

**Abschlußbericht zum Projekt
Begleitende Technologieprojekte zum Gigabit Testbed Süd
(Teilprojekt II 2.0)**

(1.3.1999 – 28.2. 2001)

Susanne Nägele-Jackson, RRZE
Ursula Hilgers, RRZE
Markus Fleischmann, RRZE
Michael Gräve, RRZE
Dr. Peter Holleczeck, RRZE

Andreas Faul
Günter May, LRZ
Andreas Völkl, LRZ
Dr. Victor Apostolescu, LRZ

Inhaltsverzeichnis

1. TEST UND BETRIEB DER INFRASTRUKTUR	3
1.1. DARK-FIBER-VERBINDUNG	3
1.2. WELLENLÄNGEN-MULTIPLEXER.....	3
1.3. VERMITTLUNGSSYSTEME	3
1.3.1. ATM.....	3
1.3.2. PACKET-OVER-SONET (POS)	7
1.3.3. GIGABIT-ETHERNET (GE).....	8
2. HIPPI-KONNEKTIVITÄT	9
3. WELLENLÄNGEN-MULTIPLEX-SYSTEME FÜR DEN METRO-BEREICH.....	10
4. CODEC TESTS	11
4.1. TEST VON ATM/IP-CODECS IN ERLANGEN.....	11
4.2. TEST VON IP-CODECS IN MÜNCHEN.....	12
ANHANG	14

1. Test und Betrieb der Infrastruktur

Die Infrastruktur des GTB-S / Berlin bestand aus einer Dark-Fiber-Verbindung, Wellenlängen-Multiplexern (WDM) und Vermittlungssystemen. Sie wurde von der Telekom zur Verfügung gestellt und großteils auch betrieben. Da die verwendete Technik und die eingesetzten Geräte auch für die Telekom neu waren, war ihr Interesse entsprechend ausgeprägt.

1.1. Dark-Fiber-Verbindung

Zwischen den Standorten München, Erlangen und Berlin wurde von der Telekom eine exklusive Single-Mode Glasfaser-Verbindung im 1500nm-Bereich zur Verfügung gestellt, außerhalb der üblichen Vermittlungsarchitektur. Zum Ausgleich der Dämpfung wurde sie nach jeweils ca. 70km mit optischen Zwischenverstärkern versehen.

Der Abschnitt München-Erlangen hat eine Leitungslänge von ca. 200 Kilometer. Zwischenverstärker wurden in Heideck und Pfaffenhofen/Ilm eingerichtet. Der Abschnitt Erlangen-Berlin hat eine Leitungslänge von ca. 500 Kilometer, die mit 7 Zwischenverstärkern überwunden wird.

1.2. Wellenlängen-Multiplexer

Zum Einsatz kam das WDM-System T31 von Pirelli. Es erlaubt einen Ausbau auf max. 8 Wellenlängen zu je 2.48 (ca. 2.5) Gbps und in der Summe eine Übertragung von 20 Gbps. Bestückt war es mit Transpondern für 3 Wellenlängen, so daß eine Gesamtübertragungsbandbreite von 7.5 Gbps zur Verfügung stand.

Folgende Transponder stehen zur Verfügung:

- TXT 350: 1534.5-1535.5 nm,
- TXT 500: 1549.5-1550.5 nm,
- TXT 534: 1552.9-1553.9 nm.

Die drei verfügbaren Kanäle waren belegt mit:

- ATM via Fore ASX4000 (siehe 1.3.1),
- ATM via Ascend GX550 (siehe 1.3.1),
- bzw. frei verfügbar für besondere Untersuchungen (siehe 1.3.2 und 1.3.3).

Bei der Abnahme erwies sich ein Transponder (Strecke Erlangen-München) als fehlerhaft und wurde ausgetauscht. Auch im späteren Betrieb traten immer wieder Probleme mit den Transpondern auf, die einen Austausch erforderlich machten. Ansonsten zeigte sich das System aus Dark-Fiber und Wellenlängen-Multiplexern als stabil.

Dem Vernehmen nach wurden die Pirelli-WDM-Systeme von der Telekom nicht in den Regelbetrieb übernommen.

1.3. Vermittlungssysteme

Im wesentlichen wurde ATM als Vermittlungstechnik eingesetzt. Außerdem wurden Untersuchungen mit Packet-over-Sonet und Gigabit-Ethernet angestellt. Von Interesse war dabei, wegen der hohen Weglänge, die Berliner Strecke.

1.3.1. ATM

Eine der drei verfügbaren Wellenlängen war mit Switches des Typs Fore ASX4000 (vorab ASX1000) bestückt. Die Switches in München und Berlin verfügten für die Fernverbindungen über ein 2.5Gbps-Interface, der Switch in Erlangen über zwei Interfaces dieses Typs. Die Interfaces konnten die verfügbare Bandbreite unstrukturiert (STM16) übertragen. Zur Anbindung der lokalen Netze in den Universitäten dienten STM4-Interfaces. Im Verlauf der Abnahme zeigte sich, daß die Switches beim Abziehen der Glasfaserverbindung zum Booten neigen.

Dieser Fehler wurde beseitigt. Als stabile Betriebssystem-Version erwies sich in Berlin und München Fore Thought 6.2. In Erlangen war wegen Inkompatibilitäten mit den lokalen Netzen ein Downgrade auf 6.0 nötig.

