

Multicast-Protokolle

von

Wolfgang Wiese

xwolf@xwolf.com

<http://www.xwolf.com/>

im Seminar

Multimedia-Protokolle

Uni Erlangen, IMMD7

WS 97/98

Inhalt

1. **Einleitung**
 - 1.1. Was ist Multicasting und wofür wird es benötigt?
 - 1.2. Multicast-Typen
2. **IP-Multicasting**
 - 2.1. Grundlagen
 - 2.2. Endsystemunterstützung
 - 2.3. dense-mode & sparse-mode
 - 2.4. flooding & pruning
3. **Multicast-Protokolle**
 - 3.1. DVMRP - Distance Vector Multicast Routing Protocol
 - 3.2. MOSPF - Multicast Extensions to Open Shortest Path First
 - 3.3. PIM - Protocol Independent Multicast
4. **Das MBone**
 - 4.1. Grundlagen
 - 4.2. Mrouter, Islands und Tunnel
 - 4.3. Topologie & Management
5. **Multicast-Anwendungen**
5. **Zusammenfassung**
6. **Literaturverzeichnis**

1. Einleitung

Dieser Vortrag beschäftigt sich mit den Grundlagen und den Protokollen von Multicasting. Es beginnt mit einer Beschreibung der theoretischen Grundlagen von Multicasting, geht dann über zu der Beschreibung der Protokolle DVMRP, MOSPF und PIM und dann abschliessend auf einige Multicast-Anwendungen ein. Zur Verständniss dieser Arbeit sind grundlegende Kenntnisse in Netzwerktechniken nötig. Insbesondere Wissen über Protokolle wie TCP/IP werden als vorausgesetzt betrachtet. (Die Beschreibung dieser Protokolle und Techniken finden sich in den vorangehenden Ausarbeitungen, die im Rahmen des Seminars „Multimedia-Protokolle“ im WS97/98 gemacht wurden.)

1.1. Was ist Multicasting und wofür wird es benötigt?

In vorangehenden Ausarbeitungen haben wir die Grundlagen für Verbindungsnetzwerke kennengelernt. Dabei auch die Verbindungstypen „Point-to-Point“ (Unicasting) und „Broadcasting“.

Multicasting stellt nun das fehlenden Element zwischen Unicasting und Broadcasting dar. In den meisten Anwendungen war der normale Weg der, daß Informationen via Unicast von einem Host zu einem anderen geschickt wurden. Broadcasting bedeutet die Verteilung von Informationen von einem Host an alle potentiellen Empfänger. Multicasting dagegen bedeutet die Verteilung von einem Host an eine Untergruppe der potentiellen Empfänger.

Im Bild 1 wird dies verdeutlicht. Eine Quelle in einem Netzwerk sendet Informationen aus, welche nur von einer begrenzten Zahl an potentiellen Empfängern entgegengenommen wird.

Bild 1. [aus „Multimedia im Netz, Seite 226]

Bei Broadcasting dagegen bekommt jeder potentieller Empfänger auch die Informationen. Man kann Broadcasting mit Radio- und Fernsehübertragungen vergleichen.

Multicasting wird für Anwendungen benötigt, bei denen Informationen an gewisse (bekannte) Gruppen gehen sollen. So zum Beispiel „Netmeetings“, „Gruppenarbeit“, „Internet-Konferenzen“, usw.. Dabei wird Multicasting verwendet, weil dieses im Gegensatz zu Unicast- und Broadcast-Verfahren sensibler mit den Ressourcen umgeht. (Beim Unicast müßte die Quelle zu jedem einzelnen Teilnehmer die Daten

übermitteln, während beim Broadcast jeder Host die Daten bekommen würde, egal ob er diese haben möchte oder nicht.)

1.1. Multicast-Typen

Man kann zwischen 4 Multicast-Typen unterscheiden: Allgemeiner, allgemeiner inverser, personalisierter und personalisierter inverser Multicast.

