



Bewegtes Lernen in mobilen Kommunikationsinfrastrukturen*

Thomas C. Schmidt^{1,2}, Matthias Wählisch¹, Hans L. Cycon³,
Mark Palkow³, Henrik Regensburg³

¹ {schmidt,mw,hcycon,mpalkow,h.r}@fhtw-berlin.de

FHTW Berlin, Hochschulrechenzentrum, Treskowallee 8, 10318 Berlin

² HAW Hamburg, FB Elektrotechnik und Informatik, Berliner Tor 7, 20099 Hamburg

³ FHTW Berlin, FB Ingenieurwissenschaften 1, Allee der Kosmonauten 20-22, 10315 Berlin

Zusammenfassung: Die rapide Verbreitung von 802.11 WLANs hat in den Hochschulen mobile Lern- und Arbeitsformen gemeinsam mit den erforderlichen Infrastrukturentwicklungen zu Schwerpunktthemen werden lassen. Als eine der BMBF „Notebook-Universitäten“ erarbeitet und erprobt die FHTW Berlin Szenarien und Lösungen ubiquitären Computings am Campus. Echtzeitkommunikations- und -informationsformen wie Videokonferenz- und Streaminganwendungen nehmen hierbei eine strategische Rolle ein.

Wir stellen nachfolgend synchrone und asynchrone Anwendungen im experimentellen Lehr- und Lerneinsatz vor sowie deren probeweise Einbettung in eine mobile Internetinfrastruktur. Ausgehend von gegenwärtigen Drafts zur Mobilität in IP Netzwerken analysieren wir Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Echtzeitanwendungen hierin. Die Verbreitung synchroner, kooperativer Lernformen im Internet stützt sich wesentlich auf Mechanismen der Gruppenkommunikation. Mobiles Multicasting bildet deshalb einen weiteren Schwerpunkt dieser Betrachtungen.

1 Einleitung

Mobiles Lehren und Lernen im Paradigma des ubiquitären Computings ist ein Gegenstand gegenwärtiger Visionen, Experimente, erster Erfahrungen und offener Fragen: Das Notebook als mobiler und stets netzverbundener Arbeitsplatz kann Lernende und Lehrende bei ihrer Informationserarbeitung in unserer Wissensgesellschaft allgegenwärtig begleiten. Welche neuen Möglichkeiten sich durch die technischen Errungenschaften ergeben und worin spezifische Mehrwerte für den Erwerb von Wissen und Verständnis liegen, gilt es heute zu ergründen, zu analysieren und zu einem späteren Zeitpunkt reicherem Erfahrungsstandes zu bewerten.

Seit einigen Jahren haben uns Einfachheit und Leistung der Internet Suchmaschinen unwiderruflich daran gewöhnt, daß Wissenszugänge einerseits der unmittelbaren Vermittlung durch Lehrende entzogen sind, Informationszusammenhänge, Reflektionen und Wissensbewertung andererseits den simplen Zugang zu Fakten offensichtlicher denn je relativie-

* Die hier vorgestellten Arbeiten wurden teilweise durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung im Projekt **Musical**, durch das EFRE Programm der Europäischen Union im Projekt **E-Train** und durch das EUMIDIS Programm der Europäischen Union im Projekt **Odisseame** gefördert.





ren. Allgegenwärtige Netzcomputer transportieren dieses Spannungsfeld nun direkt in die Hörsäle und provozieren so eine aktive und unmittelbare Auseinandersetzung.

Darüber hinaus werden die erweiterten technischen Möglichkeiten vor allem als logistische Befreiung verstanden: Netzbasierte Systeme gestatten das elektronische Versenden des Lehrangebots, eine aktive ortsunabhängige Teilnahme und verteiltes, interaktives Präsentieren. Vortragenden wird es ermöglicht, Folien und Applikationen an die Rechner der Teilnehmer zu schicken sowie mittels Videokonferenzen andere Hochschulen in Vorlesungen einzubinden. Teilnehmer hingegen können dies nicht nur empfangen, sondern eigenständig Inhalte auf gleichem Weg verteilen. Die Nachbearbeitung der Vortragsthemen kann so durch Aufzeichnungen der Vorlesungen und ihre Bereitstellung in vielfältigen Medienformaten vereinfacht werden.

Diese Optionen gilt es auszufüllen, auch über das Offenkundige hinaus Lernszenarien zu gestalten, welche den konventionellen Stil der Stoffvermittlung bereichern, zugänglicher und erfolgreicher werden lassen. Im Rahmen des ‚Notebook University‘ Projekts Musical sowie weiterer Pilotprojekte hat die FHTW Berlin diese Herausforderung angenommen, Experimente und Probeszenarien aufgenommen. Gegenstand dieser Aktivitäten sind sowohl die Ausgestaltung und der praktische Einsatz traditioneller Lernplattformen, als auch die Entwicklung und Erprobung von Plattformen für ‚objektorientierte‘ Informationsansätze mittels E-Learning Objects. Szenarien reichen von der Integration persönlicher Notebookarbeitsplätze über das Angebot von verteilten Laborexperimenten bis zu spezifischen Übungen in bereitgestellten mobilen Computerlaboren. Dieser Beitrag stellt einige von diesen Ansätzen vor.

Eine Kernkomponente des notebookgestützten mobilen Lernens bilden synchrone, interaktive Kommunikationsformen. Jenseits des Chat sind dies Audio- und Videokonferenzen, welche ein umfangreiches Spektrum an Anwendungsformen anbieten [1]. Ihrem potentiellen Einsatzreichtum stehen technische Komplexität und qualitative Beschränkungen der meisten Videokonferenzlösungen im Internet (VCoIP) entgegen. Neben unterschiedlichsten Einsatzszenarien und deren technischer Realisierung mit Hilfe eines VCoIP Systems stellen wir nachfolgend unsere Lösung einer leistungsstarken, flexiblen Software mit verteilter Architektur vor.

