

# **Abschlussbericht über das DFN-Projekt**

## **ANETTE**

### **Applications and Network Technology for Teleteaching**

**März 2002**



## Inhaltsverzeichnis

<b><u>0</u></b>	<b><u>Allgemeine Angaben</u></b> .....	<b>5</b>
<u>0.1</u>	<u>DFN-Geschäftszeichen</u> .....	5
<u>0.2</u>	<u>Antragsteller</u> .....	5
<u>0.3</u>	<u>Thema des Projekts</u> .....	5
<u>0.4</u>	<u>Förderzeitraum insgesamt, Berichtszeitraum</u> .....	5
<b><u>1</u></b>	<b><u>Teilprojekt 1: Erweiterte Infrastruktur für Home Learning (Interactive Home Learning über ADSL)</u></b> .....	<b>6</b>
<u>1.1</u>	<u>Teilnehmer</u> .....	6
<u>1.2</u>	<u>Ziele des Teilprojekts</u> .....	6
<u>1.3</u>	<u>Durchführung der Projektarbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen</u> .....	7
<u>1.4</u>	<u>Publikationen aus Teilprojekt 1</u> .....	24
<b><u>2</u></b>	<b><u>Teilprojekt 2: Multimedia Lecture Board (mlb)</u></b> .....	<b>25</b>
<u>2.1</u>	<u>Teilnehmer</u> .....	25
<u>2.2</u>	<u>Ziele des Teilprojekts</u> .....	25
<u>2.3</u>	<u>Durchführung der Projektarbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen</u> .....	25
<u>2.4</u>	<u>Publikationen aus Teilprojekt 2</u> .....	36
<b><u>3</u></b>	<b><u>Teilprojekt 3: Sicherungssystem zum Schutz von Urheberrechten an Teachware</u></b> .....	<b>38</b>
<u>3.1</u>	<u>Teilnehmer</u> .....	38
<u>3.2</u>	<u>Ziele des Teilprojekts</u> .....	38
<u>3.3</u>	<u>Durchführung der Projektarbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen</u> .....	39
<u>3.4</u>	<u>Publikationen aus Teilprojekt 3</u> .....	45
<b><u>4</u></b>	<b><u>Abschließende Bemerkungen</u></b> .....	<b>45</b>
<b><u>5</u></b>	<b><u>Danksagung</u></b> .....	<b>46</b>



## Abschlussbericht über das DFN-Projekt

# ANETTE

## – Applications and Network Technology for Teleteaching –

### 0 Allgemeine Angaben

#### 0.1 DFN-Geschäftszeichen

ANETTE  
Auftragsnummer TK 602-VA/T 102.1

#### 0.2 Antragsteller

Prof. Dr. Wolfgang Effelsberg  
Lehrstuhl für Praktische Informatik IV  
Universität Mannheim  
L 15, 16  
68131 Mannheim  
Tel.: 0621 / 181 2600  
Fax.: 0621/ 181 2601  
E-Mail: effelsberg@informatik.uni-mannheim.de

Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke  
Lehrstuhl Kommunikationsnetze - ComNets  
RWTH Aachen

Dr. Heinrich J. Stüttgen  
NEC Europe Ltd., C&C Research Laboratories, Heidelberg

Prof. Dr. Thomas Ottmann  
Lehrstuhl für Algorithmen und Datenstrukturen  
Institut für Informatik  
Universität Freiburg

#### 0.3 Thema des Projekts

Entwicklung von Netzinfrastrukturen, Anwendungen und Sicherheitstechniken für Teleteaching

#### 0.4 Förderzeitraum insgesamt, Berichtszeitraum

Das Projekt ANETTE wurde ursprünglich vom 01.10.1999 bis 30.09.2001 beantragt. Wegen rechtlicher Details in der Vertragsgestaltung konnte das Teilprojekt bei NEC in Heidelberg erst zum 01.01.2000 begonnen werden, es lief bis zum 31.12.2001. An der Universität Mannheim wurde eine kostenneutrale Verlängerung vom 01.10. bis zum 31.12.2001 beantragt und bewilligt; so konnten die Arbeiten synchron mit NEC angeschlossen werden. An der Universität Freiburg wurde eine kostenneutrale Verlängerung bis zum 30.06.2002 beantragt und be-

willigt; es wird allerdings nur noch eine Hilfskraft für den Abschluss der Entwicklungsarbeiten an der in Freiburg entwickelten Software finanziert.

Dem DFN-Verein wurden vertragsgemäß halbjährliche Zwischenberichte vorgelegt. Dieser Abschlussbericht bezieht sich auf den gesamten bisherigen Projektzeitraum vom 01.10.1999 bis zum 31.12.2001 und schließt die Zwischenberichte mit ein. Die Universität Freiburg wird zum Zeitpunkt des dortigen Projektendes am 30.06.2002 einen Nachtrag über die restlichen Arbeiten abliefern.

## **1 Teilprojekt 1: Erweiterte Infrastruktur für Home Learning (Interactive Home Learning über ADSL)**

### **1.1 Teilnehmer**

Lehrstuhl Kommunikationsnetze - ComNets, RWTH Aachen

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Peyman Farjami

Lehrstuhl für Praktische Informatik IV, Universität Mannheim

Projektleiter: Prof. Dr. Wolfgang Effelsberg

Mitarbeiter: Dipl.-Wirtsch.-Inf. Christoph Kuhmünch

NEC Europe Ltd., C&C Research Laboratories, Heidelberg

Projektleiter: Dr. Heinrich J. Süttgen

Mitarbeiter: Dipl.-Inform. Thomas Dietz, Dipl.-Math. Brigitta Lange

### **1.2 Ziele des Teilprojekts**

Ziel des Teilprojekts 1 „Interactive Home-Learning über ADSL“ war die praktische Erprobung der Breitbandzugangstechnologie ATM/ADSL für interaktive Tele-Lehr- und Lernszenarien.

Eine notwendige Voraussetzung für eine effiziente Übertragung von Tele-Lehrveranstaltungen über heterogene Netze (B-WIN, ATM, ADSL, ISDN) ist die IP-Multicast-Unterstützung. Diese wird aber in ATM/ADSL-basierten Zugangsnetzen nicht angeboten. In Teilprojekt 1 wurden daher Mechanismen und Netzwerkprotokolle zur Unterstützung von IP-Multicasting in ATM/ADSL-basierten Zugangsnetzen entwickelt und anhand von Teleteaching-Veranstaltungen erprobt und evaluiert.

Um bei der Übertragung von Medienströmen per Multicast eine möglichst gute Qualität für alle Teilnehmer zu erzielen, muss auch die unterschiedliche Bandbreite der Empfänger speziell berücksichtigt werden. Dazu wurde in diesem Teilprojekt neben einem Videoconferencing-Tool, das hierarchisch skalierte Videoströme unterstützt, auch ein Medienfilter zur Anpassung der Übertragungsraten und -qualitäten an die im Zugangsnetz verfügbare Bandbreite entwickelt und in die Multicast-Architektur für ATM/ADSL-basierte Zugangsnetze integriert.

Schließlich wurden im Rahmen dieses Teilprojektes zwei ADSL-Feldversuche durchgeführt, bei denen Studenten der RWTH Aachen von zu Hause aus über ADSL an Tele-Lehrveranstaltungen im Internet angebunden wurden. Diese Feldversuche dienten nicht nur dazu, die Funktionalität und Qualität der in den Teilprojekten 1 und 2 entwickelten Tools zu bewerten, sondern auch, die Akzeptanz des Szenarios bei den Studenten zu bewerten.

## **1.3 Durchführung der Projektarbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen**

### **1.3.1 AP 1.1 – Planung des ADSL-Feldversuchs: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Der ATM/ADSL-Feldversuchsaufbau an der RWTH Aachen wurde in Abstimmung mit den Projektpartnern und dem Rechenzentrum der RWTH Aachen festgelegt. Es wurden Testteilnehmer (Studenten der RWTH Aachen) im unmittelbaren Umkreis der für das Projekt zur Verfügung stehenden Vermittlungsstelle der Deutschen Telekom ermittelt und für einen ADSL-Anschluss ausgewählt. Mit der Deutschen Telekom wurden Verhandlungen zur weiteren Unterstützung und weiteren unentgeltlichen Nutzung des Telefonnetzes und der Ortsvermittlungsstelle 8 in Aachen-Hörn für die Belange des ANETTE-Feldversuchs aufgenommen. Der Versuchsablauf wurde zusammen mit den Projektpartnern so geplant, dass die um den Multicast-Access-Server erweiterte ATM/ADSL-Netzinfrastruktur bereits zu Beginn des Sommersemesters 2000 zu Testzwecken zur Verfügung stand, so dass ab dem Wintersemester 2000/01 regelmäßig die Übertragung von Lehrveranstaltungen über ADSL erprobt werden konnte. Alle zur Installation und Fernwartung des ATM/ADSL-Zugangnetzwerks benötigten Komponenten wurden von NEC angeschafft und zur Installation vorbereitet.

Ergebnis der Planung war die genaue Spezifikation des Versuchsaufbaus mit allen ATM/ADSL-Netzwerkcomponenten in den Anschlussbereichen der Teilnehmer, der Deutschen Telekom und dem Rechenzentrum der RWTH, die Spezifikation des entsprechenden ATM/ADSL-Labor-Testnetzwerks bei NEC in Heidelberg mit sechs ADSL-Clients, die Spezifikation des Feldversuchsablaufs in Übereinstimmung mit den Vorlesungszeiten, die Auswahl von ADSL-Testteilnehmern/Studenten im Umkreis der Ortsvermittlungsstelle Aachen-Hörn sowie die Beschaffung aller für den Aufbau des Feldversuchs benötigten Netzwerkcomponenten.

### **1.3.2 AP 1.2 – Aufbau der ADSL-Zugangnetzinfrastruktur: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Die prinzipielle Funktionsfähigkeit des spezifizierten Versuchsaufbaus wurde zunächst innerhalb des NEC-Labors in Heidelberg getestet. Dazu wurde das ATM/ADSL-Zugangnetzwerk mit sechs ADSL-Clients und einem IP-Multicast-Access-Server installiert. Nach Abschluss von erfolgreichen Stabilitäts- und Leistungstests des ersten Prototyps wurden im April 2000, gemäß der Spezifikation von AP1.1, alle Komponenten der ATM/ADSL-Zugangnetzinfrastruktur installiert, konfiguriert und in Betrieb genommen.

Im Rechenzentrum der RWTH Aachen wurden zugleich von NEC folgende Komponenten installiert: ein IP-Multicast-Access-Server, ein Multimedia-Server, ein Remote Power Manager und ein ATM-Switch. In der Ortsvermittlungsstelle der Deutschen Telekom in Aachen-Hörn wurde eine NEC ADSL-Leitungsabschlusskomponente (Optical Network Unit, ONU) inklusive POTS-Splitter-Shelf installiert, die bis zu 24 ADSL-Anschlussleitungen unterstützt. Die ONU ist über eine Dark Fibre der Deutschen Telekom mit dem ATM-Switch im Rechenzentrum der RWTH verbunden.

Zunächst konnten zwölf Teilnehmer, deren Wohnsitz sich im unmittelbaren Umkreis der Ortsvermittlungsstelle Aachen-Hörn befindet, über ADSL angeschlossen werden. Im November 2000 konnten dann nach längeren Verhandlungen mit der Deutschen Telekom weitere Teilnehmeranschlüsse frei geschaltet werden. Jeder der Testteilnehmer hat von NEC einen POTS-Splitter, ein ADSL-Modem sowie eine ATM-Netzwerkkarte für den PC erhalten.

Der Aufbau der Netzwerkcomponenten ist in Abbildung 1 gezeigt.

Ergebnis dieses Arbeitspakets war eine voll funktionsfähige, leistungsfähige und stabile, um direktes IP-Multicasting erweiterte ATM/ADSL-Zugangsnetzinfrastruktur, die bis zu 24 ADSL-Anschlüsse unterstützt. Die ADSL-Anschlüsse sind als ATM PVC's ausgelegt und so konfiguriert, dass die Downstream-Rate 4 Mbit/s Unicast und 2Mbit/s für Multicast beträgt. Die Zugangsnetzinfrastruktur wurde bereits im April 2000 installiert und in Betrieb genommen. Während der Projektlaufzeit wurden insgesamt 16 Anschlüsse aktiv von den Teilnehmern genutzt. Weitere Teilnehmer konnten jedoch nicht mehr angeschlossen werden, da die Deutsche Telekom während der Dauer des Projekts in den T-DSL Regelbetrieb übergegangen ist und eine offizielle Unterstützung des Feldversuchs sowie die Beschaltung neuer Teilnehmer durch NEC-Netzwerkcomponenten abgelehnt hat. Auch das Angebot, den Feldversuch mit T-DSL Equipment fortzuführen, wurde bedauerlicherweise von der Deutschen Telekom abgelehnt. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass die Deutsche Telekom die von den Projektpartnern für die Übertragung von Teleteaching-Sessions geforderte garantierte Downstream-Rate von 2 MBit/s nicht unterstützen wollte (siehe auch Kapitel 3.1.2 , 3. Zwischenbericht zu Teilprojekt 1).

Durch den frühen Aufbau des Multicast-Access-Servers im April konnten schon im Sommersemester 2000 erste Tests der Infrastruktur durchgeführt werden. Die installierte Infrastruktur hat sich als ausgesprochen zuverlässig erwiesen.

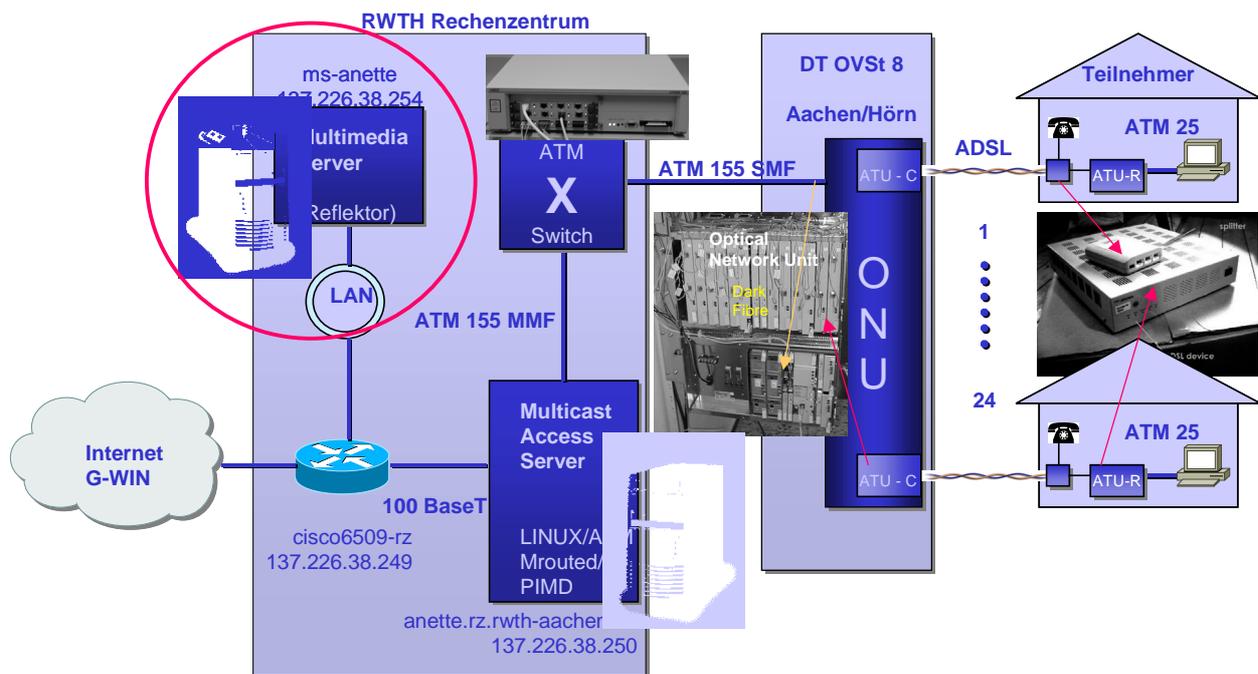


Abbildung 1: Aufbau der ATM/ADSL-Zugangsnetzinfrastruktur mit NEC-Komponenten

### 1.3.3 AP 1.3 – Test der ADSL-Zugangsnetzinfrastruktur: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Rahmen dieses Arbeitspakets wurden in Aachen Leitungsmessungen bezüglich äußerer und gegenseitiger Störungen von Telefon und ADSL-Modem sowie Messungen zur Ermittlung der maximalen Übertragungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Entfernung des Teilnehmeranschlusses von der Vermittlungsstelle durchgeführt. Um die Ursache von möglichen Störgeräuschen während des Telefonierens bei gleichzeitig eingeschaltetem ADSL-Modem zu ermitteln, wurde eine Frequenzanalyse der Telefonleitung durchgeführt.

Zur Ermittlung der maximalen Übertragungsraten für unterschiedliche ADSL-Leitungslängen wurde ein Java-Applet entwickelt, welches automatisch Datendurchsatztests vornimmt. Um für das Messverfahren vergleichbare Ergebnisse zu erzielen, wurde jedem Teilnehmer derselbe LINUX-Rechner mit vorinstalliertem Messverfahren und automatischer ADSL-Bandbreitenanpassung jeweils für einen Tag zur Verfügung gestellt. Durch die Leitungsmessungen konnten erfreulicherweise keine Störanfälligkeiten der ADSL- und Telefon-Leitungen bzgl. des Übersprechens (Crosstalk) festgestellt werden. Während der Frequenzanalyse der ADSL-Leitungen konnte zwar die Existenz von mehreren Störsendern (z.B. Radiosendern) beobachtet werden, die jedoch nicht stark genug waren, um das ADSL-Modem zu stören. Im Falle eines zu starken Störsenders wäre der negative Einfluss auf die Übertragungsrate nur sehr gering gewesen, da durch die DMT-Technik nur einer der 256 Übertragungskanäle ausgefallen wäre.

Die durchgeführten Datendurchsatztests ergaben, dass sich erwartungsgemäß der Downstream-Durchsatz mit zunehmender Entfernung (von 1,13 bis 2,75 km) verminderte, wobei das Optimum bei einer Leitungslänge zwischen 1,3 und 1,8 km gefunden wurde. Dies hängt mit der Optimierung der Abschlusswiderstände der ADSL-Modems für eine Durchschnittsleitung zusammen. Für eine detaillierte Beschreibung der Ergebnisse wird auf die Studienarbeit „Evaluation of an ADSL-based Access Network“ von Sebastian Böttger am Lehrstuhl für Kommunikationsnetze der RWTH Aachen) verwiesen.

#### **1.3.4 AP 1.4 – Betreuung des ADSL-Feldversuchs: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Die gemeinsame Betreuung des ADSL-Feldversuchs durch NEC und die RWTH Aachen wurde mit der Installation der Zugangsnetzinfrastruktur aufgenommen und kontinuierlich bis zum Ende der Projektlaufzeit fortgesetzt. Dabei wurden insbesondere folgende Arbeiten durchgeführt:

- Fernwartung und Konfigurationserweiterungen von Multicast-Access-Server, ATM-Switch und Optical Network Unit (z.B. im Zusammenhang mit der Beschaltung neuer Teilnehmeranschlüsse)
- Überprüfung und Austausch von ATM/ADSL-Netzwerkkomponenten
- Annahme und Überprüfung von Leitungsstörungen in Kooperation mit der Deutschen Telekom AG
- Update von Multicast-Access-Server und ATM-Patches auf aktuellere Versionen des Linux-Kernels
- Durchführung umfangreicher Leistungstests von Multicast-Server-Updates und Pflege von Backup-Systemen im Labor-Testbed bei NEC
- Webbasiertes Online-Monitoring zur Analyse des gesamten über den Multicast-Access-Server und alle Netzwerkschnittstellen ein- und ausgehenden Datenverkehrs
- Test und Analyse der Multicast-Router-Konfiguration der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum der RWTH Aachen unter Verwendung verschiedener Routing-Protokolle beim Multicast-Access-Server (z.B. PIM Sparse Mode Daemon versus MRout Daemon)
- Test der Multicast-Übertragung im RWTH-LAN und Wireless LAN (MOPS-Testbed der RWTH)
- Test der Mbone-Anbindung über das G-WIN zwischen Heidelberg, Mannheim und Aachen
- Einrichtung, Aktualisierung und Erweiterung von Projekt-Homepages und Mailing-Listen
- Distribution von Installations- und Konfigurationsskripten sowie Benutzeranleitungen zum Multicast-Betrieb über ADSL für verschiedene Linux-Distributionen

- Bereitstellung von Multicast-Access-Server Versions-Upgrades
- Durchführung von User-Workshops an der RWTH Aachen zur Einführung in den IP-Multicast Betrieb, und zur Vorbereitung auf den Vorlesungs- und Übungsbetrieb
- Technische Unterstützung beim Einsatz und der Anwendung der Mbone-Tools sowie des „mlb“
- Ankündigung, Übertragung und Auswertung von Multicast Test-Sessions (Audio, Video, Whiteboard) mit den ADSL-Teilnehmern
- Ankündigung der Vorlesungsübertragung und Vorabtests der Multicast-Verbindungen sowie Betreuung während und Besprechung nach den Teleteaching-Sessions.

