ATM- und Multimedia Pilotsystem im Rahmen des Projektes M-FIBRe - Aufbau und Erfahrungen

H. Kleines (*), I. Erki (*), K. Ziemons (**), K. Zwoll (*)

Forschungszentrum Jülich (KFA)
Zentrallabor für Elektronik (*), Institut für Medizin (**)
52425 Jülich
H.Kleines@KFA-Juelich.de

Das im Forschungszentrum Jülich durchgeführte Projekt M-FIBRe zielt auf die Schaffung eines integralen Systems ab, in dem die bildgebenden Modalitäten PET, SPECT, MRI und MEG, ein Archivsystem und ein Pool von Bildarbeitsplätzen über ein Hochgeschwindigkeits-Kommunikationssystem, bei gleichzeitiger Bereitstellung multimedialer Dienste, vernetzt sind. Wegen dieser Anforderungen wurde ATM als Kommunikationstechnologie ausgewählt. Aufgrund des Neuheitsgrades und zu erwartender Schwierigkeiten wurde ein Pilotsystem zur Evaluation dieser Technologien sowie der entsprechenden Produkte ins Leben gerufen. Es wird über erste Erfahrungen aus diesem Pilotsystem berichtet, die zeigen, daß der unzureichende Reifegrad den Einsatz von ATM und Multimedia in einem Produktionssystem noch als problematisch erscheinen läßt.

Keywords: Multimedia, ATM, PACS, Funktionale Bildgebung

1 Einleitung

In den letzten Jahren erfuhr das Gebiet der Hirnforschung im Institut für Medizin (IME) des Forschungszentrums Jülich einen starken Ausbau. So wurden mehrere bildgebende Großgeräte (MR, PET, SPECT, MEG) installiert sowie ein wesentlicher Ausbau der Anzahl der Arbeitsplätze für Wissenschaftler vorgesehen. Zur Zeit sind die bildgebenden Modalitäten und die Bildarbeitsplätze über ein konventionelles Ethernet vernetzt, bilden aber wegen der herstellerspezifischen Schnittstellen und Analysepakete dennoch Insellösungen. Darüber hinaus sind die vorhandenen Kapazitäten an Hintergrundspeicher ebenso wie die Bandbreite des zugrundeliegenden Ethernet-Netzes vollkommen unzureichend für die notwendige Archivierung der anfallenden Datenmengen (bis zu 3 TeraBytes/Jahr).

Zur Lösung dieser Infrastrukturprobleme und zur Schaffung eines integralen Systems, das den "Insel-Charakter" der bestehenden Installation überwindet, wurde im Frühjahr 1996 das Projekt M-FIBRe (**M**ulti-Modality **F**unctional **I**maging for **B**rain **Re**sarch) ins Leben gerufen.

Das zentrale Ziel von M-FIBRe besteht im Aufbau eines verteilten Bildarchivs, um den komfortablen und homogenen Zugriff interner und externer Benutzer auf die Daten der einzelnen Modalitäten zu ermöglichen. Wegen der enormen Datenmengen liegt ein Schwerpunkt auf der Bereitstellung einer leistungsfähigen Kommunikation. Über die reine PACS-Funktionalität hinaus soll das System unter anderem auch eine Multimedia-Komponente beinhalten, die Medizinern und Wissenschaftlern das kooperative Arbeiten an einem Datensatz ermöglicht. Aufgrund der Anforderungen wurde ATM (Asynchronous Transfer Mode) als lokale Kommunikationstechnologie ausgewählt. Da diese Technologie ebenso wie multimediale

Dienste noch sehr neu und Standardisierung und Produktreife bisher nur unzureichend sind, wurde im Zentrallabor für Elektronik (ZEL) des Forschungszentrums Jülich ein Pilotsystem installiert, das der Evaluation dieser Technologien dient.
Im Folgenden soll dieses auf einer heterogenen Plattform basierende Pilotsystem vorgestellt und über Erfahrungen sowie erste Leistungsmessungen berichtet werden.

