

Die Telekommunikation und ihre Netze: *Strategien und Entwicklungstrends*

MPOA – Multiprotokolle über ATM

Handhabung heterogener Netzstrukturen

Dipl.-Ing. Kai-Oliver Detken

ist Systemmanager bei der OptiNet GmbH.

Seine Hauptbetätigungsfelder sind ATM- und Internet-Lösungen.

Sein Buch mit dem Titel „ATM in TCP/IP-Netzen“ ist beim Hüthig-Verlag unter der ISBN-Nr. 3-7785-2611-1 erschienen

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	2
2	IP- UND ATM-EIGENSCHAFTEN IM VERGLEICH	2
3	ANPASSUNGSMÖGLICHKEITEN	3
4	INTEGRATION VON IP AUF ATM (MPOA)	4
5	ERWEITERTE ANSÄTZE	7
5.1	MULTICAST ADDRESS RESOLUTION SERVER (MARS).....	7
5.2	NEXT-HOP RESOLUTION PROTOCOL (NHRP).....	8
5.3	RESOURCE RESERVATION PROTOCOL (RSVP)	9
5.4	PRIVATE NETWORK-TO-NETWORK INTERFACE (P-NNI)	11
6	ZUSAMMENFASSUNG	13
7	GLOSSAR	16
8	WEITERFÜHRENDE LITERATUR	18

1 Einleitung

TCP/IP-Protokolle nehmen in heterogenen Netzen einen immer höheren Stellenwert ein und sind zu einem Quasistandard expandiert. Das wachsende Internet ist ein Beispiel für die Verbreitung der TCP/IP-Protokollfamilie. Der Bandbreitenbedarf der Endbenutzer wächst aber zusätzlich mit den Anforderungen an die verschiedenen Applikationen. Quality-of-Service (QoS) ist notwendig, um isochrone Datenströme mit einer garantierten Dienstgüte auszustatten. Heterogene Netzstrukturen bieten dies bislang nicht. ATM ist in der Lage diesen Engpaß zu beseitigen. Neue Verfahren wie MPOA machen es möglich, daß unterschiedliche Protokolle aufeinander angepaßt werden können. Virtuelles Schicht-3-Routing, flexible Strukturen und QoS in heterogener Umgebung sind die Vorteile einer solchen Lösung. Nachteile sind ebenfalls vorhanden und werden in diesem Bericht den Vorzügen gegenübergestellt. Das von mir verfaßte Buch „ATM in TCP/IP-Netzen – Grundlagen und Migration zu High-Speed Networks“ (ISBN-Nr. 3-7785-2611-1) gibt weitere Aufschlüsse über dieses komplexe Themengebiet, das an dieser Stelle nicht eingehend genug erläutert werden kann.

2 IP- und ATM-Eigenschaften im Vergleich

Um im lokalen Netzwerk oder Weitverkehrsbereich TCP/IP-Protokolle über ATM-Netzwerke übertragen zu können, mußten einige Spezifikationen und Anpassungen an ATM vorgenommen werden. Das liegt an den völlig unterschiedlichen Strukturen und Eigenschaften dieser beiden Übertragungsarten.

ATM ist aufgrund seiner virtuellen Verbindungen verbindungsorientiert aufgebaut, besitzt eine eigene Adressenstruktur und Routing-Funktionen. Dadurch besitzt ATM den Vorzug der universellen Skalierbarkeit gegenüber anderen Netzstrukturen. Kleine 53-Byte-Zellen transportiert ATM über diese virtuellen Verbindungen. Die ATM-Signalisierung übernimmt dabei den Auf- und Abbau der virtuellen Verbindungen (VCC/VPC). Das heißt, es können Verbindungen manuell über Permanent Virtual Circuits (PVC) oder automatisch über Switched Virtual Circuits (SVC) konfiguriert werden. Dafür wird ein spezieller Verkehrsvertrag ausgehandelt und der QoS festgelegt. Der QoS definiert dabei die Parameter wie Bandbreite, Verlustrate, Jitters usw., um eine garantierte Dienstgüte einhalten zu können. Allerdings sind bisher nur Punkt-zu-Punkt-Verbindungen realisiert. Für den Verbindungsaufbau wird die Signalisierung benötigt, die man in unterschiedliche Bereiche unterteilt:

- User Network Interface (UNIv3.0/v3.1/v4.0 für die Kommunikation zwischen Endgerät und Switch
- Interim Inter-Switch Signaling (IISP) und Private Network-to-Network-Interface (P-NNI) für die Kommunikation zwischen den ATM-Switches
- Broadband-ISDN User Part (B-ISUP)
- Broadband-Intercarrier-Interface (B-ICIv2.0)

Das Internet Protokoll (IP) ist hingegen verbindungslos realisiert. TCP/IP leitet Datenpakete auf Hop-by-Hop-Basis (Netzwerk-zu-Netzwerk) weiter, unabhängig vom darunterliegenden Netzwerk (Ethernet, Token Ring, FDDI im LAN-Bereich sowie X.25, ISDN, Festleitungen, SDH, ATM im WAN-Bereich). Fehlererkennung und -korrektur sowie Erhaltung der Sendereihenfolge und Duplikatserkennung, werden nicht durch IP angeboten und müssen durch Protokolle höherer Schichten (Transmission Control Protocol – TCP) vorgenommen wer-

den. TCP/IP ist inzwischen für fast alle Rechnerplattformen und Betriebssysteme verfügbar und hat sich aufgrund seiner Verbreitung durch das Internet als Quasistandard durchgesetzt. Weiterentwicklungen in den letzten Jahren haben das Protokoll immer weiter verbessert.

MAC-Protokolle (Media Access Control Protocols) für Shared-Medium-LANs arbeiten ebenfalls nicht verbindungsorientiert. Somit sind keine Quittungsmechanismen beim Empfang implementiert worden. Verlorene Datenpakete müssen durch höhere Protokollebenen wiederholt angefordert werden, wie das bei IP-Protokollen durch das TCP-Protokoll geschieht. LAN-Netze übertragen Daten über ein physikalisches Medium, wodurch die Information durch Zugriffsmechanismen für jede angeschlossene Station zur Verfügung steht. Broadcast-Funktionen sind nötig, da jede Station mit den anderen angeschlossenen Stationen kommunizieren muß. Dies geschieht durch spezielle Angabe der Zieladresse, wodurch sich eindeutige Kommunikationsbeziehungen zu anderen Netzteilnehmern aufbauen lassen.

Diese Eigenschaften liegen im starken Gegensatz zu den ATM-Mechanismen. Zwar lassen sich Broadcast-Nachrichten auch über viele virtuelle Verbindungspfade realisieren: Dies wird durch Signalisierungsmechanismen mit Hilfe von Zuordnungstabellen ermöglicht. ATM unterstützt diese Möglichkeit aber noch nicht ausreichend. Zusätzlich zu den verschiedenen Eigenschaften treten Probleme im Bereich unterschiedlicher Übertragungsgeschwindigkeiten und inkompatibler Paket- bzw. Zellenformate auf. Diese Schwierigkeiten können jedoch heutzutage durch leistungsfähige Router überwunden werden, wie dieses bereits bei Übergängen von Ethernet/Token Ring zu FDDI-Netzwerken der Fall ist. Weiterhin ist die Adressenumsetzung sowie das Routing selbst als nicht unproblematisch anzusehen.

3 Anpassungsmöglichkeiten

Zwei Institutionen sind bei der Entwicklung von Anpassungsmöglichkeiten zwischen IP und ATM entscheidend. Die Internet Engineering Task Force (IETF) arbeitet in der Arbeitsgruppe Internetworking Over NBMA (ION) an Verfahren IP an NBMA (Non-Broadcast Multiple Access) Netze, wie ATM, X.25 und Frame Relay anzupassen. Weiterhin ist das ATM-Forum, ein Zusammenschluß aus Herstellern, Universitäten, Entwicklern, Dienst Anbietern und Nutzern, vorhanden. Ziel dieses Forums ist die schnellere Spezifizierung von ATM-Standards mit Hilfe der Industrie, um die Arbeiten der International Telecommunication Union (ITU) zu beschleunigen. Herausgebildet hat sich besonders die LANE- und die MPOA-Arbeitsgruppe. Um die vermittlungstechnisch völlig unterschiedlichen Welten von IP und ATM miteinander zu verbinden, sind aus diesen Arbeitsgruppen mittlerweile die folgenden Verfahren hervorgegangen:

- Classical-IP (CLIP)
- LAN-Emulation (LANE)
- Multiprotocol over ATM (MPOA)

Classical-IP ist nach RFC-1577 von der IETF definiert worden und läßt ausschließlich Unicast-Verkehr zu. Das Ziel ist es dabei, Endsysteme mit ATM-Schnittstelle die IP-Nutzung zu ermöglichen. Classical-IP war die erste Spezifizierung, die es gestattete IP über ATM zu übertragen. Dabei sind alle Endsysteme eines Logical IP Subnet (LIS) über ATM erreichbar. Die Kommunikation kann man dabei über PVC- oder SVC-Verbindungen vornehmen. Die weitere Anbindung eines LIS an andere LIS oder traditionelle Router erfolgt über Router.

