Entwicklung von Praktikumsaufgaben auf Basis des ATM-Testbeds für das Rechnernetzepraktikum

von
Mark Schenkl

INSTITUT FÜR INFORMATIK
TECHNISCHE UNIVERSITÄT MÜNCHEN

DIPLOMARBEIT

Aufgabensteller:	Prof. Hegering
Betreuer:	Boris Gruschke
	Gerald Vogt
	Norbert Wienold
Abgabedatum:	15. Mai 1999

Ich versichere, dass ich diese Diplomarbeit selbstständig verfasst und nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

München, den 15. Mai 1999

Mark Schenkl

Zusammenfassung

Entwicklung von Praktikumsaufgaben auf Basis des ATM-Testbeds für das Rechnernetze-Praktikum

von

Mark Schenkl

Informatikstudent der TU-München

Der Lehrstuhl Rechnernetze bietet seit einigen Jahren ein Wahlpflichtpraktikum für Studenten im Hauptstudium mit dem Titel “Rechnernetze” an. Ein Thema dieses Praktikums lautet “WAN am Beispiel von X.25”. Die Aufgabe dieser Diplomarbeit war es, diesen Teil durch eine geeignete modernere Aufgabenstellung zu ersetzen. Diese neue Aufgabenstellung trägt den Titel: “LAN/WAN am Beispiel von ATM”.
Besonderes Augenmerk wurde darauf gelegt, möglichst allgemeine Aspekte und Prinzipien der Weitverkehrskommunikation zu betrachten und einen Bezug zu dem in der Vorlesung [RNI] und [RNII] vermittelten Stoff herzustellen. Darüber hinaus wurden aber auch spezielle Fähigkeiten (Verkehrsmanagement, Multiservice-Tauglichkeit etc.) von ATM-Netzen berücksichtigt. Einen weiteren Schwerpunkt bilden verschiedene IPoA-Verfahren (IP over ATM). Das Ergebnis sind drei Aufgabenkomplexe zu den Themen ATM-Grundlagen, CLIP und LANE/VLANs.
Einige Themen (z.B. MPOA, MPLS, FAST, Routing in ATM-Netzen) werden in dieser Arbeit zwar kurz aufgegriffen, sind aber aus verschiedenen Gründen (Komplexität, keine Standardisierung etc.) nicht oder nur teilweise in die Aufgabenstellung eingegangen. Das größte Hindernis bei der Umsetzung neuer technologischer Entwicklungen in Praktikumsversuche war, dass die dafür notwendigen Komponenten (z.B. MPOA-fähige Software etc.) nicht zur Verfügung standen.

Inhaltsverzeichnis

KAPITEL 1: Einleitung 1

1.1 Das Rechnernetze-Praktikum 1
1.1.1 Versuchsreihe 1: Ethernet 1
1.1.2 Versuchsreihe 2: Netzmanagement 1
1.1.3 Versuchsreihe 3: X.25 2
1.2 ATM als X.25 Nachfolger 2
1.2.1 Evolution der Paketvermittlung 2
1.2.2 ATM als Praktikumsnachfolger von X.25 4
1.3 Aufgabenbeschreibung 5
1.4 Vorgehensweise 5
1.5 Aufbau der Ausarbeitung 6
1.6 Das Versuchsnetz 6
1.6.1 Die Konfiguration des IP-Subnetzes 8
1.6.2 Die Konfiguration des NT-PCs 9
1.6.3 Die Konfiguration der UNIX-Workstations 10
1.6.4 Die Konfiguration der restlichen Komponenten 11

KAPITEL 2: Vorüberlegungen 14

2.1 Anforderungen an die neuen Aufgaben 14
2.2 Einteilung der Aufgaben 15
2.3 Feedback, Fragebögen 17
2.4 Warum ATM-Forum als Schwerpunkt und nicht ITU-T? 17
2.5 Warum keine Aufgaben zum ATM-Routing? 18
2.6 Weitere nicht in das Praktikum aufgenommene Themen 20

KAPITEL 3: Die Realisierung der Versuche 22

3.1 Erläuterungen zu den folgenden Kapiteln 22
3.2 ATM-Grundlagen 22
3.2.1 Multiplexverfahren 23
3.2.2 Vermittlungsarten und Verbindungen 23
3.2.3 Software für Netze 24
3.2.4 Zellen und virtuelle Kanäle 24
3.2.5 Einführungsversuche 25
3.2.6 Schalten eines PVC 25
3.2.7 Signalisierung 26
3.3 Der ATM Adaption Layer und Classical IP over ATM 31
3.3.1 Quality of Service (QoS) und AAL 31
3.3.2 Effizienz Zellen vs. Pakete 34
3.3.3 Emulation des Internetprotokolls 35
3.3.4 Overhead von IP-Verkehr in ATM-Netzen 36
3.3.5 Effizienzvergleich CLIP-LANE-Ethernet 37
3.3.6 Funktionsweise von CLIP 38
3.3.7 Internetworking 40
3.4 LANE und VLANs 43

3.4.1 Die LAN-Emulation (LANE) . . . 43
3.4.2 MultiProtocol Over ATM (MPOA) . . . 48
3.4.3 Point-to-Multipoint-SVC . . . 50

KAPITEL 4: Schluss . . . 51

4.1 Zusammenfassung . . . 51
4.2 Ausblick . . . 51
4.2.1 Routing in ATM-Netzen (PNNI) . . . 52
4.2.2 FAST – Framed ATM over SONET/SDH Transport . . . 52
4.2.3 MPLS im Praktikum . . . 52
4.2.4 Zell-Interleaving in ATM-Netzen . . . 53
4.2.5 Videokonferenzen . . . 53
4.2.6 IP over SONET/SDH . . . 53
4.3 Schlusswort . . . 54

ANHANG A: MPLS – MultiProtocol Label Switching . . . A-1

A.1 MPLS-Grundlagen . . . A-1
A.2 MPLS in ATM-Netzen . . . A-3
A.3 VCID – Virtual Connection Identifier . . . A-4
A.4 Label-Merge . . . A-5

ANHANG B: Praktikumsaufgaben . . . B-1

ANHANG C: Skripten und Konfigurationsdateien . . . C-1

ANHANG D: Umfrage . . . D-1

Index über die Aufgaben . . . I-1

Literaturverzeichnis . . . L-1

Abbildungsverzeichnis

KAPITEL 1: Einleitung 1

Abbildung 1-1. Evolution der Paketvermittlung [Quelle: IT Management Ausgabe 2/99] 3
Abbildung 1-2. ATM-Praktikumsnetz 7

KAPITEL 2: Vorüberlegungen 14

Abbildung 2-1. Beispiel für die logische Hierarchie eines PNNI-Netzes; Quelle [PNNI V1] . . 19

KAPITEL 3: Die Realisierung der Versuche 22

Abbildung 3-1. UNI-Signalisierung nach ITU-T und ATM-Forum (Schichtenmodell) 27
Abbildung 3-2. NNI-Signalisierung nach ITU-T und ATM-Forum (Schichtenmodell) 28
Abbildung 3-2. Die Metasignalisierung wird innerhalb der ATM-Schicht abgewickelt 28
Abbildung 3-3. UNI-Signalisierung für eine einfache B-ISDN-Verbindung 30
Abbildung 3-4. Die fünf Dienstklassen des ATM-Forums nach [TMS V4] 32
Abbildung 3-5. CLIP-Protokollstack 36
Abbildung 3-6. IP over ATM: Schichtenmodell nach [RFC 1483] 39
Abbildung 3-7. Aufbau des Internetworking-Versuchs 40
Abbildung 3-8. Vergleich Ethernet-Frame (DIX V2.0) vs. LANE-Ethernet-Frame 48
Abbildung 3-9. Mögliche Konfiguration eines MPOA-Versuchs 49

KAPITEL 4: Schluss 51

Abbildung 4-1. Protokollstack mit den Möglichkeiten zukünftiger (IP-) Netze. 54

ANHANG A: MPLS – MultiProtocol Label Switching A-1

Abbildung A-1. Unsolicited-Downstream (a) vs. Downstream-on-Demand (b) A-2
Abbildung A-2. Aufbau des MPLS-Label-Stack A-3
Abbildung A-3. MPLS in einem ATM-Netz. A-4
Abbildung A-4. VCID-Zuweisung A-5
Abbildung A-5. VC-Merge A-5
Abbildung A-6. Interleaving-Probleme bei VC-Merge A-6

Tabellenverzeichnis

KAPITEL 1: Einleitung 1

Tabelle 1-1. Alte Versuchseinteilung 1
Tabelle 1-2. Neue Versuchseinteilung 4
Tabelle 1-3. Vergleich ATM vs. X.25 4
Tabelle 1-4. Vergleich zwischen SONET- und SDH-Übertragungsraten (Auszug) 8

KAPITEL 2: Vorüberlegungen 14

Tabelle 2-1. Erste vorgeschlagene Struktur 15
Tabelle 2-2. Aufteilung der Versuche auf die Nachmittage 16

KAPITEL 3: Die Realisierung der Versuche 22

Tabelle 3-1. Ursprüngliches (inzwischen überholtes) Design der AAL-Dienstklassen 31
Tabelle 3-2. Verkehrsparameter der ATM-Dienstklassen [TMS V4, Seite 6] 33
Tabelle 3-3. Ergebnisse einer Netperf-Messung 38

KAPITEL 4: Schluss 51

Tabelle 4-1. Alte vs. zukünftige Einteilung der Praktikumsversuche 51

ANHANG A: MPLS – MultiProtocol Label Switching A-1

Tabelle A-1. Gegenüberstellung MPOA vs. MPLS A-6

ANHANG D: Umfrage D-1

Tabelle D-1. Durchschnittsbewertung der Aufgaben (Gruppe A) D-2
Tabelle D-2. Durchschnittsbewertung der Aufgaben (Gruppe B) D-2
Tabelle D-3. Durchschnittliche Dauer pro Nachmittag (Gruppe A) D-2
Tabelle D-4. Durchschnittliche Dauer pro Nachmittag (Gruppe B) D-2

1 Einleitung

1.1 Das Rechnernetze-Praktikum

Das Praktikum Rechnernetze ist ein Wahlpflichtpraktikum aus dem Bereich der Technischen Informatik an der TUM bzw. der Systemnahen und Technischen Informatik an der LMU und richtet sich an Studenten im Hauptstudium. Ziel des Praktikums ist es, ausgewählte Fragestellungen aus dem Bereich der lokalen Netze und der Weitverkehrsnetze zu behandeln. Den Schwerpunkt des Praktikums bilden dabei die unteren Schichten, die für die eigentliche Übertragung der Daten verantwortlich sind. Das Praktikum ist in drei Themenblöcke aufgeteilt, jeder Block besteht aus drei einführenden Theorieveranstaltungen mit dazugehörigen Praktikumsnachmittagen (siehe Tabelle 1-1). Für die Versuchsnachmittage werden die Studenten in Gruppen aus je drei bis vier Personen aufgeteilt, am Theorienachmittag nehmen dagegen alle gemeinsam teil.

Ethernet			**Netzmanagement**			**X.25**		
Grundlagen	Segmentierung	PC-Netze	NM-Plattformen	Komponentenmanagement	Protokollanalyse	V.24 Modems	Sicherungsprotokolle	Vermittlung in X.25

Tabelle 1-1. Alte Versuchseinteilung

1.1.1 Versuchsreihe 1: Ethernet

Die erste Versuchsreihe befasst sich mit dem Thema “LANs am Beispiel von Ethernet”[1]. Dabei werden Themen wie Vielfachzugriffsprotokolle, Kodierungsverfahren, physische Schnittstellen, Paketanalyse, Protokollfilter, Subnetzbildung und PC-Netze behandelt. Für die Praxisversuche stehen mehrere Ethernet-Netze (10BaseT und 10Base5) und ein Oszilloskop zur Verfügung.

1.1.2 Versuchsreihe 2: Netzmanagement

Der Titel der zweiten Versuchsreihe lautet “Netzmanagement am Beispiel von HP OpenView”[1]. Sie beginnt mit einer Einführung in die Welt des Netzmanagements. Behandelt werden Themen wie MIB-Variablen, Viewbildung und Eventverarbeitung. Insbesondere wird auf die Unterschiede zwischen OSI- und Internet-Management eingegangen. Die Praxisversuche werden mittels einer “HP OpenView”-Installation durchgeführt. Dazu gehört das Erstellen einer Netzbeschreibung, die Konfiguration von Netzkomponenten und das Auslesen von MIB-Variablen. Am dritten Versuchsnachmittag wird hier eine Protokollanalyse vorgenommen, in welcher der im Praktikumsnetz auftretende Protokoll-

1. Originaltitel der Praktikumsunterlagen

stack (es handelt sich um Ethernet- (gemäß DIX V2.0 siehe [HEGERINGII, Seite 56]), und TCP/IP-Verkehr) behandelt wird.

1.1.3 Versuchsreihe 3: X.25

Der X.25-Protokollstandard wurde in den siebziger Jahren von der ITU-T (damals CCITT) entwickelt, um eine Schnittstelle zwischen öffentlichen und privaten paketvermittelnden Netzen herzustellen [TANENBAUM, Seite 76]. Sein Haupteinsatzbereich liegt in der Weitverkehrskommunikation. Der X.25-Protokollstack wurde zwar vor dem OSI-Referenzmodell entworfen, da sich das OSI-Referenzmodell aber an X.25 orientiert, eignete sich letzteres sehr gut als Lehrmodell.

Die letzte Versuchsreihe behandelt die in der Weitverkehrskommunikation zum Einsatz kommenden Übertragungs- und Vermittlungstechniken und trägt den Titel “WANs am Beispiel von X.25”[1]. Es werden die ersten drei Schichten des OSI-Referenzmodells am Beispiel von X.25 behandelt und zwar an jedem Versuchsnachmittag, beginnend mit Schicht 1, eine Schicht.
Der erste Versuchsnachmittag beschäftigt sich mit der Modem- und Nullmodemkommunikation (nach V.24), der zweite behandelt das HDLC- (*High Level Data Link-*) Protokoll[2], am letzten Nachmittag wird schließlich die Vermittlungsschicht von X.25 behandelt, dass eigentliche X.25-PLP (*Packet Layer Protocol*). Wie man sieht, wurde damals eine gut strukturierte Aufteilung der einzelnen OSI-Schichten auf die Versuchsnachmittage gefunden. Der Student wird bei diesem “Streifzug durch die Schichten 1-3” des OSI-Referenzmodells mit den wichtigsten Begriffen und Techniken aus der Welt der Weitverkehrsnetze konfrontiert.

1.2 ATM als X.25 Nachfolger

1.2.1 Evolution der Paketvermittlung

Die Notwendigkeit der Datenkommunikation entstand bereits Ende der 50er Jahre. Damals konnten die Daten nur mittels *Leitungsvermittlung* über das analoge Telefonnetz übermittelt werden. Bei der Leitungsvermittlung werden zwei Daten-Endeinrichtungen quasi[3] direkt über eine physische Leitung verbunden. Diese Verbindung steht den Kommunikationspartner (exklusiv) zur Verfügung, ob sie nun Daten übertragen oder nicht. Die Leitungsvermittlung ist ein ideales Verfahren für die Sprachübertragung und wird beispielsweise bei ISDN verwendet. Sie führt aber bei nur “gelegentlichem” oder ”burst-artigem” Datenverkehr zu einer schlechten Ressourcennutzung und damit zu einem ungünstigen Preis-Leistungsverhältnis.

Mitte der 70er Jahre wurde mit der *Paketvermittlung (Packet Switching)* ein speziell an die Bedürfnisse der (damaligen) Datenkommunikation angepasstes Verfahren eingesetzt. Bei der Paketvermittlung wird jeder zu übertragende Datenstrom in kleinere Datenblöcke, sogenannte *Datenpakete,* aufgeteilt, die als vollständige Einheiten vom Sender zum Emp-

2. Genauer gesagt verwendet X.25 auf Schicht 2 die HDLC-Variante LAP-B (*Link Access Procedure B)*.

3. In den 60ern kam der Einsatz von Multiplextechniken auf Leitungsebene hinzu.

fänger transportiert werden. Bei diesem Verfahren, auch als *Store and Forward* bezeichnet, können die beiden miteinander kommunizierenden Endsysteme mit unterschiedlichen Übertragungsraten arbeiten. Die Konzepte für die Übermittlung von Daten in Form von Paketen und für den Aufbau entsprechender Netze sind in den *X.25-Standards* der International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector (ITU-T) definiert, daher hat sich für diese Netze der Begriff *X.25* (DATEX-P im Telekom-Jargon) eingebürgert. In X.25-Netzen können die Pakete variable Längen haben. Bei der Übertragung wird die Fehlerkontrolle für jeden Leitungsabschnitt realisiert. Die fehlerhaften Pakete werden in den Netzknoten verworfen, und es wird eine negative Quittung an die Sendeseite verschickt. Insbesondere aufgrund dieser aufwendigen Fehlerkorrekturmaßnahmen ist X.25 für den Einsatz in Netzen mit hohen Bitraten ungeeignet. Die maximale Übertragungsrate in X.25-Netzen beträgt 64 KBit/s.

Ende der 80er Jahre kamen vermehrt sogenannte *Frame-Relay*-Netze auf den Markt. *Frame Relay* ist ein Konzept für schnelle Paketvermittlung. Die Länge der übertragenen Datenblöcke (Frames) kann ebenfalls variabel sein, allerdings wird auf das Versenden von Quittierungsnachrichten verzichtet. In jedem Netzknoten werden die empfangenen Daten lediglich auf Übertragungsfehler geprüft. Damit wird die eigentliche Überprüfung der Übertragungssicherheit den höheren Protokollen (zum Beispiel TCP) in den Endsystemen überlassen. Durch den Verzicht auf die Quittungen werden die Netzknoten entlastet. Mit *Frame Relay* lassen sich Übertragungsraten von 2MBit/s und mehr realisieren.

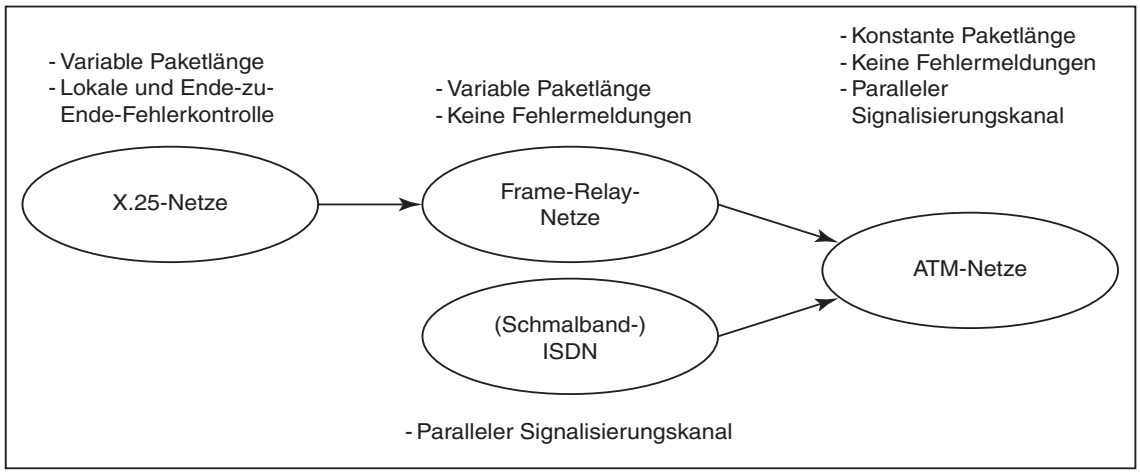

Abbildung 1-1. Evolution der Paketvermittlung [Quelle: IT Management Ausgabe 2/99]

Das *ATM-Konzept* hat seine Wurzeln im Frame Relay und in der ISDN-Technik (siehe Abbildung 1-1). In ATM-Netzen werden die Daten in Form von Paketen konstanter Länge übertragen. Diese Pakete werden *Zellen* genannt. Da ATM speziell für die Übertragung auf störungssicheren – im Vergleich zur herkömmlichen Kupfertechnologie – Glasfaserkabeln konzipiert wurde, konnte auf aufwendige Fehlerkorrekturmechanismen weitgehend verzichtet werden. In den Netzknoten wird nur der *Zellen-Kopf* auf Übertragungsfehler untersucht. Die Zellen mit nicht korrigierbaren Header-Bitfehlern werden in den Netzknoten verworfen, die Quell- bzw. Endsysteme werden nicht informiert, dass Daten verlorengegangen sind. Aufgrund des relativ einfachen Schemas nach dem ATM-Vermittlungsstellen arbeiten sind damit derzeit Übertragungsraten (mittels WDM) von bis zu 9,6GBit/s möglich.

1.2.2 ATM als Praktikumsnachfolger von X.25

Da der X.25-Protokollstandard nun schon in sein drittes Jahrzehnt kommt und technologisch wie auch in seiner Verbreitung von neueren Kommunikationsverfahren abgelöst wurde, hat man sich am Lehrstuhl Prof. Hegering schon vor einiger Zeit Gedanken über einen möglichen Nachfolger des WAN – X.25 Versuchs gemacht. Die Wahl[4] fiel dabei auf den *Asynchronous Transfer Mode* (ATM).

Ethernet			**Netzmanagement**			**ATM**		
Grundlagen	Segmentierung	PC-Netze	NM-Plattformen	Komponentenmanagement	Protokollanalyse	Grundlagen	AAL CLIP	LANE VLANs

Tabelle 1-2. Neue Versuchseinteilung

Wie im vorherigen Kapitel gesehen, kann ATM als evolutionärer Nachfolger der X.25-Technologie angesehen werden. Darüber hinaus sprachen auch “technischere” Gründe für die Entscheidung zugunsten von ATM:

Merkmal	**X.25**	**ATM**
Paketvermittelnd	Ja	Ja (Zellvermittelnd)
Verbindungsorientiert	Ja	Ja
Virtuelle Kanäle	Ja	Ja
WAN-Protokoll	Ja	Ja
OSI-Schichtenmodell	Sehr gute Übereinstimmung	Eigenes (3D) Schichtenmodell
Sicherung Nutzlast	Ja	Nein
Sicherung Header	Ja	Ja
Delay-Jitter Garantie	Nein	Ja
Reihenfolge Garantie	Ja	Ja
Flußkontrolle	Ja	Ja/Nein[a]
Punkt möglicher Überlastungen	Bei jedem Paket	Beim Verbindungsaufbau
Traffic-Management (QoS)	Nein	Ja
LAN-Eignung	Nein	Ja
Multi-Service-Netz	Nein	Ja
Übertragungsraten	64 KBit/s	derzeit bis 2,4 GBit/s

Tabelle 1-3. Vergleich ATM vs. X.25

a. Auf der ATM-Schicht existiert lediglich an der UNI-Schnittstelle ein (unidirektionaler) Flußsteuerungsmechanismus (GFC) zur Steuerung des Verkehrs vom Endgerät ins Netz. Dieser wird jedoch so gut wie nie eingesetzt. Für ABR existiert dagegen ein Flußsteuerungsmodell für die Ende-zu-Ende-Kommunikation zwischen zwei Endsystemen [TMS V4, Seite 7].

4. Der Autor geht nicht näher auf die Gründe der Entscheidung zugunsten von ATM ein, da diese schon lange vor Beginn dieser Diplomarbeit fiel.

