

# Untersuchung von Adaptionalgorithmen verteilter Multimedia-Anwendungen

Thomas R. Schmidt

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung,  
Universität Stuttgart,  
Pfaffenwaldring 47,  
70569 Stuttgart

**Zusammenfassung:** Multimediale Kommunikationsdienste wie Video-Konferenzen, *Computer Supported Cooperative Work* (CSCW) oder *Video on Demand* (VoD) werden immer öfter eingesetzt. Gleichzeitig erwarten die Nutzer jedoch eine einfachere Bedienung und eine konstante Ende-zu-Ende-Dienstgüte (*Quality of Service*, QoS) zu niedrigen Kosten, d. h. es wird meist auf eine teure Reservierung von Netz-Ressourcen verzichtet. Somit kann sich während der Übertragung die vom Netz erbrachte Dienstgüte ändern, z. B. die Verzögerung oder die Verlustrate erhöhen.

Unter der Annahme, dass die Anwendung keine Möglichkeit hat, dieses Verhalten des Netzes zu beeinflussen, bleibt ihr nur die Möglichkeit, sich an das geänderte Verhalten anzupassen. Es ist beispielsweise möglich, einen Teil der Bandbreite zur Behebung von Übertragungsverlusten einzusetzen, indem redundante Information übertragen wird (*Forward Error Correction*, FEC). Dies hat aber zugleich zur Folge, dass weniger Nutzinformation, z. B. ein kleineres Bild, übertragen werden kann und somit die Anwendung nicht genau das leistet, was von ihr erwartetet wird.

Im Rahmen dieses Projektes wird untersucht, welche Reaktionen auf bestimmte Veränderungen der Netzdienstgüte geeignet sind, die vom Nutzer erfahrene Dienstgüte (*experienced QoS*) konstant auf dem bestmöglichen Niveau zu halten. Diese Untersuchung erfolgt einerseits analytisch, indem die möglichen Reaktionen der Anwendungen untersucht werden. Andererseits wird mit Hilfe einer *Experimentierplattform* (XP) experimentell die Leistung von Adaptionalgorithmen unter sich ändernden Netzbedingungen beobachtet und bewertet.

## 1. Einleitung

Interaktive, verteilte Multimedia-Kommunikation zeichnet sich durch die Übertragung mehrerer Medien-Ströme über ein Datennetz aus. Je nach Einsatzgebiet ergeben sich hierbei andere Anforderungen an die Dienstgüte für die einzelnen Medien, aber auch an die Dienstgüte der gesamten Anwendung.

So werden z. B. in einer Video-Konferenz zwei oder mehr Audio- und Videoströme übertragen. Hierbei ist meist die Audio-Übertragung wichtiger für die Gesamt-Dienstgüte als das Videobild [Ste96], d. h. bei einem Engpass können Ressourcen von Videoströmen auf Audioströme übertragen werden. Andererseits gibt es Szenarien, in denen die Videoübertragung eine höhere Priorität als die Audioübertragung hat, z. B. beim Fernsteuern eines Roboters (*Telem Manipulation*). Die Entscheidung, wie auf die Verknappung von Ressourcen reagiert wird, hängt also stark vom Ziel der Anwendung ab.

Es muss deshalb eine Gewichtung der einzelnen Medien auf Basis der Anforderungen des jeweiligen Szenarios erfolgen. Hieraus lässt sich dann bereits beim Start der Anwendung eine Aufteilung der verfügbaren Ressourcen ableiten, die dem Nutzer die von ihm erwartete Dienstgüte (*expected QoS*) liefern kann. Da jedoch bei Verzicht auf (teure) Reservierung von Ressourcen die Verfügbarkeit variieren kann, reicht eine Aufteilung beim Start der Anwendung nicht aus. Es muss vielmehr ständig die momentan erfahrene Dienstgüte (*experienced QoS*) ermittelt und mit der erwarteten Dienstgüte verglichen werden.

Ergibt sich hierbei eine Differenz, so sollte die Anwendung reagieren: Ist die *experienced QoS* niedriger als die *expected QoS*, so muss die Anwendung versuchen, zunächst die Ursache<sup>1</sup> für das Nichterfüllen der Anforderung zu finden, um dann dergestalt zu reagieren, dass mit den vorhandenen Ressourcen die im gegebenen Szenario beste Dienstgüte erbracht werden kann. Diese Anpassung sollte zugleich in einer den Nutzer nicht störenden Weise erfolgen (*“graceful degradation”*). So ist beispielsweise ein kompletter Neustart der Anwendung mit Unterbrechung der Übertragung nicht wünschenswert.

