



Verteilte Mehrteilnehmer-Videokonferenzen im Internet

Eduard Popovici, Mario Zühlke, Ralf Mahlo und Hartmut König

Brandenburgische Technische Universität Cottbus
Lehrstuhl Rechnernetze und Kommunikationssysteme
PF 10 13 44
03013 Cottbus
{popovici,mz,rmahlo,koenig}@informatik.tu-cottbus.de

Zusammenfassung: Videokonferenzen gelten als ein wichtiges Mittel für die Gestaltung von kollaborativen Applikationen im Internet. An ihre Nutzung werden große Erwartungen geknüpft und hohe Anforderungen gestellt. Obwohl der Nutzen von Videokonferenzdiensten auf der Hand liegt, ist ihre Nutzung im Vergleich zu anderen Internetdiensten immer noch recht begrenzt. Videokonferenzdienste im Internet unterstützen vor allem offene Konferenzgruppen. Für geschlossene Videokonferenzen werden vor allem Systeme auf der Basis der H.32x-Standards genutzt. Diese Systeme benötigen eine spezielle Infrastruktur und Wartung, so dass auf dieser Technik basierende Videokonferenzsysteme immer noch keine Technik für Jedermann sind. In diesem Beitrag wird mit dem an der BTU Cottbus entwickelten System BRAVIS ein Videokonferenz-Ansatz auf der Basis des Peer-zu-Peer-Prinzips vorgestellt. BRAVIS ist ein Mehrteilnehmer-Videokonferenzsystem für geschlossene Gruppen, das sowohl für lokale als auch landesweite Konferenzen genutzt werden kann. Es benötigt keine spezielle Infrastruktur und kann unmittelbar in die Arbeitsumgebung integriert werden. Der Beitrag beschreibt die wesentlichen Elemente des BRAVIS-Ansatzes. Neben der Funktionalität des Systems wird dabei besonders auf die Wahrung der Geschlossenheit der Konferenz und eine effiziente Verteilung der Mediendaten eingegangen. Weiterhin werden Messungen vorgestellt, die die Anwendbarkeit des Ansatzes unterstreichen.



1 Einleitung

Videokonferenzen gelten als ein wichtiges Element für die Gestaltung kollaborativer Applikationen im Internet. An ihre Nutzung werden große Erwartungen geknüpft und hohe Anforderungen gestellt. Allerdings werden Videokonferenzen trotz langjähriger Forschungs- und Entwicklungsarbeiten und offensichtlichen Vorteilen im Vergleich zu anderen Internetdiensten immer noch wenig genutzt. Die technischen Voraussetzungen für die Nutzung von Videokonferenzdiensten sind heutzutage weitgehend gegeben. Immer mehr Nutzer verfügen über multimedialfähige Computer. Durch die wachsenden Übertragungsraten im Internet werden die erforderlichen Bandbreiten bereitgestellt, die die den qualitativen Ansprüchen von Videokonferenzen zunehmend genügen. Waren Videokonferenzsysteme früher bevorzugt an speziell ausgestattete Studios und an eine spezielle, kostenintensive Technik gebunden, so besteht mit der Verfügbarkeit multimedialer PCs und Workstations immer mehr die Möglichkeit, unmittelbar vom Arbeitsplatz aus an Videokonferenzen teilzunehmen.



Videokonferenzdienste im Internet unterstützen vor allem offene Konferenzgruppen. Offene Videokonferenzen erlauben es den Teilnehmern, sich beliebig zuschalten. Die Teilnehmergruppe ist variabel und lässt sich kaum exakt bestimmen. Bevorzugte Anwendungsszenarien für solche Konferenzen sind Veranstaltungen mit einem oder wenigen Sprechern wie Teleteaching-Übertragungen oder Podiumsdiskussionen. Offene Konferenzen werden im Internet durch eine ganze Reihe von Tools unterstützt wie z. B. die bekannten MBone-Tools *vat*, *vic* und *USMInT* [14], [15], [16]. Offene Konferenzen sind jedoch weniger geeignet für Projektberatungen, geschäftliche Gespräche oder Diskussionen. Zwar besteht prinzipiell die Möglichkeit durch eine Verschlüsselung der Kommunikation eine geschlossene Konferenz zu erzeugen. Das erfordert jedoch einen Mehraufwand, um durch gute kryptographische Verfahren die Vertraulichkeit der Übertragung abzusichern, der bei den oben erwähnten Videokonferenztools nicht ohne weiteres gegeben ist. Außerdem besteht die Möglichkeit der Aufzeichnung der Konferenz und ihrer späteren Entschlüsselung mit dem kompromittierten Schlüssel. Die überwiegende Zahl von Beratungen im Alltag sind Treffen geschlossener Gruppen. Sie werden im Internet bisher kaum unterstützt. Für die Durchführung von Videokonferenzen für geschlossene Gruppen werden heutzutage Systeme auf der Basis der ITU-T-Standards H.320 und H.323 genutzt, für die kommerzielle Lösungen angeboten werden. Dies kann auf zweierlei Art geschehen: einmal durch die Bereitstellung eines Videokonferenzdienstes, wie dem DFN-Videokonferenzservice [10], [11], oder durch den Kauf entsprechender Videokonferenzprodukte [17], [18], [19]. Es ist somit entweder eine gewisse Infrastruktur oder der Besitz einer entsprechenden technischen Basis notwendig, die immer noch relativ teuer ist. Damit sind geschlossene Videokonferenzsysteme immer noch nicht eine Technik für Jedermann. Meistens werden solche Systeme nur einmal oder in geringer Stückzahl angeschafft und zumeist in gesonderten Räumen installiert. Eine Integration in die unmittelbare Arbeitsumgebung der Mitarbeiter ist nicht gegeben. Damit sind insbesondere spontane Beratungen kaum möglich. Die Nutzung der Systeme bedarf einer gewissen Planung und Vorbereitung. Auch der Gang in den Videokonferenzraum erweist sich häufig schon als Grund, die Systeme nicht zu nutzen und stattdessen auf andere Kommunikationsformen zurückzugreifen. Außerdem verfügen heutige Systeme noch immer über eine eingeschränkte bzw. unzureichende Funktionalität, die vielen Nutzerwünschen nicht gerecht wird.