Ein wichtiger Punkt bei der Wahl von ATM war, dass die grundlegenden Konzepte von ATM und X.25 ähnlich sind. Beides sind für den *WAN-Bereich* konzipierte, *verbindungsorientierte* und *paket-* bzw. *zellvermittelnde* Technologien, und beide zum Einsatz kommenden Vermittlungsverfahren basieren auf *virtuellen Kanälen*. Darüber hinaus stehen in ATM-Netzen noch weitere Features zur Verfügung, wie Sie der Tabelle 1-3 entnehmen können. Mit den neuen Möglichkeiten, die ATM bietet, wird den Anforderungen an moderne "Multi-Service-Netze", wie sie heute in der Praxis gefragt sind, Rechnung getragen. In den neuen Aufgaben sollte daher auch bewusst, soweit es möglich war, auf die speziellen Fähigkeiten von ATM eingegangen werden, d.h. es ging nicht nur darum, eine Netztechnologie durch eine andere zu ersetzen und die darauf aufbauenden Aufgabenstellungen gleich zu lassen. Es hat sich vielmehr herausgestellt, dass die Reihenfolge und Art der Aufgaben komplett neu entwickelt werden musste.
Da wie bereits erwähnt ATM sowohl für den Einsatz im WAN- als auch im LAN-Bereich geeignet ist, und auch die LAN-Fähigkeiten von ATM im Praktikum berücksichtigt werden sollten, wurde von der reinen WAN-Orientiertheit der alten X.25-Aufgaben Abstand genommen. Der Titel der neue Versuchsreihe lautet dementsprechend "LAN/ WAN am Beispiel von ATM" (näheres hierzu siehe Kapitel 4.1).

1.3 Aufgabenbeschreibung

Die Aufgabe dieser Diplomarbeit bestand im Entwerfen und Ausarbeiten neuer Praktikumsaufgaben, sowie der damit verbundenen Lösungshinweise für die Betreuer, die i.d.R. Studenten sind, welche selbst einmal am Praktikum teilgenommen haben. Die neuen Aufgaben sollen den Praktikumsteilnehmern die grundlegenden Konzepte der Weitverkehrskommunikation nahebringen und einen möglichst umfangreichen Einblick in die ATM-Technologie und deren Einsatzmöglichkeiten in der Praxis bieten. Als Zielsetzung galten die unter Kapitel 2.1 aufgezählten Punkte.

1.4 Vorgehensweise

Um einen grundlegenden Überblick über die zur Verfügung stehenden Komponenten zu erhalten wurde zuerst (September 1998) das Praktikumsnetz aufgebaut. Der Aufbau und die Konfiguration des ATM-Testbeds oblag vorrangig zwei Fopristen [MIRA], die von einem weiteren Diplomanden [FISC99] und dem Autor dieser Diplomarbeit unterstützt wurden.

Gleichzeitig wurde evaluiert, welche B-ISDN/ATM-Technologien für ein Praktikum geeignet sein könnten, bzw. sich im Rahmen der zur Verfügung stehenden Mittel realisieren lassen. Als Grundlage dienten unter anderem die Vorlesungen [RNI], [RNII] und die alten X.25-Aufgaben. Diese wurden nach Konzepten und Themen durchsucht, die sich auch im neuen ATM-Praktikum wieder aufgreifen bzw. vermitteln lassen. Näheres zur Vorgehensweise bei der Themenauswahl finden Sie in Kapitel 2.2 ff.

Das folgende Wintersemester 1998/99 wurde als Pilotversuch genutzt, um die Zweckmäßigkeit der Aufgaben zu bewerten und eventuelle Verbesserungen und Veränderungen in die Aufgabenstellung einfließen zu lassen. Um Schwachstellen besser erkennen zu können betreute der Autor selbst auch eine der Praktikumsgruppen. Darüber hinaus

wurden an die Praktikumsteilnehmer Fragebögen verteilt, mit der Bitte die einzelnen Aufgaben nach verschiedenen Gesichtspunkten zu bewerten.

Basierend auf den Erkenntnissen des Wintersemesters 1998/99 wurden die Aufgaben anschließend nochmals überarbeitet. Begünstigend kam hinzu, dass der Autor früher selbst am Praktikum teilgenommen hat (einmal als Praktikant, zweimal als Betreuer) und daher mit den Gegebenheiten und Ansprüchen des Rechnernetzepraktikums vertraut war.

1.5 Aufbau der Ausarbeitung

Nachdem am Anfang von Kapitel 1 ein Überblick über das Rechnernetzepraktikum gegeben und ATM als Nachfolger von X.25 vorgestellt wurde, folgt im Anschluss (Kapitel 1.6) eine kurze Beschreibung der für die ATM-Versuche relevanten Komponeten des Praktikumsnetzes.

Das darauf folgende Kapitel 2 beschreibt die allgemeine Vorgehensweise bei der Gestaltung der Praktikumsaufgaben und die dafür geltenden Rahmenbedingungen. Hier finden Sie auch einige Themen, die aus verschiedenen Gründen nicht in die Aufgabenstellung aufgenommen wurden.

Das Kapitel 3 befasst sich mit dem eigentlichen Ergebnis dieser Diplomarbeit, den ATM-Praktikumsaufgaben. Bei jeder Aufgabe wird begründet, warum sie in das Praktikum aufgenommen wurde. Darüber hinaus wird das Lernziel der einzelnen Aufgaben herausgestellt. Wenn nötig, ist eine kurze Bescheibung der Aufgabenstellung und der behandelten Technologien vorangestellt.

Der Schluss (Kapitel 4) beginnt mit einer kurzen Zusammenfassung der Diplomarbeit und ihrer Ergebnisse. Anschließend werden einige neue Technologien im Zusammenhang mit ATM vorgestellt und auf ihre Tauglichkeit für das Praktikum beurteilt. Unter anderem wird auch MPLS *(MultiProtocol Label Switching)* vorgestellt. Falls Sie sich zuerst einen Überblick über MPLS verschaffen wollen, so finden Sie in Anhang A eine kurze Beschreibung der Funktionsweise und Einsatzmöglichkeiten von MPLS in ATM-Netzen.

Anhang B enthält die im Rahmen dieser Diplomarbeit entwickelten Praktikumsunterlagen inklusive der Betreuerhinweise in ihrer Originalfassung. In Anhang C finden Sie einige Skripten und Konfigurationsdateien von Komponeten aus dem Versuchsnetz. In Anhang D sind die Ergebnisse der Praktikumsumfrage abgedruckt (siehe auch Kapitel 2.3 “Feedback, Fragebögen” auf Seite 17).

Am Ende dieser Diplomarbeit finden Sie einen Index (Seite I-1). Diesem können Sie entnehmen auf welcher Seite innerhalb der Diplomarbeit die einzelnen Praktikumsaufgaben diskutiert werden.

Bitte beachten Sie, dass diese Diplomarbeit gemäß der seit dem 1. August 1998 in Kraft getretenen Neuregelung der deutschen Rechtschreibung erstellt wurde. Die Praktikumsunterlagen (Anhang B) hingegen basieren auf den alten Rechtschreibregeln.

1.6 Das Versuchsnetz

Wie schon erwähnt oblagen der Aufbau und die Konfiguration des ATM-Testbeds zwei Fopristen. Deshalb wird hier nur auf die Schritte eingegangen, die notwendig waren, um

die Installation an die speziellen Bedürfnisse des Praktikums anzupassen. Eine Dokumentation mit Troubleshooting- und Installationshilfen für das ATM-Netz finden Sie in [MIRA]. Abbildung 1-2 zeigt eine topologische Skizze des ATM-Versuchsnetzes:

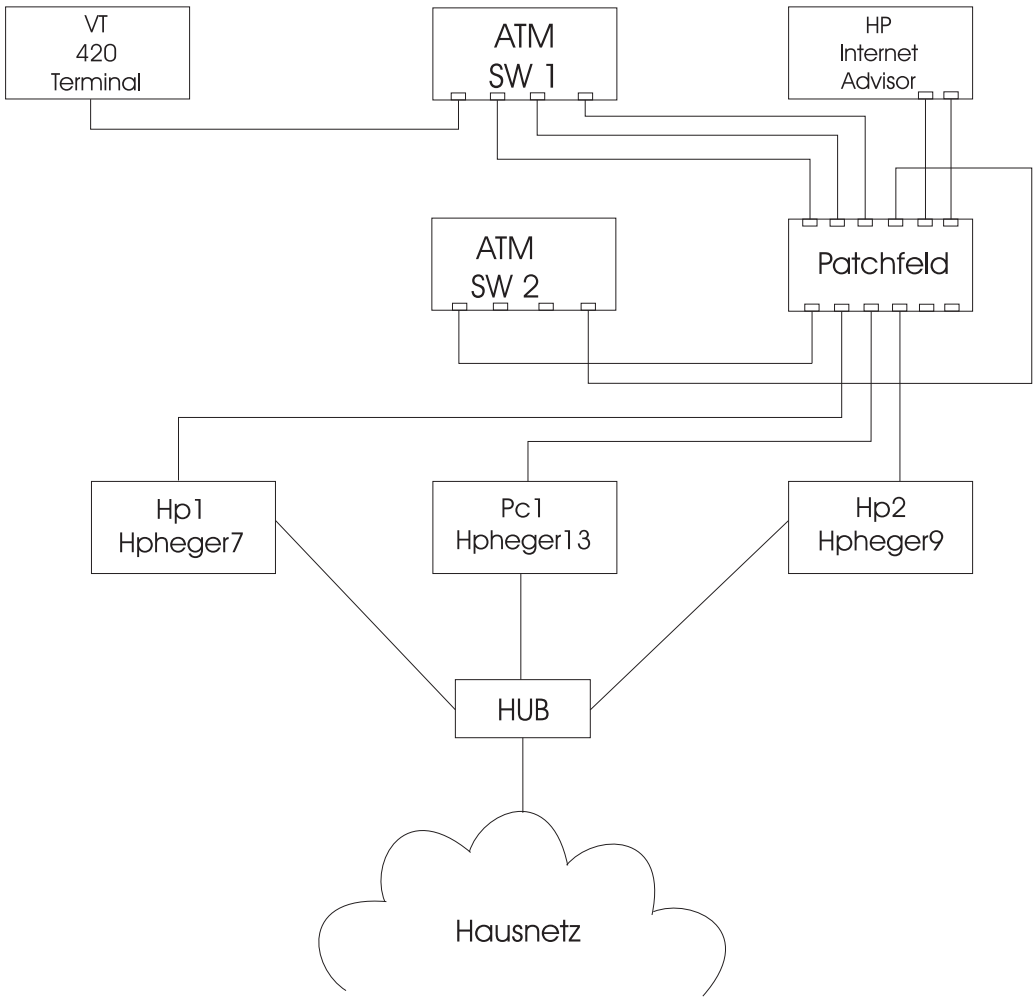

Abbildung 1-2. ATM-Praktikumsnetz

Für die Verkabelung der einzelnen Komponenten (sowohl bei ATM also auch bei Ethernet) wurden Unshielded Twisted Pair Kabel (UTP) der Kategorie 5 eingesetzt. Statt einer direkten ATM-Zellenübertragung[5] *(Cell Based Physical Layer)* werden die ATM-Zellen mittels STS-3c[6] *(Synchronous Transport Signal Level 3c)*, genauer in VC4-Containern, übertragen.

STS-1[7] ist das Multiplexsignal auf der untersten Ebene der in Nordamerika gültigen SONET-Spezifikation *(Synchrounous Optical Network)*. STS-3 ist dementsprechend das

5. Obwohl das ATM-Forum speziell für lokale private Netze die direkte Zellübertragung spezifiziert hat, wird sie von so gut wie keinem Hersteller angeboten. [SIEGMUND, Seite 436] vermutet, dass dies an der von SDH gelieferten 125–µs-Integrität liegt.

6. Das “c” steht für concatenated und zeigt an, dass es sich nicht um einen (aus drei STS-1-Datenströmen) gemultiplexten Datenstrom handelt.

7. “Nach Anwendung eines Verwürflers (Scrambler) auf die STS-n-Signale und der elektro-optischen Wandlung entsteht das als ’Optical Carrier’ (OC) bezeichnete optische Signal, [...]”, Zitat: [RATHGEB, Seite 486].

dreifache dieser Übertragungsrate und entspricht dem STM-1 *(Synchronous Transport Module Level 1)* aus der ITU-T SDH-Spezifikation *(Synchronous Digital Hierarchy)*. Die Synchrone Digitale Hierarchie ging aus dem SONET-Standard, welcher 1988 in einer ersten Version von der ANSI festgeschieben wurde, hervor.

n	STS-n/OC-n[7]
1	51,84 MBit/s
3	155,52 MBit/s
12	622,08 MBit/s
48	2488,32 MBit/s

n	STM-n
	n/a
1	155,52 MBit/s
4	622,08 MBit/s
16	2488,32 MBit/s

Tabelle 1-4. Vergleich zwischen SONET- und SDH-Übertragungsraten (Auszug)

Ein VC-4 *(Virtual Container 4)* ist der für die Übertragung von ATM-Zellen verwendete Transportcontainer (sowohl in einem SDH- als auch in einem SONET-Netz). Er besteht aus einem 2340-Byte großem Nutzfeld und 90 Byte Overhead.

Als Codierungstechnik für die physikalischen Signale kommt das NRZ-Verfahren *(Non Return to Zero)* zum Einsatz.

1.6.1 Die Konfiguration des IP-Subnetzes

Für den ATM-Versuch wird ein eigener lokaler Klasse-C-Adressraum (192.168.236.0) verwendet. Dieser wurde mittels Subnetting (255.255.255.192) in 4 Subnetze aufgeteilt:

- 192.168.236.0 - 192.168.236.63: CLIP-Subnetz
- 192.168.236.64 - 192.168.236.127: 1. LANE-Subnetz “Einkauf”
- 192.168.236.128 - 192.168.236.191: 2. LANE-Subnetz “Marketing”
- 192.168.236.192 - 192.168.236.255: Ethernet-Subnetz

Dabei hat man sich allerdings nicht streng an den entsprechenden Standard gehalten.[8] Eine Klasse-C-Adresse (mit Subnetting) hat den folgenden Aufbau:

110<Netzwerkadresse><Subnetzadresse><Hostadresse>

Nach [RFC 950] sollte das erste (alle Subnetz-Bits 0) und letzte (alle Subnetz-Bits 1) Subnetz nicht verwendet werden:

> It is useful to preserve and extend the interpretation of these special addresses in subnetted networks. This means the values of all zeros and all ones in the subnet field should not be assigned to actual (physical) subnets.

Entsprechend [RFC 950] haben diese beiden Werte eine besondere Bedeutung. Eine Null bedeutet “dieses”, eine Eins “alle”. So hat z.B. “0.0.0.37” in einem Klasse-C-Netz die Bedeutung “der Host mit Hostadresse 37 im aktuellen IP-Netz”.

In unserem Versuchsnetz dürfte man demzufolge nur zwei Subnetze verwenden. Im laufenden Betrieb traten jedoch keine Beeinträchtigungen durch das Verwenden aller vier

8. Der Autor wäscht seine Hände in Unschuld.

Subnetze auf. Da es sich bei unserem IP-Netz um einen lokalen Adressbereich handelt, sind dadurch keine negativen Einflüsse auf die restliche Infrastruktur zu erwarten.

Bei der Interpretation dieser speziellen Adressen sind von System zu System Unterschiede zu beobachten. So antwortet ein NT-Rechner weder auf einen `ping` an die Broadcast- (alles Einsen) noch auf die Netzwerk-Adresse (alles Nullen). Die UNIX-Rechner antworten dagegen auf beides, bestimmte Netzkomponenten wie z.B. einige Router nur auf die Broadcast-Adresse.

1.6.2 Die Konfiguration des NT-PCs

Unter NT4.0 war es leider nicht möglich ein Benutzerkonto zu erstellen, welches nicht der Administratoren-Gruppe angehört und trotzdem genügend Spielraum für die Versuche lässt (z.B. Rechte um die IP-Routen [Aufgabe 2.2.5] und die Netzwerkkartentreibereinstellungen [Aufgabe 3.2.1] zu ändern). Daher muß der Betreuer hier besondere Sorgfalt walten lassen und darauf achten, dass die Studenten keinen Schaden am NT-System verursachen. Um das Benutzerkonto für “praktiku” nicht mit allen Administratorrechten auszustatten, wurde es mittels des Systemrichtlinien-Editors so weit wie möglich eingeschränkt:

- kein Zugriff auf Systemsteuerung - Anzeige
- es werden keine vom Benutzer vorgenommen Einstellungen gespeichert.
- die Programme zum Bearbeiten der Registry wurden deaktiviert.

Unter dem Benutzermanager wurden der “praktiku”-Kennung die folgenden Rechte entzogen:

- übernehmen des Besitzes an Dateien und Objekten
- verwalten von Überwachungs- und Sicherungsprotokoll
- ändern des Passwords

Darüber hinaus wurden der “praktiku”-Kennung jegliche Rechte am Benutzer-Manager `(usrmgr.exe)` und an der Richtlinien-Datei `(ntconfig.pol)` entzogen. Dadurch verfügt sie über keinerlei Zugriff auf die Benutzerkontendatenbank von WindowsNT.
Die Datei `usrmgr.exe` (bzw. `ntconfig.pol`) gehört ursprünglich der Gruppe “Administratoren”, da aber jeder Eigentümer einer Datei deren Rechtestruktur ändern kann, wurde `usrmgr.exe` (bzw. `ntconfig.pol`) einem deaktivierten Konto zugewiesen. Der vollberechtigte “Administrator”-Account kann natürlich, im Gegensatz zum “praktiku”-Account, jederzeit wieder Besitz von dieser Datei übernehmen.

Einen 100%-igen Schutz gegen mutwillige Beschädigung unter NT zu gewährleisten, ist nahezu unmöglich. Immerhin benötigen die Praktikanten ein gewisses Maß an Rechten, um Änderungen an der Systemkonfiguration vornehmen zu können. Als zusätzliche Ermahnung, die umfangreichen Rechte auf dem NT-Rechner nicht zu missbrauchen, wird vor dem Login ein Hinweisfenster eingeblendet.

Um einen eventuellen Mißbrauch oder eine mutwillige Beschädigung des Systems zurückverfolgen zu können, wurde auf dem NT-Rechner die Überwachung von Datei und Objektzugriffen aktiviert. Missglückte Zugriffsversuche können in der Ereignisanzeige eingesehen werden.

1.6.3 Die Konfiguration der UNIX-Workstations

1.6.3.1 Der Praktikums-Account

Die Praktikumsteilnehmer verwenden auf den UNIX-Rechnern den zentral vom NIS-Server verwalteten Account “praktiku”. Dieser ist Mitglied in den Gruppen “users” und “rnprakt”.

Für einige Aufgaben ist es nötig, dass die Praktikumteilnehmer die Konfiguration der Rechner ändern können. Die dazu benötigten Befehle müssen i.d.R. in einer Root-Umgebung ablaufen. Um diese Programme auch mit der Praktikumskennung ausführen zu können, wurden sie der Gruppe “rnprakt” zugewiesen (Eigentümer bleibt “root”). Gleichzeitig wurde das s-Bit (set-owner-id) gesetzt. Dadurch ist es möglich, dass die Studenten die Programme aufrufen, diese aber in einer Root-Umgebung ablaufen. Dies funktionierte bei allen für die Versuche notwendigen Befehle außer “`/usr/sbin/arp`”. Dieses weigert sich, trotzt der Änderung, manipulierende Befehle von der Praktikumskennung anzunehmen. Allerdings ist dadurch keine Beeinträchtigung des Praktikums zu erwarten (näheres hierzu siehe Seite 47). Die folgenden Dateien wurden nach obigem Schema verändert:

- `/opt/fore/bin/*`
- `/opt/fore/prakt/*`
- `/usr/sbin/arp (ohne Erfolg)`

In einigen Verzeichnisse wurde eine “README.1ST”-Datei, mit Informationen über die im aktuellen Verzeichnis enthaltenen Dateien, abgelegt.

1.6.3.2 Subnetting-Probleme

Leider verhält sich HP-UX-10 bei der Konfiguration von IP-Adressen (Befehl: `ifconfig`) relativ schwerfällig. So ist es nicht möglich, mehrere IP-Adressen auf ein Interface zu binden. Das für unseren Versuchsaufbau bedeutendere Problem war, dass der `ifconfig`-Befehl kein Subnetting unterstützt. Daher werden sowohl an das Ethernet-Interface (lan0) als auch an das CLIP-Interface (qaa0) die IP-Adressen mit der falschen Subnetzmaske 255.255.255.0 gebunden. Das betrifft nicht das LANE-Interface, da dieses `ifconfig` nicht verwendet.

Als Workaround dient ein Skript `(/sbin/init.d/minisubnets)`, welches die dadurch entstehenden falschen Routen löscht und den `ifconfig`-Befehl nocheinmal mit der Subnetzmaske 192.168.236.192 aufruft. So erzeugt man zwar eine Fehlermeldung, der `iconfig`-Befehl übernimmt die Subnetzmaske jedoch trotzdem. Dieses Skript wird ausgeführt, sobald sich der HP-UX-Rechner im Runlevel 2 `(/sbin/rc2.d/)` befindet.

1.6.3.3 Skripten und Konfigurationsdateien

`checkroute.pl (/opt/fore/betreuer/)` löscht zuerst alle Routen des “192.168”-Subnetzes, führt `net start` und `atm start` aus und löscht anschließend die durch `ifconfig` fehlerhaft gesetzten Routen. Vorsichtshalber deaktiviert das Skript das IP-Forwarding `nettune -s ip_forwarding 1`.

`nettune2 (/opt/fore/prakt/)` leitet nur die Eingabe `nettune2 -s ip_forwarding` an `nettune` weiter. Damit wird verhindert, dass die Studenten weitere Systemparameter außer dem IP-Forwarding ändern.

`route2 (/opt/fore/prakt/)` war ursprünglich für Aufgabe 2.2.5 vorgesehen. Da jedoch auf den UNIX-Rechnern keine Routen geändert werden, wird dieser Befehl nicht benötigt. Er erlaubt es den Studenten nur die "192.168"-Routen zu ändern. Dadurch wird u.a. verhindert, dass ein Pfad zum LRZ-Router konfiguriert wird. Alle Routen die man mit diesem Skript setzten kann, werden von `checkroute.pl` erkannt und entfernt.

`netperf/netserver (/opt/fore/prakt/)` sind Client- und Server-Utilities zum Messen des Durchsatzes von TCP/IP-Verbindungen. Sie werden in [Gateway 1/99, Seite 87] zur Messung des Durchsatzes von ATM-basierten IP-Verbindung empfohlen.

`pingcheck (/opt/fore/prakt/)` ist ein primitives Skript, welches an jedes Interface der im Praktikum verwendeten Komponenten einen `ping` schickt und auflistet welche Interfaces erreichbar bzw. nicht erreichbar waren.

`netperf (/opt/fore/prakt)` ist ein kleines Workaround für das eigentliche "`netperf`" (umbenannt in `/opt/fore/prakt/netperf.orig`), welches die Existenz der Datei `/tmp/netperf_cpu` überprüft und sie gegebenenfalls löscht. Anschließend wird `netperf.orig` gestartet. Das Programm `netperf.orig` hinterlässt, falls es unsachgemäß beendet wurde, die Datei `netperf_cpu` im `/tmp`-Verzeichnis. Existiert diese Datei bei dem Versuch `netperf` erneut zu starten, so verweigert `netperf` die Zusammenarbeit, unter Ausgabe einer wenig hilfreichen Fehlermeldung.

`.fvmap.coord (/opt/fore/prakt/)` ist eine Konfigurationsdatei des Fore VLAN Managers. Die Praktikumskennung hat auf diese Datei nur lesenden Zugriff. Daher kommt die Fehlermeldung beim Beenden des VLAN Managers, dies ist aber so beabsichtigt.

1.6.4 Die Konfiguration der restlichen Komponenten

1.6.4.1 HP Internet Advisor – Protokollanalysator

Der Protokollanalysator besteht aus einer sogenannten "Workstation", dem oberen Teil, also der eigentliche Rechner, und einer "Undercradle" genannten Erweiterung. In diesem Undercradle war ursprünglich die ATM-Adapterkarte untergebracht. Es stellte sich jedoch heraus, dass das Undercradle defekt ist (häufige Abstürze der ATM-Analysesoftware). Infolgedessen wurde die ATM-Adapterkarte in dem leeren Slot der Workstation untergebracht. Das Undercradle blieb weiterhin mit der Workstation verbunden. Ein Abtrennen ist nicht zu empfehlen, da ansonsten die Kontaktstifte an der Unterseite der Workstation offen liegen würden. Um das zu verhindern, fehlen leider die erforderlichen Bauteile.

