

Hochschule für Telekommunikation, Leipzig

Metropolitan Area Networks

Sebastian Lammermann

Hochschule für Telekommunikation, Leipzig

Metropolitan Area Networks

Seminararbeit Fotonik

Verfasser: Sebastian Lammermann
Matrikelnummer 074111

Betreuer: Prof. Dr. Jürgen Krauser
Prof. Dr. Volkmar Brückner

Published under Creative Commons Licence



Inhaltsverzeichnis

1 Einführung.....	1
1.1 Vorwort, Abgrenzung und Hinweise.....	1
1.2 Einleitung.....	2
2 Einsatz von Metropolitan Area Networks.....	2
3 MAN-Netzwerkstrukturen.....	4
4 Verwendete Technologien.....	6
4.1 Allgemeines.....	6
4.2 Coarse Wavelength Division Multiplex.....	7
5 Fazit.....	9
6 Quellenverzeichnis.....	11
7 Glossar.....	12
8 Lizenz.....	14

1 Einführung

1.1 Vorwort, Abgrenzung und Hinweise

Die vorliegende Seminararbeit zum Thema *Metropolitan Area Networks (MAN)*¹ entstand für das Fach Fotonik im Wintersemester 2007/2008 an der Hochschule für Telekommunikation, Leipzig. Sie ist als Einführung in die Thematik gedacht und kann, aufgrund ihres Umfangs, keinen Ersatz für Fachliteratur darstellen. Die im Quellenverzeichnis aufgeführten Dokumente sind hingegen tiefer gehend und auch als Literaturempfehlung zu verstehen.

Der Inhalt dieser Seminararbeit überschneidet sich teilweise mit dem Gegenstand anderer Arbeiten, insbesondere mit den Themen „Netzwerkstrukturen“ und „Dense Wavelength Division Multiplex“. Dies ist unvermeidlich, da nur so das notwendige Verständnis geschaffen werden kann. Jedoch wurde darauf geachtet, lediglich die Aspekte anderer Themenkomplexe zu behandeln, welche für Metropolitan Area Networks von Bedeutung sind.

Im vorliegenden Text wird sowohl für die Transkription als auch für die Translation des griechischen Buchstabens 'Φ', außer bei Namen, ausschließlich die offizielle neugriechische Übersetzung 'F' verwendet. Damit wird die Schreibweise des Dudens in einigen Fällen missachtet. Da der Duden allerdings 1998 seine Monopolstellung bei der Rechtschreibung verloren hat und nun vielmehr Richtlinien beinhaltet, ist es durchaus gestattet sich über diese hinwegzusetzen, sofern darauf aufmerksam gemacht wird.

1 Engl.: „Metropolitangebietsnetzwerke“.

1.2 Einleitung

Um verschiedene Aspekte des Themas zu beleuchten, gliedert sich diese Seminararbeit in mehrere Kapitel:

- **Kapitel 2** beschäftigt sich mit dem Einsatz von MANs generell. Es definiert, was ein MAN ist, wie es realisiert werden kann und beleuchtet wirtschaftliche Aspekte.
- **Kapitel 3** behandelt typische Netzwerktopologien von MANs und erläutert den Aufbau in der Praxis.
- **Kapitel 4** hat die in MANs Verwendung findenden Netzwerktechnologien zum Thema. Der Fokus liegt hier auf einem Multiplexverfahren, welches in MANs häufig zum Einsatz kommt.
- **Kapitel 5** bildet das Fazit dieser Arbeit.
- **Kapitel 6** beinhaltet einen Glossar.
- **Kapitel 7** enthält das Quellenverzeichnis zu dieser Seminararbeit.
- **Kapitel 8** bietet Details zur Lizenz, unter der diese Seminararbeit veröffentlicht worden ist.

2 Einsatz von Metropolitan Area Networks

Metropolitan Area Networks werden üblicherweise in einem urbanen Ballungsraum eingesetzt um beispielsweise verschiedene Unternehmensstandorte miteinander zu verbinden. Sie bilden dabei mit ihrer Ausdehnung von typischerweise einigen zehn bis hin zu mehreren hundert Kilometern eine Zwischenstufe zwischen *Weitverkehrsdatennetz (Wide Area Network, WAN)* und den auf einzelne Gebäude bzw. Gebäudekomplexe beschränkten *lokalen Netzwerken (Local Area Network, LAN)*.