- Allgemeiner Multicast
Beim allgemeinen Multicast ist der Empfängerkreis eine Untergruppe aller möglichen Empfänger. Informationen gehen von einer Quelle zu vielen Empfänger bzw. von vielen Quellen an viele Empfänger.
- Inverser Multicast
Hiermit bezeichnet man eine Kommunikationsform, bei der viele oder alle Sender gleichzeitig ihre Daten an einen einzigen Empfänger schicken.
- Personalisierter Multicast
Beim personalisiertem Multicast wird vom Sender nicht ein Skalar, sondern ein Vektor an Daten an die Teilnehmer gesendet. Jeder Empfänger erhält hieraus ein bestimmtes Vektorelement.

Bild 2. [aus „Verbindungsnetzwerke...“, Seite 51]

- Inverser, personalisierter Multicast
Beim inversen personalisierten Multicast werden die Daten, die die Rechnerknoten an einen Master schicken, in den Elementen eines Vektors abgespeichert und dann anschliessend durch ein Vektorrechenwerk weiterverarbeitet.

In Anwendung innerhalb großer Netze findet sich aber hauptsächlich der allgemeine Multicast. Personalisierter Multicast wird eher bei Spezialanwendungen

benutzt werden. Inverse Multicast-Verfahren werden in WANs weniger benutzt werden, da deren Hauptanwendungsgebiet eher darin liegt, die Prozeß- und Rechnersynchronisation durchzuführen (Untergeordnete Prozesse schicken Ready-Bit an Master der anhand einer AND-Verknüpfung erkennt, wann alle Prozesse terminiert sind.).

Neben den Multicast-Typen kann man noch zwei verschiedene Implementierungen für Multicasting unterscheiden: *Multicasting an offene Gruppen* und *Multicasting an geschlossene Gruppen*.

Bei Multicasting an offene Gruppe kann der Empfänger spontan einer Gruppe beitreten oder diese verlassen. Lediglich Erreichbarkeit des Empfängers und die Kenntnis des Gruppenbezeichners sind hierzu notwendig. Der größte Teil der Multicast-Anwendungen bedient sich dieses Verfahrens. Selbst Anwendungen, die eigentlich für Multicasting an geschlossene Gruppen prädisziniert wären benutzen das Verfahren der offenen Gruppen zwecks der einfacheren Verwaltung.

Multicasting an geschlossene Gruppen bedeutet, daß die Liste der Empfänger zentral verwaltet wird. Ein Beitritt wie bei den offenen Gruppen ist nicht ohne weiteres möglich. Geschlossene Gruppen werden hauptsächlich bei internen Netmeetings benutzt, bei denen nicht erwünscht ist, daß unbefugte Personen teilnehmen können. Hier spielt auch der Datenschutz eine nicht unwichtige Rolle. Siehe hierzu auch: „Multimedia im Netz“, Kapitel 9.8.2 Broadcasting und Datenschutz.

In den folgenden Verfahren beschränken wir uns auf Multicasting an offene Gruppen.

2. IP-Multicasting

2.1. Grundlagen

IP-Multicasting hat die effiziente Datenübertragung von Multicast-Datagrammen zum Ziel. Das heißt: „Genau nur eine Kopie eines Paketes überquert die Teilnetze, die auf dem Weg zu den Gruppenmitgliedern liegen.“

Bei einer Unicast-Verbindung würde die Quelle gezwungen sein, für jeden Empfänger eine Kopie des Paketes zu erstellen und dann abzuschicken. Dabei würden dann mehrere Pakete unabhängig voneinander gleichzeitig dieselben Teilnetze belasten. Bei einer Multicast-Verbindung werden die Pakete von der Quelle jeweils nur aus den Ports geschickt, die Teilnehmer haben, welche in der Multicast-Gruppe sind. Das Replizieren der Pakete erfolgt nur an den Stellen, wo Pakete durch verschiedene Ports ausgesendet werden.

Die einzelnen Implementationen hierzu sind in den Multicast-Protokollen festgelegt. Diese werden in Kapitel 3 näher beschrieben.