Eine weitere Möglichkeit ist der Fall, dass sich die Ressourcenverfügbarkeit erhöht hat und eine zuvor erfolgte Anpassung der Dienstgüte zurückgenommen werden kann. Auch hier ist es das Ziel, den Übergang für den Nutzer möglichst störungsfrei erfolgen zu lassen. Das Gesagte gilt analog für den Fall, dass der Nutzer die Gewichtung der einzelnen Medien ändert, z. B. um eine bessere Audio-Übertragung zu erhalten.

Das Ziel dieses Projektes ist nun, Mechanismen und Algorithmen zu finden und zu bewerten, die es einer Anwendung erlauben, die von ihr erwartete Leistung auch unter sich verändernden Bedingungen zu erbringen. Hierzu werden zum einen die möglichen Reaktionen einer verteilten Multimedia-Anwendung auf Veränderungen der Dienstgüte des Übertragungsnetzes und die Verfügbarkeit von Ressourcen in den Endgeräten untersucht. Zum anderen werden Adaptionsalgorithmen betrachtet, entwickelt und experimentell mit Hilfe einer *Experimentierplattform (XP)* bewertet, u. a. hinsichtlich Kriterien wie Reaktionszeit<sup>2</sup> und Stabilität<sup>3</sup>.

Im folgenden Abschnitt werden verwandte Arbeiten vorgestellt, daran anschließend, im dritten, das Ziel genauer definiert. Es folgt im vierten Abschnitt eine Beschreibung der Vorgehensweise, um danach mit einem Überblick über den Entwicklungszustand im fünften und einer Zusammenfassung und einem Ausblick im sechsten Abschnitt zu schließen.

## 2. Verwandte Arbeiten

Seit einigen Jahren werden viele Multimedia-Plattformen und -Anwendungen entwickelt und vorgestellt. In den meisten Fällen wurden dabei vor allem folgende Ziele verfolgt:

- einfacher Aufbau von neuen Anwendungen
- statische Ressourcen-Vergabe durch Reservierung beim Start der Anwendung
- einfache, intuitive Bedienung und Einstellung der Dienstgüte durch den Benutzer

---

<sup>1</sup>Z. B. hohe Verzögerung, zu niedrige Bandbreite, zu wenig verfügbare CPU-Leistung

<sup>2</sup>Wie schnell reagiert die Anwendung? Wird auch als *“agility”* bezeichnet.

<sup>3</sup>Wie oft ändert sich die Dienstgüte? Auch *“stability”* genannt.

- Verwendung spezieller Technologien (z. B. ATM, Medienkodierer) und Paradigmen (z. B. „*Mobile Agenten*“)
- Einsatz in einer speziellen Umgebung für eine bestimmte Anwendung

Beispiele für derartige Architekturen finden sich in [CAH96], außerdem sei auf „QoS-Broker“ [NS95], CINEMA [BDHea93], „Microsoft Netmeeting“ [Mic99], „Cellstack Systems“ [Cel99] und die MBone-Tools [Fah97] verwiesen.

Grundsätzliches zur Adaption in Multimedia-Anwendungen findet sich in [Gec97]; neuere Veröffentlichungen zeigen, dass dies ein viel versprechender Ansatz zur Reaktion auf Änderungen in der Netzdienstgüte ist. So wird in [LN99] eine Abbildung des Adaptionsproblems auf die Regelungstechnik vorgestellt. Es werden sogar lineare Methoden der Theorie der Regelungstechnik auf die Multimedia-Übertragung angewandt, trotz des prinzipiell nicht-linearen und nicht-kontinuierlichen Verhaltens eines solchen Systems.

Zwei weitere Veröffentlichungen, [Nob00] und [YAWM00], stellen Architekturen vor, mit denen adaptive Anwendungen implementiert werden können. Jedoch werden hier die möglichen Reaktionen der Anwendung und die Adaptionsalgorithmen nicht genauer dargelegt.