Der Umgang mit vielen dieser neuartigen mobilen Anforderungen bereitet der konventionellen Internet Infrastruktur in der Version 4 konzeptionelle Schwierigkeiten. Die in videobasierten Lernanwendungen grundlegende Gruppenkommunikation auf der Basis von Multicast bildet eine zusätzliche Herausforderung für eine mobilitätsunterstützende Vermittlungsinfrastruktur. Vor diesem Hintergrund konzentrieren sich wesentliche Projektaktivitäten auf die Erprobung, Implementierung und konzeptionelle Erweiterung eines künftigen mobilen Internet der nächsten Generation, wie wir es uns an vielen Hochschulcampi bald vorzufinden wünschen.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich wie folgt: Das anschließende zweite Kapitel stellt unsere erprobten Lernszenarien exemplarisch vor mit einem besonderen Fokus auf videokonferenzbasierten Lösungen und lernobjektbasiertem Content Management. Kapitel drei widmet sich unserer Videokonferenz Software Lösung und ihren technischen Eigenschaften. Kapitel vier stellt Verfahren und Analysen von Mobile IPv6 vor sowie unsere



Vorschläge zur Integration eines echtzeitfähigen Multicast Supports innerhalb eines künftig mobilen Internets. Kapitel fünf schließt dann mit der Zusammenfassung und einem Ausblick.

2 Szenarien in der Erprobung

2.1 Verteiltes Präsentieren

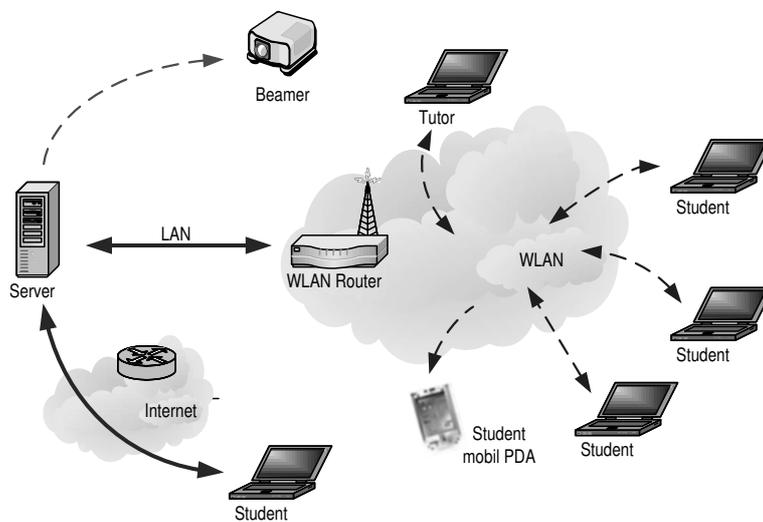


Abbildung 1: Präsentationsverteilung auf mobile Rechner und Beamer.

Lehrräume mit Kreidetafeln und Overhead-Projektoren finden wir zunehmend durch PC-Projektoren (Beamer) und Netzwerkinfrastruktur ergänzt. Diese alltägliche Lehrsituation, in der Dozenten in medientechnisch ausgestatteten Hörsälen und Seminarräumen ihren Vortrag für das anwesende Auditorium projizieren, lässt sich mithilfe der in Abschnitt 3 vorgestellten Videokonferenzlösung wirkungsvoll ergänzen. Die überwiegende Anzahl der Teilnehmer in diesem Szenario befindet sich wie bei klassischen Vorträgen in dem gemeinsamen Raum mit einem Beamer. Ein PC wird als Server mit dem Projektor verbunden. Aus Sicht der VCoIP-Software fungiert dieser Server wie ein Konferenzteilnehmer, nur ohne Kamera und Mikrofon. Alle weiteren Teilnehmer sind per Festnetz (LAN) oder über drahtlose Funkverbindung (WLAN) mit dem Intranet verbunden. Nach Anmeldung über einen Webserver sind alle Teilnehmer PCs über das Konferenzsystem miteinander verbunden (s. Abb. 1). Jeder kann damit seine Beiträge per Application Sharing zu den anderen Teilnehmern schicken und damit auch zum Server, welcher den Projektor ansteuert. Auf diese Weise können Beiträge der verschiedenen Teilnehmer gemeinsam oder sukzessive auf dem Projektor präsentiert werden ohne zeitraubendes Umstecken und Justieren der Darstellung. Gleichermassen können externe Teilnehmer in transparenter Weise Präsentationen einbringen.



Eine geeignete Modifikation dieser Technik wurde von T. N. Nguyen und G. Kaiser [2] konzipiert und bei einem Notebook University Projekt (Medu-Mobile) an der Charité Berlin zur Übertragung von medizinischen Szenarien aus dem Krankenzimmer zu den Laptops von Medizinstudenten eingesetzt.

Ebenfalls in der Charité Berlin im neu eingerichteten Histologiesaal wurde eine reine LAN-Variante dieses Systems realisiert [3]. Dabei handelt es sich um eine Version mit besonderen Anforderungen: die Videobilder werden in der hohen Qualität des PAL Formats aus dem Mikroskop des Vortragenden gemeinsam mit Mauszeigerbewegungen per Multicast an 60 Studenten-PCs übertragen.

2.2 Plattformbasiertes, komplementäres Lernen

Der Einsatz von Lernplattformen bildet einen konventionelle Weg, dem Mobilitätsanspruch zu begegnen: Lernende und Lehrende ‚in Bewegung‘ treffen sich mittels einer stationären Anlaufadresse im Netz zur ‚virtuellen Begegnung‘ oder zum Informationsaustausch. Eine primäre inhaltliche Rolle solcher Plattformen bleibt dabei gegenwärtig in der Diskussion, ebenso wie Funktionalitäten und Zielszenarien. Hierbei reicht der Diskurs von der administrativen Sicht einer Lern-*Management*-Plattform über die inhaltlichen Ansprüche im didaktischen *Content Management* bis zur integrierten Bereitstellung interaktiver, inhaltspezifischer Kommunikations- und Übungswerkzeuge. Die erwartete Unterstützung im Alltagseinsatz rankt demgemäß von Organisatorischem über ein ‚Downloadmanagement‘ bis hin zu hochwertigen inhaltlichen Materialaufbereitungen und Kooperationsumgebungen.