Für den breiten Einsatz von Mehrteilnehmer-Videokonferenzen sind Systeme erforderlich, die in die Arbeitsumgebungen der Mitarbeiter integriert werden, einfach zu bedienen sind, über eine automatische Dienstgüte-Anpassung verfügen und preiswert sind. Letzteres impliziert, dass ähnlich dem Telefon nur noch die Dauer der Konferenz und die verbrauchte Bandbreite bezahlt werden müssen.

Einen alternativen Ansatz bieten Peer-to-Peer-Systeme. Sie verzichten auf einen zentralen Gruppen- und Kommunikationsserver, wie er bei den H.323-Systemen durch den Gatekeeper und die MCU gegeben ist. Stattdessen wird die gesamte Intelligenz in die Endsysteme, d.h. die PCs und Workstations, verlagert. Ein solches Videokonferenzsystem ist das an der BTU Cottbus entwickelte System BRAVIS, das in diesem Beitrag vorgestellt werden soll. BRAVIS (*BRAndenburg Video conferencing System*) ist ein Desktop-Videokonferenzsystem für geschlossene Gruppen bis zu 20 Teilnehmern in IP-Netzen, das als Prototyp unter den Betriebssystemen Linux und Solaris zur Verfügung steht. Es ist eine Weiterentwicklung der zuvor an unserem Lehrstuhl entwickelten Videokonferenzsysteme COVIS [2] und

OCTOPUS [4], [5]. Wir stellen im Folgenden die Grundzüge des BRAVIS-Ansatzes vor und diskutieren die wichtigsten Entwurfsentscheidungen. Abschnitt 2 geht auf das verwendete Peer-to-Peer Prinzip ein und stellt die wichtigsten Konzepte seiner Umsetzung vor. Abschnitt 3 gibt einen Überblick über die Funktionalität von BRAVIS. Abschnitt 4 berichtet über Messungen, die die Anwendbarkeit des Konzepts belegen. Im Abschnitt 5 werden Informationen zur Nutzung des BRAVIS-Prototyps gegeben. Abschließend werden die nächsten Entwicklungsschritte erläutert.

2 Peer-to-Peer Prinzip

BRAVIS ist ein Peer-to-Peer Videokonferenzsystem. Es gibt keinen zentralen Gruppen- und Kommunikationsserver. Alle Teilnehmer sind gleichberechtigt. Die Entscheidung für eine verteilte Organisationsstruktur fiel lange vor der Renaissance der Peer-to-Peer Systeme [2]. Die Gründe für die Wahl des Ansatzes lagen neben den hohen Kosten für Videokonferenz-Server vor allem in dem *Single Point of Failure*, den ein Konferenzserver darstellt, und möglichen daraus resultierenden Leistungseinsparungen. Weiterhin wurde eine Lösung angestrebt, die unabhängig ist von einer spezifischen Infrastruktur oder einem bestimmten Dienstanbieter. Damit soll in späteren Anwendungen insbesondere auch die Mobilität von Teilnehmern unterstützt werden.

2.1 BRAVIS Topologie

BRAVIS soll Teilnehmer an verschiedenen Standorten miteinander verbinden, die über IP-Netze kommunizieren. Ursprünglich war eine Anwendung für lokale und regionale Konferenzen vorgesehen. Es zeigt sich jedoch zunehmend, dass auch landesweite Konferenzen möglich sind. Der BRAVIS-Ansatz setzt keine einheitliche Netztopologie wie in einem lokalen Netz voraus, sondern geht davon aus, dass sich die Nutzer in lokalen Netzen mit verschiedenen Leistungsparametern befinden.

BRAVIS nutzt kein IP-Multicast. Dafür gibt es zwei Gründe. Erstens wird IP-Multicast von vielen Netzbetreibern nicht unterstützt, so dass implizit eine Infrastrukturabhängigkeit entsteht. Zweitens gewährleistet IP-Multicast keine geschlossene Gruppe¹. Aus diesem Grunde nutzt BRAVIS für die Mediendatenübertragung z. Z. Punkt-zu-Punkt-Verbindungen. In einer weiteren Ausbaustufe ist die Nutzung eines Overlay-Multicastnetzes vorgesehen. Für die Sicherung der Geschlossenheit einer Gruppe wird ein spezielles Gruppenkommunikationsprotokoll verwendet, das weiter unten erläutert wird.

2.2 BRAVIS-Architektur

Die Architektur des BRAVIS-Systems ist in Abbildung 1 dargestellt. Diese Architektur muss, da es sich um ein Peer-to-Peer-System handelt, bei jedem Partner installiert sein.

¹ Eine Verschlüsselung des Datenverkehrs stellt für einzelne Konferenzen eine Lösung dar, führt jedoch bei einer breiten Anwendung zu einem nicht zu vertretenden Mehraufwand, zumal ein solcher Schutz in vielen Konferenzen gar nicht erforderlich ist.