2. Entwicklungsstand von ATM

ATM wurde ursprünglich von der International Telecommunication Union (ITU) als Transportsystem für B-ISDN konzipiert, und stellt insofern ein eigenes Netzwerkkonzept dar, das sich orthogonal zur ISO/OSI-Normung und den Internet Standards darstellt. Aus den Anforderungen der Telekommunikation ergeben sich wesentliche Eigenschaften von ATM:

- Bereitstellung einer hohen Bandbreite des Gesamtsystems,
- Hohe Skalierbarkeit bezüglich der Bandbreite der Endsystemanschlüsse, der räumlichen Ausdehnung sowie der Anzahl der Anschlüsse,
- Möglichkeit der gleichzeitigen Übertragung von Daten, Sprache und Bewegtbild.

Wegen der offensichtlichen Vorteile bezüglich Performance, Skalierbarkeit, Verfügbarkeit alternativer Dienste (Sprache, Video), der Anbindung an WANs und der zu erwartenden Preisentwicklung wurde schon sehr früh die Verwendung von ATM auch in lokalen Netzen diskutiert. Die treibenden Kräfte waren hier die Internet Engineering Task Force, die "Classical IP over ATM" (CLIP, [1]) definierte, und das ATM Forum, das "LAN Emulation" (LANE, [2]) definierte. Bei beiden Ansätzen handelt es sich um den etwas künstlichen Versuch, ATM als Transportsystem für klassische LAN-Applikationen zu verwenden.
Neben den offensichtlichen Nachteilen dieser Konzepte bezüglich Skalierbarkeit und Performance haben sich hiermit insgesamt drei verschiedene Institutionen etabliert, die aktiv Normung für ATM betreiben. Dies führt zu folgenden Problemen:

- Die Standardisierung ist nicht abgeschlossen. Bei den meisten Standards erscheinen häufig neue Versionen, die ihren Weg in entsprechende meist inkompatible Produkte finden. Aufgrund von eigenen Interessen blockieren Firmen fehlende bzw. sinnvolle Festlegungen.
- Die Standards der ITU und des ATM-Forums sind in einigen Fällen inkompatibel, und damit auch die entsprechenden Produkte.
- Der insbesondere wegen der häufigen Modifikationen hohe Entwicklungsaufwand für die Produkte führt zu hohen Preisen und zu einer schlechten Produktqualität bezüglich Stabilität, Bedienkomfort und Performance.

3. Aufgabenstellung und Struktur des ATM-Pilotsystems im ZEL

Schon erste Voruntersuchungen offenbarten die in Abschnitt 2 skizzierten Probleme von ATM bezüglich Standardisierung und Produktqualität, so daß die Etablierung eines Pilotsystems zur Evaluation dieser Technologie notwendig war. Wegen der enormen Kosten der ATM-Technologie kann eine Investitionsentscheidung nur auf den Ergebnissen einer fundierten Evaluation beruhen. Dies gilt analog für die Festlegung der in M-FIBRe zu verwendenden Protokollarchitekturen. So wurde im Mai 1996 mit dem Aufbau eines Multi-Vendor ATM-Pilotsystems im ZEL begonnen, das folgenden Zielen dient:

- Test von ATM-Produkten in einer heterogenen Umgebung,
- Evaluation von Standards,

- Durchführung von Performance-Analysen,
- Durchführung von Entwicklungsarbeiten.

