

IP-Kommunikation in lokalen und integrierten Netzen

– Fallstudie: Erweiterung des gewachsenen Institutsnetzes am Institut für Angewandte Informatik und seine Integration in das Campusnetz des Forschungszentrums Karlsruhe –

Dipl.-Inform. Torsten E. Neck

Fortbildungszentrum für Technik und Umwelt
e-Mail: Torsten.Neck@ftu.fzk.de ♦ WWW: <http://www.iai.fzk.de/~neck>
Fon: +49/7247/82-4421 ♦ Fax: +49/7247/82-4857

und Dipl.-Ing. (FH) Stefan Maihack

Institut für Angewandte Informatik
e-Mail: Maihack@iai.fzk.de ♦ WWW: <http://www.iai.fzk.de>
Fon: +49/7247/82-5738 ♦ Fax: +49/7247/82-5785

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH

Postfach 3640 ♦ D-76021 Karlsruhe

0 Inhalt

IP-Kommunikation in lokalen und integrierten Netzen.....	1
– Fallstudie: Erweiterung des gewachsenen Institutsnetzes am Institut für Angewandte Informatik und seine Integration in das Campusnetz des Forschungszentrums Karlsruhe –	1
0 Inhalt.....	1
1 Abstract.....	2
2 Einführung.....	2
2.1 Das Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt.....	2
2.2 Das Institut für Angewandte Informatik am FZK.....	3
3 Gewachsene Netzstruktur am IAI und im FZK	3
3.1 Anfänge des Networking am IAI.....	3
3.2 IAI-Netzerweiterung 1993/94.....	4
3.3 Interworking im Campusnetz des FZK.....	6
4 ATM als Backbone.....	7
4.1 Das ATM-Konzept	7
4.2 Vorteile von ATM gegenüber Gigabit-Ethernet	8
4.3 ATM als Koppelnetz im Backbone.....	8
5 Verteiltes Bridging mit ATMF LANE 1.0.....	9
5.1 Prinzip von LANE.....	9
5.2 Routing in der LANE-Umgebung	11
6 Verteiltes Routing mit MPOA.....	12
6.1 Prinzip von MPOA.....	12
6.2 Beispiel: Short-Cut Routing	15
7 MPOA-Lösung am IAI.....	17
8 Literatur.....	18

1 Abstract

Angelehnt an einen konkreten Fall, die Netzerweiterung am Institut für Angewandte Informatik (IAI) des Forschungszentrums Karlsruhe, werden die Möglichkeiten und Notwendigkeiten für ATM-basiertes Interworking aufgezeigt.

Hierbei wird einerseits dargelegt, welche Vorteile eine auf ATM aufsetzende Lösung bietet, andererseits wird die Entscheidung des IAI für den Einsatz von "Switched Virtual Routing" nach dem Standard "MPOA" (Multi-Protocol Over ATM) erläutert.

Die Prinzipien von MPOA werden erklärt und gegen "ATMF LANE 1.0" (LAN-Emulation nach Standard Version 1.0 des ATM-Forums) abgegrenzt.

Auf die Problematik beim Einsatz eines jungen Standards insbesondere im Hinblick auf Interoperabilität wird zusammen mit einem Ausblick eingegangen.

2 Einführung

2.1 Das Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt

Die vorliegende Fallstudie basiert auf den Erfahrungen, die bei der Netzerweiterung eines lange gewachsenen Netzes an einem großen wissenschaftlichen Institut des Forschungszentrums Karlsruhe (FZK) gewonnen wurden, am Institut für Angewandte Informatik (IAI).

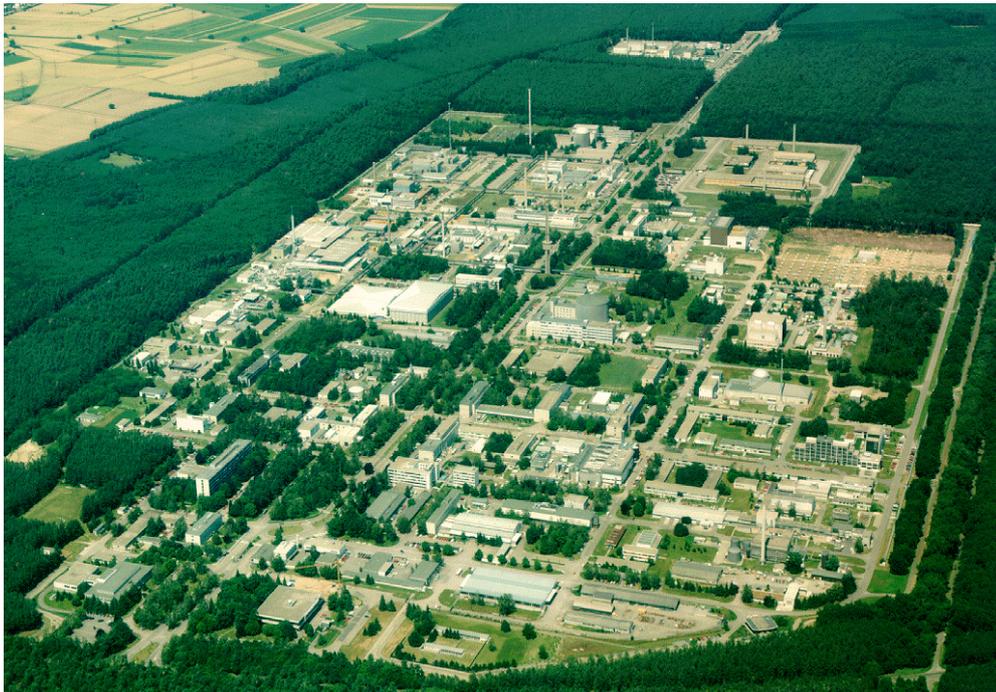


Abbildung 1: Luftbild des Forschungszentrum Karlsruhe

Das FZK wurde 1956 von der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Baden-Württemberg als gemeinnützige GmbH gegründet. Von seiner Gründung bis zum Jahr 1995 war wesentliches Unternehmensziel der Bau und Betrieb von fortgeschrittenen Kernreaktoren und die Erforschung aller damit verbundenen Fragestellungen vorwiegend auf den Gebieten der Reaktorsicherheit und des Brennstoffkreislaufs. Mit der weitgehenden Abkehr der Bundesrepublik von der Kerntechnik wurde es 1995 von "Kernforschungszentrum Karlsruhe" in "Forschungszentrum Karlsruhe Technik und Umwelt" umbenannt, um auch äußerlich die geänderten Schwerpunktsetzungen des Forschungs- und Entwicklungsprogramms darzustellen.

Nach wie vor tritt aber die Bundesrepublik Deutschland zu 90 % und das Land Baden-Württemberg zu 10 % als Gesellschafter und Geldgeber auf. Mit einem Jahresbudget von ca. 550 Millionen DM, wovon ca. 80 Millionen DM eigen erwirtschaftete Erträge sind, und einem Personalstand von ca. 3800 Beschäftigten mit ca. 1200 Wissenschaftlern, 60 Professoren, mehr als 100 Gastwissenschaftlern und über 200 Doktoranden gehört es zu einer der größten interdisziplinären Forschungseinrichtungen in Deutschland.

Auf dem ca. 3 km² großen Campus 10 km nördlich von Karlsruhe finden sich im Geschäftsbereich Forschung 16 wissenschaftliche Institute, vier selbständige Projekte, fünf wissenschaftlich-technische Hauptabteilungen sowie drei Projektträgerschaften des Bundes und eine des Landes Baden-Württemberg.

2.2 Das Institut für Angewandte Informatik am FZK

Eines der Institute ist das Institut für Angewandte Informatik (IAI), in dessen fünf Abteilungen ca. 100 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in mehr als 30 interdisziplinären Projekten aus den Forschungsschwerpunkten Umwelt, Mikrosystemtechnik, Medizintechnik und Energie arbeiten. Die Abteilungen Mikrosystem-Informatik, Umweltinformatik, Industrielle Handhabungssysteme, Steuerungssysteme und Kommunikation und Mathematische Modelle lassen eine gewisse Spezialisierung und Abgrenzung der Arbeiten gegeneinander erahnen, die für die spätere Netzauslegung von Interesse sein wird.

3 Gewachsene Netzstruktur am IAI und im FZK

3.1 Anfänge des Networking am IAI

Das IAI hat bereits 1983 eines der ersten "Ethernets" in Deutschland in Betrieb genommen. Jedes der vier Stockwerke des Institutsgebäudes wurde dabei mit einem Segment "gelbes Kabel" 10Base5 ausgestattet, die vier Segmente in einem zentralen Sternkoppler im Kellergeschoß zusammengeführt. In den vier Segmenten standen 110 AUI-Anschlußdosen für Endgeräte zur Verfügung. Erweitert wurde dieses Netz im Laufe der Zeit durch zwei weitere Ethernetsegmente mit 10Base2 Koax-Kabeln, so daß im September 1993 ein Stand von 126 Endgeräten erreicht war.

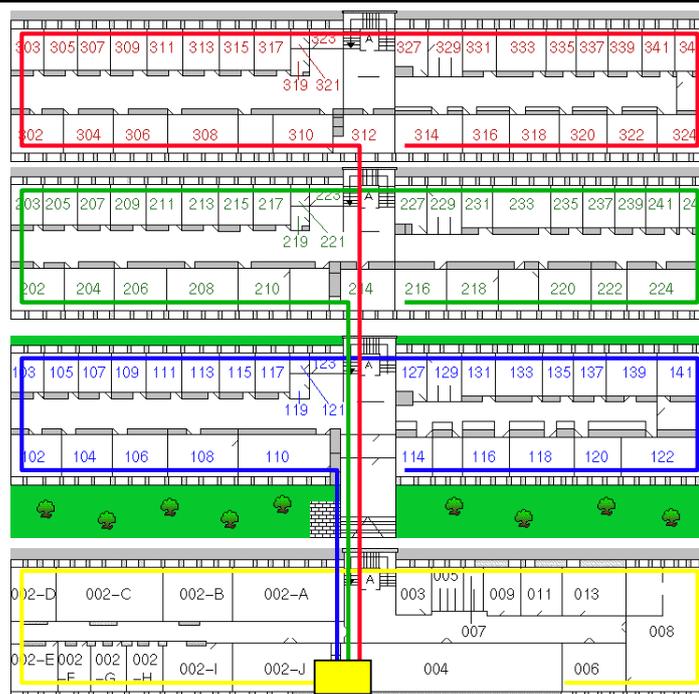


Abbildung 2: Erstes Ethernet am IAI mit vier Segmenten "gelbem Kabel" in den vier Etagen

Entsprechend der vielfältigen Arbeiten im Institut waren Endgeräte aller Klassen zu finden: 45 Sun-Maschinen unter SunOS oder Solaris, 12 DEC-Vax unter VMS und Ultrix, 5 Silicon Graphics unter IRIX, 48 PC unter MS-DOS/Windows, OS/2 und Intel-RMX, 6 Xerox unter ViewPoint/GlobalView und 10 Exoten.