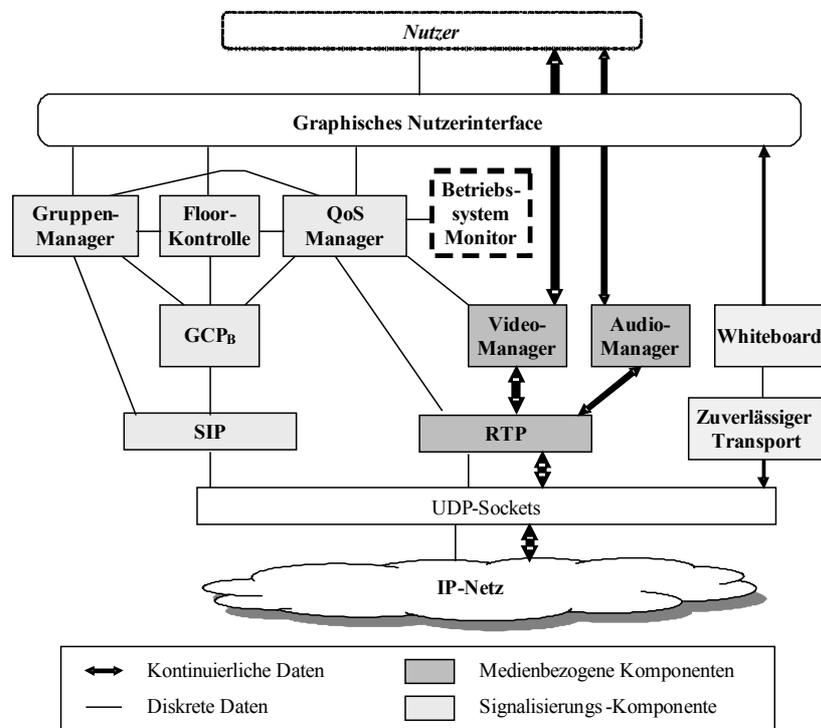


Abbildung 1: BRAVIS-Architektur

Die BRAVIS-Architektur gliedert sich, wie bei multimedialen Anwendungen üblich, in einen Mediendatenübertragungsteil und einen Signalisierungsteil. Der Mediendatenübertragungsteil enthält den Audio- und Videomanager, die für den Empfang und das Versenden der Audio- und Videoströme verantwortlich sind. Für ihre Übertragung wird RTP genutzt [12]. Die Audioströme werden mit einer normalen PCM (*Pulse Code Modulation*) mit 8000 Samples pro Sekunde bei 8 Bit pro Sample erzeugt, was der normalen Telefonqualität mit 64 Kbit/s entspricht. Gegenwärtig wird jeweils nur der Audiostrom des Sprechers übertragen. Erweiterungen der Audiokomponente sind vorgesehen. Geplant ist die Übertragung mehrerer Audioströme, die beim Empfänger gemixt werden. Die Übertragungsraten sollen weiterhin durch Verwendung von Silence Detection und Kompression verringert werden. Für die Videodatenübertragung bieten sich mehrere Möglichkeiten für die Videokompression an. Die unter SUN Solaris angebotene Hardwarecodierung umfasst die Kompressionsmethoden M-JPEG, CellB, MPEG-I und H.263. Das BRAVIS-Konzept sieht eine dynamische Skalierung der Videoströme unter Verwendung von Frame-Dropping-Filtern vor, wie es auch in den Vorgängersystemen COVIS und OCTOPUS enthalten war (siehe unten) [3]. Für den Einsatz eines Frame-Dropping-Filters zur Skalierung des Stromes hat sich nur M-JPEG bewährt. Unter Linux stehen zurzeit diverse Softwarecodecs zur Verfügung. Ein MPEG-IV-Codec hat sich hier neben dem M-JPEG als relativ stabil gegenüber dem Frame Dropping erwiesen. Da jedoch MPEG-4 Software-Codecs

ein SUN Solaris Endsystem auf einer SUN Ultra 10 übermäßig beanspruchen, ist es nicht zweckmäßig, diesen dort einzusetzen. Somit ist zurzeit nur der Einsatz von M-JPEG sinnvoll, da dieses Kompressionsverfahren beide Plattformen ohne Einschränkungen nutzen kann.

Der Signalisierungsteil enthält die Komponenten für das Konferenzmanagement. Es sind dies der Gruppenmanager, der die Konferenzgruppe verwaltet, der QoS-Manager für die Einstellung der Frame-Dropping-Filter im QoS-Manager und die Floorkontrolle für die Vergabe des Sprechrechts. Für die Übertragung der Signalisierungsdaten wird das Gruppenkommunikationsprotokoll GCP genutzt, das den Kern des BRAVIS-Ansatzes bildet. Es wird im nächsten Unterabschnitt vorgestellt. Für die explizite Einladung wird das Internet-Signalisierungsprotokoll SIP genutzt [13], das es erlaubt, die Teilnehmer über ihre Mailadresse einzuladen. Dazu müssen die Teilnehmer aber in einem SIP-Registar eingetragen sein.

2.3 Sicherung einer geschlossenen Gruppe

Kern eines Mehrteilnehmer-Videokonferenzsystems für geschlossene Gruppen ist die Sicherung der Abgeschlossenheit der Konferenz. In BRAVIS wird dies durch die Signalisierung gesichert. Unter einer geschlossenen Gruppe wird hier verstanden, dass die ausgetauschten Datenströme nur die jeweils aktuellen Teilnehmer der Konferenz erreichen. Sicherung der Geschlossenheit impliziert nicht Vertraulichkeit. Die Vertraulichkeit einer Beratung muss durch zusätzliche Sicherheitsmechanismen (Verschlüsselung, Authentisierung) abgesichert werden. Allerdings ist eine zusätzliche Verschlüsselung bei weitem nicht für alle geschlossenen Konferenzen erforderlich. Für BRAVIS wird derzeit eine Sicherheitsarchitektur entwickelt, die getrennt publiziert wird.

Die Geschlossenheit einer Konferenzgruppe wird in BRAVIS durch die Signalisierung gesichert. Eine wesentliche Voraussetzung ist dabei, neue Teilnehmer explizit eingeladen werden, d. h. die Teilnehmer müssen sich kennen. Zu diesem Zweck wurde das Gruppenkommunikationsprotokoll GCP entwickelt [1], [6]. GCP ist ein Token-basiertes Signalisierungsprotokoll, das einen atomaren, geordneten und zuverlässigen Datenübertragungsdienst bei gleichzeitiger Unterstützung einer dynamischen Gruppenzusammensetzung bereitstellt. GCP sichert die Konsistenz der Managementdaten im Gruppenmanager, für die Floorkontrolle und im QoS-Manager als Grundlage für eine dezentrale Berechnung aller Systemparameter. GCP wurde ursprünglich für die ATM-basierte Vorgängervariante COVIS entwickelt. Es setzt ein sender-initiiertes Multicast in der darunter liegenden Schicht voraus, wie es bei ATM gegeben ist. Für Anwendungen über IP konnte diese Lösung nicht direkt übertragen werden. Es wurden zwei weitere GCP-Varianten entwickelt, GCPIP und GCPB, die die GCP-Funktionalität über Punkt-zu-Punkt-Beziehungen bereitstellen. GCPIP sichert dies durch die Verwendung eines logischen Rings [6], [9]. GCPB wurde direkt aus der GCPATM-Variante abgeleitet, indem die Multicast-Beziehungen durch mehrfache Punkt-zu-Punkt-Beziehungen und dort, wo es möglich war, durch einfache Punkt-zu-Punkt-Beziehungen ersetzt wurden. GCPIP und GCPB zeigen ein in etwa gleiches Leistungsverhalten. Im gegenwärtigen BRAVIS-Prototyp wird aus implementierungstechnischen Gründen GCPB verwendet. Daneben wurde auch eine Abbildung



von BRAVIS auf SIP entwickelt, die es gestattet, geschlossene Gruppen mit Hilfe von SIP zu realisieren [8].