Eine Neuinstallation der Software auf dem Protokollanalysator ist mit einigen Hindernissen verbunden. Die einzigen brauchbaren Schnittstellen für den Datenaustausch, die der Protokollanalysator bietet, sind ein Diskettenlaufwerk, eine parallele und zwei serielle Schnittstellen. Die Analysesoftware liegt aber ebenso wie Windows95 (englische Version erforderlich) nur auf CD vor. Mittlerweile wurden alle für eine Neuinstallation notwendigen Dateien (Windows und Analysesoftware) auf die Partition D des Internet Advisor kopiert.

Vorgeschlagene Vorgehensweise bei einer Neuinstallation:

- Als erstes die Installationsdiskette 1 des Internet Advisors in das Diskettenlaufwerk einlegen, den Rechner neu starten und den Anweisungen folgen. (Die Frage nach der richtigen BIOS-Version mit “YES” beantworten.)
- Nachdem die zweite Diskette einlegt wurde fragt das Installationsprogramm nach der CD-ROM. Hier gibt man “von Hand einen CD-ROM-Treiber installieren” an. Daraufhin erhält man einen DOS-Prompt.
- Autoexec.bat so abändern, dass er nicht mehr von CD installieren will, sondern die Partition D zum Installieren verwendet. Anschließend booten Sie den Internet Advisor.
- Ist die Windows-Installation abgeschlossen, wird nach der Installationsdiskette 3 des Internet Advisors gefragt. Danach ist die Windows-Installation abgeschlossen.
- Anschließend das Setup-Programm der Analysesoftware aufrufen und die gewünschten Komponenten auswählen.
- Nun sollte der Protokollanalysator fertig konfiguriert sein.

1.6.4.2 Die ATM-Switches

Auf beiden Switches ist je ein CLIP- und ein LANE-Client installiert. Zusätzlich ist ihr Ethernet-Interface aktiviert, aber nicht angeschlossen.

Auf dem Switch sw1 ist zusätzlich ein ATMARP-Server und ein LECS eingerichtet.

Aktivieren des ATMARP-Server (siehe [FORE CON, Kapitel 2-11]):

```
configuration atmarp getnsap <Interface>
configuration atmarp arpserver set <NSAP-Adresse> <Interface>
```

Aktivieren des LECS (siehe [FORE CON, Kapitel B-31]):

```
configuration lane lecs new <Selektor Byte>
configuration lane lecs admin <LECS index> up
```

Wiederherstellen der Konfiguration:

Das Ethernet-Interface kann verwendet werden, um im Fehlerfall die gesamte Konfiguration mittels `tfpt` von der hpheger0 wieder auf die Switches zu transferieren. Dazu muss in das Menü `operation cdb` gewechselt werden (dort gibt es Befehle zum Sichern und Wiederherstellen der Switch-Datenbank). Beispielsweise lädt der Befehl `restore hpheger0:sw1backup.cdb` die Konfigurationsdatei des Switches sw1. Das Ethernet-Interface ist im laufenden Praktikumsbetrieb nicht mit dem Hub bzw. dem Hausnetz verbunden.

Dieses Verfahren wurde schon erfolgreich mit dem Switch sw1 getestet, er hat dabei keine Konfigurationsdaten verloren.

Sollte über das Netz kein Zugriff auf die Switches möglich sein, so muss man das VT-420-Terminal verwenden. Als erstes sollte man die Einstellungen des Ethernet-Interface überprüfen. Ist dieses wieder funktionsfähig, kann die restliche Konfiguration wie oben beschrieben wiederhergestellt werden.

1.6.4.3 VT-420-Terminal

Das VT-420-Terminal wird im Praktikumsbetrieb nicht benötigt. Es diente nur der erstmaligen Einrichtung der Switches. Es kann aber im Notfall eingesetzt werden, falls sich die Switches weder über ihre ATM- noch ob über ihre Ethernet-Interfaces ansprechen lassen. Ein derartiger “Notfall” trat allerdings noch nie ein.

1.6.4.4 Ethernet Hub

Zusätzlich zu der ATM-Verkabelung verbindet ein 10MBit-Ethernet-Hub die Ethernet-Interfaces der beiden UNIX-Rechner und des PCs mit dem Hausnetz. Der Hub bietet keinerlei Konfigurationsmöglichkeiten.

2 Vorüberlegungen

2.1 Anforderungen an die neuen Aufgaben

Als Zielsetzung für die neuen Praktikumsaufgaben gelten die folgenden Punkte:

- **Theorieaufgaben sollen auf Praxisversuche vorbreiten**
- **behandelter Stoff soll didaktisch klar gegliedert sein**
- **strukturierte, eindeutig zu beantwortende Fragestellungen**
- **Zusammenhang mit in der Vorlesung [RNI] und [RNII] behandelten Themen**
- **Integration des bei den X.25-Versuchen vermittelten (allgemeingültigen) Grundlagenwissens**
- **Beschränkung der Stoffmenge auf drei Nachmittage**
  Um nicht den zeitlichen Rahmen von drei praktischen (Dauer ca. 180 min) und drei theoretischen (Dauer ca. 45 min) Nachmittagen zu sprengen, konnten teilweise interessante, aber zu komplexe Themen (z.B. PNNI) nicht in das Praktikum aufgenommen werden.
- **aufgreifen aktueller Entwicklungen mit Bezug zu ATM**
- **Vermittelung von Konzepten im Vordergrund**
  Der Asynchronous Transfer Mode wird im Praktikum stellvertretend für die verschiedensten Datenübertragungstechniken im MAN- und WAN-Bereich behandelt. In erster Linie sollen den Studenten allgemeine Konzepte und Techniken aus der WAN-Welt näher gebracht werden. Wie allgemein bekannt, behält theoretisches Hintergrundwissen länger seine Gültigkeit als Praxiswissen.[1]
- **Würdigung der Dominanz der TCP/IP-Protokollfamilie**
- **Integration der ATM-Technologie in herkömmliche (legacy) Netze**
  Durch den derzeitigen Erfolg der Internetprotokolle ist es nicht mehr wahrscheinlich, dass ATM die bisherigen Netztechnologien ersetzen[2] wird. Vielmehr besteht der Hauptfocus der für die ATM-Normierung zuständigen Gremien (insbesondere des ATM-Forums) derzeit in der Integration der ATM-Welt in vorhandene Netzstrukturen. Ein besonderes Augenmerk liegt dabei auf dem Zusammenspiel von IP- und ATM-Technologien.
  Daher befasst sich auch ein Großteil des Praktikums mit Verfahren, welche es ermöglichen, IP-Pakete über ATM-Infrastrukturen zu transportieren.

1. Nach einer Untersuchung des Fraunhofer Institutes beträgt die Halbwertszeit des Wissens in der EDV-Branche derzeit 2 Jahre.

2. In der Anfangszeit von ATM gingen die Visionen der Entwickler noch viel weiter, einige träumten sogar davon Komponenten innerhalb von Rechnern direkt per ATM zu adressieren (damit meinten sie nicht nur die Netzwerkkarte).

- **Berücksichtigung von ATM-Besonderheiten**
  Wie bereits erwähnt war es nicht die Aufgabe, den alten X.25-Themenkomplex zu übernehmen und nur die zugrunde liegende Technologie auszutauschen, vielmehr sollten die besonderen Merkmale und Vorzüge von ATM herausgestellt werden.
- **einfaches Wiederherstellen der Ausgangskonfiguration**
  In einem Rechnernetze-Praktikum, in welchem die Studenten Zugriff auf verschiedene Systemvariablen brauchen, ist es nicht zu vermeiden, dass durch Fehler die Systemkonfiguration verändert wird. Da die Aufgabe dieses Praktikums nicht das "Troubleshooting" ist, muss darauf geachtet werden, dass die vorzunehmenden (eventuell falschen) Änderungen ohne größeren Aufwand zurückgenommen werden können (z.B. durch "Aufräum-Skripten").
- **Versuche sollen in einer "sicheren Umgebung" ablaufen**
  Die Studenten sollten so wenig wie möglich mit der "root" bzw. "Administrator" -Kennung arbeiten, um eine mögliche Gefährdung der Praktikumsrechner bzw. des Lehrstuhlnetzes auszuschließen. Um auf den UNIX-Rechnern doch spezielle privilegierte Befehle ausführen zu können, wurden diese mittels des "s-Bit" und eines geeigneten ACL-Eintrag für die Studenten ausführbar gemacht. Gegebenenfalls wurde ein Skript zur Überprüfung der Angaben der Studenten vor den Aufruf des eigentlichen Dienstprogrammes gestartet. Auf dem NT-Rechner war es leider nicht möglich ein Konto zu erstellen, welches nicht der Administratoren-Gruppe angehört, aber trotzdem genügend Spielraum für die Versuche ließ. Daher muß der Betreuer hier besondere Sorgfalt walten lassen und darauf achten, das die Studenten keinen Schaden an dem NT-System verursachen.

2.2 Einteilung der Aufgaben

In Tabelle 2-1 sehen Sie einen ersten Vorschlag für die Einteilung der Themen, welcher am Anfang dieser Diplomarbeit zur Diskussion stand. Diese Vorschläge basierten auf dem Wissen und der Erfahrung des bisher für die Praktikumsleitung verantwortlichen Lehrstuhlmitarbeiters Dr. Dipl. inf. Neumair. Ausgehend von diesen Wünschen wurde evaluiert, welche Themen davon in der Praxis mit der uns zur Verfügung stehenden Hardware überhaupt realisierbar sind, und welche Thematik darüber hinaus für ein Praktikum geeignet sein könnte.

Teil 1 Basics	**Teil 2** Signalisierung, AAL, Referenzarchitektur	**Teil 3** IP und andere Protokolle über ATM
SDH (Nur Überblick)	Referenzpunkte, Interfaces (UNI, NNI, PNNI)	Classical IP
Cell-Switching Basics	Signalisierung	LANE (LECS, LES, ...)
Cell-Structure	Virtual Circuit, Virtual Path	MPOA, NHRP, ...
	NSAP-Adressen	
	AAL5 als Beispiel eines AAL	

Tabelle 2-1. Erste vorgeschlagene Struktur

Es stellte sich bald heraus, dass “Teil 1” und “Teil 2” zu wenig Verwertbares enthielten, was sich in Praxisversuche umsetzen ließe, um daraus jeweils einen kompletten Nachmittag aufzubauen. Das lag insbesondere daran, dass in unserem Versuchsnetz keinerlei native ATM-Anwendungen zur Verfügung standen. Daher wurde beschlossen, aus den beiden ersten Teilen einen Themennachmittag zu kreieren. Im Gegensatz dazu erwies sich das Zusammenspiel von ATM- und konventionellen Netztechnologien als äußerst ergiebiges Fachgebiet. Daher verständigte man sich letzten Endes auf folgende drei Themenkomplexe:

- Einführung in ATM
- Höhere Schichten (ULPs - Upper Layer Protocols)
- VLANs als Anwendung von ATM

Diese Themen wurden gemäß Tabelle 2-2 auf die drei Versuchsnachmittage verteilt. Die Tabelle beinhaltet den gesamten in einer Woche behandelten Themenkomplex, d.h. sowohl den Praxis- als auch den Theorieteil.

Versuchsnachmittag 1 ATM-Grundlagen und allgemeine WAN-Begriffe	**Versuchsnachmittag 2** AAL und CLIP	**Versuchsnachmittag 3** LANE und VLAN
Multiplexverfahren	QoS-Diensttypen	LANE-Komponenten
Vermittlungsarten und Verbindungen	ATM Adaption Layer	LANE-Funktionsweise (Protokollanalyse, Adressauflösung, Kontrollverbindungen)
Referenzpunkte, Instanzen	ATM-Dienstklassen (Schalten eines CBR-PVC)	LANE-Broadcast
ATM-Schichtenmodell	CLIP: Funktionsweise (Protokollanalyse, Adressauflösung, Einkapselung)	VLANs: Funktionsweise, Zweck, Einrichten eines VLAN
ATM-Schicht, Zellen, Virtuelle Kanäle/Pfade, NSAP-Adressen	CLIP: Effizienz (theoretisch und praktisch max. Durchsatz)	MPOA-, NHRP-Übersicht
Signalisierung (SVCs), Managementeingriffe (PVCs)	Routing und Internetworking (ATM–Ethernet)	PMP-SVCs am Beispiel der LANE.

Tabelle 2-2. Aufteilung der Versuche auf die Nachmittage

Diese Einteilung mag zwar nicht den Modellcharakter der alten X.25-Aufgaben besitzen, aber sie hat dennoch deutliche Grenzen. Der erste Nachmittag behandelt die untersten Schichten von ATM und allgemeine Fragestellungen aus der WAN-Welt. Der zweite Versuchsnachmittag behandelt die ATM-Anpassungsschicht und CLIP als eine mögliche Anwendung. Am dritten Versuchsnachmittag wird mit LANE eine Alternative zu CLIP vorgestellt, darüber hinaus werden auf der LANE basierend VLANs diskutiert.

Wie aus Tabelle 2-2 ersichtlich ist, wurden viele der im WAN-Bereich grundlegenden Mechanismen und Begriffe, welche bei den X.25-Versuchen auf alle drei Nachmittage verteilt waren, in den ersten Versuchsnachmittag integriert. An den folgenden Nachmittagen kamen insbesondere Aufgaben, welche die Abbildung von herkömmlichen (legacy) Netz-Technologien auf ATM-Netze behandeln hinzu, des Weiteren wurde neuen Entwicklungen wie QoS, VLANs, MPOA etc. Rechnung getragen.

2.3 Feedback, Fragebögen

Der Beweis, ob sich die Versuche wirklich für ein Praktikum eignen und auch von Betreuern ohne fundierte ATM-Kenntnisse durchgeführt werden können, kann natürlich nur in der Praxis erbracht werden. Deshalb wurde das vergangene Wintersemester als "Pilotversuch" genutzt. Der Autor der ATM-Aufgaben betreute den ersten Praktikumsnachmittag. Dadurch war es einerseits möglich Probleme mit der Aufgabenstellung rechtzeitig an die anderen Betreuer weiterzuleiten, andererseits war ein direktes Feedback über die Praxistauglichkeit der Aufgaben gegeben.

Parallel dazu wurden an alle Praktikumsteilnehmer Fragebögen ausgeteilt. Leider wurden nicht so viele Fragebögen ausgefüllt wie gewünscht. Sie haben aber dennoch geholfen, einige Schwachstellen und Probleme in den Aufgabenstellungen zu beseitigen (z.B. unzureichende Hinweise, zu umfangreiche Fragestellungen, Verständnisprobleme etc.). Ein Punkt, der sofort ins Auge viel war, dass zuviel Protokollanalyse-Versuche (insbesondere am letzten Versuchsnachmittag) vorhanden waren. Der zeitliche Aufwand für die einzelnen Aufgaben hielt sich bis auf ein paar gruppenspezifische Ausrutscher in Grenzen.

Als Ergebnis dieser Umfrage wurden verschiedene Aufgabenstellungen nachgebessert, d.h. mit genaueren Hinweisen und Schaubildern versehen und gegebenenfalls die Betreuerhinweise erweitert. Aufgrund der Kritik am dritten Nachmittag, wurde dieser komplett überarbeitet. Genaueres dazu finden Sie in Kapitel 3 bei den jeweils betroffenen Aufgaben. Trotz stellenweiser Kritik war das Urteil der Studenten über die neuen ATM-Aufgaben deutlich positiv, wie Sie der in Anhang D abgedruckten Bewertung entnehmen können.

Die Praktikumsteilnehmer waren in zwei Gruppen, A und B, aufgeteilt. Die Gruppe B bearbeitete die ATM-Aufgaben vor der Gruppe A. Da Teile der Aufgabenstellung im laufenden Semester verändert wurden sind die Aufgaben der Gruppe A nicht mit denen der Gruppe B identisch. Teilweise kamen neue Aufgaben hinzu oder es wurde die Reihenfolge der Aufgaben geändert. Es ist daher kein direkter Vergleich zwischen den Umfrageergebnissen der beiden Gruppen möglich.

Im Anhang D sind die Umfragebögen mit den wichtigsten Ergebnissen abgedruckt. Die Daten wurden mit Access 98 erfasst und ausgewertet.

2.4 Warum ATM-Forum als Schwerpunkt und nicht ITU-T?

Ursprünglich wurden die für ATM/B-ISDN relevanten Standards (Normen) von der ITU-T festgeschrieben. Die ITU-T widmet sich hauptsächlich der Aufgabe, einen einheitlichen Standard für öffentliche Telekommunikationsnetze zu entwickeln. Da die Belange der Hersteller von Kommunikationsprodukten für den privaten (nicht öffentlichen) Bereich durch die ITU-T nicht ausreichend abgedeckt sind, wurde 1991 das ATM-Forum gegründet. Dieses "nicht offizielle" Normierungsgremium, dem heute die meisten führenden Netzbetreiber und Hersteller angehören, hat mittlerweile eine enorme Bedeutung erlangt. Im Gegensatz zu den ITU-T-Normen sind die Papiere des ATM-Forums kostenlos und unkompliziert über das Internet zugänglich. Das ATM-Forum legt seinen Schwerpunkt im Gegensatz zur ITU-T auf den Bereich der privaten Netze (aus Sicht der ITU-T

ist das Internet ein privates Netz). Mittlerweile hat das ATM-Forum in einigen Bereichen, z.B. bei der Verkehrssteuerung oder der LAN-Verknüpfung, die Vorreiterrolle übernommen.
Die derzeit für Privatnetze (Firmennetze, Universitätsnetze etc.) erhältlichen Produkte basieren fast ausschließlich auf den Spezifikationen des ATM-Forums. Das trifft auch für die in unserem Praktikum eingesetzten Komponenten zu. Daher orientiert sich insbesondere der praktische Teil der Aufgaben hauptsächlich an den Empfehlungen des ATM-Forums. Wenn erforderlich wird an geeigneter Stelle auf die Unterschiede zur entsprechende ITU-T-Spezifikation hingewiesen.

Im Bereich der IP-Konnektivität leistet die IETF (Internet Engineering Task Force) mit ihren Request for Comments (RFCs) einen wichtigen Beitrag für eine einheitlichen Normierung. Von ihr stammen unter anderem Empfehlungen zur Einkapselung von IP-Paketen in ATM-Zellen. Auszüge aus diesen RFCs werden in einigen Aufgaben diskutiert.

2.5 Warum keine Aufgaben zum ATM-Routing?

Für die Implementierung der Wegewahl und der Interswitch-Signalisierung wurde vom ATM-Forum das PNNI-Protokoll spezifiziert. PNNI steht gemäß [PNNI V1, Seite 1] sowohl für *Private Network-to-Network Interface*, als auch für *Private Network Node Interface*. Das PNNI-Protokoll wurde so definiert, dass möglichst viel von der UNI-Signalisierung des ATM-Forums übernommen werden konnte. Während die UNI-Signalisierung asymmetrisch ist, d.h. die Funktionen auf der Netzwerk- und der Benutzerseite unterscheiden sich, ist das PNNI symmetrisch, wobei auf beiden Seiten des PNNI die umfangreicheren netzwerkseitigen (erweiterten) Funktionen der UNI-Signalisierung verwendet werden.
Bei PNNI bestehen die Netze aus gleichberechtigten Knoten, die ohne Zutun einer zentralen Instanz erweitert werden können. Durch spezielle Mechanismen (z.B. “Hello”-Pakete, Flooding) werden die Topologieinformationen in den Netzknoten aktualisiert. Ein neuer Knoten bezieht von seinen Nachbarknoten automatisch alle relevanten Daten, die er für die Wegewahl und die PNNI-Signalisierung benötigt, d.h. in PNNI-basierten Netzen existiert (im Gegensatz zu auf den ITU-T-Spezifikationen basierten Netzen) ein Autokonfigurationsmechanismus.

Um eine sich selbstorganisierende und hierarchische Struktur zu ermöglichen, werden PNNI-Netze in sogenannten “Peer Groups” (siehe Abbildung 2-1) organisiert. Jeder Knoten innerhalb einer Peer Group (PG) kennt die genaue Topologie seiner eigenen Gruppe. Von den anderen Peer Groups besitzt er nur Informationen über die generelle Konnektivität, aber nicht über deren internen Aufbau. Die Netztopologie aus Sicht des Knotens A.3.3 ist in Abbildung 2-1 grau hinterlegt eingezeichnet. In jeder Peer-Group wird ein Knoten zum Group Leader, in der Zeichnung durch einen ausgefüllten Kreis gekennzeichnet, gewählt. Die Aufgabe des Group-Leaders ist es, die Informationen über seine Gruppe zusammenzufassen, so dass er die gesamte Gruppe als einen einzigen logischen Knoten in der nächsthöheren Hierarchiestufe repräsentiert. Um einzelnen Knoten die Wegesuche durch das gesamte Netz zu ermöglichen, müssen von den höheren Ebenen die entsprechenden Informationen bis an die einzelnen Knoten der untersten Ebene weitergeleitet werden.

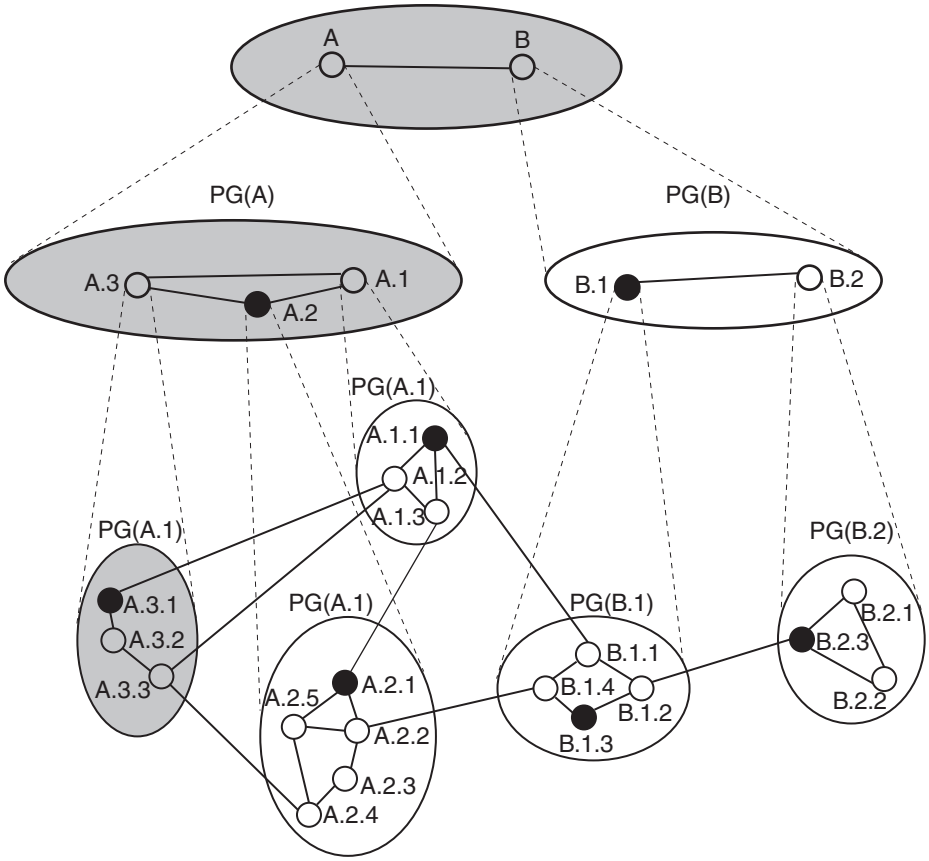

Abbildung 2-1. Beispiel für die logische Hierarchie eines PNNI-Netzes; Quelle [PNNI V1]

In den ITU-T-Spezifikationen existiert kein äquivalentes Verfahren für den Abgleich der Topologiedaten, in den entsprechenden NNI-Protokollen wird lediglich die Signalisierung definiert. In ITU-T-Netzen müssen neue Knoten und Wege explizit durch Managementeingriffe im Netz bekannt gemacht werden.

