

Multicast: Applikationen und Mechanismen für breitbandige Zugänge zu IP-Netzwerken

Daniel Duchow¹, Thomas Bahls^{II}, Dirk Timmermann¹

¹*Institut für Angewandte Mikroelektronik und Datentechnik
Universität Rostock, Richard-Wagner-Str. 31, D-18119 Rostock
Tel.: +49 381 498-3630, Fax: +49 381 498-3601*

{Daniel.Duchow, Dirk.Timmermann}@etechnik.uni-rostock.de

^{II}*Siemens AG, Information and Communication Networks, D-17489 Greifswald
Thomas.Bahls@siemens.com*

1 Einleitung

Moderne Kommunikationsnetze werden dazu dienen, neben herkömmlichem Web-Browsing und Datentransfer auch multimediale Angebote wie Audio- oder Video-Ströme zu übertragen. Man geht davon aus, dass sowohl die Übertragung von Radio- und Fernsehangeboten als auch die Live-Übertragungen von Konzerten und anderen Ereignissen über das Internet verstärkten Zuspruch finden werden. Weiterhin wird erwartet, dass die Penetration von breitbandigen Internet-Zugängen auf der Basis von xDSL-Technologien in den nächsten Jahren weiter zunehmen wird. Die bandbreiteintensiven multimedialen Anwendungen erfordern jedoch erweiterte Funktionalitäten der Übertragungsnetze und -systeme, da wesentlich höhere Anforderungen als bisher an deren Leistungsfähigkeit gestellt werden. Das kontinuierliche Versenden von Audio- und Video-Daten (Streaming) bringt ein Vielfaches des bisher vorhandenen Datenaufkommens mit sich und kann ohne unterstützende Maßnahmen im Kommunikationssystem die heutigen Transportnetze, Übertragungs- und Vermittlungseinrichtungen sehr stark belasten oder überlasten.

Die Anforderungen und Auswirkungen auf breitbandige, datenvermittelte Zugangsnetze (Access Networks) untersucht und bewertet diese Arbeit. Multicasting wird als ein geeignetes Mittel angesehen, um den Grad der Datenreplikation zu verringern. Damit kann den multimedialen Anwendungsfällen eine Kommunikationsform zur Verfügung gestellt werden, welche die Ressourcen der bestehenden Netz-Infrastrukturen schont und diese nicht an den Rand ihrer Belastbarkeit bringt.

Die Arbeit analysiert und evaluiert Ethernet- und IP-Multicast-Mechanismen mit Sicht auf ihre Einsetzbarkeit in Zugangsnetzen, stellt den generellen Aufbau von Zugangsnetzen dar und zeigt die Notwendigkeit einer Multicast-Fähigkeit für Zugangsnetze anhand eines exemplarischen Unicast-Multicast-Vergleiches auf. Die erforderliche Komplexität von neuen, zu integrierenden Multicast-Funktionen wird untersucht sowie deren Anordnung im System diskutiert. Als Ergebnis werden verschiedene entwickelte Konzepte von teilweise oder vollwertig Multicast-fähigen Zugangsnetzen betrachtet.

2 Multicast-Verfahren

Multicast wird derzeit vorrangig in lokalen Netzen sowie netzübergreifend über das Mbone, dem Multicast-Backbone als Overlay-Netz über dem Internet, genutzt. Dabei werden verschiedene Verfahren eingesetzt, um Multicast-Daten in effizienter Weise über die Netze zu transportieren und an Knoten zu duplizieren und zu verteilen. Zentrale Bestandteile sind die Multicast-Funktionen des Internet Protocol (IPv4) und des Internet Group Management Protocol (IGMP) [8][11][16]. Während IGMP für die Verwaltung der Gruppenmitgliedschaften eines Netzwerksegmentes bzw. der angeschlossenen Stationen verantwortlich ist, hat IP die Aufgabe, mittels bestimmter Multicast-Adressen die Empfängergruppe zu adressieren [7][15]. IGMP ist integraler Bestandteil von IPv4 und wird wie zum Beispiel TCP in IP transportiert.

Tabelle 1 stellt die aktuell verfügbaren Versionen des IGMP gegenüber. Derzeit ist die Version 2 des Protokolls am weitesten verbreitet. Version 3 befand sich bis vor kurzem noch im Draft-Stadium und wurde dann durch [16] spezifiziert. Daher ist in Zukunft eine weite Verbreitung der Version 3 zu erwarten.

Tabelle 1. IGMP-Versionen und -Nachrichten-Typen

Message	IGMPv1	IGMPv2	IGMPv3
General-Query	X	X	X
Report	X	X	X
Group-Specific-Query		X	X
Leave-Group		X	X
Group-and-Source-Specific-Query			X

Das Duplizieren, Weiterleiten und Verteilen der Daten über die lokalen Netze hinaus übernehmen Multicast-Router. Diese kommunizieren untereinander mittels eines Multicast-Routing-Protokolls, das abhängig von der Implementierung einen bestimmten Multicast-Verteilungsbaum aufbaut, über den die Daten transportiert werden. Häufig eingesetzte Protokolle sind das Distance Vector Multicast Routing Protocol (DVMRP) [5] oder das Protocol Independence Multicast Sparse Mode/Dense Mode (PIM-SM/DM) [13]. Tabelle 2 zeigt eine Einteilung der wichtigsten Protokolle in die Kategorien Sparse und Dense Mode.