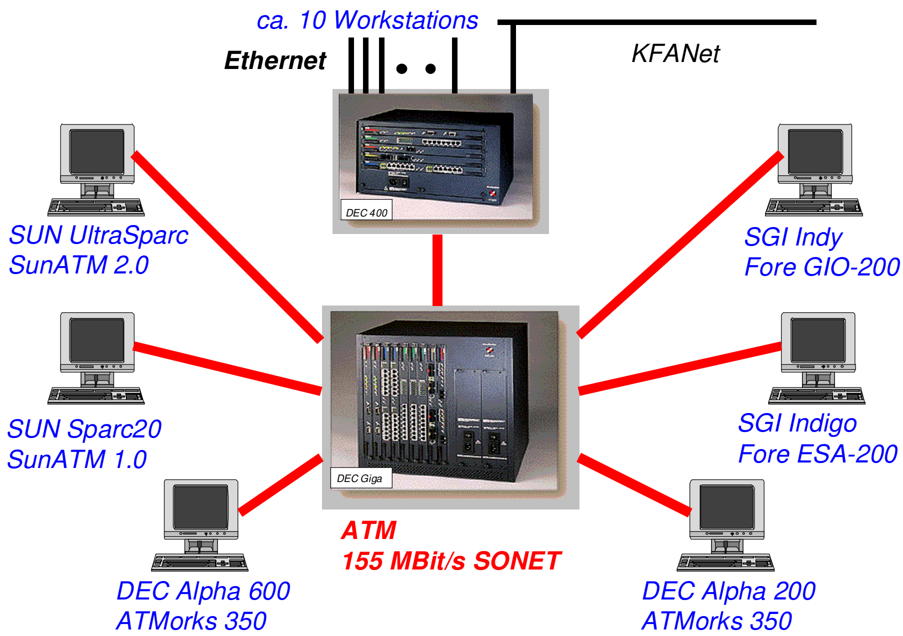

Bild 1: Aktueller Ausbau des ATM Pilotsystems im ZEL

Das Pilotsystem basiert auf einer heterogenen Plattform und beinhaltet entsprechend Bild 1 zur Zeit Workstations der Firmen DEC, SGI und Sun mit entsprechenden ATM-Adaptern. Der GIGAswitch/ATM von DEC dient als ATM-Switch, bei ausschließlicher Verwendung von SONET mit 155 MBit/s auf der physikalischen Schicht. Im Rahmen dieser Installation wurden temporär auch Tests mit weiteren Komponenten - wie beispielsweise dem ATM-Switch Lightstream 100 von CISCO oder PCs unter Windows NT - durchgeführt. Bei der Migration von konventioneller LAN-Technologie zu ATM werden beide Technologien langfristig ko-existieren. Insofern kommt der Realisierung des Übergangs zwischen beiden Technologien eine besondere Bedeutung zu. Als mögliches Bindeglied dient im Rahmen des Pilotsystems der DECswitch 400 (Xylan Omni-Switch). Zur Zeit sind an seinen Ethernet-Ports das KFAnet sowie ca. 10 Workstations Punkt-zu-Punkt angeschlossen. Der DECswitch 400 kann sowohl als Router (auf der Basis von CLIP) als auch als Switch (auf der Basis von LANE) fungieren. Im Pilotsystem finden zur Zeit die Protokoll-Standards UNI 3.0, CLIP sowie teilweise LANE 1.0 als kleinster gemeinsamer Nenner Verwendung.

4. Erste Ergebnisse der Arbeiten an ATM

Die ersten Untersuchungen offenbarten massive Qualitätsprobleme der eingesetzten Produkte. Ohne auf Details einzugehen, lassen sich hier prinzipiell folgende Problemgruppen herausschälen:

- **Stabilitätsprobleme:** Es kam sowohl zu Zusammenbrüchen der Kommunikation, die nur durch Booten von Workstations oder Switches zu beheben waren, als auch zu vollständigen Abstürzen von Maschinen. Die Probleme waren teilweise reproduzierbar, traten aber auch sporadisch auf.