Um bereits vor der Fertigstellung der PNNI-Spezifikation ATM-Privatnetze mit Wählverbindungen aufbauen zu können, hat man im ATM-Forum das *"Interim Inter-Switch Signalling Protocol"* (IISP) definiert. Dieses auch als *PNNI Phase 0* bezeichnete Protokoll verhält sich bei der Verbindungssteuerung fast identisch wie das PNNI-Protokoll, es unterstützt aber weder dynamisches Routing noch die Autokonfiguration eines Netzes.

Die im Praktikum eingesetzten Switches verwenden weder IISP noch PNNI. Sie unterstützen lediglich einen Fore-proprietären Vorgänger des PNNI-Protokolls, das sogenannte "FT-PNNI" (ForeTought PNNI). Dabei handelt es sich ebenfalls um eine um Routing- und Autokonfigurations-Funktionen erweiterte Variante des UNI-Signalisierungsprotokolls. Im Gegensatz zu PNNI muss bei FT-PNNI ein Teilnehmer die Rolle des Benutzers (User-Interface) übernehmen, d.h. es existiert keine vollwertige Netzwerk-Netzwerk-Kommunikation sondern eine asymmetrische Benutzer-Netzwerk-Kommunikation zwischen zwei Switches.

Es erscheint nicht besonders sinnvoll, ein mittlerweile veraltetes, herstellerspezifisches Verfahren im Praktikum zu diskutieren. Abgesehen davon wäre ein sinnvoller ATM-Routing-Versuch mit nur zwei Switches nicht durchführbar, wie die obigen Ausführungen zur Funktionsweise der PNNI-Spezifikation verdeutlicht haben. Es besteht lediglich die Mög-

lichkeit eine entsprechende Aufgabenstellung in den theoretischen Teil einzubauen. Aufgrund der Komplexität der PNNI-Signalisierung und des PNNI-Routings wurde darauf in der bestehenden Version allerdings verzichtet.

2.6 Weitere nicht in das Praktikum aufgenommene Themen

Im Folgenden werden einige weitere Themen angesprochen, über deren Einsatz im Praktikum nachgedacht wurde, die dann aber aus verschiedenen Gründen nicht aufgenommen wurden.

LANE-Registrierung:

Im dritten Versuchsnachmittag waren ursprünglich zwei relativ aufwendige Protokollanalyseversuche vorhanden, zum einen die LANE-Registrierung, zum anderen die Adressauflösung in LANE-Netzen.

Als ein Ergebnis der Umfrage hat sich ergeben, dass den Studenten die Protokollanalyse am dritten Nachmittag quantitativ zuviel war. Es stellte sich die Frage, welcher der beiden Versuche aus dem praktischen Teil herausgenommen werden sollte. Aufgrund der nachfolgenden Punkte wurde entschieden, die LANE-Registrierung aus dem praktischen Teil herauszunehmen:

- Der LANE-Registrierungsversuch wurde von den Studenten als zu aufwendig und nicht besonders interessant empfunden.
- Schon bei den CLIP-Versuchen wird eine Client-Registrierung beobachtet.
- Die LANE-Registrierung ist sehr komplex und aufwendig zu analysieren.
- Die LANE-Adressauflösung zeigt zusätzlich die Funktionsweise und Aufgaben des BUS *(Broadcast and Unknown Server)*.

Weitere Einzelheiten zu dieser Entscheidung finden Sie in Kapitel 3.4.
Der im Wintersemester 1998/99 noch im Praktikum vorhandene LANE-Registrierungsversuch findet sich gesondert am Ende von Anhang B wieder.

Da ein Vergleich zwischen der Client-Registrierung bei CLIP und der bei LANE durchaus interessant ist, wurde in den theoretischen Teil eine Aufgabe (Aufgabe 3.1.2) aufgenommen, in welcher die Abläufe bei der LANE-Registrierung beschrieben werden sollen.

Physische Schicht:

Kurzzeitig stand auch in Anlehnung an den IP-Netze-Grundlagen-Versuch ein Oszilloskop-Versuch zur Diskussion, welcher den Datenstrom auf dem physischen Medium sichtbar machen sollte. Dieser wurde jedoch schnell wieder verworfen, da es mit dem im Praktikum eingesetzten 100-MHZ Oszilloskop nicht möglich ist, den ATM-Zellenstrom darzustellen. Unser Versuchsnetz überträgt 155,52 MBit/s in NRZ-Codierung, d.h. das Oszilloskop müsste mehr als 155 MHZ darstellen können. Es stellt sich jedoch die Frage, ob aufgrund der Einkapselung in SDH-Rahmen überhaupt etwas sinnvolles erkannt werden könnte. Dies ist wenig wahrscheinlich, da die ATM-Zellen mittels des sogenannten *Self-Synchronizing-Scramblers*[3] unter Verwendung des Generatorpolynoms $X^{43}+1$ verschlüsselt werden.

Aufgrund des Stoffumfanges wurde entschieden auch weitere, die Schicht 1 betreffenden Themen, weitgehend außen vor zu lassen. Lediglich bei der Diskussion des B-ISDN/ ATM-Schichtenmodells sollen die Studenten die prinzipiellen Aufgaben der physischen Schicht erläutern. Würde man die physische Schicht ausführlich behandeln, besteht die Gefahr den Umfang des Praktikum zu sprengen.

Native ATM-Anwendungen:

Ein allgemein zu bedauernder Punkt ist, dass uns leider keinerlei "native" ATM-Anwendungen zur Verfügung standen, wie beispielsweise ein Tool zur Videoübertragung, die eventuell sogar einen anderen ATM Adaption Layer als den (von allen anderen im Praktikum eingesetzten Anwendungen verwendeten) AAL5 verwendet.

3. Mittels des *Self-Synchronizing-Scramblers* kann der HEC-Synchronisationsalgorithmus, den jeweiligen Zellenanfang erkennen.

3 Die Realisierung der Versuche

3.1 Erläuterungen zu den folgenden Kapiteln

In Absprache mit den Betreuern dieser Arbeit wurde auf eine ausführliche Beschreibung der in den einzelnen Aufgaben vorgestellten Technologien, wie z.B. CLIP, LANE etc., verzichtet. Gegebenenfalls wird an den betroffenen Stellen auf einen zum Verständnis der Aufgaben notwendigen Sachverhalt hingewiesen. Es wird daher vom Leser erwartet, dass er sich mit diesem Stoff schon vertraut gemacht hat.

Jede Komponente im Praktikumsnetz verfügt über drei bis vier Netz-Interfaces (pro IP-Subnetz eines; genaue Auflistung siehe Seite 9 der Aufgabenstellung in Anhang B). Für jedes dieser Interfaces wurde im DNS ein Namenseintrag angelegt, so steht z.B. “hpclip1” für das CLIP-Interface des ersten HP-UX-Rechners. An vielen Stellen wird in den Unterlagen die neutrale Bezeichnung “hp1”, “sw2” etc. verwendet, um anzuzeigen, dass der physische Rechner gemeint ist und nicht ein spezielles Interface, bzw. um den Studenten die Wahl des richtigen Interfaces zu überlassen. Wenn man stattdessen den richtigen Rechnernamen *(hostname),* z.B. “hprnp1”, verwenden würde, so wäre das nach Meinung des Autors etwas vorrausgreifend bzw. irreführend, da der Rechnername gleich dem Namen des IP-Ethernet-Interfaces ist.

Wie bereits mehrfach erwähnt besteht die ATM-Versuchsreihe aus drei Teilen. Im Folgenden wurde jedem Teil ein Kapitel gewidmet.
Die Absätze sind thematisch geordnet und orientieren sich nicht an der Reihenfolge der Aufgabenstellung. Insbesondere wurden Themen zusammengefasst, welche in einen theoretischen und einen praktischen Teil aufgeteilt wurden. Um dem Leser aufzuzeigen, auf welche Aufgabe sich der aktuelle Absatz bezieht, befindet sich in der Marginalspalte ein Verweis auf die jeweilige Aufgabenstellung in der Betreuerlösung (siehe Anhang B).

3.2 ATM-Grundlagen

Die Überschrift dieser Aufgabenstellungen lautet zwar “ATM-Grundlagen”, sie beinhaltet jedoch auch einen gewissen Anteil an allgemeinen Grundlagen der Weitverkehrsübertragung. Da Technologien häufig ausgetauscht werden, die Prinzipien und dahinter stehenden Konzepte aber (über einen längeren Zeitraum) gültig bleiben, sind auch einige Teile aus den alten X.25-Aufgaben in die neuen Aufgaben eingeflossen:

- Aufgabe 1.1.1 – Multiplexing (ehem. Aufgabe 3.2.1)
- Aufgabe 1.1.2 – Vermittlungsverfahren (ehem. Aufgabe 3.1.1)
- Aufgabe 1.1.3 – Protokollinstanzen (ehem. Aufgabe 1.1.1)

Der erste theoretische Teil beginnt mit einer umfangreichen Diskussion verschiedenster Grundbegriffe aus der Welt der Rechnernetze, wie z. B. Multiplexverfahren, Vermittlungsarten, Verbindungen, Schnittstellen, Dienste etc. Im Anschluss werden spezielle Aspekte der ATM-Technologie betrachtet, wie z. B. das ATM-Schichtenmodell, ATM-Zellen, virtuelle Kanäle, Signalisierung in ATM-Netzen etc. Die praktischen Versuche beginnen mit einer Einführung in das Testbed (Versuchsnetz) und seine Komponenten. Anschließend folgen Aufgaben, welche dem Kennenlernen des ForeView und des Protokollanalysators dienen. Den Abschluss bilden zwei Versuche zur Verbindungssteuerung mittels SVCs bzw. PVCs.

Um ein grundlegendes Verständnis für die ATM-Technologie sicherzustellen, mussten in diesem ersten Theorieteil relativ viele Themen behandelt werden. Rückmeldungen der Studenten ergaben einen Aufwand von 16 bis 20 Stunden bei gewissenhafter Bearbeitung. Bei den alten X.25-Aufgaben war das nicht so problematisch, da viele Aufgaben, die sich in B-ISDN-Netzen auf die ATM-Schicht konzentrieren, in X.25-Netzen auf die Schichten 2 und 3 (und damit auf die Nachmittage 2 und 3) verteilt sind. Daher war es damals leichter, den Umfang der Aufgaben gleichmäßiger zu verteilen.

3.2.1 Multiplexverfahren

Aufgabe 1.1.1
Seite 10

Das Ziel dieser Aufgabe ist es, ein allgemeines Verständnis für Multiplextechniken zu fördern. Multiplextechniken spielen insbesondere in der WAN-Welt eine sehr wichtige Rolle, da hier die Kosten für das Verlegen der Leitungen sehr hoch sind, und man daher bestrebt ist, die einmal verlegten Kabel so effizient wie möglich auszulasten. Es werden verschiedene Verfahren wie (WDM, TDM, FDM etc.) behandelt, und ein Zusammenhang zu in der Praxis verwendeten Übermittlungstechniken hergestellt. Insbesondere wird geklärt, warum ATM – *Asynchronous* Transfer Mode heißt. Damit ist eine der wichtigsten Aufgaben der ATM-Schicht bekannt: das Multiplexen.

3.2.2 Vermittlungsarten und Verbindungen

Aufgabe 1.1.2
Seite 11

Diese Fragestellungen waren weitgehend schon in den X.25-Unterlagen enthalten. Sie wurden aufgrund begrifflicher Unklarheiten etwas umgeändert. In den alten Aufgaben sollten die Studenten den Unterschied zwischen “virtueller Verbindung” und “Datagramm” erläutern.[1] Die Fragestellung wurde in eine Unterscheidung zwischen “verbindungsloser-” und “verbindungsorientierter-” Kommunikation abgewandelt, zusätzlich ist der Begriff “*virtuelle* Verbindung”

1. Der Autor findet diese Einteilung etwas unglücklich gewählt: Ein Datagramm ist eine Informationseinheit die zwischen Peerentities ausgetauscht wird; eine virtuelle Verbindung dagegen ein Kommunikationskanal zwischen zwei Partnerinstanzen. Besser wäre es gewesen Datagramm-Dienst und virtuelle Verbindung zu unterscheiden.

zu erklären. In Bezug auf "virtuelle Verbindungen" sollen die Studenten auch den Unterschied zwischen *PVC* und *SVC* erläutern. Der Funktionsweise von PVCs/SVCs sind im Praxisteil zwei Aufgaben gewidmet, dort wird genauer auf diese beiden Techniken eingegangen.

3.2.3 Software für Netze

"Die ersten Rechnernetze wurden mit Blick auf die Hardware ausgelegt. Software spielte nur eine Nebenrolle. Diese Strategie funktioniert nicht mehr. Netzsoftware ist heute hochstrukturiert.", Quelle: [TANENBAUM, Seite 33]. In den beiden folgenden Aufgaben werden Strukturierungstechniken für Netzsoftware behandelt.

3.2.3.1 Schnittstellen und Dienste

Aufgabe 1.1.3 Teil 1 Seite 14

Diese Aufgabenstellung wurde als einzige unverändert aus den alten X.25-Unterlagen übernommen, da sich an der Definition der einzelnen zu beschreibenden Begriffe (ICI, SDU, SAP, PCI, PDU) und deren Verhältnis zueinander nichts geändert hat. Diese Begriffe haben nach wie vor einen hohen Stellenwert, wenn es um die Diskussion und den Vergleich von Netztechnologien geht. Sie werden ausführlich in der Vorlesung [RNI] behandelt.

3.2.3.2 Das B-ISDN-/ATM-Referenzmodell

Aufgabe 1.1.3 Teil 2 Seite 14

War der erste Teil dieser Aufgabenstellung allgemein gehalten, so bezieht sich der zweite Teil gezielt auf das B-ISDN-Referenzmodell. Wie andere Kommunkationsarchitekturen auch, basiert die B-ISDN-Architektur auf einem Schichtenmodell. Das B-ISDN-Schichtenmodell wurde zwar in Anlehnung an das OSI-Schichtenmodell entworfen, aufgrund der verschiedenen Meinungen – von der umstrittenen Schicht zu Schicht Zuordnung aus [TANENBAUM, Seite 81] bis zu der Forderung nach einer Überarbeitung des OSI-Referenzmodells, um es an neue moderne Kommunikationsmodelle anzupassen – wurde in der Aufgabenstellung auf eine explizite Forderung nach einer Zuordnung der einzelnen Schichten zum OSI-Referenzmodell verzichtet. Es ist den Praktikumsteilnehmern freigestellt eine, ihrer Meinung nach, adäquate Zuordnung aufzuzeigen. Für diese Aufgabenstellung genügt es, die Aufgaben der einzelnen ATM-Schichten zu beschreiben.

3.2.4 Zellen und virtuelle Kanäle

Aufgabe 1.1.4 Seite 17

Waren die vorherigen Aufgaben in ihren Grundzügen sehr allgemein gehalten, so behandelt Aufgabe 1.1.4 spezielle Fragestellungen aus der ATM-Welt. Die Fragen beziehen sich dabei fast ausschließlich auf Wissen, wie es in der Vorlesung [RNII] vermittelt wird.
Den Anfang macht eine "historische" Frage, nach den Gründen für die Größe des Nutzdatenfeldes von 48 Byte. Basierend auf dieser Zahl ist die maximale Verzögerungszeit bei Sprachübertragung zu berechnen, wenn wir davon ausgehen das jede Zelle vor dem Versenden komplett mit Daten gefüllt wird (8 Bit/8000 Hz Abtastung). Im dritten Teil sollen die Praktikumsteilnehmer die fünf bis sechs (je nachdem ob es sich um ein UNI- oder NNI-Zelle handelt) Felder des ATM-Zel-

lenkopfes aufzuschlüsseln. Zum Abschluss dieser Aufgabe sollen die Studenten die Funktionsweise der ATM-Zellvermittlung erklären und dabei die unterschiedlichen Rollen der VP- und VC-Identifikatoren erläutern.

3.2.5 Einführungsversuche

Die allererste praktische Aufgabe besteht darin sich einen Überblick über die Verkabelung und eingesetzten Komponenten des Versuchsnetzes zu verschaffen. Insbesondere dank eines den Switches (und dem Protokollanalysator) vorgeschalteten Patchfeldes ist diese Aufgabe nicht so trivial wie es erscheinen mag. Im zweiten Teil werden die Studenten in die Managementsoftware ForeView eingearbeitet. Sie sollen dabei unter anderem die ATM-NSAP-Adressen der einzelnen Endsysteme herausfinden und das verwendete DCC-Adressformat *(Data Country Code)* aufschlüsseln. Im Zuge dieser Aufgabe wird unter anderem die Adresszuweisung mittels ILMI[2] *(Interim Local Management Interface)* vermittelt.

Aufgabe 1.2.1 Seite 22

Die zweite Aufgabe dient dem Kennenlernen des Internet Advisors. Es werden die in unserem Netz auftretenden Verkehrsarten mit den dazugehörigen VP/VC-Identifikatoren ermittelt und Statistiken über die Verkehrsvolumina erzeugt. Dabei werden die Teilnehmer mit den verschiedensten Funktionen des HP Internet Advisors konfrontiert.

Aufgabe 1.2.2 Seite 24

Ursprünglich waren hier zwei weitere Versuche vorgesehen, einer zur Fehlersuche und ein zweiter, bei dem mittels des Analysators ein synthetischer Datenstrom erzeugt werden sollte. Der erste konnte aufgrund der Zuverlässigkeit der Komponenten nicht realisiert werden, der zweite wäre für das Praktikum zu aufwendig gewesen und hätte nur wenig zum Verständnis von ATM beigetragen.

Der akademische Anspruch dieser beiden Aufgaben darf bezweifelt werden. Es ist jedoch unvermeidbar, dass die Praktikumsteilnehmer eine Einführung in das Testbed und die verwendeten Komponenten bekommen (z. B. Wer ist mit wem wo und wie verbunden?), um die nachfolgenden Aufgabenstellungen sinnvoll bearbeiten und verstehen zu können.

3.2.6 Schalten eines PVC

Die folgenden beiden Versuche bringen den Studenten die hinter PVCs (Permanent Virtual Circuits) und SVCs (Switched Virtual Circuits) stehenden Konzepte in der Praxis näher. Dabei werden die Unterschiede – SVCs sind durch Signalisierung "automatisch" etablierte Übertragungskanäle, PVCs müssen durch einen expliziten Managementeingriff in jeder Netzkomponente einzeln geschaltet werden – zwischen den beiden Verfahren herausgestellt.

Als erstes schalten die Studenten einen PVC über beide Switches zwischen den PC und einen der UNIX-Rechner. Diese auf den ersten Blick trivial erscheinende Fragestellung wird ausführlich in der vorbereitenden Theoriestunde behandelt. Es kam jedoch immer wieder zu Denkproblemen bei der Umsetzung eines geeig-

Aufgabe 1.2.3 Seite 28

2. ILMI ist eine SNMP-Variante für ATM-Netze.

neten Datenpfades in die Praxis. Um den Studenten einen sinnvollen Lösungsweg aufzuzeigen, wurde an die Aufgabenstellung eine Skizze (siehe Abbildung 11 in der Aufgabenstellung) angefügt, in der eine mögliche PVC-Konfiguration vorgegeben ist. Der Denkfehler, den die Studenten hier meist begehen, ist, dass sie annehmen, sie müssten den PVC zwischen den beiden Switches (also "auf dem Kabel") konfigurieren. Der PVC wird aber streng genommen innerhalb eines Switches konfiguriert und verbindet Kommunikations-kanäle zweier oder mehrerer (point to multipoint) Ports miteinander.
Für die PVC-Konfiguration innerhalb eines Switches existieren prinzipiell zwei Möglichkeiten:

- direkt mittels der Managementkonsole (z.B. AMI – ATM Management Interface von Fore).
- mit einer Managementsoftware (z.B. ForeView)

Nach Auskunft eines LRZ-Mitarbeiters wird derzeit im Produktivbetrieb großer heterogener Netze ausschließlich die Managementkonsole verwendet. Ich wollte diesen Umstand auch in der Aufgabenstellung berücksichtigen und einen Switch mittels ForeView und den anderen mit dem AMI konfigurieren lassen. Der Einfachheit halber sollten die Praktikanten den ersten Switch mit der Managementsoftware und den zweiten mit dem AMI konfigurieren. Jedoch waren sie dabei meist so eifrig, dass in den meisten Gruppen der zweite Punkt überlesen und beide Switches mit der Managementsoftware konfiguriert wurden.
Da das Schalten mittels der GUI der Managementsoftware erheblich einfacher ist – unter anderem kann jederzeit der Zustand des Kanals (mittels *tracing*) sichtbar gemacht werden – wurde letzten Endes beschlossen, die Aufgabenstellung zu ändern. Die Studenten dürfen zum Schalten des PVC auf beiden Switches ForeView, dafür aber beim anschließenden Löschen ausschließlich das AMI verwenden. Da nach dem Errichten des PVCs allen Praktikumsteilnehmern klar sein sollte, wie ein PVC konfiguriert wird (insbesonders welche Informationen in welchen Komponenten abgelegt werden), sollte der etwas "weniger intuitive" Umgang mit dem AMI keine größere Hürde darstellen.

3.2.7 Signalisierung

PVCs können relativ einfach von den Herstellern der ATM-Komponenten implementiert werden, sie sind jedoch für viele Anwendungsgebiete ungeeignet, so ist kein dynamischer Verbindungsaufbau möglich, der Aufwand steigt mit Anzahl der Komponenten und es existiert keine automatisierte Wegewahl durch das System. Als Alternative hierfür bieten sich die SVCs *(Switched Virtual Circuits)* an, welche in den folgenden Kapiteln vorgestellt werden. Im Gegensatz zu PVCs können SVCs von der Software autark durch das gesamte Netz bei Bedarf auf- und abgebaut werden. Damit das funktioniert, müssen alle Netzkomponenten ein einheitliches Signalisierungsprotokoll unterstützen.

3.2.7.1 ATM-Signalisierungsprotokolle

Die Signalisierung in ATM-Netzen ist ein sehr komplexes Thema, welches im Rahmen des Praktikums lediglich gestreift werden kann. Um den Leser für diese

Problematik zu sensibilisieren wird zunächst ein kurzer Überblick über die wichtigsten B-ISDN-Signalisierungsprotokolle gegeben.

Die Signalisierung wird verwendet um Kontrollinformationen *(signalling units)* zwischen den Komponenten eines Telekommunikationsnetzes auszutauschen. Diese können Nachrichten für den Verbindungsauf- und abbau sowie erhalt und andere Informationen (z.B. Kreditkarten- und Verzeichnisdienst- Meldungen [BLACKII, Seite 1]) enthalten. Ihren Ursprung haben Signalisierungssysteme in traditionellen sprachdienstorientierten analogen Netzen. Man muss zwischen dem Transportsystem und dem eigentlichen Signalisierungssystem unterscheiden: das Transportsystem liefert dem Signalisierungssystem die grundlegenden Dienste, um die Signalisierungsnachrichten austauschen zu können. So verwendet beispielsweise ISDN Q.931 als Signalisierungs- und LAPD als Transportsystem[3].
Die Signalisierung bildet einen integralen Bestandteil der B-ISDN-Spezifikation, sie ist in ATM-Netzen wesentlich komplexer ausgelegt als in allen bisherigen paketvermittelnden Netzen. Die B-ISDN-ITU-T-Norm verwendet an der UNI-Schnittstelle Q.2931[4] als Signalisierungs- und SAAL *(Signalling AAL)* als Transportsystem[3]. Alternativ dazu wird in Datennetzen meist die vom ATM-Forum vorgeschlagene UNI-X.X-Signalisierung verwendet, die neueste Norm trägt die Versionsnummer 4.0. Die Normen des ATM-Forums basieren weitgehend auf der Q.2931-Signalisierung, erweitern diese aber in einigen Punkten. Als Tranportsystem kommt hier ebenfalls der SAAL zum Einsatz.