Tabelle 2. Multicast-Routing-Protokolle

Dense Mode	Sparse Mode
DVMRP	PIM-SM
PIM-DM	CTB
MOSPF	

Da bei dem Transport von Daten über ein Netzwerk jedoch nicht nur die Netzwerkschicht (Layer 3, zum Beispiel IP) sondern immer auch das darunter liegende Übertragungsmedium mit seiner Sicherungsschicht (Layer 2, zum Beispiel Ethernet) betrachtet werden muss, sind auch bei Multicast unterhalb der IP-Schicht Multicast-unterstützende Funktionen notwendig. Im Fall von Ethernet ist diese Funktionalität gegeben. Auch hier werden Multicast-Adressen verwendet, die zum Teil aus den Multicast-IP-Adressen gebildet werden, was Abbildung 1 verdeutlicht.

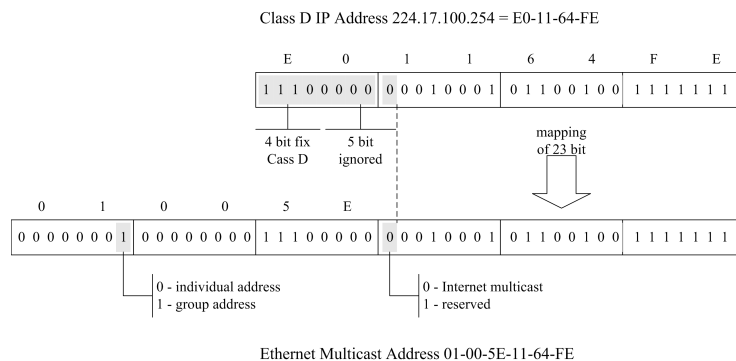


Abbildung 1. Mapping von IP- auf Ethernet-Multicast-Adressen

Durch diese Funktionalitäten in den Protokollen ist eine uneingeschränkte Gruppenkommunikation möglich. Bei der Vermittlung von Multicast-Dateneinheiten auf Layer 2 werden unterschiedliche Verfahren genutzt, um die Gruppenzugehörigkeiten der angeschlossenen Systeme zu verwalten und ein effizientes Weiterleiten zu ermöglichen. Es sei hier das IGMP-Snooping genannt, bei dem eine Analyse der Layer-2-Dateneinheiten erfolgt und so IGMP-Nachrichten ermittelt und registriert werden. Auf Grundlage dieser Informationen können Multicast-Datenpakete an die Links vermittelt werden, hinter denen sich auch Empfänger befinden. [1][2][4]

3 Zugangsnetze

Zugangsnetze, so genannte Access Networks, Last Mile oder auch Local Loop, stellen den Teilnehmern zum einen den Zugang zu IP-Netzwerken (Internet) bereit und bieten auf der anderen Seite Dienste wie ISDN oder POTS an. Dieser Abschnitt beschreibt den Teil des Zugangsnetzes, der den breitbandigen Internet-Zugang mittels DSL (Digital Subscriber Line) ermöglicht. Abbildung 2 zeigt den grundlegenden Aufbau eines optischen Zugangsnetzes mit seinen wichtigsten Komponenten.