Im Unterschied zu diesen Arbeiten steht in diesem Projekt die Untersuchung der grundlegenden Mechanismen der Dienstgütenanpassung im Mittelpunkt, also nicht die Entwicklung eines weiteren „*Frameworks*“. Es wird zudem am konkreten Szenario einer hochqualitativen, interaktiven Video-Konferenz ein Adaptionsalgorithmus entwickelt und bewertet, der die sinnvolle Verknüpfung einzelner Mechanismen demonstriert.

### 3. Zielsetzung

Um in einer adaptiven, verteilten Multimedia-Anwendung die vom Nutzer erwartete Dienstgüte bereitstellen zu können, wird wie folgt vorgegangen (Abb. 1):

1. Festlegung eines Ausgangszustands: Parameter der Anwendung werden abhängig vom Szenario und den verfügbaren Ressourcen gewählt.
2. Überwachung der Übertragung: Die erfahrene Dienstgüte muss kontinuierlich ermittelt und mit der erwarteten verglichen werden.
3. Adaption der Anwendung an die Übertragung: Sinkt die erfahrene Dienstgüte unter die erwartete ab, setzt die Anwendung Mechanismen ein, die die Dienstgüte verbessern.

Eine Betrachtung der Adaption umfasst also:

1. Die Anforderungen an die Anwendung und das Netz für ein gegebenes Szenario,
2. die möglichen Reaktionen, die beim Auftreten eines Ressourcen-Engpasses der Anwendung zur Verfügung stehen, und
3. die Adaptionsalgorithmen, d. h. die Kombination der einzelnen Mechanismen, bewertet in Abhängigkeit von Anwendungsszenario und Netzverhalten.

Neben der Betrachtung aus Sicht der adaptiven Anwendung können die Ergebnisse zudem verwendet werden, um aus Netz-Sicht die Auswirkungen adaptiver Multimedia-Ströme auf Übertragungsnetze zu untersuchen.

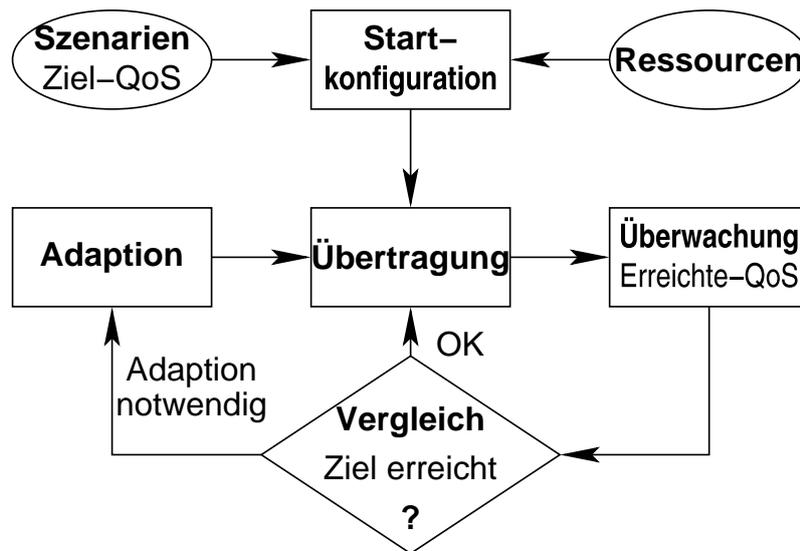


Abbildung 1: Regelkreis der Übertragung

## 4. Vorgehensweise

### 4.1 Analyse der Mechanismen

Adaptiven Multimedia-Anwendungen stehen bereits durch die hohe Zahl der Parameter, die ihr Verhalten beeinflussen, eine große Anzahl von Mechanismen zur Verfügung, mit denen sie sich anpassen können. Auf den verschiedenen Ebenen sind dies beispielsweise:

- Nutzer-Schicht (*User Level Quality*, ULQ): Der Nutzer kann auf einzelne Ströme verzichten, die Prioritäten zwischen den Strömen verschieben oder auch eine niedrigere Qualität akzeptieren.
- Anwendungs-Schicht (*Application Level Quality*, ALQ): Die Anwendung entscheidet, die Bildgröße zu verändern, die Komprimierung zu verstärken oder eine höhere Verzögerung zu akzeptieren.
- Kommunikations-Schicht (*Communication Level Quality*, CLQ): Auf dieser Ebene ist es möglich, z. B. einen Teil der Bandbreite gezielt in Redundanz zu investieren, um Übertragungsfehler ausgleichen zu können.
- Netz-Schicht (*Network Level Quality*, NLQ): Ist das Netz durch die Anwendung beeinflussbar (also kein reines IP-Netz), so kann z. B. ein anderer Verkehrsvertrag ausgehandelt werden.