Daher wundert nicht, daß als Transportprotokoll TCP/UDP zwar vorherrschend war, aber signifikant für das Institut das Nebeneinander vieler verschiedener Protokolle wie DecNet/LAT, Net-BEUI, IPX/SPX, XNS und sogar OSI-TP4 war.

3.2 IAI-Netzerweiterung 1993/94

Nach den ersten zehn Jahren des Networking am IAI war der klassische Ethernet-Ansatz an seiner Leistungsgrenze angelangt. Die durchschnittliche Netzauslastung lag bei über 35 %, so daß geeignete Maßnahmen zur Erhöhung des Durchsatzvermögens ergriffen werden mußten.

Als Alternativen wurden diskutiert:

- eine strukturierte Verkabelung, bei der vom zentralen Verteilpunkt im Kellergeschoß in die einzelnen Etagen Multimode-Glasfaser verwendet, aus den Etagenverteilern dann mit UTP Kategorie 5 zu den Endgeräte-Anschlüssen gefahren werden sollte;
- eine sternförmige Verkabelung in Kupfer mit UTP Kategorie 5, bei der die Endgeräte-Anschlußdosen aus dem zentralen Verteilpunkt im Kellergeschoß direkt angefahren werden;
- eine sternförmige Verkabelung wie in der Alternative zuvor, jedoch in Multimode-Glasfaser ausgeführt.

Ausgeführt wurde letztlich die dritte Alternative: auf einem zentralen Patchfeld im Kellergeschoß wurden ca. 150 Anschlüsse in 96 Räumen des Institutsgebäudes aufgelegt. Als Verbindungen dienen Multimode-Duplexkabel 50/125µ die beidseitig mit SC-Konnektoren konfektioniert wurden.

Die neue sternförmige Verkabelung wurde dabei von Anfang an zusätzlich zu den vorhandenen alten Ethernetsegmenten ausgelegt, so daß eine flexible Migration jederzeit gewährleistet war. Im Stand August 1998 waren in diesem Sinne 60 LWL-Anschlüsse belegt.

Nach dem Ausbau des passiven Netzes wurde ein zentraler Multiprotokoll-Switch nach dem Hubkonzept eingesetzt. Einerseits mußte er den leistungsschwachen Sternkoppler für die alten Ethernetsegmente ersetzen und für die neu geschaffenen Anschlüsse entsprechende Netzwerkpports bereitstellen, andererseits diente er als zentraler Übergang in das Campusnetz des FZK. Dazu wurde ein chassisbasierendes System mit Layer-2-Switching-Funktionalität zwischen allen Ports ausgewählt, das es zudem ermöglicht, auf der Basis von Port-Gruppen verschiedene Endgeräte-Gruppen voneinander abzuschotten. Zum Interworking mit dem Campusnetz und im INTERNET sollte der Hub jedoch auch über Layer-3-Routing-Funktionalität verfügen.

Vorteile einer solchen Komponente sind in Verbindung mit der sternförmigen Verkabelung das "Collapsed Network", das sich an nur einer Stelle befindet und deshalb effizient gemanagt werden kann, und die Möglichkeit, über zentral festgelegte Portgruppen auch nicht benachbarte Endsysteme zu gruppieren und von einander logisch zu trennen – von den Herstellern der Hubsysteme gerne als VLAN-Bildung bezeichnet. Als Nachteil dieses Ansatzes erkennt man rasch die zentrale Hub-Komponente selbst, einerseits als "Single Point of Failure", andererseits als "Bottleneck" hinsichtlich der Skalierbarkeit und Erweiterbarkeit von Backplane und Endgeräteports.

In der Tat wurden die Nachteile im Zug der Inbetriebnahme und mehrerer Umbauten überdeutlich sichtbar, denn, obwohl der Hub mit zunächst zwei, später vier Netzteilen ausgestattet war, wurde beim Einschalten des Systems alle elektrische Last aller Anschlußmodulen auf ein Netzteil geladen, das dieser Belastung meist nicht standhielt. Aufgrund dieser Fehlkonstruktion "verbrauchte" allein das Hochfahren des Hubs zum Teil bis zu drei Netzteile, von denen jedes mehrere tausend Mark kostet. Und auch, wenn der Betriebszustand glücklich erreicht

wurde, brachte falsche elektrische Lastverteilung das System bisweilen zum Zusammenbruch. In diesen Fällen bedeutete der Hubansatz jedesmal einen Stillstand des gesamten Netzwerkes!

Als Anschlüsse standen nach Einführung des Hubsystems zur Verfügung:

- 6 Ports Ethernet, 10Base2/10Base5, BNC für das "alte" Ethernet,
- 40 Ports Ethernet, 10BaseFL, ST für Endgeräte über das LWL-Netz,
- 6 Ports Fast-Ethernet, 100BaseTX, RJ45 für zentral angeschlossene Server,
- 1 Port FDDI, Dual-Attachment für den Übergang zum Campusnetz.

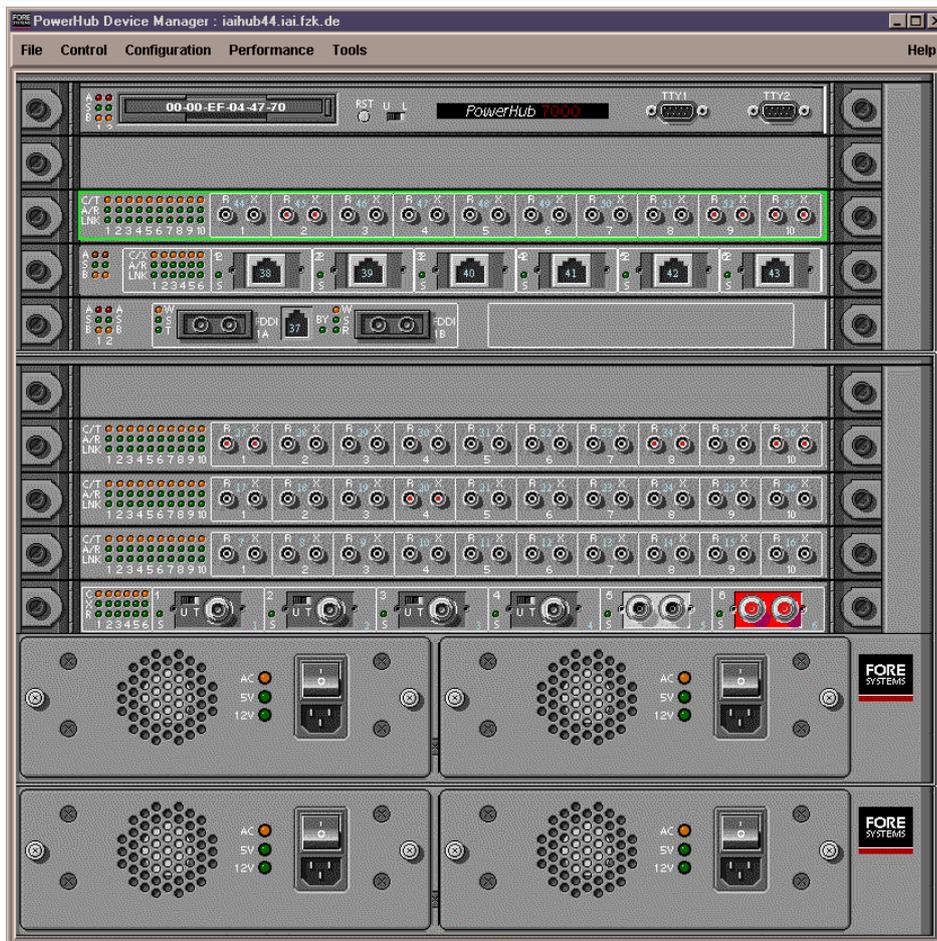


Abbildung 3: Zentraler Hub der ersten Netzerweiterung des IAI

Interessant hierbei ist, daß von den im August 1998 angeschlossenen ca. 224 Endgeräten nur 23 exklusiv an einem Hubport angeschlossen waren und 97 Endgeräte noch an den Koax-Segmenten von 1983 betrieben wurden.

Einerseits läßt sich dies dadurch erklären, daß nach Bildung von Portgruppen und Abschottung verkehrsintensiver Protokolle wie LAT und NetBEUI die Auslastung auch der alten Segmente wieder auf ein Maß zurückging, das ein effektives Arbeiten in Standard-Büroanwendungen ermöglichen. Andererseits wirkt sich auch die Anbindung der Server mit zehnfacher Bandbreite entzerrend aus. Belegt wird dies insbesondere dadurch, daß selbst die Nutzer der sternförmigen LWL-Verkabelung Endsysteme meist nicht exklusiv anschließen – selbst dann nicht, wenn Leitungs- bzw. Anschlußkapazitäten frei sind – sondern stattdessen kleine Workgroup-Hubs und -Switches zur weiteren Verteilung der Bandbreite eher im Sinne einer strukturierten Verkabelung einsetzen. Insgesamt läßt sich aber sicherlich erkennen, daß die Anforderungen der Standardbenutzer durchaus nicht in Richtung von Gigabit-Bandbreiten gehen, sondern daß vielmehr eine gesicherte minimale Konnektivität das weitaus wichtigere Optimierungsziel jedes Netzwerkers sein sollte.

3.3 Interworking im Campusnetz des FZK

Das Forschungszentrum Karlsruhe hat sich bereits zu Beginn der 90er Jahre entschlossen, im Campus-Backbone, der bislang auf einem FDDI-Doppelring basiert und der auch streng nach dem Prinzip des Backbone-Routings (bzw. in der OSI-Terminologie nach dem Prinzip des hierarchischen Interdomain-Routings) betrieben wird, nur noch ein einziges Netzwerkprotokoll (streng im Sinne von Layer-3-Protokoll) zu unterstützen, nämlich IP. Der Weg dahin ist begonnen worden, konnte sich jedoch noch nicht vollständig durchsetzen lassen, da immer noch einige nicht routbare Protokolle notwendigerweise im Einsatz sind.