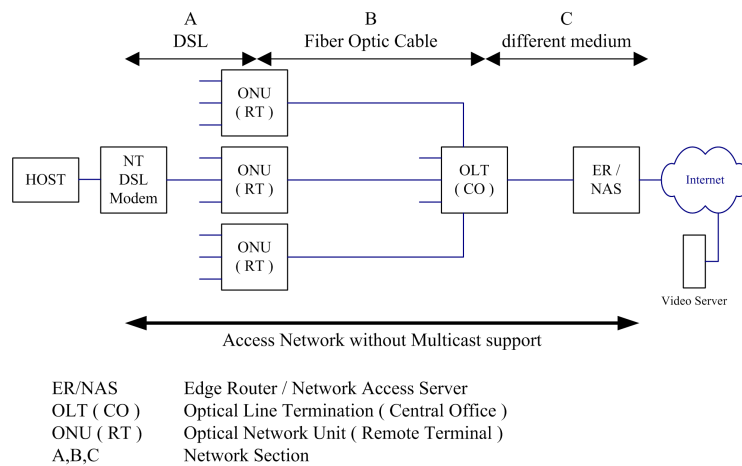


Abbildung 2. Struktur eines optischen Zugangsnetzes

Zugangsnetze bieten ohne zusätzliche Funktionalitäten keine Multicast-Fähigkeit. Das derzeit zum Accounting und zur Authentifizierung und Autorisierung (AAA) der Teilnehmer verwendete Point-to-Point Protocol (PPP) und die bei xDSL-Verfahren genutzte Erweiterung PPP Over Ethernet besitzen keine Mechanismen, um Multicast zu unterstützen. Ein mittels PPP(oE) übertragenes Multicast-IP-Paket wird ohne spezielle Behandlung über den PPP(oE)-Kanal zwischen Server und Client übertragen. Es ist keine Duplizierung und Verteilung der Multicast-Daten in den Vermittlungssystemen innerhalb des Zugangsnetzes möglich. Multicast kann somit lediglich über das Zugangsnetz hinweg übertragen werden (Tunneling), wodurch die Auslastung des Netzes jedoch enorm ansteigen kann (siehe Abschnitt 4). Multicast ist gerade für bandbreiteintensive Applikationen wie Audio/Video-Streaming von besonderer Bedeutung, da hierbei ein sehr großes Datenaufkommen entstehen kann, das gemeinsam von mehreren/vielen Teilnehmern gleichzeitig empfangen und auf jedem Netzwerkabchnitt nur einmal übertragen werden soll. Und gerade die zunehmende Verbreitung der xDSL-Technologien im Zugangsnetz lässt eine vermehrte Nutzung multimedialer Angebote in naher Zukunft erwarten.

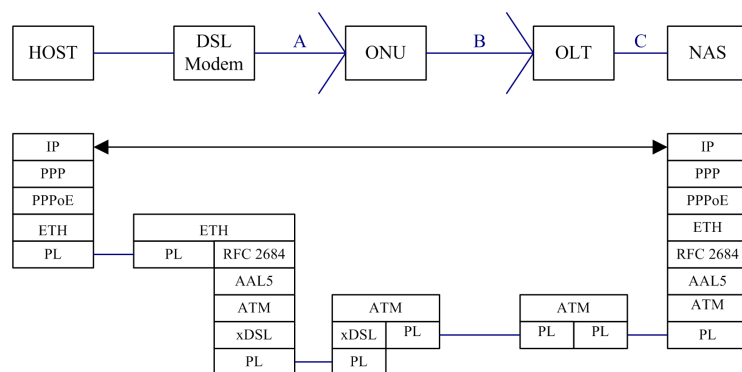


Abbildung 3. ATM-basiertes Zugangsnetz

Die Grenzen des Zugangsnetzes werden auf der Teilnehmerseite durch den Netzabschluss in Verbindung mit einem Splitter und auf der Seite des Core-Netzes durch einen Router und Network Access Server (NAS) gebildet. Innerhalb des Zugangsnetzes befinden sich die Optical Network Unit (ONU) und die Optical Line Termination (OLT). Die ONU enthält mehrere Linecards, die ihrerseits mehrere Teilnehmeranschlüsse konzentrieren, sowie einen Multiplexer, der die Daten für die Weiterleitung an die OLT zusammenfasst. Die OLT konzentriert wiederum die Daten von mehreren ONU's und leitet diese an einen NAS bzw. Router weiter. Während auf dem Netzabschnitt A DSL-Verfahren zum Einsatz kommen, wird in den optischen Abschnitten B und C derzeit ATM verwendet (Abbildung 3).

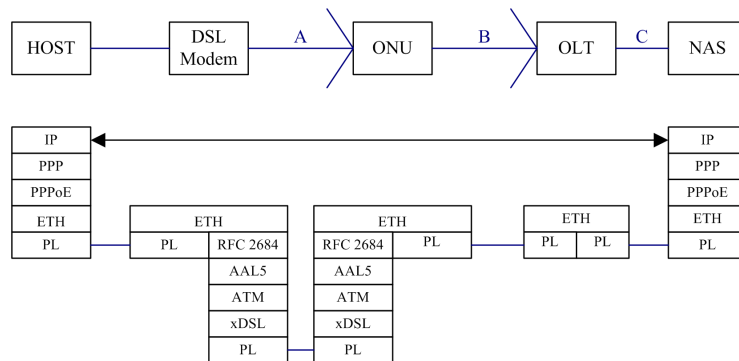


Abbildung 4. Ethernet-basiertes Zugangsnetz

Die zuvor beschriebenen PPP(oE)-Verbindungen erstrecken sich in dieser Netzstruktur vom Teilnehmer-Interface bis zum NAS. Aus Abbildung 3 ist ersichtlich, dass ein effizienter Transport und die entsprechende Verteilung von Multicast-Daten, zum Beispiel in der OLT oder der ONU, hier nicht möglich sind, da PPP(oE) sämtliche relevanten Informationen kapselt. Aktuelle Forschungs- und Entwicklungsarbeiten fokussieren die Ersetzung von ATM durch Ethernet-Technologie im Zugangsbereich sowie den direkten Transport von Ethernet-Frames über VDSL. Damit soll in erster Linie eine Kostensenkung erreicht werden. Abbildung 4 zeigt exemplarisch eine solche Struktur.