Die FHTW, welche sehr frühzeitig mit der Kooperationsumgebung ‚Virtual Design‘ für Designer im Netz [4] plattformbasierte Lernexperimente aufgenommen hat, führt diesen experimentellen Diskurs unter Einsatz verschiedenartiger Plattformsätze. Netzbasierte Lehrangebote bleiben dabei zunächst komplementär zu traditionellen Vorlesungs- und Übungsveranstaltungen, wobei erste netzzentrierte Lehrveranstaltungen in den Bereichen Fernstudium und Weiterbildung aufgenommen wurden. Gegenwärtig befinden sich nachfolgende Plattformen im Einsatz bzw. der Implementierung (vgl. Abb. 2):

2.2.1 Clix Campus als Eintrittspunkt

Heterogenität kann Vielfalt, aber auch Verwirrung bedeuten. Im Hochschulnetz verstreut anzutreffende Lernplattformexperimente laufen Gefahr, das Augenmerk voneinander abzulenken. Mit einem Eintrittspunkt steuert die FHTW dem entgegen. Diese Rolle nimmt das kommerzielle Lernmanagement System Clix Campus ein, nicht zuletzt infolge seiner ausimplementierten und schnittstellenfähigen administrativen Funktionen. Inhaltlich hat sich die Plattform als Downloadmanager für Lehrmaterialien zwischenzeitlich etabliert, weitergehende Bereiche des didaktischen Content Managements erscheinen aufgrund beschränkter, rigider Konzepte und ungenügender Browserunterstützung eher in ferner Reichweite.



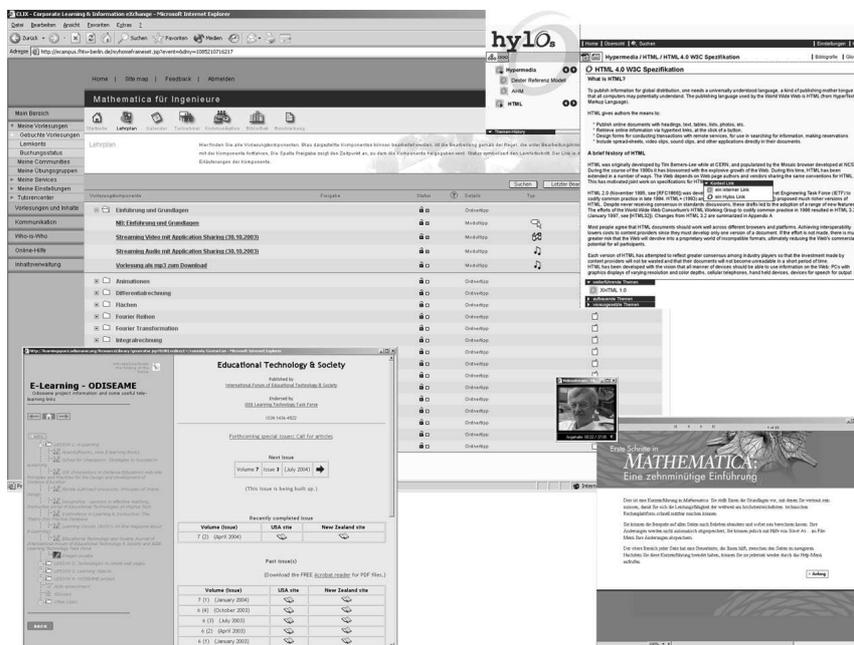


Abbildung 2: Lernplattformen im experimentellen Einsatz.

2.2.2 Streaming Services

In unserer verteilten Präsentationlösung (vgl. Abschnitt 2.1) können entstehende Medienströme von dem Dozentennotebook über das WLAN ins Rechnernetz versendet und – ggf. verknüpft mit Videoaufnahmen aus dem Hörsaal – von einem beliebigen, der Sitzung beiwohnenden Notebook aufgezeichnet werden. Vorlesungsinhalte werden in ein Microsoft-Streaming Format transkodiert, auf einem Streaming Server bereitgestellt und mit der Lernplattform Clix verlinkt. Auf diesem Wege können bereits kurz nach Ablauf der Lehrveranstaltung die Originalmitschnitte im Netz verfügbar gemacht werden. Eine vollständige Vorlesungsreihe über Audio-/Videotechnik wurde im Rahmen eines ESF Projektes [5] mit diesem System produziert und über die FHTW online bereitgestellt. Die Materialien werden im Rahmen von ‚blended learning‘ Weiterbildungskursen an der FHTW eingesetzt.

2.2.3 Odiseame als internationale Kooperationsplattform

Eine Plattformneuentwicklung findet im Rahmen des Europäischen Verbundprojektes Odiseame statt mit dem gegenwärtigen Stand eines komplexen Systems im Betastadium [6]. Schwerpunkte dieser Aktivitäten liegen in umfangreichen Sprachlokalisierungen, weitverkehrsoptimierten synchronen Kooperationswerkzeugen und einer flexiblen, leistungsfähigen Strukturierungsebene zur Abbildung individueller Instruktionsdesigns.

2.2.4 Das Hypermedia Learning Object System hylOs

ist eine experimentelle Plattformentwicklung, welche dem didaktischen Content Management Ansatz der E-Learning Objekte gem. IEEE LOM [7] konsequent folgt [8], [9]. Lernobjekte bestehen aus kohärenten Inhaltsbausteinen, z. B. Folien, ausformulierten Darstellungen und ‚rich media‘ Anteilen, standardisierten Metadaten und Strukturverweisen. Sie werden als selbstkonsistente und selbstständig strukturierbare Entitäten verarbeitet. hylOs unterstützt hierbei hochstehende Autorenprozesse, flexible Management- und Retrievaloperationen und eine Präsentationsschicht variabler Zugangsstrukturen. hylOs basiert auf der allgemeineren Entwicklungsplattform Media Information Repository (MIR), einem offenen Hypermediasystem, welches die Standards XML, JNDI und Corba unterstützt [10].

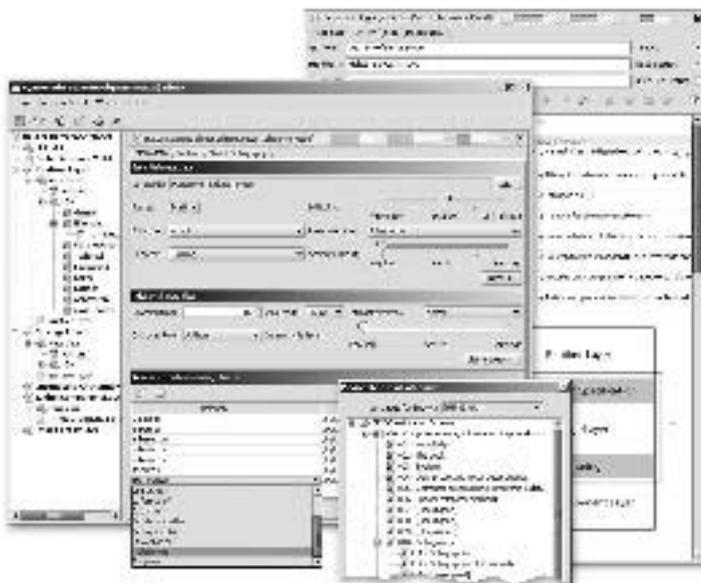


Abbildung 3: Ein komfortabler Editor für eLearning Objects.