So ist die momentane Situation dadurch gekennzeichnet, daß über dem Backbone zwischen ausgewählten Intranetdomänen noch gebridget wird, jedoch im überwiegenden Teil auf der Basis von IP geroutet.

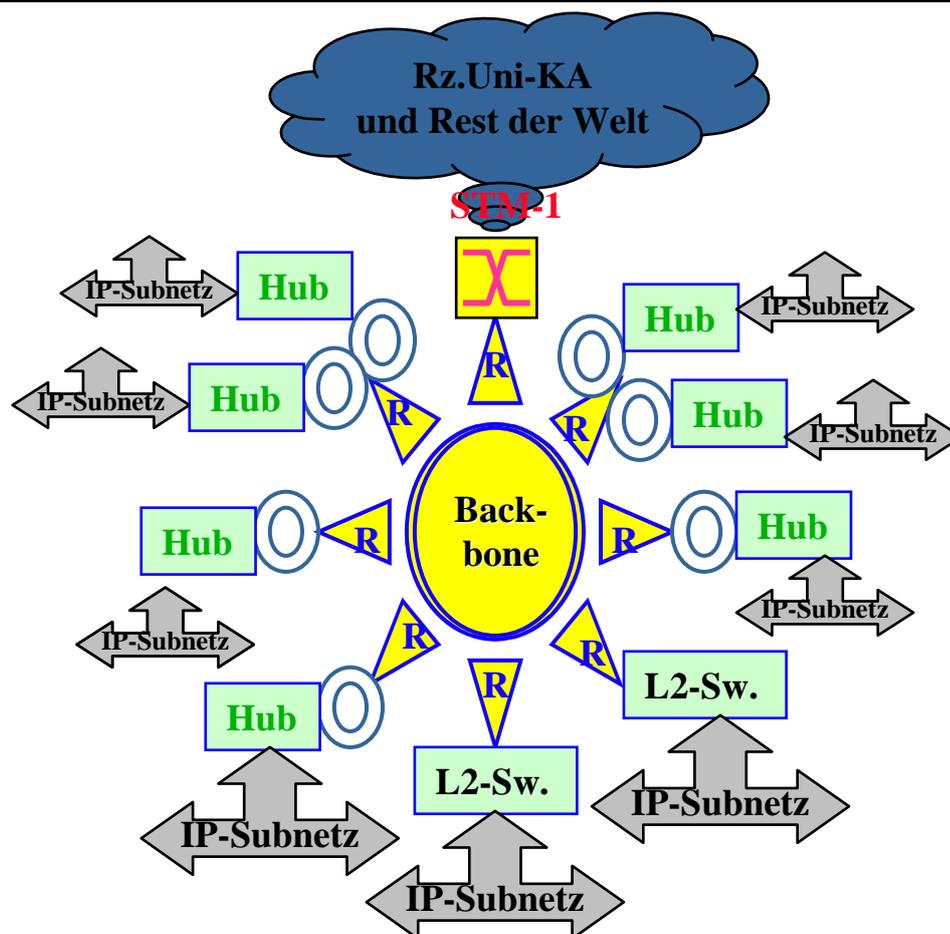


Abbildung 4: Backbone-Struktur und Subnetz-Routing im FZK

Das Konzept des Backbone-Routings bzw. des Remote-Bridgings verbietet dabei, Endsysteme direkt am Backbone anzuschließen, sondern setzt hier auf eine geringere Zahl von Backbone-Routern, an denen die einzelnen Organisationseinheiten jeweils mit multifunktionalen Hubs in der Funktion von Border-Gateway-Routern angebinden sind.

Für die Regulierung des IP-Verkehrs im Forschungszentrum wird das zugewiesene Class-B-Netz (141.52.0.0) mit Hilfe einer Class-C Subnetzmaske in 255 Subnetze partitioniert, zwischen denen statisch geroutet wird.

Bei großen Instituten wie dem IAI, bei denen der Adreßraum eines IP-Subnets mit 255 Endsystemen nicht ausreicht, werden mehrere benachbarte Subnetze zugeordnet, die sich über eine um ein oder zwei Bit verkürzte Subnetzmaske (etwa 255.255.254.0 oder 255.255.252.0) zusammenfassen lassen. So verfügt beispielsweise das IAI über den Adreßraum der beiden

Subnetze 141.52.44.0 und 141.52.45.0, die über die Maske 255.255.254.0 als ein IP-Subnetz behandelt werden können.

Die Integration des FZK in das INTERNET geschieht über eine Dark-Fiber in Singlemode-Technik, die das FZK auf ca. 15 km mit dem Rechenzentrum der Universität Karlsruhe verbindet. Auf dieser Strecke wird seit Januar 1996 ATM mit 155 Mbps (STM-1) gefahren.

Auch diese Verbindung wird im Sinne des hierarchischen Routings betrieben: hinter den eigentlichen ATM-Switches stehen leistungsfähige Backbone-Router, die den vom Backbone kommenden IP-Verkehr nach RFC1577 enkapsulieren, per Classical-IP auf ATM umsetzen und zur jeweiligen Gegenstelle tunneln.

Am Rechenzentrum der Universität Karlsruhe stehen Übergänge zu allen wichtigen Netzen zur Verfügung, insbesondere ist das Landeshochschulnetz "BelWü" mit 155 Mbps (STM-1), das deutsche Breitband-Wissenschaftsnetz "B-WIN" mit derzeit noch 34 Mbps (E3), in nächster Zukunft jedoch mit 155 Mbps (STM-1) und auch das "T-Net ATM" der Deutschen Telekom AG mit bis zu 155 Mbps (STM-1) erreichbar.

Dank der durchgehend eingesetzten ATM-Technik ist es möglich, den INTERNET-Zugang des FZK mit einer reservierten Bandbreite von 10 Mbps über den B-WIN-Anschluß zu realisieren.

Im Laufe des ersten Halbjahres 1999 wird der FDDI-Backbone des FZK durch einen mehrfach vermaschten ATM-Core ersetzt werden, der in sinnvoller Fortsetzung des hierarchischen Routing-Ansatzes nicht mit LANE, sondern von Anfang an mit MPOA betrieben werden soll.

Dieser Ausblick bereitet die anschließende Diskussion vor, weshalb ATM als Backbone-Technik den Ansätzen von Gigabit-Ethernet überlegen ist und warum verteiltes Routing nach MPOA dem verteilten Bridging mit LANE vorzuziehen ist.

4 ATM als Backbone

4.1 Das ATM-Konzept

Der Asynchrone Transfer Modus ATM wurde seit Ende der achtziger Jahre entwickelt und hat sich heute als der aussichtsreichste Kandidat für den Aufbau hochleistungsfähiger, dienstintegrierender Netze etabliert.

In [ZiSc95/ Kapitel 7.2.1 liest man zusammenfassend:

"Die grundlegende Entwurfsphilosophie von ATM basiert auf dem Gedanken, Komplexität möglichst aus dem Netz hinaus in die Endsysteme zu verlagern und somit die netzinternen Zwischensysteme zu entlasten. Durch die Verwendung relativ kleiner Dateneinheiten fester Länge, den ATM-Zellen, und deren asynchrones Multiplexen soll darüber hinaus die erforderliche Flexibilität hinsichtlich der Dienstintegration erzielt werden.

ATM-Zellen bestehen aus einem Zellenkopf (5 Oktett) und einem Nutzdatenfeld (48 Oktett). Sie werden für die Übertragung asynchron, das heißt, nicht an vorher fest zugewiesene Plätze, auf einen Übertragungsabschnitt gemultiplext. Für das Vermitteln der Zellen zwischen aufeinanderfolgenden Abschnitten werden ATM-Switches, die in ATM-Netzen eingesetzten Zwischensysteme, die im Zellenkopf enthaltenen, abschnittsweise gültigen Kennungen aus. Die erforderliche Information (zur Weiterleitung, Anm. d. Verfassers) wird beim Aufbau der virtuellen Verbindung etabliert."

Bereits aus dieser knappen Einführung lassen sich die Vorteile des ATM ableiten:

ATM ist "per se" eine verbindungsorientierte Technik, was zweierlei Konsequenzen mit sich bringt. Einerseits wird nämlich das Problem der Wegewahl aus der zeitkritischen Datentransferphase in eine vorgelagerte Verbindungsaufbauphase verschoben, andererseits wird durch die Verbindungsorientierung sowohl eine Skalierung der Bandbreite erleichtert als auch die Garantie von Dienstgütemerkmalen ermöglicht. Als herausragendes Merkmale für die Skalierung

ist zu nennen, daß in ATM-Netzen das Hinzufügen von parallelen physikalischen Verbindungen zwischen zwei Switches selbstverständlich ist und wegen des verbindungsorientierten Ansatzes sofort zu einem Load-Balancing führt, wohingegen in allen klassischen Netzen genau diese Skalierungsmaßnahme zu Problemen führt, denen mit aufwendigen Routingalgorithmen begegnet werden muß.

Durch Abschluß von bilateralen Verkehrsverträgen zwischen allen beteiligten Zwischen- und Endsystemen einer Kommunikation ist eine Überlastung des Netzes während der eigentlichen Kommunikation ausgeschlossen. Die notwendigen Kapazitäten werden bereits beim Verbindungsaufbau geprüft und reserviert. Können Forderungen für eine Ende-zu-Ende-Verbindung nicht erfüllt werden, wird die Verbindung abgelehnt.

Verschiedene Anforderungsprofile werden über entsprechende Serviceklassen im ATM-Netz abgedeckt, so unterscheidet man hinsichtlich des Dienstgüteparameters "Bandbreite" die Anforderungsklassen CBR (Constant Bitrate), VBR (Variable Bitrate), UBR (Unspecified Bitrate) und ABR (Available Bitrate). Mit Hilfe dieser Serviceklassen, die über weitere Parameter wie PCR (Peak Cell Rate), SCR (Sustainable Cell Rate), CDV (Cell Delay Variation) präzisiert werden, sorgt man im ATM-Netz dafür, daß neben der garantierten Dienstgüte mit den Netzressourcen auch ökonomisch umgegangen wird, also nur so viel Reservierung vorgenommen wird, wie für das Erbringen des geforderten Dienstes notwendig bzw. hinreichend ist.