Die Adreßauflösung der IP-Adressen zu den ATM-Adressen erfolgt mittels eines zentralen ATMARP-Servers.

Dagegen wurde die LAN-Emulation vom ATM-Forum definiert und hat die Anbindung von ATM an traditionelle lokale Netzwerke (Token Ring, Ethernet, Token Bus, FDDI etc.) zur Aufgabe. Hauptanwendungsgebiete sind deshalb die LAN-Kopplung über ATM sowie die Verbindung von LANs mit Endgeräten am ATM auf MAC-Ebene. Dadurch wird eine transparente Nutzung von ATM erlaubt. Emulierte LANs (ELANs) und traditionelle LANs können durch Ethernet-Switches miteinander verbunden werden. Dies geschieht durch Bridges, während unterschiedliche IP-Netze durch Router miteinander kommunizieren.

Das MPOA-Verfahren stellt im Gegensatz zu CLIP oder LANE eine Integration von Multi-Protokollen (z.B. IP) auf ATM dar, wobei man hier eigentlich nicht von einer reinen Anpassung ausgehen kann, da komplette Routing-Mechanismen realisiert wurden. Dieses Verfahren entwickelte wiederum das ATM-Forum, welches für die Verwendung von ATM in bestehende Datennetze spezifiziert wurde. Zusätzlich werden weitere Protokolle der IETF wie RSVP, MARS, NHRP, RFC-1483 und RFC-1577 mit einbezogen. Ziel ist es, ATM problemlos in die TCP/IP-Umgebung integrieren zu können. Es lassen sich zusätzlich virtuelle Netze realisieren.

4 Integration von IP auf ATM (MPOA)

Die vorhandenen Möglichkeiten von IP-over-ATM wie LANE und Classical-IP ermöglichen bisher nur den Aufbau einzelner Subnetze. Wenn mehrere Subnetze auftreten, sind Router für eine Kommunikation erforderlich. Dadurch kann die Effizienz erheblich beeinflusst werden, da Router den Datendurchsatz begrenzen und Verzögerungen durch Protokollbearbeitung hervorrufen. MPOA versucht, diesen Nachteil durch neue Konstruktionen, die aus vielen Subnetzen bestehen, und sogenannten Shortcuts (direkte Verbindungen) zwischen unterschiedlichen IP-Subnetzen auszuschalten. Da MPOA direkt auf der Netzwerkschicht 3 aufsetzt, wird die Ausnutzung von ATM-Eigenschaften ermöglicht. Durch die neue Idee eines virtuellen Routers und durch Integration bestehender Ansätze, versucht MPOA, die Routerfunktionen Forwarding und Routing räumlich zu trennen. Bisherige Routerfunktionen ermöglichten den Informationsaustausch über die Wegewahl zum Empfänger (Routing) und der anschließenden Übertragung der Daten (Forwarding). Beim Ansatz des virtuellen Routers werden sogenannte Forwarder über ein standardisiertes Protokoll zentral von Routerservern gesteuert. Die Routing-Funktionen werden dabei von den Routerservern ausgeführt. Durch diese Trennung sind erhebliche Kosteneinsparungen durch Managementvereinfachungen über die Zentralisierung der Routerfunktionen möglich. Zusätzlich lassen sich einfache Forwarder mit einem geringeren technischen Aufwand realisieren. MPOA definiert zum virtuellen Router weiterhin das IP-Subnetz als Internetwork Address Sub-Group (IASG). Die IASG ist damit ein IP-Adressenbereich, der in einem IP-Routingprotokoll zu einer Route (Weg) zusammengefaßt ist. Wie beim traditionellen IP-Netz werden dadurch alle Adressen erfaßt, die man durch ein IP-Broadcast erreichen kann. Weitere Eigenschaften sind nicht mehr vorhanden. Somit sind nicht nur mehr Rechner lokaler Netze, sondern auch Rechner fremder Netze ohne Router erreichbar.

Der virtuelle MPOA-Router kann sich aus verschiedenen Spezifikationen zusammensetzen. Das Private Network-to-Network Interface (P-NNI) und die LAN-Emulation (LANE) sind dabei über das ATM-Forum definiert worden. Dabei stellt P-NNI ein Protokoll für das Routing auf ATM-Ebene dar, welches durch MPOA auf IP-Routing erweitert wird. Zusätzlich werden

Spezifikationen der IETF verwendet, die die Paketeinkapselung (RFC-1483), NHRP, RSVP und MARS betreffen. Die Paketeinkapselung stellt eine Mehrfachprotokoll-Verpackung über eine ATM-Verbindung dar. Das NHRP-Protokoll erlaubt hingegen die Shortcut-Benutzung beim Versenden von IP-Paketen über ATM. Dadurch ist es möglich IP-Pakete direkt an andere Systeme in anderen Netzen weiterzuleiten, wodurch effiziente Methoden zur Verbindung virtueller Netze geschaffen wurden. RSVP ermöglicht die ATM-Eigenschaft der Bandbreitenreservierung ebenfalls über IP-Übertragung auszunutzen, während MARS das Versenden von IP-Multicast-Paketen übernimmt. Dabei können sowohl Multicast-Server (MCS) eingesetzt werden, als auch direkte Verbindungen zur Zieladresse. Ursprünglich waren die Ziele von MPOA darauf ausgelegt, diese Protokolle komplett zu integrieren. Allerdings hat man sich, aufgrund der resultierenden Verzögerungen, darauf geeinigt, LANE, RFC-1483 und NHRP im ersten Schritt zu implementieren. Später sollen weitere Protokolle (MARS, RSVP und P-NNI) folgen.

Die Grundarchitektur von MPOA besteht aus einer Client/Server-Umgebung und beschreibt die Funktionen von logischen Komponenten (Functional Groups – FG), die durch die Emulation eines virtuellen Routers über das ATM-Netzwerk miteinander verbunden sind.

Die MPOA-Architektur besteht dabei aus den folgenden Komponenten:

- Randgeräte (Edge Devices)
- ATM-Hosts
- Default Forwarder Functional Group (DFFG)
- Internet Address Sub-Group (IASG)

Bei MPOA sind zwei unterschiedliche Client-Arten vorhanden. Das sind zum einen die Randgeräte (Edge Devices) und zum anderen die ATM-Hosts, welche direkt mit einem ATM-Netzadapter an das ATM-Netz angeschlossen sind und das MPOA-Verfahren unterstützen. Sie sind dadurch in der Lage, direkt mit anderen ATM-Hosts über ATM zu kommunizieren. Zusätzlich können traditionelle LANs über Edge Devices mit dem ATM-Netz kommunizieren. Diese Randgeräte vermitteln dazu Datenpakete zwischen herkömmlichen LAN-Segmenten und ATM-Schnittstellen. Zur Zielerkennung werden dabei Adressen der Netzwerkschicht oder MAC-Adressen verwendet. Deshalb kann man Edge Devices auch als Brücken oder Ethernet-Multilayer-Switches mit ATM-Anschluß und LANE bezeichnen. So ermöglichen sie Endgeräten, MPOA-Dienste zu nutzen, die normalerweise nicht MPOA-tauglich wären.