Im Rahmen der Teilnehmerbetreuung ist die Organisation und Durchführung von User-Workshops an der RWTH Aachen besonders hervorzuheben. Die Workshops dienten dabei nicht nur der intensiven Einführung in den Multicast-Betrieb über ADSL und der Vorbereitung auf den Vorlesungsbetrieb, sie versetzten die Teilnehmer vor allem in die Lage, die Anbindung der individuellen PC-Systeme an den ADSL-Feldversuch selbständig durchzuführen. Darüber hinaus dienten sie auch dem Erfahrungsaustausch und der Förderung der Kooperation unter den Teilnehmern.

Ein weiteres Ergebnis dieses Arbeitspaketes waren die umfangreichen Benutzeranleitungen und Installationskripte für die verschiedenen Linux-Distributionen, die den Aufwand für die Konfiguration wesentlich erleichterten.

Die durchgeführten Wartungsarbeiten haben maßgeblich zur hohen Zuverlässigkeit und den sehr geringen Ausfallzeiten der gesamten ADSL-Zugangsnetzinfrastruktur während der Projektlaufzeit beigetragen. Somit konnten die Teilnehmer nahezu durchgehend die Vorteile des ADSL-Breitbanddienstes nutzen. Ein weiteres Ergebnis dieses Arbeitspaketes ist das webbasierte Online-Monitoring-System des Servers und der Netzwerkschnittstellen, das auf der Basis des Multi Router Traffic Grapher entwickelt wurde und damit optimal die Fernwartung unterstützt hat (siehe Abbildung 2).

### **1.3.5 AP 2.1 – Entwicklung eines Multiple Unicast ADSL Access Servers und Integration des Tools zur Medienfilterung: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Für den ersten Prototyp des Multiple Unicast ADSL Access Servers, den wir im Projekt einfacher als Multicast Access Server – Version 1 bezeichnet haben, wurde ein Lösungsansatz für ATM/ADSL-Zugangsnetze basierend auf ATM PVCs entwickelt, der direktes IP-Multicasting unterstützt und bereits nach kurzer Entwicklungszeit im Feldversuch eingesetzt werden konnte. Es wurde dazu ein IP-Multicast Router mit Multicast-Server-Funktionalität für ATM-Subnetze implementiert.

Zur Realisierung dieses Ansatzes wurden der Linux-Kernel und ATM für Linux dahingehend erweitert, dass auch Multicast-Adressen richtig aufgelöst und in die entsprechenden ATM-Adressen der ADSL-Empfänger umgesetzt werden. Der Multicast –Access-Server übernimmt dabei die Replikation und das Forwarding der Multicast-Daten über vorkonfigurierte ATM-PVCs. Jeder ADSL-Host im Zugangsnetz besitzt einen virtuellen Kanal zum Multicast-Access-Server, der jeweils ein separates Subnetz bildet.

Die Verwaltung der Gruppenmitgliedschaft basiert auf dem IGMP-Protokoll; als Multicast Routing Protokoll wurde zunächst DVMRP und später auch PIM eingesetzt. Zum Empfangen und Senden von Multicast-Daten über ATM/ADSL war es auch erforderlich, die Hosts im Zugangsnetz auf Multicast-Routing und das erweiterte Linux/ATM umzustellen. Um den Teilnehmern die Installation und Konfiguration ihres PCs möglichst zu erleichtern, wurden Installationspakete und Boot-Skripte entwickelt und verteilt.

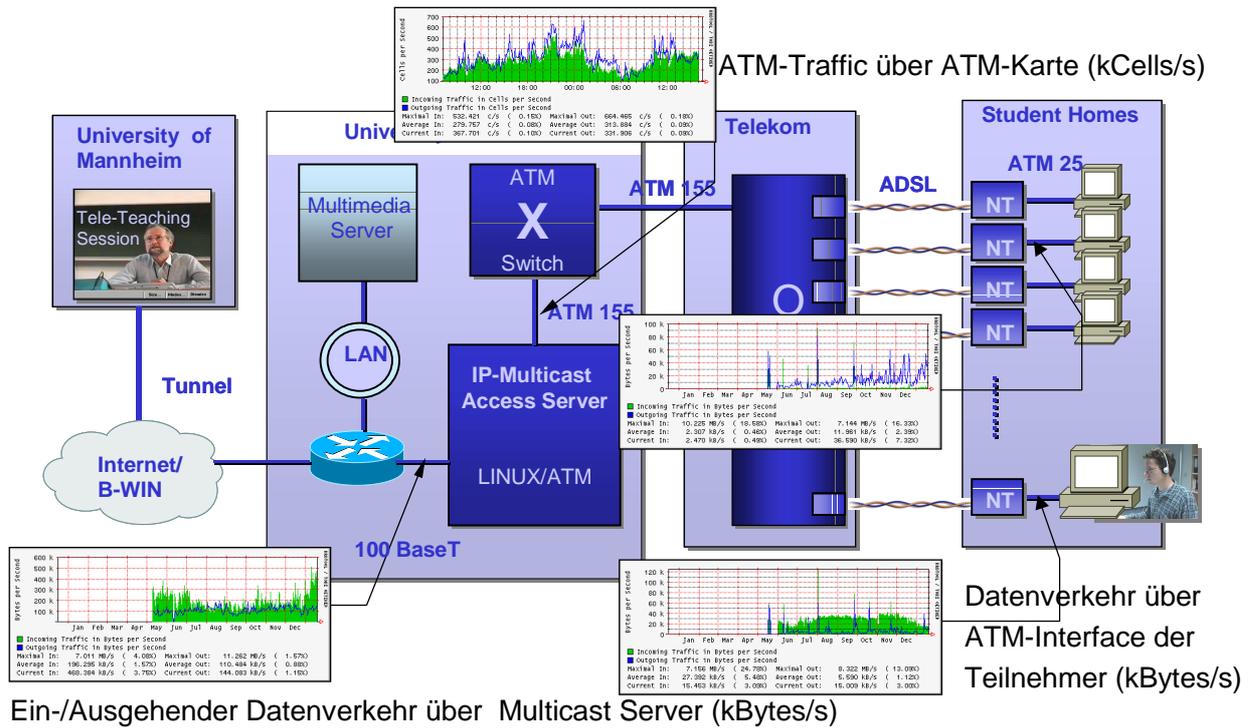


Abbildung 2: Monitoring der Netzwerkschnittstellen

Der erste Prototyp des Multicast-Access-Servers für ATM/ADSL wurde zunächst von NEC in einem ADSL-Labor-Testbed mit den sechs ADSL-Hosts eingehend getestet und bereits im April 2000 im Rechenzentrum der RWTH Aachen installiert und in Betrieb genommen. Seit her routet der Multicast-Access-Server sehr stabil den gesamten über das Zugangsnetz laufenden Datenverkehr. Seit Juli 2000 wird der Server anhand von Multicast-Test-Sessions im Aachener Testnetz praktisch erprobt.

Im Wintersemester 2000 konnte die erste Multimedialechnik-Vorlesung von Mannheim aus erfolgreich zu den ADSL-Teilnehmern nach Hause übertragen werden. Da aber zur Übertragung der Vorlesungen zwischen Mannheim und Aachen kein Kanal mit reservierter bandbreite (ATM PVC) zur Verfügung stand und die Anbindung mit Hilfe einer Reflektor-Software überbrückt werden musste, konnte der durch die ADSL-Technologie im Aachener Zugangsnetz zu erzielende Qualitätsvorsprung bedauerlicherweise nicht ausgeschöpft werden.

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit des Multicast-Access-Servers wurden daher zusätzliche Messungen zum Multicast-Datendurchsatz im Labor-Testbed in Heidelberg durchgeführt, die die Eignung des Multicast-Access-Servers für die Anforderungen des Projektes in Bezug auf die Größe der gegebenen ATM/ADSL-Infrastruktur und die Übertragungsqualität sicher stellten.

Im August 2001 konnte die Leistungsfähigkeit des MAS V.1 auch im Rahmen einer Vorlesung von Professor Effelsberg mit interaktiver Tele-Übung an der RWTH Aachen evaluiert werden.

Die Arbeiten zur Entwicklung und Evaluierung des ersten Prototyps des IP-Multicast-Access-Servers für ATM/ADSL Zugangsnetzwerke (MAS V.1) konnten erfolgreich mit der Integration des Medienfilters abgeschlossen werden. Der Prototyp, basierend auf dem Multicast Router Daemon oder wahlweise auch auf dem PIM Sparse Mode Daemon für Linux/ATM und

vorkonfigurierte ATM PVCs, steht in einer Binärversion mitsamt den Installationsskripten für die Linux-Distribution von SUSE zur Verfügung. Die Software wurde auf einem sehr leistungsfähigen PC installiert, der in die ADSL-Zugangsnetzinfrastruktur an der RWTH Aachen integriert wurde.

Der erste Prototyp des Multicast-Access-Servers stellt eine sehr gute Lösung für die Anforderungen des Teleteaching über ADSL in einer ATM/ADSL-Zugangsnetzinfrastruktur auf der Basis von vorkonfigurierten ATM PVCs dar. Der Server unterstützt direktes IP-Multicasting und konnte im Projekt ANETTE schon früh für die Übertragung von Multicast-Daten im Zugangsnetz eingesetzt werden. Der Lösungsansatz zeichnet sich weiterhin durch seine hohe Stabilität und Leistungsfähigkeit aus und ermöglicht eine sehr effektive Konfigurationskontrolle, da die ATM PVCs zwischen Server und Empfänger jeweils ein separates Subnetz bilden. Der Konfigurationsaufwand entspricht dem üblichen Aufsetzen eines ATM-PVCs; die Dienstgüte kann dabei für jede Verbindung separat eingestellt werden. Für den Feldversuch wurden die Multicast-Datenströme auf 2 Mbit/s beschränkt (siehe Abbildung 3).

Leistungsmessungen im Testbed haben gezeigt, dass der Multicast-Access-Server für das gegebene Szenario mit bis zu 24 ADSL-Teilnehmern die Last mühelos bewältigen kann; er überträgt die Multicastströme verlustfrei und synchron zu allen Empfängern und wird damit auch den Anforderungen an die Übertragungsqualität gerecht.

Aufgrund der guten Ergebnisse wurde beschlossen den Multicast-Access-Server V.1 bis zum Ende der Projektlaufzeit für die Zwecke des Teleteaching im Rahmen des ANETTE-Projektes zu verwenden. Der Multicast-Access-Server V.1 ist daher seit seiner Installation dauerhaft in Betrieb und hat sich als äußerst stabil und sehr leistungsfähig erwiesen.

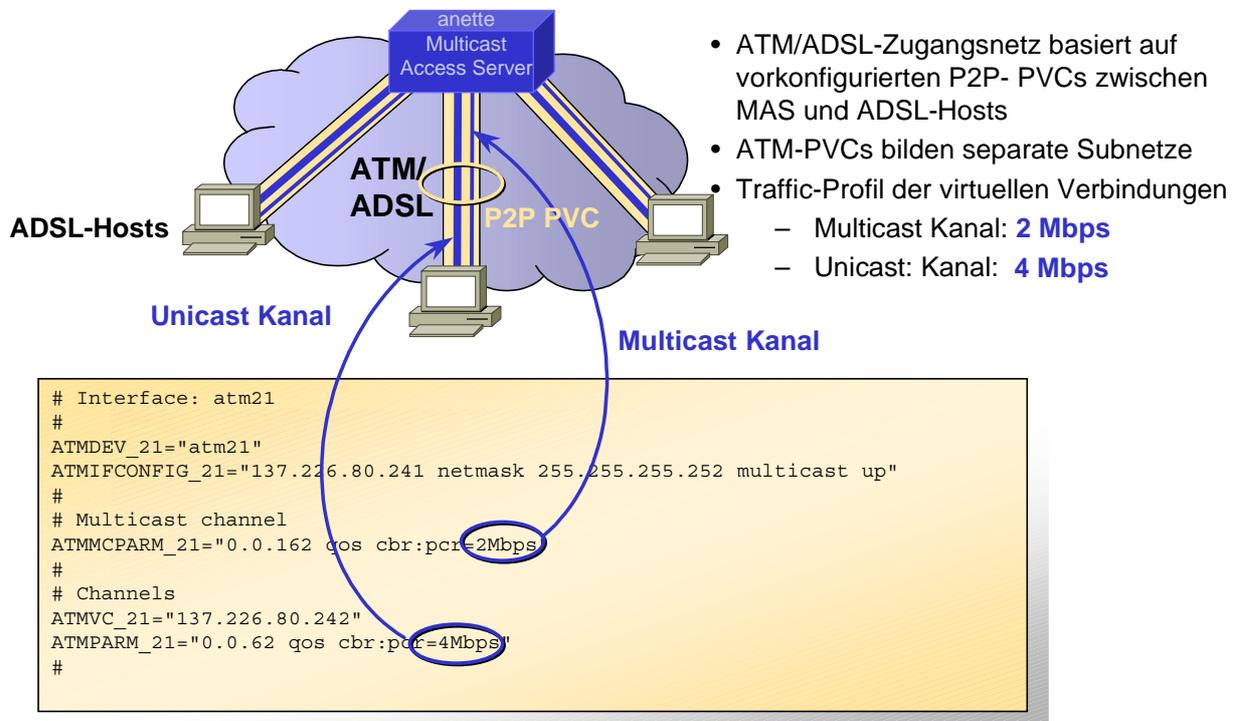


Abbildung 3: Konfiguration der Dienstqualität im ATM/ADSL-Zugangsnetz mit IP-Multicast-Unterstützung

### **1.3.6 AP 2.2 – Entwicklung eines Multicast-Access-Servers – Version 2: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

#### **Entwicklung eines ADSL Multicast-Access-Servers V.2**

Bei dem Multicast-Access-Server V.2 (MAS V.2) handelt es sich um einen alternativen Lösungsansatz zur Unterstützung von IP-Multicast in ATM/ADSL-Zugangsnetzen auf der Basis vorkonfigurierter ATM PVCs, der sich an dem von der IETF vorgeschlagenen Standard für IP-Multicast über ATM-Netzwerke mit ATM SVCs (RFC 2022) orientiert. Dieser Ansatz ist aufgrund seiner Skalierbarkeit insbesondere auch für den Einsatz in Szenarien mit sehr großer sich dynamisch ändernder Anzahl von Teilnehmern geeignet. Um dies zu erreichen, setzt der Ansatz allerdings auf die Verwendung von ATM SVCs.

Da die auf ATM basierenden ADSL-Zugangsnetze in Aachen keine SVCs unterstützen, musste der Lösungsansatz mit MARS (Multicast Address Resolution Server)/MCS (Multicast Server) auf Zugangsnetze mit statisch vorkonfigurierten ATM PVCs angepasst werden. Dies betrifft vor allem die Implementierung des MCS.

Im Rahmen dieses Arbeitspaketes wurde ein erster Prototyp des Multicast-Access-Servers V.2 auf der Basis von MARS/MCS für ATM/ADSL-Zugangsnetze mit ATM PVCs entwickelt und getestet. Der Multicast Address Resolution Server verwaltet dabei die Daten über die Abbildung von Multicast-Adressen der Vermittlungsschicht. Der Multicast Server (MCS) übernimmt die Multicast-Kommunikation, d.h. die Replikation und das Weiterleiten der Daten über ATM-PVCs. Der MAS V.2 basiert auf dem Linux-Betriebssystem, so dass auch hier zur Übertragung von Multicast-Daten die ATM-Unterstützung für den Linux-Kernel erweitert werden musste.

Da die SVC-Unterstützung für ATM/ADSL-Zugangsnetze weiterhin nicht absehbar war, musste festgestellt werden, dass mit der Verwendung des ursprünglich angestrebten MARS/MCS-Lösungsansatzes kein echter Vorteil für die Belange des Teleteaching über ADSL im Rahmen des ANETTE-Projektes zu erzielen war. Es musste vielmehr damit gerechnet werden, dass sich diese Lösung im Einsatz als sehr viel weniger leistungsfähig und stabil als der MAS V. 1 verhalten würde, da sie auch mit einem wesentlich höheren Implementierungs-, Verwaltungs- und Konfigurationsaufwand einher geht. NEC hat deshalb in Abstimmung mit den Projektpartnern die Weiterentwicklung des MAS V.2 eingestellt und sich stattdessen auf die Weiterentwicklung von Medienfilter-Mechanismen und deren Integration in den MAS V.1 konzentriert.

Der Prototyp des Multicast-Servers wurde auch als Grundlage für die Integration des im Rahmen von Arbeitspaket 3 entwickelten Medienfilters verwendet. Da sich aber im weiteren Projektverlauf zeigte, dass die Voraussetzungen für den effizienten Einsatz dieser Lösung im ADSL-Feldversuch gegenwärtig und auch in absehbarer Zukunft nicht gegeben sind und sich MAS V.1 als überraschend leistungsfähig erwies, wurde die Weiterentwicklung des MAS V.2 eingestellt. Stattdessen wurde von den Mitarbeitern des Teilprojekts 1 der Medien-Filter-Mechanismus weiter entwickelt und in die Output-Queues des MAS V.1 integriert.

#### **Entwicklung eines Medienfilters für den Multicast-Access-Server V.1**

Der Medienfilter hat die Aufgabe, bei der Übertragung von hierarchisch codierten Videoströmen per Multicast ein Überlaufen der Input-Queue des Multicast-Servers durch intelligentes Packet-Dropping zu verhindern. Damit übernimmt der Medienfilter während der Übertragung von Video-Strömen im ATM/ADSL-Zugangsnetz die Funktion der Lastkontrolle bei der Daten-Replikation für die jeweiligen Output-Queues des MAS V.1. Dadurch besteht auch die Möglichkeit, in Zugangsnetzen mit geringerer Bandbreite als den im Feldversuch garantierten 2 Mbit/s mit Hilfe des Medienfilters eine Adaption an die jeweiligen Ressour-

cen/Benutzerbandbreiten bei Erhaltung maximaler Bildqualität zu gewährleisten (siehe auch Abbildung 4).

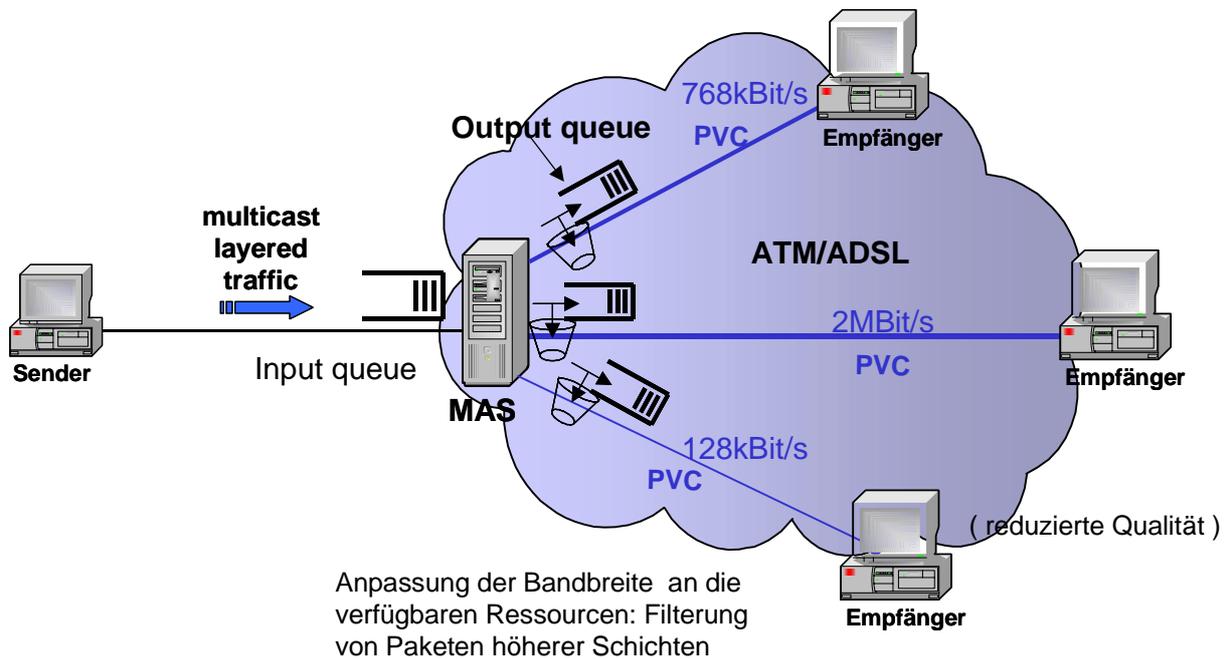


Abbildung 4: Integration des Medien-Filter-Mechanismus in den Multicast-Access-Server V.1

Der NEC-Medienfilter für den MAS V.1 ist ein Filtermechanismus, der für das Linux-Betriebssystem entwickelt wurde und speziell auf die Filterung von Layered H.261-RTP-Videopaketen abgestimmt ist. Dabei ergänzt die Layered H.261-Videokodierung den H.261-Standard um eine hierarchische Komponente. Die einzelnen RTP-Pakete enthalten die Hierarchieebene in den Daten des Paketkopfes. Auf der Basis dieser Information kann der NEC-Medienfilter den Standard-Warteschlangenalgorithmus der ausgehenden Schnittstelle ersetzen. Er erweitert ihn um folgende Komponenten:

- Erkennen von Layered H.261-RTP-Videopaketen
- spezieller Algorithmus zum Verwerfen von diesen RTP-Videopaketen beim Überlaufen der Warteschlange.

