen zum Scheitern verurteilt, weil früher oder später der unangenehme Moment kommt, in dem man feststellen muss, dass das interne Netz den neuerlichen Anforderungen nicht gewach-

sen ist. Wenn dann erst der Netzwerk-Redesign-Prozess beginnt, wird der Gesamt-Projektplan unerträglich zurückgeworfen.

Bei E-Business-Projekten muss man üblicherweise mit einer sich sehr schnell weiterentwickelnden Software-Technik arbeiten. Man wird auch ohne weitere Hindernisse vielfach Mühe haben, eine Projektphase so schnell abzuschließen, dass die darin verwendete Software noch aktuell ist. Nicht umsonst spricht man davon, dass ein Jahr 5-7 »Internet-Jahren« entspricht. Ein Netzwerk-Redesign kann, wenn die Ausgangssituation nur ungünstig genug ist, bis zu zwei Jahren dauern. Für die E-Business-Lösung sind dann schon 10-14 Internet-Jahre vergangen. Also muss das Netz relativ unabhängig von den angestrebten E-Business-Teillösungen weiterentwickelt werden. Diese Unabhängigkeit ist wichtig und sinnvoll, da man nicht erwarten kann, von den E-Business-Lösungen schon zu Beginn eines Planungsprozesses sichere Randbedingungen hinsichtlich der geforderten Leistung, Reaktionsfähigkeit und Zuverlässigkeit des Netzes zu erhalten. Dies ist eine schwerwiegende Änderung des bisherigen Planungsparadigmas für interne Netze.

Aus der Beratungspraxis ist bekannt, dass die meisten Organisationen weder das Problem erfassen noch in irgendeiner Weise vorbereitet sind.

Gerne redet man über die neuesten Technologien und diskutiert heiß Verfahren, die man in der Realität nicht benötigt. Es gibt in der Anwendung heute aber eine Reihe von Trends, die man nicht übersehen oder unterschätzen sollte. Es ist Sinn dieses Abschnitts, die wichtigsten Bereiche zu beleuchten.

Die weiträumige Einführung von Client/Server-Technologie wird allen Alternativen zum Trotz das Bild der nächsten Jahre bestimmen. Es ist zu erwarten, dass sich weder die Microsoft- noch die Intranet-Fraktion eindeutig durchsetzen können. Vielmehr wird es ein Nebeneinander von Maschinen, die wie üblich am Wintel-Wettrüsten teilnehmen, einfacheren Netz-Computern und gut ausgestatteten Workstations geben. Auch auf der Server-Seite ergibt sich kein einheitliches Bild. Nach wie vor werden sinnvollerweise Investitionen in Daten und Programme auf Großrechnern geschützt. Des Weiteren werden wegen der offensiven Intranet-Strategie die IBM-Großrechner auch vermehrt als Web-Server in den Fällen eingesetzt werden, wo es auf hohe Leistung für vielfache Zugriffe ankommt. Es ist also eher mit einer Steigerung der Anzahl der Großrechner zu rechnen als mit deren Ablösung. Neuere Großrechner verlangen aber eine erhebliche Bandbreite des Netzes, damit sie ihre Leistung auch »auf die Straße« bringen können. Die mittleren Systeme haben ebenfalls einen erheblichen Leistungsschub hinter sich, und für Serverfarmen gilt im Grunde das Gleiche wie für Großsysteme: sie benötigen massive Netzwerkleistung, denn das Netzwerk ist letztlich nichts anderes als der interne Bus der zufällig auf mehrere Gehäuse verteilten, in ge-

wissem Maße parallel arbeitenden Rechensysteme. Diesen Aspekt sollte man sich auch für die Client-Anbindung immer vor Augen halten: die Clients gehören zur Peripherie der Netzwerk-Server. Leistung auf beiden Seiten nützt nichts, wenn die Verbindung leistungsschwach ist. Aber pure Leistung alleine reicht für zukünftige Anwendungen auch nicht aus: auch Reaktionszeit (Isochronität) und Qualität können wichtiger werden als heute.

Die Überlegungen führen aber ins Uferlose, wenn man immer weitere Anforderungen in den luftleeren Raum stellt. In einem wesentlich höheren Maße als bisher sollte ein Planungsprozess die Frage stellen: **Was benötigt meine Organisation wirklich?**

Aus der bisherigen Erfahrung muss man schließen, dass nur ein integriertes Netz- und Systemkonzept dauerhaft Erfolg haben kann, weil es nur noch durch gleichzeitige Planung möglich sein wird, die Komponenten so aufeinander abzustimmen, dass ein Gesamtgebilde mit den gewünschten Eigenschaften herauskommt. Der bisherige Weg der reinen Netzwerkplanung wird vermutlich immer weiter in die Irre führen, weil hierbei zu viele Fragestellungen von der Realität losgelöst diskutiert werden. Reduziert man aber das Netz vom allgemeinen Hype auf den internen Bus eines verteilten Rechensystems mit Clients und Servern, kann man es nicht mehr von diesen Systemen und den durch sie implizierten Anforderungen lösen. Da sich Netze und Systeme von der Entwicklung her neuerdings einigermaßen im Gleichtakt bewegen, ist es praktisch, auch zusammen zu planen.

Moderne Unternehmen und Organisationen haben alle oder wenigstens eine Reihe unterschiedlicher Zieldimensionen, die alle auf das Design zukunfts-sicherer Netze einwirken:

- Globalisierung der Märkte, Kampf ums Überleben
- Rightsizing
- Internet/Intranet
- Von der Web-Präsenz zum Web-Profit
- Beherrschbarkeit
- Service-Fähigkeit
- Wirtschaftlichkeit
- Flexibilität
- Sicherheit der Unternehmensdaten und Prozessen

Die Globalisierung der Märkte wird oft unterschätzt, bzw. in der Beratungspraxis ist der Kunde oft unwillig, dies als Zieldimension zu akzeptieren. Dabei sollte klar sein, dass durch die Ausbreitung der elektronischen Medien nicht nur wie bislang die Produktivitätsfaktoren Kapital und Material weltweit

beweglich sind, sondern auch die Information. Ernsthaft hindert nichts daran, Software in Indien und Usbekistan entwickeln zu lassen und anschließend weltweit zu vermarkten, unabhängig davon, wo man sich gerade als Unternehmen lokalisiert. Ich kann Kunde einer Bank oder Versicherung werden, die es nur im Internet gibt. Mitbewerber, die bisher durch geografische Distanz uninteressant waren, werden jetzt zu einer ernst zu nehmenden Bedrohung. Klar ist, dass alle Unternehmen diesen Zwängen mehr oder minder stark und früher oder später ausgesetzt sind.

Was hat dies alles mit Netzen zu tun? Es ist zu vermuten, dass derjenige, der nicht auf dem neuesten internationalen Stand ist, schnell ins Hintertreffen gerät. Wer nicht in der Lage ist, seine Geschäftsprozesse hemmungslos via verteilten Komponenten und Netzwerk zu Re-Engineeren, hat eben »Pech gehabt«, wenn ein Mitbewerber schneller ist.

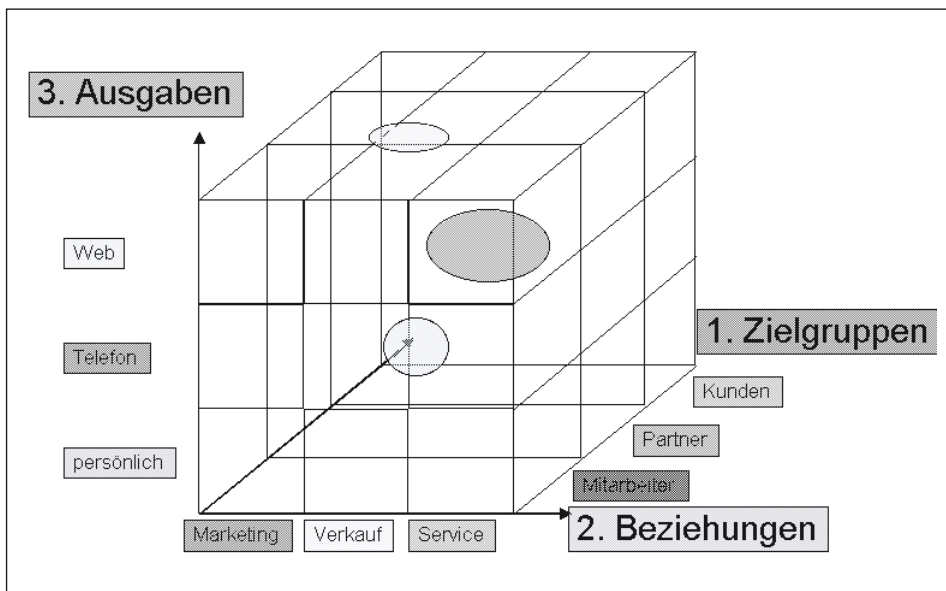


Abb. 1.2.3: XRM-Beziehungen

In ähnlichem Kontext ist auch das Rightsizing zu sehen. Niemand sollte durch das Netz daran gehindert werden, seine Geschäftsprozesse in einer verteilten Umgebung mit den Maschinen, die für diese Prozesse geeignet sind, durchführen zu können. Außerdem muss es möglich sein, die Basis schnell zu ändern. Natürlich bedeutet Rightsizing auch den Abschied von überholten Dingen, aber primär sollte man das Augenmerk auf die wirklich wichtigen Neueinführungen legen.

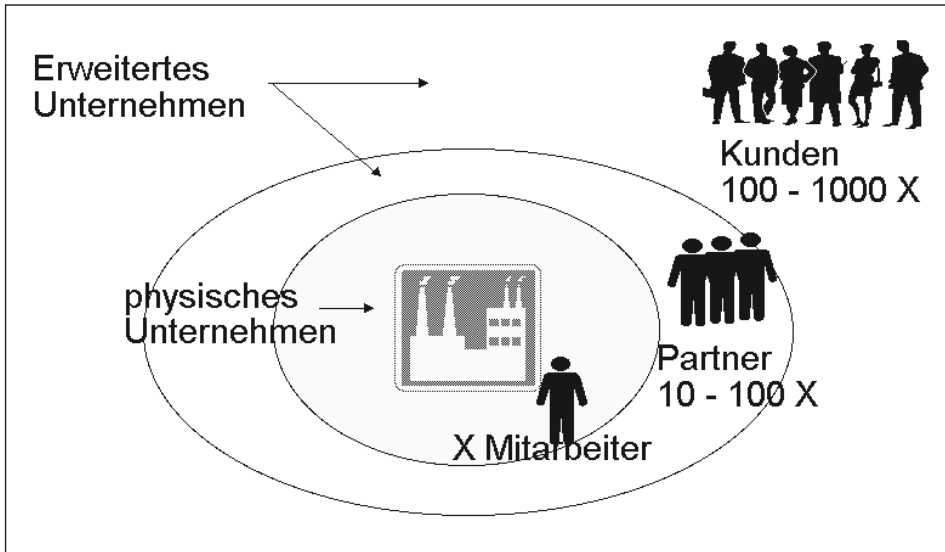


Abb. 1.2.4: XRM-Würfel

Hierzu ein kleines Beispiel: Der Autor ist der Überzeugung, dass die meisten Unternehmen die Vorteile einer Intranet-Struktur früher oder später einsehen werden. So kann man von einer dreistufigen Grundstruktur ausgehen, nach der die Arbeitsplatzrechner an das Intranet angeschlossen sind, welches seinerseits durch ein schnelles LAN mit darüber liegender geeigneter Software realisiert wird. Die Dienstleistungen des Intranets bestehen aus einer Menge logischer Server, z.B. Mail-Server und Web-Server, die für den zunächst internen Bedarf in einer Serverfarm zusammengeschlossen sind. Man wird dazu neigen, das Intranet zunächst mit kleinen Web-Servern aufzubauen. Das Intranet steht dann, ausgerüstet mit einer Firewall für Datenschutz und Datensicherheit, mit dem allgemeinen Internet in Verbindung. Nun kommt jemand auf die Idee, einen elektronischen Laden aufzumachen, um Kunden über das Internet anzusprechen. Ein Merchant-Server koordiniert und steuert die Zusammenarbeit mit den einzelnen involvierten Komponenten. So wird man auf unternehmenseigene Datenbanken zurückgreifen wollen oder die Antworten an die Kunden personalisieren oder den Rechner der Kreditkartengesellschaft hinsichtlich der Kunden-Solvenz befragen usw.

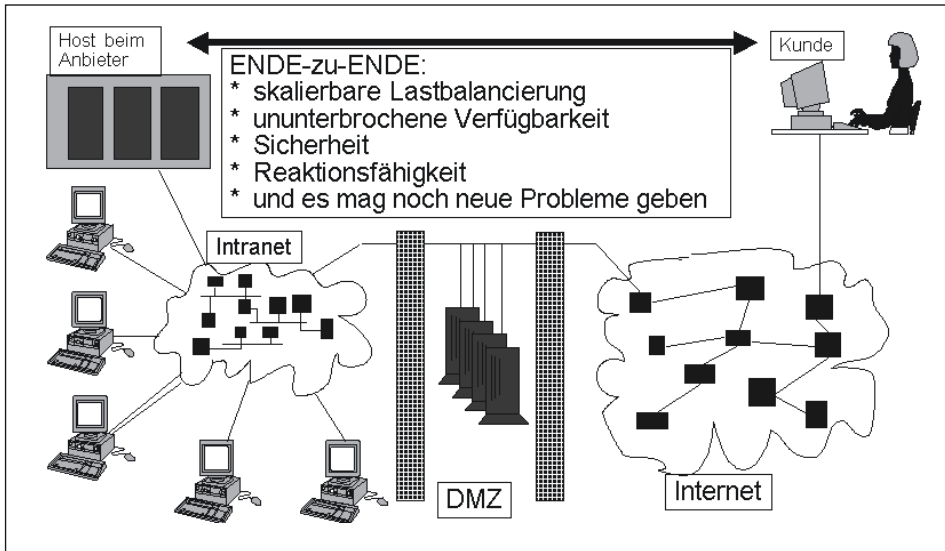


Abb. 1.2.5: Elektronischer Laden

Angesichts des immer stärker werdenden Wettbewerbs ist es dann nicht mehr machbar, Versäumtes in einer angemessenen Zeit nachzuholen. Die Planungs- und Realisierungsprozesse für LANs und Serversysteme sind viel zu lang, um noch zu reagieren. Es gibt keine Möglichkeit, noch die Kurve zu kriegen, wenn man bereits gegen die Wand gefahren ist!