Realisiert werden können Metropolitan Area Networks grundsätzlich über verschiedene Medien. Auf Kupferadern basierende Netzwerke eignen sich wegen ihrer eher geringen Reichweite und mittelmäßigen Übertragungsrates allerdings nur bedingt und sind lediglich im

Anschlussbereich von Bedeutung. Funktechnologien hingegen, wie z. B. *WiMAX*², lassen sich zwar relativ kostengünstig implementieren und verfügen über große Reichweiten, auf Grund ihrer niedrigen Bandbreite und vergleichsweise niedrigen Verfügbarkeit stellen sie jedoch derzeit auch keine Alternative für Hochgeschwindigkeitsnetze dar.

Übrig bleibt die optische Übertragungstechnik. Diese benötigt zwar relativ kostenintensive Komponenten, macht dies durch niedrige Leitungskosten, hohe Reichweiten und eine hohe Übertragungsrate wieder wett. Sie ist damit nicht nur für Weitverkehrsdatennetze von Bedeutung, sondern kann auch im regionalen Rahmen effizient eingesetzt werden. Aus diesem Grund widmet sich diese Seminararbeit ausschließlich optischen Netzen.

MANs werden selten von nur einem Unternehmen genutzt. Meistens sind sie im Besitz eines Service Providers, welcher Datenübertragung als Dienstleistung anbietet. Die wichtigsten Markttreiber im Bereich der Metropolitan Area Networks sind zur Zeit³:

- **Kanalvermietung:** Hier werden einzelne Kanäle vollständig vermietet. Je nach Art des Multiplexes können dies beispielsweise Wellenlängen oder Zeitschlitze sein.
- **MAN-Ethernetverbindungen:** Diese Technologie ermöglicht es, mittels *Ethernet*⁴ mehrere weit voneinander entfernte Standorte über das MAN zu einem logischen LAN zusammenzuschließen.
- **Storage Area Network (SAN):** Diese Speichernetzwerke bilden die Verbindung von Servern zu großen Speichersystemen. Sie benötigen insbesondere breitbandige Verbindungen für Paketdaten.

Derzeit werden für den MAN-Markt kontinuierliche Wachstumsraten in diesen drei Bereichen vorhergesagt. Durch steigende Nachfrage nach hohen Datentransferraten, den Ausbau von *Fibre to the Kerb (FTTK)*⁵

2 „Worldwide Interoperability for Microwave Access“. Funktechnologie nach IEEE-802.16-Standard. Bietet bis zu 108 Mbit/s Datenübertragungsrate und 50 km Reichweite.

3 Vgl.: Grobe, Klaus: „Metro Optical Networking – Teil 1“, Seite 6f.

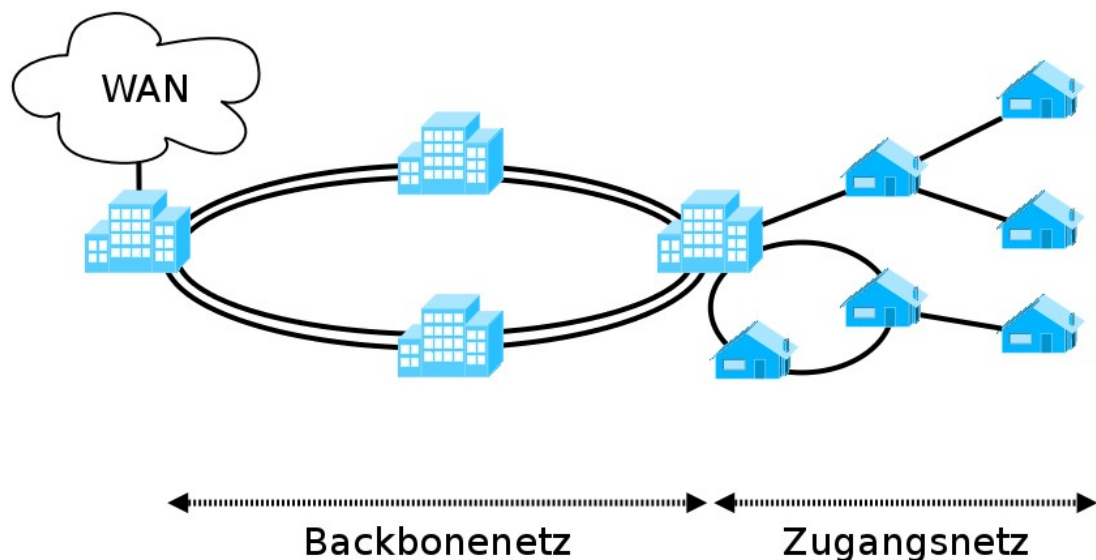
4 Kabel gebundene Datennetztechnik. Für Local Area Networks entwickelt.