Eine andere Wellenlänge war mit Switches des Typs Ascend GX550 bestückt. Die Verteilung der Interfaces folgte dem o.g. Muster. Der einzige Unterschied bestand darin, daß die 2.5Gbps-Interfaces die Bandbreite nur strukturiert (als 4xSTM4c) übertragen konnten und damit für gewisse Anwendungen ausschieden. Im Verlauf der Abnahme zeigten sich Probleme mit dem Switch-Node-Prozessor, der daraufhin ausgetauscht werden mußte.

Die Hauptlast des Betriebs trugen die Fore-Switches. Die Ascend-Switches wurden nur für gelegentliche Tests herangezogen.

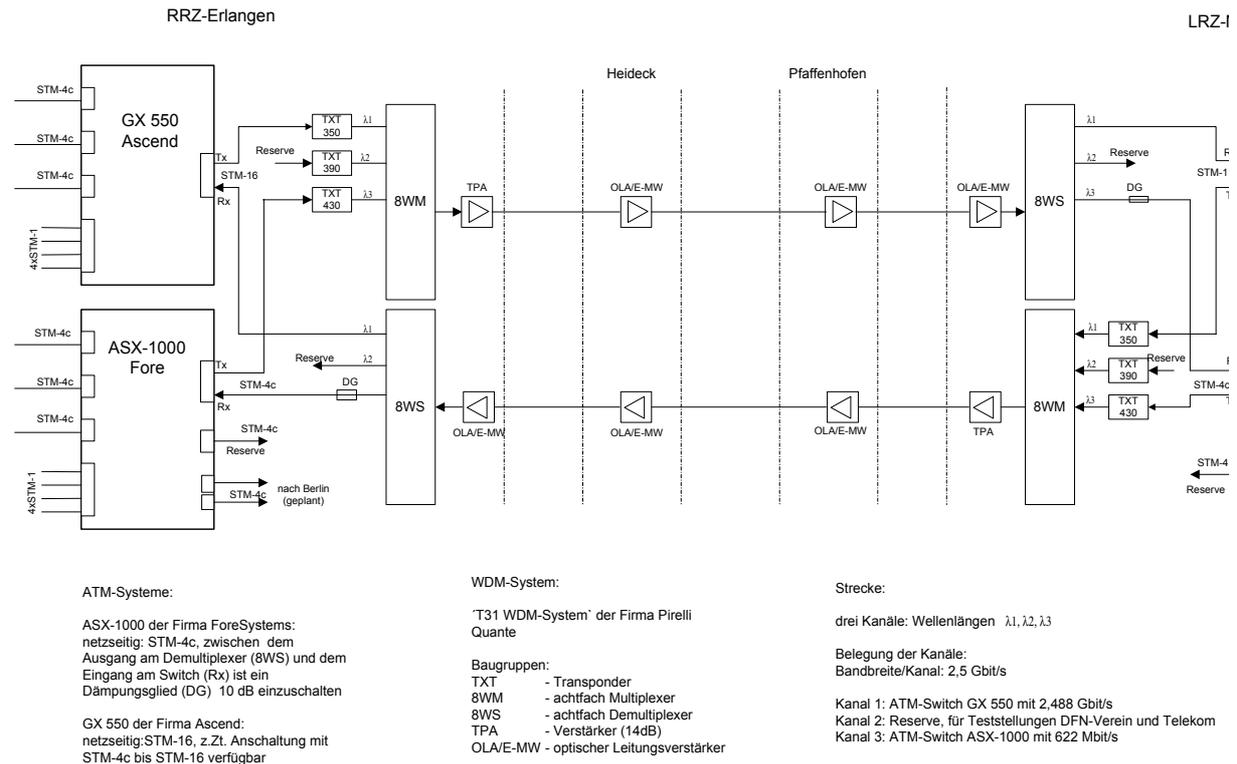


Bild 1: Gigabit-Testbed Süd, WDM-Strucke Erlangen -München

Autor:
 Datum
 Name:

Abb. 1 Komponenten des Streckenabschnitts München-Erlangen in Übersicht

Funktionale Tests bezüglich LAN-Emulation, Classical IP und Multicast PVCs verliefen erfolgreich.

Hohe Intensität wurde auf Performance-Untersuchungen (Durchsatz, Echtzeitverhalten) verwandt.

- Durchsatz

Da die verfügbaren Meßgeräte bzw. Endgeräte nicht über 2.5Gbps-Interfaces verfügten, mußten gleichzeitig mehrere unabhängige Datenströme geringerer Bandbreite erzeugt, als auch zu ‚Tricks‘, wie Schleifenbildung und optischen ‚Splittern‘ zur Vervielfachung des Datenstroms gegriffen werden. Mit einer Sun Ultra 60 konnten 400Mbps erzeugt werden. Insgesamt konnte auf diese Weise bei der Gesamtbandbreite von einem möglichen Wert von 2.48Gbps ein Wert von 2.39Gbps erreicht werden.

Interessant war, daß bei den Fore-Switches prinzipiell die gesamte Bandbreite für Übertragungen herangezogen werden konnte. Bei den Ascend-Switches traten Probleme auf, wenn über 95% der Bandbreite ausgenutzt wurden. Die verbleibenden 5% wurden offensichtlich für das interne Management benutzt.

- Echtzeitverhalten

Die wichtigen Meßgrößen sind Delay (ATM: Cell-Delay) und Jitter (ATM: Cell-Delay-Variation). Beide Größen wurden sowohl auf der Strecke Erlangen-München, als auch auf der Strecke Erlangen-Berlin bestimmt. Als Meßgerät diente ein ATM HP-Monitor. Als Jitter wurde der ungünstigste Fall, nämlich die Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen Wert des Cell-Delays einer Meßreihe herangezogen. Die Verteilung des Cell-Delays entspricht ansonsten der erwarteten Glockenkurve (s. Abb. 2).