Der Einsatz eines Mechanismus hat eine Änderung der Ressourcen-Anforderung der Anwendung, der Charakteristik des übertragenen Verkehrs und auch der beim Empfänger erfahrenen Dienstgüte zur Folge. So kann sich bei Einsatz eines *Retransmissions-Algorithmus* [PP96] die Packetverlustrate im Empfänger von z. B. 10% auf etwa 2% verringern. Dies wird jedoch erkauft durch eine Erhöhung der Ende-zu-Ende-Verzögerung, denn der Empfänger muss Pakete zwischenspeichern<sup>4</sup>, bevor er sie weiterverarbeiten kann. Dies kann dazu führen, dass die erfahrene Dienstgüte des Dienstes sinkt, da die Interaktivität des Systems geringer ist.

<sup>4</sup>Mit Pufferverzögerung  $\geq 2 * \text{Verzögerung}\{\text{Sender} \rightarrow \text{Empfänger}\} + \text{Verzögerung}\{\text{Empfänger} \rightarrow \text{Sender}\}$

Um nun in einem Adaptionsalgorithmus die beste Entscheidung für den Einsatz eines Mechanismus treffen zu können, muss der Algorithmus die Auswirkungen der verschiedenen Mechanismen auf die Dienstgüte in der momentanen Situation kennen. Um dies zu erreichen werden die Mechanismen nicht nur analysiert, sondern auch experimentell untersucht. Dazu werden sie in der **eXperimentation Platform** (XP, Abb. 2, [Sch99]) implementiert und Parameterstudien durchgeführt.

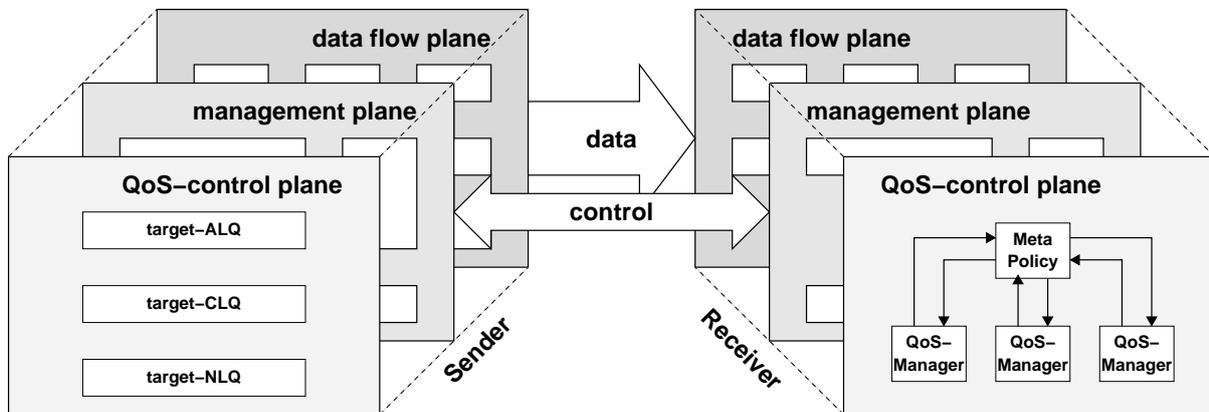


Abbildung 2: Ebenen der XP

## 4.2 Bewertung der Adaptionsalgorithmen

Erkennt die adaptive Multimedia-Anwendung eine Differenz zwischen der erfahrenen Dienstgüte und der erwarteten, so ist der erste Schritt die Ermittlung der Ursache für dieses Verhalten. Hierfür benötigt die Anwendung einen vollständigen Überblick über die momentane Leistung aller beteiligten Komponenten. In der XP wird dies durch die Einführung von Messpunkten erreicht, die in den Modulen die Charakteristik der übertragenen Daten erfassen.