5 Engl., in etwa: „Glasfaser bis zum Bordstein“. Glasfaserverbindung bis zu einem Kabelverteiler, von wo aus eine Endanbindung über ein anderes Medium erfolgt.

sowie *Fibre to the Premises (FTTP)*⁶ wird vorausgesagt, dass MANs in den nächsten Jahren zunehmend an Bedeutung gewinnen werden.⁷

3 MAN-Netzwerkstrukturen

Generell lässt sich sagen, dass ein Metropolitan Area Network topologisch wie ein großes LAN aufgebaut ist und eher selten einem Weitverkehrsdatennetz ähnelt. Das Netzwerk ist dabei in zwei Teile aufgeteilt: Das *Zugangsnetz* und das *Backbonenetz*.



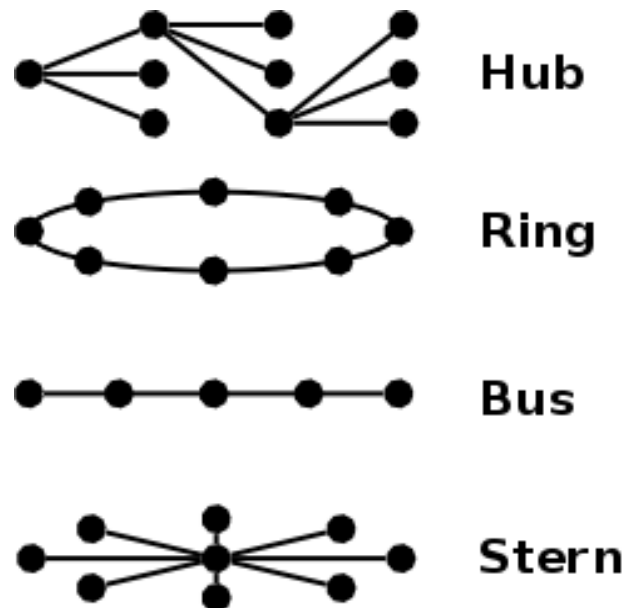
Grafik 1: MAN-Netzwerkstruktur

Aufgabe des Zugangsnetzes ist es, Datenverkehr zu sammeln und dem Backbonenetz zuzuführen. Es hat üblicherweise eine Ausdehnung von mehreren zehn Kilometern. Das Netzwerk wird aus praktischen Gründen meistens als physikalische *Hubstruktur* realisiert, kann aber auch *Ring-*, *Stern-* und *Buselemente* beinhalten. Es verbindet einzelne Gebäudekomplexe oder Vermittlungsstellen miteinander und führt den Datenverkehr einem Hauptknoten des Service Providers zu. Dieser bildet

⁶ Engl., in etwa: „Glasfaser bis ins Gebäude“. Direkte Glasfaseranbindung von Gebäuden, teilweise auch einzelnen Wohnungen.

⁷ Vgl.: Nedvidek, Francis: „CWDM – A low risk tactic“.

die Schnittstelle zum Backbonenetz.



Grafik 2: Im MAN-Zugangsnetz verwendete Netzwerktopologien

Das Backbonenetz hingegen wird in der Regel als *Ringbus* mit bis zu mehreren hundert Kilometern Durchmesser verwirklicht. Der Ring verbindet die Hauptknoten des MANs miteinander, wodurch der Datenverkehr aus den Zugangsnetzen, meist mittels *Add-Drop-Multiplexern (ADM)*⁸, in andere Teile des Netzwerkes gelangen kann. Außerdem verfügt es über Schnittstellen ins Weitverkehrsnetz.