Abbildung 3-1. UNI-Signalisierung nach ITU-T und ATM-Forum (Schichtenmodell)

An der NNI-Schnittstelle *(Network-to-Network Interface)* werden andere Signalisierungsprotokolle wie B-ISUP *(Broadband ISDN User Part)* nach Q.2761–Q.2764 und MTP-3[5] *(Message Transfer Protocol 3)* der ITU-T oder PNNI *(Private Network-to-Network Interface)*, IISP *(Interim Inter-Switch Signalling Protocol)* bzw. B-ICI *(Broadband InterCarrier Interface)* des ATM-Forums verwendet (siehe [BLACKII, Seite 17, 93 und 159]. Die PNNI-Signalisierung ist speziell auf die Bedürfnisse von Privatnetzen (aus Sicht der ITU-T ist das Internet ein Privatnetz) abgestimmt und bietet im Gegensatz zu B-ISUP die Möglichkeit der Verteilung von Routinginformaitonen und der Wegewahl. Zusätzlich ist

3. Hier handelt es sich ausschließlich um Transportsysteme für die Signalisierung und nicht um Transportsysteme für die eigentliche Datenübertragung.

4. Das in dem Standard Q.2931 spezifizierte ATM-Signalisierungsprotokoll heißt eigentlich *DSS2* (Digital Subscriber Signalling System No. 2). Es handelt sich um eine Weiterentwicklung des ISDN-Signalisierungsstandards Q.931. Quelle: [SIEGMUND, Seite 165]

5. Teilschicht aus der Signalling-System-No.-7-Spezifikation.

noch ein Verfahren für den Austausch von Topologiedaten enthalten [BLACKII, Seite 161].

Abbildung 3-2. NNI-Signalisierung nach ITU-T und ATM-Forum (Schichtenmodell)

Weitere Informationen zu PNNI und Routing finden Sie im Abschnitt “Warum keine Aufgaben zum ATM-Routing?” auf Seite 18.

Zu diesen vielfältigen Normen und Protokollen gesellt sich noch der Themenkomplex der Metasignalisierung hinzu.

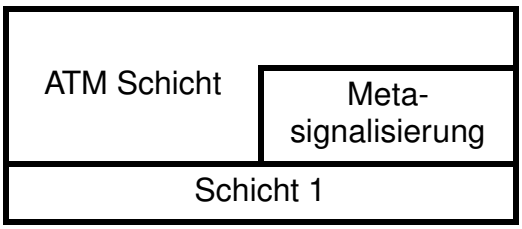

Abbildung 3-2. Die Metasignalisierung wird innerhalb der ATM-Schicht abgewickelt

Aufgabe 1.1.5 Seite20

Aufgrund der hier angedeuteten Komplexität der B-ISDN-Signalisierung konnte ihre Gesamtproblematik im Rahmen des Praktikums lediglich angerissen werden. So befasst sich der Theorieteil mit den prinzipiellen Aufgaben der Signalisierung und dem Unterschied zwischen Inband- und Outband- (Out of Band) Signalisierung. Es wird die Frage gestellt, wofür Metasignalisierung verwendet wird und welche Besonderheiten bei der ATM-Signalisierung in Bezug auf QoS-Garantien zu berücksichtigen sind. Wie erwähnt handelt es sich hier nur um einen spärlichen Ausschnitt aus der Gesamtthematik. Es erschien nicht sinnvoll, die Studenten zu sehr mit den Feinheiten zu belasten, da diese sehr ATM-spezifisch sind und wenig allgemein gültige Konzepte enthalten. Eine tiefergehende Diskussion der Signalisierung nach UNI3.1 findet im Praxisteil (Aufgabe 1.2.4, Seite 31) statt.

3.2.7.2 UNI3.1-Verbindungsaufbau und -abbau

Die im Praktikum zum Einsatz kommenden Switches implementieren an der UNI-Schnittstelle wenn möglich das Signalisierungsprotokoll UNI3.1, falls nötig, kann auch UNI3.0 verwendet werden. Für die Inter-Switchkommunikation wird das proprietäre FT-PNNI *(Fore Tought PNNI)* verwendet, es wurde von Fore Systems entwickelt als die Normierung des ATM-Forum PNNI-Protokolls

noch nicht abgeschlossen war. Das FT-PNNI bietet einige Dienstmerkmale, welche unter anderem auch in der PNNI-Spezifikation definiert sind:

- Hello-Protokoll
- Austauch der Topologiedatenbanken
- Flooding
- hierarchisches Routing

Da sich das Praktikum nur auf anerkannte Standards beziehen soll, wurde lediglich die Signalisierung zwischen Endsystem und Switch (UNI-Schnittstelle) mittels UNI3.1 in die Aufgabenstellungen aufgenommen.

Aufgabe 1.2.4
Seite 31

Das Ziel der Praxisaufgabe ist es, die grundlegenden Schritte des ATM-Verbindungsauf- und abbaues zwischen einem Endsystem und einem ATM-Switch (an der UNI-Schnittstelle) zu beobachten und zu deuten. Für die Analyse des Zellenstroms wird der HP Internet Advisor verwendet. Dieser wird dazu zwischen einen UNIX-Rechner und einen ATM-Switch geschaltet.
Das erste Problem, dass diese Aufgabenstellung aufwarf war: wie schafft man es, einen Verbindungsaufbau zu initiieren? Wie bereits früher erwähnt, stehen keinerlei Tools zur Verfügung, mit welchen es möglich ist, grundlegende ATM-Dienste (z.B. schalte SVC von Endsystem A zu Endsystem B) auf den Endsystemen nutzen zu könnten. Einen Ausweg aus dieser Situation versprach der “Missbrauch” der Fore-CLIP-Implementierung.

Zunächst ein kleiner Ausflug in die Funktionsweise von Classical IP over ATM (CLIP):

- Bei CLIP wird ein sogenannter ATMARP-Server *(ATM Address Resolution Protocol Server)* für die Adressauflösung von IP- auf ATM-Adressen verwendet.
- Bei diesem ATMARP-Server muss sich jeder Client, welcher an einem CLIP-Netz teilnehmen will, registrieren.
- Zwischen den beiden wird, solange sich der Client in dem CLIP-Netz befindet, ein Kontroll-SVC geschaltet.

Näheres zu CLIP finden Sie in Kapitel 3.3 “Der ATM Adaption Layer und Classical IP over ATM” auf Seite 31.

Von Fore existiert ein Dienstprogramm für UNIX-Clients, welches es dem Anwender (ausreichende Rechte vorrausgesetzt) ermöglicht alle (`atmarp -f`) oder einzelne (`atmarp -d host`) CLIP-SVC-Verbindungen zu löschen. Der Einfachheit halber sollen die Studenten den Befehl `atmarp -f` verwenden. Da außer dem Kontroll-SVC zu diesem Zeitpunkt keine andere CLIP-Verbindung existiert, hat das keine weiteren Auswirkungen auf das Versuchsnetz. Der Client erkennt, dass seine Kontrollverbindung zum ATMARP-Server unterbrochen ist und baut sie sofort wieder auf. Während dieses Vorganges kann von den Studenten sowohl der Verbindungsaufbau als auch der Verbindungsabbau beobachtet werden.

Der Fokus liegt bei diesem Versuch auf den prinzipiellen Signalisierungsabläufen, wie sie in Abbildung 3-3 zu sehen sind. Der Student sieht am Protokollanalysator selbstverständlich nur den linken Teil zwischen Workstation A und erster

ATM-Vermittlungsstelle. Gegebenenfalls kann der Betreuer einen gedanklichen Vergleich zu dem TCP-Three-Way-Handshake aus einem anderen Versuchsnachmittag herstellen.

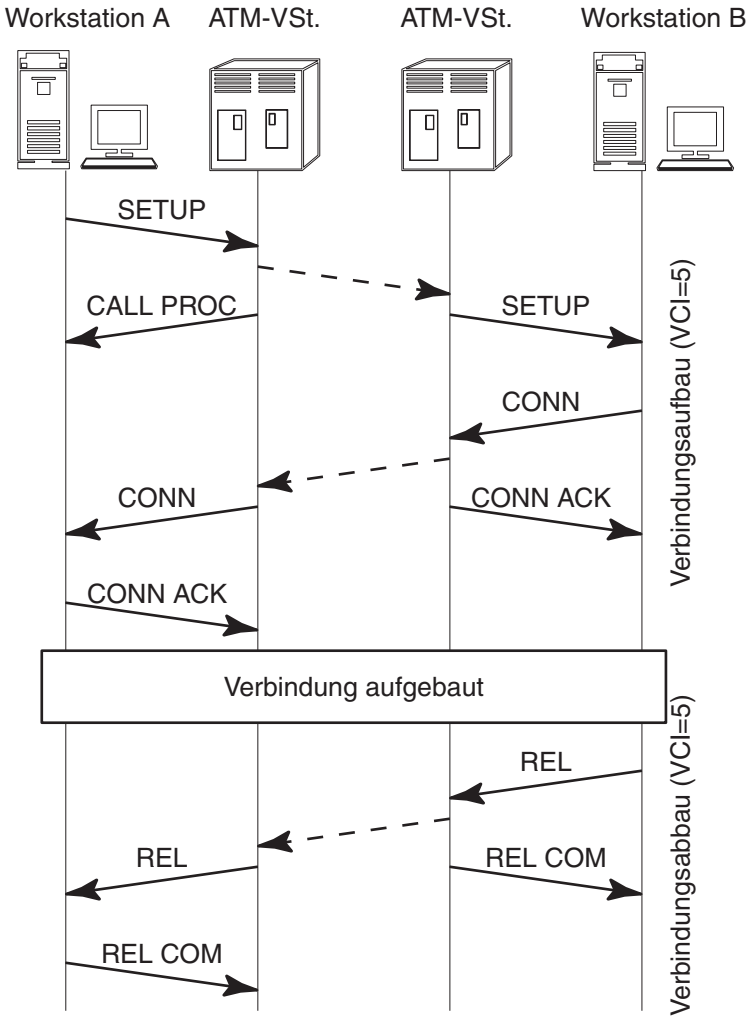

Abbildung 3-3. UNI-Signalisierung für eine einfache B-ISDN-Verbindung

In einem weiteren Teil dieser Aufgabenstellung werden einige wichtige Felder des UNI3.1-Paketes aufgeschlüsselt. Es soll beispielsweise erkannt werden, wo und wie die zu verwendenden VPI/VCI-Werte für den Datenkanal vergeben werden und welche Aufgabe das *Call-Reference*-Feld hat.

3.3 Der ATM Adaption Layer und Classical IP over ATM

Der Schwerpunkt des zweiten Versuchsnachmittags liegt auf der ATM-Anpassungsschicht. Einführend werden die verschiedenen ATM-Verkehrsklassen und die zugehörigen AALs mit ihren jeweiligen QoS-Parametern bzw. Aufgaben behandelt. Darüber hinaus sind in der zweiten Versuchsreihe einige Overhead- und Effizienzberechnungen enthalten, unter anderem eine Gegenüberstellung von paketorientierten und zellorientierten Vermittlungsverfahren. Im zweiten Part dieses Nachmittags wird mit *Classical IP over ATM (CLIP)* ein Verfahren zur Emulation der IP-Schicht in ATM-Netzen behandelt. In diesem Zusammenhang wird ein Routing zwischen einem Ethernet-LAN und einem ATM-basierten LAN in einem Praxisversuch realisiert.

3.3.1 Quality of Service (QoS) und AAL

3.3.1.1 Von den Dienstklassen zum AAL

Aufgabe 2.1.2
Seite 35
Teil 1

Da die ATM-Schicht lediglich 53-Byte große Zellen nacheinander ausgibt und keine weiteren Dienstmerkmale, wie sie für moderne Datendienste notwendig sind, implementiert, wurde in der ITU-T Empfehlung I.363 eine Ende-zu-Ende Schicht definiert, welche direkt auf die ATM-Schicht aufsetzt und den Endsystemen erweiterte Dienstmerkmale zur Verfügung stellt. Für diese *ATM Adaption Layer (AAL)* genannte Schicht wurden drei Anforderungsachsen definiert:

- Zeitkompensation (erforderlich vs. nicht erforderlich)
- Bitratengarantien (konstant vs. variabel)
- Verbindungsmodus (verbindungsorientiert vs. verbindungslos)

Klasse	A		B	C				D
Zeitkompensation	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein
Bitraten	konstant		variabel		konstant		variabel	
Verbindungsmodus	verbindungsorientiert				verbindungslos			
AAL-Typ	1		2	3				4

Tabelle 3-1. Ursprüngliches (inzwischen überholtes) Design der AAL-Dienstklassen

Aus den hier entstehenden 2^3 möglichen hat die ITU-T vier Klassen ausgewählt. “Die ITU war der Ansicht, daß nur vier, die Klassen A, B, C und D, brauchbar sind. Die übrigen wurden nicht unterstützt. Seit ATM4.0[1] ist die Darstellung [...] teilweise überholt” [TANENBAUM, Seite 566]. Da jedoch diese Darstellung einen hohen Modellcharakter besitzt, sie unter anderem in der Vorlesung [RNII] vorgestellt wird, und sie sehr gut die Abbildung von Dienstklassen auf AAL-Typen illustriert, wurde sie in die Aufgabenstellung aufgenommen.

1. A. Tanenbaum bezieht sich auf die *Traffic Management Specification 4.0* des ATM-Forums.

Aufgabe 2.1.1
Seite 34

Da sich im Laufe der Zeit immer stärker herauskristallisierte, welche Verkehrstypen über ATM-Netze transportiert werden, und welche Dienstklassen sich die Kunden wünschen, wurde, wie bereits erwähnt, die ursprüngliche Dienstklasseneinteilung der ITU-T von der derzeit aktuellen *Traffic Management Specification 4.0* [TMS V4, Kapitel 2.1] des ATM-Forums abgelöst.

Die Studenten sollen die fünf in die Version 4.0 des Standards aufgenommenen Verkehrsklassen (siehe Abbildung 3-4) beschreiben und jeweils Beispielanwendungen nennen. Eine weitere Frage zielt auf den Vorteil der direkten Zellwiederholung bei ABR im Vergleich zu UBR – welches diese Möglichkeit nicht bietet – insbesondere im Hinblick auf IP over ATM ab (IP over ATM ist der zweite Schwerpunkt an diesem Nachmittag).

CBR (auch DBR)	Constant Bit Rate (auch DBR: Deterministic Bit Rate)
rt-VBR (auch rt-SBR)	realtime Variable Bit Rate (auch realtime Statistical Bit Rate)
nrt-VBR (auch nrt-SBR)	non-realtime Variable Bit Rate (auch non-realtime Statistical Bit Rate)
ABR	Available Bit Rate
UBR	Unspecified Bit Rate

Abbildung 3-4. Die fünf Dienstklassen des ATM-Forums nach [TMS V4]

Nicht zuletzt zeigt diese Gegenüberstellung, dass in der Theorie entwickelte Modelle bzw. Voraussagungen nicht immer die Bedürfnisse der Praxis erfüllen. Derzeit weicht das ATM-Forum immer weiter von der ursprünglichen AAL-Einteilung ab und geht dazu über, alle Dienstanforderungen mit dem AAL5 zu erfüllen.[2]

3.3.1.2 Schalten eines CBR-PVC

Aufgabe 2.2.1
Seite 44

Im ersten Praxisversuch des zweiten Nachmittages sollen die Praktikumsteilnehmer einen CBR-PVC mit vorgegebenen QoS-Parametern anlegen. Die Komponenten unseres Versuchsnetzes unterstützten von den insgesamt fünf Dienstklassen lediglich CBR, VBR und UBR. Die Wahl des zu verwendenden *Traffic Contracts* fiel auf CBR (Constant Bit Rate), da sich hier die eingestellten Werte am einfachsten überprüfen lassen, und wenige Vorkenntnisse von Seiten der Studenten notwendig sind. Für den sinnvollen Einsatz eines VBR-Kontraktes wäre eine geeignete Datenquelle zur Erzeugung von VBR-Verkehr nötig gewe-

2. Dies verwundert kaum, wenn man bedenkt für welche Dienste heute schon TCP/UDP/IP herangezogen werden. Obwohl auch hier vor einigen Jahren die Meinung vorherrschte man müsse für gewisse multimediale Anwendungen eigene Transportprotokolle (z.B. ST, ST2+, RTP) entwickeln.

sen, welche nicht zur Verfügung stand. Ein Kontrakt über ABR-Verkehr wäre aus offensichtlichen Gründen nicht besonders interessant.

Verkehrsparameter	CBR	rt-VBR	nrt-VBR	UBR	ABR
PCR und CDVT	spezifiziert			spezifiziert	spezifiziert
SCR[a], MBS[b], CDVT	n/a	spezifiziert		n/a	
MCR[c]	n/a				spezifiziert

Tabelle 3-2. Verkehrsparameter der ATM-Dienstklassen [TMS V4, Seite 6]

a. Sustainable Cell Rate

b. Maximum Burst Rate

c. Minimum Cell Rate

Für die Beschreibung von CBR-Verkehr existieren nach [TMS V4] zwei Parameter (siehe Tabelle 3-2):

- PCR *(Peak Cell Rate):* Die maximale Zellenrate, die für den betreffenden Verkehrsstrom reserviert werden muss.
- CDVT *(Cell Delay Variation Tolerance):* Maximal tolerierte Abweichung der Zellankunftszeit (=reziprok der PCR). Dieser Wert muss nicht explizit[3] definiert werden. Die im Praktikum eingesetzten Switches verwenden implizit eine vorkonfigurierte CDVT von 250 ms.

Zum Schalten eines CBR-PVC genügt es einen einzigen Wert, die sogenannte *Peak Cell Rate* anzugeben. Diese wird in unserer Konfiguration in Zellen pro Sekunde angegeben. Wohingegen für einen VBR-Kontrakt zusätzlich die Parameter *Sustainable Cell Rate* und *Maximum Burst Rate* zu beachten wären.

Als nächstes war es nötig, eine Datenquelle zu finden, die einen geeigneten Zellenstrom in die Switches einspeisen konnte. Aus mehreren Messungen hat sich ergeben, dass die Endsysteme (Rechner) dafür nicht geeignet sind. Erstens sind die damit erzielbaren Datenraten für ATM-Verhältnisse sehr gering und zweitens sind sie starken Unregelmäßigkeiten unterworfen. Der HP Internet Advisor besitzt dagegen die Möglichkeit einen selbstdefinierten Zellenstrom mit einer frei wählbaren Datenrate zu emittieren. Damit ist es möglich beliebigen CBR-Verkehr von bis zu 155 MBit/s zu erzeugen.

Die aus den genannten Vorgaben entstandene Aufgabenstellung lautet einen (vorkonfigurierten) 155 MBit/s Datenstrom mit dem HP Internet Advisor in einen Switch einzuspeisen, und diesen Switch so zu konfigurieren, dass er lediglich 50 MBit/s (= 118 cps) an ein Endsystem weiterleitet. Mittels Foreview sollen die ankommenden und ausgehenden Zellen verglichen, und damit die richtige Konfiguration des *Traffic Contracts* sichergestellt werden.

Auf die Bedeutung der Parameter PCR und CDVT für den *GCRA (Generic Cell Rate Algorithm)* wird in diesem Zusammenhang nicht eingegangen. Für interes-

3. Die Signalisierung nach UNI4.0/3.X erlaubt es nicht die CDVT zu setzen (d.h. es wird der im Switch vorkonfigurierte Wert verwendet), dies kann nur durch einen expliziten Managementeingriff geschehen.

sierte Studenten ist ein Literaturhinweis angegeben, um sich über die genaue Funktionsweise des *GCRA* informieren zu können. Für das Verständnis dieser Aufgabe ist dies aber nicht notwendig. Da die Bezeichnungen PCR (Spitzenzellenrate) und CDVT (Erlaubte Abweichung von der PCR) aussagekräftig genug sein dürften. Eventuell ist es sinnvoll in Zukunft eine Frage nach der Funktionsweise des *GCRA* (bzw. *Leaky Bucket Algorithm* – mögliche Darstellungsform des *GCRA*) zu stellen, wie sie beispielsweise in [TANENBAUM, Seite 482] diskutiert wird.

Alternativ zu dieser Aufgabenstellung wäre es interessant gewesen eine geeignete Dienstgüte beispielsweise für ein MPEG-Video zu reservieren, so dass trotz gleichzeitiger Datenübertragung (z.B. ftp, http etc.) keine Einbußen in der Videoqualität zu erkennen sind. Das war jedoch aus mehreren Gründen nicht möglich. Zum einen hatten wir keine Hardware die einen geeigneten MPEG-Datenstrom einspeisen könnte, zum anderen konnte keines unserer drei Endsysteme genügend Traffic erzeugen, um den Switch auch nur annähernd an seine Grenzen zu bringen.

3.3.1.3 Die Aufgaben der AAL-Teilschichten

Aufgabe 2.1.2
Seite 35
Teil 2

Im Zusammenhang mit den oben diskutierten AAL-Typen wird in dieser Aufgabenstellung die Frage nach den Aufgaben der einzelnen AAL-Teilschichten gestellt. Allerdings wird nicht verlangt, die schichtenspezifischen Unterschiede zwischen den einzelnen AAL-Typen (1 bis 5) zu beschreiben. Die Frage richtet sich lediglich nach den allgemeinen Aufgaben der *SAR*-Teilschicht *(Segmentation And Reassembly)* und der beiden Unterschichten des *CS (Convergence Sublayers)*.

Eventuell könnte in die Aufgabenstellung eine Differenzierung der AAL-Teilschichten nach den verschiedenen AAL-Typen aufgenommen werden. Jedoch darf trotzt einiger interessanter Designaspekte, welche in die verschiedenen AAL-Typen eingegangen sind, aufgrund der immer stärker werdenden Dominanz des AAL 5 bezweifelt werden, ob es sich dabei um Wissen handelt, welches im Rahmen eines Praktikum vermittelt werden sollte. Darüber hinaus haben Rückmeldungen einiger Studenten ergeben, dass insbesondere die Theorieaufgaben zu den beiden ersten ATM-Versuche sehr aufwendig seien.

3.3.2 Effizienz Zellen vs. Pakete

Aufgabe 2.1.3
Seite 37

In dieser Aufgabe wird folgender naiver Ansatz verfolgt: was wäre, wenn in der ATM-Spezifikation statt einer festen Zellgröße von 53 Byte eine variable PDU-Größe festgelegt worden wäre? Dabei wird davon ausgegangen, dass beide Header-Formate identisch 5 Byte benötigen, dass bei Verwendung der variablen Paketgröße aber zusätzlich ein 2 Byte großes Längenfeld notwendig ist. Im Folgenden werden die beiden Verfahren kurz mit Zellvermittlung bzw. Paketvermittlung bezeichnet.

Die Studenten sollen das Nutzlast-/Gesamtdatenverhältnis in Abhängigkeit von den zu übertragenden Nutzdaten grafisch darstellen. An der Grafik lässt sich deutlich erkennen, dass eine feste Zell- bzw. Paketgröße bei ungünstigem Nutzdatenaufkommen ein deutliches Defizit im Vergleich zu einer frei wählbaren

Paketgröße mit sich bringt. Die Paketvermittlung nähert sich kontinuierlich dem Maximum von 100 %, ohne es jedoch zu erreichen. Wohingegen die Zellvermittlung einen Sägezahnkurs verfolgt und bei jedem Vielfachen von 48 Byte ihre maximale Effizient von 90,5 % erreicht (bei 49 Byte liegt die Effizienz der Zellvermittlung allerdings unter 50 % – Paketvermittlung: 87,5 %).

Es ist natürlich klar, dass allein durch die Festlegung auf ein 2 Byte-Längenfeld die Paketgröße auch eine obere Grenze besitzt, abgesehen von anderen begrenzenden Faktoren, die in einem Netzverbund auftreten.