Abb. 1 zeigt die Funktionsweise der MPOA-Architektur auf. Dabei sind für das MPOA-Verfahren fünf verschiedene Serverfunktionsgruppen definiert worden, die nicht alle in der Abbildung enthalten sind:

- Configuration Server Functional Group (CSFG)
- IASG Co-ordination Functional Group (ICFG)
- Default Forwarder Functional Group (DFFG)
- Route Server Functional Group (RSFG)
- Remote Forwarder Functional Group (RFFG)

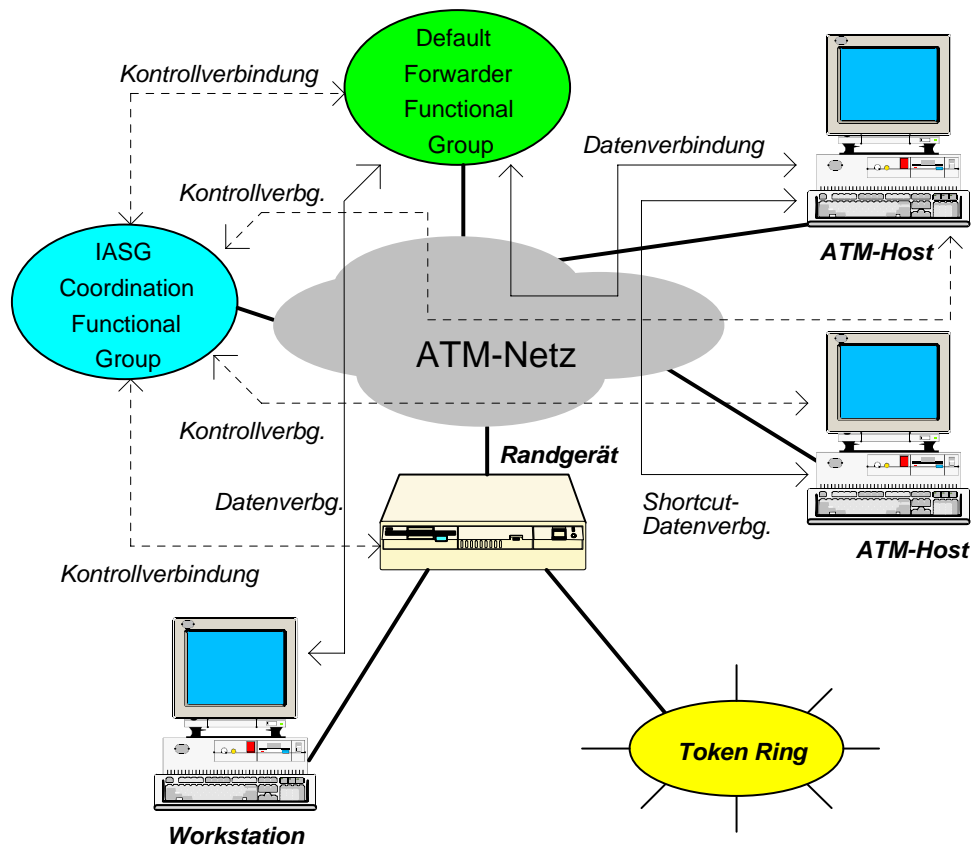


Abb. 1: MPOA-Architektur

Das MPOA-Verfahren definiert virtuelle LANs (VLAN) durch die Strukturen der Netzwerkschicht. Diese werden Internetwork Address Sub-Group (IASG) genannt. In der IASG Coordination Functional Group (ICFG) sind Funktionen vorhanden, die für die Verwaltung der IASG-Mitglieder nötig sind. Dieses beinhaltet die Erfassung der ATM- und MAC-Adressen der ATM-Hosts sowie der jeweiligen Randgeräte. Die Configuration Server Functional Group (CSFG) muß zuerst die Anfangskonfiguration der teilnehmenden Komponenten vornehmen und diesen ATM-Adressen zuteilen. Zusätzlich legt er die maximale Paketgröße (MTU) und die verwendeten Internet-Working-Protokolle fest. Eine weitere Kontrollverbindung ist von der ICFG zu der Default Forwarder Functional Group (DFFG) vorhanden, um die Anzahl der möglichen ICFG-ATM-Verbindungen vermindern zu können. Zusätzlich kann auch die Verzögerung beim Verbindungsaufbau über ATM verringert werden. Dieses geschieht, wenn IP-Pakete von einem Sender nicht direkt einer ATM-Verbindung zum Empfänger zugeordnet werden können. Der DFFG übernimmt zunächst die Pakete, wodurch es zu keiner Verbindungsaufbauverzögerung aufgrund fehlender Zieladresse kommen kann. Bei einer späteren Erkennung des Empfängers leitet dann der DFFG die IP-Pakete an den Empfänger weiter.

Zwei weitere Servergruppen, die nicht in der Abb. 1 aufgeführt sind, übernehmen die restlichen MPOA-Funktionen. Sie sind im Gegensatz zu den eben beschriebenen Servern für die Kommunikation zwischen den virtuellen Netzen zuständig. Die Remote Forwarder Functional Group (RFFG) realisiert den Forwarding-Teil eines virtuellen Routers und ist somit für die Verteilung von Multicast-Paketen zwischen MPOA-Clients, die keine zusätzlichen Randgeräte benötigen, zuständig. Dabei kann man den Ansatz des Multicast Address Resolution Servers (MARS) verwenden, der mit seinen Funktionen im ICFG integriert ist. Wenn bestimmte Multicast-Gruppen senden oder empfangen wollen, müssen sich also die Clients des MPOA-Netzes an den MARS wenden. Die Route Server Functional Group

(RSFG) realisiert hingegen den Routing-Teil eines virtuellen Routers und ist deshalb für die Kommunikation zwischen Wegen mit Router-Servern anderer IASGs zuständig. Auch die Router traditioneller Netze werden mit unterstützt. Beide Router-Server bieten somit eine Vielzahl von Funktionen an, mit denen sich Subnetze, die auf anderen Netzwerkschichten definiert sind, auf ATM abbilden lassen. Die Router-Server können dabei ein eigenständiges Gerät darstellen sowie als Zusatzfunktionen in bestehende Router oder Switches integriert werden. Die Router-Server halten Adressentabellen für die Netzwerkschicht bereit, die MAC-Ebene und ATM bereit, um sie bei Anforderung an Randgeräte und ATM-Hosts übermitteln zu können. Dadurch sind überhaupt erst direkte virtuelle Verbindungen zwischen zwei beliebigen Endgeräten möglich geworden.

5 Erweiterte Ansätze

Der Standard MPOA in der Version 1 des ATM-Forums basiert im wesentlichen auf den Konzepten von LANE, CLIP, RFC-1483 und NHRP. Das heißt, hauptsächlich wird das zeitaufwendige Routing durch Switching auf ATM-Basis über Shortcut-Verbindungen umgangen. Dies wird inzwischen auch Layer-3-Switching genannt, obwohl kein wirkliches Switching in der OSI-Schicht 3 stattfindet, sondern eine Kombination von Layer-2-Switching und Layer-3-Routing erfolgt. Dadurch kann man direkte Verbindungen, unter Umgehung des Engpasses Router, über SVCs etablieren.

Bei der Standardisierung von MPOA verfolgte man jedoch noch wesentlich umfangreichere Ziele. Multiprotokolle sollen nicht nur effizient an ATM angepaßt werden, sondern ebenfalls die Quality-of-Service-Eigenschaften von ATM nutzen können. Dies ist bislang nicht gelöst worden. Weitere Protokolle wie RSVP, MARS und P-NNI müssen bei MPOA im nächsten Schritt integriert werden, um diesen Engpaß zu beseitigen.

5.1 Multicast Address Resolution Server (MARS)

Das IETF hat in der RFC-1112 Spezifizierung die Unterstützung von IP-Multicasting durch eine Kombination zwischen einem Multicast-Server (MCS) und überlagernde Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen beschrieben. Diese Spezifikation ist inzwischen spezifiziert worden und kann als ein Modell angesehen werden, welches Multicasting bei anderen Protokollen (NHRP und MPOA) unterstützt. Dabei wird davon ausgegangen, daß der Multicast Address Resolution Server (MARS) einer Gruppe von Netzknoten dient, die man auch als Cluster bezeichnen kann. Alle Endsysteme innerhalb des Clusters werden durch die ATM-Adresse des MARS konfiguriert. Dabei gibt es zwei Verfahren bei der Verteilung von Multicast-Paketen. Bei der ersten Möglichkeit werden die Pakete einer Multicast Group von den Sendern zum Multicast-Server transportiert. Der MCS ist dabei im DFFG integriert und leitet die empfangenen Pakete anschließend über Punkt-zu-Mehrpunktverbindungen an die jeweiligen Endsysteme der empfangenen Multicast Group weiter. Das hat den Vorteil, daß die Verbindungsanzahl immer auf einem erträglichen Niveau gehalten wird. Die zweite Möglichkeit verzichtet auf den zusätzlichen Server und stellt direkte Verbindungen zwischen jeder Sendestation und den Empfängern der Multicast Group her. Dadurch wird der Server-Engpaß vermieden, der bei einem zusätzlichen Multicast-Server auftreten könnte. Allerdings könnte dieses wiederum einen Anstieg von Serververbindungen bedeuten.