Um eine höhere Verfügbarkeit zu gewährleisten, legt man in der Regel mindestens Doppelringe an, wobei jeder Ring unidirektional betrieben wird⁹. Im Normalbetrieb nimmt bei einem Ringbus ein (beliebiger) Knoten die Rolle des *Head of Bus*¹⁰ bzw. *End of Bus*¹¹ wahr. Kommt es zu einer Unterbrechung der Verbindung, organisiert sich der Ringbus innerhalb weniger Sekunden zu einem *offenen Bus* um und kann so ohne längere Unterbrechung bei gleicher Leistung weiter betrieben werden. Erst bei

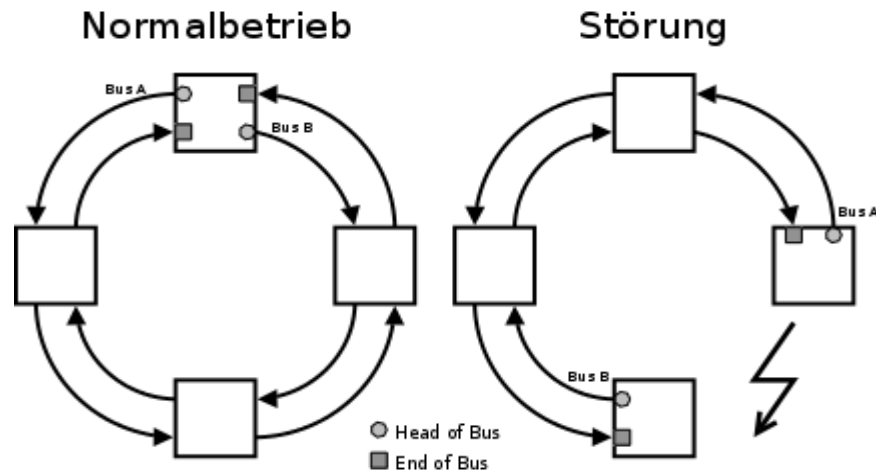
⁸ Engl., in etwa: „Zufüge-Entnehme-Multiplexer“. Gerät, das einem Multiplexsignal sowohl einen oder mehrere Teilsignale hinzufügen und auch aus dem Multiplexsignal Teilsignale entnehmen kann.

⁹ Letzteres gilt zumindest für MANs mit *Distributed-Queue-Dual-Bus-Technik (DQDB)*.

¹⁰ Engl.: „Kopf des Busses“. Beginn eines unidirektionalen Busses in der Netzwerktechnik.

¹¹ Engl.: „Ende des Busses“. Ende eines unidirektionalen Busses in der Netzwerktechnik.

einer weiteren Verbindungsunterbrechung ist die Kommunikation zwischen allen Knoten nicht mehr gewährleistet.



Grafik 3: Ringbus im Normalbetrieb und bei Leitungsunterbrechung

4 Verwendete Technologien

4.1 Allgemeines

Im Bereich der Metropolitan Area Networks finden sich eine Reihe von Netzwerktechnologien, die zum Einsatz kommen. Bedingt ist dies u. a. durch unterschiedliche Anforderungen an die Netze, bereits vorhandene technische Infrastruktur oder zur Verfügung stehendes Budget der Service Provider. Außerdem entstehen Netzwerke in der Regel in mehreren Schritten über einen längeren Zeitraum. Während dieses „Wachstums“ kann es zum Einsatz von unterschiedlichen Übertragungstechnologien kommen, aber auch zur Verwendung von unterschiedlichen Leitungstypen und/oder Hardwarekomponenten. Häufig zu finden sind heute beispielsweise *TDM-Netze*¹² mit *SDH-Struktur*¹³ oder *DWDM-*

¹² „Time Division Multiplex“. Engl.: „Zeitteilungsmultiplex“. Daten verschiedener Sender werden über einen Kanal zu unterschiedlichen Zeitschlitzen übertragen.