Da das Ergebnis dieser Aufgabe nicht gerade positiv zugunsten einer festen Zellgröße ausfällt, wird im Anschluss die Frage nach den Vorteilen einer festen, kleinen Zellgröße bei der Zellvermittlung im Vergleich zur Paketvermittlung gestellt.[4]

Diese Aufgabenstellung war ursprünglich in Aufgabe 1.1.4 “Zellen und virtuelle Kanäle” angesiedelt. Aufgrund einiger Rückmeldungen der Praktikumsteilnehmer, dass der erste Theorieteil sehr aufwendig sei (angeblich 16-20 Stunden Arbeitsaufwand) wurde diese Aufgabe in den zweiten Theorieteil verschoben. Da in dieser Aufgabe kein für den ersten Praxisnachmittag notwendiges Wissen diskutiert wird, entstehen dadurch keine Probleme. Sie integriert sich nahtlos in den zweiten Aufgabenkomplex, in dem ohnehin einige Überlegungen bezüglich der Effizienz verschiedener Übertragungsverfahren vorgenommen werden.

3.3.3 Emulation des Internetprotokolls

Aufgabe 2.1.4
Seite 38

Der ursprüngliche Anspruch der ATM-Technologie, die bestehenden LAN- und WAN-Technologien zu verdrängen, wird sich nicht erfüllen. Dagegen erringt das Zusammenspiel der unterschiedlichen Verfahren einen immer höheren Stellenwert.

Diese Aufgabe geht der Fragestellungen nach, welche Probleme bei der Übertragung von IP-Paketen in ATM-Netzen entstehen, und welche Lösungen dafür existieren. Dabei zeigen sich die Unterschiede zwischen herkömmlichen Netzen und der ATM-Technologie besonders deutlich.

Eine der Aufgaben besteht darin in die Skizze eines ATM-Backbones einen passenden Protokollstack einzuzeichnen. Aufgrund von mehreren Lösungsmöglichkeiten (z.B. LANE, CLIP nach [RFC 2225]) wird nicht verlangt die Musterlösung zu 100 % zu treffen, es genügt, ein logisches und funktionsfähiges Modell aufzuzeichnen. Die Beurteilung der Korrektheit liegt in der Verantwortung der jeweiligen Betreuer.

Erst in der letzten Teilfrage wird nach konkreten Lösungen für die aufgezeigten Probleme gefragt. Die Praktikumsteilnehmer sollen die Aufgabe des *ATMARP*-Servers *(ATM Address Resolution Protocol)* und den Adressauflösungsmechanismus in *CLIP (Classical IP over ATM)* beschreiben. Zu diesem Zeitpunkt wird

4. Der Autor ist sich bewusst, dass aufgrund der Anforderungen moderner Datenkommunikation derzeit ein Trend hin zu großen PDUs zu verzeichnen ist (z.B. Jumbo-Frames bei Ethernet).

nicht verlangt, tiefer auf die Protokollspezifikation einzugehen. Das ist Bestandteil der nachfolgenden Praxisaufgaben (Aufgabe 2.2.2, 2.2.3 und 2.2.4).

3.3.4 Overhead von IP-Verkehr in ATM-Netzen

Aufgabe 2.1.5
Seite 41

Diese Aufgabe basiert auf einer Rechnung aus einem Artikel von Dipl. Ing. Kai-Oliver Detken [DETKEN I] (wissenschaftlicher Mitarbeiter der Universität Bremen). Im Originalartikel wird auf Basis eines Protokollstacks nach [RFC 1483] der Overhead einer IP-über-ATM-Übertragung abhängig von der MTU-Größe (576, 9180 und 65527 Byte) berechnet. Die Rechnung geht bis zur Transportschicht, dabei wird der Overhead für TCP und UDP getrennt berechnet.

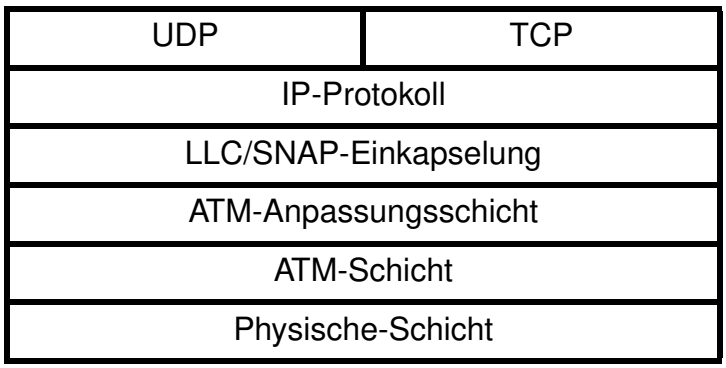

Abbildung 3-5. CLIP-Protokollstack

In der Praktikumsaufgabe wurde der MTU-Wert von 576 Byte durch 1500 Byte ersetzt, um eine Gegenüberstellung mit der bei LANE verwendeten MTU-Größe zu ermöglichen. Die berechneten Werte sind allerdings nicht zu 100 % auf LANE übertragbar, da hier ein leicht abgewandelter Protokollstack zum Einsatz kommt. Je nach Konfiguration existiert unterhalb der LLC- oder IP-Schicht eine zusätzliche LANE-Schicht, je nachdem ob eine LLC-Schicht verwendet wird. Auf die genauen Unterschiede zwischen LANE und CLIP soll zu diesem Zeitpunkt nicht näher eingegangen werden. Die LANE-Protokollschichten werden am dritten Versuchsnachmittag besprochen. Die in der Rechnung zu berücksichtigenden Schichten sind in Abbildung 3-5 aufgezählt.

Auf Basis dieser Rechenergebnisse sollen die Studenten argumentieren, welche Gründe für eine D-MTU *(Default Maximum Transmission Unit)* von 9180 Byte in CLIP-Netzen sprechen, welche Probleme bei großen MTUs auftreten können, und warum trotz der doch ziemlich eindeutigen Ergebnisse bei der Ethernet-Emulation mittels LANE eine D-MTU von 1500 Byte gewählt wurde (aus Kompatibilitätsgründen wurde die MTU-Größe aus der Ethernet-Norm nach IEEE 802.3 übernommen).

Zu dem im Rahmen dieser Aufgabenstellung vermittelten Wissen gehört unter anderem, dass die ATM-Übertragungsrate für STM-1 bzw. OC-3c genau genommen 155,53 MBit/s beträgt und die Angabe 155 MBit/s auf eine historisch gewachsene Rundungsungenauigkeit zurückzuführen ist. Eine weitere Erkenntnis ist, dass die Nettoübertragungsrate der ATM-Schicht (bei STM-1 bzw. OC-3) keineswegs 155 MBit/s beträgt, sondern der Overhead der physischen Schicht

(bei STM-1/OC-3 5,760 MBit/s) abzuziehen ist. Wird die *direkte Zellenübertragung*[5] eingesetzt entfällt dieser Overhead.

Das Hauptaugenmerk dieser Aufgabe liegt nicht darin, die einzelnen Tabellenwerte auf die Kommastelle genau zu berechnen, sondern auf den oben aufgezählten Anmerkungen.

Zunächst wurde befürchtet, dass diese Aufgabenstellung eventuell zu aufwendig sein könnte. Da jedoch im laufenden Semester von Seiten der Praktikumsteilnehmer keine Beschwerden über diese Aufgabenstellung geäußert wurden, bleibt sie vorerst im Praktikum erhalten.

3.3.5 Effizienzvergleich CLIP-LANE-Ethernet

Aufgabe 2.2.2
Seite 45

Aus einer Vielzahl von Arbeiten und Artikeln zum Thema IP-Verkehr in ATM-Netzen lässt sich als Konsens herauslesen, dass die hier diskutierten Verfahren hohe Ansprüche an die Hardware stellen und nicht immer die Übertragungsraten liefern, die von ATM eigentlich erwartet werden könnten. In [DETKEN I] kommt man zu folgenden Schlüssen:

- schlecht konfigurierte Puffer können zu Leistungseinbußen führen.
- die Effizienz ist abhängig von der Implementierung des TCP/IP-Stacks, speziell der Locking-Mechanismen.
- endsysteme sind Engpass, insbesondere die aufwendige LANE stellt hohe Ansprüche an die CPU-Leistung.
- schlechte Werte bei (Windows basierten Pentium) PCs, ca. 60MBit/s. “[...]Bei einer Videoübertragung lassen sich diese Datenraten allerdings nicht erzielen, wenn der Prozessor die Videokomprimierung übernehmen muß.” Zitat: [DETKEN I].

Die ersten beiden Punkte gehen für das Praktikum zu sehr in die Tiefe. Um sie verstehen zu können, müsste ausführlich in den Aufbau von TCP/IP-Protokollimplementationen eingegangen werden. Daher beschränkt sich der Versuch auf die beiden letzten Punkte. Die Studenten sollen mittels geeigneter Messungen einen Vergleich zwischen CLIP, LANE und einem 10BaseT-Ethernet erstellen. Die zu messenden Größen sind der Datendurchsatz (um zu zeigen das die Datenraten unter dem theoretischen Maxima liegen) und die CPU-Belastung des Senders.

Für die Messungen hat sich das Tool “`netperf`” als am geeignetsten erwiesen (Freeware Utility, wird in [Gateway, 1/99 Seite 87][6] zur Messung von TCP/IP-Datenraten über ATM empfohlen). Es besteht aus einem Server- und einem Client-Utility. Der Client sendet einen zufallsgenerierten Datenstrom an den Ser-

5. Die *direkte Zellenübertragung* wurde speziell für den Einsatz in lokalen Netzen spezifiziert, die Aufgaben der PHY-Schicht werden dabei durch spezielle OAM-Zellen übernommen, siehe [KYAS Seite 95]. Diese Art der Übertragung konnte sich jedoch (noch) nicht durchsetzen. Auch die neueste Generation von Workgroup-Switches nutzt (herstellerübergreifend) weiterhin STM- bzw. OC-Frames. Weitere Informationen hierzu siehe “Das Versuchsnetz” auf Seite 6.

6. In Ausgabe 3/99 der Gateway befindet sich ein interessanter Vergleichstest des Fore Systems ASX-200BX (Nachfolger ASX-200GW) mit Workgroup-Switches anderer Firmen.

ver, und misst dabei die durchschnittliche Übertragungsrate und die dadurch entstehende CPU-Belastung auf dem Client (es lassen sich noch einige weitere Parameter ausgeben).

Anhand der gemessenen Werten lässt sich erkennen, dass unser Versuchsnetz weit von den theoretisch möglichen Datenraten (ca. 134 MBit/s wird im Theorieteil berechnet) entfernt ist. Weiter lässt sich ablesen, dass die CPU-Belastung durch die beiden Emulationsverfahren außergewöhnlich hoch ist. Ein derart ausgelasteter Rechner dürfte nicht in der Lage sein, einen entsprechenden Videostrom in Echtzeit zu dekodieren.

Interface	**NETPERF**			
	HP (Client) ➠ HP (Server)		**PC (Client) ➠ HP (Server)**	
	MBit/s	**CPU-Auslastung**	**MBit/s**	**CPU-Auslastung**
Ethernet	8,82	18,66 %	7,52	21,10 %
LANE	39,17	87,17 %	26,44	59,75 %
CLIP	60,80	74,08 %	38,95	59,07 %

Tabelle 3-3. Ergebnisse einer Netperf-Messung

3.3.6 Funktionsweise von CLIP

CLIP (Classical IP) ist ein von der IETF in [RFC 2225] bzw. [RFC 1577] spezifiziertes Verfahren zur Übertragung von IP-Verkehr in ATM-Netzen, welches auf der IP-Einkapselung nach [RFC 1483] basiert.

In herkömmlichen Netzen verwendet IP zur Umsetzung der IP- auf Schicht-2-Adressen die Broadcast-Mechanismen des Schicht-2-Mediums. Da CLIP-Netze nur Unicast-Verkehr zulassen, ist für die Adressauflösung ein sogenannter ATMARP-Server *(ATM Address Resolution Protocol)* notwendig. Dieser übersetzt IP- in ATM-Adressen und umgekehrt. Benötigt man keinen dynamischen Verbindungsaufbau (auf der ATM-Schicht), so kann auf den Einsatz eines ATMARP-Servers verzichtet werden. Die von einem ATMARP-Server verwalteten Systeme bilden ein sogenanntes LIS *(Logical IP Subnet)*. Die Kommunikation über LIS-Grenzen hinweg muss über einen IP-Router erfolgen. Die *Default-MTU* (Maxium Transport Unit) beträgt 9180 Byte. Derzeit unterstützt CLIP nur die UBR-Dienstklasse.

Aufgabe 2.2.3 Seite 48

Nachdem im Theorieteil die prinzipielle Funktionsweise von CLIP behandelt wird, geht die Praxis tiefer auf die Details von Signalisierung, Adressauflösung, Adressregistrierung und das Datenformat ein. Als Grundlage für das hier diskutierte Wissen dienen die RFCs [RFC 1483] *(Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaption Layer 5)* und [RFC 1577] *(Classical IP and ARP over ATM)* bzw. die überarbeitete [RFC 2225] *(Classical IP and ARP over ATM).*

Im ersten Teil sollen sich die Praktikumsteilnehmer einen Überblick über den bei CLIP zum Einsatz kommenden Protokollstack verschaffen. Insbesondere soll die Aufgabe des LLC/SNAP-Header herausgearbeitet werden. Der LLC/SNAP-Header dient der Identifizierung des eingekapselten Protokolls. Er ist notwendig,

da in ATM-Netzen die Möglichkeit besteht, verschiedene Protokolle über ein und denselben VCC zu transportieren. Bei der LLC/SNAP-Einkapselung handelt es sich um kein ATM-spezifisches Verfahren, sie kommt auch bei diversen anderen Protokollstapeln zum Einsatz und kann zum Grundwissen im Bereich der Rechnernetze gezählt werden. Darüber hinaus besteht für die Studenten die Möglichkeit, sofern Interesse vorhanden ist, und der Betreuer darauf eingeht, den Aufbau einer AAL5-PDU zu analysieren. Eine Beschreibung des IP-Paketformats ist nicht vorgesehen, da das Aufgabe eines anderen Versuchs (Teil3 aus *Netzmanagement am Beispiel von HP OpenView*) ist.

IP	Internet Protokoll
SNAP	SubNetwork Attachment Point
LLC	Logical Link Control
AAL5	ATM Adaption Layer 5
ATM-Layer	
PHY	

Abbildung 3-6. IP over ATM: Schichtenmodell nach [RFC 1483]

Im zweiten Teil werden die Adressauflösungs- und Adressregistrierungsmechanismen unter Zuhilfenahme des Internet Advisors genauer betrachtet. Es soll beachtet werden, dass es sich nicht um ein speziell für ATM entwickeltes, sondern um ein an ATM angepasstes Verfahren handelt (die entsprechenden Teile der [RFC 1577] basieren auf einer Adaption der RFCs [RFC 826] und [RFC 1293]).

Die praktische Umsetzung des Versuchs ist relativ einfach. Die Studenten müssen den Protokollanalysator geeignet anschließen und sicher stellen, dass sich das Adressenpaar des Zielrechners nicht im ARP-Cache befindet bevor sie mit der Übertragung und Aufzeichnung beginnen. Fore Systems liefert ein spezielles Dienstprogramm zur Verwaltung des CLIP-ATMARP-Caches, `atmarp` genannt aus. Dieses Programm ist ursprünglich nur für den Einsatz unter Root-Berechtigung ausgelegt. Um es an die Anfordernisse des Praktikums anzupassen, wurden folgende Modifikationen an seiner Rechtestruktur vorgenommen:

- `chmod +s atmarp`
- `chacl 'praktiku.users+x' atmarp`

Damit ist es auch mit der Praktikumskennung möglich, dieses Programm auszuführen und Änderungen am CLIP-ATMARP-Cache vorzunehmen. Auf die sichere und stabile Funktionsweise der Praktikumsrechner hat das keine Auswirkungen.

Die Aufgabenstellung wurde in zwei logisch getrennte Bereiche, Adressregistrierung und Adressauflösung, aufgeteilt. Die Praktikumsteilnehmer sollen die Aufgaben der wichtigsten ATMARP-Paketfelder entschlüsseln, um nachvollziehen zu können, wie beispielsweise der ATMARP-Server herausfindet, welches IP-ATM-Adressenpaar sich hinter einem bestimmten SVC verbirgt. Bei der

Beobachtung dieser Signalisierungsvorgänge kommt deutlich die zentrale Rolle des ATMARP-Servers zum Vorschein.
Der Praktikumsleiter ist aufgefordert, die Studenten darauf hinzuweisen, dass auf den Einsatz eines ATMARP-Servers verzichtet werden kann, falls nur vorkonfigurierte PVCs und keine SVCs verwendet werden. Die CLIP-Clients tauschen in diesem Fall untereinander InATMARP-Pakete (Inverse ATMARP) aus, um festzustellen welche IP-Adresse über welche ATM-Verbindung erreicht werden kann. Ein dynamischer Verbindungsaufbau ist hier nicht möglich. Dieses Verfahren kommt vornehmlich in ATM-Backbone-Netzen zum Einsatz.

Aufgabe 2.2.4
Seite 54

Als abschließende Aufgabe zum Thema CLIP sollen die Studenten einen CLIP-Broadcast beobachten. Dabei handelt es sich eigentlich um eine “Fangfrage”. Da für CLIP-Netze nach [RFC 1577] bzw. [RFC 2225] keine Broadcastmechanismen spezifiziert wurden, können auch keine mit dem Protokollanalysator aufgezeichnet werden. Allerdings lässt sich dadurch überprüfen ob sich die Teilnehmer auf den Versuchsnachmittag vorbereitet haben. Falls die Studenten die Messungen dennoch bzw. trotzdem durchführen, erkennen sie, dass bei dem Versuch die Broadcast-Adresse in eine ATM-Adresse umzusetzen der ATMARP-Server mit einem ARP-NAK (ARP Negativ Acknowledge) antwortet. Der Betreuer ist aufgefordert, die Studenten darauf hinzuweisen, dass mittels eines MARS *(Multicast Address Resolution Server)* CLIP-Netze um Broad- und Multicastfähigkeiten erweitert werden können.

3.3.7 Internetworking

Aufgabe 2.2.5
Seite 54

Zum Abschluss des zweiten Versuchsnachmittags wird ein Thema gestreift, bei dem es sich nicht um etwas ATM-Spezifisches handelt und daher auch nicht zum unmittelbaren Verständnis der ATM-Technologie beiträgt. Diese Thematik besitzt allerdings eine große Bedeutung, wenn es darum geht, ATM-Netze mit herkömmlichen Ethernet-basierten IP-Netzen zu verbinden. Die Rede ist vom “IP-Internetworking”. Dieses Thema wurde trotz seiner Bedeutung noch nicht in das Rechnernetzepraktikum aufgenommen. Da der dritte Aufgabenkomplex WANs am Beispiel von ATM behandelt, und IP-Routing im WAN-Bereich eine zentrale Rolle spielt, wurde das Thema hier aufgegriffen (weitere Überlegungen hierzu siehe letzter Absatz).

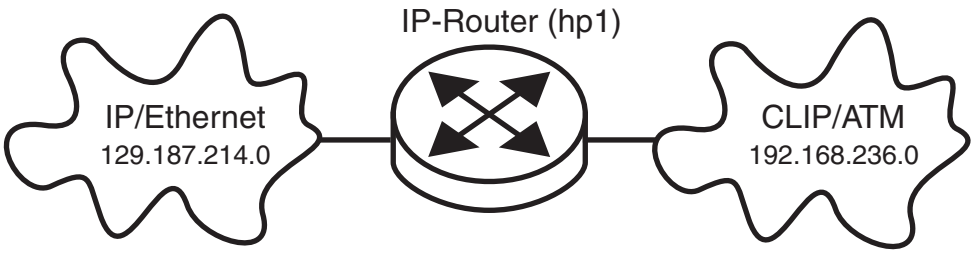

Abbildung 3-7. Aufbau des Internetworking-Versuchs

Die Aufgabenstellung lautet, ein auf Ethernet basierendes IP-Netz (das Lehrstuhlnetz 129.187.214.0) mit einem CLIP-Subnetz (das im Praktikum verwendete 192.168.236.0) zu verbinden. Da unser Klasse-C-Netz (192.168.236.0) per

Subnetting (Subnetmask: 255.255.255.192) in vier Teilnetze aufgeteilt wurde (siehe “Die Konfiguration des IP-Subnetzes” auf Seite 8), konfrontiert man die Praktikumsteilnehmer zwangsweise mit dem Thema Subnetting (nach [RFC 950]).

In dem stark vereinfachten Szenario repräsentiert die hp1 den Router, die hp2 und der pc1 die CLIP-basierten Komponenten. Ursprünglich war geplant, sowohl den pc1 als auch die hp2 so zu konfigurieren, dass beide jeglichen IP-Verkehr nur noch über die hp1 abwickeln. Jedoch ergaben sich bei der hp2 einige Schwierigkeiten, da dieser Rechner fast sein gesamtes System per NFS über das Ethernet “mountet”, und ein Umschalten der Routen im laufenden Betrieb nicht möglich ist.[7] Da es prinzipiell keinen Unterschied macht, ob die Routingtabellen eines NT-Rechners oder einer UNIX-Workstation geändert werden, wurde die hp2 aus der Aufgabenstellung herausgenommen. D.h. die Studenten müssen nur die hp1 (IP-Forwarding aktivieren) und den pc1 (Routingtabellen anpassen) konfigurieren. Die Beschränkung auf den PC hat den zusätzlichen Vorteil, dass (ebenso wie bei einem UNIX-Rechner) durch geeignete Befehlswahl alle Änderungen der Routinginformationen nach dem Booten wieder zurückgenommen werden (der PC aber im Gegensatz zu den UNIX-Rechnern vor jedem Praktikum neu gestartet wird).

Das IP-Forwarding lässt sich auf HP-UX-Rechnern mittels des Kommandos `nettune` ein- bzw. abschalten. Dieses Kommando muss in einer Root-Umgebung ausgeführt werden. Da `nettune` weitreichende Manipulationen an Systemparametern erlaubt, erschien ein einfaches Setzen des s-Bit unangemessen. Stattdessen wurde dem Befehl `nettune` ein Korn-Shell-Skript namens `nettune2` (siehe Anhang C) vorangestellt, welches in einer Root-Umgebung ausgeführt wird und nur die gewünschten Parameter (Auflisten der aktuellen Konfiguration und Setzen des IP-Forwarding) an `nettune` weiterleitet. Um ein mögliches Auslesen des richtigen Befehls zu verhindern wurde, die ACL (Access Control List) von nettune2 so gesetzt, dass die Praktikumskennung das Skript zwar ausführen, es jedoch nicht lesen darf.

Da wie erwähnt ursprünglich auch auf der hp2 Routen geändert werden sollten, wurde für das `route`-Kommando ebenfalls ein Korn-Shell-Skript geschrieben. Dieses `route2` genannte Skript erlaubt nur Änderungen an Routingeinträgen für 192.168.236.XXX-Zieladressen. Dadurch wird unter anderem verhindert, dass (durch geeignetes Umkonfigurieren) die Praktikumsrechner Kontakt mit Ressourcen außerhalb des Lehrstuhlnetzes aufnehmen können. Angesichts dessen, dass die Kennung für die Praktikumsteilnehmer (praktiku) öffentlich bekannt ist, würde das ein nicht kalkulierbares Sicherheitsrisiko darstellen. In der derzeitigen Aufgabenstellung wird dieses Skript aber aus den oben genannten Gründen nicht benötigt.
In diesem Zusammenhang entstand auch das Skript `checkroute.pl`, welches die Routingtabellen auf den UNIX-Rechnern zurücksetzt und das IP-Forwarding abschaltet (siehe Anhang C).

7. Versucht man es dennoch, ist die Maschine nicht mehr ansprechbar (weder lokal noch über das Netz), es hilft nur ein Neustart.

