

Multimediale Anwendungen in globalen ATM-Netzen

Reinhold Eberhardt, Christian Rueß, Rolf Sigle
Daimler-Benz AG
Forschung und Technik
Postfach 2360
89013 Ulm
{eberhardt, ruess, sigle}@dbag.ulm.DaimlerBenz.COM

Zusammenfassung

Die Daimler-Benz Forschung und das International Computer Science Institute (ICSI) nehmen am ersten interkontinentalen „Asynchroner Transfer Mode“ (ATM) Feldtest teil. Dieser Tagungsbericht gibt erste Erfahrungen mit multimedialen Anwendungen in globalen ATM-Netzen wieder. Insbesondere werden verschiedene Anwendungsszenarien und Ergebnisse von Performancemessungen diskutiert.

1 Einleitung

Auf den weltweiten Wettbewerb reagieren Unternehmen heute mit weltweitem Vertrieb, Produktion, Forschung und Entwicklung. Das damit institutionalisierte weltweit vernetzte Arbeiten erfordert neue Formen der Zusammenarbeit. Die Daimler-Benz Forschung erarbeitet hierfür einen ganzheitlichen Lösungsansatz mit den Elementen Computer Supported Cooperative Work, Concurrent Engineering und High Performance Communications. Dieser ganzheitliche Lösungsansatz benötigt i.a. eine flexiblere Netzinfrastruktur und höhere Bandbreite als in heutigen Corporate Networks üblich. Deshalb beteiligt sich Daimler-Benz am ersten interkontinentalen ATM-Feldtest. Die hierfür notwendige Infrastruktur wird durch das Projekt „Multimedia Applications on Intercontinental Highways“ (MAY) bereitgestellt. Das Projekt MAY wurde von DeTeBerkom, einer Gesellschaft für Forschung und Entwicklung von Anwendungen, Diensten und Endsystemen für die Telekommunikation und Tochterfirma der Deutschen Telekom, initiiert. Als Netzbetreiber nehmen die Deutsche Telekom, Sprint, GlobalOne und Teleglobe an diesem Pilotprojekt teil. Die durch die Netzbetreiber bereitgestellte Verbindung wird durch Firmen und Forschungseinrichtungen für Tests von Anwendungen und Kommunikationsprotokollen genutzt. Bei Daimler-Benz werden in Zusammenarbeit mit dem ICSI prototypisch Entwicklungsabläufe für weltweite Zusammenarbeit untersucht.

In diesem Tagungsbeitrag werden die im ersten Projektabschnitt gemachten Erfahrungen diskutiert. Aus Anwendersicht waren zunächst die drei Schwerpunkte „ATM-Infrastruktur im internationalen Weitverkehrsbereich“, „trans-

parente Nutzung bestehender Applikationen“ und eine grobe Abschätzung der „Leistungsfähigkeit eines transatlantischen ATM-Netzes“ von Bedeutung. Deshalb ist dieser Beitrag folgendermaßen unterteilt: Abschnitt 2 gibt einen Überblick über die MAY-Netzinfrastruktur, in Abschnitt 3 werden die Anwendungsszenarien und -erfahrungen beschrieben. Die Ergebnisse und Bewertung von Performancemessungen sind in Abschnitt 4 dargestellt, Abschnitt 5 gibt einen Ausblick über zukünftige Arbeiten.

2 MAY-Netzinfrastruktur

Die neuartige Netztechnologie ATM ermöglicht erstmalig durchgängige Hochgeschwindigkeitskommunikation in lokalen und in Weitverkehrsnetzen. Im Gegensatz zur heutigen Situation, in der unterschiedliche Dienste und unterschiedliche Netzstrukturen eingesetzt werden, bildet ATM für alle Arten von Anwendungen ein ideales Trägermedium. Dies gilt sowohl für den privaten, als auch für den öffentlichen Sektor genauso wie für Sprach- und Datenübertragung. Diese Universalität von ATM bildet eine ideale Ausgangsbasis für multimediale Anwendungen.

Das interkontinentale ATM-Netzwerk für das MAY-Projekt wird von der Deutschen Telekom, Sprint, GlobalOne und Teleglobe zur Verfügung gestellt. Die Verbindung zwischen dem ICSI in Berkeley und Daimler-Benz in Ulm setzt sich aus vielen einzelnen Verbindungen der unterschiedlichen Diensteanbieter zusammen (Abbildung 1).

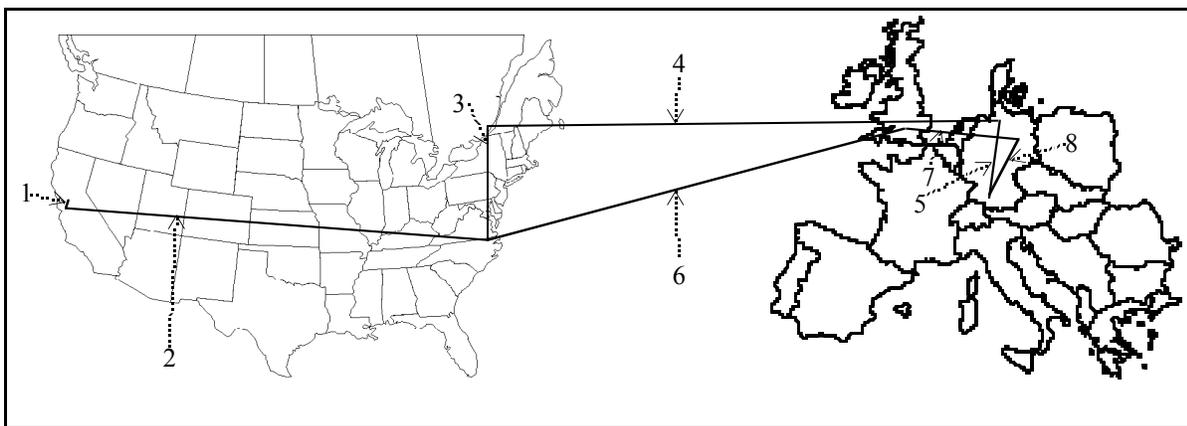


Abbildung 1: ATM-Verbindung zwischen ICSI (Berkeley/USA) und Ulm

Die Teilverbindungen mit den zugehörigen Diensteanbietern und maximaler Bandbreite sind in Tabelle 1 dargestellt.