Auch in diesen Betrachtungen wird im Folgenden davon ausgegangen, dass Ethernet auf den Sektionen B und C zum Einsatz kommt. [1][3][6]

4 Netzauslastung im Vergleich Unicast vs. Multicast

Dieser Abschnitt zeigt die Grenzen eines Zugangsnetzes für den Parameter der Leitungs- respektive Linkauslastung für Unicast- und Multicast-Datenverkehr exemplarisch auf. Er verdeutlicht die unter gewissen Umständen teils extremen vorhandenen Unterschiede und die Vorteile von Multicast. Das Beispiel-Szenario ist wie folgt definiert:

Ein optisches Zugangsnetz (Abbildung 2) verbindet bis zu 1000 Teilnehmer mit dem Internet. Die Teilnehmer betreiben Multimedia-Anwendungen, mit denen Video-Ströme empfangen werden. Ein Video-Strom S hat eine Datenrate S_{dr} von 1 Mbps. Jeder unterschiedliche Video-Strom gehört zu einer eigenen Multicast-Gruppe G in einer 1:1-Beziehung. Der Netzabschnitt C hat eine Bandbreite von 1 Gbps (zum Beispiel Gigabit Ethernet). Abbildung 5 zeigt, dass ohne Multicast-Unterstützung eine 100%ige Auslastung (Utilization U) der Sektion C erreicht wird, wenn 1000 Video-Ströme simultan übertragen werden. Dabei ist es irrelevant, ob 1000 Mal der gleiche Video-Strom übertragen wird oder ob es sich um verschiedene Video-Ströme handelt.

$$\text{Utilization } U \text{ mit Unicast} \quad \boxed{U_{UC}(S) = S_{dr} * S} \quad (4.1)$$

$$\text{Utilization } U \text{ mit Multicast} \quad \boxed{U_{MC}(G) = S_{dr} * G} \quad (4.2)$$

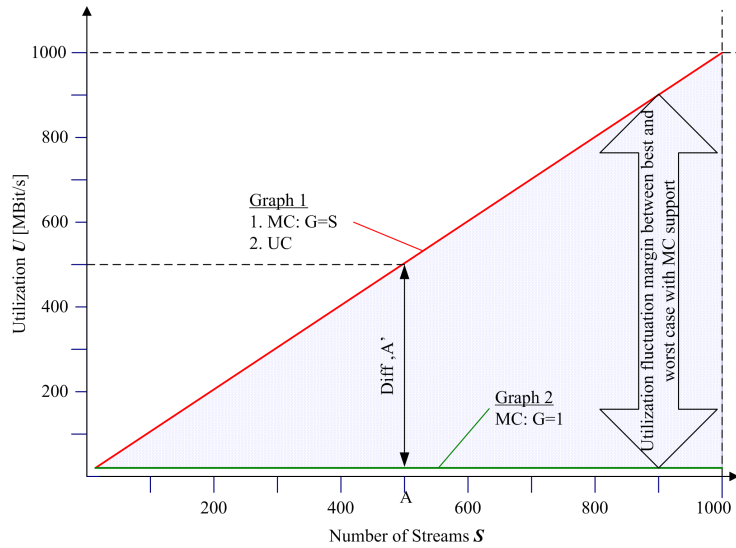


Abbildung 5. Auslastung eines Gigabit Ethernet (Sektion C)

Mit Multicast-Unterstützung kann im besten Fall die Netz- und Linklast auf ein Tausendstel reduziert werden. Dieser Fall tritt genau dann ein, wenn von jedem der Teilnehmer dieselbe Gruppe respektive derselbe Video-Strom angefordert wird (siehe Graph 2: $G=1$ in Abbildung 5). Bei Multicast ist nicht länger die Anzahl der Video-Ströme entscheidend sondern die Anzahl der unterschiedlichen Ströme, also die Anzahl der Gruppen. Folglich schwankt die Auslastung bei Multicast in Abhängigkeit der Anzahl der angeforderten Gruppen zwischen dem besten (Graph 2) und dem schlechtesten Fall (Graph 1). Eine 100%ige Auslastung liegt nur dann vor, wenn 1000 verschiedene Gruppen angefordert und deren Daten zu den Teilnehmern transportiert werden.

5 Design Multicast-fähiger Zugangsnetze

Es lassen sich aus den Anforderungen der Multicast-Kommunikation verschiedene Design-Empfehlungen für künftige Zugangsnetze ableiten. Für diese Konzepte muss jeweils festgelegt werden, an welchen Stellen im System Multicast-unterstützende Funktionen anzusiedeln sind und welchen funktionalen Umfang diese benötigen. Beispielsweise muss festgelegt werden, ob ein Multicast-Routing-Protokoll im Zugangsnetz implementiert werden muss oder ob lediglich IGMP die Gruppenmitgliedschaften verwalten soll und die Daten mittels eines proprietären Forwarders zum nächsten Multicast-Router weitergeleitet werden. In jedem Fall muss natürlich die Verbindung zu einem Multicast-Router vorhanden sein.