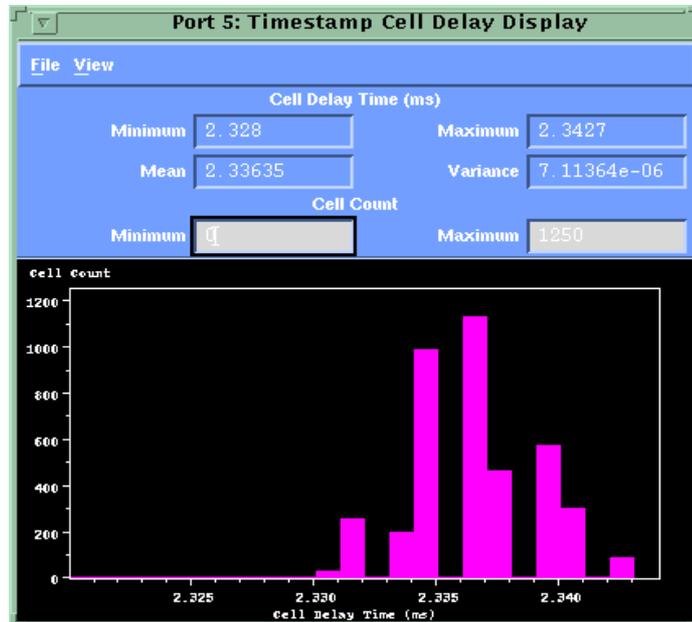


Abb. 2 Typische Verteilung des Cell-Delays, Meßwerte in Mikrosekunden

Die Untersuchungen erstreckten sich auf die Strecken München-Erlangen und Erlangen-Berlin. Sie folgten folgendem Schema: Der Verkehr wurde in Erlangen erzeugt und nach Erreichen eines Streckenabschnitts bzw. eines Switches wieder zurückgeroutet. Aus den Unterschieden zwischen dem hin- und zurücklaufenden Signal konnten die Meßwerte bestimmt werden. Die (Meß-)Strecken waren identisch aufgebaut und bestanden aus

- dem Meßgerät (Erlangen),
- einem Fore LE (Erlangen),
- einem Fore ASX4000 (Erlangen),
- einem Fore ASX4000 (München/Berlin),
- einem Fore LE (München/Berlin).

Die Messungen wurden immer auf zwei VCs mit stark unterschiedlicher Bandbreite (1Mbps, 150Mbps) durchgeführt, um einen möglichen Einfluß durch die Verkehrsbelastung zu überprüfen.

Die Ergebnisse sind aus den beiden folgenden Abbildungen zu ersehen. Abb. 3 zeigt die Anordnungen und Meßwerte für Messungen aus Hin- und Rücklauf.

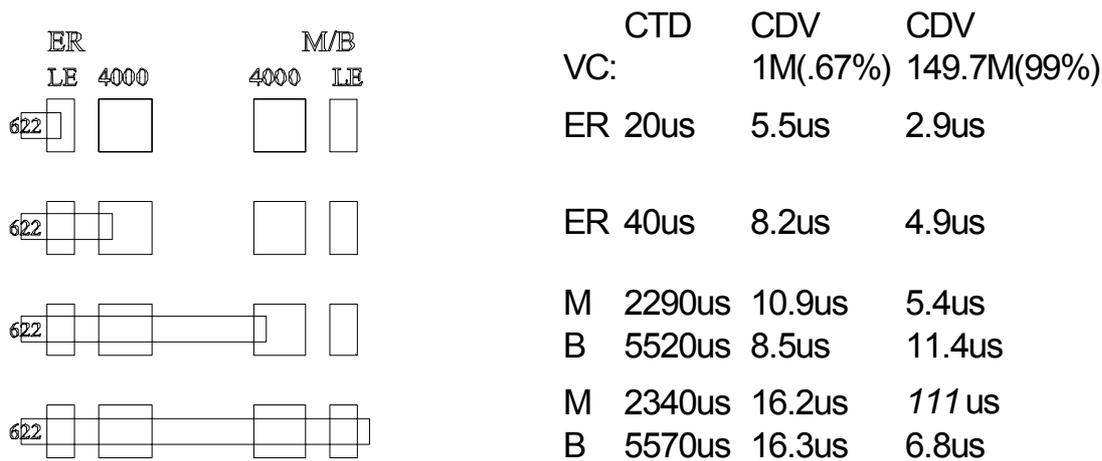


Abb. 3 Delay (CTD) / Jitter (CDV) -Messungen

Die Delay-Messungen zeigen, daß die Durchlaufzeiten der verwendeten Switches („Hop“) bei < 20 Mikrosekunden liegen. Die Laufzeiten auf den langen Strecken spiegeln im wesentlichen die Lichtgeschwindigkeit wieder. Bei der Berliner Strecke beläuft sich der Signalweg auf ca. 1000km. Der Jitter liegt bei < 3 Mikrosekunden je Hop. Aus dem Rahmen fällt lediglich die letzte Messung, nämlich durch alle Switches der Münchener Strecke. Angesichts der Systematik der Meßanordnung und der sonstigen Meßwerte kann es sich nur um einen Meßfehler bei der Einbeziehung des Münchener LE-Switches handeln. Aufgrund der hohen Komplexität der Messungen war eine spätere Wiederholung unmöglich.