4.2 Vorteile von ATM gegenüber Gigabit-Ethernet

Aufgrund der Paketstruktur – kurze Zellen mit allein einem Zellenkopf zur Verwaltung der Weiterleitungsinformation – kann die Verarbeitung in den Zwischensystemen mit größtmöglicher Geschwindigkeit stattfinden. Im Gegensatz zu anderen Techniken kann in einem Switch bereits nach Empfang allein des Zellenkopfes an einem Eingangsport der entsprechende Ausgang ermittelt werden; die eigentliche Payload kann also ohne Zwischenpufferung direkt an den Ausgang weitergeleitet werden, wo ihr ein neu generierter Kopf angefügt wird, der für den nächsten Übermittlungsabschnitt Gültigkeit hat. Sicherungsmechanismen werden hierbei bewußt nur auf den Zellenkopf angewendet, die Sicherung der Payload geschieht allein in den Endsystemen der Kommunikation.

Eine Zwischenspeicherung von Zellen aufgrund von Zugriffsprotokollen für ein geteiltes Medium ist wegen der Reservierung von Ressourcen beim Verbindungsaufbau nur minimal nötig, weswegen allein im ATM-Netz die Voraussetzungen für den Transport von Daten mit strengsten Echtzeitbedingungen über weitest mögliche Distanzen gegeben sind.

Der Ansatz der Befürworter des Gigabit-Ethernet ist dagegen vergleichsweise kurzsichtig, denn hier wird versucht, jegliche Dienstgüte über den Parameter "Bandbreite" mit einem schwachen Priorisierungsmechanismus – vorgesehen sind drei bis vier voneinander unabhängige Puffer mit unterschiedlicher Bedienrate zur Realisierung von "Expedited Data" Diensten – abzufangen, was für konventionelle Datendienste ausreichend sein mag, für anspruchsvolle Echtzeitanwendungen jedoch nicht.

Insbesondere ergeben sich beim Gigabit-Ethernet-Ansatz massive Beschränkungen für die Netzerstreckung, die eine noch stärkere Unterscheidung von Lokalem Netz und Weitverkehrsnetz mit unterschiedlichen Techniken bedingt als in den konventionellen Netzen. Gerade auch unter diesem Aspekt ist der ATM-Ansatz ideal, denn hier können mit einer einzigen Technik sowohl lokale als auch globale Netze realisiert werden.

4.3 ATM als Koppelnetz im Backbone

Trotz des zuvor genannten Vorteils von ATM, eine durchgehende Technik für alle Erstreckungsklassen zu sein, wurden ATM-Netze zunächst im Bereich der Koppelnetze bzw. Backbones etabliert. Dies ist recht einfach dadurch zu erklären, daß es nicht ökonomisch sein kann, bei einer großen Zahl von Endsystemen auf einen Schlag die Netzwerkkarten (NICs) auszutauschen.

Naheliegender war daher die Migration zu ATM zunächst allein im Bereich der Koppelnetze, die traditionell eher schwächer in ihrer Leistungsfähigkeit waren als die lokalen Netze, die mit ihrer Hilfe gekoppelt werden sollten.

Gerade bei weiträumig verteilten Netzen konnte jedoch kosteneffizient mit dem Ersatz von wenigen Router-Interfaces durch ATM-Karten eine beträchtliche Leistungssteigerung erreicht werden, die z.T. überhaupt erst ein sinnvolles Interworking von bisher getrennten Subnetzen ermöglichte.

Der Ansatz, der hierfür von IETF und ATM-Forum erarbeitet wurde, war das in /RFC1577/ dargelegte Tunneling unter dem Namen "CIIP" oder "Classical IP". Hier wird zwischen konventionellen IP-Subnetzen klassisch geroutet, jedoch auf ATM. In /RFC1577/ wird deswegen wesentlich ein Enkapsulationsverfahren für IP-Frames in AAL5-PDUs definiert. Außerdem wird jede IP-Route auf eine virtuelle Verbindung (VC, Virtual Circuit) im ATM-Koppelnetz abgebildet.

Den Übergang von konventionellem LAN zu ATM erledigen hierbei, wie auch in allen fortgeschrittenen Interworking-Varianten, spezielle Hubs, sogenannte "Edge-Devices". Primär ist damit jedoch nur eine Gatewayfunktionalität gegeben, die es Endsystemen im konventionellen LAN – auch Legacy-LAN genannt – ermöglicht, miteinander über ATM zu kommunizieren. Direkt am ATM-Netz angeschlossene Endgeräte werden im strengen Sinne nicht unterstützt, es sei denn, auf dem ATM-NIC wäre die Gatewayfunktionalität nach /RFC1577/ in Form von Treibern verfügbar und das Endgerät bildete ein eigenes IP-Subnetz, das dem IP-Routing zugänglich ist.

5 Verteiltes Bridging mit ATMF LANE 1.0

5.1 Prinzip von LANE

Besonders das weitgehend fehlende Interworking zwischen Legacy-LAN-Endsystemen und ATM-Endsystemen führte im Laufe der Zeit dazu, einen weiteren Ansatz zu verfolgen, die LAN-Emulation auf dem ATM-Netz nach /LANE95/.

Hierbei spielen nach wie vor Edge-Devices eine tragende Rolle, die zwischen Endsystemen im Legacy-LAN und dem ATM-Netz als Gateways fungieren, insbesondere können aber jetzt auch direkt am ATM-Netz angeschlossene Systeme mit allen anderen Partnern kommunizieren.

Der Grundgedanke, der bei LANE verfolgt wurde, war, ein verteiltes Bridging auf ATM zu realisieren und dabei die klassisch verbindungslose Funktionalität der Legacy-LANs mit Hilfe von funktionalen Servern auf die Verbindungsorientierung des ATM abzubilden.

Bridging bedeutet neben der Umsetzung von verschiedenen Medien-Zugriffsverfahren im Wesentlichen Routenfindung durch Filterung von flachen MAC-Adressen. Ein wichtiger Mechanismus des Bridging ist deshalb im konventionellen Netz das Versenden von Rundsendungen – sog. Broadcasts – zur Gewinnung von Topologieinformationen. Mit ihrer Hilfe und unter Auswertung von Absenderadressen der an den Bridge-Ports angeschlossenen Endsysteme durch die Brücke selbst, um später eine optimierte – gefilterte – Weiterleitung von Frames vornehmen zu können. Rundsendungen im ATM-Netz sind jedoch wegen der strikten Verbindungsorientierung nicht einfach möglich und müssen auf viele einzelne Sendungen umgesetzt werden.

LANE bedient sich zur Lösung dieser Umsetzproblematik gewinnvoll des Client-Server-Mechanismus:

- Jedes Endsystem wird im ATM-Netz durch einen sog. "LAN-Emulation-Client" – kurz LEC – vertreten. Dieser LEC ist entweder im Treiber für den NIC eines ATM-Endsystems implementiert oder er residiert für eine Gruppe von Legacy-LAN-Endsystemen im Edge-Device.

Die wesentliche Aufgabe des LEC ist es, das Endsystem im emulierten, gebridgten LAN – ELAN – zu registrieren und für den späteren Datentransfer die MAC-Adressen des Legacy-LANs ATM-seitig auf die 20 Bit langen ATM-Adressen umzusetzen.

- Die Tabellen zur Übersetzung zwischen MAC-Adressen und ATM-Adressen für die Mitglieder eines ELANs werden auf dem LES, dem "LAN-Emulation-Server" geführt. Er ist außerdem für den Aufbau von virtuellen Verbindungen für die Ende-zu-Ende-Kommunikation im ATM-Netz zuständig. Hierbei wird nach dem Schwellwertprinzip so verfahren, daß zunächst der Datentransfer zwischen zwei LECs auf einem Standard-VC über den LES geführt wird, solange, bis eine bestimmte Last erreicht wird. Danach wird zwischen den beiden LECs ein exklusiver VC signalisiert aufgebaut und für eine bestimmte Zeitdauer auch nach Unterschreiten der Schwelllast aufrecht erhalten. In diesem VC kommunizieren die LECs dann jedoch direkt und nicht mehr über den LES miteinander.
- Für die Registrierung eines LEC in einem ELAN und für das Führen einer Liste aller LES ist der "LAN-Emulation-Configuration-Server", kurz LECS, zuständig. Er führt außerdem eine Liste aller ggf. parallel betriebenen ELANs und ihrer Mitglieder, ist also für die Autorisierung der LECs im entsprechenden ELAN zuständig. Während der LES-Dienst in einer LANE-Umgebung mehrfach implementiert werden kann, ist der LECS pro LANE-Domäne einmalig. Er wird üblicherweise über eine festgelegte ATM-Adresse, die sogenannte "Well-Known-LECS-Address" (0x47-00.79-00-00.00.00-00.00-00.00-00.a0.3e.00.00.01-00), signalisiert angesprochen oder über einen (fest eingerichteten) PVC¹ auf VPI=0 und VCI=17² erreicht.
- Die dritte und letzte benötigte Server-Komponente bei der LANE ist der "Broadcast-and-Unknown-Server", BUS. Er kann ebenso wie der LES mehrfach in einer LANE-Domäne auftreten. Seine Aufgabe im ELAN ist es, alle an eine Broadcast-MAC-Adresse im Legacy-LAN (0xff.ff.ff.ff.ff) gerichteten Pakete ATM-seitig entgegenzunehmen und zu allen im ELAN registrierten LECs weiterzuleiten. Nach Möglichkeit geschieht diese Verteilung nicht über separat zu jedem einzelnen LEC aufgebaute SVCs³, sondern über Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen, die unter Verwendung nur eines (VPI, VCI)-Tupels Zellen an mehrere Ausgänge gleichzeitig ausliefern. In ähnlicher Weise nimmt der BUS auch Unicast-Pakete entgegen, die an bisher unbekannte MAC-Adressen gerichtet sind, und verteilt sie an alle LECs. Diese Situation kann sich insbesondere immer dann ergeben, wenn Endgeräte im Legacy-LAN hinter einem Edge-Device hinzukommen oder ihre Position verändern, denn im ELAN registriert wird nur der LEC des Edge-Devices, für die dahinter liegenden Endsysteme ist das LANE-Netz vollkommen transparent.

Knapp zusammengefaßt bestehen die Vorteile der ATMF-LANE-1.0 darin, daß es Bridging in das zuverlässige ATM-Netz bringt. Dies bedeutet einerseits, daß von den Endsystemen belie-

¹ Als PVC, Permanent Virtual Circuit, bezeichnet man Verbindungen, die über Management oder Konsolkonfiguration in einem ATM-Zwischensystem etabliert werden. Sie werden nicht durch Signalisierung beeinflusst und gelten daher vergleichsweise "permanent" bis zu ihrer manuellen Tilgung wiederum über Management oder Konsole.