Im Empfänger werden diese Daten als Beschreibung der erfahrenen Dienstgüte (*achievedALQ*, *achievedCLQ*, *achievedNLQ*) an den QoS-Manager weitergereicht (Abb. 3), der dann daraus die Änderungen in der Zieldienstgüte ermittelt (*targetALQ*, *targetCLQ*, *targetNLQ*) und damit die für die Übertragung zuständigen Module steuert.

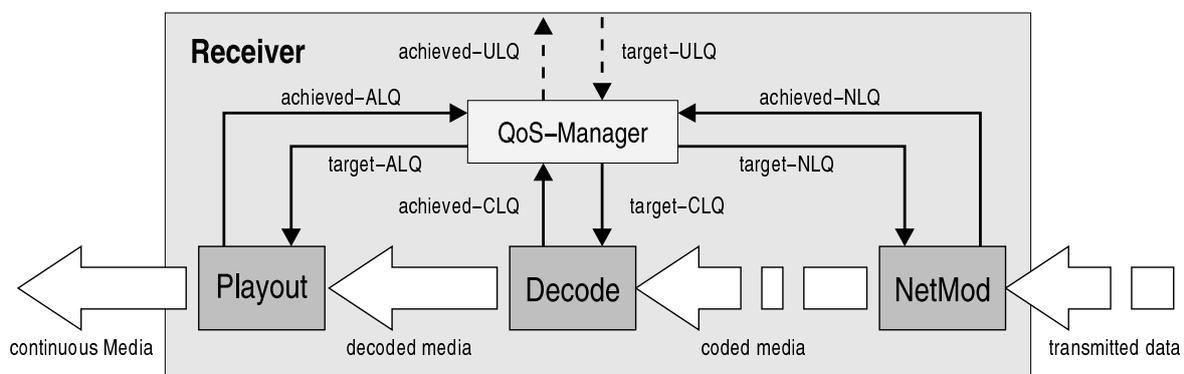


Abbildung 3: QoS-Manager für ein Medium

Um verschiedene Algorithmen zu untersuchen, mit denen eine Anwendung auf eine Veränderung reagieren kann, muss in der XP nur das entsprechende Modul in der QoS-Steuerebene (*QoS-control*

*plane*, Abb. 2, s. a. [Sch99]) ausgetauscht werden; das restliche System bleibt unverändert. Somit ist es möglich, die Auswirkungen einer Änderung des Algorithmus zu studieren.

Hierzu werden die Daten über eine WAN<sup>5</sup>-Emulation (z. B. „The Cloud“, [Clo]) geleitet, mit der ein bestimmtes Netzverhalten erzeugt werden kann. Dies erlaubt einerseits das Aufzeichnen der resultierenden Datencharakteristik für ein Szenario; andererseits ist es möglich, subjektive Qualitätseindrücke durch Testpersonen zu erfassen und in die Bewertung der Algorithmen einfließen zu lassen.

## 5. Status

Die *eXperimentation Platform* liegt in einer lauffähigen Version vor. Die Übertragung von Audio- und Video-Strömen ist möglich und erste Adaptionalgorithmen wurden implementiert. Ebenso haben Experimente mit einer WAN-Emulation die prinzipielle Funktion gezeigt.

Als nächster Schritt wird die systematische Aufarbeitung der Mechanismen erfolgen, um dann für ein gegebenes Szenario Adaptionalgorithmen implementieren und bewerten zu können.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Multimediale Kommunikationsdienste werden mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Zukunft in noch größerem Maße eingesetzt. Durch die Verwendung von Netzen ohne Dienstgütengarantien (v. a. IP-Netze, aber auch Mobilfunk) und neuer Endgeräte (z. B. PDAs, *Personal Digital Assistants*) ergeben sich neue Anforderungen an die Anwendungen. Sie müssen in der Lage sein, auf Änderungen der verfügbaren Ressourcen zu reagieren und ihren Dienst weiter in einer akzeptablen Qualität liefern.

Durch die prinzipbedingt hohe Anzahl an Parametern, die eine Multimedia-Übertragung beeinflussen, ist das Finden der richtigen Reaktion nicht trivial und muss je nach Einsatzgebiet und erwarteter Dienstgüte getroffen werden. Um untersuchen zu können, wie sich der Einsatz verschiedener Anpassungs-Mechanismen auf die durch den Nutzer erfahrene Dienstgüte auswirkt, wurde die *eXperimentation Platform* entworfen und implementiert. Mit ihrer Hilfe lassen sich Adaptionalgorithmen realisieren und bewerten.