Die IETF-Spezifikation RFC-2022 beschreibt zusätzlich einen Mechanismus, wie man IP-Multicasting über ATM ausnutzen kann. MARS verwaltet analog den ATMARP-Servern die IP-Multicast-Adressen mit den jeweiligen ATM-Adressen. Dabei sind nicht nur einzelne

ATM-Adressen vorhanden, sondern eine Liste von mehreren Empfängeradressen. Multicast-Pakete werden durch die zentrale MCS oder durch direkte Verteilung wie beschrieben vorgenommen. Abb. 2 verdeutlicht die Funktionsweise des MARS-Servers mit zusätzlichem Multicast-Server, wobei hierbei beachtet werden sollte, daß natürlich alle Verbindungen über das ATM-Netz zustande kommen.

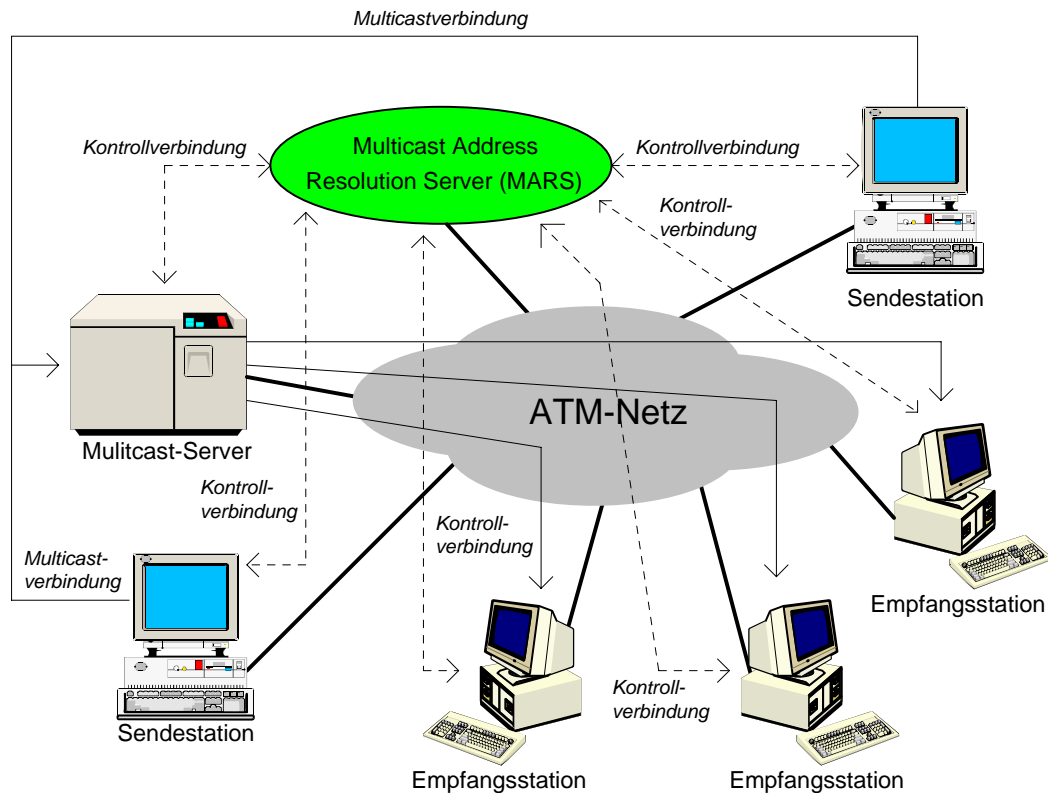


Abb. 2: Aufgaben des MARS-Servers bei Einsatz eines zusätzlichen Multicast-Servers

5.2 Next-Hop Resolution Protocol (NHRP)

Bisher leiden die klassischen IP-over-ATM-Modelle an Begrenzungen, die ihnen von Host-Anforderungen auferlegt werden. Diese schließen Cut-Through-Routing aus und umgehen Router-Hops zwischen Knoten auf demselben ATM-Netz, die aber innerhalb zweier verschiedener Logical IP Subnetworks (LIS) vorhanden sind. Eine Arbeitsgruppe des IETF, welche sich Routing over Large Clouds (ROLC) nennt, arbeitet an Protokollen, die diese Begrenzungen aufheben sollen. Nach der Betrachtung von zahlreichen unterschiedlichen Ansätzen hat die Gruppe die Arbeit an dem Next-Hop Resolution Protocol (NHRP) abgeschlossen.

NHRP baut auf klassischen IP-Modellen auf und ersetzt die LIS-Begriffsvorstellung durch ein logisches Non-Broadcast Multi-Access (NBMA) Netzwerk. Das heißt, daß eine Netztechnologie (wie ATM, Frame Relay oder X.25), die den Zugriff vieler Geräte auf ein Netz ermöglicht, aber nicht die Verwendung von Broadcast-Mechanismen erlaubt, praktisch auf einem LAN angeordnet ist. Solch ein Netzwerk besteht aus einer Gruppe von Knoten, die in demselben NBMA-Netz (in diesem Fall ist ein ATM-Netz gemeint) vorhanden sind. Dabei findet die Kommunikation zwischen den unterschiedlichen Knoten auf dem direkten Wege statt. Ein einzelnes NBMA-Netz kann mehrfache administrative Domänen unterstützen, wobei

jede über direkt Verbindungen mit der anderen kommunizieren kann. Dabei können auch bestimmte Verbindungen ausgeschlossen werden, beispielsweise um Firewalls errichten zu können. NHRP ist innerhalb jeder administrativen Region anwendbar, erlaubt aber direkte Verbindungen nur am Zutrittspunkt einer anderen administrativen Region. Statt eines ARP-Servers wurde beim NHRP die Vorstellung von einem NHRP-Server (NHS) verwirklicht. Jeder Next-Hop Server (NHS) verwaltet einen Next-Hop Resolution Cache (NHRC) mit IP-zu-ATM-Adressenangleichungen. Die Knoten sind mit der ATM-Adresse ihres NHS konfiguriert und melden anschließend ihre eigenen ATM- und IP-Adressen beim NHS mit Hilfe von Registrierungs Paketen an, so daß das NHS seine Cache-Tabellen erweitern kann. Dafür hat man das ARP-Protokoll zu dem NBMA Address Resolution Protocol (NARP) erweitert. Nachteilig bleibt beim NHRP, daß Routing-Schleifen möglich sind und die Netzübergänge von NBMA-Netzen zu traditionellen LANs über Router abgewickelt werden müssen.