Dies bedeutet über die Lebenszeit eines vernünftigen LANs die Möglichkeit erheblicher Änderungen auf der Seite der Server. Statt der Abrüstung der Hosts rechnet der Autor mit immer mehr Hosts für die Unterstützung wirklich interessanter Prozesse. Nicht mehr das System, sondern der Unternehmensprozess ist das Maß aller Dinge.

Dadurch kommt aber auf die LANs nicht nur die Dimension der sich ständig wandelnden Server-Maschinen zu, auch müssen die Netze ein wesentlich breiteres Spektrum von Endgeräten verkraften als bisher. Neben den normalen PCs und Workstations, die sich der üblichen Entwicklung gemäß fortentwickeln werden und eher für anspruchsvollere Aufgaben eingesetzt werden, wird man zunehmend auch andere Typen von Endgeräten in Netzen finden. Da ist zunächst einmal der Netzcomputer, der letztlich kurzfristig einen großen Teil der bestehenden Terminals ablösen wird. Dadurch, dass er alle seine Programme in Form von Java-Applets bekommt, wird das Netz eher mehr belastet, als dass eine Entlastung zu sehen ist. Der NC hat eine Reihe handfester Vorteile, insbesondere erwartet man durch ihn eine deutliche Senkung der Cost of Ownership.

Wenn immer mehr Geschäftsprozesse durch Netze und Systeme unterstützt werden, ist klar, dass ein einzelner Mitarbeiter immer weniger tun kann, wenn er nicht über entsprechende Hilfsmittel verfügt. Also wird der Anschluss von Laptops und mobilen Computern immer wesentlicher. Was die Anzahl der Endgeräte betrifft: je nach Branche werden fast alle Mitarbeiter PCs, NCs oder Ähnliches bekommen. Die Terminals verschwinden ganz, sodass auch noch die bisher z.B. über alte SNA-Netze laufenden Datenströme zu berücksichtigen sind. Gegenüber Bandbreitenfressern wie Video-Konferenz verblassen sie jedoch spürbar.

Die Entwicklung der Programmieretechnik befindet sich ebenfalls in einem erheblichen Umbruch. Durch die Verwendung objektorientierter Mechanismen, wie sie in Java zu finden sind, können letztlich alle Programme und beliebige Teile von ihnen wüst verstreut werden. Neben den heutigen Applets, die von kleinen Programmchen für bewegliche Bildchen in Browsern bis hin zu kompletten Sammlungen für die Realisierung von Bürosoftware reichen, sind bereits sog. Servlets definiert worden, die Dienstleistungen dadurch verfügbar machen, dass sie im Gegensatz zu den Applets nicht von den Servern zu den Clients, sondern von den Clients zu den Servern geschickt werden. Cisco Systems hat z.B. eine Reihe von Definitionen veröffentlicht, die die Schaffung kleiner, flexibler Netzwerk-Server für die unmittelbare Versorgung von NCs erleichtern soll. Alle wesentlichen Firmen, die heute Netzwerk-Management Produkte anbieten, migrieren langsam aber sicher in Richtung WWW-Technologie, sodass als Nächstes Manlets für die Ausführung von Management-Aufgaben zu erwarten sind. Man muss an dieser Stelle auch deutlich sagen, dass sich die Software-Entwickler äußerst großzügig bedienen, was die Netzressourcen betrifft. Keine moderne Software nimmt noch Rücksicht auf langsame Verbindungen. Das liegt daran, dass die meisten Pakete aus den USA kommen, wo ja sogar Fernverbindungen manchmal schneller sind als LANs hierzulande. Schließlich wird auch der Rechner-zu-Rechner-Verkehr auf allen Seiten zunehmen; kooperierende Clients und kooperierende Server tragen nicht gerade zur Verringerung der Netzlast bei.

Heute geht man davon aus, dass man nur wenige Kunden, einige Zulieferer und einen begrenzten Teil der Mitarbeiter mittels der modernen technischen Möglichkeiten erreicht. Aber das Wachstum ist überall zu spüren. Zur Jahrtausendwende werden alle für die Unternehmensprozesse wichtigen Mitarbeiter regelmäßig elektronische Medien nutzen und die Zulieferer werden eng in die Datentechnik des Unternehmens eingebunden sein, Stichwort: Extranet. Die Anzahl der ver»web«ten Kunden wird vielleicht ein Drittel ausmachen, weil viele Kunden noch nicht über die entsprechenden Möglichkeiten verfügen und Vorbehalte z.B. hinsichtlich der Sicherheit haben. Bestimmte Bereiche, wie Banken, werden diese Vorurteile aber systematisch ausräumen und gleichzeitig die Entwicklung wirklich sicherer Transaktionssysteme vor-

antreiben, weil sie einen erheblichen Profit dadurch erzielen, die Zweigstellen und die aufwendige Kundenbetreuung einstellen zu können. Gleichzeitig werden PCs oder ähnliche webfähige Geräte so selbstverständlich wie Telefone, sodass man in vielen interessanten Bereichen damit rechnen kann, in wenigen Jahren auch alle Kunden zu erfassen.

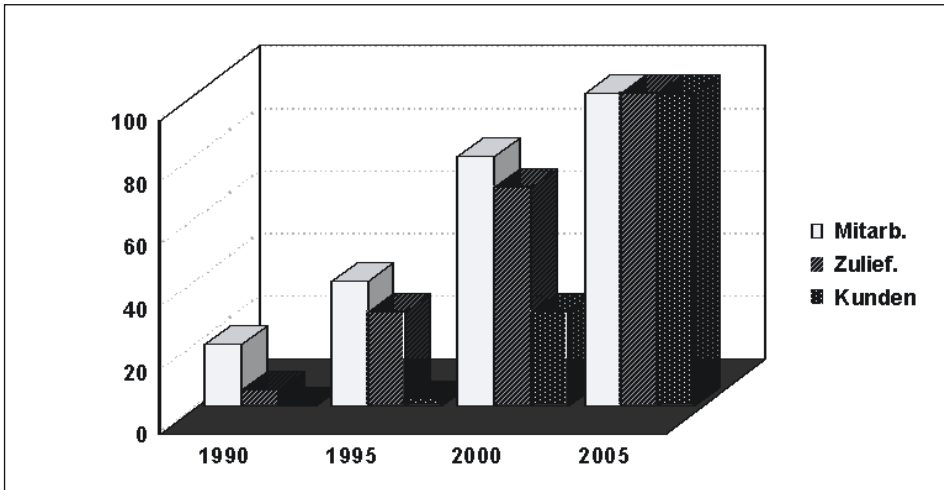


Abb. 1.2.6: Wachsende Anzahl von Mitarbeitern, Zulieferern und Kunden im Web

Die nächste Dimension formuliert eine Anforderung an den Netzwerk- und System-Betrieb. Um Qualität, Leistung und Verfügbarkeit sicherstellen zu können, benötigt man ein Betriebskonzept, mit Hilfe dessen man Betriebszustände erkennen und gezielt beeinflussen kann. Im Rahmen dieses Konzeptes kommt man dann zu Netz- und System-Management in konventioneller Denkweise. Eine noch so schöne Technik wird für sich gesehen einer Organisation keinen Nutzen bringen, wenn sie nicht beherrscht werden kann. Dies führt in der Realität dazu, dass geprüft werden muss, welches Personal im interessierenden Zeitraum überhaupt für den Netz- und System-Betrieb abgestellt werden kann und welche Voraussetzungen dieses Personal mitbringt. In vielen Projekten stellt sich nach Prüfung des Personals heraus, dass bestimmte angedachte Dinge nicht durchgeführt werden können, weil das Personal sie nicht beherrschen wird und auch nicht dafür geschult werden kann. Vielfach stellt sich auch die Frage, ob man lieber des Weg des Outsourcing geht oder auf den Einsatz bestimmter Technologien verzichten muss. Mit Ausnahme weniger Einzelfälle nehmen die Hersteller auf solche Randbedingungen keine Rücksicht. Streng genommen ist es wahrscheinlich auch nicht ihre Aufgabe.

Die Erwähnung der Anwender führt zum Begriff der Service-Fähigkeit, der sich in Qualität, Reaktionszeit und Zuverlässigkeit ausdrückt. Bislang war es ausreichend, Benutzern ab und an ein Datenpäckchen zu schicken. Für viele Benutzer wird das auch in Zukunft so sein. Andere Benutzer werden weitergehende Anforderungen haben, wie z.B. die Benutzung einer Video-Konferenz oder die Integration der Telefonie. Durch solche Wünsche werden Randbedingungen für die Konstruktion der Netze und Systeme festgelegt. Bestimmte Anforderungen führen z.B. dazu, dass man konventionelle Netze überhaupt nicht mehr benutzen können wird. Im Rahmen eines Planungsprozesses sollte klar werden, welche Service-Stufen mit welchen Qualitäten an welchen Arbeitsplätzen zur Verfügung gestellt werden sollen.

Professionelle Netzwerke, bei denen Kosten/Nutzen-Überlegungen im Vordergrund stehen, benutzen seit Jahrzehnten schon vergleichbare Planungsprozesse: wenn ein Telefonnetz ausgebaut werden soll, müssen vorher die Anforderungen, z.B. geplante Anschlusszahl und Anschlussqualität, auf dem Tisch liegen. Angesichts der vielfältigen unterschiedlichen Möglichkeiten auch der lokalen Datenkommunikation ist es nicht mehr ausreichend, wie bisher zu denken, denn bestimmte Dienstqualitäten werden von verschiedenen Netzwerktechnologien eben erreicht oder nicht. Setzt man die falsche Technologie ein, wird man nach kurzer Zeit wiederum Änderungen vornehmen müssen. Es besteht aber auch vielfach die Verlockung des Überpowerens aus Angst, etwas falsch zu machen. Aber gerade dies führt ggf. zu Kosten, die durch nichts zu rechtfertigen sind.

Durch die Globalisierung der Märkte werden die Unternehmen zu einem ganz anderen Kostenbewusstsein gebracht. Es muss immer eine Relation zwischen dem Profit aus einem Arbeitsplatz und den Kosten dafür geben. Wesentlich ist dauerhaft ein Abbau der Personalintensität und die Schaffung eindeutiger Abläufe und klarer Zuständigkeiten.

Ein weitere, immer noch viel zu sehr unterschätzte Zieldimension ist die Sicherheit der Unternehmensdaten und Prozesse. Der Schutz gegen Gefahren von außen und innen beginnt beim Design der Netze und Systeme.

Die neuen Anforderungen können nicht durch einfache Nachbesserungen kleinerer Details wie der Netto-Übertragungsrate erfüllt werden. Vielmehr muss ein Gesamt-Design der Netzwerk- und Systemlandschaft der neuen Rolle des Netzes als universeller Informationsbus gerecht werden. Zerfetzt man sich an dieser Stelle über die hinlänglich bekannten Fragestellungen, wird man keinen Schritt weiterkommen.

Man muss auch deutlich sagen, dass bisherige, traditionelle Netze so schwer wiegende und teure Defizite haben, dass ein weiterer Einsatz und Ausbau nach bislang geltenden Mustern vielfach nicht mehr sinnvoll erscheint. An

allen Ecken und Enden sind technische, wirtschaftliche und organisatorische Defizite und Probleme zu finden, die man nur immer weiter vorantreibt, wenn man immer in der gleichen Art und Weise fortfährt. Viele Planer und Verantwortliche haben eine rosa Brille auf, die sie nach dem Kölschen Motto »Es hät immer noch jot jejang« (Es ist immer noch gut gegangen) verfahren lässt.

Aber alleine schon das veränderte Leistungsbild der verwendeten Client- und Server-Maschinen sollte aufhorchen lassen. Der Zenit der Pentium-Familie ist bereits überschritten. Viele Kunden möchten offensichtlich auch weiter mit fetten Clients arbeiten, statt die Richtung der Netzcomputer einzuschlagen. 2000 haben die Privatkunden alleine in Deutschland ca. 5,5 Millionen neue PCs gekauft. Da können die Unternehmen nicht nachstehen. Es ist psychologisch äußerst ungünstig, einen Mitarbeiter, der zuhause einen luxuriösen PC hat und sich auf diese Weise für das Unternehmen kostenlos fortbildet, im Unternehmen vor ein altes Hündchen zu setzen, welches Antwortzeiten im Halbstundentakt aufweist.

Es gibt eine Reihe von Trends, die die Planung von Netzen wesentlich beeinflussen.

Wir beginnen bei den Client-Systemen. Hier ist zu unterscheiden zwischen Pentium-Systemen und Nachfolgern sowie Workstations auf der einen und Netzcomputern auf der anderen Seite des Spektrums. Die Wintel-Systeme werden auf dem Weg zur 64-Bit-Architektur wachsen. Heutige Netze existieren eigentlich nur noch deshalb, weil die Clients an den Kommunikationsaufgaben relativ lange herumrechnen und somit trotz sehr hoher interner Busgeschwindigkeit kaum einige wenige Mbit/s in das Netz bringen. Anwendungs- und Systemfunktionen sind selten hinsichtlich der Kommunikation optimiert. Mittelfristig ist aber dennoch alleine aufgrund der hohen Prozessorverarbeitungsgeschwindigkeit bei den Low-End-Wintel-Systemen mit einer möglichen Dauerleistung um 30 Mbit/s zu rechnen. Dies ist eine Leistung, die von geschwichtem Fast Ethernet mühelos dauerhaft erbracht werden kann. Shared Medium-Systeme haben in diesem Zusammenhang überhaupt keine Bedeutung mehr. Auf den Servern sieht es dann noch anders aus; Dauerleistungen von 1 Gbit/s sind durchaus zu erwarten. Hierfür spricht auch z.B. die Clusterung konventioneller UNIX-Systeme oder der gewaltige Leistungsschub bei Massenspeichersystemen, die heute schon über 100 MB/s verarbeiten können. Angesichts dieser Verhältnisse ist der Ruf nach einer Gigabit-Technologie verständlich. Gigabit-Ethernet konnte sich sozusagen von jetzt auf gleich durchsetzen. Mitte 2001 haben schon mehr als die Hälfte unserer Kunden Gigabit-Ethernets in Betrieb, davon nutzt wiederum die Hälfte bereits die Möglichkeiten von Vollduplex und Trunking, sodass der Kern des Netzes 2,4 oder 8 Gb/s übertragen kann. Wiederum etwa die Hälfte

dieser Kunden, also gesamt gesehen 10-12% werden noch in 2001 ernsthaft mit der Einführung von 10 Gb/s beginnen.