Das Erstellen eines E-Learning Objects (eLOs) erfordert die zusammenfassende, selbstkonsistente Darstellung eines in sich abgeschlossenen Gegenstandes in ggf. mehrfachen Formen (Folien, Langtext, ...) sowie deren Auszeichnung mit Metadaten und Strukturen. Um diesen vergleichsweise aufwändigen Prozess für Autoren intuitiv und einfach zu gestalten, bietet hylOs *einen* Editor, mit welchem unterschiedliche Inhaltsformen und Metadaten zusammenhängend erstellt werden (vgl. Abb. 3). Die Kernkomponente zur Inhaltserstellung bildet ein Word-artiger WYSIWYG XML Editor, manuell einzupflegende Metadaten werden durch verschiedene Akquisetechniken auf sieben Attribute reduziert.

Die hylOs Präsentationsebene operiert unter weitgehendem Verständnis der eLO Semantik: Den LOM Attributen folgend kann der Lernende Anzeigen persönlich an Komplexitätsstufen, Kontexte, semantische Dichte und weitere Vorgaben anpassen. Verschiedene Zugangswege erlauben es, nach didaktischen Modellen der eigenen Wahl zu operieren (vgl. Abb. 4). Darüber hinaus gestattet das System, die in der jeweiligen Sicht gezeigten Hyperlinks nach frei definierbaren semantischen ‚Link Kontexten‘ auszuwählen.



Abbildung 4: Drei Zugangswege zu den Inhalten in hylOs: Hierarchisch gegliederter Überblick, vordefinierter linearer Instruktionspfad und ein konstruktivistischer Explorationsnavigator.

2.3 Video Conferencing in der Lehre

Das im folgenden Abschnitt näher beschriebene System zur Audio und Video Kommunikation über IP kann zu unterschiedlichen Lehr- und Lernszenarien im Intra- und Internet eingesetzt werden. Dabei gestattet die hohe technische Integrativität und Skalierbarkeit sowohl den Einsatz zwischen Präsentationsszenarien verteilter Hörsäle (vgl. Abschnitt 2.1), als auch die Gruppenkommunikation zwischen Studentennotebooks in schmalbandigen Netzen.

2.3.1 Synchrones Lernen

Der Vortragende und die Studenten können sich wie im klassischen Frontalunterricht in einem Raum befinden oder auch räumlich verteilt mit ihren PCs in einem gemeinsamen Intranet. Die Teilnehmer bauen per Mausclick mit denen von einem Webserver übermittelten Information die Verbindung zum Vortragenden und somit zu allen anderen Partnern auf. Danach kann dieser seine PC-Anwendungen, einschließlich Mauszeigerbewegungen etc. an die PCs der Studierenden schicken. Die Studenten außerhalb des Raums können

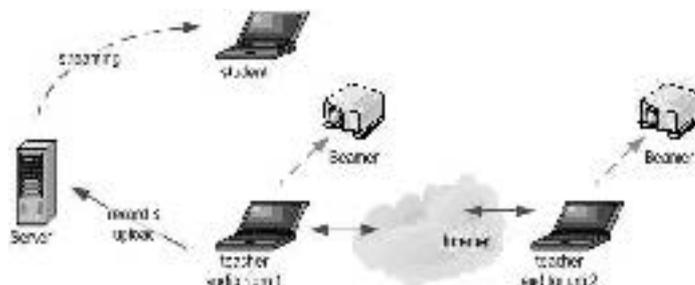


Abbildung 5: Crossteaching Szenario

die Vorlesungen per Realzeit-Video sehen und hören oder nur hören, je nach verfügbarer Bandbreite. Sie können auch wahlweise aktiv über einen Video- bzw. Audio-Rückkanal teilnehmen. Die Latenzzeiten sind in beiden Richtungen im Bereich von ca. 100 ms, was eine echte Konferenzsituation ermöglicht. In anderen Szenarien können Studenten auch selbst in kleinen Gruppen per Videokonferenz zusammen arbeiten. Innerhalb eines peer-to-peer Netzwerks kann jeder Student PC-Anwendungen senden und empfangen. Ebenfalls unterstützt wird die gemeinsame Arbeit an einer Anwendung (Applicationsharing).

2.3.2 Crossteaching

Das System wird ebenfalls für so genanntes ‚Crossteaching‘ zwischen verschiedenen Universitäten genutzt, wie z.B. der Universität Linz, der FH Hagenberg, der ODU in Virginia und der FHTW Berlin [11]. Dabei sind an beiden Orten Professoren und Studenten in einem Hörsaal (s. Abb. 5). Die Videos inklusive dynamischer Anwendungen der jeweils anderen Seite werden auf eine Leinwand projiziert. Die Professoren können ihre Vorträge wechselseitig präsentieren oder innerhalb einer Diskussion einbringen. Auch die Studenten können per Funkmikrofon teilnehmen. Die Qualität der Audio und Videoverbindungen ist jedoch stark von der verfügbaren Bandbreite der jeweiligen Internetverbindung abhängig. Alle Sitzungen können an beiden Orten aufgezeichnet und in einem Streaming-Format gespeichert werden und stehen somit asynchron auch anderen Studenten zur Verfügung. In ähnlicher Konstellation wurde das System auch zu einer Diplomprüfung zwischen Berlin und Chicago eingesetzt.