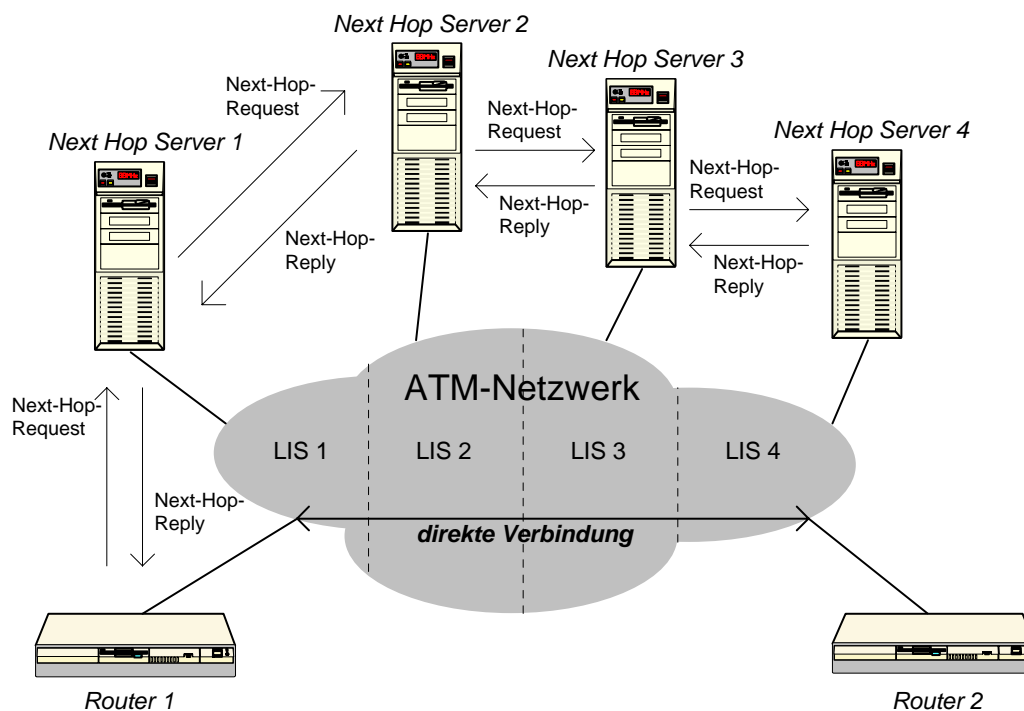


Abb. 3: NHRP-Funktionalität

Letztendlich besitzt NHRP jedoch den großen Vorteil direkte Datenverbindungen schnell herzustellen. Einige Verbesserungen müssen dabei jedoch noch implementiert werden. Neben dem Routerproblem ist bisher auch nicht an eine Autokonfiguration gedacht worden. Weiterhin ist keine Unterstützung von Multicast/Broadcast-Funktionen vorhanden. Trotzdem wird sich NHRP weiterentwickeln und eine bedeutende Rolle im Zusammenhang der MPOA-Spezifikation spielen. Die MPOA-Spezifikation nimmt eine verbesserte Anpassung von NHRP an ATM vor, da bei ihr ausschließlich die Shortcut-Funktionen verwendet werden. Andere Funktionen, die NHRP noch nicht erfüllen kann, werden von anderen Protokollen aufgefangen.

5.3 Resource Reservation Protocol (RSVP)

Das RSVP-Protokoll ist von der IETF spezifiziert worden, um Ressourcen des verbindungslosen Internet-Protokolls (IP) für den Benutzer garantieren zu können. Dabei wird jeder Router auf einem Verbindungspfad einer Untersuchung unterzogen. Nur wenn alle Router das

RSVP-Protokoll implementiert haben, können Datenraten während der Verbindung garantiert werden. Zur reibungslosen Integration von RSVP in ATM ist man allerdings noch ein gutes Stück entfernt, da sich beide Spezifikationen voneinander mehrfach unterscheiden.

ATM verwendet Signalisierungsprotokolle (Q.2931) um eine virtuelle Verbindung zwischen zwei Endpunkten aufbauen zu können. Zusätzlich werden in diesem Fall die Parameter des Quality-of-Service (QoS) festgelegt. Die Charakteristika haben dabei sehr viel von herkömmlichen Signalisierungsprotokollen, welche häufigen Senderwechsel handhaben und mit den Hard-State-Zuständen in den ATM-Switches die bestehende Verbindung aufrechterhalten müssen. Dabei kann bei der momentanen Standardisierung keine nachträgliche QoS-Änderung bei einer bestehenden Verbindung mehr vorgenommen werden. Das heißt, die Zuteilung bei der UNI-Signalisierung (UNI 3.1) ist statisch. Das bedeutet, daß zwar bei einer Unicast-Verbindung der QoS für Sender und Empfänger garantiert wird, aber bei Multicast-Verbindungen nur beim Sender eine Ressourcenzuteilung erfolgen kann.

Bei IP-Paketen war aufgrund der verbindungslosen Struktur bisher an gar keine Verbindungsgarantien gedacht worden. Um dieses zu ermöglichen, ist von der gleichlautenden Arbeitsgruppe der IETF das Resource Reservation Protocol (RSVP) vorgeschlagen worden. Dadurch wird es erstmals möglich, Echtzeitdienste in einer verbindungslosen Umgebung zu unterstützen. Auf der anderen Seite unterstützt ATM verbindungsorientierte Dienste. Dafür werden von ATM vor einem Verbindungsaufbau die notwendigen Ressourcen festgelegt.

<i>Kategorie</i>	<i>RSVP-Protokoll</i>	<i>ATM-UNI-Signalisierungsprotokoll</i>
<i>Ausrichtung</i>	Empfänger-basiert	Sender-basiert
<i>Zustand</i>	Soft-State (Aktualisierung/Zeitlimitüberschreitung)	Hard-State (explizites Löschen)
<i>QoS-Konfigurationszeitpunkt</i>	Separat von der Routen-Etablierung	Gleichzeitig zur Routen-Etablierung
<i>QoS-Änderungen</i>	Dynamisches QoS	Statisches QoS (Festlegung beim Konfigurationszeitpunkt)
<i>Richtungsarten</i>	Unidirektionale Ressourcen-Zuteilung	Bidirektionale Zuteilung für Unicast; unidirektionale Zuteilung für Multicast
<i>Heterogenität</i>	Empfängerheterogenität	gleicher QoS für alle Empfänger

Tabelle 1: Gegenüberstellung der RSVP- und UNI-Eigenschaften

Tabelle 1 zeigt die Unterschiede zwischen der UNI-Signalisierung von ATM und dem RSVP-Protokoll auf, die aufgrund der unterschiedlichen Verbindungsarten zustande kommen. Beispielsweise wird die Ressourcen-Reservierung in IP-Hosts und Routern durch den Soft-State vorgenommen. Das bedeutet, daß die Reservierungen nicht permanent vorhanden sind, sondern in bestimmten Zeitintervallen immer nachgefragt werden. Wenn dabei ein bestimmtes Zeitlimit überschritten wird, kommt es zum Verbindungsabbruch. Zusätzlich müssen die reservierten Ressourcen nachdrücklich gelöscht werden. Bei ATM hingegen bestehen die garantierten Ressourcen während der gesamten Verbindungsdauer (Hard State). Weiterhin erlaubt die Soft-State-Methode beim RSVP die Reservierung von QoS-Parametern für einen Datenfluß. Diese Parameter sind dynamisch und können jederzeit während der Verbindungsdauer verändert werden. Bei ATM ist dieses nicht möglich, da

hier ein statischer QoS verwendet wird. RSVP ist ein Simplex-Protokoll, wodurch die Reservierung der Ressourcen nur in eine Richtung möglich ist. Bei ATM hingegen sind bidirektionale Punkt-zu-Punkt-Verbindungen vorhanden sowie unidirektionale Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen. Die Ressourcen-Reservierung wird bei RSVP durch den Empfänger veranlaßt, während ATM die Reservierung von dem Endsystem durchführen läßt, welches eine Verbindung aufbauen möchte. Weiterhin unterstützt RSVP Multicast-Sitzungen, wodurch dynamisches Umschalten sowie Veränderung der Teilnehmeranzahl gewährleistet ist. ATM unterstützt dieses bisher noch nicht. Weitere Unterschiede lassen sich der Tabelle 1 entnehmen.

Somit kann man RSVP als ein Kontrollprotokoll bezeichnen, welches von Anwendungen innerhalb von IP-Endsystemen verwendet wird. IP-Endsysteme zeigen in einem IP-Netz den Netzknoten an, was für einen Datenstrom sie empfangen können. Diese Parameter beinhalten Bandbreite, Abweichungen, maximale Datenblöcke usw. Dazwischenliegende Systeme entlang eines Übertragungspfades vom Sender zum Empfänger interpretieren die RSVP-Kontrollpakete, um Zulassungskontrollen ausführen und die benötigten Ressourcen zuordnen zu können. Solche Systeme verwalten Soft-States über diese Datenströme zwischen den beteiligten Endsystemen. Durch die Eigenschaften des RSVP-Protokolls lassen sich die selben QoS-Spezifikationen hinsichtlich des Paketdatenstroms von ATM-Signalisierungen erreichen. Weiterhin baut RSVP im wesentlichen auf dem Multicast-Muster auf und leitet Datenströme über Punkt-zu-Mehrpunktverbindungen weiter. Neue Multicast-Protokolle, wie das Protocol Independent Multicast (PIM) werden zukünftig mit RSVP gekoppelt werden. Die Notwendigkeit einer verbesserten Schnittstelle zwischen RSVP und ATM hat man inzwischen beim ATM-Forum erkannt. Ergänzungen der ATM-Signalisierung hinsichtlich dynamischer Punkt-zu-Punkt/Mehrpunkt-Verbindungen sowie die Migration zum empfangenorientierten QoS sind in der Entwicklung.

5.4 Private Network-to-Network Interface (P-NNI)

Das Private Network-to-Network Interface (P-NNI) ist vom ATM-Forum definiert worden und regelt den Datenaustausch zwischen mehreren ATM-Endsystemen, die sich in einem privaten Netzwerk befinden. Für diese Aufgabe sind zwei verschiedene Protokolle festgelegt worden, die für den Verbindungsaufbau sowie den Informationsaustausch der jeweiligen Teilnehmer in einem ATM-Netzwerk zuständig sind. Dabei basiert das Signalisierungsprotokoll auf den UNI-Spezifikationen und wurde lediglich um Source-Routing- und Alternate Routing-Funktionen erweitert.