Betrachtet man sich die bei einem `ping` bzw. `tracert` (Windows Kommando für `tracroute`) entstehenden Verzögerungszeiten (1000 ms und mehr bei nur einem Router-Hop), stellt man fest, dass die zum Einsatz kommende HP-Workstation als Gateway ungeeignet ist (man sollte allerdings beachten, dass sie nicht für den Einsatz als Gateway/Router optimiert wurde). Diese extrem hohen Verzögerungszeiten zeigen, welchen Aufwand es mit sich bringt, CLIP-Pakete in Ethernet-IP-Pakete umzuwandeln. Die Datenpakete durchlaufen zuerst den gesamten CLIP-Protokollstapel bis zur IP-Schicht und werden, nachdem eine Wegewahlentscheidung getroffen wurde, in Ethernet-Frames eingekapselt.

Falls einer der Teilnehmer schon einmal mit der Thematik zu tun hatte, ist diese Aufgabe weder zeitaufwendig, noch besonders anspruchsvoll (Dauer ca. 15 Minuten). Im laufenden Semester kristallisierte sich jedoch heraus, dass überraschend wenige Studenten Grundlagenwissen zu den Themen Subnetting und Routing mitbrachten. Daher sollte diese Aufgabe zumindest solange in dieser Konstellation erhalten bleiben, bis im Zuge der Umstrukturierung der restlichen Versuchsnachmittage ein besserer Platz für das Thema gefunden wird.

3.4 LANE und VLANs

Am dritten und letzten Versuchsnachmittag wird den Praktikumsteilnehmern mit der LANE (LAN-Emulation) eine Alternative zu CLIP (Classical IP over ATM) vorgestellt. Im Gegensatz zu CLIP wird nicht ein Schicht-3-, sondern ein Schicht-2-Protokoll nachgebildet. Da sich die dabei entstehenden "emulierten" LANs besonders für die Bildung von VLANs (Virtual LANs) eignen, bilden diese einen weiteren Schwerpunkt an diesem Nachmittag. Anschließend werden am Beispiel des BUS (Broadcast and Unknown Server) PMP-SVCs (Point to Multipoint SVCs) diskutiert. Den Abschluss bildet ein Ausblick auf MPOA (Multiprotocol over ATM).

Da einige der Versuch an diesem dritten Versuchsnachmittag über mehrere Aufgaben hinweg gehen, wurden die "Aufräumhinweise" am Ende der gesamten Aufgabensstellungen zusammengefasst. Dadurch setzen die Studenten das System wieder in seinen Ausgangszustand zurück.

Bei der parallel zum Praktikum laufenden Umfrage gaben viele Teilnehmer an, es wäre zuviel "Protokollanalyse" in der Aufgabenstellung enthalten. Sie würden es lieber sehen wenn stattdessen ein Versuch zur Konfiguration eines Netzes aufgenommen würde. Aufgrund der Umfrageergebnisse wurde dieser Versuchsnachmittag am Ende des Test-Praktikums (WS 1998/99) komplett überarbeitet. Dabei fiel ein Protokollanalyseversuch komplett heraus. Dieser Versuch, der die LANE-Registrierungsmechanismen behandelte, wurde durch einen "kleineren" Versuch über PMP-SVCs ersetzt. Der gestrichene Versuch wird in dieser Ausarbeitung trotzdem erwähnt, er findet sich auch gesondert am Ende von Anhang B wieder. Die Aufgabenstellung wurde derart geändert, dass die Praktikumsteilnehmer, über mehrer Aufgaben verteilt, ein ATM-basiertes VLAN konfigurieren.

3.4.1 Die LAN-Emulation (LANE)

Die LAN-Emulation (LANE) des ATM-Forums ersetzt die Medienzugriffs-Schicht (MAC-Layer) durch eine ATM-basierte Übertragung, die für die Protokolle der höheren Schichten – insbesondere IP – vollkommen transparent ist. Als Bindeglied zwischen ELANs (Emulated LANs) und traditionellen lokalen Netzen dienen sogenannte *Edge Devices*. LANE bietet im Gegensatz zu CLIP Mechanismen zur Autokonfiguration und die Unterstützung von Multicast- und Broadcast-Verkehr. Ein LANE-Netz besteht aus den LECs (LAN-Emulation-Clients) und den LE-Services (LAN-Emulation Dienste). Die LE-Services (LECS, LES/BUS) haben die Aufgabe, die Dienste der MAC-Schicht zu emulieren und sie den LECs zur Verfügung zu stellen. Der LECS ist die zentrale Konfigurationsautorität. Die von einem LES/BUS-Paar verwalteten LECs bilden eine Broadcast-Domäne, ein sogenanntes ELAN.

Aufgabe 3.1.1
Seite 57

In der ersten theoretischen Aufgabe diskutieren die Praktikumsteilnehmer die einzelnen Komponenten eines LANE-Netzes: zum einen die LANE-Dienste (LANE Services), also den *LECS (LAN Emulation Configuration Server)*, den *LES (LAN Emulation Server)* und den *BUS (Broadcast and Unknown Server)*, zum anderen die diese Dienste in Anspruch nehmenden LANE-Clients. Dabei

wird zwischen einem *LEC (LAN Emulation Client)* und einem *Edge Device* (Koppelelement für LANE und herkömmliche Netze) unterschieden. Anschließend sollen die Studenten eine Skizze mit allen Daten- und Kontrollverbindungen, die in einem LANE-Netz existieren, anfertigen.

Aufgabe 3.1.2
Seite 59

In der nächsten Aufgabenstellung wird die Registrierung eines LEC in einem LANE-Netz behandelt. Die LANE-Registrierung ist wesentlich komplexer als die relative einfache Client-Registrierung in einem CLIP-Netz. Sie verläuft in drei Phasen:

- Initialisierungsphase
- Joinphase
- Registrierungsphase

Diese drei Phasen bestehen aus einem Zusammenspiel zwischen Signalisierungs- und LANE-Kontroll-Nachrichten.

Ursprünglich existierte für diese Aufgabenstellung der oben erwähnte, praktische Versuch. In diesem wurden die einzelnen Schritte der LEC-Registrierung mittels des Protokollanalysators beobachtet. Da dieser nicht in der endgültigen Fassung der Aufgaben enthalten ist (siehe auch Kapitel 2.6 “Weitere nicht in das Praktikum aufgenommene Themen” auf Seite 20), wird zumindest eine theoretische Frage zur LANE-Registrierung gestellt. Der Versuch zur LANE-Adressauflösung blieb dagegen als Praxisaufgabe erhalten, daher gibt es dazu keine theoretische Aufgabe.

3.4.1.1 Konfiguration eines ELAN/VLAN[1]

Die Verwaltung der ELANs liegt in unserem Versuchsnetz allein bei dem Switch sw1. Dort sind sowohl LECS als auch LES und BUS[2] installiert. Im Praktikumsnetz ist bereits ein ELAN namens “Einkauf” eingerichtet, in dem alle Rechner Mitglieder sind, d.h. auf jedem Rechner ist ein LEC für das ELAN “Einkauf” installiert. Das ELAN “Einkauf” hat den “Operational Mode” “OPEN”, dadurch kann sich prinzipiell jeder LEC in diesem ELAN registrieren. In den Aufgaben 3.2.1 und 3.2.2 sollen die Studenten zusätzlich ein eigenes ELAN mit dem Namen “Marketing” konfigurieren. Dieses ELAN soll lediglich den pc1 und den sw1 aufnehmen.

Derzeit ist für die LANE die Emulation von Ethernet 802.3 und Token Ring 802.5 spezifiziert. Es wird im ATM-Forum auch über die Emulation von FDDI-basierten Netzen nachgedacht. Im Praktikum beschränken wir uns auf die Emulation von Ethernet-Netzen.

1. Die Begriffe ELAN (Emulated LAN) und VLAN (Virtual LAN) werden im Folgenden als äquivalent betrachtet. ELAN bedeutet nichts anders als ein auf ATM- (bzw. LANE-) Technologie basierendes VLAN.

2. In der LANE-Spezifikation wurden LES und BUS als zwei voneinander unabhängige Einheiten ausgelegt. Aus Effizienzgründen (gemeinsam Datenhaltung etc.) werden sie jedoch in neueren Systemen immer als Paar realisiert. Quelle: Mitarbeiter, Fore Systems

3.4.1.2 Konfiguration eines LEC

Abgesehen von der Installation der LE-Dienste (LE-Services) sind für die Definition eines (LANE-basierten) VLANs zwei Schritte notwendig:

- Vorbereitung der Clients.
- Definition eines geeigneten VLANs.

Aufgabe 3.2.1 Seite 67

Als erstes sollen die Studenten sich die Konfiguration der LE-Dienste auf dem Switch sw1 ansehen. Um sicherzustellen, dass die Studenten dem auch ausreichend nachkommen, müssen sie das Selektor-Byte des LES und BUS (ELAN "Einkauf") in eine Tabelle eintragen. Auf dem Switch sw1 ist schon ein LEC für das ELAN "Einkauf" konfiguriert, das sollte es den Praktikumsteilnehmern erleichtern, im Anschluss einen LEC für das (noch nicht existente) ELAN "Marketing" einzurichten. Es ist relativ einfach, einen LEC unter ForeTought (Betriebsystem des Switches) zu installieren, jedoch sollte man bei der Deinstallation darauf achten, einen geeigneten Befehl zu verwenden. Das Löschen eines LEC ist mit den folgenden beiden Befehlen möglich:

1. `configuration ip delete [index]`: löscht den LEC, allerdings muss dazu der Switch neu gestartet werden
2. `configuration lane lec delete [index]`: löscht den LEC ohne Reboot

In den Praktikumsaufgaben wird ausdrücklich auf den zweiten Befehl hingewiesen. Ein Neustart bleibt bis auf den Zeitverlust ohne weitere Folgen, da die Switches ihre aktuelle Konfiguration sichern.

Als zweiter Client für unser Versuchsnetz wird der pc1 für die Teilnahme an dem ELAN "Marketing" vorbereitet. Die Installation bzw. Deinstallation des LEC unter WindowsNT ist unproblematisch. Es ist jedoch, wie unter NT 4.0 üblich, notwendig den Rechner nach dem Installieren bzw. Deinstallieren des Treibers zu booten.

Auf die Konfiguration eines Clients unter HP-UX wurde verzichtet, da dies relativ aufwendig und fehlerträchtig ist, und dazu Root-Rechte notwendig wären.

Im Anschluss wird das zugehörige VLAN konfiguriert. Bei der Wahl der Reihenfolge der beiden Aufgabe stand man vor dem klassischen "Henne-Ei-Problem". Die Studenten können zwar beliebige Clients installieren, es ist aber keine Funktionsprüfung möglich, solange noch kein zugehöriges VLAN definiert wurde. Umgekehrt gilt das gleiche: wie soll die ordnungsgemäße Konfiguration eines VLANs ohne zugehörige Komponenten bewiesen werden? Das sich daraus ergebende Problem ist, dass ein Fehler in der ersten Aufgabe unter Umständen erst am Ende der zweiten Aufgabe bemerkt wird. Falls es den Praktikanten nicht möglich sein sollte, den Fehler richtig einzuordnen, könnte das zu Verwirrungen und Komplikationen führen.

Dieses Problem hätte durch den Ansatz in der ursprünglichen Aufgabenstellung, nämlich die Clients zu einem vorkonfiguriertem VLAN hinzufügen bzw. ein VLAN für schon installierte Clients zu definieren, vermieden werden können. Die alte Aufgabenstellung konnte allerdings den Studenten nicht befriedigend vermittelt, dass diese beiden Schritte (VLAN definieren und Clients konfigu-

rieren) eigentlich zusammengehören. Das und der Wunsch der Studenten nach mehr "Konfigurationsarbeiten" waren der Grund, in der endgültigen Aufgabenstellung ein komplettes VLAN von den Praktikumsteilnehmern entwerfen zu lassen.

Die Konfiguration der LE-Dienste wird in der nächsten Aufgabe implizit durch die Konfiguration eines VLAN vorgenommen. Der dritte Versuchsnachmittag beinhaltet also alle Schritte zur Konfiguration eines LANE-basierten Netzes bis auf das Aktivieren des LECS. Der dadurch entstehende didaktische Verlust ist gering, da zum Erzeugen des LECS lediglich ein einziger Befehl (z.B. `configuration lane lecs new 00 -db LECS.CFG`) notwendig ist.

Da an anderen Versuchsnachmittagen auf die LANE-Clients zurückgegriffen wird (z.B. Performance-Vergleich), ist das Versuchsnetz so konfiguriert, dass der LECS und ein VLAN ("Einkauf") immer aktiviert sind.

3.4.1.3 Der Foreview VLAN-Manager

Unseren Komponenten lag ein GUI-basiertes Tool (VLAN-Manager) bei, mit dessen Hilfe sich verschiedene VLANs komfortabel zusammenstellen lassen. Es war daher relativ schnell klar, dass ein VLAN-Versuch in das Praktikum aufgenommen werden sollte. Genau genommen sind die Definition eines ATM-basierten ELAN und eines auf herkömmlichen Ethernet-Switching basierenden VLANs konzeptionell sehr ähnlich.

Aufgabe 3.2.2
Seite 70

Die von uns eingesetzten LE-Dienste konfiguriert man durch eine ASCII-Datei (`LECS.CFG`), die mittels `tftp` auf einen Switch übertragen wird (Näheres siehe [FORE CON, Kapitel 3-19]). Der VLAN-Manager ist dabei nichts anderes als (ein auf TCL basierendes) Utility, das diese ASCII-Datei bearbeitet und sie auf "Knopfdruck" an einen Switch transferiert. Dadurch bleibt die Komplexität der Konfigurationsdatei unter einer grafischen Oberfläche verborgen, die es dem Benutzer ermöglicht per "drag and drop" Komponenten in VLANs zu legen, bzw. aus diesen zu entfernen.

Um einen reibungslosen Praktikumsbetrieb zu gewährleisten wurden drei Konfigurationsdateien auf der hp2 abgelegt:

- `Praktikum.cfg`: Standard-Konfigurationsdatei; zum Rückgängigmachen der Änderungen; kann von Praktikanten gelesen, aber nicht geschrieben werden. Sollte am Ende dieses Nachmittages wieder auf den Switch geladen werden.
- `Loesung.cfg`: Musterlösung dieser Aufgabe; kann nur von den Praktikumsbetreuern gelesen werden.
- `Studenten.cfg`: können die Studenten nach Belieben verwenden (z.B. für eigene Sicherungen etc.)

Diese Dateien können nach Bedarf in den VLAN-Manager eingelesen, angepasst und auf einen Switch transferiert werden. Bei allen diesen Aufgaben ist darauf zu achten, nur den Switch sw1 zu verwenden, da auf dem Switch sw2 keine LE-Dienste laufen sollen.

Der zu dieser Themenstellung gehörende theoretische Teil behandelt die (physischen) Anforderungen, die ein Netz erfüllen muss, um die Bildung von VLANs zu ermöglichen und die durch die Bildung von VLANs entstehenden Vorteile.

Aufgabe 3.1.3
Seite 60

3.4.1.4 LANE-Adressauflösung

Aufgabe 3.2.3
Seite 74

Wie einführend erwähnt, war dieser Versuch einer von ursprünglich zwei Versuchen, welche eine LANE-Protokollanalyse mittels des Internet Advisors zum Thema hatten. Der andere Versuch behandelte die Registrierung eines LEC in einem LANE-Netz und wurde in die endgültige Aufgabenstellung nicht übernommen.

Zur Beobachtung wird das bereits vorkonfigurierte ELAN "Einkauf" verwendet, nicht das von den Studenten erstellte "Marketing"-ELAN. Dadurch wird vermieden, dass durch Fehler in den vorherigen Aufgaben Probleme bei der Datenanalyse entstehen. Diese Aufgabenstellung betrachtet zwei Adressauflösungen:

- IP – MAC
- MAC – ATM

Die IP-MAC-Adressauflösung funktioniert analog zu herkömmlichen Netzen mittels eines ARP-Broadcast. Der Unterschied ist, dass der BUS für die Erzeugung des Broadcasts zuständig ist. Die Auflösung zwischen MAC- und ATM-Adressen geschieht mittels eines LE-ARP-Requests (LANE-ARP-Request) an den LES. Um die Verzögerungszeiten durch den ATM-Verbindungsaufbau so gering wie möglich zu halten, wird während dieser zweistufigen Adressauflösung schon mit der eigentlichen Datenübertragung über den BUS begonnen. Dieses Verhalten lässt sich sehr gut anhand der Verzögerungszeiten des `ping`-Kommandos erkennen.

Der IP-MAC-ARP-Cache wird von dem Standard-UNIX-Kommando `arp` verwaltet, der MAC-ATM-Cache kann mit einem speziellen Fore-Utility namens `learp` bearbeitet werden. Der `learp`-Befehl wurde analog zu dem `atmarp`-Befehl (siehe Seite 39) modifiziert, so dass auch die Praktikumsteilnehmer vollen Zugriff auf seine Funktionalität erhalten. Ein Anpassen des UNIX-Kommandos `arp` war leider nicht möglich. Das ist aber nicht besonders schwerwiegend, da i.d.R. der arp-Cache vor dem Beginn dieses Versuches leer ist. Sollte das einmal nicht der Fall sein, besteht die Möglichkeit einige Minuten zu warten, da inaktive Einträge im arp-Cache nach 10 Minuten gelöscht werden.

Neben einem Überblick über die Funktionsweise der LANE-Adressauflösung liefert dieser Versuch zusätzlich Aufschlüsse über die Funktion und Aufgaben des BUS.

3.4.1.5 LANE-Datenformat

Aufgabe 3.2.4
Seite 76

In dieser Aufgabenstellung wird auch der Internet Advisor verwendet, im Gegensatz zu den bisherigen Protokollanalyseaufgaben geht es aber nicht darum, Protokollabläufe sichtbar zu machen. Diesmal ist ein leeres LANE-Datenframe vorgegeben. Die Aufgabe der Studenten ist es, den einzelnen Feldern ihre Bedeutung/Namen zuzuweisen. Um diese Frage erfolgreich zu beantworten, muss sowohl die nach Feldern aufgeschlüsselte "Decode"-Ansicht, als auch die "Hex"-Ansicht des Internet Advisors verwendet werden.

Im Grunde wird hier ein leicht abgewandeltes Ethernet-Frame untersucht. In der Fragestellung wird auf die Gründe für diese Unterschiede gesondert eingegangen. Eine Gegenüberstellung des im Praktikum verwendeten Ethernet-Frame-Formats nach DIX[3] V2.0 und des von der LANE verwendeten Ethernet-Frame-Formates finden Sie in Abbildung 3-8.

Präambel	8 Oktett
Ziel-Adresse	6 Oktett
Quell-Adresse	6 Oktett
Typ-Identifikator	2 Oktett
Daten	-1500 Oktett
FCS	4 Oktett

LE-Kopf	2 Oktett
Ziel-Adresse	6 Oktett
Quell-Adresse	6 Oktett
Typ-Identifikator	2 Oktett
Daten	-1500 Oktett

Abbildung 3-8. Vergleich Ethernet-Frame (DIX V2.0) vs. LANE-Ethernet-Frame

3.4.2 MultiProtocol Over ATM (MPOA)

Die LANE bietet einige Vorteile im Vergleich zu CLIP, sobald jedoch ein Router zwischen zwei LANE-basierte IP-Subnetze geschaltet wird, ist auch hier mit deutlichen Leistungseinbußen zu rechnen. In solchen Umgebungen ist der Einsatz von MPOA interessant und zweckmäßig. MPOA verfährt nach dem Grundsatz “Switching wenn möglich (und sinnvoll) - Routing wenn nötig”. Seit Juli 1997 liegt die Version 1.0 von MPOA vor, [MPOA V1]. Sie basiert auf [LANE V1] und [LANE V2] des ATM-Forums, CLIP [RFC 1483], NHRP [RFC 2332] und MARS [RFC 2022] der IETF. Es ist vorgesehen, dass MPOA über ABR hinaus weitere Dienstklassen unterstützt.

MPOA basiert auf Clients (MPC) und MPOA-Routern bzw. Servern (MPS). Der MPC ist Anfangs- und Endpunkt für sogenannte *Shortcut-Verbindungen*. Der MPS ist eine logische Komponente eines Routers. Wird er von einem MPC aufgefordert, so versucht er in Zusammenspiel mit NHRP und der Routing-Engine, einen direkten (Subnetz-überschreitenden) Pfad zwischen zwei MPCs zu finden. Ist ein solcher Pfad gefunden, können die betroffenen MPCs einen direkten SVC (einen sogenannten *Shortcut*) zwischeneinander schalten. Voraussetzung hierfür ist natürlich, dass sich die beteiligten MPCs im gleichen ATM-Netz befinden.

Da für unsere Netzwerkkomponenten keine MPOA-fähigen Treiber verfügbar sind, ist es nicht möglich einen Versuchsaufbau zu diesem Thema zu präsentieren. Auch in Zukunft ist diesbezüglich mit keinen Weiterentwicklungen von Fore Systems zu rechnen.

3. DIX – Digital Intel Xerox waren maßgeblich an der Entwicklung des Ethernet-Standards beteiligt. DIX V2 verzichtet auf die LLC-Einkapselung nach IEEE 802.2.

Wie ein solcher Versuchsaufbau[4] aussehen könnte, sehen Sie in Abbildung 3-9. Wollen "Rechner 1" und "Rechner 2" aus zwei unterschiedlichen LANE-Netzen (Broadcast-Domänen) Daten austauschen, so müssen sie zunächst über den IP-Router kommunizieren. Mittels MPOA ist es möglich, dass zwischen den beiden Rechnern ein direkter ATM-SVC geschaltet wird. In der Praxis wird meist nicht automatisch bei jeder Datenübertragung eine Shortcut-Verbindung aufgebaut, sondern erst wenn der Datenstrom einen gewissen Grenzwert überschreitet.
Da in einer realen Umgebung viele Systeme schon eine Verbindung zum Router geschaltet haben, muss nicht zwangsweise ein SVC aufgebaut werden, wenn beispielsweise in dem in Abbildung 3-9 dargestellten Szenario die beiden Endsysteme miteinander kommunizieren wollen. Da ein Verbindungsaufbau in ATM-Netzen immer mit Ressourcenverbrauch und Verzögerungszeiten verbunden ist, sollte eine direkter Shortcut (in Abbildung 3-9 gestrichelt eingezeichnet) erst ab einem angemessenen Übertragungsvolumen eingerichtet werden. Es liegt in der Verantwortung des MPCs, zu entscheiden ob ein solcher *Shortcut* sinnvoll ist und eine entsprechende Anfrage an den MPS zu stellen.

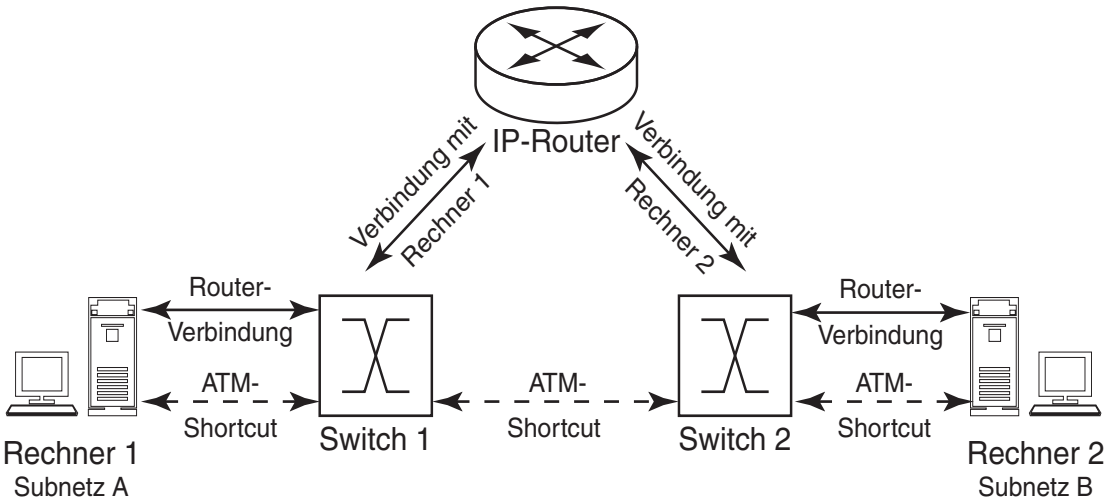

Abbildung 3-9. Mögliche Konfiguration eines MPOA-Versuchs

Im hier skizzierten Versuchsaufbau sollten sich die Signalisierungsvorgänge sehr gut beobachten lassen: zuerst findet der Datenaustausch zwischen den beiden MPCs (relativ langsam) über den IP-Router statt. Nachdem das Transfervolumen einen bestimmten Grenzwert überschreitet, lässt sich ein Verbindungsaufbau zwischen den beiden MPCs beobachten. Anschließend verschwindet der Router-Hop. Ab diesem Zeitpunkt sollte die Datenübertragung beschleunigt ablaufen.