Zur Übertragung von IP-Datagrammen an eine Gruppe von Hosts ist es nötig, daß die Adresse dieser Gruppe bekannt ist. Da die Zugehörigkeit zu einer (offenen) Gruppe dynamisch ist, gibt es keine Beschränkung bezüglich des Ortes und der Anzahl der Mitglieder und ein Host kann gleichzeitig Mitglied in mehreren Gruppen sein. Die Adressierung der einzelnen Multicast-Gruppen erfolgt durch die IP-Class D Adressen, welche den Bereich von 224.0.0.0 bis 239.255.255.255 belegen. Dabei sind einige Adressen fest vergeben, wie z.B. 224.0.0.1 für die Gruppe aller aktiven IP-Multicast-Systeme. Der Rest wird pro Gruppe dynamisch vergeben. Eine

Gruppe, welche keine Mitglieder mehr aufweist verliert seine Adresse wieder. Durch die dynamische Vergabe besteht die Chance, daß eine Adresse mehrfach vergeben werden kann. Dies führt allerdings (noch) nicht zu großen Problemen, da die Verteilung der Multicast-fähigen Systeme noch gering ist und die Gruppen relativ weit verteilt voneinander sind.

Multicasting wird von UDP unterstützt, allerdings nicht von TCP. Da Multicasting hauptsächlich für Echtzeitanwendungen Verwendung findet, wird TCP auch in Zukunft nicht verwendet werden können.

Es werden nur wenig neue Socketfunktionen benötigt: IP_ADD_MEMBERSHIP, IP_DROP_MEMBERSHIP, IP_MULTICAST_TTL. Es wird die Standard BSD-Socket Schnittstelle mit Gruppenadressen verwendet.

2.1. Endsystemunterstützung

Möchte ein Host an eine bestimmte Multicast-Gruppe teilnehmen, sendet er einen IGMP-Request (Internet Group Management Protocol) an den im Subnetz befindlichen Multicastrouter. Dieser vermerkt dies; Sind nicht noch andere Teilnehmer bereits im Subnetz vorhanden, informiert der Router andere Multicastrouter über den neuen Teilnehmer, so daß die entsprechenden Pakete in Zukunft in sein Subnetz übertragen werden. Der IGMP ist eine Ergänzung des IP-Protokolls (wie ICMP). Die Ankündigungen werden regelmäßig wiederholt.

Eine weitere Unterstützung erfolgt durch die Router: So werden Multicast-Pakete ggf. verworfen, wenn die TTL (Time-to-Live) kleiner als der Treshold der Schnittstelle ist, so daß zum einen der Verteilungsbereich einer Multicast-Sendung auf ein Teilnetz, z.B. auf einen LAN, begrenzt werden kann, zum anderen daß Pakete, die aufgrund von einer Netzüberlastung zu spät ankommen und nicht mehr gültig sind, nicht weitergeleitet werden. Daneben werden die Router ggf. Pakete duplizieren und durch die von der Weiterleitungstabelle festgelegten Schnittstellen weitersenden.

Neben den IGMP-Requests und den Regeln zur Weiterleitung von Paketen, werden die Endsysteme auch durch die Abbildung von IP-Multicastadressen auf MAC-Adressen unterstützt. So werden in IEEE802-MAC Netzen die IP-Multicastadressen in einem 23-Bit Bereich der MAC-Multicastadressen (01-00-5E-XX-XX-XX) gemappt. Dies ist deswegen von Vorteil, da die Verwendung von MAC-Multicastadressen eine effektive Filterung in den LAN-Schnittstellen der Hosts am Netz bewirkt.

2.2. dense-mode & sparse-mode

Es gibt grundsätzlich zwei Möglichkeiten für ein Routingprotokoll Multicast-Pakete zuzustellen:

- dense-mode: Die Pakete werden überallhin zugestellt, wer sie nicht haben will, muß sie explizit abbestellen. Man könnte dies im Verhalten mit Spammails vergleichen, die man erst abbestellen kann, nachdem man eine Nachricht zurückgesandt hat. Siehe hierzu auch „flooding & pruning“.
- sparse-mode: Die Pakete werden nirgends zugestellt, sondern muß erst explizit beantragt werden. Man kann dies mit den Prinzip von Mailinglisten vergleichen.