Diese Messungen wurden ergänzt durch eine Messung mit einer 4fach-Schleife über die gesamte Entfernung (s. Abb. 4). Die durch die Testumgebung belegte Bandbreite betrug dabei 2.39Gbps.



Abb. 4 Delay (CTD) / Jitter (CDV) -Messungen auf einer künstlich verlängerten Strecke.

Bei dieser Konfiguration beträgt der Signalweg auf der Berliner Strecke ca. 4.000 km. Der Delay folgt wieder der Lichtgeschwindigkeit. Der Gesamt-Jitter erhöht sich nur marginal. Das heißt, daß der durch den ASX4000 induzierte Jitter selbst bei Vollausslastung des Interfaces mit 2.39Gbps deutlich unter 3 Mikrosekunden liegt.

Die Delay-Jitter-Werte lassen sich also sehr genau nach oben abschätzen und sind unabhängig von der Bandbreitenauslastung, sofern sie 99% nicht übersteigt. Bei genau 100% Bandbreitenauslastung treten, wie erwartet, Zellverluste auf, sobald sämtliche Puffer gefüllt sind. Bei der vorliegenden Messung war das nach ca. 10 Minuten der Fall.

1.3.2. Packet-over-Sonet (PoS)

Bei dieser Übertragungstechnik wird IP über eine SDH (Synchronous Data Hierarchy) geleitet. SDH kann als Vorgänger von ATM (Asynchronous Transfer Mode) betrachtet werden. Die für die Vermittlung zuständigen IP-Router müssen über SDH-Interfaces verfügen. SDH wird von den großen Telefongesellschaften als Träger ihrer Infrastruktur eingesetzt.

Obwohl im G-WiN die Router grundsätzlich über eine SDH-Infrastruktur miteinander verbunden werden, kann es an den Netzcändern durchaus vorkommen, daß lediglich dedizierte Fasern oder WDM-Strecken zur Verfügung stehen. Das Verhalten der Router in diesem Bereich sollte mit Hilfe der im GTB vorhandenen Infrastruktur, insbesondere der freien 'dritten' Wellenlänge getestet werden.

Es war vorgesehen, die Tests mit Berlin durchzuführen. Folgende Testkonfiguration war geplant: In Erlangen sollten zwei Router im Einsatz sein; Cisco Router 12016 auf der Sendeseite und Router 12012 als Empfänger. Dabei sollten die Router an das WDM System des Gigabit Testbeds angeschlossen werden, und zwar in der Richtung von Erlangen nach Berlin an den Transponder (elektrooptischer Wandler) TXT-500, und in der Rückrichtung von Berlin nach Erlangen an TXT-534. Die Verbindung zum WDM-System sollte an den OC-48 Interfaces der Router erfolgen.

Zunächst (am 9.5.2000) ergab sich folgendes Problem: Die Routerinterfaces lieferten Dämpfungswerte von -6.4dB bis -6.3dB am 12016 und -8.1dB bis -8.0dB am 12012. Das WDM System T31 von Pirelli arbeitet allerdings in einem Dämpfungsbereich von +2dB bis -5dB. Sind die Pegel niedriger als -5dB (wie bei den im Test eingesetzten Routern), so schaltet sich der Laser am WDM nicht ein.

Laut Cisco Spezifikationen müssten die Interfaces der Router allerdings einen Pegel von -10dB bis -3dB (Transmitter) und von -18dB bis 0dB (Receiver) (bei bis zu 2km range) aufweisen, bzw. bei bis zu 60 km range in einem Bereich von -2dB bis 3dB (Transmitter) und -28dB bis -9dB (Receiver) liegen.

Dadurch ergab sich die Annahme, daß durch die Reinigung der betroffenen Interfaces evtl. ein Dämpfungswert erreicht werden könne, der innerhalb des Bereiches liegt, der vom WDM System verarbeitet werden kann.

Ein weiteres Problem war die geplante Schleifenbildung in Berlin, da es Auswirkungen haben kann, wo genau am WDM System in Berlin die Hardwareschleife gesteckt wird: Wird zunächst am Transponder elektrooptisch gewandelt und dann auf den zweiten Transponder geschleift, so entstehen neue Pegelunterschiede, da auch die Transponderwerte (innerhalb der Grenzen) unterschiedliche Pegelwerte aufweisen. D.h. das Pegelproblem der Dämpfung kann sich auch an der Schleife ergeben. Es sollte daher versucht werden, bereits vor der elektrooptische Wandlung über die TXT die Schleife direkt am Multiplexer über Kreuz zu verkabeln, um damit nur optisch zu schleifen und eine direkte optische Verbindung zu haben.

Allerdings sind laut Hersteller (Pirelli) der WDM-Systeme die Geräte grundsätzlich nicht schleifenfähig, also auch bezüglich ihrer Spezifikation nicht auf Schleifen eingerichtet. Auch das Hinzunehmen einer aktiven Komponente in Berlin (als Schleife über einen Router hinweg) kam nicht als Lösung des Problems der Dämpfungsbereiche in Betracht, sondern hätte nur eine weitere Quelle für Dämpfungsprobleme und Einstellungen auf Berliner Seite ergeben.

Nachdem auch ein Reinigen der betroffenen Interfaces, um evtl. bessere Dämpfungspegelwerte zu erhalten, keinen Erfolg brachte (ein Reinigungsversuch am Interface mit -6.3dB Dämpfung konnte die Messwerte nur minimal beeinflussen (statt -6.3dB nun -6.1dB)), blieb nur noch zu überlegen, ob eventuell ein externer Leistungsverstärker angeschlossen werden könnte, der den schwachen Pegel der Laserdiode am OC-48 Interface der Router verstärkt.