Durch den Kampf der Halbleiterhersteller ist der Preis für einen mit 100 Mbit/s geschwichten Fast Ethernet-Port weit unter 100 \$ gefallen. So schön dies einerseits ist, hat es natürlich andererseits Konsequenzen für die Strukturierung der Backbones, denn es ist völlig abwegig, Endgeräte mit 100 Mbit/s anzuschließen und Server auch. Letztere benötigen eine höhere Leistungsstufe, sonst kommt es zu Engpässen, die die ganze Performance zerstören. Außerdem neigt man dazu, Server zu clustern. Server Farms haben eine Menge organisatorischer Vorzüge und sind auch aus der Perspektive von Datenschutz und Zuverlässigkeit günstiger zu bewerten als verstreute Abteilungssysteme.

Andererseits gibt es bei jedem Netzwerkprojekt noch eine große Anzahl älterer Geräte, die irgendwie integriert werden müssen.

Es entsteht also der Bedarf nach stufenweise skalierbarer Netzwerk-Leistung. In einfacheren Fällen geht es nur um nackte Leistung, in komplexeren Fällen kommt noch die Backbone-Problematik und der Wunsch nach wählbarer Dienstgüte hinzu. Nach wie vor werden die Benutzer weiterhin nur einen geringen Anteil an der Gesamlast stellen, aber die fortentwickelten Betriebssysteme bedienen sich ungehemmt der Netzwerkleistung.

Von der Anwendungsseite her sind vor allem verteilte Datenbankanwendungen und Video-Anwendungen als kritisch zu betrachten. Verteilte Datenbankanwendungen erzeugen ein Lastprofil mit ganz vielen kleinen Paketen. Sie sind der Schrecken der Switch-Anbieter, da alle diese Pakete einzeln vermittelt werden müssen. Mit alten Zugriffsmethoden wie Token Ring oder CSMA/CD-Ethernet sind größere verteilte Datenbankanwendungen nicht realisierbar. Für das Antwortzeitverhalten ist es nämlich maßgeblich, wie die Netzwerk-Verzögerung aussieht. Für eine Antwortzeit unter einer Sekunde ist bei ca. 1000 Päckchen eine Netzwerk-Verzögerung von weniger als einer Millisekunde erforderlich. Ein derartiger Wert ist mit den heutigen verbrückten Systemen und starker Subnetzbildung unrealistisch. Ähnliches gilt auch für Video-Anwendungen. Es ist eine wesentliche strategische Entscheidung, ob in stärkerem Maße Video eingesetzt wird oder nicht.

Wir fassen also die Anforderungen an E-Business-feste Netzwerk-Infrastrukturen wie folgt zusammen:

Individuell skalierbare und stufenweise ausbaubare Netzwerk-Leistung

- Skalierbarkeit in den Dimensionen:
 - Gesamt-Übertragungskapazität
 - Endgeräte-an-Netzwerk
 - Server-an-Netzwerk
 - Netzwerk-an-Netzwerk
 - Isochronität
- hohe Zuverlässigkeit/Ausfallsicherheit
- Wirtschaftlichkeit
- Beherrschbarkeit

Alte, bestehende Netze, neue Techniken und steigende Anforderungen aus den Anwendungen bringen die Planungsverantwortlichen in erhebliche Bedrängnis. Neben einfacheren Fragestellungen, die den reinen Datentransport betreffen, wie Fast- oder Gigabit-Ethernet, treten neue Welten wie VLANs und verteiltes Routing mit jeweils einigen Dutzend schwer durchschaubaren Alternativen hinzu, die Planer und Anwender mit Recht verunsichern. Von vielen Dingen ist nämlich überhaupt nicht klar, ob man sie überhaupt benötigt, und wenn ja, in welcher Form. Während sich IEEE 802 bemüht, wenigstens die Grundfesten des Ethernet-Standards im Hinblick auf höhere Übertragungsgeschwindigkeiten zu erhalten, tummeln sich spätestens auf der Schicht 2 die unterschiedlichsten proprietären Verfahren, in denen nach Aussagen der jeweiligen Hersteller ganz bestimmt das Heil liegt. Leider sind aber gerade die Verfahren für VLANs und verteiltes Routing ziemlich kompliziert in ihrer Arbeitsweise, und das einzige, was man wirklich mit Bestimmtheit weiß, ist, dass Verfahren unterschiedlicher Hersteller nicht zusammenarbeiten und herstellerübergreifende stabile Realisierungen von Standards, die gerade dabei sind, sich als zartes Pflänzchen abseits der Herstellerinteressen durchzusetzen, nicht vor Ablauf von ca. mindestens zwei Jahren zu erwarten sind.

Womit wir bei der nächsten Zieldimension wären: der **Wirtschaftlichkeit** des Betriebes. Netz- und System-Konzept müssen von einer Vollkostenrechnung begleitet werden, die es erlaubt, z.B. den Fachabteilungen faire Preise für Dienstleistungen, Infrastruktur und Qualität zu machen, und die im Rahmen eines Controllings immer wieder die Ausgaben für die vernetzte DV zu den Unternehmenszielen korreliert. Hierbei ist besonders auf die massiven Personalkosten zu achten. Nach Ansicht des Autors sind Technologien besonders dahingehend zu bewerten, mit wie wenig Personal sie auskommen. Außerdem gibt es in der Praxis mittlerweile verschiedene sehr schöne Modelle, wie man durch Aufgabenerlegung Personal über den Versorgungsprozess mit

DV-Leistung besser verteilt. So kann es z.B. anwendernahes »Datenverarbeitungsverbindungspersonal« geben, welches aus den Fachabteilungen kommt, vergleichsweise wenig kostet, aber vielleicht 98% der Grundprobleme der Anwender lösen kann, ohne dass diese teure Fachspezialisten behelligen müssen. Durch die Globalisierung der Märkte werden die Unternehmen zu einem ganz anderen Kostenbewusstsein gebracht. Es muss immer eine Relation zwischen dem Profit aus einem Arbeitsplatz und den Kosten dafür geben. Wesentlich ist dauerhaft ein Abbau der Personalintensität und die Schaffung eindeutiger Abläufe und klarer Zuständigkeiten.

1.3 Anwendungsbereich: UMTS

UMTS ist in der Netzwerkwelt momentan die wohl am meisten unterschätzte Gefahrenquelle für bestehende Infrastrukturen. Man hat sich daran gewöhnt, dass Kunden, Zulieferer und externe Mitarbeiter normalerweise mit ISDN, also ca 140 Kb/s oder ADSL bzw. TDSL mit ca. einem Mb/s auf die E-Business-Lösungen zugreifen. Insgesamt gesehen hat sich aber ADSL nicht in dem Maße durchsetzen können, wie dies prognostiziert wurde, sondern rangiert europaweit je nach Land zwischen 15 und 25% der Anschlüsse, auch wenn, wie z.B. in Großbritannien, eine Flächendeckung von 90% möglich wäre. Die Kunden sehen den Mehrwert nicht so recht ein, und auch aggressive Preismodelle ändern daran wenig. Außerdem dürfen die Preismodelle auch nicht zu aggressiv werden, denn British Telecom BT klagt über die fürchterliche Unwirtschaftlichkeit von xDSL. Für den Benutzer ändert sich mit xDSL eigentlich auch nicht sehr viel, weil er weiter zu Hause oder im Büro vor seinem Rechner hocken muss und lediglich schnelleren Zugriff auf Web-Seiten erhält, was eigentlich nur bei umfangreichen Dateitransfers oder Videos wirklich interessant ist. Außerdem ändern sich natürlich auch laufend die Randbedingungen. Der überwiegende Teil der Privatleute, die in 2000 einen TDSL-Anschluss bestellt hatten, fanden vor allem den kostenlosen Download von Musik interessant, wie er z.B. von Napster (wieder) geboten wird. Gerade die MP3-Files sind in einer Größenordnung, die mit herkömmlichen ISDN-Anschlüssen wirklich sehr mühsam zu transportieren ist. Alle diese Leute müssen nun feststellen, dass sie spätestens ab Mitte 2001 doch für die Musikstücke bezahlen müssen und finden das gar nicht toll.

Vor allem scheint jedoch der Wunsch nach Mobilität wesentlich. Den ersten Ansatz mit WAP-Handys kann man getrost vergessen, schon 2001 werden diese Geräte zwar nicht ganz verschwinden, aber relativ bedeutungslos, denn als Zwischenschritt zu UMTS (Universal Mobile Telecommunication System) kommt zunächst einmal **GPRS – General Packet Radio System**. UMTS wird 31-mal schneller sein als ISDN und 200-mal schneller als WAP. GPRS ist da

mit einer theoretischen Rate von bis zu 115 Kb/s zwar noch 20-mal langsamer als UMTS mit seinen 2 Mb/s, stellt aber schon wesentliche Weichen. Vor allem muss der Kunde nicht mehr in quälenden Minutenpreisen bezahlen, sondern nach Kilobytes geladener Daten. Das ist für viele Anwendungen deutlich günstiger, setzt aber bei den Designern der Seiten erhebliche Disziplin voraus, damit sie nicht wieder grafischen Unsinn einbauen, der schön, teuer und nutzlos ist. Generell erhöht sich die Nützlichkeit eines Endgerätes mit dessen Geschwindigkeit. Das kennen wir vom PC. Der eigentliche Boom hat erst mit den Pentium-Systemen eingesetzt, die in der Lage waren, die grafischen Benutzeroberflächen auch angemessen zu unterstützen.

UMTS wird es endlich ermöglichen, all das zu tun, was man schon lange mit mobilen Endgeräten tun wollte. Navigationssysteme in Autos werden mit UMTS genauso teurer Elektronikschrott wie spezielle Börsenterminals. Der Benutzer benötigt in Grunde genommen nur noch ein Endgerät, das vielleicht so groß wie eine Tafel Schokolade ist und einen vernünftigen Bildschirm und eine wirklich benutzbare Tastatur hat. Momentan findet man auf jeder Messe eine Reihe von solchen Geräten als Muster mal mit, mal ohne futuristisches Design. Ganz wichtig für die Wahl des Darstellungsstandards ist die Erkenntnis, dass die Leute äußerst unterschiedliche Geräte benutzen werden und wir hier nur mit einer generischen Darstellung weiterkommen, die im Moment des Aufrufs an das beim Aufrufer vorzufindende Format angepasst wird. Dies bietet uns XML. Faszinierend finde ich persönlich auch die Entwicklungen flexibler Bildschirmfolien, die man vor der Benutzung einfach ausrollt. Warum kann ein Endgerät in unbenutztem Zustand nicht so aussehen wie ein Knirps? Der Kreativität sind an dieser Stelle praktisch keine Grenzen gesetzt, bis auf vielleicht den Preis, den alle Entwickler momentan mit »um 300 US\$ bei Großserie« angeben. Ich bin überzeugt, dass man nach einer anfänglichen Phase der Skepsis diese völlig neuen Endgeräte lieben und in großer Stückzahl kaufen und benutzen wird. Man kann jetzt lange über Zahlen streiten, allerdings sprechen die Wachstumsraten bei Handys eine deutliche Sprache. Man kann davon ausgehen, dass mindestens 30-50% der jetzigen Handy-Besitzer alleine über regelmäßigen Geräte-Upgrades zu UMTS-Benutzern werden. Hier ist z.B. die Navigation in Autos ein ganz wesentlicher Punkt. 2001 kostet ein ordentliches Navigationssystem je nach Ausstattung zwischen DM 2.000,- und DM 5.000,-, bei Gebrauchtfahrzeugen käme der Einbau noch hinzu. Das ist herausgeworfenes Geld, vor allem für die überwiegende Zahl von Nutzern, die das System nur gelegentlich nutzen, oder fahren Sie jeden Tag woanders hin? Ein Navigationssystem sollte auch eine dynamische Routenwahl beherrschen, um Staus zu umgehen. Dies wird ja heute schon angeboten und ist für den täglichen Normalfall viel nützlicher als ein Navigationssystem an sich. Warum aber diesen ganzen Aufwand treiben, wenn ich für einen Grundpreis von sagen wir 25 € im Monat ein Gerät bekomme, das ich

im Bedarfsfall im Auto z.B. vor das Radio klebe und das dann für ein paar Pfennig als dynamisches Navigationssystem arbeitet und mir zwischendurch noch Börsenkurse durchgibt? Ein BMW-Tuner hat sich jetzt z.B. einmal der Frage von Bildschirmen für Fondspassagiere in Kopfstützen angenommen. Fragen Sie einmal Ihren Händler nach dem betreffenden Prospekt. Sie werden erstaunt sein, wie nahtlos und harmonisch sich so etwas in ein Gesamtdesign einbringen lässt. Was heute noch reisenden Geschäftsleuten und Börsenspielern vorbehalten ist, besänftigt vielleicht 2005 endlich die quengelnden Kleinkinder auf den billigen Plätzen.

Es ist falsch, davon auszugehen, dass Endkunden nur wesentlich teurere Services bekommen. Preislich wird sich ein Mix für Basisdienstleistungen ergeben. Dies kann auch von Unternehmen gefördert werden. Eine Bank hat z.B. hohes Interesse daran, dass der Kunde bequem und mobil Geldgeschäfte tätigen kann und dabei die (wenigen verbliebenen) Mitarbeiter nicht weiter behelligt. Wenn die Bank die Hoffnung haben kann, den Personalstamm in der Kundenbetreuung für Standardfragestellungen weiter zu reduzieren, wird sie das zur Subventionierung der nötigen Endgeräte treiben, denn für das Gehalt auch nur eines Mitarbeiters kann man Hunderte mobile E-Business Online-Kunden fördern. Bei der Bank liegt das sonnenklar auf der Hand, in anderen Bereichen kann man aber ähnliche Kalkulationen machen. Daraus ergeben sich mittelfristig weitere Anforderungen.

Was bedeutet das für E-Business und für unser Unternehmen? Zunächst einmal bedeutet es die Möglichkeit, alle Geschäftsmodelle, von denen wir bislang in diesem Buch gesprochen haben, systematisch durchzusetzen und keine Rücksicht auf Orte mehr nehmen zu müssen. Es bedeutet aber auch, dass wir völlig neue Geschäftsmodelle entwickeln können. Ich will hier gar nicht die Phantasie überstrapazieren; das können sie selbst. Neben mobiler Präsentationstechnik kommen wir auch auf so praktische Dinge wie z.B. mobile Diagnosetechnik.