- **Interoperabilitäts-Probleme:** Sie traten in verschiedenen Situation auf. Als besonders problematisch zeigte sich ein Problem zwischen dem DEC GIGAswitch und den Sun-Produkten. Hier führte ein Fehler bei ILMI (Interim Local Management Interface [3]) zu einem extremen SNMP-Verkehr, der zum Abriß der SSCOP-Verbindung zur Signalisierung oder zum Zusammenbruch von LANE führen konnte. Wegen dieses extremen SNMP-Verkehrs benötigt der ILMI-Dämon auf einer UltraSparc ständig ca. 8% der CPU-Zeit!
- **Funktionalitäts-Lücken:** Die als kleinster gemeinsamer Nenner möglichen Protokolle entsprechen nicht dem aktuellen Stand der Normung. Insbesondere ist LANE von FORE Systems, Inc. weder für SunOS noch für IRIX (SGI) verfügbar.
- **Performance-Probleme:** Die erzielbaren Durchsatzwerte blieben hinter den ursprünglichen Erwartungen zurück. Nur bei Hochleistungs-Workstations (DEC Alpha, UltraSparc) wurden über TCP Durchsätze in der Höhe der Nominal-Rate von ATM über SONET (ca. 130 MBit/s) erreicht, und dies auch nur bei optimaler Parameterierung (MTU-Größe, Socketbuffer-Größe). Bei realen Anwendungen, wie beispielsweise FTP (limitierender Faktor: Transferrate zur Festplatte), waren nur Durchsätze in der Größenordnung von 40 MBit/s möglich. Je nach Konfiguration wurde eine enorme CPU-Bandbreite nur für die Kommunikation benötigt (ca. 60% bei LANE auf einer DEC ALPHAstation/600). In dieser Situation führt jede weitere Belastung des Rechners, wie beispielsweise das Verschieben eines Fensters auf dem Bildschirm zu einem massiven Einbruch des Durchsatzes. Ein weiteres Problem bestand darin, daß die erzielbaren Werte für den Durchsatz wesentlich von der Übertragungsrichtung abhängen konnten. Eine Änderung der Übertragungsrichtung konnte einen Einbruch des Durchsatzes auf die Hälfte bewirken. Überhaupt konnte es - teilweise unerwartet, teilweise abhängig von der Auswahl der Kommunikationspartner und der Parametrierung - zu massiven Performance-Einbrüchen kommen (bis auf 400 KBytes/s). Die besondere Belastung bei Leistungsmessungen führte in Zusammenhang mit den oben erwähnten Stabilitätsproblemen manchmal zu Abstürzen, so daß eine systematische Durchführung von Messreihen nicht möglich war.

5. Untersuchungen zu Multimedia-Systemen

5.1 Zielsetzung

Der Hintergrund der Untersuchungen zu Multimediasystem besteht in der Anforderung ein Videokonferenzsystem im Rahmen von M-FIBRe bereitzustellen. Unter Videokonferenz wird hier ein Mechanismus zum kooperativen Arbeiten mit externen aber auch mit in der KFA ansässigen Wissenschaftlern in einer multimedialen Umgebung verstanden, der insofern Videoübertragung, Audioübertragung und "Whiteboard"-Funktionalität beinhaltet. Da durch die Medien der Eindruck vermittelt wird, daß diese Arbeitsweise im medizinischen Bereich technisch unproblematisch und sogar allgemein üblich sei, besitzt die Frage nach dem realistisch Machbaren ein besonderes Interesse.
Es ist offensichtlich, daß die Hauptproblematik bei Audio- und Video-Übertragung über ein eigentlich für Datenkommunikation konzipiertes Netz in der Sensitivität für Jitter, den Anforderungen an die Bandbreite sowie der Zeitkomplexität von Kompression, Dekompression, etc. liegen. Da bei Video die letzten beiden Punkte besonders gravierend sind, beschränken sich die folgenden Ausführungen auf dieses Medium. Gerade in diesem Zusammenhang sind die von M-FIBRe gesteckten Rahmenbedingungen besonders kritisch, da unterschiedlichste externe Partner in Frage kommen, bei denen die Art der verfügbaren Kommunikationsverbindungen

sehr unterschiedlich sein kann. Im einzelnen sind folgende Verbindungen denkbar, deren Spektrum kaum von einem Tool oder von einer fixen Qualitätsanforderung abgedeckt werden kann:

- ISDN (wird schon zur Kommunikation mit der Universitätsklinik Düsseldorf eingesetzt),
- Internet (mit massiven zeitlichen und örtlichen Schwankungen von Bandbreite und Jitter, teilweise bis zur Unbrauchbarkeit),
- B-Win (ATM-basiert, Anbindung des Forschungszentrums auf der Basis von E3, d.h. 34 MBit/s),
- gemietete Standleitung (dürfte bei den aktuellen Telekom-Preisen zu teuer sein).