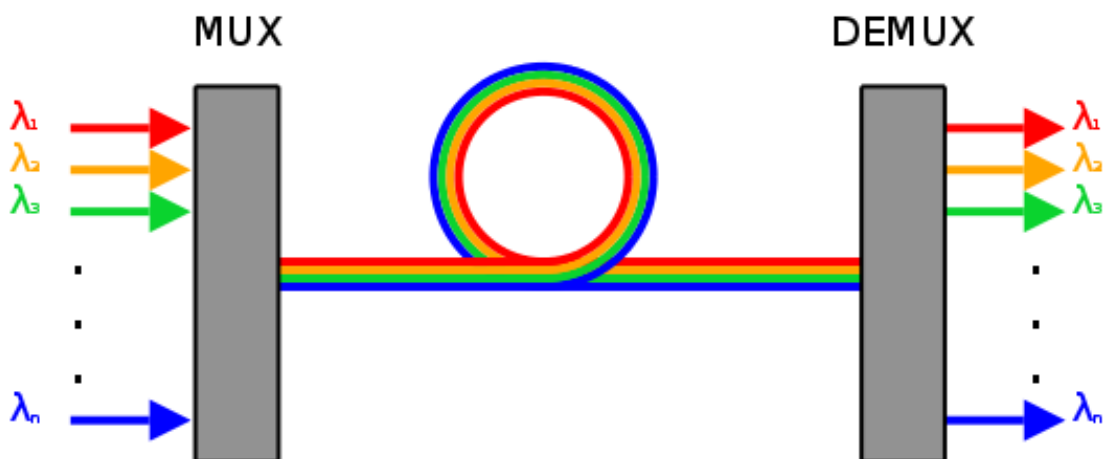
¹³ „Synchronous Digital Hierarchy“. Engl.: „Synchrone Digitale Hierarchie“. Multiplextechnologie im Bereich der Telekommunikation.

*Technologie*¹⁴, durch welche verschiedenste Dienste realisiert werden können.

Der Schwerpunkt in diesem Kapitel liegt auf dem *Coarse Wavelength Division Multiplex (CWDM)*¹⁵, einer kostengünstigen und relativ leistungsstarken Alternative zu DWDM, die immer öfter im Bereich der Zugangsnetze Verwendung findet. DWDM, in einer anderen Seminararbeit näher behandelt, ist aber nach wie vor die vorherrschende Technik im Backbonenetz, da sie Übertragungsraten bis zu 640 Gbit/s bietet.

4.2 Coarse Wavelength Division Multiplex

Systeme mit *Wellenlängenmultiplextechnologie (Wavelength Division Multiplex, WDM)* ermöglichen die Übertragung von mehreren Signalen über eine optische Faser. Hierfür werden die Signale in verschiedenen Wellenlängen über einen Multiplexer in die Glasfaser eingekoppelt. Auf der Gegenseite befindet sich ein Demultiplexer, welcher das Signal wieder in die einzelnen Wellenlängen aufteilt.



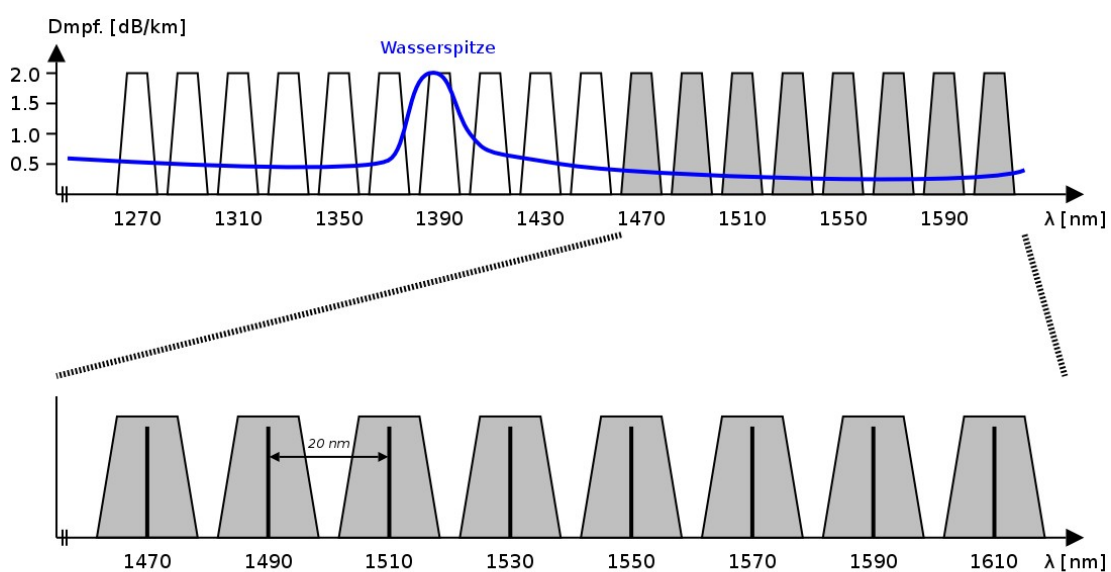
Grafik 4: Funktionsweise des Wellenlängenmultiplexes