2.4 Übertragung der Medienströme

Die naheliegendste Lösung für das Aufsetzen einer Videokonferenz in IP-Netzen wäre die Nutzung einer Multicast-Infrastruktur. Multicast reduziert den Bandbreitenbedarf, vereinfacht das Gruppenmanagement und unterstützt eine Skalierung der Übertragungsqualität bezüglich der Teilnehmerzahl. IP-Multicast gewährleistet jedoch nicht, wie eingangs diskutiert, geschlossene Konferenzgruppen, da es jedem Nutzer, der die Konferenzadresse kennt, möglich ist, sich zu der Konferenz zuzuschalten. Eine Lösung des Problems wären sender-initiierte Multicast-Mechanismen auf IP-Ebene. XCAST [20] bietet eine solche Lösung für IPv4. Es begrenzt jedoch die Teilnehmerzahl auf 8 Teilnehmer und setzt den Aufbau eines entsprechenden XCAST-Backbones voraus. Eine geschlossene Gruppenkommunikation über IP unter Nutzung von Multicast ist daher gegenwärtig und in der näheren Zukunft nicht möglich.

Aufgrund des Fehlens eines sender-initiierten Multicast in IP-Netzen wurde beim Übergang von der ATM- zu der IP-Version des Systems entschieden, vorerst Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen den Teilnehmern für die Übertragung der Audio- und Videodaten zu nutzen. Diese Lösung hat jedoch den Nachteil, dass bei größeren Teilnehmerzahlen unnötig Bandbreite durch die mehrfachen Punkt-zu-Punkt-Beziehungen verbraucht wird.

Zur Überwindung dieses Problems werden in BRAVIS zwei Konzepte verfolgt: das Konzept des ausgewählten Teilnehmers und die Einführung eines Overlay-Multicast. Das Konzept des *ausgewählten Teilnehmers* sieht vor, dass an den verschiedenen Standorten jeweils ein Teilnehmer ausgewählt wird, der die eintreffenden Multimediaströme aus den entfernten Gruppen empfängt und sie an die anderen Teilnehmer im lokalen Standortnetz weiterleitet. Die Kommunikation zwischen den ausgewählten Teilnehmern erfolgt Punkt-zu-Punkt. Als ausgewählter Empfänger kann jeder Teilnehmer der lokalen Gruppe fungieren. Die Funktion wird von dem Konferenzteilnehmer der lokalen Gruppe übernommen, der die meisten Ressourcen zur Verfügung stellen kann. Die Aushandlung, welcher Teilnehmer der Leistungsstärkste ist, wird durch das QoS-Management der Teilnehmersysteme durchgeführt und dynamisch angepasst. Dabei können zwei Sonderfälle eintreten: (1) alle Empfänger befinden sich in dem gleichen Subnetz oder (2) alle Empfänger gehören unterschiedlichen Untergruppen (bzw. Netzen) an. In beiden Fällen muss zwischen allen Teilnehmern eine Punkt-zu-Punkt-Beziehung aufgebaut werden. Dieser Nachteil soll in einer späteren Version mit der Einführung eines Overlay-Multicast für die Videodatenverteilung aufgehoben werden.

3 Funktionalität von BRAVIS

BRAVIS stellt dem Nutzer ein breites Spektrum von Funktionen für das Initiieren und Durchführen von Videokonferenzen zur Verfügung. Darüber hinaus werden eine ganze Reihe zusätzlicher Funktionen bereitgestellt, die die Nutzung des Systems erleichtern und den Anwender unterstützen. Die wichtigsten Funktionen des BRAVIS-Systems sind:



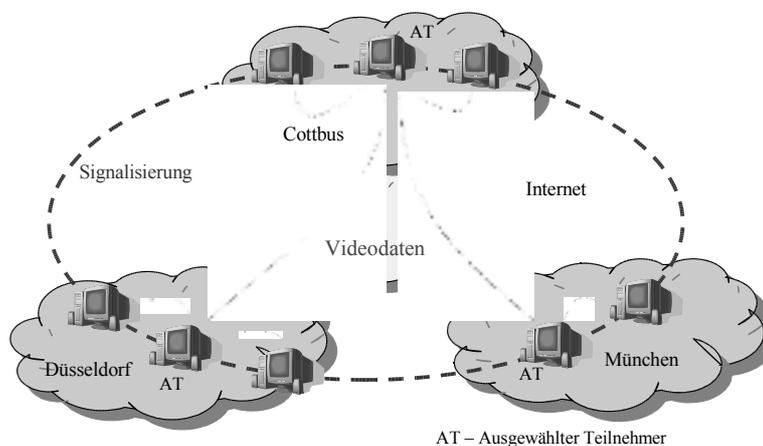


Abbildung 2: Übertragung der Videodaten

- **Sicherung einer geschlossenen Konferenz**
 BRAVIS sichert durch die Signalisierung die Geschlossenheit einer Konferenz. Geschlossenheit bedeutet hier, dass die Mediendaten, d.h. die Audio- und Videoströme, sowie die Daten der gemeinsamen Applikation nur an die aktuellen Teilnehmer der Konferenz gesendet werden. Die Teilnahme an der Konferenz erfolgt durch eine explizite Einladung als wichtige Voraussetzung für die Geschlossenheit der Konferenz. Die Einladung basiert auf der Abstimmung zwischen den Konferenzteilnehmern (soziales Protokoll). Die Konferenzgruppe ist dynamisch, d.h. die Teilnehmer können der Konferenz zu verschiedenen Zeitpunkten beitreten bzw. diese wieder verlassen.
- **Geregelte Floor-Vergabe**
 BRAVIS unterstützt zwei Modi für die Floorkontrolle: den unmoderierten und den moderierten Modus. Der unmoderierte Modus basiert auf einer FIFO-Warteschlange, in der die Teilnehmer ihre Sprechwünsche eintragen. Der jeweils Erste in der Warteschlange ist der Sprecher. Er hat zugleich exklusiven Zugriff auf das Whiteboard. Die gemeinsame Sprecherwarteschlange erscheint auf allen Bildschirmen und kann von allen Teilnehmern unabhängig manipuliert werden (Eintragen und Austragen von Sprechwünschen). Im moderierten Modus wird unter den Teilnehmern ein Moderator bestimmt, der exklusiv das Recht zur Manipulation der Warteschlange und damit zur Vergabe des Sprechrechts erhält. Gegenwärtig wird ein weiterer Modus, die freie Diskussion, implementiert, der die Floorvergabe für das Sprechrecht aufhebt und es jedem Teilnehmer erlaubt jederzeit zu sprechen.
- **Videotelephonie-Funktion**
 Befinden sich nur zwei Teilnehmer in der Konferenz, so schaltet das System automatisch auf den Videotelephonie-Modus um. Beide Teilnehmer können frei sprechen, ohne vorher ihren Sprechwunsch in der Sprecherwarteschlange anzuzeigen.
- **Differenzierte Gruppendarstellung**
 In BRAVIS werden alle Teilnehmer der Konferenz auf den Bildschirmen der Partner dargestellt. Dabei wird das Prinzip der Sprecherpriorisierung genutzt, dass dem

aktuellen Sprecher automatisch ein größeres Bildformat und eine bessere Dienstgüte (Framerate) zuweist als den anderen Teilnehmern. Der Videostrom des Sprechers wird ebenfalls bei der dynamischen Skalierung (siehe unten) priorisiert. Da die Darstellung aller Teilnehmer nicht immer notwendig bzw. gewünscht ist, hat jeder Teilnehmer die Möglichkeit, die Anzeige der Teilnehmer auf seinem Bildschirm selber zu bestimmen. Davon ausgenommen ist der Sprecher, der stets angezeigt wird. Für die Auswahl steht dem Teilnehmer ein Voting-Tool zur Verfügung, mit dessen Hilfe er die nicht darzustellenden Teilnehmer abwählen kann. Der Videostrom dieser Teilnehmer wird nicht übertragen, was zugleich Bandbreite spart.

- **Whiteboard**
BRAVIS bietet ein Whiteboard zur Darstellung und Bearbeitung gemeinsamer Dokumente. Es unterstützt einfache Zeichenoperationen und Textdarstellungen. Weiterhin können JPEG-Bilder und Dokumenten integriert werden. Der Sprecher besitzt jeweils Schreibrecht. Die Veränderungen werden allen Teilnehmern angezeigt.
- **Chat**
Das Whiteboard ist mit einer Chatfunktion gekoppelt. Sie dient zur Übermittlung von Textnachrichten zwischen den Konferenzteilnehmern. Der Chat soll primär für separate Abstimmungen zwischen Teilnehmern genutzt werden. Chat-Nachrichten können deshalb sowohl dediziert an bestimmte Teilnehmer als auch an alle Teilnehmer gesendet werden. Im Unterschied zum Whiteboard kann der Chat jederzeit von allen Teilnehmern benutzt werden. Er ist nicht an die Floorkontrolle gebunden. Die benötigte Bandbreite für den Chat ist vergleichsweise gering. Aus diesem Grund kann der Chat sogar benutzt werden, wenn die Audio- und Videokommunikation ausfällt, um sich zu verständigen.
- **Verteiltes Gruppen- und QoS-Management**
Die Gruppenverwaltung, die Einstellung der Dienstgüteparameter und die Aktualisierung der Sprecherwarteschlange erfolgt dezentral in den Endsystemen. Alle notwendigen Berechnungen für die Parametereinstellungen werden in den Endsystemen ausgeführt.
- **Dynamische Skalierung der Videoströme**
In den Vorgängersystemen COVIS und OCTOPUS [2], [5] wurde eine dynamischen Skalierung der Videoströme verwendet, durch die der Dekompressionsaufwand der Videoströme dem Leistungsvermögen der Empfänger angepasst wird, um eine gute Darstellungsqualität zu sichern. Das Prinzip der dynamischen Skalierung sah vor, dass die Teilnehmer mit der maximalen Bandbreite senden, die das leistungsstärkste Endsystem in der Konferenz verarbeiten kann. Leistungsschwächere Teilnehmer müssen die ankommenden Videoströme entsprechend ihrer Leistungsfähigkeit skalieren, bevor sie diese Daten weiter verarbeiten. Dafür werden Frame-Dropping-Filter verwendet, die einige der noch komprimierten Videoframes verwerfen. Die Beibehaltung dieses Prinzips in BRAVIS ist vorgesehen. Allerdings ist durch die steigende Leistungsfähigkeit der PCs (siehe unten) nicht mehr so zwingend. Über die endgültige Wiedereinführung der dynamischen Skalierung soll im Kontext der Integration des Overlay-Multicasts entschieden werden.

Für den Zugang zu dem Konferenzdienst steht eine speziell gestaltete graphische Nutzerschnittstelle zur Verfügung, die dem Nutzer eine einfache und einheitliche Bedienung

der verschiedenen Steuerelemente (Gruppendarstellung, Einladung, Floorkontrolle, Whiteboard) bietet.