Diese Verstärkung müsste jedoch auch in kleinen Stufen regelbar sein, damit das verstärkte Endsignal auf jeden Fall in den vom WDM System geforderten Dämpfungsbereich fällt. Die Firmen Mesomatic und Tekelec Airtroic wurden um Informationsmaterial bezüglich externer Leistungsverstärker gebeten, konnten aber kein geeignetes Produkt vorweisen.

Fazit:

Die Werte (Dämpfungswerte) an den OC-48 Interfaces lagen durchaus im vom Hersteller angegebenen Bereich, nur nicht an der oberen Grenze in einem vom WDM System geforderten Bereich. Es war daher trotz aller dieser Bemühungen nicht möglich, aufgrund der unterschiedlichen Spezifikationen der Geräte einen Anschluß von diesen Routern an dieses WDM-System durchzuführen.

1.3.3. Gigabit-Ethernet (GE)

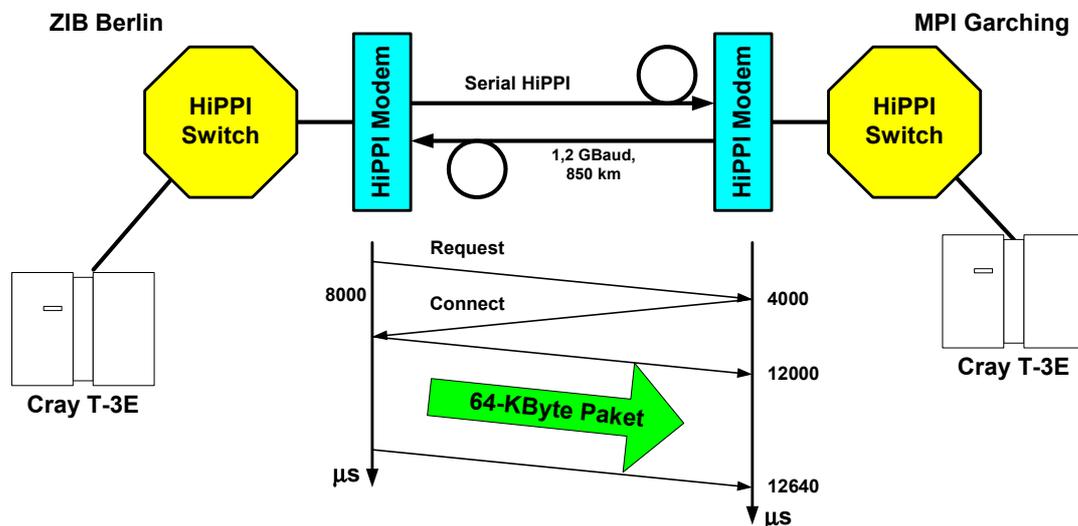
Gigabit-Ethernet (1Gbps) hat, im Gegensatz zu Ethernet (10Mbps) und Fast Ethernet (100Mbps) hat Eigenschaften, die nicht unbedingt auf einen ausschließlichen Einsatz in Lokalen Netzen hindeuten. Insbesondere fehlt das Performance-hemmende gemeinsame Medium mit seinen Kollisionsmechanismen. Deswegen ist Gigabit-Ethernet auch zum Einsatz im Fernbereich interessant.

Wie bei PoS war das Untersuchungsziel, ob und inwieweit Router/Switches mit GE-Interfaces über eine Entfernung von einigen 100km erfolgreich miteinander verbunden werden können. Ähnlich bei PoS lag das Hauptproblem bei den Pegelinstellungen der beteiligten Geräte und den Dämpfungen auf der Strecke. Bei den Untersuchungen stellte sich heraus, daß nach zahllosen Optimierungen und Einstellungen tatsächlich eine Verbindung hergestellt werden konnte. Aufgrund des nicht besonders deterministischen Verhaltens der beteiligten Komponenten kann der Erfolg aber nicht als repräsentativ und die Technik nicht als regulär betrachtet werden.

2. HiPPI-Konnektivität

Die Anwendungsprojekte I.5, I.6 und I.7 setzen eine schnelle Verbindung zwischen den Hochleistungsrechnern in Berlin (Cray T3E, ZIB), in Garching (Cray T3E, MPI) und München (VPP, LRZ) voraus, um homogenes und heterogenes Metacomputing zu realisieren. Im Projektantrag war angedacht, einen WDM-Kanal zu reservieren um HiPPI transparent zwischen den einzelnen Standorten zu übertragen. Dieser Lösungsansatz war unterschiedlich zum GTB West, wo die Anbindung der Hochleistungsrechner über ein HiPPI-ATM Gateway auf der Basis einer Sun-Workstation realisiert werden mußte, da auf der WAN-Strecke keine transparenten Kanäle (nur SDH-Verbindung, kein Einsatz von WDM) zur Verfügung standen.

Im Rahmen des Technologieprojektes sollte die netztechnischen Grundlagen geprüft und eine technische Lösung für diese Anwendungsprojekte erarbeitet werden. Bei der Projektidee wurden leider die betreffenden HiPPI-Spezifikationen zu ungenau studiert. Auch die beteiligten Firmen (SGI, Essential, Storage Tek) hatten nicht auf eine entscheidende Tatsache hingewiesen, dass im zuständigen RFC 2067 (IP over HiPPI) die pro HiPPI-Verbindung ("connection") maximal zu übertragende Datenmenge auf ca. 64 Kbyte beschränkt ist (RFC 2067, Punkt 5.4). Dies resultiert daher, daß HiPPI ein verbindungsorientiertes Protokoll darstellt, die Fairness des Zugriffs auf das Medium jedoch gewahrt werden soll. Aufgrund dieser Tatsache und der Länge der zu überbrückenden Strecke (München-Berlin ca. 800 km), wird dadurch der maximale Datendurchsatz bei transparenter IP-HiPPI-Übertragung auf ca. 40 Mbit/s beschränkt.