Unterschieden wird zwischen dichtem (DWDM) und groben Wellenlängenmultiplex (CWDM). CWDM unterscheidet sich von ihrer Schwester-

14 „Dense Wavelength Division Multiplex“. Engl.: „Dichtes Wellenlängenmultiplex“. Multiplexverfahren, bei dem die verwendeten Wellenlängen sehr dicht beieinander liegen.

15 Engl.: „Grobes Wellenlängenmultiplex“.

technologie insofern, als dass die Kanäle mit 20 nm einen deutlich größeren Abstand zueinander aufweisen¹⁶. Die Kanäle selber besitzen eine Breite von 13 nm. Laut Standard ist es so Möglich, im Wellenlängenbereich von 1270 nm bis 1610 nm insgesamt 18 Kanäle zu betreiben. In der Praxis sind meist jedoch keine geeigneten Fasern verlegt¹⁷, wodurch nur acht Kanäle im sog. *dritten optischen Fenster*¹⁸ genutzt werden. Derzeit sind so Übertragungsraten von 80 Gbit/s möglich.



Grafik 5: Lage der CWDM-Kanäle mit eingezeichneter Faserdämpfung

CWDM findet sich fast ausschließlich im Zugangsnetz von MANs, da die Übertragungsraten für den Backbone meistens unzureichend ist. Sonst bietet sie aber alle Vorteile, die auch DWDM hat. So ist es beispielsweise möglich, ein CWDM-Netz als Ringbus zu betreiben, oder im Hauptknoten die bestehende Wellenlänge sofort in das DWDM-System einzukoppeln.

Da in den nächsten Jahren in Europa mit einer steigenden Nachfrage nach breitbandigen Netzwerkverbindungen gerechnet wird¹⁹, ist zu erwarten,

¹⁶Zum Vergleich: Der Kanalabstand bei DWDM beträgt in der Regel 1,6 nm oder weniger.

¹⁷Es werden Fasern benötigt, die keine OH⁻-Ionenabsorptionsspitze („Wasserspitze“) haben.

¹⁸Das „dritte optische Fenster“ liegt um 1550 nm Wellenlänge.

¹⁹Vgl.: Nedvidek, Francis: „CWDM – A low risk tactic“.

dass optische Übertragungstechniken an Bedeutung gewinnen werden. Die WDM-Technik ermöglicht es, bisher nur mit einer Wellenlänge betriebene Glasfasern durch das Multiplexverfahren um ein vielfaches effizienter zu machen. Die Investitionskosten fallen, im Gegensatz zur bisherigen Technik, niedriger aus, da keine bzw. wenige neuen Leitungen verlegt werden müssen.

Im Gegensatz zu DWDM lässt sich CWDM zudem kosteneffizienter implementieren. Der größere Kanalabstand erlaubt es, weniger präzise und somit preiswertere Komponenten einzusetzen. Da in regionalen Netzen die Dichte der optischen Komponenten deutlich höher ist als in einem WAN, ermöglicht dies oftmals erst finanziell die Realisierung eines solchen Netzwerks.

5 Fazit

Nach Ostasien und Nordamerika gewinnen breitbandige Glasfaseranbindungen auch in Europa zunehmend an Bedeutung. Die Wirtschaft geht immer stärker dazu über, unterschiedliche Unternehmensstandorte so miteinander zu vernetzen, dass sie virtuell einem einzigen LAN nahekommen. Und im privaten Bereich setzen sich zunehmend die *Next Generation Networks (NGN)*²⁰ durch, die neben klassischem Internetanschluss und Telefoniedienst auch Bandbreiten hungriges Videostreaming bieten. Der damit verbundene steigende Bedarf an hohen Übertragungsraten sorgt unweigerlich für einen Ausbau der Weitverkehrsdatennetze, aber eben auch der Metropolitan Area Networks.