4 Messungen

Die Anwendbarkeit des BRAVIS-Ansatzes wurde durch Messungen evaluiert. Die Messungen konzentrierten sich auf das Peer-to-Peer-Signalisierungskonzept und die Medien- datenübertragung

Die Signalisierung einer Videokonferenz muss effektiv und reaktionsschnell sein. Zwischen einer Eingabe und der Ausführung einer Reaktion wird in Videokonferenzen eine maximale Zeit von einer Sekunde als wünschenswert bzw. zweckmäßig betrachtet. Die Reaktionszeit von BRAVIS ergibt sich aus der Tokenumlaufzeit des GCPIP und der Verzögerung der Signalisierungsdaten zwischen zwei Kommunikationspartnern. Das ist dadurch bedingt, dass ein Teilnehmer erst auf das Token warten muss, bevor er das Ereignis senden kann. Für die Reaktionszeit von GCPIP in einer lokalen Umgebung mit 8 Teilnehmern wurden etwa 100 ms gemessen [6], [9]. Durch Approximation (siehe Abbildung 3) kann daraus eine maximale Teilnehmerzahl von 220 im lokalen Umfeld abgeleitet werden. In einer globalen Umgebung können kaum konkrete Aussagen über die Reaktionszeiten gewonnen werden, da die Umgebungsparameter wie Lokalität der Teilnehmer, Anzahl der überwundenen Hops oder Nutzung unterschiedlicher physikalischer Medien sehr stark variieren können. Somit ist keine allgemeingültige Aussage formulierbar. Um die Reaktionszeiten abschätzen zu können, wurden die Round Trip Time vom Standort BTU Cottbus zu verschiedenen Zielen in Europa gemessen. Sie ergab im Durchschnitt eine Übertragungsverzögerung von 20 ms zwischen den verschiedenen Standorten. Unter der oben erwähnten Randbedingung einer maximalen Reaktionszeit von 1s, ergibt sich damit eine maximale Teilnehmerzahl von 21 für Konferenzen im EU-Bereich. Das entspricht den Zielstellungen des BRAVIS-Ansatzes.

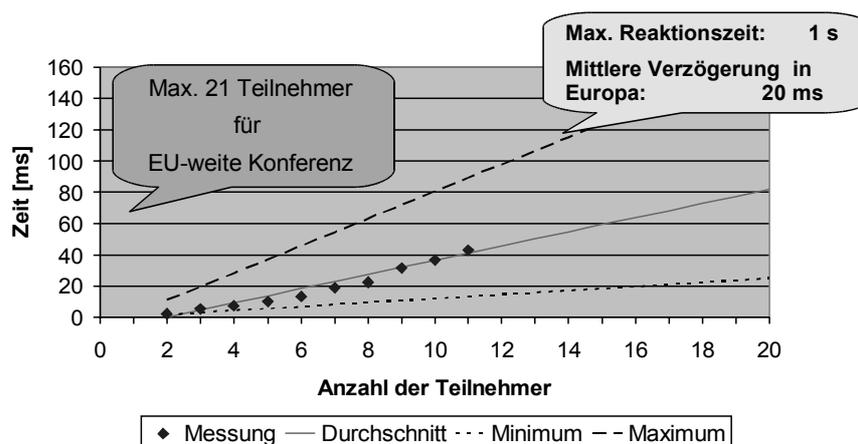


Abbildung 3: Abschätzung der Reaktionszeit von GCPIP für Europa

Für die Abschätzung der verfügbaren Bandbreite wurden Messungen im G-WiN zu den Standorten Mannheim und Dortmund sowie zum Vergleich nach Hong Kong durchgeführt. Diese Messungen wie auch die Messungen der Verzögerungen wurden mittels eines UDP-Senders mit einer variablen Senderate, eines UDP-Reflektors, der die empfangenen Pakete an den Sender zurück schickt, und eines UDP-Empfängers durchgeführt. Dabei wurde auf das darüber liegende RTP/RTCP verzichtet, um nicht Verfälschungen durch zusätzliche Paketverarbeitungszeiten zu erhalten. Als Versuchsrechner dienten eine SUN Ultra 10 mit Solaris 2.6 sowie ein Pentium 2 mit Linux SuSe 8.0. Sender und Empfänger wurden jeweils auf einem Host gestartet, um die Paketverzögerung ohne Synchronisation der Systemuhren aller beteiligten Hosts möglichst genau zu messen. Die Durchführung der Messungen erstreckte sich über einen Zeitraum von 24 Stunden, um tageszeitabhängige Schwankungen zu erkennen. In Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Messungen im Tagesdurchschnitt dargestellt.

	Anzahl Hops	RTT [ms]	Übertragungsrate [Kbit/s]	Fehlerquote [%]
Cottbus – Dortmund	12	25	19600 ²	ca. 1
Cottbus – Mannheim	21	47	11800 ³	ca. 1
Cottbus – Hong Kong	25	343	523	ca. 2,7

Tabelle 1: Messung der Übertragungsraten zu verschiedenen Standorten

Die Messungen zeigen, dass Datenraten zwischen 10-20 Mbit/s deutschlandweit für die Mediendatenübertragung ohne bemerkenswerte Fehler genutzt werden können einschließlich einer akzeptablen Verzögerung von etwa 12 bis 24 ms abhängig von der Anzahl der durchlaufenen Hops. Begrenzungen können lediglich durch die Anbindung der Teilnehmer an das DFN-Netz auftreten, da das Forschungsnetz an sich über sehr große Bandbreitenreserven verfügt. Zum Vergleich wurden die Resultate der Messungen zur Hong Kong University of Science and Technology mit in die Tabelle 1 aufgenommen. Durch die relativ geringe Kapazität der Satellitenverbindung konnten hierbei nur 523 Kbit/s übertragen werden, bevor die Übertragungsverzögerung und die Verlustrate deutlich anstiegen, was auf eine Überlastsituation hindeutete.

Die durchschnittliche Bitrate eines M-JPEG Kodierers liegt bei etwa 1200 Kbit/s für ein Sprecherbild im CIF-Format und 700 Kbit/s für einen Nichtsprecher im QCIF-Format, wenn die Videokarte 25 Bilder pro Sekunde liefert. Somit hätten bei der innerdeutschen Messung ca. 27 Teilnehmer miteinander Punkt-zu-Punkt kommunizieren können. Bei der Nutzung von leistungsfähigeren Codecs, einer geringeren Bildwiederholungsfrequenz (zum Beispiel sind 10 bis 15 Bilder pro Sekunde bei einer Videokonferenz ausreichend) sowie einer häufig geringeren Zahl von Teilnehmern kann die Zahl der gleichzeitig stattfindenden Konferenzen stark erhöht werden.