Diese maximalen Durchsatzzahlen über IP-HiPPI sind im Rahmen der Anwendungsprojekte um eine ganze Größenordnung zu klein, so daß dieser Ansatz leider fallengelassen werden mußte. Statt dessen wurde im Rahmen dieser Anwendungsprojekte auf eine HiPPI-ATM Gateway-Lösung wie auch im GTB-West zurückgegriffen. Eine genaue Dokumentation zu Messungen und Aktivitäten findet sich im Kapitel 2 des Abschlußberichtes zum Projekt „Metacomputing im Gigabit-Testbed Süd und Berlin“ (<http://webdoc.sub.gwdg.de/ebook/ah/dfn/GTBSB-Metacomputing.pdf>).

3. Wellenlängen-Multiplex-Systeme für den Metro-Bereich

Zur Trennung zwischen Produktionsnetz (Basis Gigabit Ethernet) und Gigabit-Testbed-Netz (ATM) wurden im Münchner Stadtbereich Wellenlängen-Multiplex-Systeme (WDM) eingesetzt. Im städtischen Bereich sind normalerweise keine langen Distanzen (< 50 km) zu überbrücken, es wird i.d.R. auch nicht auch ITU-konforme Geräte Wert gelegt, sodass sich hier in den letzten Jahren ein spezielles Marktsegment aufgetan hat. Folgende Anforderungen wurden an die einzusetzenden Systeme gestellt

- Modularer Aufbau mit mindestens 4 Kanälen
- Transparente Kanäle mit einer maximalen Geschwindigkeit von 1.2 Gbit/s (keine Fixierung auf die benutzte Übertragungstechnik)
- Integration von mehreren S_{2M} -Kanälen zum Anschluß abgesetzter TK-Anlagen

In einer ersten Diskussionsrunde zu Beginn des Projektes (1999) war der Markt an WDM-Systemen noch überschaubar. Nur ADVA, Fibermatics und CBL (Communication by Light) boten zu dieser Zeit Systeme am Markt an, wobei lediglich ADVA die obigen Kriterien erfüllen konnte. Entsprechende Geräte (ADVA, OCM4) waren im Bereich des Münchner Wissenschaftsnetzes (MWN) bereits erfolgreich im Einsatz. Sie sind speziell auf den MAN-Einsatzbereich konzipiert und können transparent Fast-Ethernet, FDDI, ATM OC3, ATM OC12, HiPPI und Gigabit-Ethernet übertragen. Es wurden zu dieser Zeit 4- und 8-Kanalsysteme angeboten, pro Kanal wird eine maximale Bandbreite von 1,2 Gbit/s unterstützt. Die Erfahrungen mit dieser Technologie im MAN-Bereich sind sehr positiv. Auf Bitten der anderen Gigabit-Testbed Betreiber wurde in Gesprächen mit dem Hersteller eine generelle Regelung bezüglich der Konditionen erwirkt. Die vom LRZ ausgehandelten Konditionen für diese Produkte gelten für alle GTB-Standorte im DFN (Süd/Berlin und West).

Bei ADVA befinden sich Systeme (FSP-1 und FSP 2) in der Entwicklung, die die Kritikpunkte an der bestehenden Produktlinie beseitigen sollen

- Management per SNMP
- Unterstützung von bis zu 16 bzw. 32 Kanälen
- Transparente Kanäle von bis zu 2,4 Gbit/s

Erste Tests mit dem Nachfolgermodell FSP-1 waren sehr erfolgversprechend.

Die Auswahl der im MAN-Bereich eingesetzten WDM-Komponenten wurde dann im Rahmen eines Beschaffungsprojektes für die Fachhochschule München (Anschluß von 5 Außenstellen) im Jahre 2000 nochmals evaluiert. Zur Diskussion standen wiederum Komponenten von PanDatel (ehem. Fibermatics), CBL (Communication by Light) sowie ADVA. Die Anforderungen an die Komponenten hatten sich aufgrund der gewonnenen Betriebserfahrungen nicht wesentlich geändert, es wurde lediglich auf die Verfügbarkeit eines Managementinterfaces Wert gelegt, mit der sich diese Komponenten in ein zentrales SNMP-basiertes Management eingliedern lassen.

Lediglich die von ADVA angebotenen Geräte FSP-1 erfüllten alle Anforderungen und waren sofort verfügbar. Darüber hinaus besteht hier die Möglichkeit der

- Unterstützung von bis zu 16 bzw. 32 Kanälen
- Transparente Kanäle von bis zu 2,4 Gbit/s (zukünftig)

Seit März 2000 sind die Geräte im praktischen Einsatz, es traten keine Probleme im Betrieb auf. Lediglich die verwendeten Steckertypen auf der Remote-Seite (Mini-SC APC) bereiten Probleme, da entsprechende Patchkabel nur von einem Lieferanten verfügbar sind (lange Lieferzeiten). Durch eine Kooperation mit der Fa. Cisco werden diese Geräte mittlerweile auch über die Cisco-Vertriebskanäle unter dem Namen Cisco Metro 1500 vertrieben.