Im folgenden wird der Algorithmus zum Einreihen von Paketen in die Warteschlange kurz beschrieben. Zuerst wird geprüft, ob es sich um ein Layered H.261-RTP-Videopaket handelt. Ist das eintreffende Paket kein solches Paket, wird es entweder ganz normal in die Warteschlange eingereiht oder, wenn die Warteschlange voll ist, verworfen. Wird das Paket als RTP-Videopaket erkannt, muss es zusätzlich zum normalen Einreihen in die Warteschlange noch in eine weitere Warteschlange eingereiht werden; dazu ist für jede mögliche Hierarchieebene eine eigene Warteschlange vorgesehen. Zunächst wird jedoch geprüft, ob die Standard-Warteschlange voll ist. Ist dies der Fall, wird geprüft, ob sich ein Paket mit höherer Hierarchieebene (und somit mit weniger wichtigen Bildinhalten) bereits in der Warteschlange befindet. Wird ein solches Paket gefunden, dann wird dieses Paket verworfen und das gerade eingetroffene, neue Paket eingereiht. Wird kein solches Paket gefunden, muss das neue Paket verworfen werden. Mit diesem Algorithmus wird sicher gestellt, dass die Pakete mit niedrigen Hierarchieebenen (und somit wichtigen Bildinhalten) stets bevorzugt behandelt werden und im Falle einer vollen Warteschlange immer noch weiter geleitet werden.

Die technische Realisierung des NEC Medienfilters für den MAS V.1 erfolgte als zusätzliche Warteschlange (Queuing Discipline, wie auch CBQ, RED oder ähnlichen) im Traffic-Control-Teil des Linux-Kernels. Somit lässt sich der Medienfilter bei Bedarf ein- und ausschalten und kann über bestimmte Parameter gesteuert werden. Dazu wird das Programm "tc" aus dem "iproute2"-Paket verwendet. Es wurde eine zusätzliche dynamische Bibliothek erstellt, um dem "tc"-Programm die Übergabe spezifischer NEC-Medienfilter-Parameter zu ermöglichen.

Die Implementierung einer Warteschlange pro Hierarchie-Ebene wurde gewählt, um das Paket mit der höchsten Hierarchieebene, das zuletzt eingetroffen ist, möglichst effizient zu ermitteln. Dabei wurde Speicherplatz gegen Geschwindigkeit abgewogen und durch das aktuell ausgewählte Konzept ein Kompromiss zwischen beidem gewählt. Des Weiteren hat dieses Konzept den Vorteil, dass kein Speicherplatz dynamisch reserviert und freigegeben werden muss; damit wird das Risiko von Speicherüberläufen bzw. Fehlzugriffen auf bereits freigegebenen Speicher minimiert.

### 1.3.7 AP 3.1 – Analyse der Anforderungen an Videoskalierungsverfahren: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Arbeitspaket wurde analysiert, welche besonderen Anforderungen das Home-Learning-Szenario an ein Video-Tool stellt. Im Rahmen des Projektes ANETTE sollten Lehrveranstaltungen über verschiedene Netzwerktechnologien transportiert werden. Zu diesem Zweck werden die Medien Video, Audio, Whiteboard und Animationen eingesetzt. Nachfolgend werden die wichtigsten Anforderungen an ein solches Video-Tool aufgeführt.

Bei Tele-Veranstaltungen im ANETTE-Projekt können Teilnehmer partizipieren, die über sehr unterschiedliche Ressourcen verfügen. In Multimedia-Hörsälen werden leistungsstarke Workstations eingesetzt, die mit hochwertigem Video- und Audio-Equipment ausgestattet sind. Heimbewerber verfügen dagegen normalerweise nur über PCs, die in ihrer Leistungsfähigkeit stark differieren können und auch nur teilweise mit Video-Equipment ausgestattet sind. Große Differenzen bestehen auch bei der eingesetzten Netzzugangstechnologie. Tabelle 1 stellt die Bandbreitenbegrenzungen für die unterstützten Netzzugangstechnologien zusammen.

Tabelle 1: Bandbreiten verschiedener Teilnehmer am Teleteaching

<i>Teilnehmergruppe</i>	<i>Maximale Bandbreite</i>	<i>Leistungsfähigkeit</i>
Entfernte Hörsäle im VIROR-LAN	4 MBit/s	Unix-Workstation (Sun oder Linux-PCs)
ADSL-Teilnehmer	1 MBit/s	Linux-PCs
ISDN-Benutzer	64kbit/s oder 128kbit/s	Linux-PCs oder Windows
Sonstige Mbone-Teilnehmer	unterschiedlich	verschiedene

### Eigenschaften von Teleteaching-Veranstaltungen

Bei den per Teleteaching übertragenen Veranstaltungen handelt es sich um bewährte Lehr-/Lernszenarien, die seit geraumer Zeit in der Hochschulausbildung eingesetzt werden und die an der Universität Mannheim an ein Teleteaching-Szenario angepasst wurden. Insbesondere werden Vorlesungen, Seminare und Tutorien übertragen.

**Vorlesungen** verlaufen weitgehend *unsymmetrisch*, d.h. es gibt einen aktiven Teilnehmer (den Dozenten) und eine Reihe von passiven Zuhörern, die sich gelegentlich zu Wort melden.

Für die Übertragung von Audioströmen bedeutet dies, dass normalerweise nur einer der Teilnehmer Audio sendet. In der Regel (außer in Fragephasen) handelt es sich dabei um den Dozenten. Auch Whiteboard- und Animationsdaten werden fast ausschließlich vom Dozenten produziert. Videodaten können jedoch grundsätzlich von allen Teilnehmern produziert werden, wobei jedoch das Video des Vortragenden die höchste Priorität hat.

**Seminare** sind in der Regel in zwei Phasen unterteilt. Die erste Phase verläuft wie die Vorlesung weitgehend unsymmetrisch. Die Medienströme des Vortragenden Studenten müssen zu den (passiven) entfernten Teilnehmern übertragen werden. In der zweiten Phase findet eine Diskussion über den Vortrag statt, d.h. die Kommunikation verläuft symmetrisch. Da in der Tele-Situation der direkte Sichtkontakt fehlt, hat es sich dabei bewährt, wenn einer der Teilnehmer als Moderator fungiert. Dieser hat die Aufgabe, für eine geordnete Diskussion zwischen den Teilnehmern zu sorgen. Dazu erteilt der Moderator jeweils das Wort an einen der Teilnehmer (»Floor Control«). Auch in diesem Szenario wird Audio normalerweise nur von einem Teilnehmer ausgestrahlt. In der ersten Phase handelt es sich dabei zumeist um den Vortragenden Studenten, in der zweiten Phase können die Sprecher jedoch wechseln. Analog verhält es sich mit Whiteboard- und Animationsdaten. Da in diesem Szenario eine Diskussion aufkommen soll, erhält das Video eine höhere Bedeutung als im Vorlesungsszenario. Allerdings liegt auch hier wiederum die Priorität beim jeweiligen Sprecher.

**Tutorien** dienen zur Vertiefung des in den Vorlesungen und Übungen erlernten Stoffes. Die im Projekt InteractiveHome Learning evaluierten Teleteaching-Tutorien haben sich durch folgenden Ablauf ausgezeichnet: Zur Vorbereitung auf das Tutorium sind von den Studierenden im Verlaufe einer Woche einige Übungsaufgaben zu Hause zu lösen. Während des Tutoriums präsentieren die Studierenden dann ihre Lösungen mit Hilfe des Whiteboards. Die übrigen Teilnehmer an der Veranstaltung können Fragen zur vorgestellten Lösung stellen und alternative Lösungswege vorschlagen. Der Übungsleiter fungiert dabei als Moderator (»Floor Control«). Die Auswirkungen auf die übertragenen Medienströme sind ähnlich denen des Seminars. Lediglich die Häufigkeit des Sprecherwechsels ist hier höher.

### **Technische Anforderungen**

Neben den üblichen Anforderungen an ein Videoconferencing-Tool wie das Senden eines Videos sowie des Empfangens und Decodierens mehrerer Videoströme in verschiedenen Medienformaten sind auch die Besonderheiten von Lehrveranstaltungen zu berücksichtigen. Dabei spielen die folgenden beiden Vorgaben eine zentrale Rolle: Zum einen verfügen die Teilnehmergruppen über unterschiedliche Ressourcen und zum anderen verfügen die Szenarien über symmetrische und unsymmetrische Kommunikationsphasen.

Diese beiden Beobachtungen führen zu folgenden technischen Anforderungen:

- Das Video muss in hierarchischer Form übertragen werden, um eine optimale Anpassung an die jeweils vorhandene Bandbreite zu gewährleisten. Dabei sollten sich die Medienströme möglichst automatisch an die jeweils vorhandenen Bandbreiten anpassen.
- Es wird ein Medienfilter benötigt, welches das hierarchisch strukturierte Video filtert.
- Auch bei Teilnehmern mit leistungsstarkem Equipment ist davon auszugehen, dass Ressourcenengpässe auftreten werden. Dies gilt insbesondere dann, wenn viele der Teilnehmer ein Videosignal senden. Deshalb muss eine intelligente Filterung erfolgen, die im Falle eines Engpasses den Videostrom des wichtigsten Teilnehmers priorisiert. In der Regel ist der aktuelle Sprecher und/ oder der Moderator der wichtigste Teilnehmer.
- Die Benutzer müssen verschiedene Rollen annehmen können.

Das Interactive-Home-Learning wendet sich an Studierende, die sich per ADSL oder ISDN (64/128 kbit/s) in eine Tele-Vorlesung einwählen und diese am heimischen PC verfolgen können. Für diese Studenten ist auch eine Interaktion mit dem Dozenten möglich, falls diese

eine entsprechende Hardware (Duplex-Soundkarte, Mikrophon, Videokarte, Kamera) zur Verfügung haben. Das Home-Learning-Szenario zeichnet sich vor allem durch seine hohe Anzahl an Teilnehmern aus, die über unterschiedlichste Hardware-Ressourcen verfügen. Daraus lassen sich die folgenden weiteren Anforderungen herleiten:

- **Codec mit geringer Kodierungskomplexität:** Es steht zu erwarten, dass viele der Home-Teilnehmer nur über eine wenig leistungsfähige Hardware verfügen. Um auch diesen Teilnehmern das Codieren und Senden von Video zu ermöglichen, sollte das Verfahren nur eine geringe Komplexität haben.
- **Flexible Skalierbarkeit:** Unsere Untersuchungen zeigten, dass oftmals nicht die vorhandene Datenrate des Netzwerkes den begrenzenden Faktor darstellen, sondern vielmehr die Rechenleistung der eingesetzten Hardware entscheidend für die Darstellung des Videos war. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass der Codec in der Lage ist, das Video auf eine hohe Anzahl von Schichten zu verteilen.
- **Leichte Filterbarkeit:** Beim Filtern von Videoströmen entsteht eine starke Zusatzbelastung des Routers, der das Filtern durchführt. Deshalb ist es wichtig, dass das Filtern durch einen einfachen Mechanismus möglich ist. Es wird ein Verfahren bevorzugt, bei dem lediglich einige wenige Header-Flags von Netzwerkpaketen durch den Router zu Parsen sind, um zu entscheiden, ob das Paket verworfen werden muss. Transcoder-Ansätze sind in Szenarien mit vielen Teilnehmern ungeeignet.

### **1.3.8 AP 3.2 – Analyse und Evaluierung existierender Verfahren zur Medienskalierung: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

In diesem Arbeitspaket wurden verschiedene Verfahren zur Skalierung evaluiert. Zu diesem Zweck wurden Codecs für die folgenden vier Skalierungsansätze implementiert:

- Skalierung durch Aufteilen der DCT-Koeffizienten (LDCT)
- Skalierung durch Teilband-Filterung basierend auf Wavelets (DWT)
- Skalierung durch mehrstufige Quantisierung der DCT-Koeffizienten, (LQ-DCT)
- Pyramidencodierung (PYR).

Mit Hilfe der Verfahren wurden eine Reihe kurzer Videoströme von ca. 15 s Länge codiert. Das Testmaterial stammte von einer analogen Bildquelle (im PAL Format), digitalisiert mit Hilfe einer TV-Grabber-Karte. Das digitalisierte Material wurde als YUV-Bildfolge im CIF-Format abgespeichert. Im Anschluss wurde es mit Hilfe der Codecs in verschiedenen Qualitätsstufen codiert und decodiert. Die erreichte Bildqualität wurde mit Hilfe der Signal-to-Noise-Ratio (SNR) und einer speziell dafür entwickelten Metrik (Dissertation von van den Branden Lambrecht, BL) gemessen. Zusätzlich haben 30 Testpersonen die Qualität mit Hilfe eines Fragebogens beurteilt.

Die Evaluation umfasste zwei Testszenarien: Im ersten Szenario wurden sieben verschiedene Videoströme mit Hilfe der vier Verfahren codiert. Einige der Videos wurden dabei mehrmals in unterschiedlicher Datenrate codiert. Bei diesem Test stand weniger die Evaluation der Bildqualität im Vordergrund. Ziel des Experimentes war es vielmehr, die Qualitätsmetriken auf ihre Eignung hin zu überprüfen und eine Zuordnung zwischen den Werten der Metriken und dem visuellen Empfinden der Testkandidaten herzustellen. Das Verfahren zielt insbesondere auf die Überprüfung des Maßes von van den Branden Lambrecht ab. Der Test diente weiterhin auch zur Validierung und "Eichung" der Qualitätsmetriken. Die elf Videos wurden mit den vier Codecs bearbeitet. Die Parameter der Codecs wurden dabei so eingestellt, dass sie Ausgabeströme mit annähernd gleicher SNR (signal-to-noise ratio) produzieren.

Der zweite Versuchsabschnitt unterschied sich vom ersten insbesondere dadurch, dass nun Videos mit vergleichbarer Bitrate, aber verschiedener SNR zur Beurteilung vorgelegt wurden.

Folgerichtig wurde den Probanden im zweiten Teil parallel ein Video in fünf Formaten (zusätzlich zum unkomprimierten ursprünglichen Video eine in vier Transformationen codierte Videosequenz) mit der Bitte vorgeführt, die Qualität jedes Films auf einer fünfstufigen Skala (von sehr gut bis unbefriedigend) einzustufen. Nach diesem Szenario folgt die vergleichende Bewertung eines zweiten, wiederum mit vier Transformationen codierten Films. Insgesamt wurden in diesem Versuchsabschnitt sieben Videos vorgeführt. Ziel des Versuches war es, die Bildqualität der Verfahren zu evaluieren.

Tabelle 2 gibt die durchschnittliche Beurteilung der vier Codierungsverfahren im Überblick an. Dabei entspricht der Mittelwert der mittleren Note, die die Testpersonen einem Video gegeben haben. Die Note 1 entspricht "sehr gut", die Note 5 entspricht "mangelhaft". Umgekehrt verhält es sich bei der SNR. Hier steht eine große Zahl für hohe Qualität, während kleine Werte ein tendenziell schlechtes Ergebnis ausdrücken:

Tabelle 2: Qualitätsbewertung verschiedener hierarchischer Codierverfahren

Transformation	Mittelwert	SNR	BL
LDCT	3,54	58,34	4,08
DWT	2,98	63,26	3,62
PYR	3,39	58,43	4,48
LQ-DCT	4,20	53,29	13,64

Tabelle 2 zeigt, dass eine Codierung mit Hilfe von Wavelets (DWT) zum besten Ergebnis führt. An zweiter Stelle folgt das Pyramidenverfahren (PYR), dicht gefolgt vom Layered-DCT-Verfahren (LDCT). Die erste Testreihe zeigte, dass auch die automatisch berechneten Maße SNR und BL statistisch hochgradig signifikant mit der Wahrnehmung der Testkandidaten korrelieren, dass allerdings kein signifikanter Unterschied zwischen BL und SNR besteht. Daraus folgt, dass sich der Einsatz der aufwendigen van den Branden Lambrecht-Metrik BL nicht lohnt. Die zweite Testreihe hat gezeigt, dass die DWT bei konstanter Bitrate die beste Qualität erreicht. Es ist jedoch zu bedenken, dass sowohl DWT als auch PYR einen hohen Berechnungsaufwand verursachen. Aus diesem Grund wurde für die weitere Entwicklung LDCT gewählt.

### **1.3.9 AP 3.3 – Funktionale Spezifikation und Entwurf der Skalierungswerkzeuge: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

In diesem Arbeitspaket wurde ein hierarchischer Codec auf der Basis des bekannten Video-Tools vic konzipiert. Das Tool vic wurde vor allem deshalb gewählt, weil Portierungen für eine breite Anzahl von Plattformen existieren. Weiterhin wurde ein RTP-Profil für hierarchische Videos sowie ein RTP-Payload für LDCT konzipiert.

Zur Übertragung wurde zunächst ein RTP-Profil für Layered-Video entwickelt. Dieses legt zunächst ein spezielles Header-Feld fest, das die für die Decodierung wichtige Schichtnummer enthält. Erhält der Empfänger diese Information nicht, kann er im Falle eines Paketverlustes unter Umständen nicht mehr entscheiden, auf welcher Schicht sich die empfangenen Daten befinden, und ist damit nicht in der Lage, die Daten korrekt zu decodieren. Weiterhin legt das Profil folgende Regeln fest:

- In einem RTP-Paket dürfen sich nur Daten aus einer einzigen Schicht befinden.
- Der Decoder muss stets erkennen können, zu welcher Schicht ein Paket gehört.
- Um die zweite Regel erfüllen zu können, ist es sinnvoll, den RTP-Header um ein weiteres Feld zu erweitern, das die Nummer der Schicht enthält. Das Feld hat eine Länge von 6 Bits und erlaubt es damit, bis zu 64 verschiedene Schichten zu transportieren.

Während die erste und zweite Regel intuitiv einleuchtend sind, kann man gegen die dritte Regel einwenden, dass ein solches Demultiplexing der verschiedenen Schichten unter Umständen bereits auf der Netzwerkebene geleistet werden kann. Im Falle von IP kann dies beispielsweise dadurch erfolgen, dass für den Transport der verschiedenen Schichten verschiedene Port-Adressen verwendet werden. Alternativ kann die Schichtnummer aber auch auf das Prioritätsfeld des IP-Headers abgebildet werden (sowohl IP4 als auch IP6 stellen ein Prioritätsfeld in ihren Headern zur Verfügung). Gegen diese Einwände kann man allerdings hervorbringen, dass dies die Implementierungsfreiheit einer Applikation mit hierarchischen Strömen erheblich einschränkt. Außerdem sind die Kosten für ein zusätzliches Feld mit einer Länge von lediglich sechs Bit denkbar gering.

Da Basis- und Erweiterungsschicht unterschiedliche Informationen enthalten und außerdem die Daten der Erweiterungsschicht nutzlos sind, sofern nicht die entsprechenden Daten der Basisschicht vorliegen, ist es sinnvoll, jeweils unterschiedliche Felder in den RTP-Header aufzunehmen. Abbildung 5 zeigt als Beispiel die Header-Erweiterung für die Basisschicht. Die ersten sechs Bits (layer) enthalten die Layer-Nummer. Dieses Feld wird von allen hierarchisch codierten Medienströmen benutzt. Die nachfolgenden sechs Bits (no-runs) geben an, wieviele Runs aus jedem Block in dieser Schicht codiert sind. Dieser Wert darf sich nur zu Beginn eines neuen Bildes ändern. Die nachfolgenden vier Bits (unused) sind unbenutzt und müssen auf Null gesetzt sein. Es folgt eine 16 Bit lange Sequenznummer (sequence number). Sie wird ebenfalls von allen hierarchisch codierten Medienströmen benutzt und für jede Schicht separat inkrementiert. Die nachfolgenden 32 Bits enthalten dann alle Felder der Payload-Definition für H.261 aus RFC 2032. Diese Felder sind notwendig, um jedes RTP-Paket (der Basisschicht) unabhängig von allen vorhergehenden Paketen decodieren zu können. Die Header-Erweiterung für die Erweiterungsschichten ist ähnlich aufgebaut.

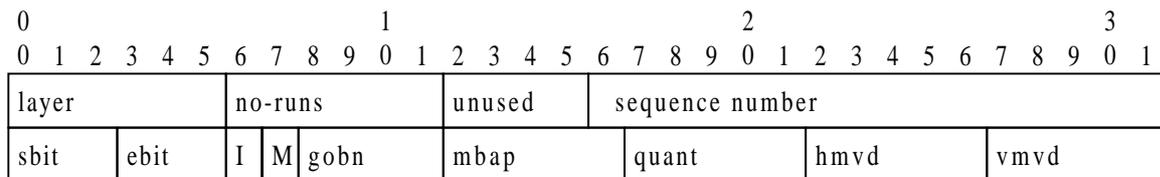


Abbildung 5: RTP-Header-Erweiterung der Basisschicht von Layered H.261

### 1.3.10 AP 3.4 – Prototypische Implementierung des Medienfilters und Integration in den ADSL-Multicast-Access-Server: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Der Medienfilter ist, wie bereits oben erwähnt, Bestandteil des MCS des Multicast-Access-Servers V.2. Seine Aufgabe ist es, im Falle eines Engpasses gezielt weniger wichtige Pakete (d.h. Pakete höherer Schichten) heraus zu filtern. Engpässe können in den folgenden beiden Fällen auftreten:

- Die Input-Queue des MCS ist voll und kann keine weiteren eingehenden Pakete mehr aufnehmen. Dieser Fall tritt ein, wenn mehr Pakete beim MCS eintreffen, als dieser verarbeiten kann.