In diesem Kapitel geht es aber vor allem um die Infrastruktur eines Unternehmens. Und hier wird es wirklich bunt. Folgende Gefahrenbereiche sind auszumachen:

- Endgeräte-Gefahr
- WAN-Zugangs-Gefahr
- LAN-Gefahr
- Server-Gefahr
- Multimedia-Gefahr
- Speicher- und Backup-Problem
- Backbone-Problem

Ich kann diese ganzen Bereiche in diesem Buch nur streifen, weil die seriöse Behandlung ein ganzes Buch ergeben würde. Vielleicht muss ich das sogar bald schreiben.

Endgeräte-Gefahr. Die Unternehmen sollten sich heute schon überlegen, wie viele UMTS-Endgeräte sich bei ihnen ergeben könnten. Dabei sollte man nicht nur an die Kunden, sondern auch an die Geschäftspartner, den eigenen Außendienst und die sonstigen Leute denken, die ggf. mobil arbeiten können sollten. In Unternehmen, aber auch in stark frequentierten Bereichen wie Hotels oder Flughafenhallen stellt die Dichte der Geräte übrigens ein eigenes Problem dar. Man diskutiert heute schon darüber, ob in solchen Fällen ein eigenes optisches Netz verlegt werden muss. UMTS bringt aber auch endlich weitergehende Möglichkeiten für die Anbindung von Home-Offices, sodass, entsprechende Betriebsvereinbarungen vorausgesetzt, auch in diesem Sektor eine Menge passieren wird. Nur 1000 Benutzer erzeugen aber insgesamt 2 Gb/s Nutzdatenrate. Diese Datenrate hat eine üble Stochastik, sodass man gar keine Prognose für die Verteilung geben kann und letztlich immer davon ausgehen muss, dass im schlimmsten Falle alle gleichzeitig arbeiten. Dadurch kann man die Netze nicht irgendwie einschränken, sondern muss immer vom Maximum ausgehen. Außerdem haben wir noch mit einem heute unvorhersehbaren Overhead zu rechnen. Die UMTS-Anbindung wird aber NEBEN allen anderen Anwendungen laufen. Daraus kann man heute schon schließen, dass UMTS zwangsläufig bei großen Unternehmen zur Notwendigkeit eigener optischer Backbones mit mindestens 10 Gigabit Übertragungskapazität führt.

WAN-Zugangs-Gefahr. UMTS ist nur auf dem letzten Stück zwischen Benutzer und Basisstation ein Funksystem. Die gesamte Infrastruktur läuft über Leitungen. Da man aber schon absehen kann, dass die Übertragung auf metallischen Leitern diese enorme Belastung nicht mehr verkraften, baut man heute schon an optischen Netzen für die Infrastruktur. Diese legt man aber direkt so großzügig aus, dass sie letztlich Leistungen im Bereich mehrerer Tb/s haben werden. Solche Netze werden heute vor allem für US-Kunden von Firmen wie Nortel und Ciena mit Komponenten z.B. von JDS Uniphase oder Corning aufgebaut. Sehen Sie mal unter www.nasdaq.com in die Unternehmensnachrichten dieser Firmen. Alleine das Aeria-Netzwerk, welches alle wichtigen US-Metropolen miteinander verbinden wird, verlegt zurzeit Hunderttausende Glasfaserkilometer, jede Faser mit Terabit-Leistung. UMTS wird endlich die Brücke sein, mit der E-Business-Datenflüsse zwischen Unternehmen und der sie umgebenden Umwelt möglich sind und stellt das letzte, fehlende Bindeglied im XRM-Modell dar. Manche Dinge wird man nun als Unternehmen an einen Provider auslagern, z.B. den Front-End-Katalog. Manche Dinge wird man aber auch nicht auslagern können. Das führt unmittelbar zur Notwendigkeit von WAN-Anbindungen im Bereich um 10 Gb/s. Die mittlerweile hierfür standardisierte Technologie ist 10-Gigabit-Ethernet.

Als Alternative könnte man auch direkt eine eigene Wellenlänge aus einem DWDM-System nehmen. Schließlich braucht auch die Datenübermittlung an Web-Hoster entsprechende Power. Damit kommen wir zur

LAN-Gefahr. Die Datenströme aus dem WAN müssen im Unternehmen weitervermittelt werden. Das heute so weit verbreitete Fast Ethernet mit 100 Mb/s kann nach Eva Klein höchstens 50 gleichzeitig aktive Benutzer unterstützen, darüber brauchen wir also gar nicht weiter zu reden. Endgeräte mit Gigabit-Karten sind Ende 2000 auf den Markt gekommen, so z.B. von Apple. Der Mehrpreis für die Gigabit-Ethernet-Karte lag deutlich unter 200 €. Meiner Ansicht nach ist es gar keine Frage mehr ob, sondern nur wann die ersten Großanwender eigene Optische Netze aufbauen. Das kann auch wichtig werden für Bereiche, in denen es heute überhaupt noch kein LAN gibt, wie z.B. große Hotels. Überlegen Sie sich einmal, ob die Geschäftsleute in den Hotels wirklich auf UMTS in den Zimmern verzichten werden. Natürlich ab einer gewissen Hotelklasse nicht mehr. Nach Konstruktion von UMTS müssen dann aber für diese hohe Versorgungsdichte in den Hotels UMTS-Basisstationen aufgestellt und untereinander vernetzt werden. Die Technik ist längst da. Die Fa. Extreme Networks bietet für ihre Geräte der Black Diamond-Serie seit Mitte 2000 schon Einschübe an, die mit integriertem WDM-Modul mindestens 8 Gb/s schaffen und dabei unwesentlich teurer sind, als vier Vollduplexkarten.

Server-Gefahr. Es kommt zu einer dramatischen Erhöhung der zu speichern und zu verarbeitenden Datenmengen. Die Lösungen sind nicht grade billig; man empfiehlt auch, multimediale Anwendungen vom Host wegzulegen. Es gibt schon seit 2000 entsprechende neue Geräte einer bislang nicht dagewesenen Leistungsklasse fürs Geld, wie z.B. die Superdomes von HP. Ein Superdome hat 64 Prozessoren und eine Backplane mit 400 Gb/s. Wie bekommen wir aber die Daten zu einem solchen Gerät? Selbst der flammneue 10-Gigabit-Ethernet-Standard erscheint hier vergleichsweise schlapp.

UMTS-Storage und -Backbone. Die zu erwartenden Datenmengen werden nur noch von reinen Storage Servern mit direkter Netzwerk-Anbindung bewältigt werden können, wie sie z.B. von EMC angeboten werden. Weder reine Network Attached Storages (NAS) noch Storage Area Networks (SANs) werden aber in Reinkultur allen Anforderungen standhalten. Vielmehr wird es zu einem Mix kommen. Bei Ausfällen kommt es zu zeitlichen Recovery-Problemen, und was überhaupt könnte ein geeignetes Backup-Medium sein?

Insgesamt können Sie leicht sehen, dass UMTS einen »Rattenschwanz« weiterer Investitionen nach sich zieht. Das ist gut so, denn davon leben wir. Andererseits muss man sich aber schon frühzeitig wappnen, um nicht irgendwann auf der Strecke zu bleiben.

1.4 Wege der Hersteller

Natürlich sind alle Hersteller, die im Feld der Optischen Netze arbeiten, zunächst einmal gleich wichtig. Aber dann gibt es darüber hinaus noch »besonders gleich wichtige« und »weniger gleich wichtige«. Zu Letzteren gehören an dieser Stelle ganz tolle Firmen wie z.B. JDS Uniphase, deren Aufgabe es aber nicht ist, Visionen zu entwickeln, sondern Einzelteile. Und in diesem Unterkapitel geht es primär um Visionen. Ich stelle die Visionen von Cisco Systems, Nortel Networks, Ciena und Extreme Networks vor, weil sie jeder für sich charakteristisch sind und in ihrer Gesamtheit ein schönes rundes Bild der Facetten geben, die das Thema optische Netze liefert. Nicht in diesem Unterkapitel enthalten ist z.B. die Firma Alcatel, die in einigen Sektoren wie z.B. bei den ausgelieferten DWDM-Systemen oder bei den optischen Switches zur Zeit der Manuskripterstellung Marktführer ist und deswegen an anderen wichtigen Stellen im Buch noch oft genug vorkommt. Überhaupt mischt der Markt der Optischen Netze die Hersteller ganz ordentlich durch. Cisco Systems, die lange Zeit absoluter Marktführer auf ihrem Sektor waren, haben hier wesentlich weniger Einfluss. Das kommt natürlich auch daher, dass der Markt rein vom Volumen her noch stark durch Kontrakte auf dem Gebiet der WANs beeinflusst wird, und hiervon profitieren natürlich Firmen wie Alcatel oder Siemens in weitaus stärkerem Maße als die LAN-Helden.

1.4.1 Cisco Systems: IP & Optical

Cisco Systems ist nach wie vor ein sehr wichtiger Hersteller auf dem Netzwerkmarkt und die Meinung dieser Firma hat einfach Gewicht, auch aufgrund der großen installierten Basis. Cisco sieht, dass die wichtigste Herausforderung für Service-Provider die Skalierbarkeit des Internets und der Intra-/Extranets ist. Die Service-Provider müssen simultan Kosten reduzieren und mit neuen Services schnell Profite erzielen. Nach Ansicht von Cisco Systems bringt Optical Networking alleine keinen Vorteil, sondern muss mit IP verbunden werden. IP steht für die schnelle Erbringung von Value Added Services und die optische Vernetzung senkt die Kosten dramatisch. Grundlage für alle Anstrengungen ist eine Konnektivität für beliebige Technologien. Man sieht neue Märkte dadurch entstehen, dass die Provider neue Aufgaben übernehmen. Hier stehen vor allem E-Business Lösungen im Vordergrund, die ggf. in Leistungsklassen vorstoßen können, für die der jeweilige originäre Betreiber gar kein Equipment mehr vorhalten kann oder möchte. Auch die erhöhten Anforderungen an Datenschutz und Datensicherheit machen es für einen normalen Corporate-Betreiber immer schwieriger, eine sinnvolle Lösung zu fahren. Der Service-Provider hingegen sitzt an der Stelle, wo ohnehin alle Informationen zusammenlaufen. Es wäre also durchaus denkbar, dass er

Aufgaben übernimmt, die weit über das hinausgehen, was man heute vom Web-Hosting her kennt und in Richtung Application Service Providing geht. Das macht er natürlich nicht umsonst, sondern gegen Gebühr. Weil die Voraussetzungen beim Service-Provider jedoch viel günstiger sind als beim Corporate-Endkunden, kann sich eine solche Verlagerung durchaus rechnen. Voraussetzung dafür sind Übertragungsdienste mit hoher Leistung für wenig Geld. Es wäre übrigens auch denkbar, dass eine dritte Organisation außer dem Service-Provider oder dem Corporate-Kunden eigenständig als Application Service-Provider auftritt.

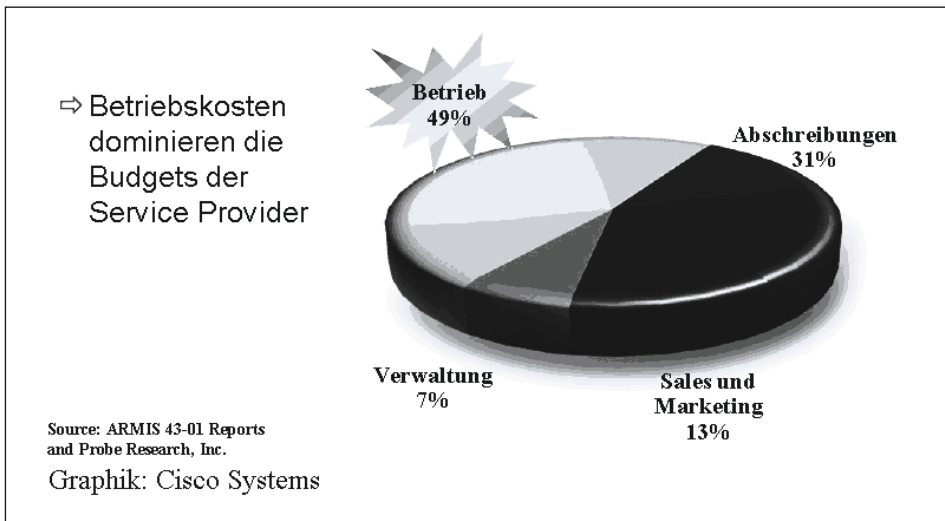


Abb. 1..4.1: Kostenverteilung bei Service-Providern

Ein weiteres Problem sind die Speicher. Es gibt eine Reihe von Entwicklungen, die heute schon starten und die eine Reihe erheblicher Auswirkungen auf den benötigten Speicherplatz haben. Grob geschätzt hat sich die Anzahl der privaten Teilnehmer im Internet jährlich mindestens verdoppelt. Im Business-to-Business-Bereich ist die Steigerung noch dramatischer. Die Geschwindigkeit der internen Backbones steigt von 100 Mb/s in 1997 auf 10 Gb/s in 2002; das bedeutet eine Steigerung um den Faktor 100 in fünf Jahren. Die aggregate Gesamtleistung nationaler Backbones in Europa steigt von der Größenordnung einiger bis einiger Dutzend Gb/s heute auf ein Tb/s oder mehr in 2005. Das haben wir heute schon in USA. Insgesamt kann man davon ausgehen, dass die aggregate Gesamtbandbreite auf der Welt bis 2005 von heute aus um den Faktor 1.000.000 wächst. Und wo kommen die ganzen Daten her? Und wo müssen sie wieder hin? Natürlich auf irgendwelche Speicher. Also kann man davon ausgehen, dass das Wachstum der Speicherkapazität in etwa

im gleichen Rahmen liegt, wenn nicht sogar darüber. Neben der wesentlichen Steigerung der Anzahl der Personen, die DV-gestützt arbeiten, spielt natürlich auch der Platzbedarf der Dokumente an sich eine tragende Rolle bei dieser Entwicklung. Unter dem alten Präsentationsprogramm Harvard Graphics belegten 100 Folien höchstens 300 KB, meistens weniger. Die genau gleichen Folien benötigen in Power Point etwas das Zehnfache, aber man schmückt es ja hier und da gerne aus, sodass locker 5-10 MB zusammenkommen. Meine Power Point-Präsentation für das Optische Netzwerk Forum 2000 braucht mehr Platz als mein PC vor zehn Jahren als Festplatte insgesamt hatte. Denkt man jetzt noch an Video-Clips und Audio-Daten, liegt schon der private Bedarf bei mehreren Dutzend Gigabyte.