Eine weitere Randbedingung besteht bei der Realisierung einer Videokommunikation direkt am Arbeitsplatz der Wissenschaftler in der Notwendigkeit, daß ein derartiges "Desktop-Tool" nur einen unbedeutenden Anteil an den Kosten der Arbeitsplatz-Workstation - typischerweise in der Größenordunung von ca. 20% (also ca. 3.000 DM) - besitzen sollte. So wurden bisher nur Lösungen untersucht, die dieser Anforderung genügen.

5.2 Video-Codecs

Die Bandbreitenbeschränkung realer Kommunikationssysteme erfordert den Einsatz von Kompressionsverfahren. Im einzelnen finden folgende Video Codecs Verwendung:

- MPEG I: für den Einsatz bei Film-CDs konzipiert, kann hier etwa VHS-Qualität erreichen,
- MJPEG: bei Video-Karten am weitesten verbreitet,
- H.261: im Bildtelefonie-Standard H.320 vorgeschrieben,
- CellB: proprietäres Verfahren von SUN,
- nv Codec: wird in nv (siehe unten) verwendet,
- Intra H.261: vereinfachte Form von H.261, wird in vic (siehe unten) verwendet.

Die grundsätzliche Vorgehensweise ist bei allen Verfahren sehr ähnlich. So wird (außer bei MJPEG) versucht, den üblicherweise niedrigen Änderungsgrad zwischen aufeinanderfolgenden Videobildern zu einer wesentlichen Kompression zu verwenden, indem ausgehend von einem Referenz-Bild (I-Frame) nur geänderte Blöcke (Differenz-Frames) übertragen werden. Dieses Verfahren ist bei H.261 und MPEG I am aufwendigsten, da hier sogar eine Bewegungsdetektion erfolgt, indem zu einem Block der "ähnlichste" Block im nächste Bild gesucht wird (B-Frames, P-Frames).

In einem zweiten Schritt werden die Referenz- und die Differenz-Bilder nach folgendem Schema komprimiert:

1. Übergang vom RGB-Farbraum in einen Luminanz/Chrominanz Farbraum (YUV oder YCrCb) [4].
2. Da das menschliche Auge weniger sensitiv für die Chrominanz-Komponenten ist, wird die Auflösung in diesen Komponenten reduziert, üblicherweise auf die Hälfte (4:1:1 decimation, [5]).
3. Das so entstehende Bild wird in 8x8 Makroblöcke aufgeteilt, auf die dann die diskrete Cosinus-Transformation angewandt wird. (Haar-Transformation im Fall des nv Codecs).
4. Eine weitere Reduktion erfolgt, indem eine variable Anzahl von Stellen der Koeffizienten in 3. abgeschnitten wird [6].

5. Abschließend erfolgt eine Huffman-Codierung (Runlängen-Codierung im Fall des nv-Codecs).

Dieser Mechanismus macht klar, daß der zu erwartende Kompressionsfaktor nicht nur vom gewählten Verfahren, sondern auch von dessen Parametrierung, sowie ganz wesentlich vom Grad der Bewegung in der aufgenommenen Szene abhängt. Die oben skizzierte Vorgehensweise macht deutlich, daß MPEG I und H.261 unter gleichen Voraussetzungen den besten Kompressionsfaktor erreichen sollten. Da bei den meisten Produkten die Kompression in Hardware und die Dekompression in Software erfolgt, ist der Zeitaufwand für die Dekompression auch ein wesentlicher Qualitätsfaktor. Eine zu langsame Dekompression führt nämlich zu den gleichen Problemen wie ein zu niedriger Kompressionsfaktor (unzureichende Bandbreite):

1. Die Framerate wird reduziert. Dies führt zu ruckartigen Bewegungen.
2. Es kommt zu Verlusten, weil der Empfänger zur Einhaltung von Synchronisationsbedingungen Frames wegwerfen muß. Dies führt insbesondere bei prediktiven Verfahren wie H.261 und MPEG I zu Artifakten.

Die Abwägung zwischen Rechenzeit und Kompressionsfaktor läßt insbesondere Intra H.261 als ein interessantes Verfahren erscheinen. Bei vic (siehe unten) konnten hier typischerweise ein Kompressionsfaktor von 1:30 - 1:80 beobachtet werden.