Verbindungsnummer	von	nach	Diensteanbieter	max. Bandbreite [Mbit/s]
1	ICSI (Berkeley)	Burlingame	Pacific Bell	155 (Sonet OC3)
2	Burlingame	Reston	Sprint	45 (DS3)
3	Reston	Montreal	GlobalOne	45 (DS3)
4	Montreal	Hamburg	Teleglobe	155 (Sonet OC3)
5	Hamburg	Ulm	Deutsche Telekom	155 (SDH STM1)
6	Reston	London	GlobalOne	2 (E1)
7	London	Berlin	Deutsche Telekom	2 (E1)
8	Berlin	Ulm	Deutsche Telekom	155 (SDH STM1)

Tabelle 1: ATM Verbindungen zwischen Berkeley und Ulm

Da in ATM-Weitverkehrsnetzen bisher noch keine Signalisierung eingeführt wurde, stehen für Versuche lediglich permanente virtuelle Verbindungen (PVC) zur Verfügung. Die Workstations bei Daimler-Benz in Ulm sowie am ICSI sind über lokale ATM-Vermittlungsknoten direkt an diese interkontinentalen Verbindungen angeschlossen.

Für den Aufbau einer Ende-zu-Ende ATM-Verbindung zwischen Daimler-Benz Ulm und dem ICSI in Berkeley sind zwischen Berkeley und Hamburg bzw. Berlin eine begrenzte Anzahl von PVCs dauerhaft geschaltet. Für die Verbindung zwischen Hamburg bzw. Berlin und Ulm müssen für Tests PVCs beim Netzmanagementzentrum der Deutschen Telekom in Köln beantragt werden. Da bei diesem Szenario neben den lokalen Systemadministratoren noch weitere fünf Netzbetreiber beteiligt sind, ist die Lokalisierung von Fehlern (Konfigurationsfehler, Hardwareprobleme etc.) sehr zeitaufwendig. Die Zeitverschiebung von 6 bis 9 Stunden zwischen Deutschland und den USA führt hierbei zu weiteren Problemen.

Um die Wiederverwendbarkeit bestehender Software zu unterstützen wurden zunächst Classical IP over ATM (CLIP) [RFC1483, RFC1577] und LAN-Emulation Version 1.0 als Protokolle oberhalb der ATM Adaptionsschicht 5 (AAL5) standardisiert. Da zum Startzeitpunkt des MAY-Projekts keine Produkte für LAN-Emulation zur Verfügung standen und außerdem das „Interim Inter-Switch Signalling Protocol“ (IISP) aufgrund fehlender Ende-zu-Ende virtueller Pfade nicht verwendet werden konnte, wurden in den Versuchen nur CLIP PVCs verwendet.

Aus Sicht des Endanwenders sind noch zusätzliche Leistungsmerkmale wünschenswert:

- Möglichkeiten zur Überwachung von Verbindungen und Verbindungsreservierungen.
- Ende zu Ende virtuelle Pfade - Voraussetzung für die Nutzung von IISP (PNNI Phase 0).

- Unterstützung von Verkehrsströme mit variabler Bitrate.
- Signalisierung in Weitverkehrsnetzen, d.h. Ende-zu-Ende SVCs (switched virtual circuits).

Die Kosten für den Aufbau einer lokalen ATM-Netzinfrastruktur, der Anschluß an ein ATM-Weitverkehrsnetz und die laufenden fixen und variablen monatlichen Kosten sind sehr hoch.

3 Anwendungen

Für eine interkontinentale Zusammenarbeit von Gruppen müssen verschiedenste Werkzeuge bereitgestellt werden. Diese Werkzeuge haben abhängig von der Aufgabe unterschiedliches Gewicht. Beispielsweise ist bei der Konstruktion von Fahrzeugteilen eine Audioverbindung mit hoher Qualität wesentlich wichtiger als eine hochqualitative Videoverbindung. Werkzeuge wie Videokonferenzsysteme und Werkzeuge, welche die gemeinsame Benutzung von Anwendungen (application sharing) ermöglichen, werden in allen Aufgabenbereichen benötigt. Da das primäre Anwendungsumfeld die weltweite Konstruktion und das Design von Fahrzeugen ist, werden nur Workstation-basierte Lösungen untersucht. Insbesondere generieren diese Anwendungen Daten, die über die bestehende Kommunikationsinfrastruktur wegen zu geringer Bandbreite und fehlender Dienstgüte nicht übertragen werden können. Da in den Versuchen eine ATM-Infrastruktur mit den in Abschnitt 2 beschriebenen Beschränkungen verwendet wird, wurden lediglich IP-basierte Produkte betrachtet. Die in der ATM-Technologie vorhandene Garantie von Dienstgüteparametern kann aufgrund der verwendeten Protokolle bisher nicht ausgenutzt werden.

3.1 Videokonferenz

Videokonferenzen werden in den unterschiedlichsten Anwendungsszenarien benötigt. Diese reichen von Rücksprachen zwischen Monteur und Konstrukteur, über fachliche Diskussionen zwischen zwei an dem selben Projekt arbeitenden Entwicklern hin zu Besprechungen mehrerer Manager. Neben Audio und Video kommen sogenannte „Whiteboard“-Werkzeuge zum Einsatz, die als gemeinsam benutzbare Notizzettel dienen und teilweise über Importmöglichkeiten (z.B. Postscriptdokumente) verfügen. Die Anforderungen an die Qualität der Audio- und Videoverbindung ist hoch, da bei diesen Szenarien die Telekommunikation als Ersatz für Besprechungen dient.