² Zur Identifikation von virtuellen Verbindungen (VCs) im ATM benutzt man eine zweiteilige Kennung – ähnlich dem Prinzip von Vorwahl und Teilnehmeranschlußnummer bei der Telefonie. Der erste Teil, VPI – Virtual Path Identifier – identifiziert ein Bündel von virtuellen Verbindungen, der zweite Teil, VCI – Virtual Channel Identifier – im Bündel eine einzelne Ende-zu-Ende-Verbindung.

³ SVC steht im Gegensatz zu PVC, dem Permanent Virtual Circuit, für eine signalisiert aufgebaute Verbindung. Folgerichtig würde SVC als Akronym für "Signalled Virtual Circuit" stehen, wird jedoch inkonsequent meist als "Switched Virtual Circuit" ausgeschrieben, was den eigentlichen Sachverhalt verfälscht, denn auch PVCs werden in den Zwischensystemen "geswitcht".

biges Netzwerk- und Transportprotokolle genutzt werden können, da das Bridging ausschließlich auf Layer 2 nach ISO-OSI arbeitet, und daß das ATM-Netz für die angeschlossenen Endgeräte völlig transparent ist, andererseits können die Vorteile des verbindungsorientierten ATM-Netzes zu weiten Teilen an die Endsysteme weitergegeben werden. Insbesondere ist hierbei an die Bildung von VLANs zu denken; man spricht im LANE-Umfeld jedoch von ELANs, die auf dem selben physikalischen Netz vollkommen separiert voneinander betrieben werden können. Darüber hinaus ist auf die einfache Migration von Legacy-LAN-Endsystemen hin zu ATM-Endsystemen Zug-um-Zug hinzuweisen.

Nachteilig ist zu werten, daß grundsätzlich bei der ATMF-LANE-1.0 alle signalisiert aufgebauten VCs der Klasse UBR zugeordnet sind, was einen Teil der ATM-Vorzüge vereitelt. Insbesondere ist es hiermit nicht mehr möglich, QoS (Quality of Service, Dienstgüte) für Expedited-Data-Services, Realzeitdienste oder isochrone Dienste im ELAN zu gewährleisten. Immerhin bietet sich jedoch im Gegensatz zu Legacy-LANs und Gigabit-Ethernet als Koppelnetz, den benötigten QoS auf dem selben physikalischen ATM-Netz, auf dem auch LANE betrieben wird, in separate ATM-angeschlossene Systeme zu verlagern, die nicht am LANE-Geschehen teilhaben, sondern über Native-ATM unter Nutzung aller ATM-Vorzüge arbeiten. Des Weiteren können höhere QoS als im Legacy-LAN dadurch erreicht werden, daß auf die einfache Skalierbarkeit mit redundanten Wegen im ATM-Netz zurückgegriffen wird und letztlich können qualitativ anforderungsvolle Systeme in eigenen ELANs gekapselt und vom übrigen LANE-Betrieb abgeschottet betrieben werden.

5.2 Routing in der LANE-Umgebung

Ein großer Nachteil der LANE ist im Zusammenhang mit der Bridging-Philosophie zu sehen, die gerade für große Netze wegen ihrer Unstrukturiertheit und flachen Adressierung ungeeignet ist. Im Legacy-LAN-Bereich werden deshalb große Netze über Router partitioniert.

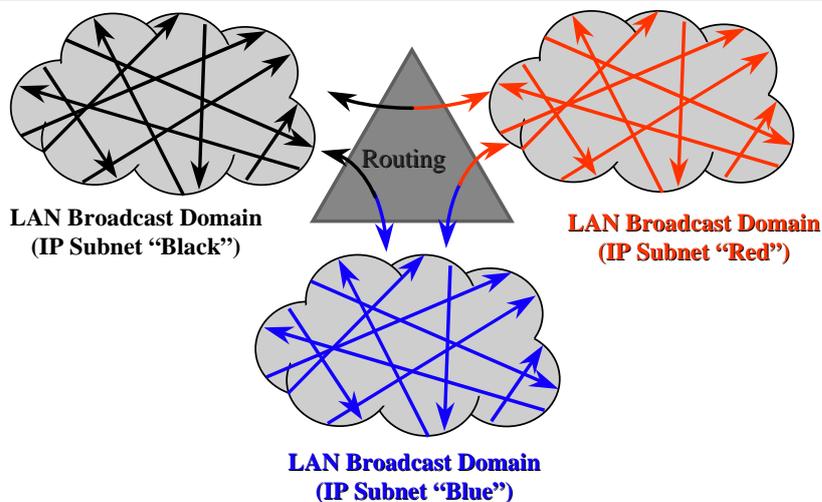


Abbildung 5: Prinzip des konventionellen Routings

Diesen Ansatz kann man ebenso in die LANE-Welt einbringen: Soll eine Gesamtheit von Endsystemen gruppiert werden, baut man entsprechend der Gruppierung ELANs auf, zwischen denen per Definition zunächst nicht kommuniziert werden kann. Die Kommunikation muß nun durch ein der logischen Layer-2-Strukturierung in ELANs künstlich übergestülptes, netzwerkprotokollabhängiges Layer-3-Routing nochmals aufgebaut werden.

Auf diese Weise kommen nun wieder spezialisierte Router als aktive Komponenten in das Netzwerk, das aufgrund der Verbindungsorientierung des ATM eigentlich schon geroutet ist. Wegen der geforderten Transparenz des ATM-Netzes kann jedoch die Routingeigenschaft nicht in die höheren Protokolle weitergereicht werden und muß dort separat und konventionell – z. B. auf der Basis von IP – erledigt werden.

Ein Router ist grundsätzlich so definiert, daß er zwischen zwei getrennten Netzen dadurch vermittelt, daß er in jedem Netz physikalisch ein Interface besitzt. Dieses physikalische Interface wird jedoch logisch in zwei Rollen betrieben: einerseits als Ausgang aus dem eigenen Netz, andererseits als Eingang in das jeweils andere Netz. Bewerkstelligt wird dies durch im Router – meist von Hand – eingetragene Pfade, eben die "Routen", für jede Richtung zwischen den Router-Ports und durch Angabe des jeweiligen Netzausgangs als sog. "Default-Gateway" in allen Endsystemen der Subnetze.

Das Konstrukt, was sich aus dem Routing zwischen ELANs konsequent ergibt, ist als "One-Armed-Router" bekannt und berüchtigt, stellt es schließlich einen eigentlich unnötigen Flaschenhals dar. Der Begriff "One-Armed-Router" rührt dabei aus der Tatsache, daß physikalisch nur ein Netz existiert und daß die Trennung in Subnetze bzw. ELANs⁴ allein logisch stattfindet. Der Router besitzt somit auch nur ein physikalisches Interface, das nur logisch als zu verschiedenen Subnetzen gehörig angesehen wird.

Als Folge daraus – deswegen die Bezeichnung Bottleneck – müssen alle auf dem einen physikalischen logisch zum ersten Subnetz gerechneten Interface eingehenden Frames⁵ auf dem selben physikalischen Interface, das nun aber logisch zum zweiten Subnetz gerechnet wird, den Router wieder verlassen. Die gesamte Leistungsfähigkeit des Interworking-Verkehrs hängt jetzt also nicht nur an der Leistungsfähigkeit des Routers sondern ganz wesentlich auch an der Leistungsfähigkeit des einen physikalischen Interfaces.

Von den Routern wird außerdem verlangt, daß es möglich ist, einen physikalischen Port in mehrere logische Netze zu legen und auf dem einen Port zu routen. Ist dies nicht möglich kann durch Belegung von zwei Router-Interfaces die mit zwei Ports an entweder ATM-Switches oder Edge-Devices angeschlossen werden, die "Einarmigkeit" in Richtung des konventionellen Routings entzerrt werden. Da es sich von der physikalischen Struktur her aber immer noch um ein Netz handelt, bleibt das grundsätzliche Phänomen des "One-Armed-Routers" erhalten.

6 Verteiltes Routing mit MPOA

6.1 Prinzip von MPOA

Der MPOA-Ansatz des Interworkings setzt genau an den Kritikpunkten des LANE-Routings – aufgesetztes Routen eines an sich schon gerouteten physikalischen Netzes – an und versucht en passant noch die Nachteile des Hubprinzips auszugleichen.

Allein unglücklich ist der Name dieses Ansatzes gewählt – "MPOA" oder "Multi-Protocol Over ATM" – der über das eigentliche Konzept des "Switched Virtual Routing" nichts aussagt, sondern nur das dabei verwendete Enkapsulationsverfahren benennt, das im gleichnamigen /RFC1483/ schon "seit Alters her" (genauer seit 1993) definiert ist.

In diesem Zusammenhang ist interessant, daß der Ansatz zwar für alle routbaren Protokolle – im wesentlichen IP, IPX und AppleTalk – konzipiert ist, daß in der Praxis (zumindest nach Auffassung des Autors) aber nur IP relevant ist.

Das verteilte Routing nach dem Standard /MPOA97/ baut auf der LANE auf und definiert das dort fehlende Routing auf dem physikalischen Netz mit Hilfe eines Client-Server-Paares, des "MPOA-Clients", MPC, und des entsprechenden "MPOA-Servers", MPS.

⁴ Subnetze auf Layer 3 und ELANs auf Layer 2, wobei beide Partitionierungen hinsichtlich der enthaltenen Endsysteme kongruent sein sollten, um ein fehlerfreies Funktionieren zu ermöglichen.

⁵ Wir haben hier nicht notwendigerweise Zellen, denn das Routing erfolgt in Layer 3, kann also sogar vollständig außerhalb des ATM-Netzes hinter einem Edge-Device geschehen.

Ferner werden die fortgeschrittenen Ansätze der "Internetworking Over NBMA Networks"⁶ (ION) Arbeitsgruppe innerhalb der IETF⁷ wie das "Next Hop Routing Protocol" (NHRP) und der "Multicast Address Resolution Server" (MARS) derart integriert, daß es mit MPOA möglich wird, ATM-VCCs⁸ über Subnetzgrenzen hinweg zu etablieren, ohne daß notwendigerweise ein Layer-3-Router im Datenpfad involviert sein muß. Als Slogan wird deshalb über "MPOA" gerne gesetzt: Routing ohne Router!