5.3 Untersuchte Systeme

Es wurden Systeme aus folgenden drei Klassen untersucht:

- H.320 basierte Produkte für PCs: Intel Proshare,
- Proprietäre Produkte für Workstations: SUN ShowMe, SGI InPerson,
- MBone Tools: nv (Xerox), ivs (INRIA), vic (LBL, Berkeley).

MBone steht für Multicast Backbone [7]. Es handelt sich um eine experimentelles Multicast-Teilnetz des Internet, das primär der Übertragung von multimedialen Strömen dienen soll. Allen MBone Tools ist gemeinsam, daß

- sie auf einer heterogenen Plattform von Workstations verfügbar sind,
- ihr Quellcode frei erhältlich ist,
- sie auf RTP (Real Time Transport Protokoll, [8]) basieren. RTP ist ein üblicherweise auf UDP basierendes Anwendungsprotokoll, das speziell für die Anforderung der Übertragung multimedialer Ströme entworfen wurde. Es beinhaltet beispielsweise Mechanismen zur Synchronisation verschiedener Medien, oder zur Detektion des Verlustes von Paketen.

Die Tests der obigen Software-Pakete erfolgte auf folgender Hardware-Plattform:

- SunSparc 20 und SUN UltraSparc mit SunVideo,
- SGI Indy mit VINO,
- DEC AlphaStation 600 mit "Full Video Supreme JPEG",
- PCs mit Proshare ISDN/Audio- sowie Video-Karte (Intel/Telekom).

5.4 Erste Ergebnisse

Beim Versuch die verschiedenen Systeme zu bewerten zeigte sich, daß geeignete formale Kriterien - insbesondere wegen der in 5.2 skizzierten Problematik der Video Codecs - fehlten.

Dies wurde noch dadurch erschwert, daß nur unzureichende Informationen über die Programmierschnittstellen, die interne Struktur oder sogar die Funktionalität der einzelnen Komponenten fehlten. Naheliegende Kriterien wie maximale Auflösung, notwendige Bandbreite, minimale Framerate, Rechenzeitaufwand, Grad der Artifakte, Signal/Rausch-Abstand eines Einzelbildes und Verzögerungen beschreiben oft verschiedene Seiten einer Güterabwägung und sind i.a. auch schwer meßbar. So wurde im ersten Ansatz ein eher intuitiver Zugang gewählt, der angesichts der unbefriedigenden Qualität aller Systeme auch ausreicht.

Insgesamt waren die Erfahrungen enttäuschend und entsprachen in keinster Weise den durch die Medien erzeugten Erwartungen:

1. Nur auf Hochleistungs-Workstations (Alpha, Ultra-Sparc, SGI) war die Darstellung von CIF-Bildern unter dem Aspekt von Framerate und Verlustrate durchaus akzeptabel. Bei der CIF-Auflösung (352x288, entspricht etwa 9cmx7cm auf einem 21"-Bildschirm) kann man von einem Video-Konferenz-Partner jedoch nur einen sich bewegenden Kopf ohne größere Details erkennen. Für eine akzeptable Detail-Auflösung sollte man mindestens PAL oder NTSC-Format (640x480) verwenden. Abgesehen davon, daß dies bei einigen Tools nicht möglich ist, führt die Verwendung dieser Auflösung zu massiven Problemen:
   - es kam zu Artifakten, Verlusten und Verzögerungen,
   - die Framerate brach ein und
   - die benötigte CPU-Bandbreite war unangemessen hoch (z.B 70% auf einer SGI Indy bei Verwendung von nv mit einer Framerate von 2 frames/s)
2. vic hinterließ den besten Eindruck von allen MBone Tools. Bei Intra H.261 wurde hier typischerweise eine Bandbreite von ca. 1MBit/s bei einer Framerate von 10-20 Frames/s beansprucht.
3. Auch ShowMe hinterließ einen verhältnismäßig guten Eindruck, verbrauchte aber wegen des schlechteren Kompressionsfaktors von CellB die doppelte Bandbreite (2 MBit/s).
4. Wegen des fehlenden Euro-ISDN-Anschlusses wurde Proshare nur über Ethernet getestet. Ohne DCI-fähige Graphikkarte erlaubte Proshare maximal Bilder im CIF-Format, mit relativ schlechter Qualität. Die beanspruchte Bandbreite war mit 400 KBit/s für 2 Video- und 2 Sprachknäle allerdings auch sehr niedrig. Im Gegensatz zu den MBone-Tools kam es bei Proshare weder zu Artifakten noch zu starken Schwankungen der Framerate.
6. Die Verwendung von MJPEG kann zu enormen Anforderungen an die Bandbreite führen. Bei der AlphaStation 600 wurden für den Transfer eines Videokanals zu einer UltraSparc Datenraten bis zu 6,5 MBit/s beobachtet.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse, daß alle untersuchten Tools aufgrund der unzureichenden Hardware-Unterstützung für professionelle Anwendungen nicht einsetzbar sind. Notwendig wären beispielsweise Graphikarten, die eine Dekompression hardwaremäßig durchführen können, und die den komprimierten Videostrom direkt von der Framegrabber-Karte per DMA ohne Umweg über die CPU erhalten können. Problematisch erscheint auch die Beobachtung, daß ein halbwegs akzeptable Videoübertragung pro Kanal eine garantierte Bandbreite von mindestens 1 MBit/s benötigt, eine für eine externe Anbindung kaum zu finanzierende Forderung.