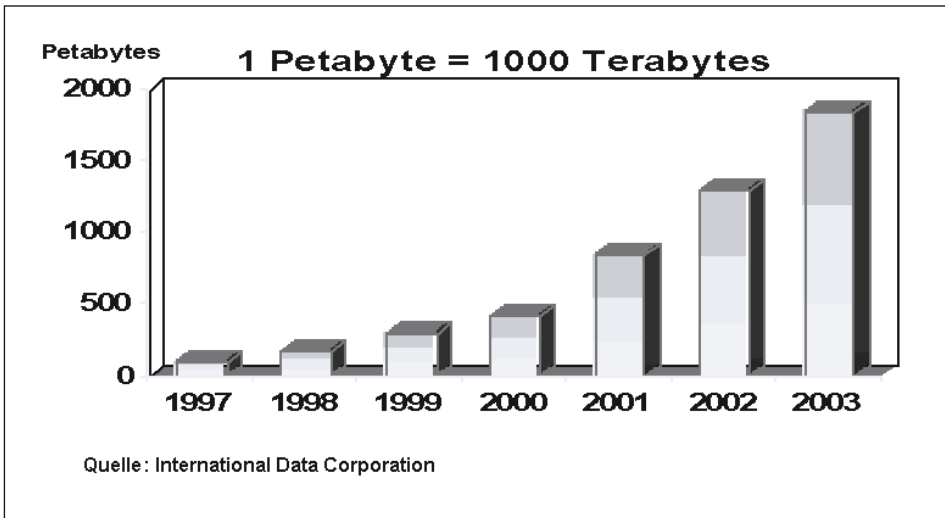


Abb. 1.4.2: Wachstum Plattenplatz

Heute reichen einer großen Bank ca. 50-100 Terabyte Plattenplatz. Darauf kann man 50 Trillionen Buchstaben speichern, das ergibt 25 Millionen Bücher. Aber wer liest schon Bücher? In einer Welt, in der täglich drei Millionen Web Pages entstehen und platzfressende Medien wie Musik, Photos und Video benutzt werden, ist ein Terabyte Peanuts.

Heute geben die Unternehmen für Plattenplatz in etwa genauso viel Geld aus wie für Rechner. Man geht davon aus, dass sie schon in zwei Jahren das Dreifache der Rechner-Investitionen für Speicher ausgeben.

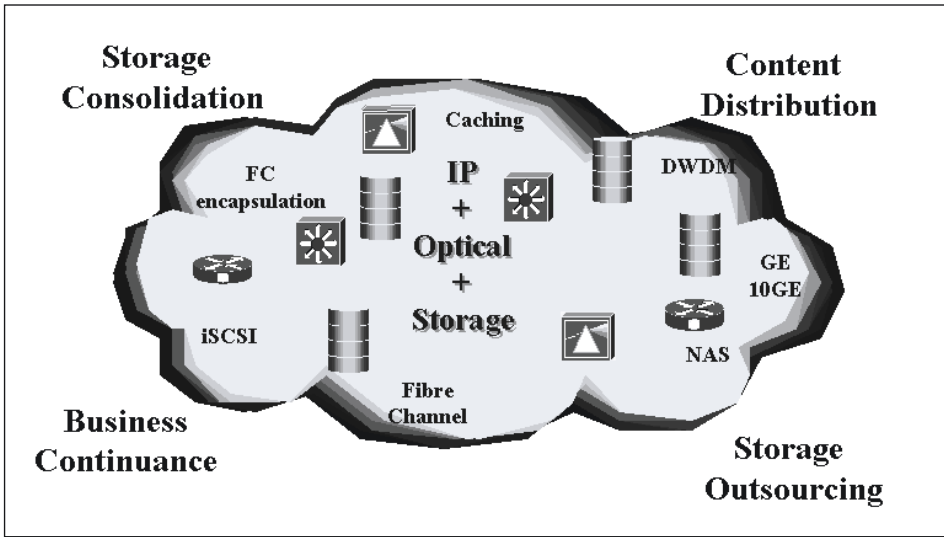


Abb. 1.4.3: Strategie für Speichervernetzung, z.B. Cisco

FedEx und Excite@Home haben heute schon weit über 100 Terabyte. Der drahtlose Web Service NTT Docomo hat alleine in den letzten 18 Monaten über 265 Terabyte dazugekauft. IDC geht davon aus, dass große Speicher-pools entstehen werden, bei denen man sich Speicherplatz genauso mietet wie Energie beim Stromversorger. Dieser Markt der »Storage Service Provider« könnte in den nächsten drei Jahren auf 5 Mrd. US\$ wachsen.

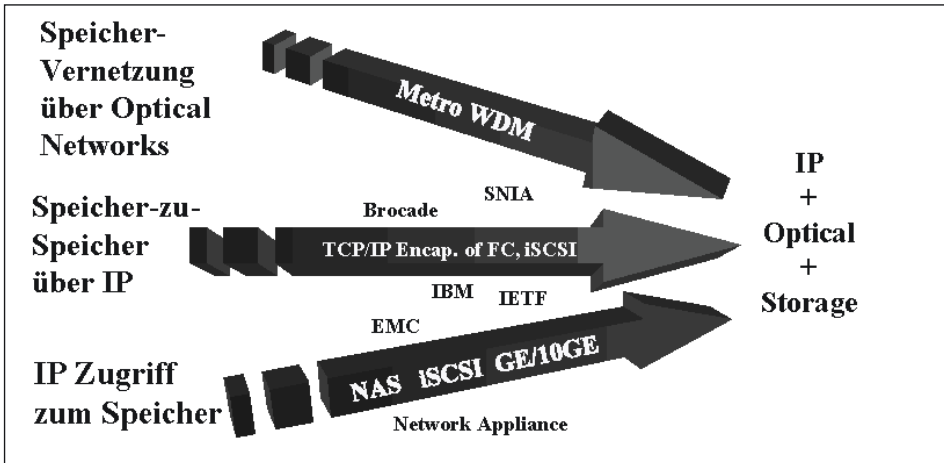


Abb. 1.4.4: Unterschiedliche Netz/Speichermodelle der Hersteller

Key Player in diesem Markt sind EMC, Network Appliance und Brocade Communications. Neben ihren unterschiedlichen Modellen ist vor allem die Standardisierung durch IETF interessant, die mit dem iSCSI-Protokoll eine Brücke zwischen den Storage Area Networks, die auf der Grundlage von SCSI auf Blockebene mit meist proprietärer Technologie oder Fiber Channel arbeiten, und den Network Attached Storages, die mit ihren »Kunden« über ein IP-Netz kommunizieren, schlagen. Das iSCSI-Protokoll packt SCSI-Information in IP-Pakete, die dann ganz normal über ein entsprechend leistungsfähiges IP-Netz übertragen werden können. Man muss konstatieren, dass kein Unternehmen alleine mit einer SAN oder NAS-Lösung glücklich werden kann, sondern dass die unterschiedlichen Technologien auch unterschiedliche Anwendungsbereiche haben, sodass man sie schließlich kombinieren muss.

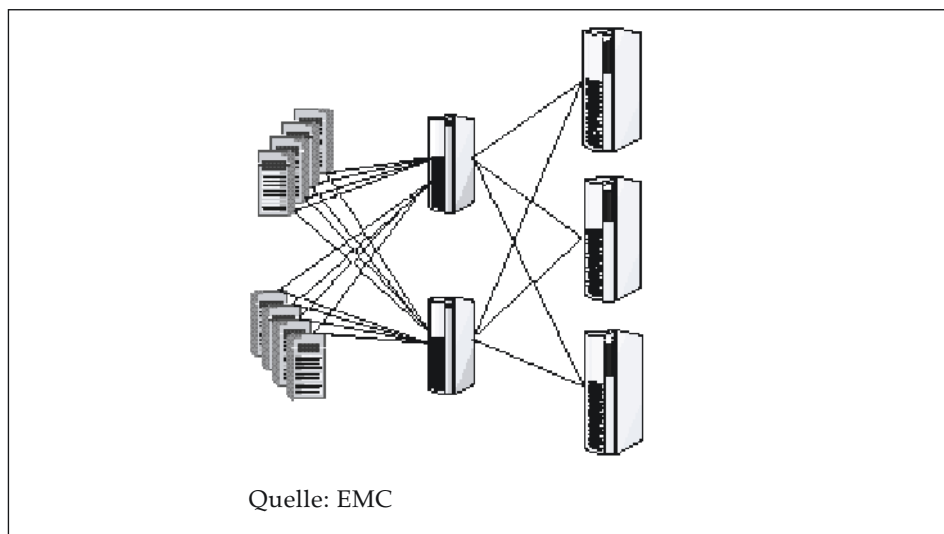


Abb. 1.4.5: Storage Area Network

Aber analog zum eben angedachten Modell für die Verlagerung von Diensten könnte es auch Speicherservice-Provider geben. Diese haben dann z.B. einen alten Bunker innen neu angestrichen, klimatisiert und mit den schwarzen Kästen von EMC vollgestopft. Sie haben viel geringere Kosten pro Bit als ein durchschnittliches Unternehmen und bieten darüber hinaus noch eine wesentlich gesteigerte Sicherheit. Auch hier kommen größere Unternehmen in Zukunft ins Grübeln, ob sie überhaupt noch eigene Ressourcen im bisher bekannten Maße vorhalten sollen. Sinnvolle Lösungen erfordern aber auch hier eine sehr hohe Bandbreite.

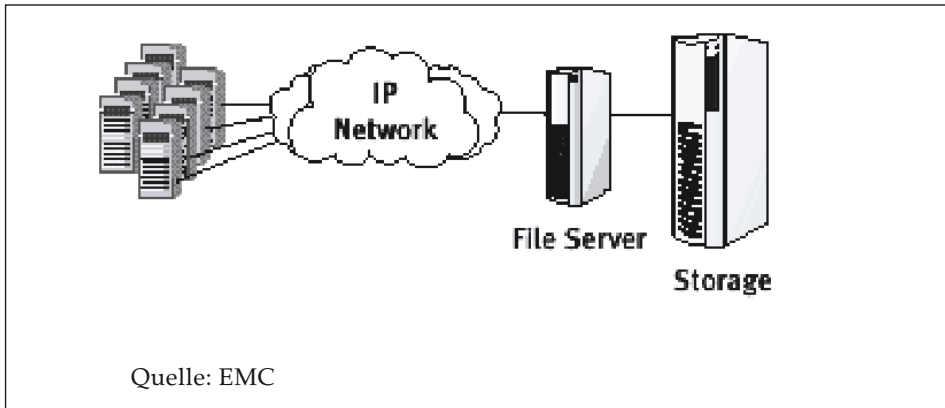


Abb. 1.4.6: Network Attached Storage

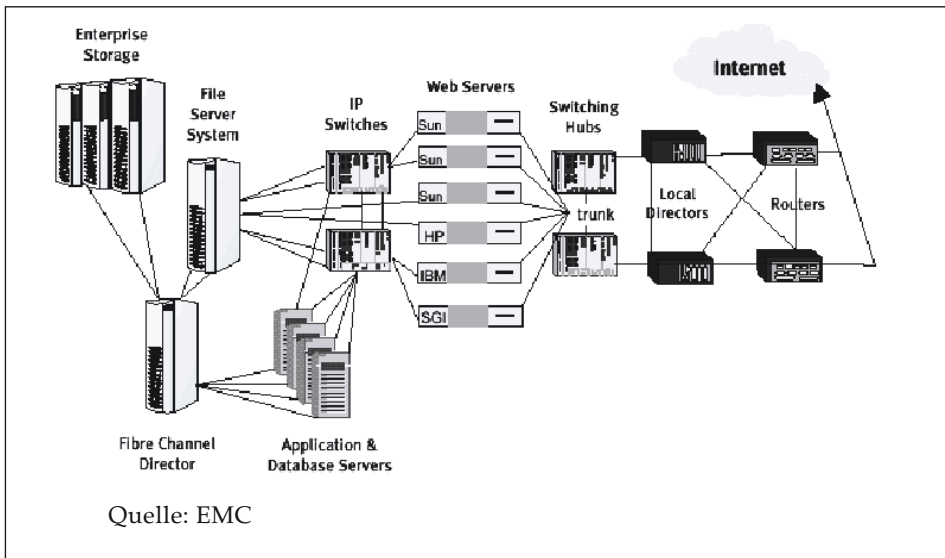


Abb. 1.4.7: NAS/SAN-Mix

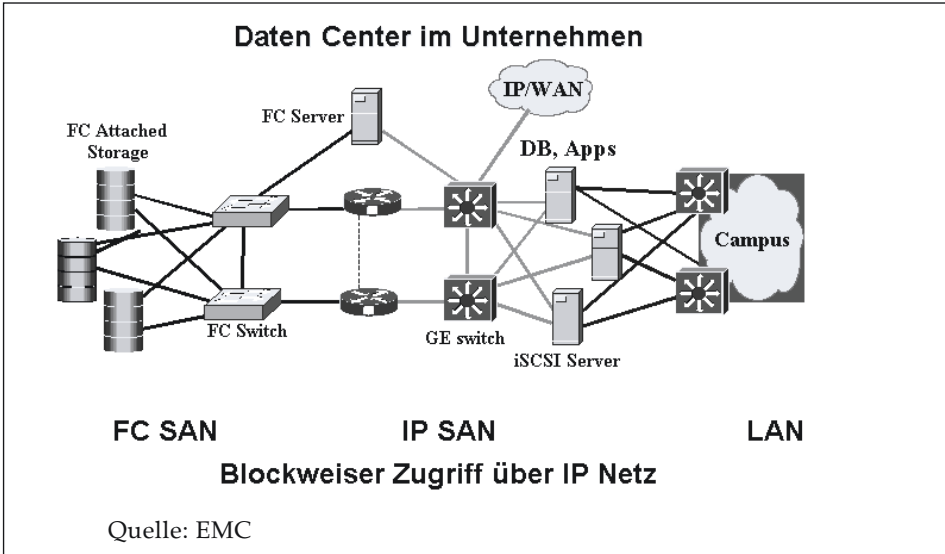


Abb. 1.4.8: NAS/SAN-Mix mit iSCSI

Neue Internet-Geschäftsmodelle auf der Grundlage gegenüber dem heutigen Niveau deutlich erhöhter Konnektivität können auch Elemente wie Content Networking, Security und VPNs inkorporieren. Besonders das Content-Networking stellt sehr hohe Anforderungen an Flexibilität und Reaktionszeit von Netzen, weil es ja grob gesprochen darum geht, einer bestehenden Internet-Verbindung permanent aktuelle Inhalte einzuspielen, die auf die Charakteristika der Verbindung abgestimmt sind. Beispiele dafür gibt es schon heute. Wenn Sie von hier aus die Homepage der US-Technologiebörse Nasdaq aufrufen, erhalten Sie in einem kleinen Fenster deutsche Werbung, z.B. für Direktbanken oder Bücher. Zwischen dem Rechner der Nasdaq und ihrem System steht nämlich noch ein Rechner von Akamai, das ist der führende Ad-Broker im Internet. Dieser Server »sieht«, wohin die Verbindung geht, und spielt passende Werbung auf. Das tut er nicht völlig blind, sondern merkt sich auch noch, was er im Laufe der Zeit getan hat, um sie nicht zu langweilen. Content Networking ist einer der großen wirklichen Wachstumsfaktoren im Web.