Beide Möglichkeiten werden von Multicast-Protokollen unterstützt. Dabei wird sparse-mode hauptsächlich in WANs, dense-mode hauptsächlich in LANs eingesetzt.

2.2. flooding & pruning

Beim flooding werden von Router Multicast-Pakete durch alle offene Kanäle, außer dem Kanal aus dem das Paket empfangen wurde, weitergesendet. „Blätter“ an denen das Paket ankommt, ohne gebraucht zu werden, senden eine „prune“-Nachricht zurück und sagen so dem Router, daß dieser in Zukunft keine derartigen (sprich: von jener Multicast-Gruppe) Pakete mehr zustellt. Bekommt der Router von allen Ports auf die er vorher die Multicast-Pakete gelegt hatte, prunes zurück, wird er ebenfalls ein prune durch den Port zurücksenden, von dem er das Paket bekommen hatte.

3. Multicast-Protokolle

3.1. DVMRP - Distance Vector Multicast Routing Protocol

Das DVMRP ist ein dense-mode Protokoll. Es benutzt flooding & pruning um Pakete zuzustellen. Dies wird auch als Reverse Path Forwarding bezeichnet. Um neu beigetretene Hosts zu erreichen, wird DVMRP periodisch ein reflood durchführen, bei dem alle Multicast-Router „ihre“ prunes neu senden müssen. Es ist einsichtig, daß es eine direkte Beziehung gibt, zwischen der Frequenz der refloods und der Zeit, die ein neues Mitglied warten muß, bis auch es die ersten Multicast-Pakete bekommt.

DVMRP benutzt sein eigenes Unicast-Routing Protokoll um zu erkennen, welches Interface zurück zur Quelle führt. Es ist ähnlich wie RIP aufgebaut und basiert alleine auf die Zahl der hops.

Aufgrund des Zwangs zum periodischen reflooden besitzt das DVMRP nicht unwesentliche Skalierungsprobleme, so daß es beim Einsatz in WANs nicht sehr geeignet ist und hauptsächlich in LANs vorkommt. Dennoch wurde es benutzt um das Mbone aufzubauen. Es ist jedoch zu erwarten, daß es in Zukunft vermehrt durch Protokolle wie PIM ersetzt wird.

3.2. MOSPF - Multicast Extensions to Open Shortest Path First

Multicast OSPF ist eine Erweiterung vom Open Shortest Path First unicast Routing-Protokoll. Dabei kennt jeder beteiligte Router alle verfügbaren Verbindungen im Netz. Jeder OSPF Router berechnet daraus selbst die beste Verbindung zu allen möglichen Zielen. Bei der Multicast-Erweiterung werden die Multicast-Informationen, wie Gruppenzugehörigkeit etc., in der Link-State Datenbank eingetragen. Ein MOSPF-Router „lernt“ selbstständig, welche Multicast-Gruppe auf welchem LAN aktiv ist.

MOSPF arbeitet nur auf Systemen, die bereits OSPF benutzen. Es ist am besten geeignet für Umgebungen, welche nur eine kleine Zahl an aktiven Gruppen und Quellen haben. Sobald das Netz bzw. die Zahl der Gruppen und Quellen zu groß wird, bekommt auch MOSPF Skalierungsprobleme.

3.3. PIM - Protocol Independent Multicast

PIM arbeitet mit allen bestehenden unicast Routing-Protokollen zusammen. Es unterstützt zwei Modi: dense und sparse.

- Dense-Mode PIM
Dense-Mode PIM (PIM-DM) unterstützt vordringlich Applikationen, welche Daten an dichte Konzentrationen von LANs senden. So zum Beispiel LAN TV.

Es arbeitet ähnlich wie DVMRP, ist aber einfacher. Kurzgefasst läßt sich sagen, daß PIM-DM am nützlichsten ist, wenn:

- Sender und Empfänger nah beinander sind,
- es nur wenige Sender und viele Empfänger gibt,
- das Übertragungsvolumen hoch ist, und
- die Übertragungsrate konstant ist.