Die Vielfalt von Werkzeugen für diese Anwendungen ist sehr groß. Aufgrund fehlender Standardisierung sind diese jedoch untereinander und mit ISDN-basierten Produkten noch nicht interoperabel. Als kostengünstige Möglichkeit können die für den Multicast-Backbone des Internets (MBone [kumar]) entwickelten Werkzeuge [MBoneApps] verwendet werden. Es stehen mehrere „Public

Domain“ Audio-, Video- und Whiteboard-Werkzeuge für unterschiedliche Rechner- und Betriebssystemplattformen zur Verfügung. Bei unseren Tests zeichneten sich insbesondere die am Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) entwickelten Werkzeuge vat [vat], vic [vic] und wb [wb] durch problemlose Installation und große Verfügbarkeit auf vielen Plattformen aus. Diese Werkzeuge verfügen über einen großen Funktionsumfang, haben jedoch alle unterschiedliche Bedienschnittstellen. Dadurch sind sie für den Einsatz in den meisten betrachteten Szenarien nur bedingt geeignet. Durch das an der Universität Hannover entwickelte Konferenzsteuerungswerkzeug „Confman“ [conf] wird das Starten einer Konferenz erheblich vereinfacht.

Im Gegensatz zu den MBone-Werkzeugen stehen kaufbare Produkte unterschiedlicher Hersteller. Dabei handelt es sich um integrierte Werkzeuge mit einheitlicher Bedienschnittstelle. Die meisten dieser Werkzeuge sind jedoch nur für einzelne Hardwareplattformen und Betriebssysteme verfügbar.

3.2 Gemeinsame Dokumentenbearbeitung

Speziell in den technischen Bereichen ist zusätzlich zur Sprach- und Bildübertragung das gemeinsame Betrachten und Bearbeiten von Dokumenten von besonderer Bedeutung. Im Vergleich zur Videokonferenz sinken bei dieser Anwendung die Anforderungen an das Video. Beobachtungen von Anwendern haben gezeigt, daß in den meisten Fällen Video nur während der Begrüßungsphase wichtig ist. Sobald die Diskussion über das weitere Vorgehen abgeschlossen ist, kann im allgemeinen auf Video im weiteren Verlauf der Konferenz verzichtet werden. Im Gegensatz dazu ist die Qualität der Audioverbindung weiterhin besonders wichtig.

Für die verteilte Betrachtung und Bearbeitung von Dokumenten werden von verschiedenen Herstellern integrierte Produkte angeboten, die u.a. über eine Komponente zum gemeinsamen Bearbeiten beliebiger X-Protokoll-basierter Anwendungen verfügen. Dabei spielt ein spezieller Prozeß (X-Multiplexer) für die Anwendung die Rolle des X-Servers und gleichzeitig kann er zu mehreren X-Servern als X-Client Kontakt aufnehmen, d.h. die Anwendung läuft lediglich auf der Workstation des Initiators und es wird für jeden Teilnehmer der Konferenz die graphische Bedienschnittstelle generiert. Der X-Multiplexer repliziert und filtert X-Protokoll-Primitive, die zwischen X-Servern und der Anwendung ausgetauscht werden. In diesen Produkten ist außerdem ein Token-basiertes Protokoll zur Weitergabe des Bearbeitungsrechts für das gemeinsam bearbeitete Dokument implementiert. Durch die Möglichkeit, Bemerkungen auf eine unsichtbare Folie, die über dem bearbeiteten Dokument liegt, zu schreiben und die Anzeige des Mauszeigers auf entfernten Rechnern (Telepointer) wird die Diskussion des Dokuments weiter unterstützt.

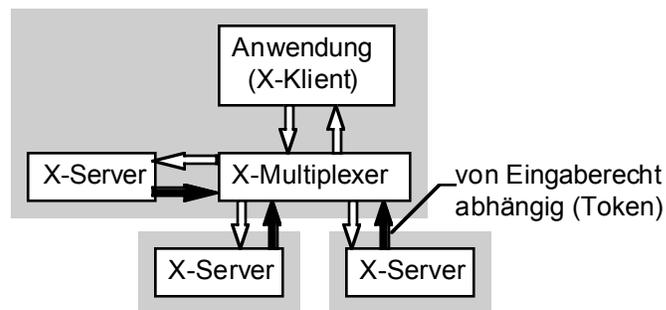


Abbildung 2: X-Multiplexer

Diese Applikationen haben den großen Vorteil, daß die zur Dokumentenbearbeitung verwendete Anwendung nur auf dem Rechner des Initiators benötigt wird, da alle anderen Konferenzteilnehmer lediglich eine Kopie der Bedien-schnittstelle bekommen. Einzelne Produkte bieten auch eine Version für Microsoft Windows an, wodurch auch PC-Benutzer in einer Konferenz an der Bearbeitung eines Dokuments mit einer UNIX-basierten Applikation teilnehmen können.

Zu Problemen kann es kommen, wenn die Applikationen Erweiterungen des X-Protokolls verwenden, die entweder vom X-Multiplexer oder einem der X-Server der Konferenzteilnehmer nicht unterstützt werden. In diesem Fall kommt es meistens zum Absturz der Anwendung. Das X-Protokoll wurde ursprünglich für die Kommunikation zwischen X-Server und X-Client im lokalen Bereich entwickelt und beinhaltet den Austausch vieler kleiner Nachrichten. Deshalb ist die Performance der gemeinsamen Dokumentenbetrachtung bei großen Entfernungen (große Laufzeit zwischen X-Server und X-Client) nicht sehr gut.