3 Die Videokonferenz Kernkomponente

Das digitale Audio-Video Konferenzsystem daViKo [12], das wir hier verwenden, ist eine von den Autoren entwickelte mehrpunktfähige IP basierte Video/Mediakonferenzsoftware ohne zentrale Mehrpunkt-Steuerungseinheit (MCU). Da es als reine Softwarelösung auf handelsüblichen PCs abläuft, sind außer einer geeigneten Webcam und einem Audioset keine besonderen Hardwarekomponenten notwendig. Die Software ist als peer-to-peer-Modell konzipiert, als ein Konferenzsystem, das ähnlich wie E-mail global im Internet

benutzbar ist. Dies bedeutet allerdings, daß das System nicht zum Videokonferenzstandard H.323 [13] konform ist. Kernkomponente des Systems ist eine Videokompressionssoftware (DAVC), die auf einer für kleine Bitraten optimierten Implementierung des H.264/AVC [14] Standards beruht, und die die Videodaten auf der Senderseite komprimiert und auf der Empfängerseite wieder dekodiert. Der Encoder dieser Implementierung erzeugt bei einer Bitrate von 300 kbit/s eine um ca. 1,5 dB PSNR bessere Bildqualität als das Verifikationsmodell VM 8.2. Die Bildfrequenz bei dieser Bitrate erreicht auf einem Pentium 4 2,2 GHz 65 Fps (gleichzeitiges Codieren und Decodieren). Wegen der aufwendigeren Bewegungssuche erzeugt das Verifikationsmodell jedoch bei größeren Bitraten höhere Bildqualitäten als die DAVC Implementierung (s. Abb. 7).

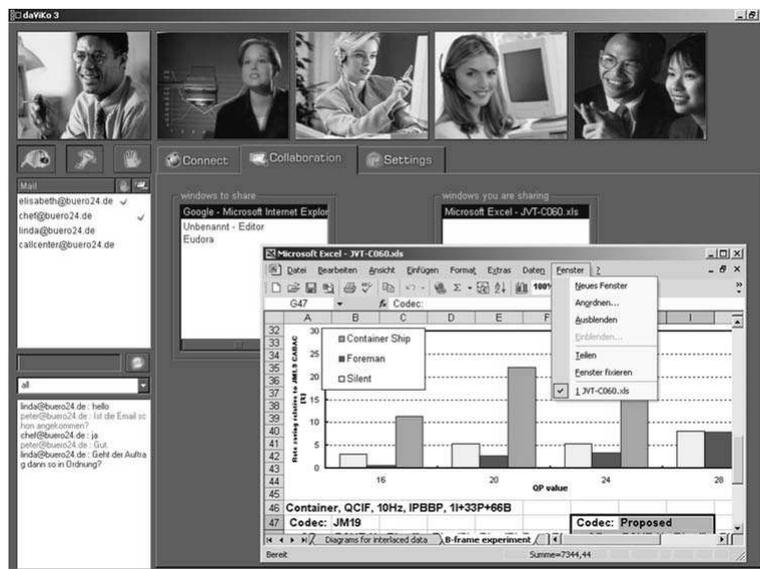


Abbildung 6: Das daViKo VCoIP Konferenzsystem.

Durch geeignete Parameter kann die den Codec steuernde Kommunikationssoftware im laufenden Betrieb auf Bandbreiten von 24 bis 1400 KBit/s eingestellt werden. Für größere Bitraten wird auch ein spezieller wavelet-basierter ‚low complexity‘ Codec eingesetzt [15], der volle digitale PAL – und auch XGA (1024x768) – Videoformate in Echtzeit codieren und decodieren kann. Die Audiodaten werden mit einem Codec variabler Bitrate [16] komprimiert, wobei Verzögerungszeiten von maximal 120 ms auftreten. Audio- und Videodaten können sowohl per unicast als auch multicast Protokoll übertragen werden. Zusätzlich ist auch noch ein Applicationsharing Modul integriert, womit beliebige PC Anwendungen von mehreren Teilnehmern gemeinsam bedient und gesehen werden können. Das System ist besonders geeignet für Intranetbetrieb, aber auch für drahtlos über WLAN verbundene Videokonferenzen, da die notwendige minimale Übertragungsbandbreite 24 KBit/s beträgt und die Audio-/Videoqualität an die verfügbare Bandbreite angepaßt wer-

den kann. Für kleinere verfügbare Bandbreiten kann der Videostrom auch abgeschaltet werden, so daß die Kommunikation nur noch über Audio und Applicationsharing erfolgt.

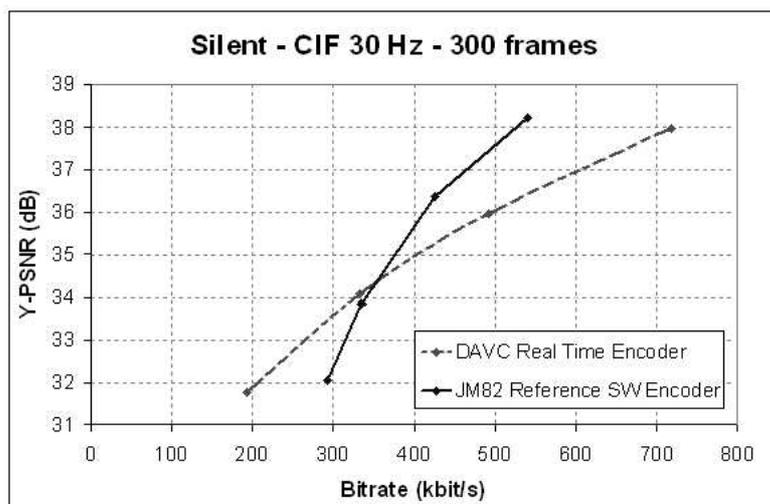


Abbildung 7: Bildqualität vs. Bitratenvergleich zwischen H.264/AVC Referenzimplementierung VM8.2 und dem hier diskutierten DAVC Codec.

Der Verbindungsaufbau erfolgt nach einem EMail-gleichen Mechanismus zur Nutzerlokalisierung. Nach dem Aktivieren der Software registriert sich der Teilnehmer bei einem automatisch aufgefundenen LDAP Server mit seiner Emailadresse und seiner aktuellen IP Nummer (Für genauere Details siehe [17], [18]). Damit ist er für jeden Daviko VCoIP-Teilnehmer der entsprechenden Konferenzuntergruppe sichtbar und kann ohne Eingabe der IP Adresse per Mausklick direkt angerufen werden oder andere Teilnehmer anrufen. In dieser Weise können auch Teilnehmer mit nicht routing-fähigen privaten Netzwerksegmenten (d.h. Teilnehmer mit NAT/Masquerading) angerufen werden. Die verbundenen Teilnehmer der Video-/Mediakonferenz kommunizieren dann direkt peer-to-peer wahlweise verbindungslos per UDP- oder verbindungsorientiert per TCP-Protokoll. Ebenso wahlweise bietet die Kommunikationssoftware native IPv4 und IPv6 Unterstützung auf dem Vermittlungslayer. Zur Verbesserung der Anwenderfreundlichkeit kann auch für bestimmte Konferenzszenarios ein Webserver aufgesetzt werden, der ein ‚Usermanagement‘ bereitstellt, d.h. der nach Aufruf den Teilnehmern jeweils die Verbindungsdaten der andern Konferenzteilnehmer aufbereitet und mitteilt. Die Software verfügt weiterhin über ein Aufzeichnungsmodul, womit sowohl Audio/Video als auch die Applicationsharingdaten digital aufgezeichnet werden können. Eine Konvertierungssoftware erzeugt dann bei Bedarf einen zum Windows Mediaplayer kompatiblen Datensatz.