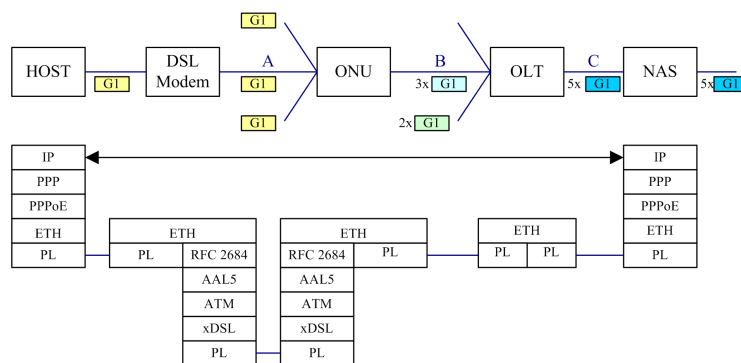


Abbildung 6. Ethernet-basiertes Zugangsnetz ohne Multicast-Unterstützung

Abbildung 6 zeigt, dass PPP(oE) über das gesamte Zugangsnetz hinweg direkt unterhalb der IP-Schicht präsent ist. In einer solchen Konfiguration ist effizientes Multicasting nicht möglich. Eine Multicast-Funktionalität (MF), die IP Multicast-Support implementiert, kann frühestens hinter dem NAS platziert werden, der PPP(oE) terminiert. Um zu registrieren, welcher Teilnehmer Multicast-Daten einer Gruppe empfangen möchte, muss die MF IGMP analysieren und die Gruppenmitgliedschaften verwalten. Es lassen sich die folgenden fünf Optionen einer Umsetzung von Multicast im Zugangsnetz festhalten:

1. Den NAS in das Zugangsnetz hinein in die OLT verlagern
2. oder in die ONU, um PPP(oE) früher terminieren und IP früher analysieren zu können.
3. Weil PPP(oE) das Analysieren der IP-Schicht verhindert, wird es durch ein anderes Verfahren zur Authentifizierung der Teilnehmer und IP-Adress-Zuweisung ersetzt.
4. PPP(oE) wird derart manipuliert, dass IGMP-Messages erkannt werden und infolge dessen Multicast-Daten in die entsprechenden PPP(oE)-Verbindungen eingeleitet werden.
5. Ein separates Netz neben dem bestehenden Zugangsnetz wird zur Multicast-Kommunikation etabliert.

Die Implementierung einer MF lässt sich auf zwei verschiedene Arten vornehmen:

1. Die Implementierung entspricht der eines Multicast-Routers mit einem entsprechenden Protokoll (DVMRP, PIM, ...). Dieser Router garantiert die Gruppenverwaltung, das Duplizieren und Weiterleiten der Multicast-Daten für alle angeschlossenen Interfaces/PPP(oE)-Verbindungen. Der Multicast-Router etabliert Multicast-Verteilungsbäume zu anderen Multicast-Routern, über welche die Daten transportiert werden.
2. Es wird eine Management-Forwarding-Funktion implementiert, die IGMP analysiert, Gruppenmitgliedschaften registriert und verwaltet, diese IGMP-Messages zu einem nächsten Multicast-Router weiterleitet und für die Teilnehmeranschlüsse die Verteilung der Multicast-Daten vornimmt. Zusätzlich kann eine Adressumsetzung erfolgen, so dass die MF gegenüber dem Multicast-Router als lediglich ein einziges System auftritt.

Im Folgenden werden die ersten drei der fünf zuvor genannten Konzepte näher in ihren Vor- und Nachteilen beschrieben.

5.1 Multicast-Unterstützung durch die OLT

In diesem Konzept wird Multicast-Support durch die OLT geleistet. PPP(oE) terminiert in dieser Konfiguration bereits in der OLT, da der NAS in die OLT verlegt wird. Dadurch können die gekapselten IP-Pakete an dieser Stelle im System von einer MF analysiert werden. Andererseits kann der Multicast-Datenverkehr an alle Teilnehmer, die diesen angefordert haben und zuvor durch die MF registriert wurden, verteilt werden. Abbildung 7 zeigt dieses Szenario.