P-NNI liegt bisher erst in der Phase 1 vor und ging aus der Spezifizierung des Inter-Switch Signaling Protocols (IISP) hervor. IISP ist sehr einfach gehalten und soll später durch P-NNI vollständig abgelöst werden. Beide Protokollarten verhalten sich inkompatibel zueinander, da das IISP-Protokoll keine NNI-Signalisierung unterstützt. Weiterhin unterstützt IISP keinerlei QoS-Mechanismen, wodurch P-NNI klare Vorteile besitzt. In der Phase 1 von P-NNI sind allerdings nur begrenzte QoS-Möglichkeiten vorhanden. Deshalb wird das P-NNI-Protokoll daran gemessen werden, wie es die beiden oberen Ziele umsetzen kann. Momentan werden von dem P-NNI-Protokoll nur die UNlv3.0/3.1-Signalisierungen unterstützt. UNlv4.0 wird bisher nicht berücksichtigt, wodurch Gruppenadressierungen und ABR-Verbindungen nicht unterstützt werden. Diese Funktionalität wird erst in der Phase 2 implementiert werden.

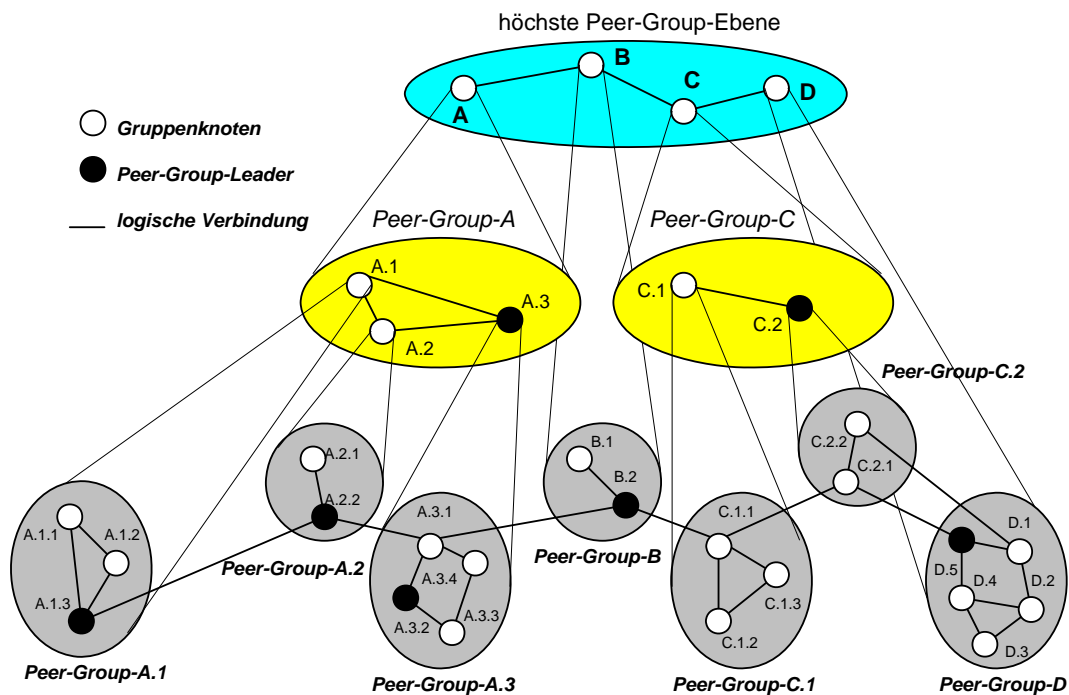


Abb. 4: P-NNI-Routing-Hierarchie

Da ATM eine verbindungsorientierte Netzwerktechnologie ist, muß P-NNI für eine bestimmte Zeit eine virtuelle Verbindung aufbauen und aufrecht erhalten. Dadurch können durch ineffektives Routing virtuelle Pfad- und Kanalverbindungen zusätzlich belegt werden. Dieses soll das P-NNI-Routing verhindern. Weiterhin ermöglicht ATM dem Benutzer beim Verbindungsaufbau den gewünschten Quality-of-Service (QoS) und die Bandbreite festzulegen. Dabei erfolgt der Aufbau einer Verbindung in zwei Stufen: Selektion des ATM-Pfades und anschließender Verbindungsaufbau an jedem Punkt entlang des ATM-Pfades.

Die Pfadselektion muß dabei so durchgeführt werden, daß der gewünschte QoS und die Bandbreite an jedem Knoten der Verbindung eingehalten werden kann. Falls die geforderten Parameter nicht eingehalten werden können, kommt es zu einem sogenannten Crankback, d.h. ein neuer Pfad muß berechnet werden. Die Einbeziehung des QoS ist dabei immer noch ein aktuelles Forschungsthema. Es sind zwar Algorithmen bekannt, die in der Lage sind unter Einbeziehung mehrfach unabhängiger Verbindungsparameter eine QoS-sensitive Pfadauswahl treffen zu können, diese sind aber bisher schwer realisierbar. Aus diesem Grund ist es wichtig, daß P-NNI verschiedene Pfadauswahlalgorithmen für die QoS-Auswahl ermöglicht.

P-NNI-Signalisierung basiert als Untermenge auf der UNlv4.0-Signalisierung. Das heißt, es werden nicht alle Eigenschaften und Funktionen von P-NNI unterstützt. Die P-NNI-Signalisierung kann man als Nutzung der P-NNI-Routing-Informationen verstehen. D. h., die Wegewahlberechnung, die von der Erreichbarkeit, Konnektivität und Ressourceninformation dynamisch durch das Routing verwaltet wird, kann abgeleitet werden. P-NNI ermöglicht somit ein Virtual Circuit Routing Protocol, welches für die Wegewahl der Signalisierungsanfragen durch das ATM-Netz verwendet wird. Dies ist auch die Strecke, auf der die ATM Verbindung eingerichtet wird und worüber anschließend die Daten transportiert werden. Damit ist ebenfalls das Routing der ATM-Verbindungen gemeint. Die Operation der Signalisierungsanfrage durch ein ATM-Netz hat dabei paradoxerweise mit dem verbindungslosen Paketrouting innerhalb vorhandener Netzschichtenprotokolle (wie bei IP) Ähnlichkeit. Das liegt daran, daß es vor einer Verbindung noch keine Signalisierungsanfrage

geben kann. Solch ein VC-Wegplanungsprotokoll könnte daher einige Konzepte verwenden, die vielen der verbindungslosen Routing-Protokolle zugrunde liegen, welche in den letzten Jahren entwickelt wurden. Allerdings ist das P-NNI-Protokoll wesentlich komplexer, als bisherige Routing-Protokolle, weshalb es auch Verzögerungen bei der Standardisierung gab. Abb. 4 verdeutlicht die komplizierte P-NNI-Routing-Hierarchie.

6 Vor- und Nachteile von CLIP, LANE und MPOA

Der Hauptvorteil von Classical-IP ist die MTU-Größe von 9180 Byte, Ausnutzung von SVC-Verbindungen sowie die einfache Struktur. Die meisten UNIX-Systeme und Router mit ATM-Interface besitzen die Möglichkeit, CLIP auszunutzen. Dadurch, daß CLIP bereits seit 1995 verfügbar ist, konnte man auch größtmögliche Interoperabilität verschiedener Hersteller erreichen. Leistungsfähige Endsysteme können bis an die Grenzen der theoretischen Nettoübertragungsrate die verfügbare Bandbreite ausnutzen. Nachteilig bleibt die fehlende Multicast/Broadcast-Unterstützung, keine redundanten ATMARP-Server sowie manuelle Konfiguration. Weiterhin müssen alle Systeme eines LIS an ATM angeschlossen sein, der Verbindungsaufbau kann größere Verzögerungen besitzen, direkte Verbindungen zu anderen Subnetzen ist nicht möglich und ausschließlich das IP-Protokoll wurde auf ATM angepaßt.