Letztendlich ist die Routingfunktionalität jedoch sehr wohl vorhanden, wird nur weitestgehend aus der Datenübertragung heraus in eine Vorberechnungsphase verschoben und in Refreshphasen aktualisiert. Dies geschieht für das gesamte MPOA-Netz an zentraler Stelle, im sogenannten "Routeserver", der in erweiterten Routingtabellen auch die ATM-Anschlüsse von Zielnetzen bzw. Endgeräten führt. Die im Routeserver vorgehaltene Routing-Information wird außerdem an alle Edge-Devices verteilt, die so eigenständig die subnetzübergreifenden VCCs etablieren können, ohne selbst Layer-3-Routerfunktionalität innehaben zu müssen; vielmehr genügt in den Edge-Devices die Routingfunktionalität des verbindungsorientierten ATM-Netzwerkes. Das Schlagwort, was diese prägende Eigenschaft des MPOA-Ansatzes widerspiegelt heißt entsprechend "Short-Cut-Routing".

Die Effektivität und Effizienz dieses Ansatzes hängt dabei stark von der Mobilität der Endsysteme ab. Die Aktualität der verteilten Routinginformation wird über einen Aging-Mechanismus gesichert, bei dem die beteiligten Edge-Devices standardmäßig etwa alle 120 s ihre lokalen Kopien der zentralen Routingtabelle verwerfen und sich neue Kopien vom Routeserver beschaffen. Dazwischen wird der Routeserver nur dann hinzugezogen, wenn eine Adressauflösung in einem dezentralen Device fehlschlägt. Auf diese Weise wird genau die Bottleneck-Eigenschaft des One-Armed-Routers vermieden, der zwangsläufig alle zwischen zwei Routing-Domänen auszutauschenden Pakete behandeln mußte.

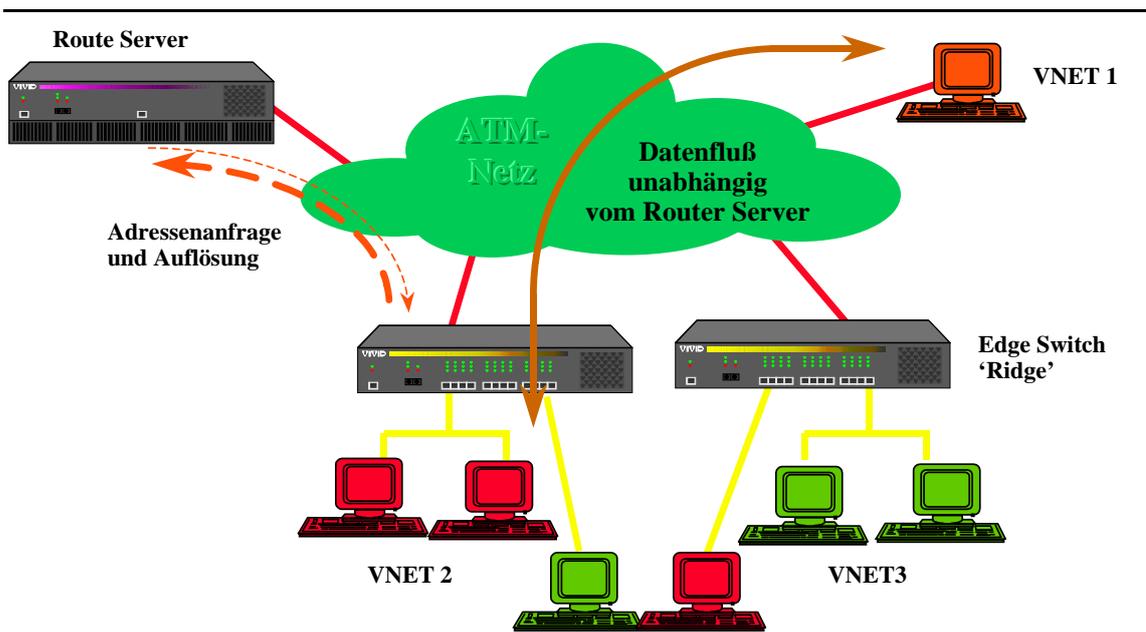


Abbildung 6: Funktionsprinzip von MPOA

Das MPOA-Konzept kann auch als offene Hub-Architektur betrachtet werden:

Ein konventioneller Hub bietet in einem Chassis

⁶ NBMA steht für "Non-Broadcast Multi-Access" und ist eine gebräuchliche Verallgemeinerung für ATM- und Frame-Relay-Netzwerke

⁷ IETF steht für "Internet Engineering Task Force", das Entwicklungsgremium für Internet-Standards.

⁸ VCC steht für Virtual Circuit Connection und bezeichnet eine durchgeschaltete PVC- oder SVC-Verbindung im ATM-Netz.

- eine proprietäre *Backplane* zum Datentransfer zwischen den
- im Chassis montierten *Anschlußkarten* für Endsysteme und
- eine oder mehrere *CPU-Karten* für die Bridging- und/oder Routingfunktionalität.

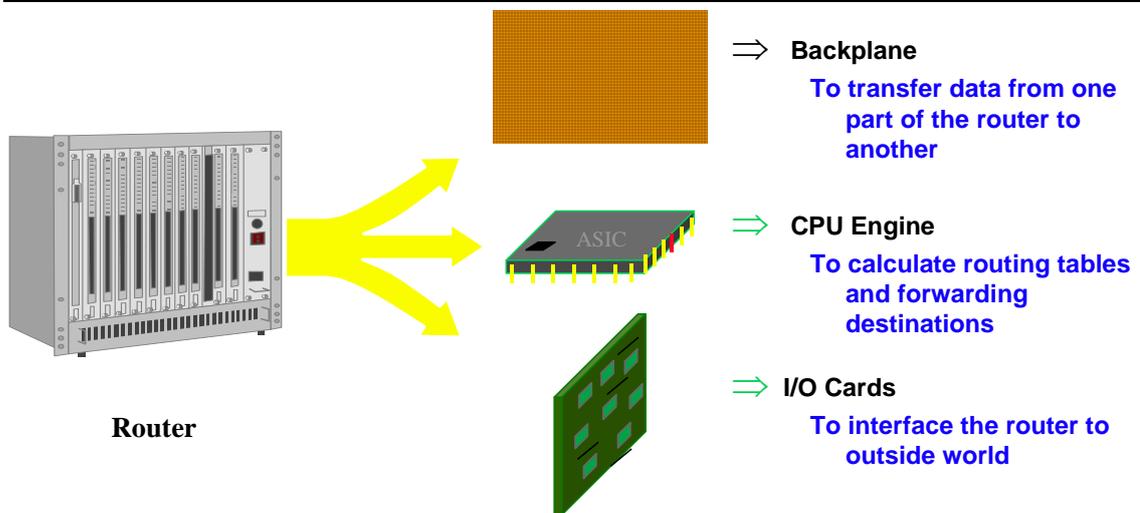


Abbildung 7: Konventionelle Hub-Architektur – Collapsed Backbone

Ebenso kann eine MPOA-Architektur betrachtet werden:

- Der Backplane entsprechen das passive ATM-Leitungsnetz und die reinen ATM-Switches (obwohl diese in erweiterter Funktionalität auch die Rolle von Anschlußkarten übernehmen können – und an welchem konventionellen Hub kann man schon Endgeräte direkt an der Backplane anschließen!).
- Die Rolle der Anschlußkarten wird von den Edgedevices in der MPOA-Architektur übernommen und
- die Bridging- und Routingintelligenz wird im Routeserver implementiert, wobei auch hier eine Erweiterung dadurch stattfindet, daß der Routeserver seine Informationen an die nun intelligenten Edge-Devices verteilt und nicht allein seine Leistungsfähigkeit für den Routingdurchsatz begrenzend wirkt.

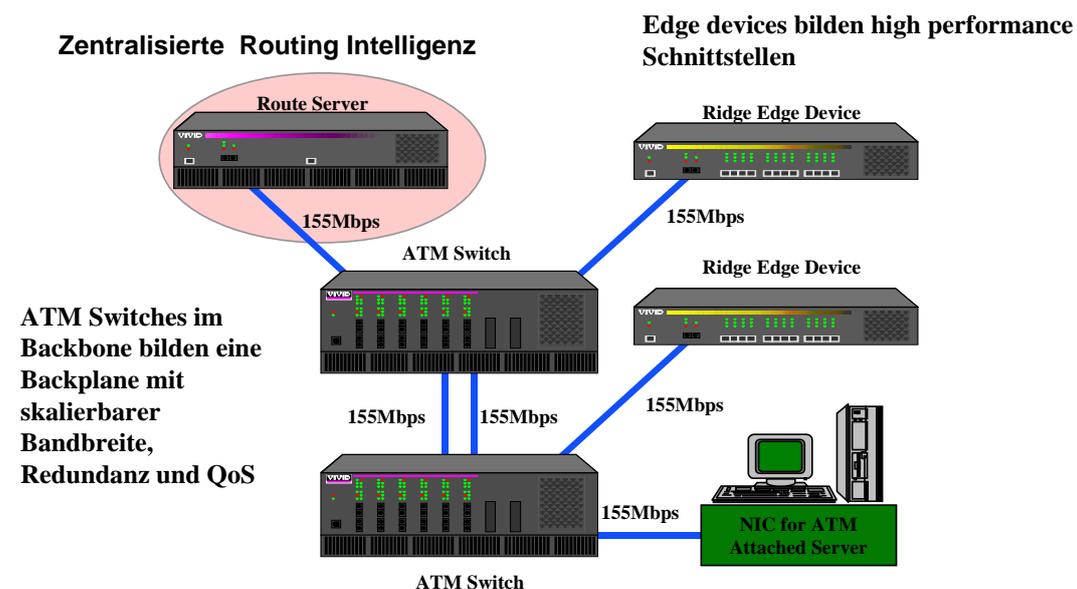


Abbildung 8: Virtuelle Router Architektur mit MPOA

Führt man diese Betrachtungsweise weiter, erkennt man rasch weitere Vorteile gegenüber dem konventionellen Hubprinzip:

- Die virtuelle Backplane ist nicht mehr länger proprietär implementiert, sondern bedient sich der physikalischen Standards im ATM. Sie wird dadurch besser berechenbar, wenn hohe Auslastungen erzielt werden müssen, und läßt sich insbesondere skalieren: reicht die Übertragungskapazität auf einem Abschnitt nicht aus, kann zunächst über redundante Links mit Load-Sharing eine Leistungssteigerung erzielt werden und zusätzlich durch Austauschen oder Hinzufügen von genormten Interfaces mit höherer Kapazität (z. B. von "oc3", 155 Mbps, über "zweimal oc3", 310 Mbps, oder "dreimal oc3", 465 Mbps, nach "oc12" mit 622 Mbps).
- Der Ausbau mit Anschlußports für Endgeräte wird nicht durch die Kapazität eines Chassis begrenzt, sondern kann beliebig durch Hinzufügen weiterer Edgedevices und ggf. ATM-Switches quasi unbegrenzt vorgenommen werden.
- Der Ausbau ist auch räumlich nicht begrenzt, denn über die normierte "ATM-Backplane" kann der "virtuelle Hub" auch über große Distanzen hinweg verteilt sein.
- Die Störanfälligkeit wird gegenüber einem konventionellen Hub erheblich reduziert, da jedes Gerät zumindest elektrisch eigenständig ist und dadurch bei Ausfall einer Komponente nur die daran angeschlossenen Endsysteme betroffen sind und nicht notwendigerweise das gesamte Netz. Der zentrale Routerserver kann – wie auch die CPU-Einheit in konventionellen Systemen – darüber hinaus redundant ausgelegt werden.