All dies ist aber nichts ohne Bandbreite.

Sorgen bereiten Cisco und anderen Herstellern auch die Kosten der Service-Provider, die nämlich explodieren. Schon Mitte 2000 war es so, dass Provider mindestens die Hälfte der Kosten aus dem Betrieb ihrer Systeme erzeugten, während die eigene Verwaltung nur 7%, Sales und Marketing ca. 13% und die Abschreibungen für die Geräte knapp ein Drittel der Gesamtkosten aus-

machten. Andererseits tobt ein heftiger Preiskampf, der auf die Margen drückt und letztlich für weitere Probleme der Provider sorgt. Mitte 2001 muss man leider den Eindruck haben, dass die Gesamtentwicklung der Optischen Netze, die ja eigentlich eine Lösung für all diese Probleme sein könnten, dadurch ins Stocken gerät, dass die klassischen Provider, besonders in Europa, am Hungertuch nagen. Aktienkurse schmelzen wie Butter in der Sonne, und das trifft natürlich auch die Ausrüster, die nicht mehr wie bisher mit dreistelligen Wachstumsraten glänzen können.

Eigentlich (und uneigentlich) helfen hier nur noch radikale Umstellungen. Die Fa. Cogent in USA macht es z.B. vor, wie es geht und bietet einen Ethernet-Anschluss mit 100 Mb/s für weit unter 1000 US\$ pro Monat. Bezogen auf das übertragene Bit ist das ein Hunderstel des Preises für eine DS-1-Verbindung, dem US-Äquivalent für Schmalband-ISDN. Die Gardner Group sagt voraus, dass spätestens in 2002 der WAN-Access mit einer Datenrate von einem Gb/s und Ethernet-Datenstrom für ca. 100 US\$ zu haben sein wird. In all diesen Fällen ist Ethernet das dominierende Subscriber Interface. Auf die Yipes-Netze hatte ich ja schon hingewiesen. Das tut Cisco Systems natürlich nicht, denn in diesen werden nur Komponenten von Juniper und Extreme Networks verwendet. Aber auch in Europa gibt es schon Versuche mit Ethernet WAN-Infrastrukturen, und die Fa. TELIA Networks überzieht zurzeit ganz Schweden mit einer Ethernet-Struktur, weil räumlich begrenzte Versuche überragende Kosten- und Betriebsvorteile von Ethernet im Versuchsbereich gezeigt haben.

1.4.2 Nortel Networks: das lokale Internet

Nortel Networks ist sicherlich der Hersteller, der in den USA die meisten DWDM-Systeme mit hoher Datenrate ausgeliefert hat. Meist arbeitet man hierbei mit der Fa. Corning zusammen. Für Glasfasern höchster Leistungsklasse gibt es überhaupt nur 2-3 ernst zu nehmende Hersteller, nämlich Alcatel, Corning und Lucent. Sie haben die interessante Vision des lokalen Internets entworfen. Meilensteine des Internet sind für Nortel Networks das intelligente optische Internet (auf das wir im Rahmen der Visionen von Ciena Systems noch kommen), die drahtlose Internet-Revolution (die wir mit UMTS eigentlich schon hinreichend berücksichtigt haben), E-Business-Services und -Anwendungen, die wir ebenfalls schon beleuchtet haben, und eben das lokale Internet. Man geht davon aus, dass auf die Darstellungsformen Text, Bilder, Sound und Video unabhängig von der Lokation, an der man sich befindet, zugegriffen werden kann. Neben ganz festen und mobilen Benutzern hat man noch die Gruppe der »Road Warriors« eingeführt, das sind Leute wie der Autor, die zumindestens über bestimmte Perioden des Jahres viel

Zeit unterwegs und in Hotels verbringen und dabei natürlich auch komfortable Arbeitsmöglichkeiten vorfinden möchten. Diese können generisch, personalisiert oder segmentiert sein. Generische Dienste stehen für alle Teilnehmer an einem Netz zur Verfügung, während personalisierte Dienste auf einzelne Benutzer genau zugeschnitten sind. Das Mittelding zwischen diesen Alternativen sind die segmentierten Dienste, die auf Gruppen zugeschnitten sind, gleichgültig ob im beruflichen Umfeld oder eher privat.

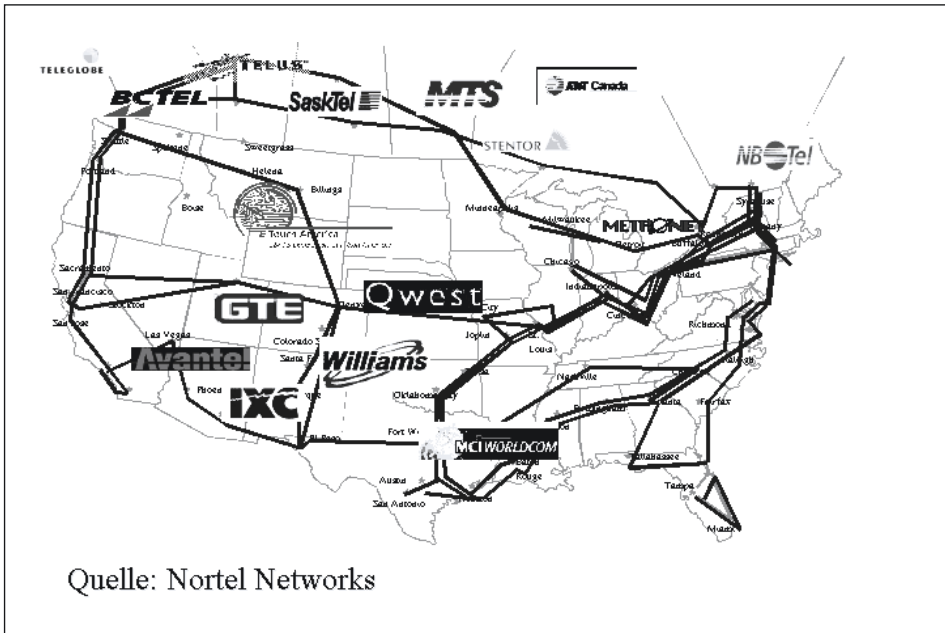


Abb. 1.4.9: Nortel US-10-Gigabit-Auslieferungen

Auch Nortel Networks weist darauf hin, dass der E-Business-Verkehr in den nächsten Jahren zum überwiegenden Teil aus Business-to-Business-Verkehr bestehen wird. Im eigenen Unternehmen hat man interessante Messungen angestellt. Diese besagen, dass der Netzwerk-Verkehr dramatisch ansteigt, was nicht weiter überrascht. Überraschend ist das starke Ansteigen des Intranet-Verkehrs, der alle anderen Verkehrsarten deutlich dominiert. Der Sprachverkehr ist zwar vorhanden, wächst aber nur sehr mäßig, während der Internet-Verkehr nach außen zwar stark wächst, aber insgesamt hinter dem Intranet-Verkehr sehr deutlich zurückbleibt. Der Grund dafür ist ein ausgeprägtes Lokalitätsverhalten der Nutzer. Man interessiert sich für die Dinge, die im Unternehmen passieren, mehr als für die Dinge, die außerhalb des Unternehmens passieren. Man kommuniziert mit den Mitarbeitern des eigenen Unternehmens viel intensiver als mit Fremden. Und man tauscht in-

nerhalb des Unternehmens viel mehr Daten in durchschnittlich viel größeren Dateien aus. Neben dem Intranet ist natürlich das E-Mail-System ein ganz wichtiges Kommunikationsmittel und wurde dem Intranet-Verkehr zugeschlagen, weil es letztlich nur eine andere Ausprägung des gleichen Vorgangs ist. Ein ähnliches Verhalten lässt sich nun auch für das Internet feststellen. Nach Untersuchungen von Marktforschungsunternehmen sind 90% aller Telefonate Ortsgespräche. Nicht genug damit, auch 80% allen E-Commerces mit kleinem oder mittlerem Umfang verbleibt lokal. Das mag zunächst absurd klingen, aber es ist einfach so, dass z.B. beim E-Banking die Bank bevorzugt wird, für die es auch eine lokale Niederlassung möglichst um die Ecke gibt, oder dass man Waren bei Läden bestellt, wo man sie zur Not auch selbst abholen kann. Das Ganze hat damit zu tun, dass Menschen dazu neigen, in ihrer Umgebung zu leben und sich, je länger sie das tun, in dieser Umgebung ein Wissen aneignen, auf dessen Nutzung sie nicht verzichten mögen, und auch besser Vertrauen zu Dingen und Unternehmen aufbauen, die sie »anfassen« können. Erst bei Geschäften größeren Umfangs orientiert man sich nach außen, z.B. hinsichtlich möglicher besserer Konditionen.

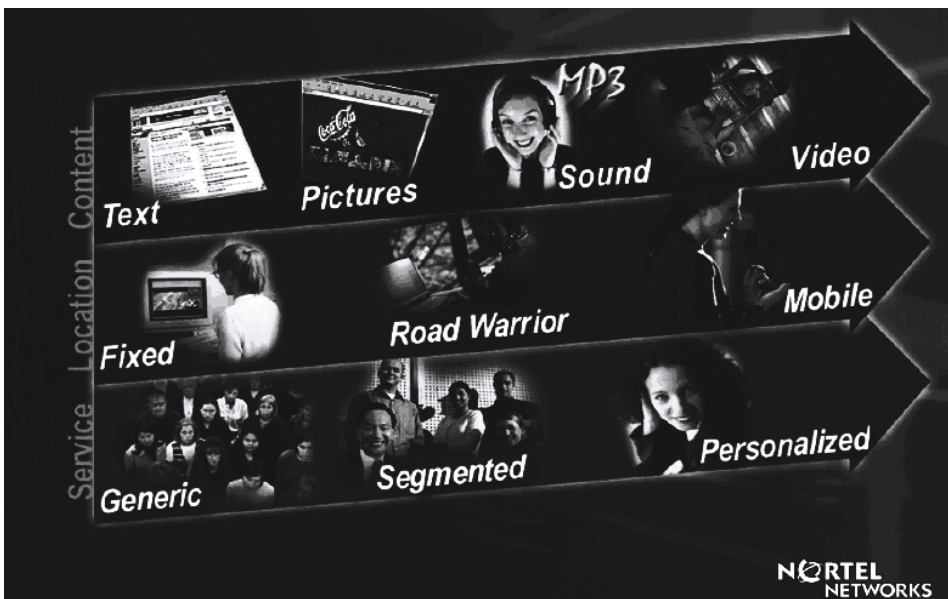


Abb. 1.4.10: Nortel: Dienstarten

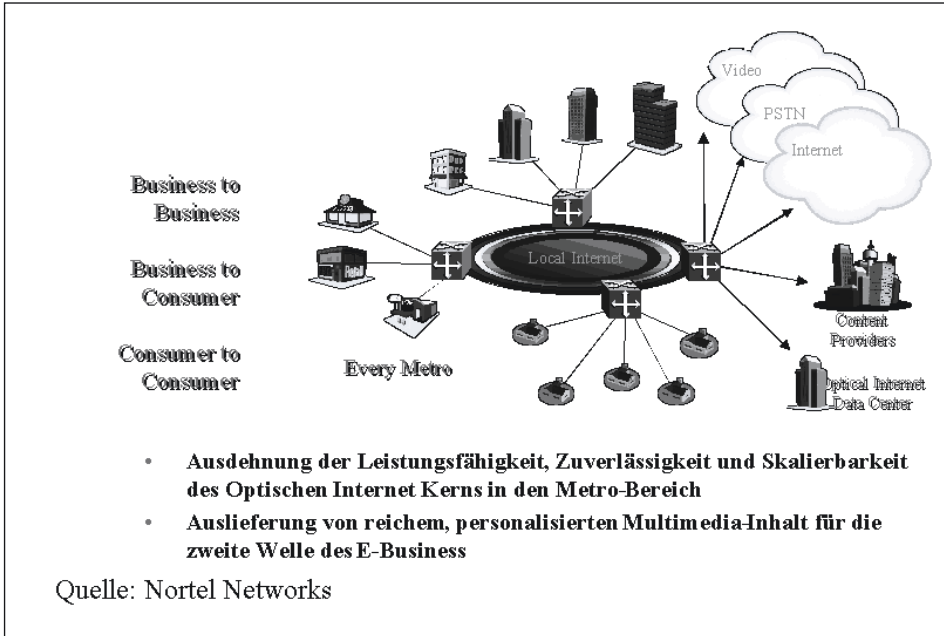


Abb. 1.4.11: Nortel: Das lokale Internet

Wenn die Annahme des hohen Lokalitätsverhaltens und der entsprechenden örtlichen Konstanz stimmt und über längere Zeit stabil ist, ist das Internet leider völlig falsch konstruiert. Es hat nämlich heute einen sehr stabilen Kern mit extrem hoher Leistungsfähigkeit auf der Basis optischer Komponenten. An den Rändern dieses Kerns geht es jedoch mit relativ beliebigen Netzwerktechnologien weiter, die letztlich alle möglichen Verbesserungen wie verbesserten Kundendienst, den Zuschnitt von Angeboten auf Kunden oder die Schaffung neuer Dienstleistungen und die Kontrolle darüber wesentlich erschwert. Kein Anbieter einer E-Business-Site ist heute in der Lage, die Qualität seiner Verbindungen bis zum Kunden hin zu überwachen, sondern ist auf Gedeih und Verderb einer Kette von Providern mit äußerst unterschiedlichem Equipment und einem weiten Spektrum möglicher Leistungen und Fehlleistungen ausgesetzt. Nach Aussagen des Herstellers reisen 75% der Daten des Internets auf optischen Netzwerkkomponenten von Nortel Networks. Das ist vor allem dadurch zu begründen, dass dieser Hersteller ca. 90% der sehr schnellen Backboneverbindungen mit 10 Gb/s pro Lambda-Kanal in den USA und Kanada geliefert hat und das natürlich auch die Bereiche des weltweiten Internets sind, auf denen der meiste Verkehr herrscht. Man möchte das, was man im Kern erreicht hat, durch entsprechende Verteilmechanismen nach außen bringen und die Leitungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und Stabilität des

optischen Kerns auch in den Metropolitan Area-Bereich und auf die Zubringerstrecken für die Endkunden bringen. Ziel ist es, mit diesen Verbesserungen reiche, personalisierte und multimediale Inhalte an die Endteilnehmer bringen zu können, die für die nächste E-Business-Welle dringend benötigt werden.