Der Unterschied von PIM-DM zu DVMRP besteht darin, daß PIM-DM mit jedem vorhandenen Unicast-Protokoll arbeitet und kein eigenes erfordert.

Bild 3. [aus „IP Multicast Streamlines Delivery of Multicast App.“]

Das Verfahren arbeitet in zwei Schritten: Zuerst werden aus allen Ports außer dem Eingangsport die Pakete weitergesandt, dann senden die empfangenden Router ein prune zurück, wenn sie das Paket nicht (mehr) brauchen.

- Sparse-Mode PIM

Beim Sparse-Mode PIM (PIM-SM) werden die Pakete nicht direkt gesandt, sondern über einen Rendezvous-Punkt genannten Router. Wenn ein Sender Pakete übermitteln will, registriert es sich zuerst am Rendezvous-Punkt. Wenn ein Empfänger nun Daten empfangen will, muß er sich zuerst beim Rendezvous-Punkt in die Multicast-Gruppe eintragen lassen.

Bild 4a. [aus „IP Multicast Streamlines Delivery of Multicast App.“]
Sobald die Daten vom Sender über den Rendezvous-Punkt zum Empfänger fließen kann jeder Router (auch der Rendezvous-Punkt!) entlang des Übertragungsweges den Pfad optimieren um unnötige hops zu vermeiden.

Bild 4b. [aus „IP Multicast Streamlines Delivery of Multicast App.“]
Daneben werden weiterhin von den Routern Pakete zum rendezvous-Punkt gesandt, für den Fall, daß während der Übertragung weitere Empfänger hinzukommen wollen.

PIM-SM arbeitet dann am besten, wenn:

- die Gruppen relativ wenig Empfänger haben,
- Sender und Empfänger durch WAN-Links getrennt sind und
- der Verkehr unterbrechbar ist.

4. Das MBone

4.1. Grundlagen

MBone ist die Kurzfassung von „Multicast-Backbone“, das virtuelle Internet-Backbone für Multicast-IP. Es wurde 1992 für die Übertragung von Live-Audio und -Video durch Stephen Casner mit der Übertragung eines Meetings der IETF ins Leben gerufen. Die MBone Technik wird weltweit über das Internet implementiert. Nach Fluckiger übernimmt MBone im wesentlichen zwei Aufgaben:

- Bereitsstellung eines physischen Netzes, bestehend aus IP-Multicast-Knoten, die sich über die ganze Welt verteilen und im Internet laufen

- Bereitstellung von Werkzeugen zur Ankündigung audiovisueller Programme, die über die Netze verteilt werden, und Unterstützung der Benutzer, um automatisch solchen Gruppen beizutreten und ihre entsprechenden Anwendungen ebenfalls automatisch zu starten.

Wie bereits in Kapitel 1 beschrieben werden durch Multicasting die Adressen der Klasse D-Netzes genutzt. Mbone hat von IANA (Internet Address Number Authority) hiervon den Adressblock 224.2.*.* zugewiesen bekommen.

4.2. Mrouter, Islands und Tunnel

Das Mbone baut im wesentlichen auf Mrouter, Islands und Tunnel auf. So verknüpfen Tunnel die Multicast Router (Mrouter) von multicastfähige Subnetze (Islands) miteinander.

Der Mrouter ist eine gewöhnliche Workstation, die den Multicasting Routing Daemon mrouterd laufen läßt. Mrouterd legt u.a. die Tunnel-Parameter Metric, Threshold und DRL fest. Die Metric legt im Grunde die Routingkosten fest, die bei der Benutzung eines Tunnels entstehen. Die Threshold ist der minimale TTL (Time-to-Live) Wert, den ein Multicastpaket haben muß, um über einen Tunnel transportiert werden zu können. Der Data Rate Limit legt die Bandbreite fest, mit welcher Pakete übertragen werden sollen. Er sollte nicht höher als 500kbps sein.