3.3 Verteilte Konstruktion und verteiltes Design

Bei der Konstruktion und beim Design von Fahrzeugen werden in der Regel hochperformante Workstations mit speziellen CAD-Anwendungen eingesetzt. Zunehmend werden auch „Virtual Reality“-Techniken verwendet. Diese Anwendungen ermöglichen noch keine gemeinsame und gleichzeitige Bearbeitung von Konstruktionsmodellen an verschiedenen Standorten. Diese Applikationen verwenden meist spezielle Grafikerweiterungen des X-Servers. Deshalb können die in Abschnitt 3.2 beschriebenen Werkzeuge zur gemeinsamen Dokumentenbearbeitung nicht verwendet werden. Aus diesem Grund werden für dieses Umfeld spezielle Lösungen entwickelt. An sie werden unter anderem folgende Anforderungen gestellt:

- Verteilte Betrachtung von CAD-Modellen.
- Annotationen.
- Dokumentationsunterstützung.

- Unterstützung der Bearbeitung in verschiedenen Zeitzonen (work around the clock).
- Auslagerung von rechenintensiven Aufgaben auf Hochleistungsrechner.
- Integrierte Sicherheit.
- Hohe Audioqualität im Konstruktionsbereich.
- Höchste Audio- und Videoqualität im Designbereich.

4 Performancemessungen

Mit Hilfe von Performancemessungen wurde die Leistung von ATM-Netzen sowohl im lokalen, als auch auf der transatlantischen Verbindung näher untersucht. Dabei soll insbesondere die Leistungsfähigkeit bzw. die Schwächen von Standardprotokollen und Anwendungen offengelegt werden. Insbesondere wurden Protokolle der TCP/IP-Familie sowie die Performance von Videoübertragung betrachtet.

4.1 Netzwerkkonfiguration

Für die Durchführung der Tests standen mehrere SUN Workstations zur Verfügung, welche mit ATM-Adaptern von Fore ausgestattet sind. Abbildung 3 zeigt die Topologie der Workstations.

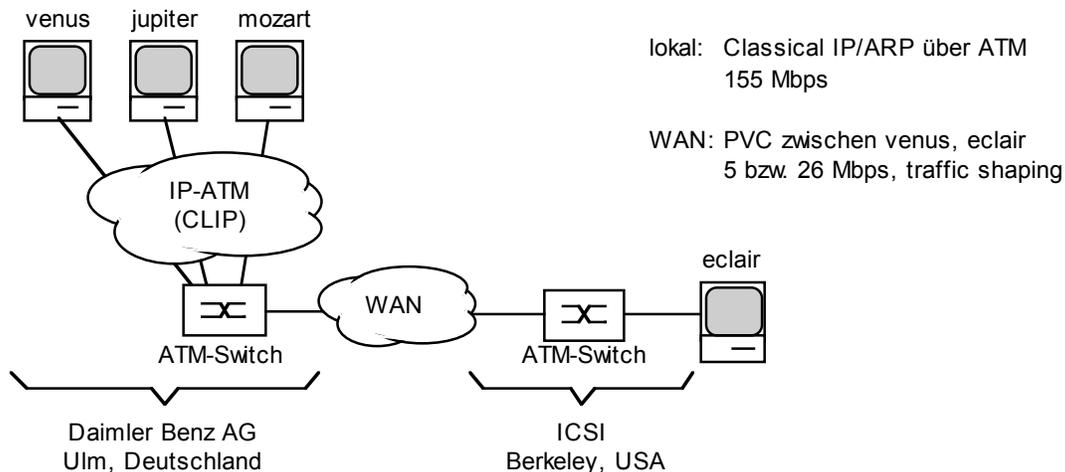


Abbildung 3: Topologie der ATM Testumgebung

Die Workstations benutzen „Classical IP over ATM“ (CLIP) [RFC1483, RFC1577]. Im Weitverkehrsbereich wird manuell eine permanente virtuelle Verbindung (PVC) zwischen „venus“ und „eclair“ eingerichtet. Für diese Verbindung wurden Bandbreiten von 5 bzw. 26 Mbit/s bereitgestellt. Beim jeweiligen Sender wurde die Senderate auf diesen Wert beschränkt, um Zellverluste in den dazwischenliegenden Vermittlungsknoten zu vermeiden.

Folgende Tabelle gibt einen Überblick über die verwendete Hardware:

	Typ	ATM-Adapter
venus	SUN SPARCstation 20, Solaris 2.5	Fore SBA-200
jupiter	SUN SPARCstation 10, Solaris 2.5	Fore SBA-200
mozart	SUN SPARCstation 5, Solaris 2.4	Fore SBA-200
eclair	SUN SPARCstation 5, Solaris 2.5	Fore SBA-200

4.2 Benchmark-Programme

Um die Leistungsfähigkeit von ATM und die Verwendbarkeit vorhandener Standardprotokolle im Hochgeschwindigkeitsbereich zu testen, wurden sowohl im lokalen Bereich als auch im Weitverkehrsbereich Performancemessungen durchgeführt.

Das Werkzeug „netperf“ ([np]) von Hewlett-Packard ist frei verfügbar. Es ermöglicht viele verschiedene Performancemessungen. Insbesondere ist es möglich, aufbauend auf TCP oder UDP die sogenannte „bulk data transfer performance“ zu messen. Des Weiteren bietet netperf die Möglichkeit, die „Request/Response“-Zeit und somit die Zeitverzögerung einer Netzverbindung zu bestimmen. Dies ist auch mit dem Hilfsprogramm „ping“ mit der Option „-s“ möglich, wobei in diesem Fall ICMP als Protokoll verwendet wird.

Als Alternative zu netperf kann für die Messung der Übertragungsgeschwindigkeit das Werkzeug „TTCP“ verwendet werden. Es bietet jedoch lediglich einen Teil der Optionen von netperf.