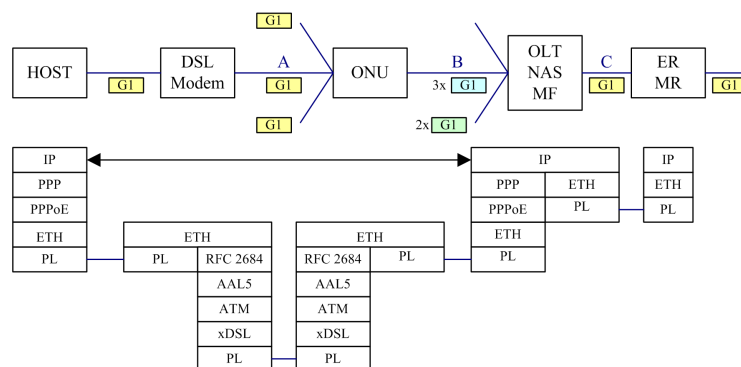


Abbildung 7. Zugangsnetz mit Multicast-Unterstützung in der OLT

Als Ergebnis erhält man ein Zugangsnetz, in dem IP Multicast generell ermöglicht wird. Gleichzeitig wird der Netzabschnitt C erheblich von Multicast-Datenverkehr entlastet, da dieselben Daten hier jetzt lediglich einmal vorhanden sind und transportiert werden müssen. Die MF, die in die OLT zu integrieren ist, kann wie zuvor beschrieben

implementiert werden. Das Konzept ermöglicht das Registrieren von Gruppenmitgliedschaften eines jeden PPP(oE)-Kanals. Die MF fordert nun für alle registrierten Gruppenzugehörigkeiten die Daten beim nächsten Multicast Router (MR) an. Hier wird jedoch ein Nachteil dieses Konzeptes sichtbar. Der Netzabschnitt B ist auch weiterhin mit mehrfachem Multicast-Datenverkehr derselben Gruppe belastet. Die Belastung ist abhängig von der Anzahl der angeschlossenen Teilnehmer und von der Anzahl der Gruppenmitglieder derselben Gruppe jeweils pro ONU.

5.2 Multicast-Unterstützung durch die ONU

Analog der Betrachtung zur MC-Unterstützung in der OLT ist auch ein erweiterter Support durch die ONU möglich. Abbildung 8 zeigt dieses Szenario. Dazu ist PPP(oE) in der ONU zu terminieren, sodass bereits dort in den IP-Paketen nach IGMP-Nachrichten bzw. MC-Adressen gesucht werden kann, um MC-Anforderungen bzw. MC-Pakete zu erkennen. In der ONU wäre eine Gruppenverwaltung sicherzustellen, die einerseits Gruppenanforderungen der Teilnehmer registriert und speichert und auf der anderen Seite die ankommenden MC-Pakete dupliziert und auf Grundlage der gespeicherten Informationen den PPP-Kanälen zuweist. Die Funktionalität der OLT kann ähnlich wie im vorherigen Abschnitt beschrieben gewählt werden. Es ist jedoch zu bedenken, dass die Kommunikation zwischen ONU, OLT und Edge Router/MC Router ausschließlich auf Layer 2, in diesem Fall Ethernet, stattfindet, wenn kein vollwertiger MC Router in der OLT implementiert wird. Somit ist in der OLT eine Behandlung der Ethernet MC Frames vorzunehmen. Dies kann mit Verfahren des Link Layer Multicast wie zum Beispiel dem des IGMP-Snooping geschehen, um auf der Vermittlungsschicht MC-Datenverkehr zuweisen zu können.

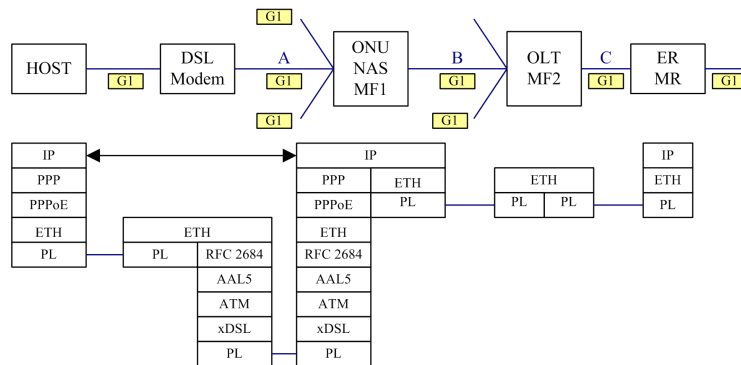


Abbildung 8. Zugangsnetz mit Multicast-Unterstützung in der OLT und ONU

Die Abbildung zeigt ein Design, das eine volle Unterstützung für Multicast bietet. Die Daten einer jeden angeforderten Gruppe werden über jeden Link lediglich ein einziges Mal transportiert. Diese erweiterte Komplexität des Systems kann jedoch nur gerechtfertigt werden, wenn relativ viele Teilnehmer an eine ONU angeschlossen sind und eine große Anzahl dieser Teilnehmer Multicast-Daten verlangt. Andernfalls kann der Aufwand für eine Umsetzung eines solchen Konzeptes den Nutzen übersteigen.