6. Zukünftige Arbeiten

Die in Abschnitt 5. skizzierte Produktsituation zeigt, daß vor einer breitflächigen Installation von Videokonferenz-Systemen sowohl Fortschritte bei der Standardisierung als auch entsprechende Produktentwicklungen notwendig sind. Aus diesem Grunde werden sich die Aktivitäten im Bereich Multimedia zunächst auf die Beobachtung und Begleitung dieser Fortschritte konzentrieren. Die spätere Realisierung und Installation eines Videokonferenz-Systems erfordert nach heutigem Kenntnisstand die Bereitstellung einer Gateway-Lösung zwischen RTP-basierten Systemen und H.320-basierten System. Hier sind in Zukunft voraussichtlich eigene Entwicklungsarbeiten notwendig.

Die Aktivitäten im Rahmen des Pilotsystems konzentrieren sich also zunächst auf ATM, um eine Verbesserung der Produktqualität sowie das Ausfüllen bestehender Funktionalitätslücken zu erreichen. Hier finden zur Zeit Gespräche mit Hersteller-Firmen sowie eigene Entwicklungsarbeiten statt. Darüber hinaus sind ein Ausbau des Pilotsystems um weitere Komponenten sowie die Durchführung systematischer Leistungsmessungen geplant (nach Behebung der wesentlichsten Qualitätsmängel).

Ein zentrales Zwischenziel wird der Aufbau eines über ATM angebundenen Hochleistungs-NFS-Servers (im Produktionsbetrieb!!) im Frühjahr 1997 sein. Der Server wird auf einer Doppelrechner-Architektur beruhen, die mehrere RAID-Level hardwaremäßig unterstützt und auf eine Festplatten-Kapazität von 100 GBytes ausgebaut werden kann.

7. Literatur

[1] Classical IP over ATM, RFC 1577, Internet Engineering Task Force

[2] Lan Emulation over ATM Version 1.0, ATM Forum, Januar 1995

[3] Interim Local Management Interface Specification Version 4.0, ATM Forum, Februar 1996

[4] K. Patel, B.C. Smith, L.A. Rowe: "Performance of a software MPEG video decoder", Proceedings of ACM Multimedia'93

[5] T. Turletti: "H.261 software codec for videoconferencing over the internet", INRIA Report 1834, 1993

[6] S. McCanne, V. Jacobson: "vic: A Flexible Framework for Packet Video", ACM Multimedia'95

[7] M.R. Macedonia, D.P. Brutzman: "MBone Provides Audio and Video over the Internet", IEEE Computer, April 1994

[8] H. Schulzrinne, S. Casner: "RTP: A Transport Protocol for Real Time Applications", Internet Engineering Task Force Draft, October 1993