Bei den Messungen der Übertragungsraten können als Parameter die Socketgrößen, sowie die Nachrichtengrößen auf Sendeseite und Empfangsseite variiert werden. Bei ungesicherten Übertragungsmethoden (z.B. UDP) ist die Verlustrate von besonderer Bedeutung.

4.3 Messungen im lokalen Bereich

Zwischen den Rechnern jupiter und venus wurden TCP-Transferraten in Abhängigkeit der Nachrichtengröße gemessen (siehe Abbildung 4). Die Puffergrößen der beiden Sockets wurden dabei auf den Maximalwert von 64 kByte gesetzt.

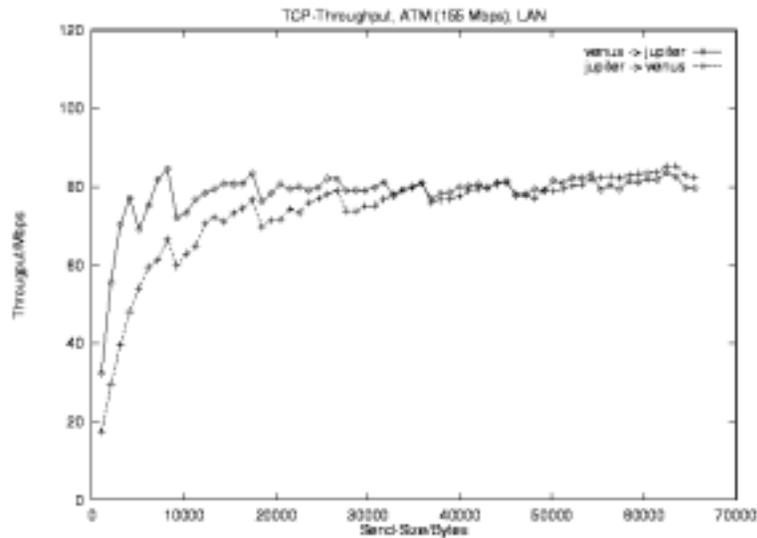


Abbildung 4: ATM-Messung im LAN

Die Nachrichtengröße wurde in Schritten von 1024 Bytes erhöht. Die Rechner sowie das ATM-Netz waren während der Messung ansonsten unbenutzt.

An den gemessenen Maximalwerten läßt sich erkennen, daß die Rechenleistung der Endsysteme nicht ausreicht, um die zur Verfügung stehende Bandbreite zu nutzen. Betrachtet man den Overhead der einzelnen Protokollebenen (SONET-OC3, ATM, AAL5), so steht oberhalb von AAL5 eine Bandbreite von 135.6 Mbit/s zur Verfügung (siehe [atmarp], [krivda]). CLIP- und TCP-Overhead können diesen Wert durch SNAP Header, AAL5 Trailer und Padding wiederum auf 135.1 Mbit/s (9180 Byte MTU) bzw. 125.2 Mbit/s (576 Byte MTU) reduzieren.

Zu beachten ist, daß die verwendeten ATM-Adapter die Verarbeitung der ATM-Zellen in Hardware durchführen und somit keine zusätzliche Rechenlast beim Endsystem entsteht. Die Adapterkarten stellen eine AAL5-Schnittstelle bereit.

Bei den Messungen sind in regelmäßigen Abständen von ca. 8 kByte Einbrüche in der Transferrate zu erkennen. Dies ist auf die MTU-Größe bei CLIP zurückzuführen, welche 9180 Bytes beträgt. Wird ein TCP-Paket gesendet, dessen Größe die MTU übersteigt, so muß es für die Übertragung fragmentiert und beim Empfänger reassembliert werden. Diese Operation belastet den Prozessor des Endsystems, wodurch auch die Gesamtperformance abnimmt. Bei ungünstiger Fragmentierung (z.B. bei 9216 oder 18432 Bytes) steigt zusätzlich der Protokolloverhead (siehe auch [mol]).

Bei den UDP-Messungen konnte ebenfalls festgestellt werden, daß die erreichbare Übertragungsrate durch die Rechenleistung der Endsysteme beschränkt wird. Durch das Fehlen einer Flußkontrolle kann es jedoch dazu kommen, daß ein langsames Empfangssystem durch einen schnellen Sender überlastet wird.

Sender	Empfänger	Max. Senderate	Empfangsrate
SUN SPARCstation 10 (jupiter)	SUN SPARCstation 20 (venus)	62 Mbit/s	62 Mbit/s
SUN SPARCstation 20 (venus)	SUN SPARCstation 10 (jupiter)	102 Mbit/s	<0.1 Mbit/s

Im vorliegenden Test konnten von einer SUN SPARCstation 10 (jupiter) zu einer SUN SPARCstation 20 (venus) bis zu 62 Mbit/s nahezu verlustfrei übertragen werden. In der umgekehrten Richtung konnte die SUN SPARCstation 20 bis zu 102 Mbit/s senden, wobei vom Empfänger nahezu keine Daten angenommen werden konnten (unter 0.1 Mbit/s).

4.4 Messungen auf der transatlantischen Verbindung

Für die Messung im Weitverkehrsbereich wurde ein PVC zwischen zwei Rechnern eingerichtet (siehe Abbildung 3). Für die Messungen standen Bandbreiten von 5 Mbit/s und 26 Mbit/s zur Verfügung.

Die Roundtrip-Zeit wurde bei unbelastetem Netz sowohl mit netperf, als auch mit ping gemessen und erreichte 200 ms.

Um Zellverluste in den zwischen den Endsystemen liegenden Vermittlungsknoten zu vermeiden, wurde auf der Senderseite die Datenrate beschränkt (siehe [atmap]). Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die erhaltenen Meßergebnisse.