- Es treten Paketverluste bei der Übertragung vom MCS zu einem ADSL-Empfänger auf. Dieser Fall tritt ein, wenn zu einem Empfänger eine größere Anzahl an Paketen weitergeleitet werden sollen, als dessen Netzwerkverbindung (d.h. die ADSL-Verbindung) übertragen kann.

Dementsprechend besteht der Filter aus zwei Stufen. Die erste Stufe filtert Pakete in der Input-Queue des MCS. Seine Aufgabe ist es, den MCS vor Überlastung zu schützen. Die zweite Stufe beeinflusst die Replikation von Multicast-Paketen zu jedem einzelnen Client. Anhand von Feedback-Meldungen des ADSL-Empfängers legt die zweite Stufe die höchste Schichtnummer für jeden einzelnen Empfänger fest.

Abbildung 6 zeigt die Funktionsweise des Filters und seine Integration in den MCS.

Test verschiedener Medienfilter-Policies für den MCS des MAS V. 2 im ATM/ADSL-Netz

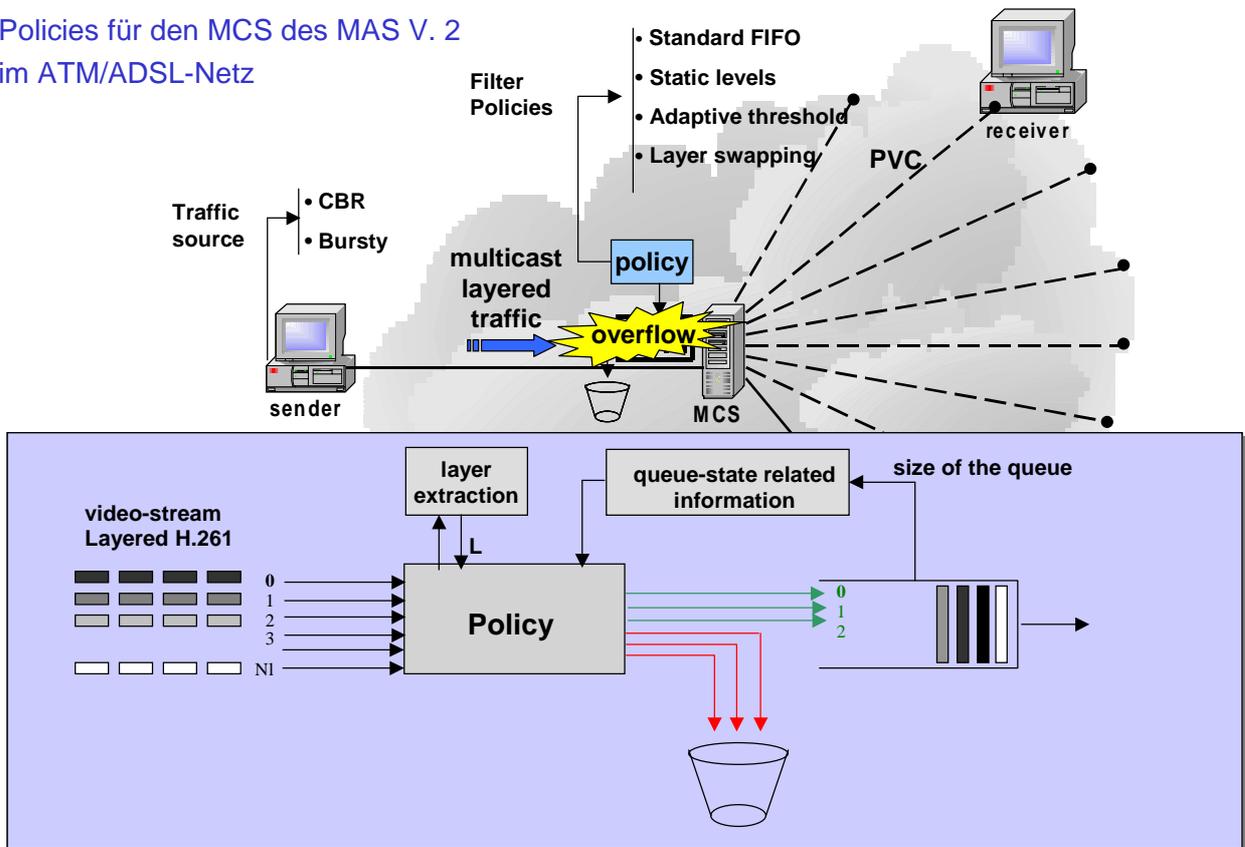


Abbildung 6: Integration des Medienfilters in den Multicast-Server

Der Medienfilter wurde zunächst in den MCS des Multicast-Access-Server V.2 integriert. Das Ziel des Medienfilters ist es, eine möglichst hohe Bildqualität zu erhalten. Ohne Filter würden zufällig Pakete verworfen werden. Dies hätte zur Folge, dass Pakete der wichtigen unteren Schichten mit der gleichen Wahrscheinlichkeit verworfen werden, wie auch Pakete der oberen Schichten.

Zur Priorisierung wurden drei verschiedene Filteransätze (Policies) evaluiert. Die erste Policy (level-based filtering) verwirft eintreffende Pakete in Abhängigkeit von der Länge der Input Queue des MCS. Die Policy definiert eine maximale Schicht  $S_{max}$ . Alle Pakete, die einer hö-

heren Schicht als  $S_{\max}$  angehören, werden verworfen. Übersteigt die Input-Queue eine gewisse Länge, wird  $S_{\max}$  dekrementiert.

Auch die zweite Policy (layer threshold filtering) wird im Wesentlichen durch die Länge der Input-Queue gesteuert. Diese Policy misst in regelmäßigen Abständen die Länge der Queue. Ist ihre Länge seit dem letzten Messzeitpunkt angewachsen, wird  $S_{\max}$  dekrementiert. Ist sie dagegen kürzer geworden, wird  $S_{\max}$  inkrementiert. Im Gegensatz zu den ersten beiden Policies reagiert die dritte Policy (layer swapping) erst dann, wenn die Input-Queue ihre maximale Länge erreicht hat. Ist dies der Fall und soll ein weiteres Paket an die Queue angehängt werden, wird das Paket mit der höchsten Schichtnummer in der Queue verworfen.

Abbildung 7 zeigt Messergebnisse mit den drei Policies.

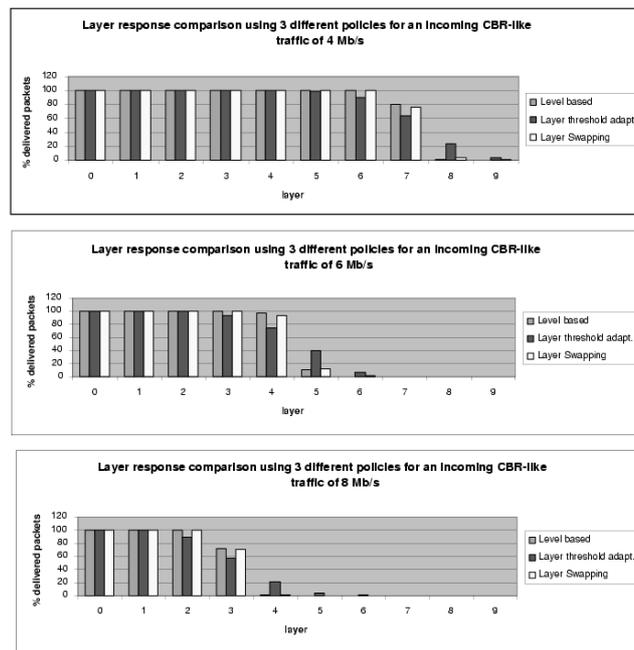


Abbildung 7: Verhalten des Medienfilters bei drei verschiedenen Policies

### 1.3.11 Arbeitspaket 3.5 – Implementierung der Medienskalierungswerkzeuge: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In diesem Arbeitspaket wurde ein Codec entwickelt, der hierarchisch codiertes Video erzeugt und mit Hilfe des von uns definierten RTP-Payloads für LDCT transportiert.

Wir haben Layered H.261-Encoding als neues Encoder- bzw. Decoder-Objekt für das Video Tool vic implementiert. Es kann über einen neuen Eintrag im Benutzermenü des vic aktiviert werden. Zur Regelung der Anzahl der Schichten stehen zwei Schieberegler zur Verfügung. Der eine Schieberegler erlaubt es, die Anzahl der Schichten beim Codieren festzulegen, der andere regelt die Anzahl der Schichten, die vom Decoder decodiert werden sollen.

### **1.3.12 Arbeitspaket 3.6 – Systemtest und Dokumentation: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Der Medienfilter ist nur dann in der Lage, einen Medienstrom zu filtern, wenn dieser dem von uns definierten RTP-Profil für hierarchisch codiertes Video entspricht. Der Medienfilter überprüft deshalb zunächst, ob der Medienstrom dem Profil entspricht. In der jetzigen Version kann der Filter allerdings noch getäuscht werden, da das Profile keine Prüfsumme enthält. Allerdings hat sich in der Praxis gezeigt, dass es extrem unwahrscheinlich ist, dass ein Medienstrom fälschlicherweise als hierarchischer Strom erkannt wird. Dies geschieht in der Regel nur dann, wenn absichtlich “falsche” Videostreams verschickt werden (Denial of Service Attack). Um solche Angriffe ausschließen zu können, ist es sinnvoll, in zukünftigen Versionen ein zusätzliches Feld mit einer Prüfsumme aufzunehmen.

Das gesamte System aus hierarchischem Video-Codec (erweitertes vic) in den Endsystemen und Medienfilter im MCS wurde systematisch und gründlich getestet. Es ist in vollem Umfang funktionsfähig, erfüllt die Anforderungen und arbeitet sehr zuverlässig.

### **1.3.13 Arbeitspaket 4 – Evaluation des Feldversuchs: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Ursprünglich war im Projekt ANETTE vorgesehen, eine Verbindung von Mannheim nach Aachen mit garantierter Bandbreite zu schalten, so dass die deutlich verbesserte Videoqualität Ende-zu-Ende übertragen werden könnte. Denn es macht wenig Sinn, in Aachen eine hochwertige Infrastruktur im Zugangnetz bereit zu stellen, wenn auf der Strecke vom Hörsaal in Mannheim zum Rechenzentrum der RWTH Aachen so hohe Paketverluste auftreten, dass eine signifikante Qualitätsverbesserung bei den teilnehmenden Studenten nicht mehr feststellbar ist. Über den gesamten Verbindungsweg von Hörsaal in Mannheim bis zu den Studenten in Aachen-Hörn sollten sämtliche Medienströme in hoher Qualität übertragen werden.

Leider ist es trotz intensiver Bemühungen aller Beteiligten im gesamten Projektverlauf nicht gelungen, von der Universität Mannheim zum Rechenzentrum in Aachen eine Strecke mit garantierter Bandbreite zu schalten. Zum Zeitpunkt der Antragstellung war hierzu eine ATM-Strecke mit dediziertem PVC geplant; mit Strecken dieser Art wurden in Baden-Württemberg im Projekt VIROR (Virtuelle Hochschule Oberrhein) seit 1996 sehr gute Erfahrungen gemacht. Allerdings wurden während des ANETTE-Projekts die ATM-PVCs aus dem Produktangebot des DFN-Vereins heraus genommen, und es gab keinen vergleichbaren Ersatz dafür. Im Frühjahr 2001 stellte daraufhin die Universität Mannheim beim DFN-Verein einen Sonderantrag auf Schalten einer Strecke nach Aachen mit Bandbreitenreservierung; sie erklärte sich auch bereit, die dafür anfallende Gebühr aus Universitätsmitteln zu tragen. Leider waren der DFN-Verein und die beteiligten Rechenzentren bis zum Projektende nicht in der Lage, diese so dringend benötigte Strecke zu schalten.

Um überhaupt einmal von Mannheim bis zu den Studenten in Aachen zu übertragen, wurde im letzten Quartal 2001 mit erheblichem Zusatzaufwand eine Notlösung implementiert: es wurden IP-Reflektoren eingerichtet, die den Hörsaal in Mannheim Punkt-zu-Punkt mit dem Rechenzentrum in Aachen verbanden. Es bestand die Hoffnung, dass auf Grund der sehr hohen Bandbreite im Backbone des Gigabit-WIN eine solche Punkt-zu-Punkt-Strecke auch ohne Bandbreitengarantie einen hohen Durchsatz ermöglichen würde. Es ergab sich die in Abbildung 8 dargestellte Situation.

Leider kam es im Laufe der Vorlesungsübertragungen während der Semester immer wieder zu Schwankungen der Übertragungsqualität und teilweise erheblichen Paketverlusten. Deshalb konnte die Übertragung einer einsemestrigen Vorlesung aus Mannheim über das Mbone des G-WIN nicht realisiert werden. Der Empfang und die Übertragung von Mbone-Sessions

in Aachen und über das ATM/ADSL-Zugangsnetz ist dabei in guter Qualität möglich. Jedoch konnten keine Vorlesungen aus dem Mannheimer VIROR-LAN hinaus in den Mbone des G-WIN übertragen werden. In diesem Punkt konnten die Projektziele nicht erreicht werden.

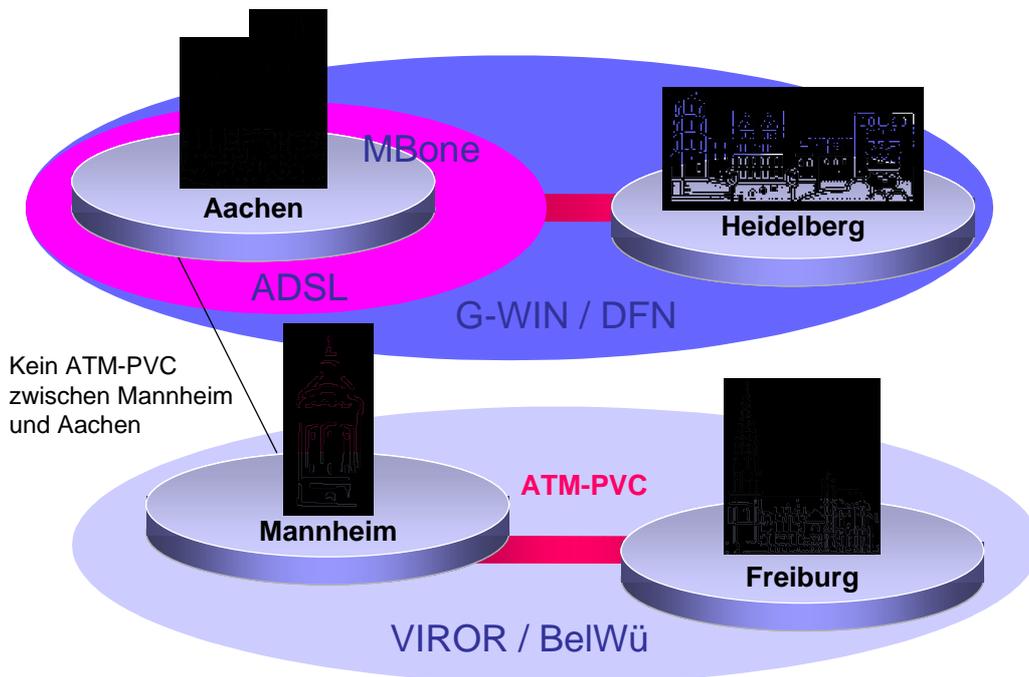


Abbildung 8: Netz-/Mbone-Anbindung auf den Fernstrecken des ANETTE-Feldversuchs

Zum Beweis der Leistungsfähigkeit der um IP-Multicast erweiterten ATM/ADSL-Infrastruktur in Bezug auf die Übertragungsqualität hat NEC daher nochmals zusätzliche Leistungsmessungen im Labortest durchgeführt, die die Eignung der erweiterten Infrastruktur zur Übertragung von Teleteaching-Sessions in sehr guter Qualität erneut bestätigt haben.

Um wenigstens die Vorteile der ADSL-Infrastruktur in Aachen lokal zu erproben, beschloss die Projektpartner, ein Interactive Home-Learning-Szenario über ADSL mit Vorlesung und anschließender interaktiver Übung an der RWTH Aachen vor Ort zu erproben. Bei diesem Teleteaching-Szenario wurde auch die Synergie zwischen den ANETTE-Teilprojekten 1 und 2 deutlich: das in Teilprojekt 2 neu entwickelte mlb wurde per Multicast über ADSL für Home-Learner erprobt. Einen Eindruck vermittelt Abbildung 9.

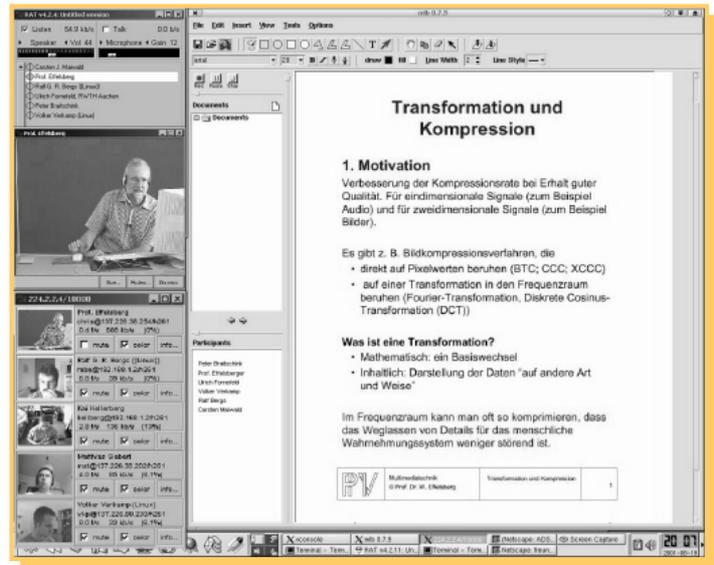
Zur Vorbereitung dieser Veranstaltung wurden von der Universität Mannheim Fragebögen zur Projektevaluierung erstellt und an die Teilnehmer ausgegeben, und es wurde ein User-Workshop an der RWTH Aachen zur Einführung in das „mlb“ und in die Optimierung von Systemparametern (z.B. Audio-Tools) mit anschließender Test-Session durchgeführt.

Das Interactive-Home-Learning-Szenario konnte dann im August 2001 in Aachen mit allen Teilnehmern erfolgreich durchgeführt werden. Die Veranstaltung wurde aus einem Hörsaal im Rechenzentrum der RWTH Aachen online per Multicast zu den ADSL-Teilnehmern übertragen. Zu diesem Zweck kam Professor Effelsberg aus Mannheim nach Aachen, um dort eine Vorlesung über „DCT in der Bildkompression“ zu halten. Im Anschluss an die Vorlesung fand eine interaktive Übung mit allen Teilnehmern statt. Zur Übertragung der Vorlesung und Übung wurden mlb, vic und rat verwendet.

Die Evaluierung wurde anhand von Leistungsmessungen der ATM/ADSL-Infrastruktur im Interactive-Home-Learning-Szenario in Aachen durchgeführt. Dabei konnte festgestellt werden, dass die um IP-Multicast erweiterte Zugangsnetzinfrastruktur zur Durchführung von Videokonferenzen und zur multimedialen Gruppenkommunikation in hoher Qualität aufgrund der hohen Bandbreite im ADSL-Zugangsnetz mit 2 MBit/s downstream) sehr gut geeignet ist.



Echzeit-Übertragung der Vorlesung "DCT in der Bildkompression" (audio/video, lecture board) von Prof. Effelsberg (Uni Mannheim) aus einem Hörsaal über das ADSL-Zugangsnetz zu den Studenten nach Hause



Screen-Shot eines Empfängers (ADSL Teilnehmer): zu sehen sind Prof. Effelsberg, die aktuelle Vorlesungsfolie und weitere Teilnehmer an der interaktiven Tele-Teaching Session

Abbildung 9: Snapshots vom Interactive-Home-Learning-Szenario in Aachen

Die Auswertung des Interactive-Home-Learning-Szenarios hat weiterhin ergeben, dass die Videoqualität bei allen Teilnehmern als sehr gut empfunden wurde. Bei der Audio-Übertragung kam es zu starken Schwankungen in der Bewertung, was hauptsächlich darauf zurück zu führen ist, dass alle Teilnehmer verschiedene Endgeräte mit unterschiedlicher Audio-Unterstützung benutzten und gerade die Einstellung der Audio-Parameter in *rat* nicht sehr einfach ist erfordert. Dies zeigt einmal mehr, dass es zur objektiven Messung der Übertragungsqualität auch erforderlich ist alle Teilnehmer mit den exakt gleich bestückten und konfigurierten Endgeräten auszustatten. Insgesamt wurde das Interactive-Home-Learning-Szenario von den Studierenden sehr gut bewertet, da es hier (im Gegensatz zur eher passiven Situation beim Empfang von Tele-Lehrveranstaltungen) zu einer echten multimedialen Gruppenkommunikation und Interaktion aller Teilnehmer während der Übung gekommen ist.