1.4.3 Ciena: das intelligente Optische Netz

Ciena Systems macht es ebenfalls große Sorgen, dass Carrier heute mehr für Betrieb als für alle anderen Kostenbereiche zusammen ausgeben müssen. Man kann sich z.B. in [quicken.com](#) die Ergebnisse und die Kostenfaktoren von Carriern ansehen. Da gibt es Erschreckendes zu finden. Aus rechtlichen Gründen darf ich in Deutschland nicht Ross und Reiter nennen, aber es gibt Carrier, deren Ausgaben vier- bis siebenmal so schnell wachsen wie die Einkünfte. Sie können ja unter der angegebenen Quelle selbst nachsehen und die entsprechenden Zahlen eintragen. Das sind schon sehr tragische Ergebnisse, denn man kann sich leicht vorstellen, wann diese Carrier ein wirkliches Problem bekommen werden.

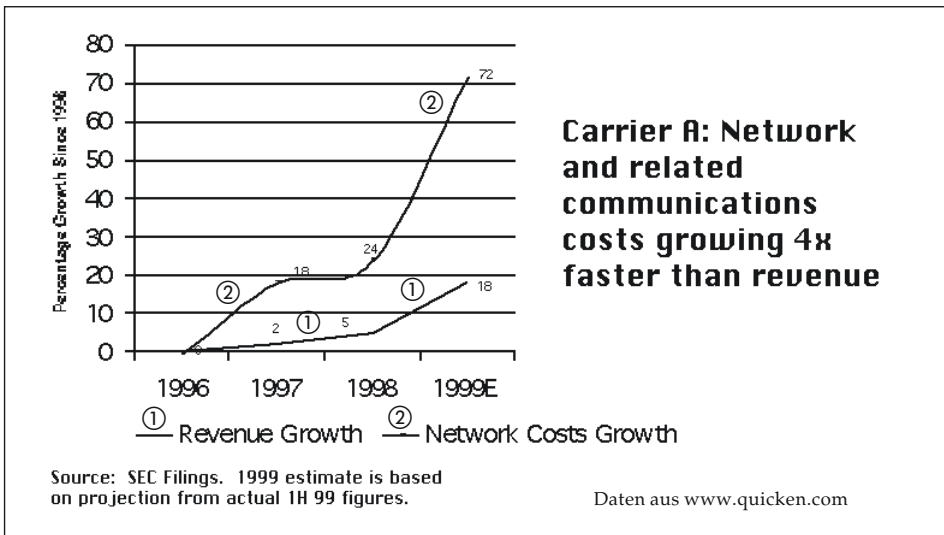


Abb. 1.4.12: Kostensituation Carrier A

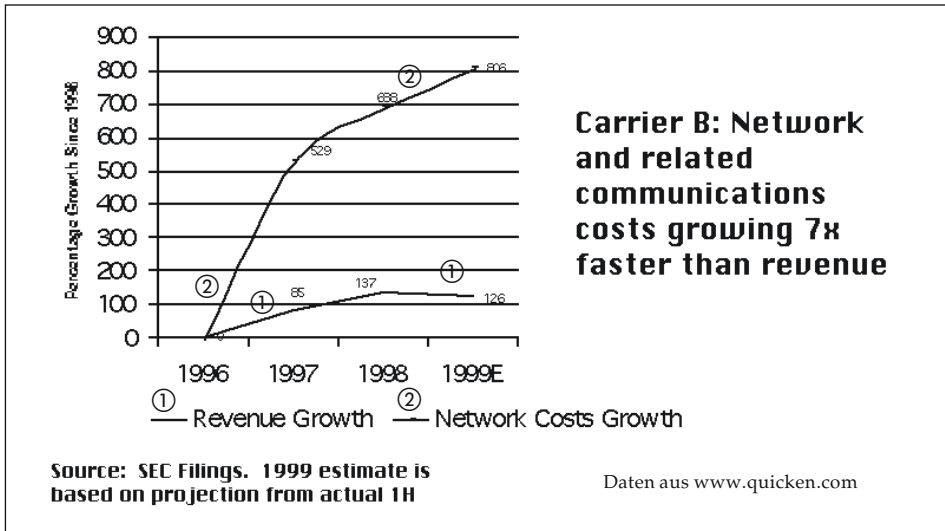


Abb. 1.4.13: Kostensituation Carrier B

Ciena Systems sieht folgende Möglichkeiten, diese Situation zu entschärfen:

- Schlauere Netzelemente
- Einfachere Netze
- Weniger manuelle Intervention
- Schnelleres Bereitstellen von Diensten und
- Geringere Kosten im Betrieb

Das macht es aber nicht alleine, sondern es sollten auch systematisch neue Umsatzbereiche erschlossen werden. Dazu gehören optische VPNs genauso wie kundenangepasste Quality of Service und Bandweiten-Trading. Man sieht bei Ciena die Notwendigkeit der Unterstützung von synchonen Zeitmultiplexdiensten, z.B. SONET und SDH aus der Vergangenheit als ebenso wichtig an wie die Öffnung der Dienstleistungen in Richtung 1- und 10-Gigabit-Ethernet.

Wichtigste Voraussetzung ist jedoch eine ausgeprägte Netzwerk-Intelligenz. Ausgehend von einer voliegenden Netzwerk-Infrastruktur muss man Methoden aufsetzen, die im Rahmen optischer Signalsierung und im Rahmen optischer Routingverfahren Topologie Discovery, Ende-zu-Ende-Routing und Traffic Engineering liefern. Diese Informationen helfen bei der schnellen Bereitstellung von Diensten und der so genannten Maschenrestauration, dem Wiederaufsetzen nach Fehlern in einer großzügigeren Art und Weise, als das bei SONET-Systemen üblich ist.

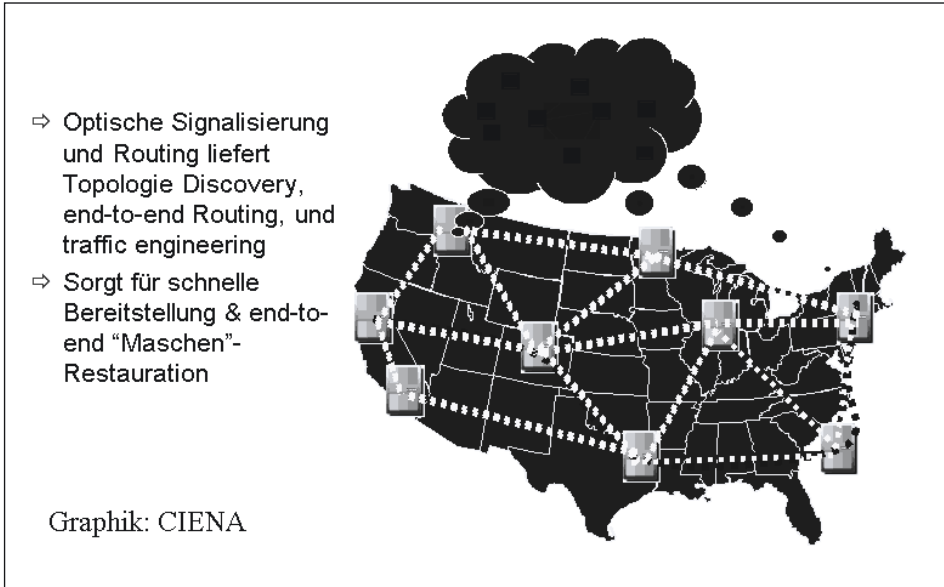


Abb. 1.4.14: Netzwerk-Intelligenz

Mit Intelligenz kann man aber auch unterschiedliche Qualitätsklassen realisieren und letztlich verkaufen. Wünscht ein Kunde z.B einen »Platin-Service« mit einem sehr schnellen Wiederaufsetzen nach Fehlern, so kann man diesen Service so aufbauen, dass man zwischen Eingangs- und Ausgangsknoten eine Route durch das Netz wählt, die entlang möglicher Ringschaltungen zwischen den Knoten im Netz läuft. Tritt dann ein Fehler auf, kann sofort über den Ring, in dem der Fehler aufgetreten ist, ein sehr kurzer Ersatzweg geschaltet werden, wobei man mindestens auf die Reaktionsgeschwindigkeit des SONENT, also maximal 50 Millisekunden kommen möchte.

Kauft ein anderer Kunde einen »Economy-Service«, hat er in diesem keinen Anspruch auf eine Reaktionsgeschwindigkeit wie im Platin-Service. Im Falle eines Fehlers sucht das Netz einen beliebigen Ersatzweg, der völlig anders aussehen kann als der bisher benutzte Weg, mit Ausnahme der Ein- und Ausgangsknoten natürlich. Der sog. Maschenschutz ist viel billiger zu realisieren und man braucht auch nicht immer die Hälfte der Netzwerkressourcen freizuhalten. Also kann man diesen Kostenvorteil teilweise an den Kunden weitergeben.

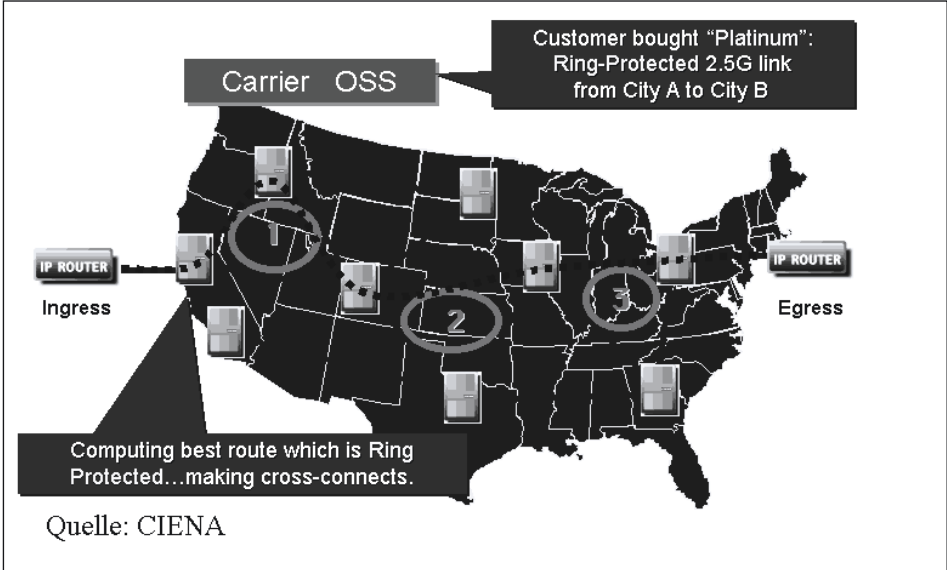


Abb. 1.4.15: Platin-Service

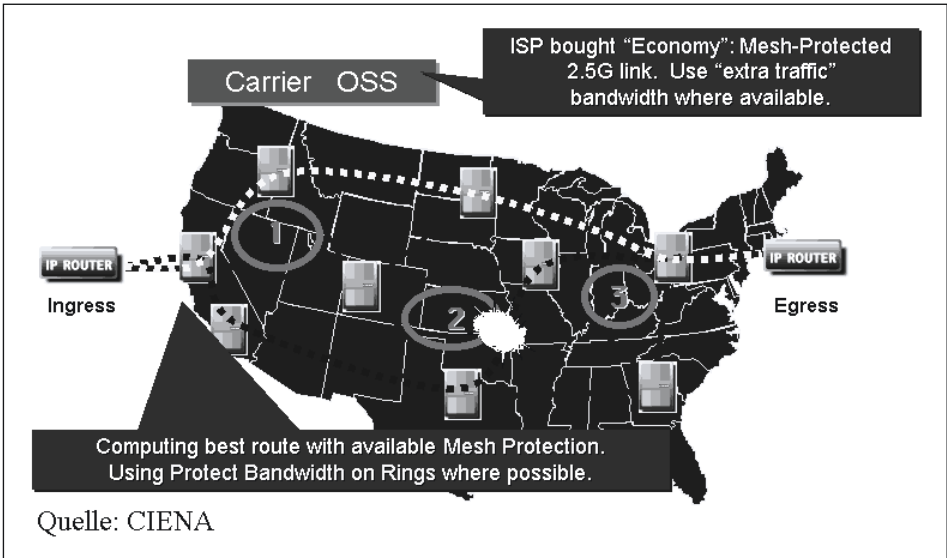


Abb. 1.4.16: Economy-Service

Ciena sieht darüber hinaus wie Nortel Networks die Notwendigkeit der Bereitstellung massiver Kapazität im Metropolitan Area-Bereich. Nur so kommt man letztlich zu einem massiv skalierbaren intelligenten Optischen Netz.