5.3 Multicast-Unterstützung im Zugangsnetz ohne PPP

Da das PPP derzeit in Zugangsnetzen mit DSL-Verfahren ausschließlich zur Authentifizierung der Teilnehmer (AAA) und der Konfiguration der Teilnehmer-Interfaces (IP-Adress-Zuweisung) verwendet wird, könnte es in naher Zukunft durch andere, IP-basierte Verfahren abgelöst werden. Für Dialup-Verbindungen via Modem ist das PPP aber auch weiterhin erforderlich. Mit Blick auf die Zukunft soll dieser Fall, dass PPP nicht mehr benötigt bzw. eingesetzt wird, betrachtet werden. Das gesamte Zugangsnetz kann dann als reines Ethernet / IP-Netz ausgeprägt werden, in dem der effektive Einsatz der Multicast-Mechanismen von IP und Ethernet ermöglicht wird. Die ONU und die OLT sind nun als Layer-2-Vermittlungssysteme (Switches) zu betrachten. In Abbildung 9 wird diese Variante dargestellt.

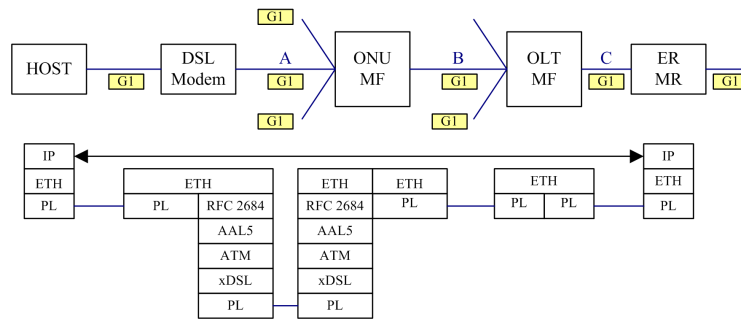


Abbildung 9. Zugangsnetz ohne PPP mit Multicast-Unterstützung in der OLT und ONU

Zwischen dem Teilnehmer und dem MC-Router besteht nun eine IP-Verbindung, deren Pakete über das direkt darunter liegende Ethernet transportiert werden. In den Zwischensystemen ONU und OLT sind demnach Verfahren des Link Layer MC einzusetzen wie IGMP-Snooping oder GMRP (GARP Multicast Registration Protocol). Nach Umsetzung dieses Konzeptes ist das gesamte Zugangsnetz MC-fähig. Sämtliche Teilstrecken werden jeweils nur einmal mit demselben MC-Datenverkehr belastet. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine eigenen Verfahren für die Verwaltung und Weiterleitung von MC-Daten für die OLT entwickelt werden müssen, wenn man dort auf den Einsatz eines MC-Routers verzichten will. Die Komplexität ist verglichen mit den zuvor beschriebenen Varianten geringer. Es kann auf bereits entwickelte und stabil im Einsatz befindliche Methoden wie IGMP-Snooping zurückgegriffen werden. Der größte Teil der Management- und Verteilungsaufgaben wird vom angrenzenden Multicast-Router übernommen.

5.4 Schlussfolgerung

Die untersuchten Methoden, um im Zugangsnetz Multicast-Support zu bieten, unterscheiden sich hauptsächlich durch die Anzahl und den Umfang der benötigten Multicast-Funktionalitäten, die in den Zugangsnetzsystemen integriert werden müssen, sowie durch die resultierende Entlastung des Netzes. Soll ein Netz mit voller Multicast-Fähigkeit ausgestattet sein, so dass sämtliche Sektionen entlastet werden, muss eine Unterstützung in der OLT sowie in der ONU vorgesehen werden. Der Aufwand für diese volle Unterstützung kann jedoch den resultierenden Nutzen übersteigen.

Die Variante einer teilweisen Multicast-Unterstützung wie im Konzept „Multicast-Unterstützung durch die OLT“ stellt eine praktikable Lösung mit gutem Kosten-Nutzen-Verhältnis dar. Funktionale Änderungen ergeben sich lediglich in der OLT. Die ONU bleibt davon unberührt. Der Aufwand für die Unterstützung entspricht der Implementierung eines Multicast Routers. Als Ergebnis erhält man ein Netz, in dem Multicast-Kommunikation ermöglicht und der Netzabschnitt C erheblich entlastet wird.

Für den Fall der Ablösung des PPP durch andere Verfahren lässt sich die am effizientesten erscheinende Variante „Multicast-Unterstützung im Zugangsnetz ohne PPP“ umsetzen. Multicast wird im gesamten Netz unterstützt. Dabei kann auf vorhandene Verfahren des Link Layer Multicast zurückgegriffen werden, um die Multicast-Kommunikation in optimaler Weise zu unterstützen. Derzeit ist diese Möglichkeit noch nicht gegeben.