#### 1.4 Publikationen aus Teilprojekt 1

- [1] C. Kuhmünch, C. Schremmer. „Empirical Evaluation of Layered Video Coding Schemes“. IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), 2, pp. 1013-1016, Thessaloniki, Greece, 2001.
- [2] F. Raspall, C. Kuhmünch, A. Banchs, F. Pelizza, S. Sallent, „Study of packet dropping policies on layered video“, Proc. International Packet Video Workshop 2001, Korea, April 2001.

- [3] F. Raspall, "Impact of packet-dropping policies into video quality in layered transmissions", Diplomarbeit Universität Politècnica de Catalunya, Spanien, Januar 2001 (durchgeführt bei NEC in Heidelberg)

## 2 Teilprojekt 2: Multimedia Lecture Board (mlb)

### 2.1 Teilnehmer

Lehrstuhl für Praktische Informatik IV, Universität Mannheim

Projektleiter: Prof. Dr. Wolfgang Effelsberg

Mitarbeiter: Dr. Werner Geyer (vom 01.10.1999 bis zum 31.01.2000)

Dipl.-Wirtsch.-Inf. Jürgen Vogel (vom 01.01.2000 bis zum 31.12.2001)

Dipl.-Inf. Andrius Kurtinaitis (vom 01.06.2001 bis zum 30.09.2001)

Lehrstuhl für Algorithmen und Datenstrukturen, Universität Freiburg

Projektleiter: Prof. Dr. Thomas Ottmann

Mitarbeiterin: Dipl.-Math. Gabriela Maass (vom 01.10.1999 bis zum 15.07.2001)

### 2.2 Ziele des Teilprojekts

Wichtigstes Ziel des Teilprojekts war die Entwicklung eines für verschiedene Nutzungsszenarien geeigneten Teleteaching-Softwaresystems. Ergebnis sollte das *multimedia lecture board* (mlb) sein, das die Vorzüge der aus zwei früheren DFN-Projekten bereits vorhandenen Systeme AOFwb (Freiburg) und digital lecture board dlb (Mannheim) in sich vereinigen und darüber hinaus über einige zusätzliche Fähigkeiten verfügen sollte.

Das *mlb* sollte über eine erweiterte Medienvielfalt (mehr verschiedene Graphikformate, Animationen, Audio, Video) verfügen, eine Vielfalt kollaborativer Dienste anbieten und in der Lage sein, Telepräsentationen aufzuzeichnen und vollautomatisch in multimediale Dokumente für die Offline-Nutzung durch Studierende aufzubereiten. Durch eine Verfügbarkeit auf Windows 98/NT/2000 und verschiedenen Unix-Plattformen sollte eine Teleteaching-Lösung geschaffen werden, die das einfache Vorbereiten, Aufzeichnen, Halten und spätere Abspielen synchroner Lehrveranstaltungen erlaubt. Eine solche Software, die unter derselben Benutzeroberfläche sowohl das synchrone Übertragen als auch das Aufzeichnen von Annotationen „On The Fly“ erlaubt, gab (und gibt) es anderswo nicht.

### 2.3 Durchführung der Projektarbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen

#### 2.3.1 AP 1 – Portierung für Windows: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Verschmelzung von AOFwb und dlb und die Portierung nach Windows 98/NT/2000 lief von Anfang an parallel zu den anderen Arbeitspaketen ab. Es wurden die im Folgenden im Detail beschriebenen Arbeiten ausgeführt, wobei alle Funktionen jetzt sowohl unter Windows als auch unter Unix verfügbar sind.

**Neuimplementierung der Kommunikationskomponente:** Das *mlb* ist eine verteilte Mehrbenutzeranwendung, es besitzt eine replizierte Architektur. Dies bedeutet, dass jeder Teilnehmer einer *mlb*-Sitzung über eine eigene, vollständige Anwendungsinstanz verfügt und dass jede Anwendungsinstanz eine Kopie der Anwendungsdaten (den Anwendungszustand) hält. Der Anwendungszustand wird durch Benutzeraktionen (Ereignisse) verändert. Alle Zustandsänderungen werden zwischen den Anwendungsinstanzen über ein Netzwerk ausge-

tauscht, so dass lokale Benutzeraktionen durch alle Instanzen nachvollzogen werden können und sich ein konsistenter Gesamtzustand der mlb-Sitzung ergibt. Den Kommunikationsmechanismen des mlb kommt dabei eine zentrale Rolle zu.

Wie in Abbildung 10 dargestellt, besteht die Kommunikationsschnittstelle des mlb aus aufeinander aufbauenden Schichten (Protokollen), die zusammen den Protokollstack bilden. Auf der untersten Schicht befinden sich die Internet-Protokolle Multicast-IP und UDP, die eine Gruppenkommunikation zwischen einer beliebigen Anzahl von Endsystemen (Anwendungsinstanzen) ermöglichen.

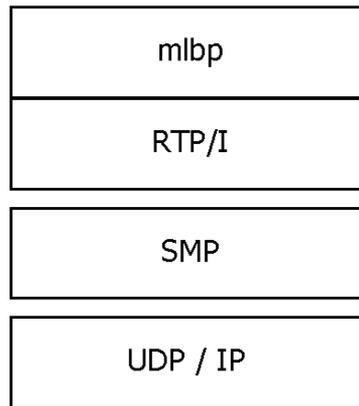


Abbildung 10: Protokollstack des mlb

UDP selbst ist unzuverlässig, d.h. Paketverluste werden nicht repariert, und die Reihenfolge empfangener Pakete kann von der Sendereihenfolge abweichen. Zuverlässige Übertragung und (eingeschränkt) Reihenfolge-Erhaltung sind für eine Anwendung wie das mlb unbedingte Voraussetzung. Daher wurde das ursprünglich für das dlb an der Universität Mannheim entwickelte zuverlässige Multicast-Protokoll *smp* (scalable multicast protocol) in den Protokollstack des mlb übernommen. Im Rahmen des ANETTE-Projekts erfolgte dabei eine Portierung auf Windows, eine Erweiterung der Funktionalität sowie ein umfangreiches Debugging.

Wie bereits erwähnt, handelt es sich beim mlb um eine interaktive, verteilte Anwendung. Weitere Beispiele für Anwendungen dieser Art sind verteilte Java-Animationen, simulierte 3D-Welten und Netzwerk-Computerspiele. Alle diese Anwendungen besitzen ein gemeinsames Medienmodell aus Zuständen und aus Ereignissen, die den Anwendungszustand verändern. Auf der Basis dieser Erkenntnis wurde an der Universität Mannheim das Anwendungsprotokoll RTP/I (Real Time Protocol for Distributed Interactive Media) entworfen. RTP/I ermöglicht die standardisierte Übertragung beliebiger interaktiver und verteilter Anwendungen, ähnlich wie RTP für kontinuierliche, nicht-interaktive Medien (Audio und Video). Wie RTP besteht RTP/I aus zwei Teilen: einem Datenprotokoll für die Übertragung der eigentlichen Anwendungsdaten und einem Kontrollprotokoll zur Verwaltung von Informationen bezüglich des Zustandsraums und der Sitzungsteilnehmer. Das Datenprotokoll dient der Einteilung (Framing) des von der Anwendung erzeugten Medienstroms in Zustände (States), Delta-Zustände (DeltaStates), Ereignisse (Events), Hinweise (Cues) und Zustandsanfragen (State-Queries), die jeweils als spezielle RTP/I-ADU (Application Data Unit) realisiert sind und neben dem Typ weitere spezifische Informationen enthalten (z.B. Zeitstempel). Beim mlb wird zum Beispiel die Erzeugung eines grafischen Objekts als Zustand übertragen und eine Änderung dieses Objekts (z.B. Veränderung der Position, Linienfarbe) als Ereignis. Die Kodierung

der Anwendungsdaten selbst wird nicht von RTP/I festgelegt, sondern über einen Payload Type separat definiert.

RTP/I ist inzwischen auch als Internet Draft erschienen und wird international viel diskutiert; das Feedback aus der Forschungslandschaft ist sehr positiv.

Die ursprüngliche Version von RTP/I wurde in Java implementiert. Im Rahmen des ANETTE-Projekts ist (in Zusammenarbeit mit Volker Hilt und Martin Mauve, Universität Mannheim) nun auch eine C++-Version entstanden. Aufgrund der grundlegenden Unterschiede bezüglich der Architektur konnte der Java-Code nicht übernommen werden, so dass RTP/I vollständig neu implementiert werden musste. Die entstandene Bibliothek wurde ins mlb integriert. Trotz der großen Unterschiede in der Implementierung sind die Java- und C++-Versionen voll kompatibel und jeweils plattformunabhängig.

RTP/I als standardisiertes Protokoll für die Datenübertragung von verteilten Anwendungen bietet zahlreiche Vorteile. Beispielsweise können Datenströme verschiedener Anwendungen untereinander synchronisiert werden, indem die in den Datenpaketen enthaltenen Zeitstempel abgeglichen werden, ohne dass die in den Paketen transportierten Nutzdaten interpretiert werden müssen. Ein zentraler Vorteil von RTP/I besteht also darin, dass die von RTP/I zur Verfügung gestellten Informationen von anwendungsunabhängigen (generischen) Diensten genutzt werden können. Ein solcher Dienst muss nicht speziell für jede einzelne Anwendung implementiert werden (unter der Voraussetzung, dass die Anwendungen jeweils RTP/I verwenden). Ein Beispiel ist ein Recorder, der verteilte Sessions aufzeichnen und wiedergeben kann: Bei der Aufzeichnung speichert er alle ausgetauschten RTP/I-Pakete und rekonstruiert aus diesen bei der Wiedergabe den ursprünglichen Medienstrom (bzw. die Medienströme, falls mehrere Anwendungen parallel synchronisiert aufgezeichnet werden, z.B. mlb, Audio und Video). Aufgrund der über RTP/I gewonnenen Informationen ist auch ein wahlfreier Zugriff möglich. Der RTP/I-Recorder wurde im Rahmen des EMuLib-Projekts (gefördert von der DFG) an der Universität Mannheim entwickelt. Ein weiterer Dienst ist der generische Late-Join, der es gestattet, verspätet in die Sitzung eingetretene Anwendungsinstanzen mit dem aktuellen Zustand zu versehen. Der Late-Join-Dienst ist ursprünglich als Diplomarbeit entstanden und in Java implementiert worden. Momentan wird er im Rahmen von ANETTE nach C++ portiert und dann ins mlb eingebunden. Das Verschlüsselungsmodul aus Teilprojekt 3 ist ebenfalls als generischer Dienst für RTP/I vorgesehen.

**Entwicklung einer neuen Dokumenten-Datenstruktur:** Die neu entwickelte Datenstruktur erlaubt die Unterteilung eines Dokumentes in Kapitel und Seiten. Die Vorteile einer solchen Unterteilung sind eine bessere Gliederung des Dokumentes und die Vereinfachung der Vergabe von Zugriffsrechten bei der Gruppenarbeit.

**Neu-Implementierung einfacher grafischer Objekte:** Kreise, Linien, Rechtecke und Polygone können gezeichnet, ausgewählt (markiert) und verändert werden.

**Erstellung von Text:** Texte, die aus verschiedenen Schriftarten und Farben bestehen, können einfach erzeugt und nachträglich editiert werden. Neben Funktionen wie Fettschreiben und Kursivschreiben wurden das Hoch- und Tieferstellen von Texten hinzu gefügt. Auf diese Weise können Indizes und Exponenten auf einfache Art und Weise erzeugt werden. Als wider Erwarten schwierig erwies sich beispielsweise die Darstellung von deutschen Umlauten.

**Darstellung des Dokuments:** Das Dokument wird auf dem Bildschirm als Baum dargestellt, wie dies beispielsweise vom Windows Explorer her bekannt ist. Diese Darstellung erleichtert auch Laien die Navigation und veranschaulicht die Struktur des Dokuments. Man kann neue Kapitel und Seiten einfügen und beliebige Seiten auswählen. Ein Beispiel zeigt Abbildung 11.

**Abspeichern als Postscript-Datei:** Ein im mlb erstelltes Dokument kann jetzt als Postscript-Datei abgespeichert werden.

**Einfügen von Postscript- und PDF-Dateien:** Das Einfügen ganzer Postscript- bzw. PDF-Dokumente in eine Präsentation ist möglich. Eine neue Session wird generiert, und jede Seite der Postscript- bzw. PDF-Datei wird auf einer neu generierten separaten Seite eingefügt. Diese Funktion erleichtert den Import von Fremdformaten. Ebenso können Bilder mit transparentem Hintergrund eingefügt werden.

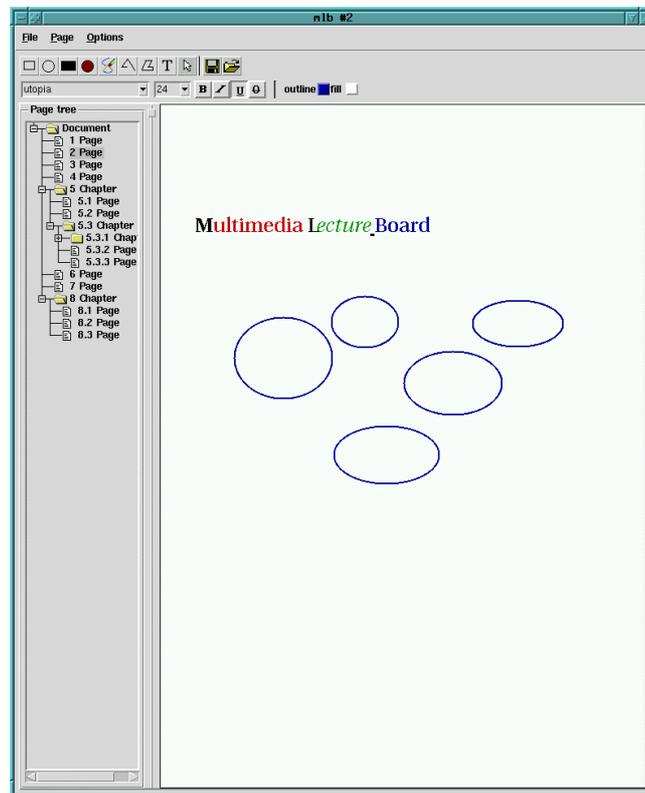


Abbildung 11: Bildschirm-Layout des mlb mit hierarchischer Dokument-Struktur

**Private Arbeitsbereiche:** Zusätzlich zum Gruppenarbeitsbereich, in dem Dokumente kollaborativ erzeugt, editiert und angezeigt werden können, unterstützt das mlb jetzt auch eine beliebige Anzahl von privaten Arbeitsbereichen, die beispielsweise zur Vorbereitung von Arbeitsmaterialien eingesetzt werden können. Der Wechsel und der Transfer von Inhalten zwischen den Arbeitsbereichen ist jederzeit möglich.

**Melden und Aufrufen:** Zur Unterstützung der Gruppenarbeit wurde ein Tool implementiert, das das Melden und Aufrufen von Teilnehmern erlaubt („hand-raising tool“). Denn die Erfahrung in den Teleteaching-Projekten der Universitäten Mannheim und Freiburg hat gezeigt, dass es auch für die Studierenden am entfernten Ort und vor Allem auch für Home-Lerner jederzeit möglich sein sollte, Zwischenfragen zu stellen. Vom im digital lecture board enthaltenen Vorgänger wurde nur das Oberflächendesign übernommen, ansonsten handelt es sich um eine Neuentwicklung mit eigenem Kommunikationsmodul und einem eigenen, ebenfalls auf RTP/I basierenden Protokoll. Ebenfalls als weitgehend unabhängiges Modul wurde ein Chat-Tool neu implementiert, das auch über ein separat spezifiziertes Kommunikationsprotokoll auf RTP/I-Basis verfügt.

Abbildung 12 zeigt die aktuelle Benutzeroberfläche des *mlb*, wobei Sichtbarkeit und Proportionen der einzelnen Elemente frei konfigurierbar sind.

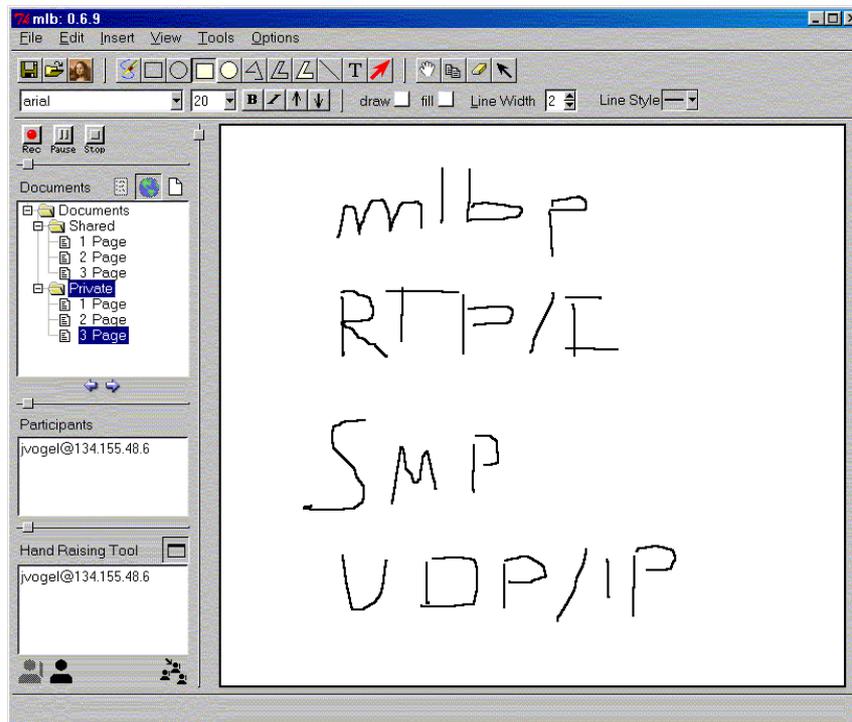


Abbildung 12: Benutzeroberfläche des *mlb* (unter Windows und Unix gleich)

### 2.3.2 AP2 – Integration von Audio- und Videokommunikation: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Im Verlauf des Teilprojekts zeigte sich, dass eine vollständige Integration der Audio- und Videokommunikation in die Oberfläche des *mlb* grundsätzlich überdacht werden musste. Angesichts der geforderten Audio- und Videoqualität geht der Trend in fast allen Teleteaching-Projekten (z.B. auch bei VIROR) dahin, die Übertragung der Audio- und Videoströme über externe Hardware-Codecs (z.B. MPEG2 bei VIROR) zu realisieren. Neben der deutlich höheren Qualität hat dies auch den Vorteil, dass das Problem des zu geringen Bildschirmplatzes abgemildert wird. Bei einer gleichzeitigen Darstellung von Whiteboard, Video- und Audio-Tool ist der verfügbare Darstellungsraum bei einer Standard-Auflösung von 1024x768 deutlich zu klein. Eine echte Integration eines Audio- und Video-Codecs in das *mlb* würde somit modernen Technik-Trends zuwider laufen. Deshalb wurde nach ausführlichen Diskussionen der Projektpartner die weitere Bearbeitung dieses Arbeitspakets eingestellt.

### 2.3.3 AP 3 – Trennung von Dozenten- und Studentensicht: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Bei der Entwicklung der Benutzeroberfläche wurde auf eine modulare Struktur geachtet: Das *mlb* wurde für verschiedene Szenarien (Telepräsentation, CSCW) und für die Wünsche des Dozenten konfigurierbar gemacht. Es wurde weiterhin die Unterstützung für neuartige Eingabegeräte des Dozenten eingebaut, insbesondere für das SmartBoard (elektronische Wandtafel)

und für das Grafik-Tablett, die beide nicht über die üblichen Maustasten verfügen, sondern mit einem Stift bedient werden. Da auf einer berührungssensitiven Tafel lediglich Mausbewegungen mit gleichzeitig gedrückter Maustaste möglich sind, müssen die Funktionen entsprechend angepasst und gestaltet werden. Vor allem das Bewegen des Telepointers darf nicht zum gleichzeitigen Ausführen von Zeichenaktionen führen. Der Gesamteindruck beim Einsatz einer Tafel als Eingabegerät war auf jeden Fall positiv, auch wenn gerade die Erzeugung handschriftlicher Annotationen durch die gerätespezifische Verzögerung, die geringe Auflösung und die nicht ganz zufriedenstellende Kalibrierbarkeit des SmartBoards gewöhnungsbedürftig ist.

Der Einsatz einer solchen Tafel ist unseren Erfahrungen nach in einem Seminarraum durchaus sinnvoll. In einem großen Hörsaal ist die Größe der SmartBoard-Zeichenfläche dagegen nicht ausreichend: Studenten, die weiter hinten sitzen, können wenig erkennen, der Einsatz eines zusätzlichen Beamers wird erforderlich. Auch steht der Dozent oft mit dem Rücken zum Publikum, was das Aufzeichnen eines Videostromes erschwert. Als Alternative zum SmartBoard wurde sowohl in Freiburg als auch in Mannheim ein Tablett mit LCD-Display der Firma Wacom als Eingabemedium getestet. Dieses Tablett ermöglicht es dem Dozenten, bequem handschriftliche Annotationen vorzunehmen. Es hat sich hervorragend bewährt und führte zu einer signifikant besseren Akzeptanz der Teleteaching-Technik vor allem auch bei weniger erfahrenen Dozenten.