² Die Messung wurde bei ca. 80% (100% entsprechen 28800 Kbit/s) der universitären Netzanbindung der BTU Cottbus abgebrochen, da sich bis dahin keine bemerkenswerten Stausituationen erkennen ließen und eine weitere Erhöhung der Sendeleistung keine aufschlussreicheren Ergebnisse erzielt worden wären.

³ Die Messung wurde bei ca. 50% (100% entsprechen 28800Kbit/s) der universitären Netzanbindung der BTU Cottbus abgebrochen.

Um zu prüfen, wie sich verschiedene konkurrierende Datenströme verhalten, wurde die Sendeleistung durch einen einzigen Host erbracht, der die Pakete durch 15 bis 25 parallel laufende Sendeprozesse mit jeweils ca. 400 Kbit/s verschickt hat. Die Einflussnahme zwischen den Prozessen hielt sich gering und war kaum zu spüren, da die Verzögerung einzelner Pakete gering blieb, die empfangene Datenrate in etwa der gesamten gesendeten Datenrate entsprochen hat und die Fehlerquote unter 1% gelegen hat. Das zeigt, dass ein Sender in der Lage ist, mehrere Teilnehmer parallel per Unicast-Verbindungen zu versorgen, ohne dass sich diese Teilnehmer gegenseitig beeinflussen. Die Sendeleistung kann jedoch von der Leistungsfähigkeit des Hosts abhängen. Geht die Leistung zurück, beispielsweise durch das Aufrufen einer Applikation oder durch die Videokompression, wirkt sich das negativ auf die Sendeleistung aus.

Die Ergebnisse zeigen, dass der BRAVIS-Ansatz in der geschilderten Form auf Netzen mit einer ausreichenden Bandbreite eingesetzt werden kann und dabei auch bei extremen Gruppentopologien arbeitsfähig ist. Eine solche Netzsituation ist in Deutschland im G-WiN gegeben. Selbst einzelne Konferenzen wie nach Hong Kong wären denkbar, wobei, wie die Messungen der Verzögerungen zeigen, für Konferenzen, die nicht über Satellit gehen, z.B. nach Nordamerika, wesentlich günstigere Randbedingungen gegeben sind.

Die Möglichkeiten der QoS-Regulierung in BRAVIS sind derzeit beschränkt. BRAVIS ist letztlich nur eine Anwendung, die kaum Einfluss auf die Netzsituation nehmen kann. Die Teilnehmer können sich in verschiedenen Netzen befinden, die unterschiedliche QoS-Modelle nutzen. Da derzeit fortgeschrittene QoS-Mechanismen im Internet kaum unterstützt werden, enthält BRAVIS zurzeit nur unterstützende Mechanismen für die Überwachung der Endsysteme. Im Rahmen der dynamischen Skalierung der Videoströme ist vorgesehen, die Systemlast in den Endsystemen und die Netzsituation durch Monitore zu überwachen. Der Betriebssystem-Monitor soll die aktuelle Prozessorlast und den Ressourcenverbrauch beobachten, um die Filterparameter entsprechend der Systemlast einzustellen [3]. Die Überwachung der Netzlast dient der dynamischen Anpassung der Mediendatenströme an die aktuelle Netzwerksituation. Eine weitere Regulierungsmöglichkeit bietet das Voting-Tool [9]. Mit seiner Hilfe kann ein Teilnehmer die Darstellung anderer Teilnehmer (außer dem Sprecher) lokal abwählen, weil ihre Darstellung auf dem Bildschirm aus Platzgründen nicht zweckmäßig ist. Durch die Abwahl wird auch die Übertragung des jeweiligen Videostroms unterbunden. Mit der Verfügbarkeit von QoS-Modellen wie *IntServ* und *DiffServ* könnten genauere Anforderungen an die Übertragung im Netz durch Reservierung von Ressourcen oder die Wahl bestimmter Dienstklassen spezifiziert werden. Allerdings zeigt die Erfahrung, dass durch die relativ gute Verfügbarkeit von Bandbreite in Netzen wie dem G-WiN auch ohne diese Mechanismen Videokonferenzen in einer akzeptablen Qualität möglich sind.

5 BRAVIS-Prototyp

Das BRAVIS-Konzept wurde in der hier beschriebenen Funktionalität prototypisch für die Betriebssysteme Linux und Solaris implementiert und im Experiment erprobt. Es existiert eine Installation im Campus der BTU Cottbus, die Standorte bis zu 2 km Entfernung verbindet. Weitere Installationen wurden an den Universitäten Dortmund und Mannheim



realisiert. Es wurden mehrere Konferenzen zwischen diesen Standorten über das G-WiN durchgeführt, die die Anwendbarkeit von BRAVIS für Konferenzen innerhalb der Bundesrepublik bestätigt haben. Die Übertragungsraten lagen dabei unter Verwendung von M-JPEG für den Sprecher bei 700-800 Kbit/s bei einer Framerate von 12-15 Frames/s und bei je 160-200 Kbit/s mit einer Framerate von 8-10 Frames/s für die Nichtsprecher. Weiterhin wurde experimentell die Dekompressionsrate der Endsysteme bestimmt. Ein Prozessor-PC mit 1 GHz kann gleichzeitig bis zu 10 M-JPEG-Ströme mit 18 Frames/s im QCIF-Format dekomprimieren. Ein Zwei-Prozessorsystem mit 2,6 GHz schafft 20 M-JPEG-Ströme mit 24 Frames/s.

Der BRAVIS-Prototyp wird interessierten Nutzern als Beta-Version zur Verfügung gestellt. Informationen zum Download des Systems werden auf der Webseite

<http://www.bravis.tu-cottbus.de/>

bereitgestellt. Auf dieser Webseite sind neben einer ausführlichen Systembeschreibung auch ein Video zu BRAVIS sowie alle bisherigen Publikationen enthalten.