Mit steigender Nachfrage nach Hochgeschwindigkeitsdatenanschlüssen bei gleichzeitigem Konkurrenzdruck und Preiskampf ist es allerdings oft unvermeidlich, Investitionskosten für die technische Infrastruktur in Grenzen zu halten. Dank CWDM haben die Service Provider aber die Möglichkeit, die bestehende Infrastruktur teilweise weiter zu nutzen. Dies betrifft vor allem die bereits verlegten Glasfasern, welche mit dem groben

²⁰Engl., in etwa: „Netzwerke der nächsten Generation“. Kommunikationsnetz, das sich durch die Konvergenz herkömmlicher Netze (z. B. Telefonnetz, TV-Kabelnetz) mit Paketdatennetzen ergibt.

Wellenlängenmultiplex in der Regel achtmal so viele Daten übertragen können wie bisher. Sind geeignete Fasern verlegt, ist sogar die verachtzehnfachung der Übertragungsrate technisch ohne weiteres machbar²¹. Darüber hinaus ist CWDM soweit kompatibel mit ihrer Schwestertechnologie DWDM, dass partiell Wellenlängen direkt aus dem einen in das andere System eingekoppelt werden können.

Die neu anzuschaffenden Hardwarekomponenten sind, im Vergleich zur DWDM-Technik, bei CWDM um ein Vielfaches preiswerter. Dies liegt daran, dass weniger präzise arbeitende Geräte nötig sind. Zudem kann, auf Grund der eher geringen Entfernungen im MAN-Bereich, oftmals auf optische Verstärker verzichtet werden.

Betrachtet man all diese Faktoren, lässt sich für die nächsten Jahre ein starkes Wachstum des MAN-Segments prognostizieren. Wirtschaftlich ermöglicht wird dies allerdings erst durch die WDM-Technologie, die hohe Datenübertragungsraten bietet und gleichzeitig nötige Investitionen in Grenzen hält.

²¹ Sofern bisher nur eine Wellenlänge genutzt worden ist.

6 Quellenverzeichnis

Agrawal, Govind: „Fiber-Optic Communication Systems“, Wiley & Sons, New York 2002, ISBN: 978-0471215714.

Blümel / Kuhle: „Hochgeschwindigkeitskommunikation mit DQDB, MAN, SMDS“, R. v. Decker, Heidelberg 1995, ISBN: 978-3768516945.

Brückner / Krauser: „Photonik - von Point-to-Point-Übertragung zum optischen Netzwerk“, Hochschule für Telekommunikation, Leipzig 2007.

Grobe / Donhauser / Wiegand / McCall: „Optical metropolitan DWDM networks – an overview“, 16. Oktober 2007,
<http://www.lcs.poli.usp.br/~walmara/BT%20Technology%20Journal/2002%20Oct%2027.pdf>.

Grobe, Klaus: „Metro Optical Networking“, Telekommunikation Aktuell, 58. Jahrgang, Heft 05-06 und 09-10 2004, ISSN: 1619-2036.

Grobe / Ritter: „Metro Ethernet Services“, 16. Oktober 2007,
http://www.advaoptical.com/newsletter/Ethernet_Services_paper.pdf.

Kartalopoulos, Stamatios: „Introduction to DWDM Technology“, IEEE Press, New York 2000, ISBN: 978-0780353992.

Kauffels, Franz-Joachim: „Optische Netze“, mitp, Bonn 2002, ISBN: 978-3826640902.

Kiefer / Winterling: „DWDM, SDH & Co.“, Hüthig, Heidelberg 2002, ISBN: 978-3826650277.

Nedvidek, Francis: „CWDM – A low risk tactic“, 2. November 2007,
http://www.eurocomms.com/features/111912/CWDM_-_A_low_risk_tactic.html.

Ramaswami / Sivarajan: „Optical Networks“, Morgan Kaufmann, San Francisco 2002, ISBN: 978-1558606555.

Voges / Petermann (Hg.): „Optische Kommunikationstechnik“, Springer, Berlin 2002, ISBN: 978-3540672135.

Willebrand / Ghuman: „Optischer Richtfunk“, Hüthig, Heidelberg 2003, ISBN: 978-3778539675.