LANE hingegen ist die wesentlich komplexere Anpassung von IP an ATM, da die MAC-Schicht emuliert wird. LANE besitzt Autokonfiguration für verbesserte Managementfunktionen, verzögerungsfreier Transport der Datenpakete (auch ohne Verbindung zum Ziel), gute Integrationsmöglichkeiten von ATM in bestehende Netze über Ethernet-Switche mit ATM-Interface. SVC-Verbindungen und IP-Multicasting werden ebenfalls unterstützt. Durch Autokonfigurationsmöglichkeiten kann man LAN für kleine und mittlere Netze einsetzen. Nachteilig bleiben die kleinere MTU (1500 Byte) gegenüber CLIP und die wesentlich höhere Komplexität durch die verschiedenen Server und Multicast-Verbindungen. Weiterhin ist die LANE-Struktur noch nicht redundant ausgelegt, es fehlt die vollständige Standardisierung und der BUS sowie ältere Netzadapter begrenzen die Leistung des Gesamtsystems. Zusätzlich werden Multicast-Meldungen wie Broadcast-Meldungen verwendet und deshalb an alle angeschlossenen Endsysteme geschickt. Das größte Problem stellt aber weiterhin die fehlende QoS-Unterstützung bei LANE und CLIP dar.

Das MPOA-Verfahren ist ein völlig neuer Ansatz, der versucht die Datenübertragung über ATM noch effizienter zu gestalten. Verschiedene Protokolle wie RSVP, NHRP, MARS will man aus den IETF-Spezifikationen dafür integrieren oder zumindest auf MPOA anpassen. Dadurch werden sich zukünftig erstmals die Eigenschaften von ATM ausnutzen lassen. Weiterhin entstehen durch das MPOA-Verfahren virtuelle LANs, die völlig neue Möglichkeiten der Konfiguration und des Managements von komplexen Netzstrukturen ermöglichen. Beispielsweise lassen sich Router-Informationen durch Clients nutzen, so daß Verbindungen zu Clients anderer Netze sehr effizient ermöglicht werden. Routerserver erleichtern zusätzlich das Management großer Netzwerke. Reduzierung der Teilnehmeranzahl durch die logische Zugehörigkeit zu einem VLAN und Verringerung des IP-Adressenraums sind weitere Vorteile einer strukturierten Netzkonfiguration. Bei Erweiterungen des Netzwerkes wird der Verwaltungsaufwand enorm verringert, da die Teilnehmer sich durch ihre logischen Adressen zuordnen lassen. Zusätzlich ermöglicht das MPOA-Verfahren den Aufbau eines virtuellen Routers mit einem einzigen Hop über das gesamte Netzwerk, wodurch sich hohe Datenübertragungsraten und geringere Verzögerungszeiten für ergeben. Dabei spielt die Zugehörigkeit zu bestimmten Subnetzen keine Bedeutung. Ein weiterer großer Vorteil ist die

direkte Abbildung der Netzwerkschicht auf die ATM-Schichten, wodurch die Umsetzung von Subnetzstrukturen in VLANs unterstützt wird. Außerdem entfällt für den Verbindungsaufbau ein großer Teil des Overheads, da beispielsweise keine Broadcast-Meldungen versendet werden, um IP-ARPs aufzulösen. Nachteilig ist die noch fehlende Implementierung aller Protokolle und die hohe Komplexität, wodurch es zu Stabilitätsproblemen kommen kann. Weiterhin wird aufgrund der Entwicklungsverzögerung zuerst an der NHRP- und LANE-Integration gearbeitet. MARS und RSVP sollen folgen, wenn die Spezifikationen vollständig vorliegen. Somit bleibt es beim Hauptvorteil von MPOA Router-Engpässe zu beseitigen und virtuelle Netzstrukturen zu etablieren.

CLIP ist momentan die stabilste Variante für IP-Anpassung auf ATM. LANE wird sicherlich im Bereich kleiner und mittlerer traditioneller Netzwerke Verwendung finden, um die vorhandene höhere Bandbreite auszunutzen. MPOA hingegen stellt eine wirkliche Alternative und Implementierung von IP in ATM dar, die bei fertiggestellter Standardisierung im Bereich großer Netzwerke ihren Einsatz finden wird. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Eigenschaften wird es alle drei Alternativen parallel im Netzbereich geben. Alle Verfahren werden kontinuierlich weiterentwickelt.

7 Zusammenfassung

Die Arbeitsgruppe ION der IETF arbeitet an einer Erweiterung von CLIP. Hauptziel ist es, eine ATMARP-Serverliste einzuführen, welche es gestattet, mehrere ATMARP-Server in einem LIS-Subnetz aufzubauen. Dadurch lassen sich redundante Strukturen realisieren. LANE Version 2.0 wird ebenfalls weiter durch das ATM-Forum vorangetrieben. Die Schnittstellen zwischen Client und Server (LAN-Emulation User Network Interface – L-UNI) und der Schnittstelle zwischen den Servern (LAN-Emulation Network Network Interface – L-NNI) werden darin abschließend spezifiziert. Die L-UNI soll kompatibel zur bisherigen Version bleiben und weitere Funktionen enthalten:

- ELANs können über ATM-Verbindungen gemultiplext werden.
- Verbesserte Unterstützung von Multicast-Paketen
- direkte Verbindungen über mehrere Subnetze sollen möglich sein
- QoS soll ebenfalls eingeschränkt unterstützt werden
- LECS wird zu einem allgemeinen Konfigurationsserver umfunktioniert

L-NNI wird in der Version 2.0 zum erstenmal vorliegen. Hauptziel ist es verteilte Server zu ermöglichen und die Kommunikation zwischen diesen zu verbessern. Dadurch können redundante ELANs aufgebaut werden, der BUS begrenzt das Gesamtsystem nicht weiter und unterschiedliche Hersteller sollten einsetzbar sein.

MPOA bietet langfristig gesehen die einzige Möglichkeit ATM-Vorzüge direkt auf andere Netze zu übertragen. Dabei nimmt die Idee des virtuellen Routers immer konkretere Strukturen an. Durch ihn wird es möglich, Routerfunktionen auf das Netz zu verteilen, um dadurch Router-Engpässe zu vermeiden. Zentrale Routerserver steuern dann verteilte Edge Devices (Randgeräte), die die Schnittstelle zu den traditionellen LAN-Netzen darstellen. Ein entgegengesetzter Ansatz beinhaltet den Einsatz von Multilayer-Switches. Dieser Ansatz verlegt die Routing-Funktionalität in einzelne Switches, die in gemischter Ethernet/ATM-Umgebung das Routing (Schicht 3) und Ethernet-Switching (Schicht 2) übernehmen. Beachtet werden müssen auch Unterschiede zwischen ATM- (P-NNI) und IP-Routing. In diesem Bereich sind deshalb die Standardisierungsgremien bemüht, für große NBMA-Netze Lösungen zu entwickeln.

IP-Switching ist ein weiterer Ansatz, um eine Kombination zwischen ATM-Switch und IP-Router zu verwirklichen. Es sind viele Vorschläge vorhanden, die aber alle sehr unterschiedlich ausfallen. Allen gemeinsam ist der Routerbereich, der einem traditionellen Router ähnelt. Zusätzliche Funktion ist die Erkennung von IP-Paketflüssen. Das heißt, es werden die IP-Pakete nicht mehr einzeln eingelesen (Store-and-Forward-Prinzip), sondern im ATM-Bereich geswitched. Dieser sehr jungen Technologie wird eine vielversprechende Zukunft bescheinigt. Sie wird sich allerdings erst durchsetzen, wenn sie mit LANE oder CLIP kooperiert und diese nicht als Konkurrenz betrachtet. Auch ist IP-Switching bisher eine proprietäre Lösung, die zwar auch bei anderen Firmen Unterstützung findet, aber erst durch Standardisierung eine echte Alternative zu bestehenden IP-over-ATM-Lösungen wird. Dabei bleibt abzuwarten, wie IP-Switching sich letztendlich in die ATM-Technik integrieren läßt.

Letztendlich sollte das MPOA-Verfahren konsequent weiter verfolgt werden, da hier die meisten positiven Ansätze zu verzeichnen sind. Version 1 liegt bereits vor, unterstützt aber längst nicht alle gesetzten Ziele. Aufgrund der Komplexität des Standards werden ATM-Forum und IETF deshalb noch einige Zeit für die endgültige Spezifikation benötigen. Aufgrund des herstellerübergreifenden Standards kann aber MPOA als die effektivste Migrationslösung betrachtet werden, die aber aufgrund ihrer Software-Komplexität schwer zu handhaben bleibt. Hier müssen und werden noch einige Nachbesserungen erfolgen müssen.