Schon allein aus den oben aufgeführten Gründen empfiehlt sich der Einsatz der MPOA-Architektur auch für kleinere Netze, in denen Bridging genügt.

Die vorhandenen Implementierungen von MPOA bieten heute noch wenig Unterstützung für QoS, da der Standard auf LANE und RFC1483 aufbaut und somit nur die Dienstklasse UBR über AAL5 zur Verfügung steht.

Proprietäre Erweiterungen sind jedoch vorhanden, die für Endsysteme direkt im ATM und zwischen Edge-Devices auch Unterstützung von CBR über AAL1 bieten. In dieser Hinsicht und vor allem in Hinsicht auf Interoperabilität zwischen Komponenten unterschiedlicher Hersteller muß die Entwicklung in der nächsten Zukunft vorangetrieben werden.

6.2 Beispiel: Short-Cut Routing

In diesem Abschnitt soll im Prinzip an zwei kleinen Beispielen das "Short-Cut-Routing" im MPOA-Netz gezeigt werden. Das zugrundeliegende Netz sei wie folgt beschaffen:

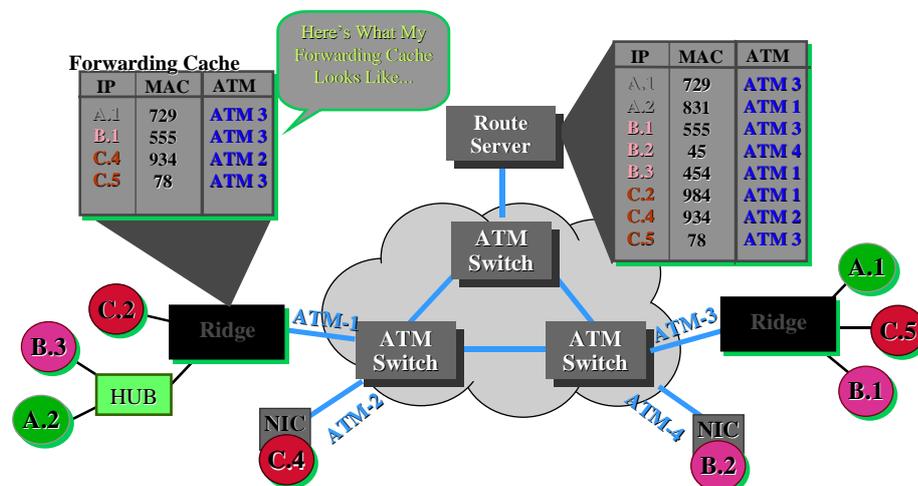


Abbildung 9: Zugrundeliegendes Netz und Forwarding-Tabellen

Im Beispiel möchte Knoten B.3 mit Knoten C.5 kommunizieren.

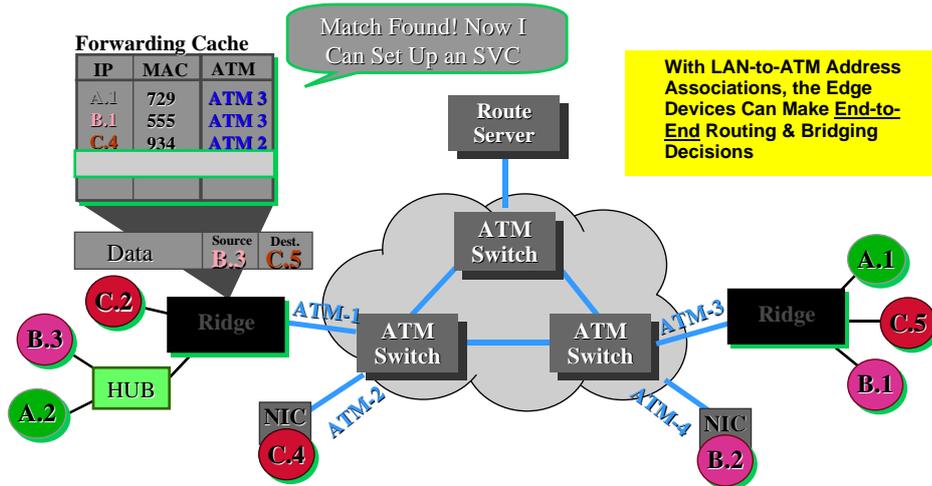


Abbildung 10: Aufbau eines "Cut-Through-Pfades" aufgrund lokaler Information

Die Wegewahl kann aufgrund lokal vorhandener Informationen des linken Edgedevices ohne Einschalten des Routerservers stattfinden:

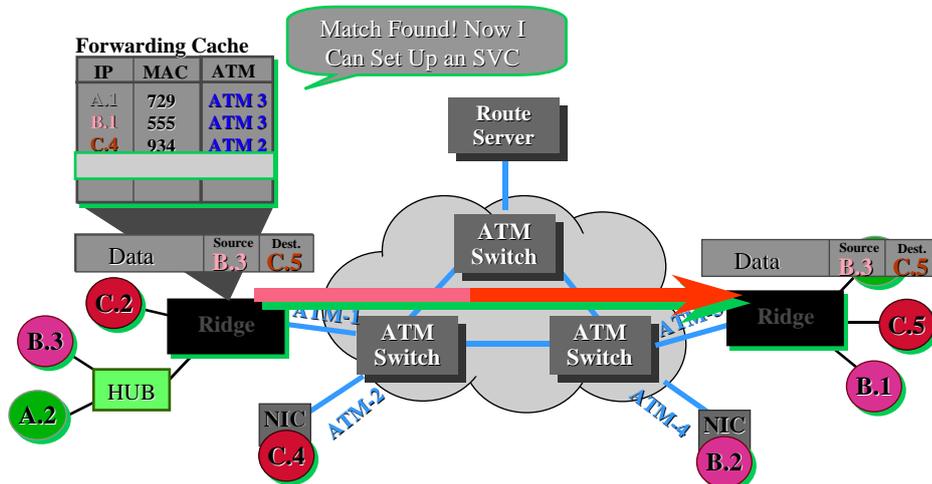


Abbildung 11: Cut-Through-Kommunikation

Im zweiten Beispiel soll eine Kommunikation zwischen Knoten A.2 und B.2 stattfinden.

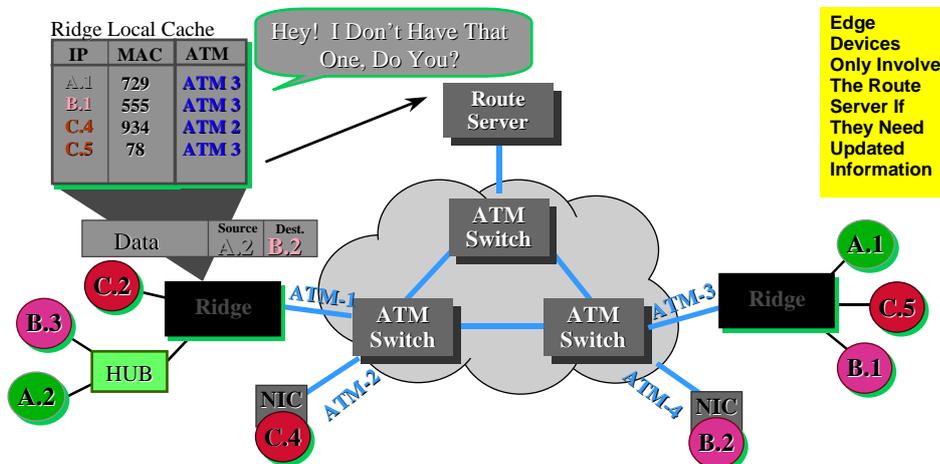


Abbildung 12: Die Wegewahl kann nicht aufgrund lokaler Information im Edgedevice stattfinden

Da die lokale Routinginformation im Edgedevice, an dem Knoten A.2 angeschlossen ist, nicht ausreicht, wird der Routerserver involviert.

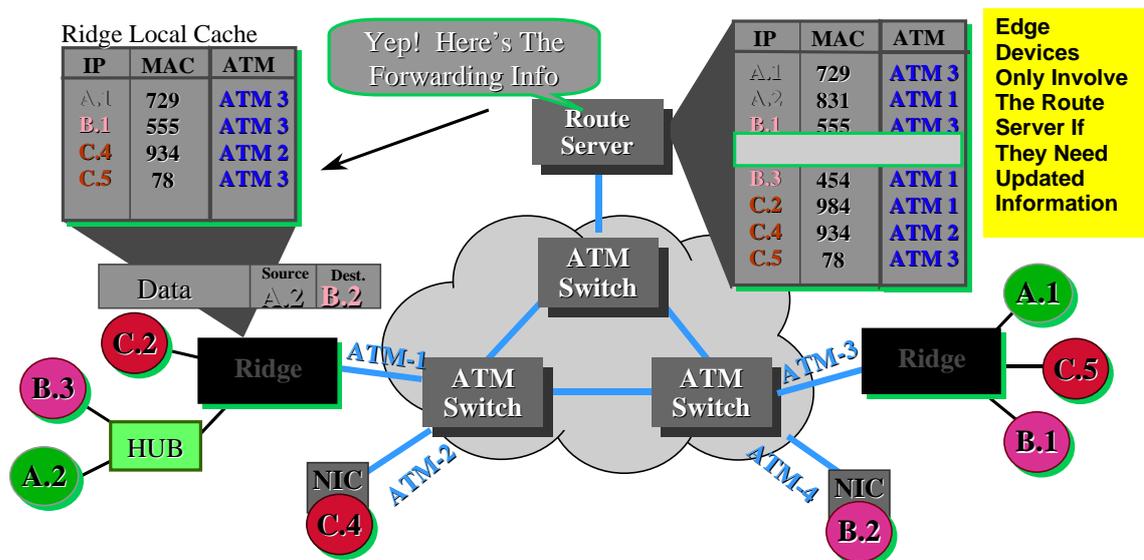


Abbildung 13: Die fehlende Information wird vom Routerserver geliefert

Nun kann in bekannter Weise ein Cut-Through-Pfad aufgebaut werden.