Bandbreite	TCP	UDP-Send	UDP-Recv
5 Mbit/s	0.5-2.13 Mbit/s	4-4.5 Mbit/s	ohne Verluste
26 Mbit/s	1.14-2.27 Mbit/s	19.6-22.3 Mbit/s	siehe unten

Für die TCP-Messungen wurde wiederum die Nachrichtengröße variiert und die Socketgrößen auf die Maximalwerte gesetzt. Sowohl für die 5 Mbit/s-, als auch für die 26 Mbit/s-Verbindung konnte lediglich ein Bruchteil der zur Verfügung stehenden Bandbreite genutzt werden (ca. 2.2 Mbit/s). Eine Erhöhung der Bandbreite von 5 auf 26 Mbit/s führte kaum zu einer meßbaren Verbesserung.

Die verwendete Standardimplementierung des TCP-Protokolls ist für schnelle Netzverbindungen mit einer großen Verzögerungszeit (hohe Pfadkapazität - Produkt aus Bandbreite und der durch die Signallaufzeit bedingten Verzögerung) ungeeignet. Bei TCP kann der Sender nur in begrenztem Umfang wei-

tersenden, bis er eine Bestätigung für die gesendeten Daten vom Empfänger erhält (Sliding Window Prinzip, siehe [comer, brzi96]). Angenommen, der Sender wartet nach dem Senden von 64 kByte (maximale Fenstergröße) auf das Eintreffen einer Bestätigung, so bedeutet dies, daß sich im besten Fall 64 kByte „auf der Leitung“ befinden können. Bei einer Roundtrip-Zeit von 200 ms beschränkt dies die von TCP nutzbare Bandbreite auf $64 \text{ kByte}/200\text{ms}=2.6 \text{ Mbit/s}$.

Für TCP wurden Erweiterungen vorgeschlagen, welche diese Problematik betreffen (siehe [RFC1323]), allerdings sind diese TCP-Optionen in heutigen Implementierungen meistens nicht verfügbar. Angesichts der rasch fortschreitenden Entwicklung im Bereich der Hochgeschwindigkeitsnetze und insbesondere deren Einsatz im Weitverkehrsbereich sollte sich in naher Zukunft eine neue Version oder Alternative zu TCP durchsetzen.

Bei den Messungen mit dem UDP-Protokoll kann man obiger Tabelle entnehmen, daß bei den gegebenen Bandbreiten die Rechenleistung der Endsysteme keinen entscheidenden Einfluß auf die Senderate nimmt. Bei der Verbindung mit 5 Mbit/s konnte in über 40 Messungen keine Paketverluste festgestellt werden, was auf die zuverlässige ATM-Verbindung und die ausreichende Rechenleistung der Endsysteme zurückzuführen ist.

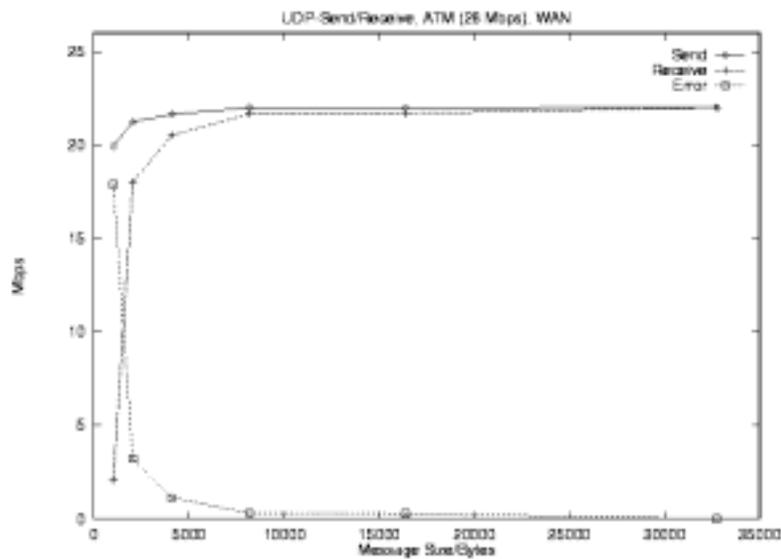


Abbildung 5: UDP-Meßergebnisse

Die Messungen bei 26 Mbit/s wurden von einer SUN SPARCstation 20 zu einer SUN SPARCstation 5 ausgeführt. Wie in der Abbildung 5 zu erkennen ist, konnte der sendende Rechner nahezu mit der vollen Bandbreite senden. Bei kleinen Paketgrößen kommt es allerdings zu hohen Fehlerraten. Durch Monitoring der ATM-Verbindung konnte sichergestellt werden, daß diese Fehler nicht auf Probleme in der ATM-Verbindung (Zellverluste) zurückzuführen sind.

Vielmehr liegt es nahe, daß bei dieser Netzgeschwindigkeit der Empfangsrechner an die Grenze seiner Empfangskapazität stößt. Bei kleinen Paketgrößen wird der Empfänger wesentlich stärker mit der Verarbeitung der UDP/IP-Header belastet; zusätzlich wird beim Empfang jedes Paketes ein Interrupt beim empfangenden Rechner ausgelöst.

4.5 Messungen auf der Anwendungsebene

Zusätzlich zu den bisher vorgestellten Messungen auf der Transportschichtebene haben wir den Einfluß von begrenzten Workstation- und Netzwerkressourcen auf multimediale Werkzeuge näher untersucht. In unsere Test sendeten wir lediglich ein Medium (Video) in eine Richtung. Dadurch kann der Einfluß der CPU-Belastung durch die Dekodierung beim Empfänger isoliert untersucht werden.