7 Glossar

Begriff	Erläuterung
<i>Add-Drop-Multiplexer (ADM)</i>	Gerät, das einem <i>Multiplex</i> signal sowohl einen oder mehrere Teilsignale hinzufügen und auch aus dem <i>Multiplex</i> signal Teilsignale entnehmen kann.
<i>Backbonenetz</i>	Kern des Datennetzes mit hoher Übertragungsrate.
<i>Coarse Wavelength Division Multiplex (CWDM)</i>	<i>Wavelength Division Multiplex</i> mit breitem Kanalabstand. Bietet auf Standardfasern Übertragungsraten von 80 Gbit/s.
<i>Dense Wavelength Division Multiplex (DWDM)</i>	<i>Wavelength Division Multiplex</i> mit schmalen Kanalabstand. Bietet auf Standardfasern Übertragungsraten von 640 Gbit/s.
<i>Distributed Queue Dual Bus (DQDB)</i>	In den 1980er Jahren entwickeltes Netzwerkprotokoll für die Hochleistungsübertragung.
<i>End of Bus</i>	Ende eines unidirektionalen Busses in der Netzwerktechnik.
<i>Ethernet</i>	Kabel gebundene Datennetztechnik. Für <i>Local Area Networks</i> entwickelt.
<i>Fibre to the Kerb (FTTK)</i>	Glasfaserverbindung bis zu einem Kabelverteiler, von wo aus eine Endanbindung über ein anderes Medium erfolgt.
<i>Fibre to the Premises (FTTP)</i>	Direkte Glasfaseranbindung von Gebäuden, teilweise auch einzelnen Wohnungen.
<i>Head of Bus</i>	Beginn eines unidirektionalen Busses in der Netzwerktechnik.
<i>Local Area Network (LAN)</i>	Netzwerk, dessen Ausdehnung auf einzelne Gebäudekomplexe beschränkt ist.
<i>Metropolitan Area Network (MAN)</i>	Netzwerk, dessen Ausdehnung auf einen urbanen Ballungsraum beschränkt ist.
<i>Multiplex</i>	Verfahren, um mehrere logische Kanäle gleichzeitig über einen physikalischen Kanal zu übertragen.
<i>Next Generation Network (NGN)</i>	Kommunikationsnetz, das sich durch die Konvergenz herkömmlicher Netze mit Paketdatennetzen ergibt.
<i>Storage Area Network (SAN)</i>	Speichernetzwerke, welche die Verbindung von Servern zu großen Speichersystemen bilden.
<i>Synchronous Digital Hierarchy (SDH)</i>	Synchrone Multiplextechnik, die das Zusammenfassen von niederrangigen Datenströmen zu einem hochrangigen Datenstrom erlaubt.

Begriff	Erläuterung
<i>Time Division Multiplex (TDM)</i>	Multiplextechnik, bei der Daten mehrerer logischer Kanäle über einen fysikalischen Kanal in unterschiedlichen Zeitschlitzten übertragen werden.
<i>Wavelength Division Multiplex (WDM)</i>	Multiplextechnik, bei der Daten mehrerer logischer Kanäle über einen fysikalischen Kanal in unterschiedlichen Wellenlängen übertragen werden.
<i>Wide Area Network (WAN)</i>	Weitverkehrsdatennetzwerk mit bis zu globalen Ausmaßen.
<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access (WiMAX)</i>	Funktechnologie nach IEEE-802.16-Standard. Bietet bis zu 108 Mbit/s Datenübertragungsrate und 50 km Reichweite.
<i>Zugangsnetz</i>	Teil des Datennetzes, welcher einzelne Gebäudekomplexe mit dem <i>Backbonenetz</i> verbindet.

8 Lizenz

Dieses Dokument unterliegt einer Creative-Commons-Lizenz.

Zusammenfassung:

Sie dürfen:

- Das Werk vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen.

Zu den folgenden Bedingungen:

- **Namensnennung.** Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen (wodurch aber nicht der Eindruck entstehen darf, Sie oder die Nutzung des Werkes durch Sie würden entlohnt).
- **Keine Bearbeitung.** Dieses Werk darf nicht bearbeitet oder in anderer Weise verändert werden.
- Im Falle einer Verbreitung müssen Sie anderen die Lizenzbedingungen, unter welche dieses Werk fällt, mitteilen.
- Jede der vorgenannten Bedingungen kann aufgehoben werden, sofern Sie die Einwilligung des Rechteinhabers dazu erhalten.
- Diese Lizenz lässt die Urheberpersönlichkeitsrechte unberührt.

Die Lizenz im Internet: <http://creativecommons.org/licenses/by-nd/2.0/de/>