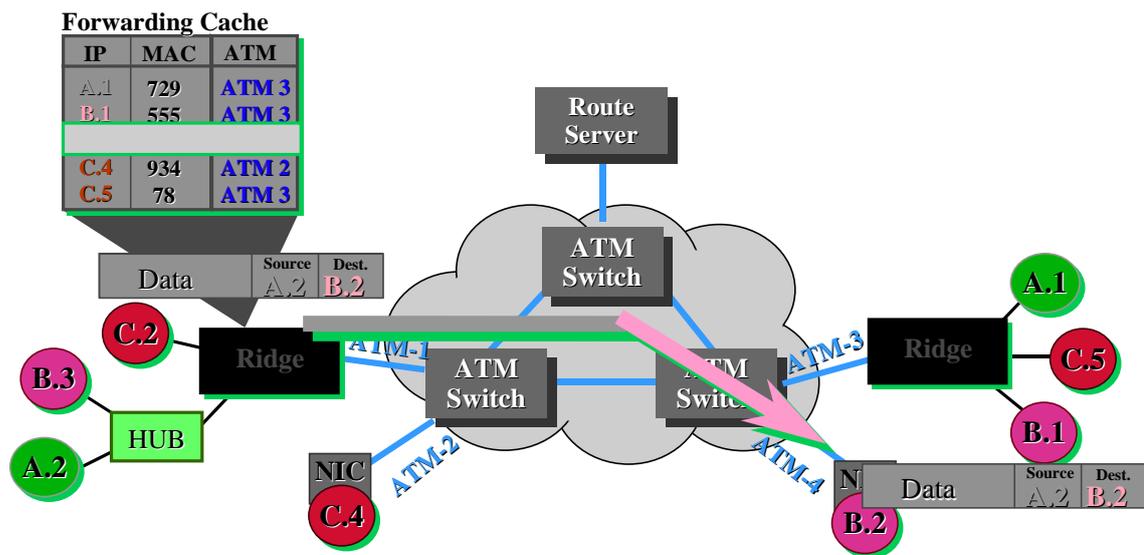


Abbildung 14: Ein Cut-Through-Pfad wird etabliert

7 MPOA-Lösung am IAI

Auch nach der Netzerweiterung von 1993/94 am IAI war 1998 eine neuerliche Erweiterung notwendig. Einerseits waren inzwischen alle Ports des damals eingeführten Hubs belegt, andererseits sollte auch der mittlerweile stark ausgeprägten Arbeitsgruppenstruktur dadurch Rechnung getragen werden, daß sich der intensive Datenverkehr innerhalb der einzelnen Arbeitsgruppen möglichst wenig gegenseitig beeinflusst.

Zudem war mittlerweile das Konzept des "virtuellen Hubs", der sich in Zukunft quasi unbegrenzt erweitern läßt und dessen Backplane beliebig skalierbar ist, als wünschenswerte Lösung erkannt worden. Deshalb wurde kein weiterer Hub angeschafft sondern eine MPOA-Lösung, in die sich die vorhandenen aktiven Komponenten zumindest mittelfristig optimal integrieren lassen.

Begünstigend kam hinzu, daß am Institut nur noch IP als Netzwerkprotokoll auftritt, bzw., daß die verbleibenden, wenigen Endsysteme mit nicht routbaren Protokollen als separate Insel betrieben werden können.

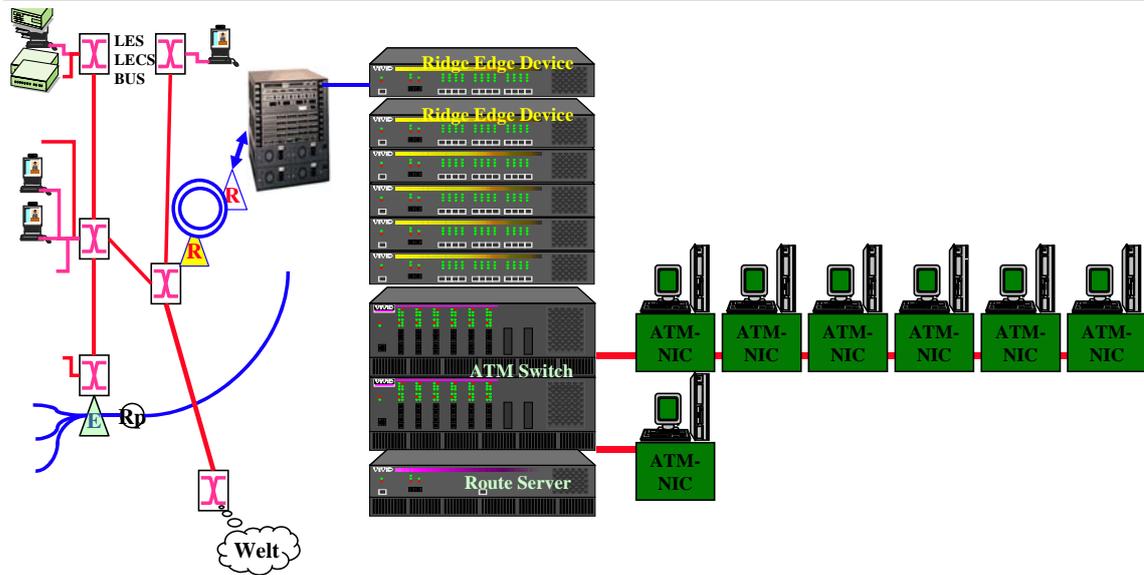


Abbildung 15: Realisiertes MPOA-Netz am IAI

Bemerkenswert mag noch sein, daß alle Anschlußports an den aktiven Komponenten im Gegensatz zum vorherigen Ausbau nicht mehr in Glasfasertechnik realisiert wurden, sondern in Kupfertechnik. Die Umsetzung auf Glasfaser erfolgt mit separaten, modularen Komponenten, weil dies einerseits flexibler, insbesondere aber ökonomischer auszuführen war.

Anfängliche Bedenken wegen der eingeschränkten "Backplane-Kapazität" (eingesetzt werden derzeit ausschließlich oc3c-Links von 155 Mbps Bruttokapazität) konnten durch überlegtes Auflegen der Endgeräte auf die Edgedevices ausgeräumt werden.

Bei einer Zahl von ca. 250 Endsystemen ist Routing innerhalb des Instituts zwar noch nicht notwendig, wurde jedoch hinsichtlich der gewünschten Abschottung der Arbeitsgruppen voneinander von vornherein eingeplant.

Dazu werden die zugeteilten zwei Subnetze 141.52.44.0 und 141.52.45.0, die bislang über die Netzmaske 255.255.254.0 quasi "flachgeklopft" wurden, also als eine Broadcastdomain funktierten, nun mit einer Subnetzmaske 255.255.255.192 weiter partitioniert. Die dabei neu entstehenden acht Subnetze können nun den Abteilungen und Arbeitsgruppen zugeordnet werden, die damit über jeweils maximal 62 Endsysteme verfügen können. So kann innerhalb der Arbeitsgruppen gebridget werden, jedoch schon der (geringe) Verkehr zwischen den Arbeitsgruppen wird filternd geroutet.

Neben der Umstellung, sprich Neuvergabe, der IP-Adressen bleibt am Institut noch die Integration des "alten Hubs" auf der Basis von MPOA zu tun. Bislang ist er an einem 100 Mbps Fast-Ethernet-Port eines MPOA-Edge-Devices angeschlossen.

Außerdem soll in nächster Zukunft die Anbindung an den FZK-Backbone und in die Welt des INTERNETs nicht mehr über FDDI, sondern mit höherer Qualität über ATM realisiert werden.

8 Literatur

- /HoNe95/ Holler, Elmar; Neck, Torsten. An ATM-Based Local Communication System for Telesurgery. In: Interactive Technology and the New Paradigm for Healthcare. IOS Press, Washington DC, 1995.

-
- /HoNe96/ Holler, Elmar; Neck, Torsten. Netzwerke für Multimedia-Anwendungen. In: Nachrichten, Jahrgang 28, 2-3/96. Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe, 1996.
- /LANE95/ The ATM Forum, Technical Committee. LAN Emulation Specification Version 1. The ATM Forum, Mountain View, California, 1995.
- /LANE97/ The ATM Forum, Technical Committee. LAN Emulation Over ATM Version 2. The ATM Forum, Mountain View, California, 1997.
- /MPOA97/ The ATM Forum, Technical Committee. Multi-Protocol Over ATM Version 1.0. The ATM Forum, Mountain View, California, July 1997.
- /Neck98a/ Neck, Torsten. ATM basierte Multimedia-Kollaboration im Forschungszentrum Karlsruhe. Fünfte nationale User-Conference des ATM-Forums, Karlsruhe, 13. Oktober 1998.
- /Neck98b/ Neck, Torsten. Resilient Networks for Telesurgical Applications. Proceedings der Tagung "Surgery Meets High Tech in the Information Age", 4th International Congress of the Association Européenne de Chirurgie Viscérale, München, 9.-12. Dezember 1998.
- /NeMa98/ Neck, Torsten; Maihack, Stefan; Düpmeier, Clemens. Netzausbau auf MPOA Switched Virtual Routing. Sechster Netzwerktreff der Firma CONWARE Netzpartner GmbH, Karlsruhe, 11. August 1998.
- /RFC0791/ Network Working Group, Request for Comments 791: Internet Protocol. J. Postel, September 1981.
- /RFC1483/ Network Working Group, Request for Comments 1483: Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaption Layer 5. Juha Heinanen, Telecom Finland, July 1993.
- /RFC1577/ Network Working Group, Request for Comments 1577: Classical IP and ARP over ATM. M. Laubach, Hewlett-Packard Laboratories, January 1994.
- /ZiSc95/ Zitterbart, Martina; Schmidt, Claudia. Internetworking: Brücken, Router und Co. International Thomson Publishing Company, Bonn, 1995.