Als sendende Workstation verwendeten wir eine SUN SPARCstation 20, die mit einem Parallax Videoboard ausgerüstet ist. Dieses Videoboard unterstützt M-JPEG Videokompression in Hardware. Dadurch kann die Sende-Bildwiederholrate in einem großen Bereich variiert werden, ohne daß die CPU dieser Workstation stark belastet wird. Als Empfänger wurde eine SUN SPARCstation 5 verwendet, welche mit einem SUN-Videoboard ausgerüstet ist. Dieses Videoboard unterstützt nicht die gleiche Hardwarekompression wie das Parallax-Board, deshalb muß das Dekodieren des Videorahmens beim Empfänger in Software durchgeführt werden. Diese Aufgabe belastet die CPU des Empfängers in starkem Maße.

Die beiden Workstations waren bei diesem Test über das MAY-Netzwerk verbunden, wobei die Bandbreite auf 1.5 Mbit/s begrenzt war. Zur Übertragung des Videos wurde das Mbone Werkzeug vic verwendet. Bei unterschiedlichen Sende-Bildwiederholraten wurde die empfangene Bildwiederholrate, die Belastung der Empfänger-CPU und der ATM-Durchsatz gemessen. Die Meßwerte für die Bildwiederholraten werden durch das Videowerkzeug selbst bereitgestellt. Die Belastung der CPU wurde mit Hilfe des UNIX-top-Kommandos ermittelt und der Durchsatz auf ATM-Ebene wurde mit proprietären Werkzeugen für den verwendeten Synoptics ATM-Vermittlungsknoten gemessen.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 6 dargestellt. Bei Steigerung der Sende-Bildwiederholrate folgt die beim Empfänger dargestellte Bildwiederholrate zunächst der Senderate. Ab einer Sende-Bildwiederholrate von 16 Bilder/Sekunde ist die CPU des Empfängers überlastet, d.h. nicht alle gesendeten Rahmen werden beim Empfänger dargestellt. Bei einer weiteren Steigerung der Sende-Bildwiederholrate auf über 19 Bilder/Sekunde kommt es zur Überlastung der ATM-Verbindung, wodurch im Netz ATM-Zellen zufällig verworfen werden. Deshalb bricht die Bildwiederholrate beim Empfänger drastisch ein.

Die Messungen haben gezeigt, daß bei Sättigung von Netzwerk- oder Host-Ressourcen eine weitere Erhöhung der Bildwiederholrate des Senders zur Verschwendung von Ressourcen und zu einer Abnahme der Videoqualität beim Empfänger führt. Parallel laufende Anwendungen (z. B. eine zweite Videoverbindung, Application Sharing, ...) beeinflussen die Videoübertragung zusätzlich negativ. Zur Vermeidung dieser Effekte wird in [AlSi96] eine Architektur für multimediale Anwendungen vorgestellt, bei dem die zur Verfügung stehenden Ressourcen ständig überwacht werden. Diese Informationen werden dazu benutzt, um die Parameter für die einzelnen Medien entsprechend den Wünschen der Benutzer einzustellen und somit die bestmögliche Ressourcenausnutzung und Befriedigung der Benutzerbedürfnisse zu garantieren.