Die Verwendung des SmartBoards oder des Wacom-Tabletts durch den Dozenten ist für den Studenten vollkommen transparent, sowohl bei einer Live-Übertragung als auch beim Anschauen einer Aufzeichnung.

### **2.3.4 AP 4 – Medienerweiterung HTML, Movie-Annotationen: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Das mlb unterstützt alle gängigen Grafikformate sowie PDF und Postscript, so dass die Integration von Material aus externen Anwendungen in fast allen Fällen möglich ist. So lässt sich z.B. auch HTML einbinden, indem die entsprechende HTML-Seite über die Druckfunktion eines handelsüblichen Browsers im Postscript-Format abgespeichert und dann in das mlb importiert wird. Eine darüber hinaus gehende Integration von HTML erwies sich bei näherer Betrachtung als nicht sinnvoll: die Anzeige von „echten“ HTML-Seiten im verteilten Arbeitsbereich würde ein kollaboratives Browsen bedeuten, was über den Funktionsumfang eines Shared Whiteboards hinaus geht. Außerdem wäre eine Aufzeichnung nicht möglich gewesen. Und schließlich gehört es zum Konzept von HTML, dass der jeweilige Browser die Kontrolle über das Layout hat, beispielsweise über die Fontgröße, was im Teleteaching-Betrieb nicht sinnvoll ist.

Ein großer Nachteil dieser Art des Imports von Fremdformaten, d. h. von Dokumenten, die nicht mit dem mlb selbst erstellt worden sind, ist natürlich, dass hier die symbolische Repräsentation der Daten verloren geht: Folien, die mit einem Werkzeug wie LaTeX, Framemaker oder PowerPoint hergestellt werden, werden in reine Bitmaps umgewandelt und sind beispielsweise mit üblichen Textsuchfunktionen nicht mehr recherchierbar. Weil heute insbesondere PowerPoint Präsentationen den Großteil der Rechnerpräsentationen ausmachen, war es besonders wünschenswert, einen Importfilter für dieses Datenformat zu entwickeln, der die symbolische Repräsentation der Daten beibehält, d.h. eine kompakte Speicherung und die beliebige Skalierbarkeit auf verschiedene Auflösungen und Bildschirmgrößen sowie Textretrieval erlauben würde. Diese Arbeiten sind nach dem Ausscheiden von Gabriela Maass in Freiburg zum 15.07.02 durch die wissenschaftliche Hilfskraft Zhang Hua vorangetrieben worden. Er hat einen neuen Importfilter entwickelt, der es erlaubt, direkt aus PowerPoint heraus Dokumente zu erzeugen, die in das mlb importiert werden können. Wegen der großen Vielfalt

der Funktionalität, die PowerPoint anbietet, können nicht alle Features dieses Präsentationssystems unterstützt werden. Der Anteil der durch den aktuellen Importfilter abgedeckten Funktionen von PowerPoint umfasst aber ca. zwei Drittel und deckt die am Häufigsten benutzten Möglichkeiten gut ab. Der Grad der Perfektion des Exports von PowerPoint-Präsentationen in das mlb Format wird jeweils aktuellen Bedürfnissen entsprechend laufend weiter verbessert.

In diesem Zusammenhang ist auch zu erwähnen, dass die Idee der Aufzeichnung und Wiedergabe von Rechnerpräsentationen, wie sie in dem AOF-System in Freiburg erstmals realisiert und nunmehr in das mlb integriert wurde, Eingang gefunden hat in eine Neuimplementierung eines *Lecturnity Suite* genannten Werkzeuges bei der Firma IMC. Diese Neuimplementierung wurde von der früheren Projektmitarbeiterin Gabriela Maass nach ihrem Wechsel zu IMC vorgenommen. Obwohl keine direkte Übernahme von Software aus dem DFN-Projekt oder aus anderen Projekten des Lehrstuhls erfolgte, konnte durch Absprache mit der Firma IMC erreicht werden, dass der von dieser Firma entwickelte Player für aufgezeichnete Präsentationen auch die mit dem mlb erzeugten Aufzeichnungen wiedergeben kann. Es steht somit neben dem mlb auch ein kommerzielles Produkt zum Abspielen zur Verfügung.

### **2.3.5 AP 5 – Medienerweiterung kontinuierliche Medien: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Bei der Integration von kontinuierlichen Medien muss man zwei Fälle unterscheiden: die synchrone Integration während der Präsentationsphase und die Integration zum Zeitpunkt des Abspielens einer Aufzeichnung.

Das Abspielen und Mit-Aufzeichnen von Audioclips *während einer Präsentation* ist nicht möglich, wenn gleichzeitig die Audioströme des Dozenten (im Falle einer Vorlesungsaufzeichnung) oder der Teilnehmer (im Falle eines verteilten Seminars) aufgezeichnet werden sollen. Denn dann ist die Soundkarte des Rechners bereits durch diese Aufzeichnung belegt und deshalb nicht in der Lage, gleichzeitig eine andere Audioquelle wiederzugeben.

Überhaupt geht der Trend heute, wie schon erwähnt, in Richtung einer Entkopplung von Audio und Whiteboard. In vielen Fällen, so auch beispielsweise in den Projekten VIROR und ULI, haben MPEG2-Codecs und H.263-Videoconferencing-Stationen die bisher häufig verwendeten Software-Codecs (z.B. vic und rat) zur Übertragung der Audio- und Videoströme abgelöst. Daher macht es wenig Sinn, Komponenten zur Audioübertragung jetzt noch direkt in das mlb zu integrieren.

Dasselbe gilt analog auch für das Einbinden von digitalem Video in einem Streaming-Format. Allein die durch die Übertragung von Audio und Video des Dozenten und der Rückkanäle der Studenten entstehenden Datenmengen sind so hoch, dass sie nur über Filter zum Studenten nach Hause übertragen werden können. Das zusätzliche Streaming von einem vorlesungsergänzenden Video ist in diesem Fall nicht möglich. Auch ist die Aufzeichnung und Wiedergabe eines solchen Videos nicht praktikabel zu lösen. Anstelle der vollständigen Integration von Audio und Video wurde daher ein Application-Launch-Tool implementiert, das das synchrone Starten von externen Anwendungen bei allen Teilnehmern realisiert. Somit ist es möglich, Audio- und Video-Clips sowie sonstige Medien (z.B. Java-Animationen) *vor dem Start* der eigentlichen Präsentation an alle Teilnehmer zu verteilen (z.B. per FTP über eine Web-Seite) und dann während der Veranstaltung zum richtigen Zeitpunkt synchron zu starten.

Bezüglich der Integration von Video zum Zeitpunkt des Abspielens eines mlb-Dokuments ist die Situation eine andere. Im Rahmen einer Dissertation [R. Müller, 2000] wurde in Freiburg ein Verfahren zum wahlfreien Echtzeitzugriff für Medienströme mit variabler Bitrate entwickelt und für MPEG-Ströme implementiert, getestet und in eine MPEG-Wiedergabeappli-

kation integriert. Beliebige MPEG-1-Ströme können damit zeitlich synchron mit allen anderen während einer Präsentation aufgezeichneten Medienströmen wiedergegeben werden. Um eine Annotationseinheit erweitert dient diese Applikation als Aufnahmewerkzeug. Mit ihrer Hilfe können Videofilme in die Präsentation integriert und mit grafischen Annotationen versehen werden, so dass eine spätere synchrone Wiedergabe von Videofilmen und Annotationen möglich wird.

Im Rahmen einer Diplomarbeit [Danielsson, 2002] wurde ferner die Möglichkeit realisiert, mit Hilfe einer speziellen Java-Bibliothek erstellte Animationen (sogenannte JEDAS-Animationen) in mit dem mlb durchgeführte Präsentationen einzubinden und aufzuzeichnen, so dass auch beim späteren Abspielen die für die Wiedergabe typische Random-Access-Fähigkeit erhalten bleibt. Bemerkenswert ist hier insbesondere, dass während der Animation nicht nur Start- und Stopp-Zeitpunkte aufgezeichnet werden, sondern auch beliebige Interaktionen mit der Animation und sogar handschriftliche Annotationen an die laufende Animation. Sie werden dann beim Replay synchron mit den übrigen Datenströmen wiedergegeben. Dieses System wurde in der Vorlesung „Algorithmen und Datenstrukturen“ experimentell erprobt.

### **2.3.6 AP 6 - Präsentationsanimationen: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Mit Hilfe von Präsentationsanimationen (wie sie z.B. auch in PowerPoint zu finden sind) kann der Dozent seinen Vortrag gliedern oder Vorgänge im Zeitablauf verdeutlichen. Das mlb lässt Präsentationsanimationen sowohl in lokalen als auch in verteilten Szenarien zu. Die Animation von Objekten geschieht durch das ereignisgesteuerte (d.h. durch den Benutzer veranlasste) Ein- oder Ausblenden von Objekten.

Abbildung 13 zeigt das Animations-Tool des mlb. In einem ersten Schritt kann der Benutzer den gewünschten Animationsablauf zusammen stellen, indem er für jeden Animationsschritt jeweils eine Gruppe von Objekten festlegt, die in diesem Schritt ein- bzw. ausgeblendet werden sollen. Anders als in PowerPoint bestehen keine Beschränkungen bezüglich des Zeitpunkts einer Ein- oder Ausblendung. So kann ein bestimmtes Objekt beispielsweise auch mehrmals erscheinen und wieder verschwinden. Der Ablauf der Animation findet in einem speziellen Modus statt, wobei der Benutzer jeweils explizit die Ausführung des nächsten Animationsschritts veranlasst.

Animationen werden beim Abspeichern des dazugehörigen Dokuments mit gespeichert, so dass auch hier eine Vorbereitung und Wiederverwendung möglich ist. Dazu wurde eine spezielle Erweiterung des mlb-Dokumentenformats entwickelt.

Beim Entwurf der Animationskomponente wurde darauf geachtet, dass der eigentliche Ablauf der Animation transparent ist, d.h. es waren keine Anpassungen für das Recording oder die generischen RTP/I-Dienste erforderlich.

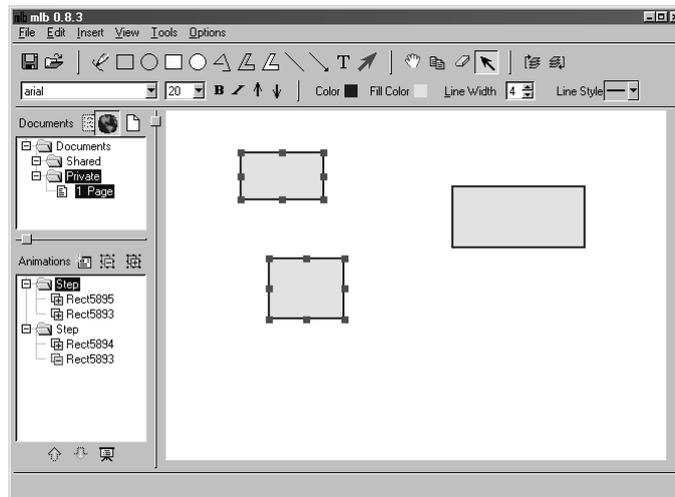


Abbildung 13: Präsentationsanimationen im mlb

Damit kann man auch handschriftliche Annotationen auf vorbereiteten Folien oder gar auf leeren, während der Präsentation eingefügten Seiten als Animationen auffassen. Diese handschriftlichen Annotationen konnten bereits bisher mit dem alten AOF-wb und dem mlb aufgezichnet werden, erzeugten aber bisher ein immens großes Datenvolumen, da die Daten, in hochredundanter Form abgespeichert wurden, um die Random-Access-Fähigkeit sicher zu stellen. Im Rahmen einer Diplomarbeit [Danielsson 2002] wurde in Freiburg ein neues Datenformat entwickelt, das insbesondere handschriftliche Annotationen, aber auch beliebige andere Animationen in nahezu redundanzfreier Form abzuspeichern erlaubt und damit das Datenvolumen erheblich reduziert. Darüber hinaus wurde ein Transformationsprogramm geschrieben, das das ursprüngliche Datenformat in das neue überführt, so dass sich auch das Datenvolumen alter Präsentationsaufzeichnungen mit einem hohen Anteil an handschriftlichen Annotationen nachträglich verringern lässt.

### 2.3.7 AP 7 – Private Arbeitsbereiche: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zusätzlich zum Gruppenarbeitsbereich, in dem Dokumente kollaborativ erzeugt, editiert und angezeigt werden können, unterstützt das mlb jetzt auch eine beliebige Anzahl von privaten Arbeitsbereichen, die beispielsweise zur Vorbereitung von Arbeitsmaterialien eingesetzt werden können. Der Wechsel und der Transfer von Inhalten zwischen den privaten Arbeitsbereichen und dem überall sichtbaren kollaborativen Arbeitsbereich („shared workspace“) ist jederzeit möglich.

### 2.3.8 AP 8 – Aufzeichnung und Wiedergabe, Audio und mlb: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Bei ersten Arbeiten am AOF-Aufnahme- und Replay-Verfahren stellte sich heraus, dass es noch viele offene Fragen bezüglich Speicherformat und Datenreduktion gab, die zuerst geklärt werden mussten. An einer plattformunabhängigen Audiobibliothek, welche die üblichen Formate (wav, au, aif) unterstützte, wurde lange gearbeitet. In einem nächsten Schritt wurde dann die volle Aufnahmefunktionalität des AOFwb in das mlb integriert und auch auf die Windows-Plattform portiert (das alte Freiburger AOFwb lief nur unter Unix).

### 2.3.9 AP 9 – Aufzeichnung und Wiedergabe, Dozentenbild: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Bisher waren die AOF- und mlb-Player als selbständige Anwendungen betriebssystemgebunden, d.h. es gab verschiedene Varianten für die Windows-, Linux- und Solaris-Plattformen sowie eine Version für den Macintosh. Weil für einen langfristigen Einsatz die Pflege dieser Player für verschiedene Plattformen nur schwer möglich sein dürfte, wurde eine portable Java-Variante eines Players für AOF- und mlb-Dokumente entwickelt. Diese hat inzwischen einen hohen Reifegrad erreicht und wird den Studenten routinemäßig auf den aus Vorlesungsaufzeichnungen erzeugten CD-ROMs und Downloadpaketen im Web zur Verfügung gestellt.

Dieser Java-Player war auch Grundlage für einen von der Firma IMC entwickelten Viewer für die mit Hilfe des bereits erwähnten Werkzeuges *Lecturnity Suite* von IMC erzeugten Präsentationsaufzeichnungen. Der Viewer integriert alle Player (für Whiteboard, Audiostrom und Videostrom des Dozenten) in einem Bildschirmfenster und zeigt auch zugleich eine Übersicht über die während der Präsentation aufgeblätterten oder erzeugten Bildschirmseiten. Durch eine mit IMC getroffene Absprache konnte gesichert werden, dass die vom mlb und von der *Lecturnity Suite* erzeugten Aufzeichnungsformate kompatibel sind, so dass der IMC-Viewer auch aufgezeichnete mlb-Präsentationen wiedergeben kann. Dieser Viewer (nicht aber das Aufzeichnungswerkzeug von IMC) soll kostenfrei zur Verfügung gestellt werden, so dass auch langfristig gesichert ist, dass mit dem mlb erzeugte Präsentationsaufzeichnungen nutzbar bleiben.

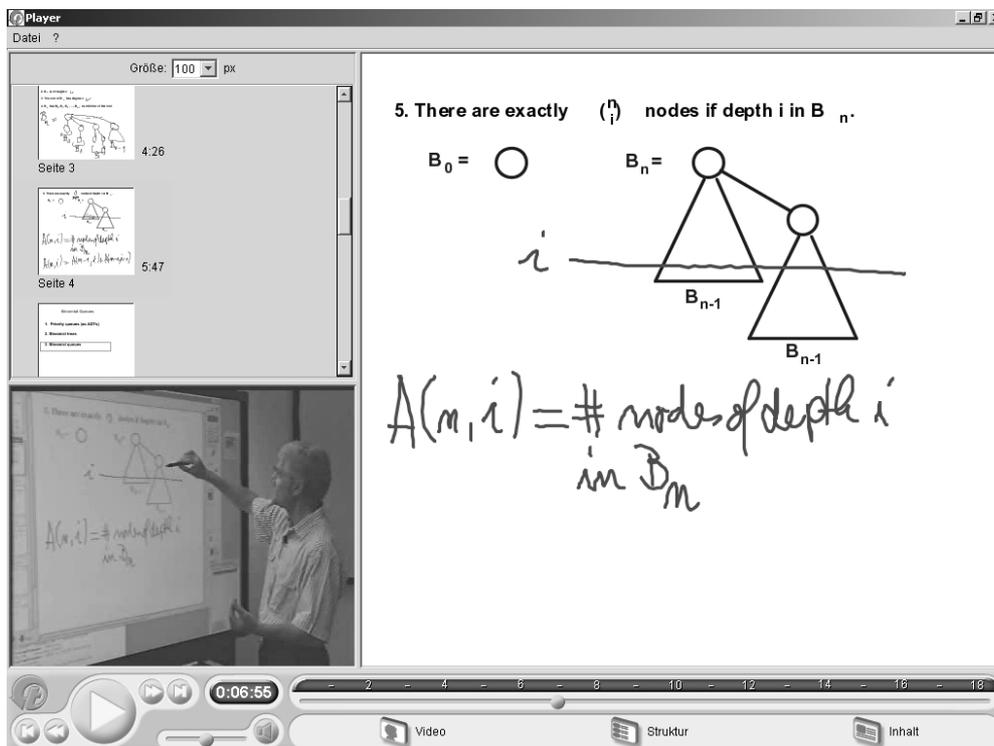


Abbildung 14: Viewer aus der Lecturnity Suite von IMC

### 2.3.10 AP 10 – Neue Lehr- und Lernformen: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

An der Universität Freiburg wurde in erheblichem Umfang mit neuen Eingabegeräten experimentiert. Neben einem schon seit Längerem im Einsatz befindlichen Smartboard mit Rückprojektion wurde auch ein wesentlich preiswerteres interaktives Whiteboard (*Intelliboard*) für Rechnerpräsentationen verwendet.

Der Durchbruch in der Akzeptanz des Presentation Recordings an der Universität Freiburg wurde allerdings erst erreicht, als erstmals das neue Wacom-Tablett mit genügend hoher Auflösung und Stifteingabe zur Verfügung stand. Dieses Eingabegerät wurde mit allem dafür erforderlichen Zubehör, Rechner und Audioanlage, in ein transportables Präsentationspult eingebaut (Abbildung 15) und an der Universität Freiburg in verschiedenen Hörsälen und Seminarräumen für die Aufzeichnung von Vorlesungen benutzt. Allein in Freiburg haben inzwischen fünf Kollegen das mlb zur Aufzeichnung und/oder zur Übertragung ihrer Lehrveranstaltung eingesetzt.

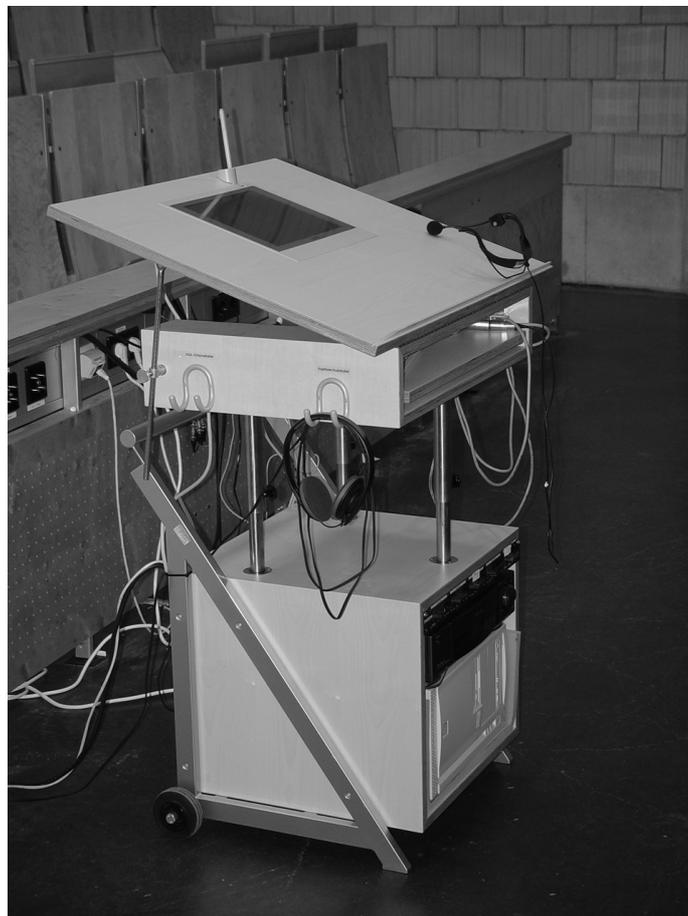


Abbildung 15: Integriertes Präsentations- und Aufzeichnungspult mit Wacom-Tablett an der Universität Freiburg

Es wurden auch ganz neuartige didaktische Szenarien in der Lehre erprobt. Die Vorlesungen „Rechnernetze“ in Mannheim und „Geometrische Algorithmen“ in Freiburg wurden als Hybridveranstaltung in der Form durchgeführt, dass anstelle einer traditionellen Vorlesung eine Vorlesungsaufzeichnung bereit gestellt und nur eine wöchentliche Präsenzübung dazu ange-

boten wurde. Das hat sich als eine praktikable und von den Teilnehmern gut akzeptierte Unterrichtsform heraus gestellt.