Bild 5. [aus „Multicasting - Netzwerkausbildung am RRZE“]

Die Tunnel sind virtuelle Punkt-zu-Punkt Verbindungen zwischen entfernten Multicast-Routern, um dazwischenliegende nicht-multicastingfähige Router zu überwinden:

Wird ein IP Multicast-Paket zu einem entfernten Knoten gesandt, wobei zwischen sendendem Router und empfangendem Router mehrere nicht-multicastfähige Router liegen, so wird der sendende Router das IP Multicast-Paket in ganz normale Unicast-Datagramme verpacken, welche als Quelle den Tunnel-Ausgangspunkt und als Ziel den Tunnel-Endpunkt erhalten.

Damit ein multicastfähiger Router das eintreffende Paket als IP Multicast-Paket erkennt, wird im IP-Protokollfeld im Header auf den Wert 1101 gesetzt. Die IP Multicastadresse wird dann aus den restlichen 28 Bit genommen.

Neben dem Multicast Routing Daemon mrouterd gibt es inzwischen auch eine große Zahl an kommerziellen Routern, die Multicasting implementiert haben. Kommerzielle Anbieter, die sich hier besonders hervortun, sind Cisco, Proteon und Atlantec. Mit der zunehmenden Verbreitung von (kommerziellen) multicastfähigen Routern, ist damit zu rechnen, daß die Mrouter-Tunnel-Konstruktion bald überflüssig wird und sich die jetzigen Islands miteinander verschmelzen.

4.3. Topologie & Management

Ein bedeutender Aspekt des MBones ist, daß es in seiner ursprünglichen Form nicht von den IP-Netzbetreibern, sondern von freiwilligen Benutzergruppen organisiert und betrieben wurde. Es gibt keine Institution, der die Verwaltung des MBone obliegt. Auftretene Probleme werden im Einvernehmen unter den Beteiligten geklärt. Dies erkennt man auch daran, daß die IP Multicast-Technik zuerst auf den Hostsystemen verfügbar war, und erst später auf kommerziellen Routern. Das MBone gilt somit als ein experimentelles Gemeinschaftsprojekt. Die Koordination von Multicastübertragungen, sowie die Ankündigung neuer Software läuft über verschiedene Mailinglisten. Um überhaupt am MBone teilnehmen zu dürfen bedarf es einiger technischer Voraussetzungen, sowie die Einhaltung einer gewissen Etikette. So sollte man mindestens einen 2MBit/s-Anschluß haben.

Die Topologie des MBone-Netzes stellt sich innerhalb von Kontinenten als eine Kombination von Stern- und Netzstrukturen dar, während an den Ausläufern eine deutliche Baumstruktur vorliegt. Die Kontinente selbst werden durch einige wenige Tunnel miteinander verbunden.

5. Multicast-Anwendungen

Da die Multicast-Anwendungen nicht der Schwerpunkt dieser Ausarbeitung sind, wird hier nur kurz auf sie eingegangen. Ich verweise deswegen besonders auf die folgenden Ausarbeitungen dieses Seminars.

Die im MBone am häufigsten benutzten Anwendungen betreffen die 4 Gebiete:

- Audio
- Video
- Whiteboards
- Ankündigung

Bei der Audioübertragung wird das Programm `vat` am häufigsten benutzt. Außer einem Mikrofon und einem Headset benötigt es keine zusätzliche Hardware zu der in einer Workstation integrierten Audioschnittstellen. `vat` ermöglicht zudem Vollduplexkommunikation.