6 Zusammenfassung

In den nächsten Jahren wird eine vermehrte Nutzung von bandbreiteintensiven Applikationen wie Audio- und Video-Streaming über das Internet erwartet. Diese wachsende Nachfrage an multimedialen Angeboten und die steigende Penetration von xDSL-Technologien für Hochgeschwindigkeits-Internet-Zugänge erfordern neue Dienste in den Kommunikationsnetzen und –systemen. Auch für Zugangsnetze ist ein entsprechendes Service-orientiertes Redesign erforderlich, um kommenden Ansprüchen zu genügen. IP Multicast ist ein solcher Service. Multicast entlastet die Übertragungsnetze und –systeme in effektiver Weise, verbessert die Qualität der Übertragung durch die Verringerung des End-to-End-Delay und schont Ressourcen in teilweise sehr hohem Maße. Sowohl Ethernet als auch IP bieten in ihren Spezifikationen Multicast-Features. Um diese in Zugangsnetzen nutzen zu können, sind verschiedene Konzepte entwickelt und vorgestellt worden. Dabei jedoch keines als die optimale Implementierung angesehen werden. Vielmehr muss im Einzelfall und unter Berücksichtigung der Erfordernisse und Ziele ein ausgewogenes Aufwand-Ertrag-Verhältnis ermittelt werden.

Multicast und insbesondere IP Multicast befindet sich in ständiger Weiterentwicklung. Viele Multicast-Technologien sind derzeit in adäquatem Einsatz. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten werden derzeit beispielsweise am Inter-

Domain-Multicast-Routing geleistet. Im Zugangsbereich gibt es aktuell Bestrebungen, IP-basierte Konzepte zur Authentifizierung und Autorisierung der Teilnehmer zu entwickeln. Deren Fertigstellung, Standardisierung und Einführung ließe zusammen mit einem Auto-Konfigurationskonzept für die Teilnehmer-Interfaces einen Wegfall des PPP zu. Dies würde sich sehr positiv auf die Implementierung von Multicast unterstützenden Funktionalitäten im Zugangsbereich auswirken, wie das Konzept unter 5.3 dies darstellt. Wenn die Voraussetzungen für IP Multicast auch im Zugangsbereich gegeben sind, kann sich Multicast weiter zu einer Schlüsseltechnologie für das Internet entwickeln.

7 Quellen

- [1] Duchow, D.: Untersuchung, prototypische Umsetzung und Bewertung von Multicast-Mechanismen und -Applikationen für breitbandige Zugänge zu IP-Netzwerken. Fachhochschule Stralsund, Germany, Okt. 2002.
- [2] Fahner, H.; Feil, P.; Zseby, T.: Mbone - Aufbau und Einsatz von IP-Multicast-Netzen. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt, 2001.
- [3] Bluschke, A.; Matthews, M.: xDSL-Fibel. 1. Aufl. Berlin : VDE Verlag, 2001.
- [4] Wittmann, R.; Zitterbart, M.: Multicast – Protokolle und Anwendungen. 1. Aufl. Heidelberg: dpunkt, 1999.
- [5] Waitzman, D.; Partridge, C.; Deering, S.: Distance Vector Multicast Routing Protocol. RFC 1075, Nov. 1988.
- [6] Bless, R.; Dresler, S.; Müller, D.; Wehrle, K.: Netzwerkmanagement und Hochleistungskommunikation. Universität Karlsruhe, Inst. für Telematik, 1999, URL http://www.telematik.informatik.uni-Karlsruhe.de/lehre/seminare/S_NMUHLK_SS99/Seminar_NMUHLK_SS99.pdf, 03.07.2002.
- [7] IANA: <http://www.iana.org/numbers.html>
- [8] Deering, S.: Host extensions for IP multicasting. RFC 1112, Aug. 1989.
- [9] Ballardie, A.: Core Based Trees (CBT version 2) Multicast Routing -- Protocol Specification --. RFC 2189, Sep. 1997.
- [10] Ballardie, A.: Core Based Trees (CBT) Multicast Routing Architecture. RFC 2201, Sep. 1997.
- [11] Fenner, W.: Internet Group Management Protocol, Version 2. RFC 2236, Nov. 1997
- [12] Bates, T.; Chandra, R.; Katz, D.; Rekhter, Y.: Multiprotocol Extensions for BGP-4. RFC 2283, Feb. 1998.
- [13] Estrin, D.; Farinacci, D.; Helmy, A.; Thaler, D.; Deering, S.; Handley, M.; Jacobson, V.; Liu, C.; Sharma, P.; Wei, L.: Protocol Independent Multicast - Sparse Mode (PIM-SM): Protocol Specification. RFC 2362, Jun. 1998.
- [14] Albanna, Z.; Almeroth, K.; Meyer, D.: IANA Guidelines for IPv4 Multicast Address Assignments. RFC 3171, Aug. 2001.
- [15] IANA: Special-Use IPv4 Addresses. RFC 3330, Sep. 2002.
- [16] Cain, B.; Deering, S.; Kouvelas, I.; Fenner, B.: Internet Group Management Protocol, Version 3. RFC 3376, Okt. 2002.
- [17] Thaler, D.: Border Gateway Multicast Protocol (BGMP): Protocol Specification. IETF, Internet-Draft, 30. Jun. 2002.