### **2.3.11 AP 11 und 12 – Testen und Evaluation in VIROR: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Ein erster umfangreicher Test des mlb im verteilten Szenario fand, wie schon erwähnt, in Zusammenarbeit mit den Projektpartnern aus Teilprojekt 1 bei einem Feldversuch am 15. August 2001 an der RWTH Aachen statt. Ziel des Feldversuchs war die realistische Nachbildung einer Homelearning-Situation mit Hilfe der in TP 1 entwickelten ADSL-Infrastruktur. Zu diesem Zweck wurde eine kurze Vorlesung mit anschließender Übung von Professor Effelsberg aus einem Aachener Hörsaal zu den Aachener Studenten nach Hause übertragen. Für die Präsentation von Folien kam das mlb zum Einsatz. Durch die anspruchsvolle Testumgebung konnten wertvolle Verbesserungshinweise gefunden und etliche Fehler identifiziert und beseitigt werden. Bei der anschließenden Evaluation durch die Studenten wurde das mlb recht gut bewertet, vor allem wenn man bedenkt, dass sich das mlb zum damaligen Zeitpunkt noch in einer sehr frühen „Debugging“-Phase befand.

Im WS 2001/02 kam dann das mlb in drei Tele-Veranstaltungen des Projekts VIROR (virtuelle Hochschule Oberrhein) zum Einsatz: in der Vorlesung „Distributed Systems“ von Professor Leue, die von Freiburg nach Mannheim übertragen wurde, in der Vorlesung „Multimediatechnik“ von Professor Effelsberg an der Universität Mannheim, die zwar nicht an andere Standorte übertragen, aber mit dem generischen RTP/I-Recorder aufgezeichnet wurde und deshalb ebenfalls als verteiltes Szenario ablief, und dem Teleseminar „Ubiquitous Computing“, das in Kooperation der Universitäten Karlsruhe, Freiburg und Mannheim abgehalten wurde. Die jeweils aktuelle Version des mlb zeigte sich in diesen Veranstaltungen als hinreichend stabil und genügt vollauf den Anforderungen der Dozenten. Zahlreiche Verbesserungsvorschläge durch die Dozenten, die sich aus dem praktischen Einsatz ergaben, wurden umgehend implementiert, z.B. die Erweiterung des Vollbild-Modus um eine Werkzeugleiste am oberen Bildschirmrand, die die wichtigsten Funktionen enthält und so das komfortable Editieren von Dokumenten auch im Vollbild-Modus ermöglicht.

Aus den über mehrere Semester erzeugten Aufzeichnungen zur Kursvorlesung „Algorithmen und Datenstrukturen“ in Freiburg wurden „Best-of“-Sammlungen zusammen gestellt, die die Grundlage von reinen Fernlehrcursen für dieses Gebiet bilden. Ein solcher Kurs wurde im Wintersemester 2001/02 erstmals im Rahmen des ULI-Projektes durchgeführt. Im Sommersemester 2002 wird auf der Basis der vor einem Jahr vorgenommenen Aufzeichnung des Kurses über „Parallel Algorithms and Applications“ (Prof. Datta) eine weitere reine Distanzlehrveranstaltung angeboten.

Die an der Universität Mannheim im Wintersemester 2001/02 aufgezeichnete Vorlesung „Multimediatechnik“ wurde als WBT im Internet bereit gestellt. Auch diese Lehrveranstaltung wird im SS 2002 als ULI-Kurs zum Fernstudium angeboten. Es haben sich zum jetzigen Zeitpunkt (März 2002) schon über 20 Fernstudenten aus verschiedenen deutschen Universitäten dafür eingeschrieben.

## **2.4 Publikationen aus Teilprojekt 2**

- [4] Geyer, W., Vogel, J., Mauve, M.: „An Efficient and Flexible Late Join Algorithm for Interactive Shared Whiteboards“. Angenommen auf der 5. IEEE International Symposium on Computers and Communications, ISCC 2000, Antibes, France, July 4-6, 2000.

- [5] Weis, R., Vogel, J., Effelsberg, W., Geyer, W., Lucks, S.: „How to Make a Digital Whiteboard Secure – Using JAVA-Cards for Multimedia Applications“. Eingereicht auf der IDMS 2000, Twente, Holland.
- [6] Vogel, J., Mauve, M., Geyer, W., Hilt, V., Kuhmünch, C.: „A Generic Late Join Service for Distributed Interactive Media“. Eingereicht auf der ACM Multimedia 2000, Los Angeles, USA.
- [7] Martin Mauve, Volker Hilt, Christoph Kuhmünch, Jürgen Vogel, Werner Geyer, Wolfgang Effelsberg: RTP/I: An Application Level Real-Time Protocol for Distributed Interactive Media“, Internet Draft, 2000
- [8] Claudia Schremmer, Volker Hilt und Wolfgang Effelsberg: Erfahrungen mit synchronen und asynchronen Lernszenarien an der Universität Mannheim“, PIK - Praxis in der Informationsverarbeitung und Kommunikation, Ausgabe 03/2000.
- [9] W. Hürst: “User Interfaces for Telepresentations - Input Devices, Concepts of Interaction, and Design Issues”, JNCA - Journal of Network and Computer Applications, Vol. 23, No. 1, January 2000
- [10] R. Müller, T. Ottmann: “The "Authoring on the Fly" System for Automated Recording and Replay of (Tele)presentations”, Special Issue on "Multimedia Authoring and Presentation Techniques" of ACM/Springer Multimedia Systems Journal, Vol. 8, No. 3, May 000
- [11] Jürgen Vogel: „An Efficient and Flexible Late Join Algorithm for Interactive Shared Whiteboards“, ISCC 2000, Antibes, Frankreich, Juli 2000.
- [12] Jürgen Vogel: „Applications and Network Technology for Teleteaching“, Vortrag auf dem 9. Workshop des DFN-Arbeitskreises Verteiltes Lehren und Lernen, Nürnberg, September 2000.
- [13] Wolfgang Effelsberg, „Lehren und Lernen im Internet - Herausforderungen an die Informatik“, eingeladener Hauptvortrag, GI 2000, Berlin, September 2000.
- [14] Oliver Klerx, „Synchronisation und Annotation von MPEG-Video in einer multimediale Lehr- und Lernumgebung“, Diplomarbeit, Universität Freiburg, 2000.
- [15] Rainer Müller, „Wahlfreier Zugriff in Präsentationsaufzeichnungen am Beispiel integrierter Applikationen“, Dissertation, Universität Freiburg, 2000.
- [16] T. Lauer, R. Müller, T. Ottmann: „Animations for Teaching Purposes: Now and Tomorrow, Special Issue on „Future of Computer Science Symposium (FOCSS)“ of Journal of Universal Computer Science (J.UCS), Vol. 7, No. 5, June 2001 (Abstract)
- [17] W. Hürst, R. Müller: „The AOF (Authoring on the Fly) system as an example for efficient and comfortable browsing and access of multimedia data“, Proceedings of HCI International 2001, 9<sup>th</sup> International Conference on Human-Computer Interaction, New Orleans, LA, USA, August 2001
- [18] W. Hürst, R. Müller, Ch. Mayer: „Multimedia Information Retrieval from Recorded Presentations“, Proceedings of ACM SIGIR 2000,, Athens, Greece, July 2000 (Abstract)
- [19] T. Lauer, R. Müller, Th. Ottmann: „Animations for Teaching Purposes: Now and Tomorrow“, Journal of Universal Computer Science, Special Issue on „Future of Computer Science Symposium“, vol. 7, no. 5, 2001, pp. 420-433
- [20] P.-T. Kandzia, T. Ottmann: „How Real is the Virtual University in the Upper Rhine Valley“, erscheint in : International Journal on Engineering Education 2001.
- [21] T. Ottmann: „Entwicklung und Nutzung eines erweiterten Whiteboards für Teleteaching und Authoring on the fly.“, Deutsches Forschungsnetz – eine Zwischenbilanz, Berlin, März 2000
- [22] T. Ottmann: „The Virtual University in the Upper Rhine Valley.“ Trierer Symposium Virtuelle Hochschule, Virtuelle Hochschule Preprint 2000-05, Trier, Mai 2000.
- [23] T. Ottmann: „Möglichkeiten und Grenzen der Virtualisierung des Informatikstudiums.“ 30. GI-Jahrestagung (Informatik 2000), Berlin, September 2000.

- [24] W. Hürst, G. Maass, R. Müller, T. Ottmann: „The Authoring on the Fly System for Automatic Presentation Recording. Proceedings of ACM CHI 2001 Conference on Human Factors in Computing Systems, Seattle, WA, USA, März/April 2000.
- [25] R. Müller, T. Ottmann: „Electronic Note-Taking Systems, Problems and their Use at Universities.“ In H. H. Adelsberger, B. Collis, J. M. Pawlowski (Hrsg.): Handbook on Information Technologies for Education and Training, Springer-Verlag, Heidelberg, Mai 2001.
- [26] Datta, T. Ottmann: „Towards a Virtual University.“, Journal of Universal Computer Science, vol.7, no. 10, 2001, pp.870-885.
- [27] R. Müller, T. Ottmann, H. Zhang: „Presentation Recording as a means to go virtual for Campus-based Universities.“ to appear IRMA 2002, Seattle, WA, USA.
- [28] T. Lauer, T. Ottmann, S. Trahasch: „Seamless production of online courses by lecture recording.“ Proceedings of the 1<sup>st</sup> ARIADNE 2001 Annual Conference „E-Learning in Practice“, Leuven, November 2001.
- [29] M. Danielsson: Migration Jedas-AOF: Einbettung animierter Elemente in Präsentationsaufzeichnungen, Diplomarbeit, Freiburg, Jan. 2002

### **3 Teilprojekt 3: Sicherungssystem zum Schutz von Urheberrechten an Teachware**

#### **3.1 Teilnehmer**

Lehrstuhl für Kommunikationsnetze, RWTH Aachen

Projektleiter: Prof. Dr.-Ing. Bernhard Walke

Mitarbeiter: Dipl.-Ing. Ian Herwono

#### **3.2 Ziele des Teilprojekts**

Ziel des Projekts war die Entwicklung eines Sicherheitssystems zum Schutz der Urheberrechte von Teachware. Um einen möglichst geringen Hardware-Aufwand bei den Anwendern zu ermöglichen und somit eine höhere Akzeptanz zu erzielen, wurden bei der Systementwicklung in diesem Teilprojekt nur Softwarelösungen angestrebt. Es sollten moderne kryptographische Methoden zur Verschlüsselung der Datenströme und Verfahren zur sicheren Verteilung von Chiffrierschlüsseln an Anwendern studiert, analysiert und geeignet angewandt werden. Das entwickelte Sicherungsmodul sollte in Zusammenarbeit mit den Mitarbeitern aus Teilprojekt 2 in das mlb integriert werden.

Zusätzlich sollten existierende digitale Wasserzeichenmethoden (Digital Watermarking) untersucht und integriert werden, so dass im Falle einer Schutzrechtsverletzung ein entsprechender Nachweis geführt werden könnte. Nach der Implementierung sollte das Sicherheitssystem am Beispiel mehrerer Teachware-Module mit multimedialen Inhalten der beteiligten Universitäten erprobt und demonstriert werden.

### 3.3 Durchführung der Projektarbeiten in den einzelnen Arbeitspaketen

#### 3.3.1 AP 1 – Analyse von Krypto-Algorithmen für AV-Ströme: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zu Beginn der Arbeiten wurde eine eingehende Recherche über die existierenden Krypto-Algorithmen zur Verschlüsselung von mib-typischen Datenströmen durchgeführt. Die Auswahlkriterien bezüglich der Sicherheits- und Performance-Aspekte wurden erarbeitet. Auf die Patentfreiheit des Algorithmus wurde dabei geachtet, damit bei dessen Verwendung im mib keine Lizenzkosten entstehen würden.

Aufgrund der ausgearbeiteten Auswahlkriterien wurden verschiedenen Block- und Stromchiffrierungsalgorithmen auf ihre Eignung näher untersucht: MARS, Rijndael, Twofish, FEAL, SEAL, u.a. Anhand von Tabellen wurden die Leistungsmerkmale der einzelnen Algorithmen, z.B. die Geschwindigkeiten bei dem Schlüsselaufbau und der Verschlüsselung, miteinander verglichen. Fünf der betrachteten Algorithmen gehörten zu den Finalisten des AES-Programms (Advanced Encryption Standard), das vom NIST (National Institute of Standards and Technology) in den USA im Januar 1997 gestartet wurde und bis zum Sommer 2000 lief. Die Ausschreibung hatte das Ziel, einen neuen standardisierten symmetrischen Krypto-Algorithmus (wie damals DES) auszuwählen. Einen Performancevergleich der fünf AES-Finalisten zeigt Tabelle 3.

Aufgrund der Auswahlkriterien wurde es als sinnvoll erachtet, eine Auswahl des Chiffrieralgorithmus für die Teachware unter den fünf AES-Finalisten zu treffen. Da voraussichtlich nur der AES-Gewinner in Zukunft höchste Akzeptanz bei den Anwendern finden würde, sollte zunächst noch keine endgültige Entscheidung bezüglich des Algorithmus für die Teachware getroffen werden. Bis Sommer 2000 wurde der Algorithmus Rijndael für die weitere Implementierungsarbeit eingesetzt, da – nach den veröffentlichten Informationen und eigenen Performancetests – damit alle Teachware-Anforderungen erfüllt werden konnten, z.B. eine hohe Geschwindigkeit auf verschiedenen Plattformen und die Patentfreiheit. Bei der Implementierung wurde darauf geachtet, dass der Einsatz bzw. die Integration anderer Algorithmen in die Software ohne großen Aufwand möglich sein würde.

Für eigene Performance-Tests wurde ein Pentium II-266 PC mit Visual C++ 6.0 als Entwicklungs- bzw. Testplattform eingesetzt. Darauf wurde eine Leistungsanalyse der Algorithmen MARS, RC6 und Rijndael mit 128-Bit-Schlüssel und verschiedenen Betriebsmodi (ECB, CBC, CFB-1) durchgeführt, dessen Ergebnis in Tabelle 4 dargestellt ist.

Tabelle 3: Ein Performance-Vergleich der fünf AES-Finalisten  
(128-Bit-Schlüssel, 200 MHz Pentium Pro, Linux)

Algorithmus	Schlüsselaufbau (keys/s)		Durchsatz (Mbit/s)	
	Verschlüsselung	Entschlüsselung	Verschlüsselung	Entschlüsselung
Twofish	14471,8	14450,9	20,7	22,3
Serpent	16891,9	16920,5	13,1	16,3
Rijndael	128205,1	106383,0	42,6	41,7
MARS	46729,0	46511,6	39,0	37,1
RC6	59523,8	58823,5	37,3	52,5

Tabelle 4: Performance-Test der Algorithmen MARS, RC6 und Rijndael auf der Entwicklungsplattform

Algorith- mus	Verschlüsselungsrate (MBit/s)			Entschlüsselungsrate (Mbit/s)		
	ECB	CBC	CFB-1	ECB	CBC	CFB-1
MARS	21,1	20,8	0,15	21,9	21,5	0,16
RC6	27,2	26,7	0,34	25,1	25,1	0,34
Rijndael	33,1	32,3	0,25	33,6	32,9	0,25

Die Auswahl fiel auf den Blockchiffrieralgorithmus „Rijndael“, da der Algorithmus das beste Performance-Ergebnis auf der verwendeten Entwicklungsplattform erzielt hat, patentfrei ist, und zugleich basierend auf der veröffentlichten Expertenanalyse eine sehr hohe Flexibilität bietet. Im weiteren Projektverlauf stellte sich dann heraus, dass der Rijndael-Algorithmus tatsächlich auch als der künftige internationale Verschlüsselungs-Standard (AES) ausgewählt wurde. Der symmetrische Algorithmus wird innerhalb des mlb im CBC-Modus (cipher block chaining) mit einer Schlüssellänge von 128 Bits betrieben.

### 3.3.2 AP2 – Entwurf und Implementierung der Verschlüsselungskomponente: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Implementierung und die Integration der Verschlüsselungskomponente im mlb erfolgten in Absprache mit den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Teilprojekts 2. Nach eingehender Diskussion über die Architektur wurde beschlossen, dass die eigentliche Verschlüsselung der Anwendungsdaten auf der RTP/I-Ebene geschehen soll. Allerdings wird der geheime Chiffrierschlüssel weiterhin innerhalb einer Benutzerauthentisierungs-Prozedur des mlb über einen Schlüsselverteiler ausgetauscht (siehe Abbildung 16).

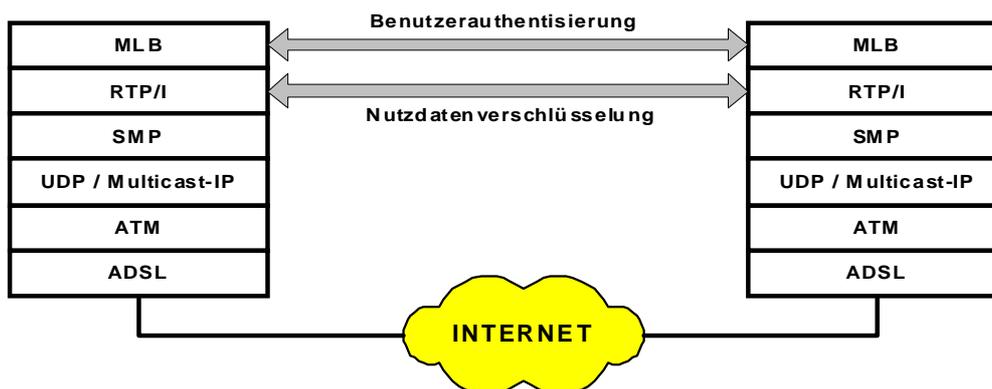


Abbildung 16: Sicherheitsprozeduren zwischen zwei mlb-Benutzern

Ferner wurde ein zentralisiertes Schlüsselverteilungssystem speziell für das mlb entwickelt (Abbildung 17). Das System beinhaltet einen vertrauenswürdigen Schlüsselservers, der in Verbindung mit einer relationalen Access-Datenbank die Übersicht über verfügbare mlb-Sitzungen und registrierte mlb-Benutzer hat. Um Engpässe zu vermeiden, könnte zum Beispiel künftig ein solcher Schlüsselservers pro Universität aufgestellt werden.

Neue, zu schützenden mlb-Sitzungen können dann beim Schlüsselservers entweder lokal vom Serveradministrator oder über das Internet von mlb-Benutzern angemeldet werden. Die dazu gehörigen Chiffrierschlüssel werden im Server mittels eines sicheren Pseudozufallsgenerators erstellt. Durch den Einbau eines Schlüsselverwaltungsmoduls in das mlb ist ein autorisierter mlb-Benutzer in der Lage, sich bei dem Schlüsselservers zu authentisieren, um den Chiffrierschlüssel für eine geschützte mlb-Sitzung (z.B. eine interne Gruppendiskussion) vom Server zu laden. Die Kommunikationssicherheit wird in diesem Fall durch die Anwendung des Public-Key-Verfahrens gewährleistet. Das Verfahren wurde so entworfen, dass eine mlb-Sitzung für alle registrierte Benutzer oder nur für einen bestimmten Benutzerkreis konfiguriert werden kann. Abbildung 17 zeigt die einzelnen Systemkomponenten, die bei der Schlüsselverteilungsprozedur beteiligt sind.

Der Schlüsselservers wurde für das Betriebssystem WindowsNT/2000 entwickelt und verfügt über eine grafische Benutzerschnittstelle zur Verwaltung der registrierten Benutzer und Sitzungen (Abbildung 18). Die Verschlüsselungskomponenten, die direkt in das mlb (Authentisierung) bzw. in das RTP/I-Protokoll zur Nutzdaten-Verschlüsselung eingebaut sind, wurden sowohl für Windows als auch für Linux implementiert.