Abschliessend kann festgehalten werden, dass sich der Markt weiter verbreitert hat. Es sind mittlerweile weitere Hersteller hinzugekommen (LastMile, ONI, u.a.), transparente Kanäle mit 2,4 Gbit/s in denen herstellerspezifisch per TDM zwei 1,2 Gbit/s Datensignale (Gigabit-Ethernet und FiberChannel) gemultiplext werden, sind bereits verfügbar. Die nächste Generation an Kanalkarten mit 10Gbit/s sind auch für diese Geräteklasse angekündigt.

4. Codec Tests

Im Rahmen des Gigabit-Testbed Süd/Berlin wurden in vielen Teilprojekten Codecs zur Übertragung von Audio/Videosignalen zwischen den Projektpartnern benötigt. Zum Zeitpunkt des Projektstarts waren nur Geräte mit einer ATM-Schnittstelle verfügbar, die zur Übertragung notwendige Dienstgüte konnte nur von ATM – Netzen erfüllt werden. Der Entwicklung neuer und teilweise kostengünstiger Geräte, aber auch der Bereich IP-Codecs (Übertragung über klassische Netztypen) wurde im Rahmen des Technologieprojektes Rechnung getragen. Während in Erlangen mehr der Focus auf (high-Quality) ATM-Codecs gelegt wurde, beschäftigte sich München ausschliesslich mit dem Marktsegment der sich entwickelnden IP-Codecs.

4.1. Test von ATM/IP-Codecs in Erlangen

Verschiedene Codecs für ATM sowie IP Netze wurden auf ihre Funktionalitäten, Einsatzmöglichkeiten und Komprimierungsqualitäten (insbesondere Verzögerung und Bildqualität) untersucht. Es zeigte sich zunächst als sehr schwierig, überhaupt IP Codecs für Tests ins Haus zu bekommen, da geeignete Geräte erst seit den letzten Monaten auf dem Markt verfügbar sind. Viele Anstrengungen, Firmen zu kontaktieren, blieben erfolglos.

Der offensichtlichste Einfluß der Codecs (und des Netzes) ist die Latency, d.h. die Verzögerung bis zur Wiedergabe des Bildstromes auf der Gegenseite. Deswegen wurden Geräte mit bekannter (zu hoher) Latency, d.h. fast alle IP-basierten Codecs, nicht weiter untersucht.

Folgende Hersteller-/Gerätetypen standen zur Auswahl:

- **GDC (General Datacomm)**
Produkt: MAC500 Interactives Videosystem
Teststellung der ATM Schnittstelle für MPEG-2 (4:2:0) Q4/2000
Teststellung der IP Schnittstelle für MPEG-2 (4:2:0) Q1/2001
- **Litton**
ein Leihgerät von Terena stand ab KW 45 zur Verfügung (Testgeräte von Litton/USA waren nur mit Kaufzwang erhältlich); ein weiteres Gerät ab KW 49 2000. Die Geräte waren mit ATM und IP Schnittstellen ausgestattet; Litton/USA stellte eine Testsoftware zur Verfügung. Die Geräte wurden auch mit TERE-NA/Amsterdam in einer Videokonferenz getestet.
- **PixStream (künftig Cisco)**
eintägige Teststellung in KW 45 mit technischer Unterstützung, Beschaffung nicht genehmigt
- **Optivision/Videor**
VT-Netlink VT NetClient: Präsentation am 16.05.00 zu große Latenzzeit (lt Firma eine Latency von 0.7-1sec, lt LRZ-Messung von 0.5-2sec); die Fa. vertreibt dieses Gerät z. Zt. nicht mehr. Die Entwicklung eines Low-Latency-Geräts (typisch 0.2sec) wurde am 16.5.00 angekündigt, mittlerweile aber eingestellt.
- **Optibase (MPEG-2 Codec für IP und ATM)**
Standalone Version mit zu hoher Latency
- **Vtel**
ISDN/IP Codec; Vorführung am 26.07.00
keine Standalone Version, nur PC-Karte
- **VBrick2 ATM und IP**
IP codec; lieferten bisher nur MPEG-1/CIF Bilder; ab April 2001 voraussichtliche Teststellung für ATM und IP

Die Testergebnisse sind in einem gesonderten Bericht verfügbar (s. Anhang).

Ein Teil der Testergebnisse (Litton Codecs) wird in einem Beitrag auf der EUNIS 2001 Konferenz in Berlin (27.3.-30.3.2001) vorgestellt (s. Veröffentlichungen und Anhang). Darüber hinaus werden weitere Ergebnisse auf der 15. DFN-Arbeitstagung über Kommunikationsnetze (6.-8. Juni 2001 in Düsseldorf) vorgestellt werden.

Die Aussagekraft der Untersuchungen muß allerdings in engen Grenzen gesehen werden. Aufgrund der hohen Kosten der Geräte stand in der Regel immer nur ein Gerätepaar leihweise und das nur für kurze zu den Tests zur

Verfügung. Kompatibilitätstests zwischen unterschiedlichen Geräten waren so nicht möglich. Das Problem wurde zwar erkannt, der Kauf wenigstens eines IP-Codec-Paares (Pixstream), das dann immer zu Gegen-Tests zur Verfügung gestanden wäre, scheiterte, da das Projekt schon zu weit fortgeschritten war.

Ähnliche Untersuchungen an anderer Stelle führen nämlich zu einem ernüchternden Ergebnis. Auf <http://www.networkcomputing.com> finden sich Artikel zum Thema IP-Video-Codecs.