In Abb. 1.4.17 sehen wir zunächst rechts die Gerätschaft beim Kunden, in diesem Fall handelt es sich offensichtlich um einen Kunden, der nicht völlig verarmt ist und schon für den Anschluss eine optische Technologie hier einen Ring benutzt. Außerdem hat er einen Host direkt mit DWDM an den lokalen DWDM-Metro-Ring angeschlossen. Dabei übergeht er den lokalen Dienstleistungsanbieter, der für die über den Access Ring hereinkommenden Daten Konversionen wie z.B. Anpassung von Sprach- und ATM-Datenströmen sowie IP-Routing vornimmt und die Daten dann anschließend an den Metro-Ring bringt. Der Metro-Ring seinerseits ist mit einem intelligenten optischen Switch des DWDM (WAN-) Transportnetzes verbunden. Oberhalb des intelligenten optischen Switches sieht man weitere Einheiten, die mehr traditionelle Verkehrsformen für die Übertragung im optischen Netz konvertieren bzw. einen transparenten virtuellen optischen Kanal benutzen, wie einen IP Kernrouter, einen Voice Switch der Klasse vier oder einen alten ATM-Switch.

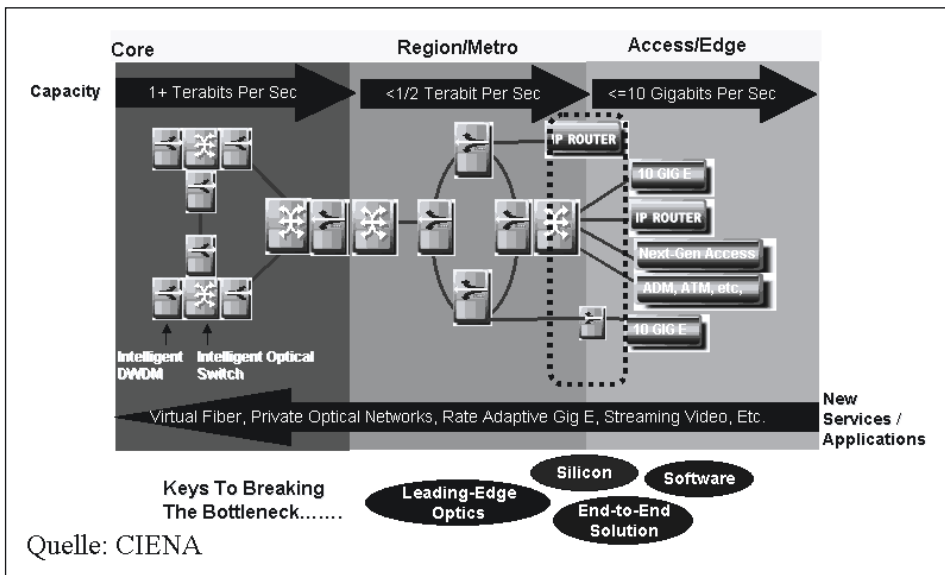


Abb. 1.4.17: Netzwerkhierarchie

Bisherige »legacy«-Transportnetze können durch folgende Eigenschaften charakterisiert werden:

- statische Kapazität
- eine einzige Dienstqualität
- Bandbreiten diktiert von SONET und/oder SDH
- Linearer oder Ringschutz
- Schlechte Skalierbarkeit
- Langsame Bereitstellung von Diensten in der Größenordnung von Stunden oder Tagen.

Demgegenüber haben intelligente Optische Netze nach den Vorstellungen von Ciena folgende Eigenschaften:

- dynamische kundenfreundliche Kapazitäten
- flexible Bandbreiten von STM bis Gigabit-Ethernet
- Maschenschutz
- Skalierbarkeit in weitem Bereich
- Schnelle Bereitstellung von Diensten in der Größenordnung von Sekunden oder Minuten.

1.4.4 Extreme Networks: Ethernet Everywhere

Da wir dieser Thematik ein ganzes Kapitel (5) widmen, wollen wir uns hier etwas kürzer fassen. Extreme Networks sieht folgende Stufen für die Konstruktion der nächsten Generation von Netzen:

- Ethernet Everywhere
- IP Everywhere
- Policy-based Switching

Mit dem auf Standards basierenden Policy-based Switching möchte man die Datenströme, mit denen man Geld verdienen kann, von denen, mit denen das leider nicht möglich ist, trennen. Man sagt bei Extreme Networks, dass die Möglichkeiten der Standards von IEEE und aus der IP-Welt in jedem Falle für die gängigen Einsatzszenarien ausreichen. Unterhalb dieser Policies sieht man den durchgängigen Einsatz von IP, und das wird seinerseits wiederum unterstützt von Ethernet, und zwar überall. Mit 10-Gigabit-Ethernet kommt das Ethernet ins WAN, mit den aktuellen Projekten wie den Yipes-Netzen kann man zeigen, dass Ethernet im Metrobereich erfolgreich eingesetzt werden kann, und im LAN ist Ethernet ohnehin der dominierende

Standard. Fehlt eigentlich nur noch die letzte Meile für die Versorgung von Endteilnehmern in Netzen, dann ist die Ethernet-Welt komplett. Und genau mit dieser fehlenden Standardisierung hat man 2001 begonnen. Man hat schon einmal gehofft, mit einem System alle unterschiedlichen Bedarfe erfüllen zu können, nämlich mit ATM. Aus ATM ist nichts geworden, weil es in weiten Bereichen ein Papiertiger war. Ethernet ist aber eine überaus erfolgreiche, erprobte Technologie und erfüllt heute alle Versprechen, die einmal im Zusammenhang mit ATM gemacht wurden:

- Kapazität: 10, 100 Mb/s, 1, 10 100 Gb/s
- Skalierbarkeit: problemloser Übergang zwischen den Geschwindigkeiten
- QoS: Standardisierung von IEEE 802.1p und DiffServ Mapping
- Bandbreitenmanagement: garantierte minimale und maximale Bandbreite
- Datenklassifikation auf jedem Switch im Netzwerk
- Eliminierung von Jitter durch IP-Zeitmultiplex
- Entfernungen: mehr als 100 km mit Gigabit-EtherneWAN-Anbindung mit 10-Gigabit-Ethernet
- Wiederaufsetzen nach Fehlern langsam mit Spanning Tree oder schnell mit herstellerspezifischen Verfahren
- Reduktion von Betriebskosten im Rahmen einer durchgängigen Technologie

1.5 Zusammenfassung und Überblick über den Inhalt des Buches

Durch die enormen Anforderungen aus dem Internet und den erhöhten Wettbewerbsdruck ist die Welt der Telekommunikation in einem Umbruch, der an Dramatik nichts mehr zu wünschen übrig lässt.

Je nach Quelle wird das Wachstum des Internet-Verkehrs unterschiedlich beurteilt; selbst die pessimistischsten Prognosen gehen von einer Verdoppelung alle 12 Monate aus, allgemein wird aber ein noch kürzerer Zeitraum angenommen.

Die reine Datenübertragung mit hoher Geschwindigkeit findet ohnehin schon auf Glasfasern statt. Schon für Gigabit-Ethernet mussten alle möglichen Techniken zusammen angewendet werden, um noch eine Übertragung mit dieser Rate auf metallischen Leitungen zu ermöglichen. Jenseits des Gigabit-Bereichs gibt es einfach keine sinnvolle Übertragung mehr ohne Fiber Optic. Auf Fernstrecken erreicht man mittlerweile Leistungen von bis zu 10 Tb/s ohne die bislang erforderlichen teuren Zwischenverstärker mit optoelektrisch/opti-

scher Wandlung auf 100 km, und mit rein optischen Leitungsverstärkern überwindet man sogar Entfernungen über 7000 km. Wesentlicher für den durchschnittlichen Anwender ist aber die Verfügbarkeit von Multigigabit-Billigtechnologie, die mit den ersten Produkten für 10-Gigabit-Ethernet noch in diesem Jahr die unternehmensweiten Backbones in eine neue Leistungsdimension katapultiert. Denn der Standard für 10-Gigabit-Ethernet ebnet mit Trunking auch den Weg zu 20-, 40- und 80-Gigabit-Netzen.

Faszinierend ist besonders, dass diese Fortschritte unter Einführung einer Mehrkanaltechnik auf unterschiedlichen Wellenlängen, die zusammen über eine Glasfaser übertragen werden, bei der aber jede eigene Information tragen kann, realisiert werden konnten. Die WDM-Technik (Wave Division Multiplex) gibt es in zwei Geschmacksrichtungen: CWDM (C=Coarse) für den Aufbau preiswerter Übertragungssysteme mit bis zu 8 Kanälen und einer Leistung z.B. von 80 Gb/s auf Multimodefaser, und DWDM (D=Dense) für hochwertige Lösungen mit momentan bis zu 320 Kanälen, jeder Kanal mit einer Leistung von 2,5, 10, 20 oder 40 Gb/s

Wesentlich für den Vorstoß in breite Anwendungsbereiche ist allerdings die erzielbare Dichte bei der Integration von Komponenten. Ein Laser für den Einsatz bei der Übertragung von 5 Gb/s z.B., der noch vor fünf Jahren so groß wie eine kleine Zigarrendose war, ist jetzt kleiner als ein Stecknadelkopf. Statt einer singulären Struktur mit eigener Stromversorgung und Steuer Elektronik passen jetzt Hunderte dieser Laser auf einen einzigen Wafer.

In diesem Kapitel standen natürlich die Grundbegriffe im Vordergrund, und der Leser konnte sich einen ersten Überblick darüber verschaffen, was Optische Netze nun sind, wie sie arbeiten und was sie für ihn tun können.

Im Kapitel 2 steht ein Strukturmodell für Optische Netze im Vordergrund, das sich aus der Perspektive der Anwendung optischer Übertragungssysteme in WANs ergibt. Das ist für die weitere Terminologie leider unverzichtbar. Ebenfalls im Kapitel 2 findet der Leser einen Überblick über den SONET-Standard, vom dem zwar »irgendwie« wegmigriert werden soll, blickt man aber genauer hin, sieht man, dass der Standard eine Menge wirklich überragender Eigenschaften hat, die durch andere Systeme mindestens ersetzt werden müssten, was sicherlich nicht so einfach sein wird. Außerdem folgen in Kapitel 2 Ausführungen zur Weiterentwicklung der internationalen Standardisierung.

Das dritte Kapitel setzt sich mit der optischen Übertragungstechnologie im Einzelnen auseinander, und zwar ausgehend von einkanaligen Systemen zu den interessanten Mehrkanalsystemen mit Wellenlängenmultiplex. Es gibt unterschiedliche Leistungsklassen für derartige Systeme und eine spannende Entwicklung bei den Strahlungsquellen. Ebenfalls sehr interessant sind

die Verstärker, die sowohl innerhalb einer Glasfaser benutzt werden können als auch als integrierte Halbleiterverstärker ausgeführt werden. Man kann an den Verstärkern einige Effekte diskutieren. Insgesamt ergeben sich zusätzliche Anforderungen an die Übertragungssysteme, wenn man vom einkanaligen zu mehrkanaliger Übertragung kommt. Wir verstärken optische Signale natürlich unmittelbar und nicht im Rahmen einer Rückwandlung in elektrische Signale. Diese so genannte 3R-Regeneration ist eine Technik, die aus den rein optischen Netzen langsam aber sicher aus Kostengründen verschwindet.

Während im dritten Kapitel die Punkt-zu-Punkt-Verbindungen im Vordergrund standen, geht es im Kapitel 4 um die Konstruktion von Transportnetzwerken aus Basiskomponenten. Optische Speicher sind die Voraussetzung dafür, Datenpakete ordentlich behandeln und forwarden zu können, weil der Inhalt des Datenpaketes wenigstens so lange zwischengespeichert werden muss, bis der Paketkopf decodiert und die mit ihm verbundenen Berechnungen initiiert sind. Ganz faszinierend sind dann die optischen Schaltmatrizen, allerdings müssen wir vor ihrer Besprechung auf die Konstruktion großer Switchmatrizen aus kleinen Basiselementen eingehen. Das ganze Kapitel steht unter dem Zeichen der Integration optischer Komponenten. Nur mit ihnen ist die Erzielung völlig neuer Preis/Leistungsverhältnisse bei Routern und Switches möglich.

Fast schon konservativ ist dann der Blick auf die Entwicklung des Ethernet-Universums. Wir beginnen mit dem Standard für 10-Gigabit-Ethernet und setzen alles andere, was zu niedrigeren Datenraten und Ethernet zu sagen ist, als bekannt voraus. Zusammen mit diesem Buch werden die ersten Komponenten am Markt erscheinen, die den Standard in die Praxis umsetzen. Noch in 2001 ist damit zu rechnen, dass die ersten Power-Kunden 10-Gigabit-Ethernet produktiv einsetzen. Fast genauso wichtig erscheint mir der neue Standard für Ethernet in der First Mile. Hier geht es nicht so sehr um optische Datenübertragung, sondern um die Vorstellungen der Hersteller und Standardisierungsgremien darüber, wie die Versorgung privater Endteilnehmer in Zukunft aussehen wird. Und wenn man sieht, dass zum einen das Ethernet-Paket das einzige und dominierende Datenformat werden soll und andererseits eine Datenrate von 100 Mb/s pro Haushalt das absolute Minimum darstellt, über das man reden möchte, kann man sich vorstellen, wie sich die Infrastrukturen entwickeln müssen, die eine solche Teilnehmerlast tragen können.

Im Kapitel 6 stehen die Entwicklungen im Vordergrund, die aus den Komponenten der Kapitel 3 und 4 das Internet der nächsten Generation formen helfen. Man sieht, dass es hierbei eine Reihe zusätzlicher Anforderungen gibt und auf dem Weg bis zu einer vollständigen Lösung noch etwas Arbeit liegt.

Insgesamt geht es auch um die Lösung des Problems der Funktionenverteilung zwischen elektronischen und optischen Komponenten. Die neuen rein optischen Schaltmatrizen haben zwar pro Kanal eine enorme Datenrate von bis zu 40 Gb/s, die Schaltzeiten sind jedoch relativ träge. Verfahren wie beim Ethernet-Switching, die auf Grundlage jedes ankommenden Paketes sofort über die Weiterleitung desselben entscheiden, sind schlicht nicht nutzbar, sondern man muss sich überlegen, wie man diese Grenzen anderes überwindet. Wir werden am konkreten Beispiel der Konstruktion eines Terabit-Switches sehen, wie man das im Einzelnen machen kann.

Im Kapitel 7 schließlich kommen wir zu den faszinierenden Möglichkeiten der Regional/Metronetze, die letztlich eine vereinfachte WAN- oder eine etwas aufgewertete LAN-Technologie verwenden können, um für die Kunden sehr preiswerte Anschlüsse zu realisieren.

Die üblichen Servicebereiche schließen das Buch ab.