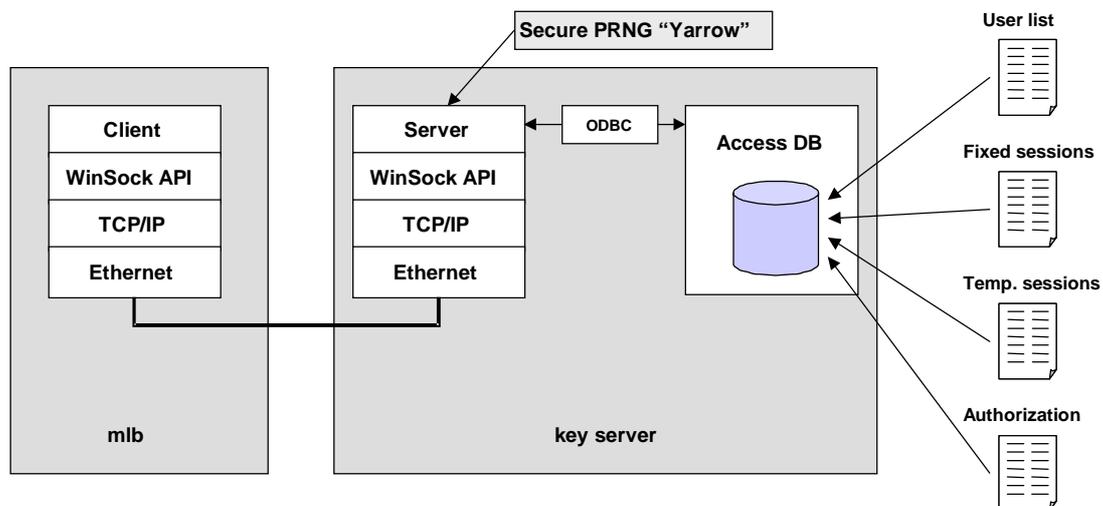


Abbildung 17: Komponenten des Schlüsselverteilungssystems

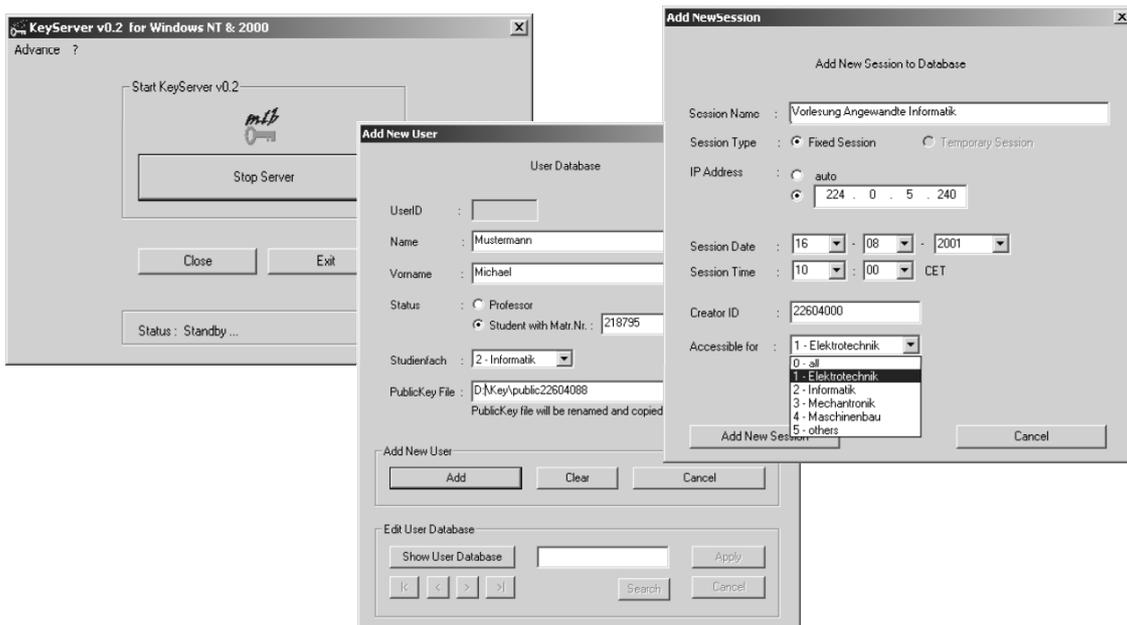


Abbildung 18: Grafische Benutzeroberfläche des Schlüsselservers

Eine Reihe von Systemtests wurde innerhalb eines LANs erfolgreich durchgeführt. Die Tests bestanden zum Beispiel aus der Anmeldung einer neuen Sitzung beim Schlüsselserver, sowohl lokal als auch über das Netz, Anforderung der Sitzungsliste, Auswahl einer Sitzung und Empfangen des Chiffrierschlüssels, verschlüsselte Kommunikation bei unterschiedlichen mlb-Funktionalitäten, z.B. Chatten, Whiteboard, Hand-Raising-Tool, zwischen zwei oder drei mlb-Benutzern, die die gleichen oder unterschiedlichen Betriebssysteme (Windows und Linux) benutzten. Die Tests verliefen erfolgreich.

Die Arbeiten zur Implementierung der Verschlüsselungskomponente und ihre Integration in mlb (Version 0.7.10) konnten – abweichend vom ursprünglich vorgesehenen Projekt-Zeitplan – erst im September 2001 abgeschlossen werden. Dies lag daran, dass ein Versions-Update des mlb innerhalb des Teilprojekts 2 eine Anpassung bzw. Modifizierung der Verschlüsselungskomponente erforderte bzw. erst ermöglichte. Außerdem wurden zahlreiche Zusatz-Funktionalitäten am Schlüsselserver, die bei der Projektplanung zunächst nicht berücksichtigt worden waren, die sich aber während der Entwicklungsphase als notwendig herausstellten, implementiert, zum Beispiel die Verwaltung von benutzerspezifischen Sitzungslisten.

Im Rahmen des Arbeitspakets 2 sollte ursprünglich auch ein Verfahren zur sicheren Verteilung der Chiffrierschlüssel an Studenten bzw. zur Benutzerauthentisierung entworfen werden. Nach eingehender Recherche wurde festgestellt, dass es zurzeit noch kein Standardverfahren zur Benutzerauthentisierung bzw. zum Schlüsselaustausch für eine *Multicast-Kommunikation*, wie im Falle des mlb, existiert. Daher wurde ein eigenes anwendungsspezifisches Authentisierungs- und Schlüsselaustauschverfahren für das mlb entworfen, das auf standardisierte kryptographische Verfahren, wie beispielsweise Public-Key-Verfahren, zurückgreift. Es sieht den Einsatz eines zentralen vertrauenswürdigen Schlüsselverteilers (Trusted Key Server) vor, der die Chiffrierschlüssel für bestimmte mlb-Sitzungen generieren und an die autorisierten Benutzer verteilen soll. Eine gegenseitige Authentisierung zwischen dem zentralen Schlüsselverteiler und den Benutzern sollte vor dem Schlüsselaustausch erfolgen. Die Chiffrierschlüssel sollten mittels des Public-Key-Verfahrens ausgetauscht werden (vgl. Abbildung 19).

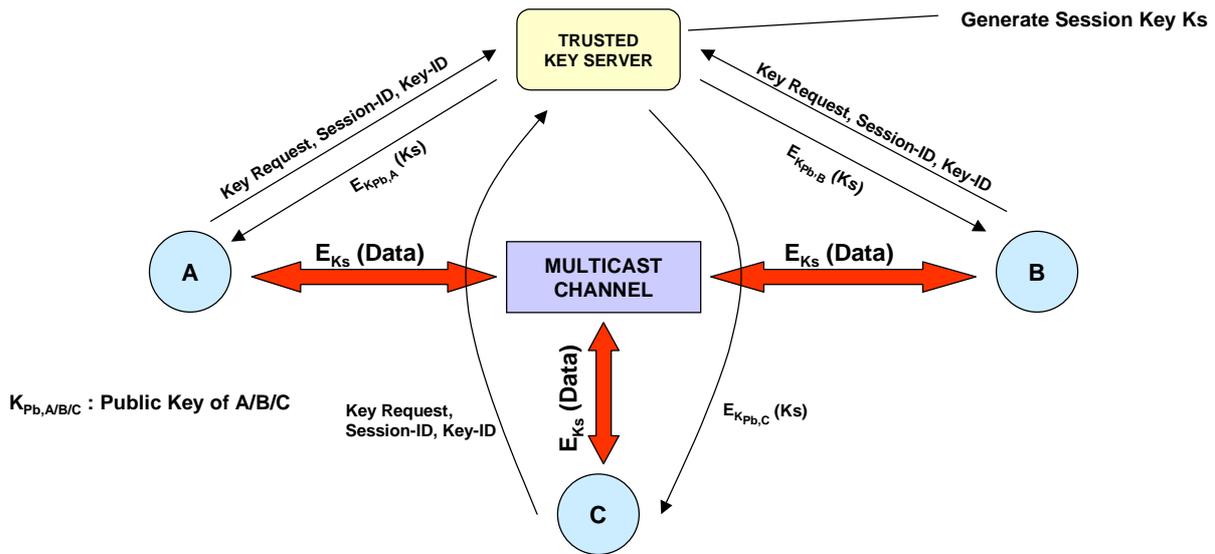


Abbildung 19: Verfahren zur Benutzerauthentisierung und zum Schlüsselaustausch für das mlb

### 3.3.3 AP3 – Analyse von Watermarking-Algorithmen: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Die Arbeiten an Arbeitspaket 3 begannen im August 2000. Es wurden die Anforderungen an Watermarking-Verfahren sowohl für Audio- und Video-Daten zum Nachweisen einer vorliegenden Schutzrechtsverletzung identifiziert. Dies betrifft vor Allem die Robustheit der einzelnen Verfahren und die auditiven und visuellen Artefakte, die durch das Einbetten zusätzlicher Wasserzeichen-Bitmuster entstehen können.

Im Bereich Audio-Watermarking wurden die Funktionsweise und Leistung von insgesamt fünf Verfahren studiert und analysiert, wobei letztendlich das Verfahren durch Wahrnehmungsverdeckung in Zeit- und Frequenzbereich ausgewählt wurde. Bei den Video-Watermarkingverfahren wurde insbesondere darauf geachtet, dass das Verfahren in der Lage sein sollte, sowohl unkomprimierte (AVI) als auch komprimierte (MPEG, H.261) Videosequenzen mit nicht-wahrnehmbaren und robusten Wasserzeichen versehen zu können. Das schließlich ausgewählte Verfahren verwendet das Spread-Spectrum-Prinzip, um eine verschlüsselte Pseudozufallsfolge in die Videosequenzen einzubetten, und erfüllt den wissenschaftlichen Veröffentlichungen zufolge die wichtigsten mlb-Anforderungen. Allerdings hat sich durch die Recherche herausgestellt, dass noch weitere intensiven Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet geleistet werden müssen, da keiner der existierenden Algorithmen *allen* genügen konnte. Betroffen ist hier vor Allem die Robustheit der Wasserzeichen.

### 3.3.4 AP4 - Entwurf und Implementierung der Watermarking-Verfahren: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

Zunächst wurde der Watermarking-Algorithmus für die Audiodaten auf der Windows-Plattform implementiert. PCM-Audioausschnitte mit einer Abtastrate von 32 kHz und 44,1 kHz können mit nicht wahrnehmbaren Wasserzeichen versehen werden.

Verschiedene Parameter des Algorithmus, die den auditiven Eindruck und Robustheit des Wasserzeichens beeinflussen, wurden während der Implementierung optimiert. Der Algo-

rithmus wurde dann auf mehrere Audioausschnitte unterschiedlicher Art (Sprache, Pop-Musik, Klassik) angewandt und anschließend einer Hörprobe unterzogen. Dabei waren bei einer optimalen Parametereinstellung kaum bis keine Unterschiede zwischen dem Original und dem markierten Audiostück festzustellen. In den meisten Fällen konnten die eingebetteten Wasserzeichenbitmuster aus den Audiosignalen wieder extrahiert werden (Robustheit), obwohl die Audiostücke nach der Markierung weiter verarbeitet worden waren, z.B. durch MP3-Kompression oder Re-Quantisierung.

Abbildung 20 zeigt einen Ausschnitt der Abtastwerte (32 kHz Abtastrate, 16 bit PCM-Audio) der beiden Audiosignale.

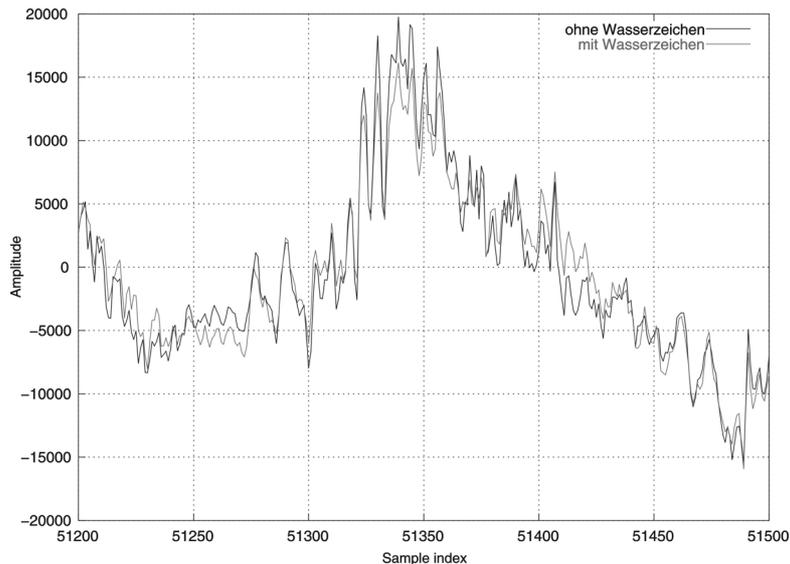


Abbildung 20: Amplitudenvergleich der Audioausschnitte mit und ohne Wasserzeichen

Ferner wurde die Laufzeit des Watermarking-Prozesses in mehreren Testfolgen gemessen. Für einen Audioausschnitt von 10 s wurden ca. 112 s Rechenzeit auf dem Pentium II 266 MHz mit 128 MB RAM benötigt, um eine 384 Bit lange Wasserzeichenbitfolge wiederholend in die einzelnen Audiosegmente einzubetten. Somit ist mit der jetzigen Technik eine Markierung der mlb-Audiodaten in Echtzeit, d.h. während der Audio-Aufnahme und -Übertragung, auszuschließen.

Das ausgewählte Watermarking-Verfahren für die Videodaten wurde zunächst für unkomprimierte AVI-Videos implementiert. In Verbindung mit den entstandenen visuellen Eindrücken wurden die Parameter, z.B. die so genannte „chip-rate“ optimiert. Es stellte sich dabei heraus, dass die Einbettung der Wasserzeichen-Bitmuster in unkomprimierte Videos keinen hohen Rechenaufwand erforderte (im Gegensatz zu dem oben genannten Audio-Watermarking). Im Gegensatz dazu ist eine viel höhere Bearbeitungsdauer bei der Anwendung des Verfahrens auf komprimierte Videos zu erwarten.

Im April/Mai 2001 wurden die ersten Implementierungsarbeiten für die Markierung von MPEG-2-Videodaten durchgeführt. Die Quellcodes zur Kodierung und Dekodierung von MPEG-2 Videos sind in den frei verfügbaren *Berkeley MPEG Tools* enthalten. Da eine Modifizierung der komplexen Quellcodes erforderlich war, stellen die Arbeiten einen sehr hohen (Programmier-)Aufwand dar. Es waren teilweise sehr detaillierte Kenntnisse der MPEG-2-Kodierung erforderlich, die im Zuge des Projekts erst erworben werden mussten.

Die Arbeiten am Video-Watermarking konnten allerdings bis zum Projektende nicht ganz abgeschlossen werden, da nach Absprache mit den Projektpartnern der Schwerpunkt der Arbeiten auf die vollständige Integration der Verschlüsselungskomponente in die neueste mlb-Version auf beiden Systemplattformen (Windows und Linux) gelegt wurde.

### **3.3.5 AP5 - Erprobung mit Teachware in Aachen, Freiburg und Mannheim: Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse**

Das um die Verschlüsselungskomponente erweiterte mlb wurde im Rahmen der Feldversuche in Aachen und im Projekt VIROR zwischen Mannheim, Freiburg und Karlsruhe erprobt. Diese Feldversuchen wurden bereits weiter oben ausführlich beschrieben.

## **3.4 Publikationen aus Teilprojekt 3**

- [30] Hormann, T., "Bewertung von Authentisierungs- und Schlüsselaustauschmechanismen für eine Teleteaching-Anwendung", Studienarbeit, Lehrstuhl Kommunikationsnetze, RWTH Aachen, Oktober 2000
- [31] Probokoesoemo, R., "Bewertung von Krypto-Algorithmen für eine Teleteaching-Anwendung", Studienarbeit, Lehrstuhl Kommunikationsnetze, RWTH Aachen, Dezember 2000.

## **4 Abschließende Bemerkungen**

Erfreulicherweise konnten alle wichtigen Arbeitspunkte des doch recht großen und komplexen ANETTE-Projekts sehr erfolgreich erledigt werden. Es wurde außerordentlich viel Code geschrieben, und die entwickelte Software aus allen drei Teilprojekten läuft stabil. Mit Zustimmung des DFN-Vereins wurde der mlb-Code als Open Source unter der GNU Public License zur allgemeinen Verwendung freigegeben.

Nur ein kleineres Teilziel konnte nicht erreicht werden, nämlich ein Feldversuch, der die in Aachen mit ADSL angebundene Studenten *über eine Fernstrecke* von Mannheim aus an einer Tele-Vorlesung hätte teilnehmen lassen. Der Grund dafür liegt im Fehlen einer dienstgütgarantierten Strecke vom Hörsaal in Mannheim bis zum Rechenzentrum in Aachen. Eine solche Strecke konnte leider bis zum Projektende nicht geschaltet werden. Die im letzten Quartal 2001 realisierte Ersatzlösung mit IP-Reflektoren funktionierte trotz hoher Bandbreite im Gigabit-WIN nicht zufriedenstellend, es wurden hohe Paketverlustraten auf der Fernstrecke beobachtet.

Die Zusammenarbeit zwischen den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern in allen Teilprojekten an allen vier Standorten funktionierte hervorragend. Es gab regelmäßige Kontakte, Austausch von Code und gemeinsame Arbeitstreffen aller Beteiligten etwa alle vier Monate.

Im Personalbereich blieb das Projekt nicht von der starken Fluktuation verschont, die im Zeitraum 1999 bis 2001 die gesamte Computerbranche heimsuchte. In diesen Jahren waren die Universitätsgehälter nach BAT noch weniger konkurrenzfähig als sonst schon. So verließ Dr. Werner Geyer (Universität Mannheim) das Team zum 31.01.2000, um eine Stelle als Wissenschaftler bei IBM Research in Yorktown (USA) anzutreten. Es war aufgrund der damals extrem angespannten Lage auf dem Arbeitsmarkt außerordentlich schwierig, eine Ersatzperson für diese halbe Stelle einzustellen. Stattdessen wurden die eingesparten Mannmonate mit noch ausstehenden Mannmonaten zusammengefasst und dann eine Wiederbesetzung als volle Stelle für die Restlaufzeit vorgenommen, was sich sehr gut bewährte. Gabriele Maass verließ das Projekt zum 15.07.2001; so kurz vor dem planmäßigen Projektende am 30.09.2001 war es nicht mehr möglich, eine Ersatzperson zu gewinnen, was den „Endspurt“ bei der Implemen-

tierung des mlb etwas beeinträchtigte. Und bedauerlicherweise erkrankte Frau Lange (NEC) im Dezember 2001; sie fehlte für mehrerer Wochen, was die Erstellung dieses Abschlussberichts verzögerte.

Aus dem Projekt ist eine größere Zahl von ausgezeichneten Publikationen auf sehr guten Konferenzen hervor gegangen, vor allem aus Teilprojekt 2; auch sind mehrere Dissertationen, Diplomarbeiten und Studienarbeiten im Rahmen von ANETTE erfolgreich abgeschlossen worden.

Auf der administrativen Seite hat es sich als sehr positiv erwiesen, dass der DFN-Verein mit den einzelnen Partnern getrennte Verträge abgeschlossen hatte. So konnte die Überwachung des Mittelabflusses an den einzelnen Standorten dezentral erfolgen, was von allen Partnern als sehr vorteilhaft angesehen wurde. Eine zentrale Koordination der Finanzmittel hätte einen kaum vertretbaren Overhead zur Folge gehabt, zumal ja auch eine Stelle für einen Projektleiter/Geschäftsführer o.ä. nicht zur Verfügung stand. Sehr günstig wirkte sich auch die vom DFN-Verein unbürokratisch bewilligte kostenneutrale Verlängerung an den Standorten Mannheim und Freiburg aus; sie dienten vor Allem dazu, letzte Fehlerbehebungen und Funktionserweiterungen am mlb durchzuführen.

## **5 Danksagung**

Die Projektpartner möchten sich an dieser Stelle noch einmal ausdrücklich bei allen bedanken, die zum Gelingen des Teilprojektes beigetragen haben. Besonderer Dank gilt dabei dem DFN-Verein, der das Projekt in allen Phasen tatkräftig und unbürokratisch unterstützt hat. Herrn Hektor und Herrn Schreiber vom Rechenzentrum der RWTH Aachen danken wir für ihre Unterstützung bei der Installation der ATM/ADSL-Infrastruktur und bei der Durchführung von zahlreichen Tests der Multicast-Anbindung. Die Verantwortlichen für die Ortsvermittlungsstelle Aachen-Hörn der Deutschen Telekom AG haben uns bei der Behebung von Leitungsstörungen stets schnell und unkompliziert geholfen. Auch möchten wir allen teilnehmenden Studenten in Aachen für die sehr gute Mitwirkung, für ihre Geduld und ihre konstruktive Kritik danken.

Mannheim, im März 2002

Prof. Dr. Wolfgang Effelsberg