Is_it_live.pdf <http://www.networkcomputing.com/1214/1214f1.html>

Picture_Perfect_Video <http://www.networkcomputing.com/1214/1214f2.html>

Ein Zitat aus dem 2. Artikel lautet :

"Although the vendors use standards for encoding and compression, there are differences in how the data is encapsulated and transmitted over Ethernet frames. For this reason, the encoders and decoders are not interoperable."

4.2. Test von IP-Codecs in München

In Hochschulnetzen werden zunehmend qualitativ hochwertige Übertragungen von Vorlesungen und hochschul-internen Veranstaltungen zwischen unterschiedlichen Standorten (auch hochschulübergreifend) realisiert. Bei dieser Art von Übertragungen müssen Rückfragen bidirektional möglich sein. Gerade für Rückfragen ist eine geringe Verzögerungszeit (< 300 msec) wichtig. Bei Übertragungen im medizinischen Bereich werden teilweise höchste Anforderungen an die Bildqualität gestellt.

Hochwertige Video/Audio Ströme werden bisher in Netzwerken meist über ATM (Asynchronous Transfer Mode) Strecken übertragen. Gegenüber herkömmlichen Netzwerktechniken wie z.B. Ethernet bietet ATM den Vorteil, dass es die Dienstgüte der Übertragung garantieren kann (QoS) und die benötigten Ressourcen für die Übertragung reserviert werden. Es können deshalb die Daten mit kleiner Verzögerungszeit und ohne Verlust übertragen werden. Nur bei der Codierung der Videobilder kann es zu Verlusten kommen. Bei der Kodierung wird meist Motion-JPEG oder MPEG-2 (Moving Pictures Experts Group) verwendet. Bisher wurden am LRZ zur Videoübertragung ATM K-Net Cell Stack Video Codecs eingesetzt.

Das Backbone des MWN ist auf der Basis von IP/Ethernet realisiert. Vom Aufwand betrachtet erscheint eine Lösung, die sich in dieses Umfeld eingliedert, wesentlich optimaler geeignet zu sein, als eine auf der Basis von ATM realisierte Umsetzung. Hierzu bedarf es einer parallelen Infrastruktur, die zusätzlich installiert, gepflegt und gewartet werden müsste.

Die Übermittlung von Videobildern über IP/UDP hat bisher den Nachteil, dass keine Dienstgüte garantiert werden kann. Man hofft, dass genügend Bandbreite zur Verfügung steht und keine Pakete verloren gehen. Mit Gigabit-Ethernet (GE) können theoretisch 1000 Mbit/s übertragen werden. Neue Netzwerkkomponenten erkennen bereits den Typ der Übermittlung (802.1p, Type of Service Field) und könnten Echtzeitanwendungen entsprechend höher priorisieren. Leider wird das Type of Service (TOS) Field bisher noch kaum von der Software unterstützt. Im Gegensatz zu ATM (QoS) spricht man bei IP Übertragung von CoS, also Class of Service. Es kann keine Qualitätsgarantie gegeben werden, sondern es werden nur verschiedene Dienste unterschieden und können entsprechend priorisiert werden. Als Kodierungsverfahren wird bei der IP/UDP Übertragung MPEG-1 oder MPEG-2 verwendet.

Am LRZ wurden bis dato drei Geräte ausführlich getestet. Dies waren Geräte von Amnis (früher Optivision), Netlink und Miranda (früher GDC). Ein Gerät der Fa. Pixstream wurde nur kurz im LRZ vorgeführt, die Geräte von Litton und Minerva wurden nicht getestet. Zum Januar 2001 hat unsere Anforderungen nur der MAC 500 von Miranda (damals noch GDC) erfüllt. Im Rahmen eines Piloteinsatzes im MWN wurde daher ein Codec-Paar dieser Marke für das LRZ beschafft und hat seine Tauglichkeit auch im Praxisbetrieb gezeigt. Inzwischen (Stand Oktober 2001) liefert auch das Gerät von Amnis ähnliche Leistungen, so dass es für vergleichbare Szenarien ebenfalls eingesetzt werden könnte

Fazit der Tests:

Es ist kein subjektiver Unterschied mehr zwischen ATM-fähigen Codecs (Knets oder Fore) und IP-Codecs festzustellen. Bei geeigneten Netzinfrastrukturen im lokalen Bereich (Gigabit-Ethernet Backbones, geschwichtete 100 Mbit/s Ethernet LANs) stellt diese Technik somit eine betriebliche Alternative zu ATM-Codecs dar.

Für hochwertige Videoübertragungen sind die Geräte von Miranda und Amnis gleichermaßen geeignet. Für Miranda sprechen die sehr geringe Verzögerungszeit und Leistungsfähigkeit, jedoch ist die Zukunft und Weiterentwicklung nach dem Verkauf der Videosparte von GDC an Miranda ungewiss. Für Amnis sprechen der etwas geringere Preis und die zusätzlichen Features (Kamarafernsteuerung, Multicastfähigkeit, Verwaltungssoftware).

Ausführliche Testergebnisse dieser Produktklasse finden sich unter
<http://www.lrz-muenchen.de/projekte/ip-codecs>

Diese Ergebnisse werden bei Verfügbarkeit neuer Produkte fortgeschrieben.

Anhang

Die Testergebnisse der Codec-Tests in Erlangen sind unter

- Codec Behaviour - Eunis in: EUNIS2001-Codecs.pdf
- Codec Tests ausführlich in: Codecs-Erlangen.pdf

verfügbar.