4 Mobile Internet Infrastrukturen

4.1 Mobile Echtzeitkommunikation

Mit wachsenden Anforderungen durch mobile Teilnehmer gerät das in seinen Adresskonzepten statische Internetprotokoll (v4) an neue Grenzen. Internet Mobilität bildet einen weiteren Anlass, den Protokollwechsel zu IPv6 vorzubereiten und die heute erkennbaren Funktionsdefizite in der Netzwerkinfrastruktur von morgen auszugleichen. Neben einem vergrößerten Adressraum, Sicherheitsstandards auf der Basis von IPsec und QoS Routing basierend auf Flow Labels bringt das Internet Protokoll der nächsten Generation die Fähigkeit mit sich, mit mehreren und wechselnden Adressen zu operieren. Es ermöglicht damit die prinzipielle Verarbeitung von Gerätemobilität auf der Vermittlungsebene.

Diese Möglichkeiten nutzen die kürzlich verabschiedeten Internet Standards zu Mobile IPv6 [19], [20] in eleganter und effizienter Weise, um die Internetadressierung ortsübergreifend zu erweitern. MIPv6 erlaubt die Readressierung auf dem IP Layer in applikationstransparenter Weise, indem es die ursprüngliche Home Adresse beibehält und die wechselnden Routen dem Socket Layer gegenüber verbirgt.

Die Anforderungen an einen mobilitätstauglichen Vermittlungslayer, wie sie synchrone Echtzeitanwendungen wie Voice und Video über IP stellen, bleiben jedoch Infrastrukturerfordernisse: Eine gesprochene Silbe bildet ungefähr die Nutzlast von 100 ms eines stetigen Audiostroms, Paketverlusten merklich oberhalb von 1% stören audiovisuelle Flüsse an der Grenze zur Unverständlichkeit. Paketverlustintervalle, Verzögerungen und Jitter müssen deshalb in einem solchen Szenarium konstanter Bitrate deutlich unter 100 ms verbleiben, um die Anwendungen höchstens tolerierbar zu beeinträchtigen.

Die NetzübergabeprozEDUREN von MIPv6 können gegenwärtig solche Qualitätsmerkmale nicht garantieren. MIPv6 Handovers sind in hohem Maße topologieabhängig und im allgemeinen zu langsam, um als echtzeitfähig bezeichnet zu werden. Generell entstehen Paketverlustzeiten $t_{handoff}$ und Jittererhöhungen in den Größenordnungen

$$t_{handoff} = t_{local} + t_{BU-of-HA} + t_{BU-of-CN} \\ \approx t_{local} + \frac{3}{2} t_{CN} + 2 t_{HA} \quad (1)$$

$$\frac{Jitter_{handoff}}{Jitter_{stationary}} \approx \frac{t_{CN} + t_{HA}}{t_{CN}}, \quad (2)$$

wobei t_A die Roundtrip-Zeit zwischen dem Mobile Node und dem Node A bezeichnet [21]. Eine Optimierung der Roaming Prozeduren in Mobile IPv6 ist entsprechend mit den lokalen Übergabeoperationen, der Netzwechseleerkennung und Readressierung, und topologieabhängig entfernten Binding Updates konfrontiert.

Lokales Zeitverhalten wurde in [21] mit Linux und Windows Stackimplementierungen untersucht. Unter geringfügigen, standardkonformen Modifikationen der Stacks konnten ohne Signalisierung des Netzwerklayers (L2 Trigger) akzeptable Übergabezeiten erreicht werden (vgl. Tabelle 1). Unter Präsenz von gegenwärtig in einer IEEE Standardisierungsdiskussion befindlichen L2 Triggern könnte das Zeitverhalten der Mobile IPv6 lokalen ÜbergabeprozEDUREN auf vernachlässigbare Größenordnungen begrenzt werden (vgl. Abb. 8).

	Ohne L2 Trigger	L2 Trigger
Zeit für IP Konfiguration	10-60 ms	3-6 ms

Tabelle 1: Zeitverhalten in lokaler IP Reconfiguration nach einem L2 Handover

Zur Optimierung der laufzeitbehafteten Binding Update Prozeduren sind Mechanismen des Latenzverbergens unter Zuhilfenahme von Proxy Agenten unvermeidlich. Zwei Ansätze werden gegenwärtig in den IETF Arbeitsgruppen diskutiert: Proxyfunktionalitäten an Zugangsroutern in Kombination mit Handover-Vorhersagetechniken, dem Fast Handover (FMIPv6) [22], sowie der Installation von Home Agent Proxies in Zugang Netzwerken, dem Hierarchical Mobile IPv6 (HMIPv6) [23]. Letzteren Ansatz wollen wir im nachfolgenden Abschnitt für Multicast Kommunikation erweitern.

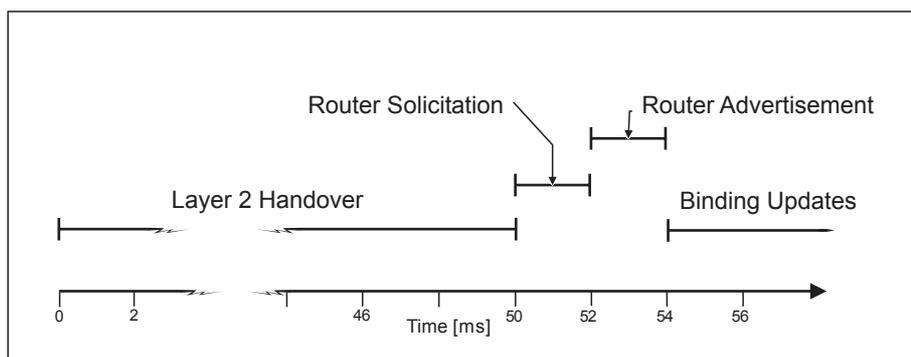


Abbildung 8: Optimiertes Zeitverhalten eines Layer 2 getriggerten MIPv6 Handovers.