Für die Videoübertragung stehen zur Zeit 3 Tools zur Verfügung: `NetVideo (nv)`, `INRIA Videoconferencing Software (ivs)` und `Video Conference (vic)`. Die Tools unterscheiden sich im wesentlichen durch die unterstützten Formate und die unterschiedlichen Komprimierungsverfahren. `nv` zeigt bisher die besten Ergebnisse. Whiteboards sind nützliche Tools, die besonders bei der Gruppenarbeit eingesetzt werden. Dabei kann ein Dokument gleichzeitig von mehreren Leuten online bearbeitet werden. Das Programm `whiteboard (wb)` ist ein solches Programm, welches ein solches geteiltes Zeichenbrett ist, welches auch den Import von Postscript-Texten ermöglicht. Zur Verbreitung von Konferenzen und anderen Channels, kann man das Programm `sdr` benutzen, welches im Prinzip ein Index über Videokonferenzen, Audio- und Videoübertragungen und Whiteboards realisiert. Anhand des Index kann man einfach über neue Konferenzen oder Online-Vorlesungen informiert werden, da diese automatisch dem Index zugeführt und gelistet werden. `sdr` bietet dann auch eine Verbindung zu den anderen Programmen, so daß man darüber alle anderen steuern bzw. aufrufen kann.

5. Zusammenfassung

Seit der ersten Internet-Konferenz 1992 sind viele weitere gefolgt. Die Attraktivität der Multicast-Anwendungen für professionelle, wie für kommerzielle Benutzer ist so hoch, daß eine Art Sogwirkung von den ersten Anwendungen ausging und ausgeht. Mit der

stetigen Verbreitung von multicastfähigen Routern und der weiteren Verschmelzung von Island ist damit zu rechnen, daß es einen weiter steigenden Bedarf an effizienten Applikationen und Protokollen gibt. Im Moment sind etwa die Hälfte aller deutschen Universitäten an das Mbone angeschlossen. Und die steigende Zahl an Online-Vorlesungen und Konferenzen spricht ein übriges.

Auf der anderen Seite gibt es allerdings noch einige ungelöste Probleme. So ist mit dem jetzigen IP die Prioritätenvergabe noch unbefriedigend gelöst. Bei Echtzeit-Anwendungen, wie sie bei Multicasting hauptsächlich vorkommen, ist das Prinzip „First come-First served“ nicht mehr akzeptabel. Probleme gibt es auch noch bei der Frage der Leitungsgebühren. So haben viele kommerzielle IP-Betreiber noch keine Abrechnungsmodus gefunden für den Multicast-Verkehr. (Zum Beispiel durch die Frage, wie man Multicast-Verkehr für die Kunden plausibel abrechnen kann, wenn verschiedene Multicast-Protokolle verwendet werden.)

Die Entwicklung von immer mehr kommerzieller Software auf diesem Gebiet zeigt, daß auch die letzten Probleme gelöst werden. Aufgrund der hohen Ausbaufähigkeit von Multicast-Anwendungen und dem Ausbau von IP6 ist zu erwarten, daß Multicasting ein Gebiet mit innovativen Gehalt bleibt.

5. Literaturverzeichnis

- „Multimedia im Netz“, F. Fluckiger, Prentice Hall 1996
- „Broadband Communications“, B. Kumar, McGraw-Hill 1995
- „Rechnerkommunikation“, O. Spaniol und K. Jakobs, VDI Verlag 1993
- „TCP/IP and Related Protocols“, U. Black, McGraw-Hill 1992
- „Verbindungsnetzwerke für parallele und verteilte Systeme“, H. Richter, Spektrum Akadem. Verlag 1997
- Vortragsfolien „ONLINE '96 -Symposium III-3, IP Multicasting und der Mbone“, T. Eckert (Toerless.Eckert@informatik.uni-erlangen.de)
- Vortragsfolien „Multicasting -Netzwerkausbildung am RRZE 1997“, T. Eckert (Toerless.Eckert@informatik.uni-erlangen.de)
- Internet Draft 15/1997, „PIM-SM: Protocol Specification“, IETF
- White Paper „Multicast Routing“, Cisco Systems Inc. 1995
- Packet „IP Multicast Streamlines Delivery of Multicast Applications“, Cisco Systems Inc. 1995
- „Mbone - Multicast Backbone“ - Seminar Verteilte Multimediasysteme SS1996, T. Roden
- „Multicasting und Mbone“, E. Mowitz 1995

Vortragsfolien, White Papers und Seminar-Ausarbeitungen sind im Internet zu finden. Es wird empfohlen nach den Begriffen „Multicast, Mbone und Protocol“ ein einer Meta-Suchmaschine zu suchen.