8 Glossar

ABR	Available Bit Rate; für zeit- und fehlerunkritischen LAN-Datenverkehr
ATM	Asynchroner Transfer Modus; Zellen-basiertes Hochgeschwindigkeitsnetz
ATMARP	ATM Address Resolution Protocol; Umsetzung von IP-Adressen nach ATM-Adressen bei CLIP
B-ICI	Broadband-Intercarrier-Interface; Signalisierung zwischen den privaten ATM-Netzen (in den USA verbreitet)
B-ISUP	Broadband-ISDN User Part; Signalisierung zwischen den privaten ATM-Netzen (in Europa verbreitet)
CLIP	Classical-IP; IP-Anpassung auf ATM
CSFG	Configuration Server Functional Group; Anfangskonfiguration der Komponenten bei MPOA
DFFG	Default Forwarder Functional Group; wenn keine direkte ATM-Verbindung besteht, werden die Daten innerhalb eines IP-Subnetzes zum DFFG geschickt (MPOA)
ELAN	Emulated LAN; emuliertes LAN: Nachbildung eines Ethernet- oder Token-Ring-Netzes auf ATM
FDDI	Fibre Distribution Data Interface; 100-MBit/s-Token-Passing-Verfahren
FG	Functional Group; logische Komponenten bei MPOA
IASG	Internetwork Address Sub-Group; faßt IP-Adressenbereich für das Routing zusammen; entspricht teilweise einem IP-Subnetz (MPOA)
ICFG	IASG Co-ordination Functional Group; stellt Funktionen zur Verfügung, die für die Verwaltung der Mitglieder einer IASG benötigt werden (MPOA)
IETF	Internet Engineering Task Force; Interessengemeinschaft, die sich TCP/IP-Problemen und dem Internet befaßt
IISP	Interim Inter-Switch Signalling; Signalisierung zwischen den ATM-Switches
ION	Internetworking Over NBMA; Arbeitsgruppe der IETF, die IP an Non-Broadcast Multiple Access (NBMA) Netze anpaßt
IP	Internet Protocol; verbindungsloses Internet-Protokoll
ITU	International Telecommunication Union; internationale operierendes Standardisierungsgremium im Bereich Telekommunikation
LAN	Local Area Network; Netzwerk innerhalb eines Gebäudes
LANE	LAN Emulation; Arbeitsgruppe des ATM-Forums und Migrationslösung für traditionelle Netze an ATM
LIS	Logical IP Subnet; IP-Subnetz auf einem ATM-Netz: erlaubt Punkt-zu-Punkt-Verbindungen zwischen Endsystemen
MAC	Media Access Control Protocol; medienspezifisches Zugangsprotokoll der IEEE-802-Spezifikation
MARS	Multicast Address Resolution Server; Verwaltung der Gruppenadressen wird vorgenommen

MCS	Multipoint Communication Server; Mehrpunktkontrolleinheit
MPOA	Multiprotocol over ATM; ATM-Forum-Ansatz zur Integration von Multiprotokollen (u.a. IP) auf ATM
MTU	Maximum Transport Unit; maximale Paketgröße auf das Netzwerk bezogen
NARP	NBMA Address Resolution Protocol; Erweiterung des ARP-Protokolls
NNI	Network-to-Network Interface; Schnittstelle zwischen zwei ATM-Netzen
NHRC	Next-Hop Resolution Cache; IP-zu-ATM-Adressenangleichung innerhalb eines NHS
NHRP	Next-Hop Resolution Protocol; direkte ATM-Verbindung über Subnetze hinaus möglich; Vermeidung von IP-Hops
NHS	Next-Hop Server; Server in einer NHRP-Umgebung
PIM	Protocol Independent Multicast; Multicast-Protokoll der IETF
P-NNI	Private Network-to-Network Interface; Signalisierung zwischen den ATM-Switches
PVC	Permanent Virtual Circuit; permanente ATM-Verbindung ohne Signalisierungsunterstützung
Q.2931	ATM-Signalisierungsprotokoll
QoS	Quality-of-Service; garantierte Dienstgüte
ROLC	Routing over Large Clouds; Arbeitsgruppe des IETF, die an dem NHRP arbeitet
RFC-1112	Host extensions for IP multicasting; Internet Standard
RFC-1483	Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5; Internet Standard
RFC-1577	Classical IP and ARP over ATM; Internet Standard
RFC-2022	Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks; vorgeschlagene IETF-Spezifikation
RFFG	Remote Forwarder Functional Group; realisiert den Forwarding-Teil eines virtuellen Routers bei MPOA
RSFG	Route Server Functional Group; realisiert den Routing-Teil eines virtuellen Routers bei MPOA
RSVP	Resource Reservation Protocol; Bandbreitenreservierung über das Internet-Protokoll
SDH	Synchrone Digitale Hierarchie; digitale und synchrone Vermittlungstechnik bis 9,95 GBit/s
SVC	Switched Virtual Circuit; temporäre ATM-Verbindung mit Signalisierungsunterstützung
TCP	Transmission Control Protocol; verbindungsorientiertes Internet-Protokoll
UNI	User Network Interface; Schnittstelle zwischen ATM-Switch und Endgerät sowie Signalisierung an der UNI-Schnittstelle in den Versionen 3.0/3.1/4.0 verfügbar
VC	Virtual Connection; virtuelle ATM-Verbindung, die aus Pfaden und Kanälen besteht
VCC	Virtual Channel Connection; virtuelle ATM-Kanalverbindung
VPC	Virtual Path Connection; virtuelle ATM-Pfadverbindung

VLAN	Virtual LAN; virtuelles LAN, welches Benutzergruppen ohne Beachtung der physikalischen Begebenheiten individuell zusammenfassen kann
WAN	Wide Area Network; Weitverkehrsnetze
X.25	CCITT-Empfehlung des synchronen Betriebs einer paketfähigen Datenendeinrichtung an einem öffentlichen Datennetz

9 Weiterführende Literatur

- [1] Alles, A.: *ATM Internetworking*; ATM Product Line Manager; Cisco Systems, Inc.; Engineering InterOp.; Las Vegas; März 1995
- [2] ATM-Forum-Spezifikation: *Private Network-to-Network Interface Specification*; Version 1 (PNNI 1.0); 1996
- [3] ATM-Forum-Spezifikation: *ATM User Network Interface (UNI) Signalling Specification*; Version 4.0; 1996
- [4] ATM-Forum-Spezifikation: *LAN Emulation Over ATM*; Version 1.0, 1995
- [5] ATM-Forum-Spezifikation: *MPOA Baseline*; Version 1.0, 1996
- [6] Borden, M.; Crwaley, E.; Davie, B.; Batsell, S.: *Integration of Real-time Services in an IP-ATM Network Architecture*; Network Working Group; Request for Comments 1821; Category: Informational; IETF 08/1995
- [7] Detken, K.-O.: *IP über ATM: Pakete huckepack*; Gateway 03/97; Verlag Heinz Heise; Hannover 1997
- [8] Detken, K.-O.: *Virtueller Router – Multiprotokolle über ATM, Teil 1*; Gateway 04/97; Verlag Heinz Heise; Hannover 1997
- [9] Detken, K.-O.: *Dienste mit Qualität – Multiprotokolle über ATM, Teil 2*; Gateway 05/97; Verlag Heinz Heise; Hannover 1997
- [10] Detken, K.-O.: *Kopflast als Leistungsbremse – Effizienz von IP über ATM*; Gateway 05/97; Verlag Heinz Heise; Hannover 1997
- [12] Detken, K.-O.: *ATM in TCP/IP-Netzen, Grundlagen und Migration zu High Speed Networks*; ISBN-Nr.: 3-7785-2611-1; Hüthig-Verlag; Heidelberg 1998
- [11] Heinanen, J.: *NBMA Address Resolution Protocol (NARP)*; Request for Comments 1735; Category: Standard Tracks; IETF 12/94
- [12] Katz, D.; Piscitello, D.: *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*; Routing over Large Clouds Working Group; Category: Internet Draft; IETF 05/1995
- [13] Laubach, M.: *Classical IP and ARP over ATM*; Request for Comments 1577; Network Working Group; Category: Standard Track; Hewlett-Packard Laboratories; IETF 01/94
- [14] Luciani, J.; Katz, D.; Piscitello, D.: *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP)*; Category: Internet Draft; IETF 10/96
- [15] Murakami, K.; Maruyama, M.: *MAPOS - Multiple Access Protocol over SONET/SDH*; Version 1; Category: Informational; IETF 06/97
- [16] Murakami, K.; Maruyama, M.: *IPv4 over MAPOS*; Version 1; Category: Informational; IETF 06/97