Ergebnisse dieses Projektes werden zum einen die Analyse der möglichen Reaktionen einer verteilten Multimedia-Anwendung und zum anderen Adaptionalgorithmen für spezielle Szenarien sein. Dies erlaubt dann einer Anwendung, die erwartete Ende-zu-Ende-Dienstgüte auch bei einem plötzlichen Ressourcen-Engpass bereit zu stellen.

Darüber hinaus wird mit der *XP* ein Werkzeug zur Verfügung stehen, mit dem Multimedia-Anwendungen auf viele Arten untersucht werden können. Zum Beispiel kann der Einfluss neuer Kodierverfahren oder Netzdienste beurteilt werden. Die *XP* kann aber auch zur Datenerzeugung bei der Untersuchung von Übertragungsnetzen dienen und damit erheblich zur Entwicklung von Quellmodellen für Simulationen beitragen.

---

<sup>5</sup> *Wide Area Network*

## Literatur

- [BDHea93] Barth, I.; Dermler, G.; Helbig, T.; Rothermel, K.; Sembach, F.; Wahl, T.: *CINEMA: Eine konfigurierbare, integrierte Multimedia-Architektur*, GI/ITG Arbeitstreffen 'Verteilte Multimedia Systeme', Stuttgart, D, 18.02.1993 – 19.02.1993, Band 5, K.G. Saur, Februar 1993, ISBN 3-598-22407-9, S. 33–47.
- [Gec97] Gecsei, J.: *Adaptation in distributed multimedia systems*, IEEE Multimedia, Vol. 4, No. 2, USA, April/Jun 1997, pp. 58–66.
- [LN99] Li, B.; Nahrstedt, K.: *A control-based middleware framework for Quality-of-Service applications*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 9, USA, September 1999, pp. 1632–1650.
- [Nob00] Noble, B.: *System Support for Mobile, Adaptive Applications*, IEEE Personal Communications, Vol. 7, No. 1, Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, USA, February 2000, ISSN 1070-9916, pp. 44–49.
- [NS95] Nahrstedt, K.; Smith, J. M.: *The QOS Broker*, IEEE Multimedia, Vol. 2, No. 1, USA, Spring 1995, pp. 53–67.
- [PP96] Papadopoulos, C.; Parulkar, G. M.: *Retransmission-Based Error Control for Continuous Media Applications*, Proceedings of the 6th International Workshop on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV '96), Zushi, J, 23.04.1996 – 26.04.1996, April 1996.
- [Sch99] Schmidt, T.: *Verteilte Multimedia-Anwendungen und ihre Anforderungen an die Netzinfrastruktur (6. BK GKPVS)*, Beiträge zum 6. Berichtskolloquium des GK PVS, Stuttgart, D, 02.07.1999 – 02.07.1999, Universität Stuttgart, Juli 1999, S. 11–18.
- [Ste96] Steinmetz, R.: *Human perception of jitter and media synchronization*, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 1, USA, January 1996, pp. 61–72.
- [YAWM00] Youssef, A.; Abdel-Wahab, H.; Maly, K.: *Enabling Quality of Session control in adaptive multimedia multicast systems*, Interoperable Communication Networks, Vol. 2, No. 2-4, Baltzer Science Publishers, Bussum, NL, January 2000, ISSN 1385 9501, pp. 287–295.

### Online-Referenzen:

- [CAH96] Campbell, A.; Aurrecoechea, C.; Hauw, L.: *A Review of QoS Architectures*, <ftp://ftp.ctr.columbia.edu/CTR-Research/comet/public/papers/96/CAM96a.ps.gz>, March 1996.
- [Cel99] *CellStack Systems*, <http://www.cellstack.com>, 1999.
- [Clo] *The Cloud*, <http://www.shunra.com/>.
- [Fah97] Fahner, H.: *MBone Software Archive*, <http://www-ks.rus.uni-stuttgart.de/mbone/mb-soft.html>, 1997.
- [Mic99] *Microsoft NetMeeting*, <http://www.microsoft.com/netmeeting/>, January 1999.