4.2 Mobile Gruppenkommunikation

Effiziente, echtzeitfähige Gruppenkommunikation bildet ein wesentliches Rückgrad videokonferenzbasierter Lehr- und Lernszenarien, wobei typische Teilnehmer einer Konferenz gleichzeitig die Rolle von Sender und Empfänger einnehmen. Die Internet Vermittlungsschicht bieten mit Multicast Routing Protokollen eine leistungsfähige Unterstützung dieser Anforderungen, wobei Mobilität von Sender oder Empfänger zunächst unberücksichtigt bleiben. MIPv6 konzipiert durch die Verwendung bidirektionaler Tunnel zwischen Mobile Node und Home Agent eine minimale Transparenz unter Multicast Strömen. Trianguläres Routing jedoch und signifikante Handover-Latenzen erzeugen Verzögerungen in der Multicast Paketvermittlung, welche einer Verwendung in Echtzeitszenarien entgegenstehen.

Multicast Mobilität birgt besondere Aspekte: Einerseits beinhaltet das Multicast Routing eine eigene Dynamik, um wechselnde Gruppenkonstellationen zu bedienen, andererseits

sind dessen Adaptionprozesse komplex und zu langsam, um mobile Nutzer im Verborgenen zu unterstützen. Darüber hinaus tragen die Quelladressen der Pakete eine Doppelbedeutung. Während Applikationen Ströme über Absenderadressen identifizieren, errichten Router Verteilbäume, welche von den Empfängern zur Quelle gerichtet sind.

„Seamless Multicast Handovers in a Hierarchical Mobile IPv6 Environment (M-HMIPv6)“ [24] versucht, diese Anforderungen in einem agentenbasierten Ansatz für Multicast Sender und Empfänger echtzeitfähig zu optimieren. Die Rolle der Agenten nehmen dabei Mobility Anchor Points des HMIPv6 Unicast Schemas [23] ein. Multicast Pakete werden in diesem Verfahren durch einen ortslokalen MAP von und zum Mobile Node getunnelt. Der MAP übernimmt die Multicast Gruppenkontrolle für einen mobilen Empfänger und bildet die Quelle für einen mobilen Multicast Sender.

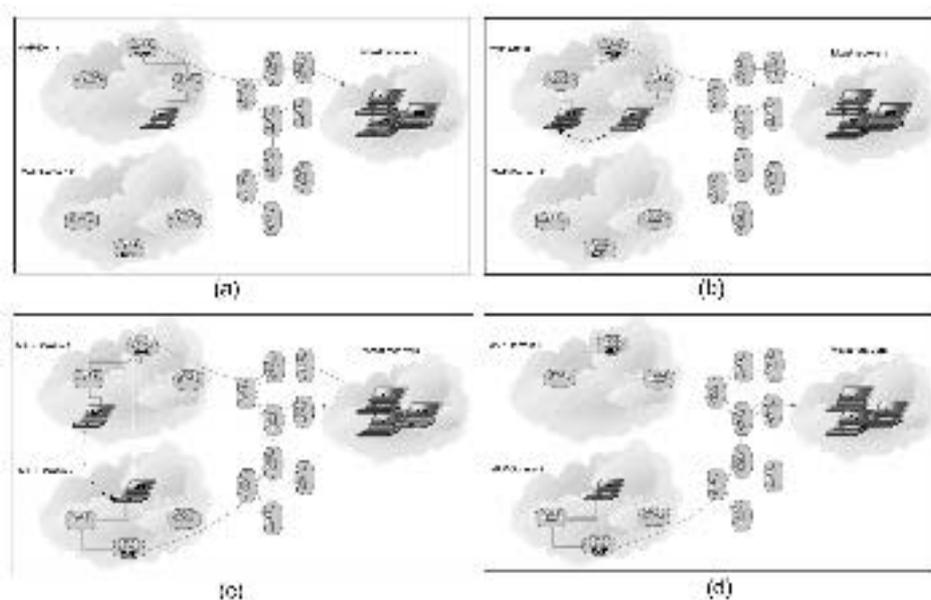


Abbildung 9: Die Roamingprozedur einer Multicastquelle in M-HMIPv6: Der am lokalen MAP (a) entstehende Verteilbaum bleibt unverändert bei mikromobilen Bewegungen (b). Bei einem inter-MAP Handover fährt der Mobile Node zunächst fort, über die etablierten Routen zu senden (c), während er die Errichtung eines Spannbaums an neuer Position initiiert. Schließlich wird der ehemalige Pfad eliminiert (d).

Handovers innerhalb einer MAP Domain bleiben so für das Multicast Routing unsichtbar. Wechselt der mobile Teilnehmer zwischen Domains, bleiben die Kommunikationsströme nach einem reaktiven Binding Update zunächst über den vormals gültigen Ankerpunkt bestehen, so daß kontinuierliche Datenflüsse vermittelt werden, während die Routen für die Neupositionierung des Mobile Node optimiert werden (vgl. Abb. 9). Auf diese Weise



gelingt es, die Adaptionenzeiträume des Multicast Routings von den lokalen, störungsanfälligen Handover-Perioden zu entkoppeln.

Um eine transparente Adressverarbeitung für mobile Sender zu ermöglichen, wird eine Home Address Destination Option in die IPv6 Headersequenz eingefügt, welche bei den Empfängern nicht zu verifiziert werden braucht. Alle Handover-Prozeduren sind unter schnellen Netzwechseln robust. Weitere Untersuchungen zur Performanz des Verfahrens finden sich in [25].

5 Zusammenfassung und Ausblick

Technische Lösungen wie Lernplattformen, Videokonferenzen, Videostreaming etc. ersetzen nicht klassische Lernsituationen wie die physische Präsenz von Lehrer und Lernenden. Sie sind immer nur Hilfe und Erweiterung oder Ergänzung zum klassischen Lernen. Sie ermöglichen aber auch neue Konstellationen, die über die klassischen Möglichkeiten hinausgehen, z.B. Lehre über große Entfernungen oder zeitversetzt. Man darf darüber hinaus annehmen, dass die neue Generation von leichten mobilen Kommunikationsgeräten eine bisher nicht gekannte Flexibilität von Lernsituationen ermöglichen und einen Bedarf an neuen didaktischen Methoden und Prinzipien wecken wird.