6 Schlussbemerkungen



Videokonferenzen für geschlossene Gruppen haben im Internet noch keine breite Anwendung. Mit dem BRAVIS-Konzept ist ein Ansatz vorgestellt worden, der geschlossene Mehrteilnehmer-Videokonferenzen von Desktop-Systemen aus im Internet ermöglicht. Es ist ein Ansatz der keine spezielle Infrastruktur benötigt und unmittelbar in die Arbeitsumgebung integriert werden kann. Das erlaubt den Nutzern direkt von ihrem Arbeitsplatz aus, an Projektberatungen, Meetings, Fachdiskussionen oder Konsultationen teilzunehmen. Die Konferenzen können bei Bedarf kurzfristig aufgesetzt werden. Es sind kein Planungsaufwand und spezielle Vorbereitungen erforderlich. Vorbereitungen müssen bezüglich der Freischaltung von Ports im Firewall getroffen werden. Hier erweist sich das feste Freischalten einiger Ports als zweckmäßig.



Die Funktionalität von BRAVIS wird schrittweise erweitert. Kurz vor der Einführung steht eine neue Version des Audio-Managers, die neben Silence Detection das Mixen von Audioströmen vorsieht. Damit soll in den beiden Floorkontroll-Modi die Möglichkeit von Zwischenbemerkungen und Fragen an den Sprecher gegeben werden. Daneben wird in diesem Kontext auch die Einführung einer freien Diskussion untersucht. Weiterhin wird ein Overlay-Multicast für die Verteilung der Videoströme eingeführt, das die Punkt-zu-Punkt-Übertragung ablöst. Damit soll insbesondere ein großer Bandbreitenverbrauch bei höheren Teilnehmerzahlen vermieden werden.

Außerdem wird an einem Sicherheitskonzept für geschlossene Videokonferenzsysteme gearbeitet. Es bietet verschiedene Sicherheitsstufen an, die von den Teilnehmern in Abhängigkeit von dem angestrebten Grad der Vertraulichkeit vereinbart werden können und die festlegen, welche Informationen der Konferenz verschlüsselt werden. Entsprechend dem Peer-to-Peer-Prinzip wird ein dezentrales Schlüsselmanagement genutzt. Diese Sicherheitsarchitektur soll später in BRAVIS integriert werden.



Literatur

- [1] Beier, I.; H. Koenig: A Protocol Supporting Distributed Group and QoS Management, Proceedings IEEE Conference for Multimedia Systems – Networking (PROMS-MmNet'97), IEEE Press, 1997, pp. 213-222
- [2] Beier, I.; H. Koenig: GCSVA – A Multiparty Video Conferencing System with Distributed Group and QoS Management. 7th International IEEE Conference on Computer Communications and Networks (IC3N'98), IEEE Press, 1998, pp. 594-598
- [3] Beier, I.; H. König: Distributed QoS Management for a Multiparty Video Conferencing System. In: YONGCHAREON, T., F. A. AAGESEN and V. WUWONGSE (eds.): Intelligence in Networks. IFIP TC6 WG6.7 5th International Conference, SMARTNET'99, Pathumthani, Thailand, Kluwer Academic Publishers, 1999, pp. 335-348.
- [4] Chanson, S.T., Hui, A., Siu, E., Beier, I., Koenig, H.; Zuehlke, M.: OCTOPUS – A Scalable Global Multiparty Video Conferencing System. 8th International IEEE Conference on Computer Communications and Networks (IC3N'99), IEEE Press, Boston, 1999, pp. 97-102
- [5] Chanson, S.T., Hui, A., König, H., Zühlke, M.: Das OCTOPUS-Videokonferenzsystem. PIK 23 (2000) 4, 189-198
- [6] Zuehlke, M.; Koenig, H.: GCP – A Group Communication Protocol for Supporting Closed Groups in the Internet. In: Martikainen, O.; Raatikainen, K; Hyvärinen, J. (eds.): Smart Networks. IFIP TC6 WG6.7 7th International Conference on Intelligence in Networks, SMARTNET 2002, Saariselkä, Finland, Kluwer Academic Publishers, 2002
- [7] Zuehlke, M.; Koenig, H.: Voting Based Bandwidth Management in Multiparty Video Conferences. Proceedings of Protocols and Systems for Interactive Distributed Multimedia. LNCS 2515, Springer, 2002, pp. 202-215
- [8] Popovici, E. C.; Mahlo, R.; Zuehlke, M.; Koenig, H.: Consistency Support for a Decentralized Management in Closed Multiparty Conferences Using SIP. In ICON 2003. The 11th IEEE International Conference on Networks, Sydney, Australia, IEEE Press, 2003, pp. 295-300.
- [9] Zühlke, H.: Verteilt organisierte Mehrteilnehmer-Videokonferenzen für geschlossene Gruppen im Internet. Dissertation, BTU Cottbus, Fakultät für Mathematik, Naturwissenschaften und Informatik, 2004
- [10] Maiss, G.: DFN Videokonferenz – Aufbau eines neuen Dienstes. DFN Mitteilungen, Heft 55, 2001, S. 13-14
- [11] Maiss, G.; Schauerhammer, K.: DFN Videokonferenz (DFNVC). DFN Mitteilungen, Heft 58, 2002, S. 4-5
- [12] Schulzrinne, H., Casner, S.; Frederick, R.; Jacobson, V.: RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications. RFC 1889, 1996
- [13] Handley, M.; Schulzrinne, H.; Schooler, E.; Rosenberg, J.: SIP: Session Initiation Protocol. RFC 2543, March 1999
- [14] USMINT: GMD Fokus: USMINT – Universal Scalable Multimedia in the Internet, <http://www.fokus.gmd.de/research/cc/gclone/projects/usmint/>
- [15] VAT: Network Research Group of Lawrence Berkeley National Laboratory: vat – LBNL Audio Conferencing Tool, <http://www-nrg.ee.lbl.gov/vat/>
- [16] VIC: Networked Multimedia Research Group at University College London: Videoconferencing Tool, <http://www-mice.cs.ucl.ac.uk/multimedia/software/vic/>
- [17] VCON: Desktop Systems Escort 25, Cruiser 75/150/384, <http://www.vcon.de/>
- [18] MICROSOFT: MS Netmeeting 3.0: <http://www.microsoft.com/netmeeting>
- [19] WHITE PINE Software: CUSeeMe Pro: <http://www.wpine.com/>
- [20] Boivue, R.; Feldmann, N.: SGM – Small Group Multicast. Internet Draft Proposal, July 2000