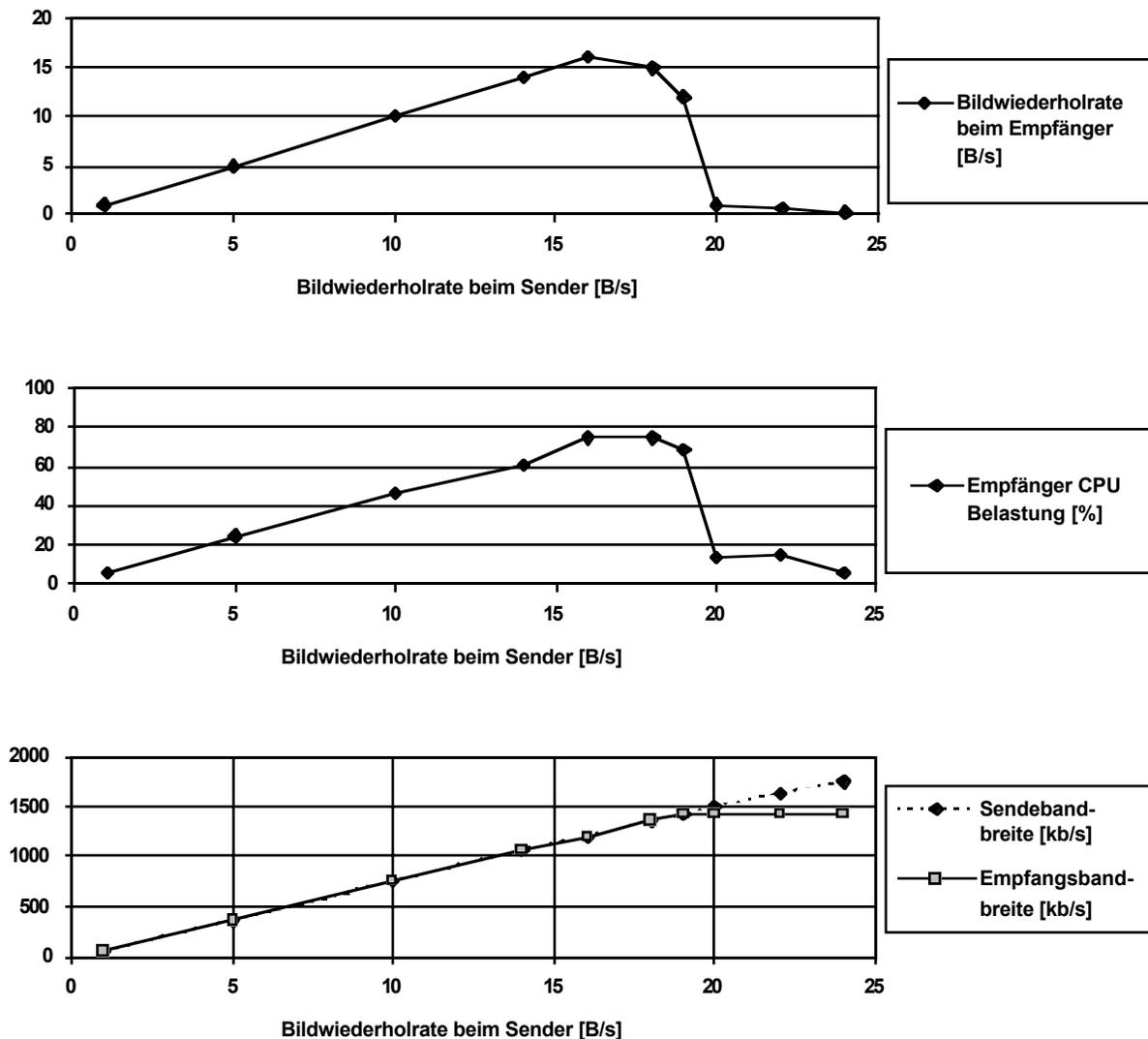


Abbildung 6: Messung bei unidirektionaler Videoübertragung

4.6 Bewertung

Wie die oben dargestellten Ergebnisse zeigen, sind die momentan verfügbaren Protokolle der TCP/IP-Familie nur eingeschränkt für zukünftige Netzinfrastrukturen geeignet. Hohe Bandbreiten erfordern leichtgewichtige Protokolle, durch welche ein Endsystem die hohe Netzgeschwindigkeit effizient nutzen kann. Die Prozessorleistung des Endsystems sollte in erster Linie der eigentlichen Anwendung zur Verfügung stehen und nicht für die Kommunikation verloren gehen.

Hohe Bandbreite in Verbindung mit einer hohen Verzögerungszeit auf dem Kommunikationspfad stellen weitere Anforderungen an ein effizientes Übertragungsprotokoll. Das bisher von TCP verwendete Verfahren kann bei hoher Pfadkapazität (Produkt aus Bandbreite und der durch die Signallaufzeit bedingten Verzögerung) lediglich einen Bruchteil der Bandbreite nutzen.

Um Workstation- und Netzwerkressourcen optimal auszunutzen, werden bei multimedialen Anwendungen Mechanismen benötigt, damit bei Sättigung einer Workstation-CPU nicht unnötig Netzbandbreite verschwendet wird, bzw. bei auftretenden Problemen im Netz die Sendeparameter an die gegebenen Verhältnisse angepaßt werden.

5 Ausblick

Die ersten Erfahrungen mit ATM im Weitverkehrsbereich haben gezeigt, daß das Potential von ATM bisher nur bedingt ausgenutzt werden kann. Damit alle Möglichkeiten ausgeschöpft werden können, sind Erweiterungen beim Dienstangebot der Netzbetreiber (z.B. Signalisierung im Weitverkehrsbereich, VBR-Dienste usw.) notwendig. Darüber hinaus besteht der Bedarf an neuen verbesserten Transportprotokollen basierend auf ATM. Die Daimler-Benz Forschung wird deshalb weitere Untersuchungen im Bereich der Transportprotokolle durchführen. Im weiteren werden insbesondere die Anwendungsszenarien von verteilter Konstruktion und verteiltem Design betrachtet. Außerdem wird als neuer Anwendungsbereich das „Teleteaching“ untersucht.

Literatur

- [AlSi96] Alfano M., Sigle R., *Controlling Resources in a Collaborative Multimedia Environment*, Proceedings 5th IEEE International Symposium on High-Performance Distributed Computing (HPDC-5), Syracuse, USA, 1996
- [atmarp] Manual Page zu atmarp, Fore Systems, 2/1996
- [brzi96] Braun T., Zitterbart M., *Hochleistungskommunikation, Band 2: Transportdienste und -protokolle*, Oldenbourg 1996, ISBN 3-486-23088-3
- [comer] Comer, Douglas E.: *Internetworking with TCP/IP*, Volume I, Second Edition,

- Prentice Hall 1991, ISBN 0-13-468505-9
- [conf] Universität Hannover, Rechnernetze und Verteilte Systeme, *Confman Distribution*, <http://www.rvs.uni-hannover.de/products/confman/>
- [krivda] Krivda, Cheryl D.: *Analyzing ATM Adapter Performance, The Real World Meaning of Benchmarks*, Efficient Networks Inc., 1996, <http://www.efficient.com/doc/EM.html>
- [kumar] Kumar V.: *Mbone: Interactive Multimedia On The Internet*, Macmillan Publishing, Simon & Schuster 1995
- [MBoneApps] Kumar V.: *Mbone Desktop Applications*, <http://www.best.com/~prince/techinfo/mc-soft.html>
- [mol] Moldeklev, Kjersti u.a.: *The effect of end system hardware and software on TCP/IP throughput performance over a local ATM network*, *Elektronikk*, Band 91, S. 155-167, 2/3 - 1995
- [np] Netperf, www, <http://www.cup.hp.com/netperf/NetperfPage.html>
- [RFC1323] Jacobson V., Braden B., Borman D.: *TCP Extensions for high-performance*, Request for Comments 1323, Mai 1992
- [RFC1483] Heinanen J.: *Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5*, Request for Comment 1483, Juli 1993
- [RFC1577] Laubach, M.: *Classical IP and ARP over ATM*, Request for Comments 1577, Januar 1993
- [vat] LBNL: *The Audio Conferencing Tool vat*, <http://www-nrg.ee.lbl.gov/vat>
- [vic] LBNL: *The Video Conferencing Tool vic*, <http://www-nrg.ee.lbl.gov/vic>
- [wb] LBNL: *The Shared Whiteboard wb*, <http://www-nrg.ee.lbl.gov/wb>