Um die sich zunehmend eröffnenden Möglichkeiten frühzeitig experimentell zu erkunden und sinnvoll zu gestalten, haben wir eine Vielzahl von Szenarien und Technologien implementiert und über die wichtigsten Aktivitäten in diesem Beitrag berichtet. Darüber hinausweisend bleiben Untersuchungen und Entwicklungsvorschläge für eine künftige Netzinfrastruktur am Campus: Mobilität, Echtzeitfähigkeit und Multicast Vermittlung bilden erhebliche Herausforderungen an unsere Netze und ihre Funktionsmechanismen. Mit den in dieser Arbeit skizzierten Ansätzen und künftigen Ergebnissen zu Analysen und Optimierungen hoffen wir, Beiträge zu ihrer Bewältigung erbracht zu haben.

Literatur

- [1] H. L. Cycon, T. C. Schmidt, M. Wählich, M. Palkow, and H. Regensburg, „Verteiltes Video-basiertes mobiles Lernen,“ in *Informatik 2003. Innovative Informatikanwendungen (Band 1)*, ser. Lecture Notes in Informatics, K. Dittrich, W. König, A. Oberweis, K. Rannenber, and W. Wahlster, Eds., vol. P-34. Bonn: German Informatics Society, August 2003, pp. 313–317. [Online]. Available: <http://www.rz.fhtw-berlin.de/projekte/vcoip/gi-paper.pdf>
- [2] G. Kaiser and T. N. Nguyen-Dobinsky, „Komplexe Lehrszenarien in der interaktiven, zeit-synchronen, patientennahen online Ausbildung in der Medizin,“ in *GML² Workshop*. Berlin: Technische Universität Berlin, March 2004.
- [3] J. Stock, „Videokonferenznutzung Spezialanwendung DAVIT,“ <http://www.tu-dresden.de/viktastag/stock.pdf>, DINI e.V., Berlin, Dresden, Essen, Garching, März 2003.
- [4] T. Born, N. Hannecke, A. Heine, A. Kárpáti, T. Kemnitz, A. Löser, T. C. Schmidt, and J. Vestner, „Virtual design update,“ Steinbeiss-Transferzentrum FHTW, fhtw-transfer 27–99, 1999. [Online]. Available: www.fhtw-berlin.de/virtual-design
- [5] „The Netmedia homepage,“ <http://netmedia.fhtw-berlin.de/courses/home.htm>, 2004.
- [6] „The Odisseame homepage,“ <http://www.odisseame.org>, 2004.



- [7] „Learning object meta-data,“ IEEE, Draft Standard 1484.12.1, 2002. [Online]. Available: ltsc.ieee.org
- [8] M. Engelhardt, A. Kárpárti, T. Rack, I. Schmidt, and T. C. Schmidt, „Hypermedia learning objects system – on the way to a semantic educational web,“ in *Proceedings of the International Workshop „Interactive Computer aided Learning“ ICL 2003. Learning Objects and Reusability of Content*, M. E. Auer and U. Auer, Eds. Kassel University Press, 2003.
- [9] T. C. Schmidt and M. Engelhardt, *Educational Content Management*. Kluwer, 2004, to appear.
- [10] B. Feustel, A. Kárpárti, T. Rack, and T. C. Schmidt, „An environment for processing compound media streams,“ *Informatica*, vol. 25, no. 2, pp. 201 – 209, July 2001.
- [11] „Crossteaching documentation,“ http://newmedia.idv.edu/thema/crossteaching_2/fhtw_hagenberg_02.htm, 2004.
- [12] „The daviko homepage,“ <http://www.daviko.com>, 2004.
- [13] ITU-T Recommendation H.323, „Infrastructure of audio-visual services - systems and terminal equipment for audio-visual services: Packet-based multimedia communications systems,“ ITU, Tech. Rep., 2000, draft Version 4.
- [14] ITU-T Recommendation H.264, „Advanced video coding for generic audiovisual services,“ ITU, Tech. Rep., May 2003.
- [15] H. L. Cycon, M. Palkow, T. C. Schmidt, M. Wählisch, and D. Marpe, „A fast wavelet-based video codec and its application in an IP version 6-ready serverless videoconferencing system,“ *Int. Journ. of Wavelets, Multiresolution and Inform. Proc.*, vol. 2, no. 2, pp. 165–171, 2004.
- [16] „The speex homepage,“ <http://www.speex.org/contact.html>.
- [17] T. C. Schmidt, M. Wählisch, H. L. Cycon, and M. Palkow, „Global serverless videoconferencing over IP,“ *Future Generation Computer Systems*, vol. 19, no. 2, pp. 219–227, February 2003.
- [18] „Videokommunikation im Internet – Vorschläge zu ihrer Verbreitung,“ in *Zukunft der Netze – Die Verletzbarkeit meistern*, ser. Lecture Notes in Informatics, J. von Knop and W. Haverkamp, Eds., vol. P-17. Bonn: German Informatics Society, 2002, pp. 185–195.
- [19] D. B. Johnson, C. Perkins, and J. Arkko, „Mobility Support in IPv6,“ IETF, RFC 3775, June 2004.
- [20] J. Arkko, V. Devarapalli, and F. Dupont, „Using ipsec to protect mobile IPv6 signaling between mobile nodes and home agents,“ IETF, RFC 3776, June 2004.
- [21] T. C. Schmidt and M. Wählisch, „Roaming Real-Time Applications – Mobility Services in IPv6 Networks,“ Zagreb: Terena Networking Conference, May 2003. [Online]. Available: <http://www.rz.fhtw-berlin.de/projekte/mipv6/terena03.pdf>
- [22] R. Koodli, „Fast handovers for mobile ipv6,“ IETF, Internet Draft – work in progress 01, January 2004.
- [23] H. Soliman, C. Castelluccia, K. Malki, and L. Bellier, „Hierarchical Mobile IPv6 mobility management (HMIPv6),“ IETF, Internet Draft – work in progress 01, February 2004.
- [24] T. C. Schmidt and M. Wählisch, „Seamless Multicast Handover in a Hierarchical Mobile IPv6 Environment (M-HMIPv6),“ individual, Internet Draft – work in progress 01, February 2004.
- [25] „Performance Analysis of Multicast Mobility in a Hierarchical Mobile IP Proxy Environment,“ Rhodes: Terena Networking Conference, June 2004. [Online]. Available: <http://www.terena.nl/conferences/tnc2004/programme/>