Aufgabe 3.1.4
Seite 62

Es ist zu erwarten, dass MPOA in Zukunft eine wichtige Rolle in ATM-Netzen spielt. Daher sollte dieses Thema auch im ATM-Praktikum behandelt werden. Da es leider nicht möglich war, einen praktischen Versuch zu MPOA anzubieten, blieb nur eine Frage zu MPOA im Theorieteil.

Um ein Verständnis für die Problematik zu bekommen, sollen die Praktikumsteilnehmer zuerst beschreiben, warum unter gewissen Vorraussetzungen IP-Router in ATM-Netzen überhaupt notwendig sind. Im zweiten Teil der Aufgabe

4. Es wäre auch möglich mit nur einem Switch auszukommen.

wird dann als Lösung für diese Problemstellung MPOA behandelt. Da die MPOA-Spezifikation [MPOA V1] sehr umfangreich ist beschränkt sich die Aufgabenstellung (Titel: “Ausblick: MPOA”) auf die Abläufe beim Aufbau eines Shortcuts.

Anmerkung zu Subnetzen und Routing: In einem auf Ethernet basierenden IP-Netz können Teilnehmer aus verschiedenen Subnetzen auch direkt (ohne IP-Router) miteinander kommunizieren, vorausgesetzt sie befinden sich in einer Broadcast-Domäne[5]. Das gleiche gilt für LANE-basierte IP-Netze. Bei CLIP-basierten Netzen ist aufgrund der zentralen Rolle des ATMARP-Servers, der nur je ein LIS (Logical IP Subnet) verwaltet, auf jeden Fall ein Router für die LIS-überschreitende Kommunikation notwendig. In [RFC 2225, Seite 6] bzw. [RFC 1577, Kapitel 3] steht:

> o All members [of the LIS] have the same IP network/subnet number and address mask
>
> o All members outside of the LIS are accessed via a router.

In unseren Komponenten ist das jedoch nicht so streng realisiert. An ein und dem selben ATMARP-Server können sich Clients aus verschiedenen IP-Netzen anmelden und auch untereinander – ohne Router – kommunizieren.

3.4.3 Point-to-Multipoint-SVC

Aufgabe 3.2.5
Seite 78

Man mag sich fragen warum dieser Versuch innerhalb des LANE/VLAN-Nachmittags behandelt wird. Konzeptionell würde er besser in den ersten Versuchsnachmittag passen, da dort PVCs und SVCs behandelt werden. Der Grund ist, dass spezielle Dienste der LANE (BUS/LES) einen PMP-SVC implementieren. Es kann hier also die Funktionsweise eines PMP-SVCs anhand eines für die Praxis relevanten Beispiels beobachtet werden. Da es für das Verständnis dieser Aufgabe sehr hilfreich ist, über die Aufgaben des BUS Bescheid zu wissen, ist es nicht zu empfehlen diesen Versuch an einen anderen Nachmittag zu legen. Alternativ wäre es auch möglich gewesen, den Studenten einen PMP-PVC einrichten zu lassen. Allerdings verfügen wir über keine Anwendung, die diesen PMP-PVC “sinnvoll” nutzen könnte.

Neben dem Hauptziel dieser Aufgabe, dem Skizzieren der Baumstruktur eines PMP-SVCs, werden zusätzlich die Gründe für mögliche Engpässe der LANE (z.B. BUS/LES) behandelt.

5. Aus offensichtlichen Gründen werden Subnetze i.d.R. so gewählt, dass sie mit den Broadcast-Grenzen übereinstimmen.

4 Schluss

4.1 Zusammenfassung

Die alten “WAN-X.25-Versuche” wurden in den letzten Jahren sehr stiefmütterlich behandelt. Bezüglich Umfang und Aktualität blieben sie weit hinter den beiden anderen Themen zurück. Durch die Aufnahme des Themas “LAN/WAN am Beispiel von ATM” hat diese Praktikumsreihe eine deutliche Aufwertung erfahren, auch wenn dadurch von der WAN-Orientiertheit der 2. Versuchsreihe Abstand genommen wurde. Die ursprüngliche Aufteilung des Praktikums (siehe Tabelle 4-1 “Bisher”) war schon seit längerem nicht

	Bisher	Neu
1	Lokale Netze	IP-Netze
2	Weitverkehrsnetze	ATM
3	Netzmanagement	Netzmanagement

Tabelle 4-1. Alte vs. zukünftige Einteilung der Praktikumsversuche

mehr zu hundert Prozent gültig. So enthielt die 3. Versuchsreihe (Netzmanagement) einen Nachmittag, der sich ausschließlich mit der Analyse von TCP/IP-Verkehr beschäftigt. In Zukunft werden auch in der 1. Versuchsreihe (Lokale Netze) zwei Nachmittage (Bridging und Novell-Netze) durch Neuere (IP-Sicherheit und IP-Routing) ersetzt, sodass diese Versuchsreihe in Zukunft nicht mehr “lokale Netze”, sondern “IP-Netze” genannt wird.

Von verschiedenen Stellen (Diplomarbeitbetreuern/Studenten) wurde die Frage gestellt, ob man den ATM-Versuch eventuell auf vier Nachmittage ausdehnen sollte. Es wäre sicherlich kein Problem, im Zusammenhang mit B-IDSN/ATM genügend geeignete Themen zu finden. Jedoch müsste darunter zwangsweise ein anderer Versuch leiden, außerdem würde das Rechnernetzepraktikum sehr ATM-lastig werden. Beschränkt man sich aber auf für die Informatik relevante grundlegende Aspekte der ATM-Technologie, so sollten diese drei Versuchsnachmittage auch in nächster Zukunft ausreichen.

4.2 Ausblick

Die im Rahmen dieser Diplomarbeit vorgestellten Praktikumsversuche geben einen relativ umfassenden Überblick über B-ISDN/ATM. Es werden allgemeine Konzepte und Techniken aus der Welt der Rechnernetze vorgestellt, und es wird das nötige Grundwissen zum Verständnis der ATM-Technologie vermittelt. Der Schwerpunkt der Aufgaben liegt neben allgemeinem WAN- und ATM-Grundlagenwissen auf der Abbildung von legacy Protokollen auf ATM.

In Zukunft werden insbesondere auf dem Gebiet der “ATM-IP-Interconnectivity” viele Innovationen erwartet (RSVP over ATM, IPv6 over ATM, MPLS etc.). In diesem Ausblick werden einige dieser Themen kurz angeschnitten und insbesondere auf ihre Tauglichkeit für das Rechnernetzepraktikum hin beurteilt.

Im Gegensatz dazu wird der “native” ATM-Datenverkehr im Bereich der privaten Netze weiterhin ein Nischendasein fristen. Er bleibt im Rahmen dieses Ausblicks weitgehend unberücksichtigt.

4.2.1 Routing in ATM-Netzen (PNNI)

Wie in Kapitel 2.5 bereits angedeutet, wäre es in Zukunft denkbar, eine Aufgabe zu Routing in ATM-Netzen in das Praktikum aufzunehmen. Mit dem im Praktikum zur Verfügung stehenden Equipment scheint es jedoch weder möglich noch sinnvoll, einen praktischen Versuch zu diesem Thema anzubieten (Näheres dazu siehe Kapitel 2.5 “Warum keine Aufgaben zum ATM-Routing?” auf Seite 18). Prinzipiell wäre es aber denkbar, dazu eine theoretische Aufgabe anzubieten. Aufgrund der Komplexität dieser Thematik sollte das aber gut überlegt werden. Eventuell wäre im dritten Theorieteil noch “Platz”, allerdings passt das ATM-Routing thematisch nicht besonders gut in das Kapitel “LANE und VLANs”.

4.2.2 FAST – Framed ATM over SONET/SDH Transport

Am 17. März kündigte das ATM-Forum mit FAST *(Framed ATM over SONET/SDH Transport)* eine Spezifikation an, welche sich speziell für die IP-Übertragung von bis zu 64-KByte großen Zellen unter Wahrung der Kompatibilität zu allen existierenden ATM-Standards eignet. Dadurch ist mit einer Geschwindigkeitssteigerung (weniger Zellen pro IP-Paket müssen vermittelt werden; keine Fragmentierung) und einer wesentlichen Verringerung des Overhead bei der IPoA-Übertragung zu rechnen (vgl. “Emulation des Internetprotokolls” auf Seite 35 ff.). Vor Abgabe dieser Diplomarbeit existierten dazu, außer einer Pressemitteilung des ATM-Forums, keine weiteren öffentlichen Papiere. Es ist aber zu erwarten, dass sich dieses Thema gut in die Aufgabenstellung einbauen lässt (z.B. in eine der Aufgaben 2.1.3 bis 2.1.5).

4.2.3 MPLS im Praktikum

Falls Sie noch nicht mit MPLS vertraut sind, finden Sie in Anhang A eine Übersicht zur Funktionsweise und den Einsatzmöglichkeiten von MPLS in ATM-Netzen.

Solange noch kein verbindlicher Standard zu MPLS verabschiedet ist, erscheint es nicht sinnvoll MPLS in die Aufgabenstellung aufzunehmen. Lediglich an einer Stelle im Theorieteil (Aufgabe 2.1.4), in welcher die Studenten einige Fachbegriffe erklären sollen, wird MPLS kurz aufgegriffen.

Da MPLS keine Änderungen an den Endsystemen nötig macht, sollte ein Software-Update der Switches genügen, um unser Praktikumsnetz MPLS-tauglich zu machen. Auch wenn MPLS in einem derart kleinem Szenario keinen Sinn macht (MPLS ist in erster Linie für den Einsatz im WAN-, MAN- und Campus-Bereich konzipiert), sollte sich ein Versuch mit unserem Praktikumsnetz aufbauen lassen (z.B. sw1 als ingress LSR[1]; sw2 als egress LSR; LSP von sw1 zu sw2). Leider ist nicht zu erwarten, dass für die im Prak-

tikum eingesetzten ASX-200GW-Switches weitere Software-Updates verfügbar sein werden, um einen derartigen Versuch realisieren zu können.

4.2.4 Zell-Interleaving in ATM-Netzen

Eventuell wäre es auch interessant eine Aufgabe zum Thema “Zell-Interleaving” aufzunehmen. Da bei IP vergleichbare Probleme nicht existieren (Reihenfolgesicherung liegt bei höheren Schichten), sind sich viele Praktikumsteilnehmer der Tragweite dieses Themas nicht bewusst. Bei IPoA-Verfahren werden von dem für die Segmentierung zuständigen AAL5 keinerlei Sequenzenummern oder sonstige Identifikatoren zur Kennzeichnung zusammengehöriger Zellen übertragen. Aufgrund der Reihenfolgegarantien in ATM-Netzen genügt es, die letzte Zelle einer SAR-PDU zu markieren[2], um die segmentierten SAR-PDUs wieder zusammensetzen zu können. Beim Multiplexen von verschiedenen AAL-5-Datenströmen in einen VP/VC können deshalb die oben genannten Probleme auftreten.

Näheres zum Zell-Interleaving finden Sie in Anhang A unter “Label-Merge” auf Seite 5.

4.2.5 Videokonferenzen

Auf der CeBit99 stellte Fore Systems ein auf ATM-basierendes Videokonferenzingsystem vor. Es arbeitet mit einer frei einstellbaren Übertragungsrate und verwendet den AAL5. In wieweit sich daraus eine Praktikumsaufgabe kreieren lässt, kann aufgrund fehlender Informationen an dieser Stelle nicht diskutiert werden. Auf Nachfrage, ob dieses System dem Lehrstuhl für ein Praktikum (kostenlos) überlassen werden könnte, teilte ein Mitarbeiter von Fore Systems mit: “Das es prinzipiell denkbar wäre, zu einer Vereinbarung zu kommen, allerdings müsste dabei auch für Fore Systems ein gewisser Profit enthalten sein”. Falls von Seiten der Praktikumsleitung Interesse an diesem System besteht, sollte man mit der unten angegeben Adresse Kontakt aufnehmen.
Kontakt: Gerhard Marx; E-Mail: gmarx@eu.fore.com; Tel.: 089/99216-380

4.2.6 IP over SONET/SDH

Mit ATM/B-ISDN wurde eine interessante Technologie für die Übertragung von IP-Paketen in Weitverkehrsnetzen, in das Rechnernetze-Praktikum aufgenommen. Auch wenn ATM-Netze sich nicht nur zur Übertragung von IP-Paketen eignen, ist es abzusehen, dass die TCP/IP-Protokollfamilie weiterhin an Bedeutung zunimmt und zur wichtigsten Anwendung für ATM-Netze wird. Kurz- bis mittelfristig wird die Anzahl der IP-over-ATM-Netze (IPoA) sicherlich steigen. Welche Übertragungsverfahren langfristig im Weitverkehrsbereich dominieren, ist dagegen noch nicht abzusehen.

Beispielsweise könnte durch die Einführung von MPLS das *IP over SONET* (bzw. *IP over SDH*) eine interessante Alternative zu IPoA werden. IPoS verwendet das PPP *(Point-to-Point Protocol)* um IP-Pakete direkt in SDH-Rahmen einzukapseln (siehe Abbildung 4-

1. Eine Begriffserklärung finden Sie in Anhang A.

2. Bei Verwendung des AAL5 ist das PT-Feld (Payload Type) im ATM-Header auf “1” gesetzt, um das Ende einer SAR-PDU (Segmentation and Reassembly PDU) anzuzeigen. Die restlichen Zellen einer SAR-PDU bekommen den Wert “0” zugewiesen.

1). PPP[3] ist ein Link-Layer-Protokoll, das es erlaubt verschiedene Protokolle (quasi parallel) über eine Punkt-zu-Punkt-Verbindung zu transportieren. Der PPP-Standard enthält verschiedene Spezifikationen für die Verbindungssteuerung, die Konfiguration und das Testen einer Punkt-zu-Punkt-Verbindung.

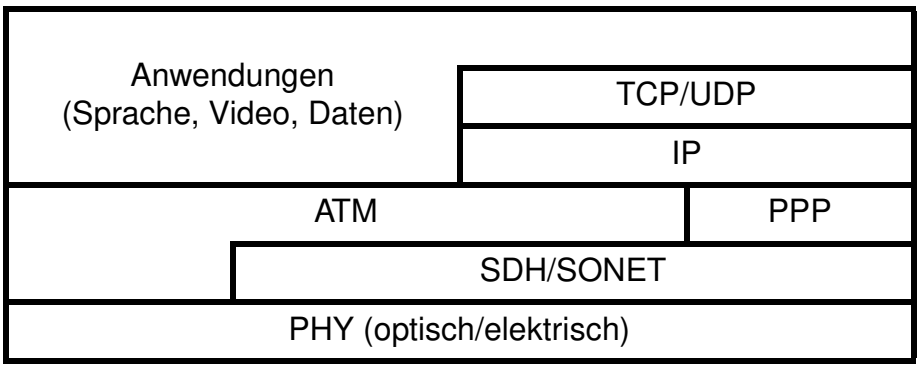

Abbildung 4-1. Protokollstack mit den Möglichkeiten zukünftiger (IP-) Netze.

Durch den Verzicht auf die ATM-Zwischenschicht ist der Overhead bei direkter Übertragung auf SONET/SDH-Infrastrukturen, um bis zu 14 Prozent geringer wird, zusätzlich MPLS[4] verwendet ca. 5-6 Prozent, Quelle: [DETKEN IV]. Dafür verzichtet man auf die feingranulare QoS-Unterstützung, wie sie in IPoA-Netzen möglich wäre.[5]

Welches der verschiedenen Verfahren (bzw. welche Kombination) in Zukunft eingesetzt wird, bleibt abzuwarten.

4.3 Schlusswort

Zusammenfassend lässt sich erkennen, dass noch genügend Themen existieren, die eventuell in das Praktikum aufgenommen werden können. Die beschränkenden Faktoren sind hier vorwiegend die Komplexität des Stoffes und die derzeit im Praktikum eingesetzten "veralteten" Komponenten, welche viele der neuen Techniken nicht unterstützen. Weitere Softwareupdates sind, jedenfalls für die derzeit eingesetzte Hardware, nicht zu erwarten. So bleibt in vielen Fällen nur die Möglichkeit die theoretischen Aufgaben entsprechend zu erweitern, ohne einen dazu passenden praktischen Versuch anbieten zu können.

3. Der Leser kennt es wahrscheinlich als Zugangsprotokoll zum Internetprovider.

4. In [DRFT MLSE, Kapitel 4.1] wird ein MPLS-over-PPP-Verfahren vorgestellt.

5. Auch in IPoS-Netzen ist es möglich QoS-Anforderungen zu realisieren (z.B. Priorisierung von MPLS-Flows), allerdings steckt die Entwicklung hier noch in den Anfängen.

ANHANG A

MPLS – MultiProtocol Label Switching

Wie bereits mehrfach erwähnt, ist es vorteilhaft die Anzahl der auf einer Übertragungsstrecke nötigen Router-Hops so gering wie möglich zu halten. In legacy IP-Netzen wird jedes Paket von Router zu Router weitergereicht. Jeder Router muss dabei die verwendeten Schicht-3-Routing-Algorithmen unterstützen und den Paket-Header analysieren. Darauf basierend trifft jeder Router für sich eine Wegewahlentscheidung (Hop-by-Hop Routing).

Diese Verfahrensweise ist relativ aufwendig und trägt stark zur Erhöhung der Netz-Verzögerungszeiten bei. IP-Router erweisen sich vor allem in IPoA-Netzen (IP over ATM) als Engpass, da die IP-Pakete mit relativ aufwendigen Verfahren aus den ATM-Zellen erzeugt und nach Analyse des IP-Headers wieder in ATM-Zellen eingekapselt werden müssen. Ein weiterer negativer Punkt beim Einsatz vieler Router sind die aufgrund ihrer Komplexität höheren Kosten im Vergleich zu Switches.

Um diese Nachteile zu umgehen, haben mittlerweile viele Hersteller “Layer 3 Switching” Produkte vorgestellt. Diese Lösungen sind jedoch meist proprietär und in ihrem Funktionsumfang fest an bestimmte Medien gebunden (z.B. Layer-3-Switching über Ethernet).

Mit dem MPLS *(MultiProtocol Label Switching)* versucht das IETF einen hersteller- und protokollübergreifenden Standard basierend auf dem *Label Switching* zu etablieren. MPLS ist in seiner Definition vollständig protokollunabhängig, sowohl vom Schicht-3-Protokoll (z.B. IP, IPX etc.), als auch vom darunterliegenden Übertragungsmedium (z.B. ATM, Frame Relay, Ethernet etc.).

A.1 MPLS-Grundlagen

Im Folgenden wird lediglich ein Überblick über MPLS gegeben, um daraus eventuell eine Aufgabe für das ATM-Praktikum zu erstellen. Bitte beachten Sie, dass sich die meisten MPLS-Spezifikationen derzeit noch im Zustand eines “Draft” befinden. Als Literaturquellen für diesen Abschnitt dienten: [DRFT MAVS], [DRFT MFLS], [DRFT MLSA] und [DRFT MLSE].
Anmerkung: Basierend auf der Auslegung in den MPLS-Spezifikationen wird ATM in diesem Abschnitt den Schicht-2-Protokollen zugeordnet.

Die zentrale Komponente in MPLS-Netzen ist der sogenannte LSR *(Label Switching Router)*. Er teilt die zu transportierenden IP-Pakete in sogenannte FECs *(Forwarding Equivalence Classes)* ein. Diese Einteilung wird in erster Linie anhand der Schicht-3-Zieladressen vorgenommen, sie kann aber auch auf anderen geeigneten Merkmalen[1]

1. Derzeit sind von der IETF lediglich IP-Adressen und IP-Adresspräfixe für die FEC-Einteilung spezifiziert. [DRFT MLDP, Kapitel 2.1]

(bzw. einer Kombination aus Merkmalen) basieren. Die FECs werden einem "nächsten Hop" (Router) zugewiesen. Das besondere an MPLS ist, dass allen Paketen einer FEC ein (lokal) eindeutiges *Label*[2] fester Länge zugewiesen wird. Anhand dieses Labels erfolgt – ähnlich wie in ATM-Vermittlungsstellen – die Weiterleitung der einzelnen Datenpakete (d.h. keine Auswertung der Schicht-3-Adressfelder; kein Hop-by-Hop-Routing der einzelnen Pakete). Der Abschnitt auf dem ein Paket durch Label Switching vermittelt wird, wird als LSP *(Label Switching Path)* bezeichnet. Beim Austritt aus dem LSP muss das Label vom egress LSR entfernt werden.

Die Vergabe eines Labels liegt beim downstream (aus Sicht des Datenstromes) gelegenen LSR (siehe Abbildung A-1). Wahlweise kann auch ein upstream gelegener LSR ein Label für eine FEC anfordern *(Downstream-on-Demand)*. Anschließend muss der downstream gelegene LSR den upstream gelegenen über die Labelvergabe informieren *(label distribution)*. MPLS schreibt für die Label-Verteilung kein besonderes Protokoll vor. Neben speziell dafür entwickelten Protokollen wie LDP *(Label Distribution Protocol)* können auch andere Protokolle wie BGP[3] *(Border Gateway Protocol)* oder RSVP[4] *(Ressource ReSerVation Protocol)* verwendet werden.

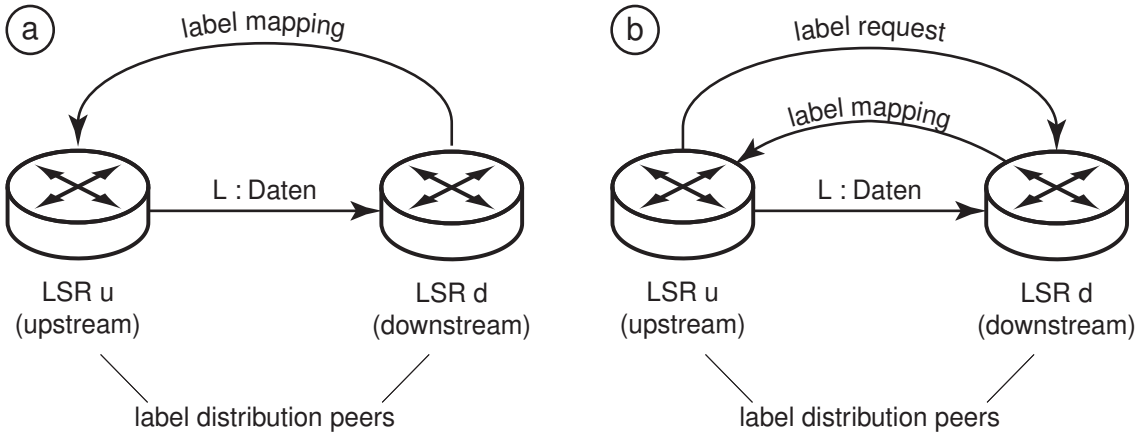

Abbildung A-1. Unsolicited-Downstream (a) vs. Downstream-on-Demand (b)

Hinweise zur Abbildung:

a) LSR d erkennt einen FEC A und weist LSR u an allen Paketen, die dem FEC A entsprechen, das Label L zuzuweisen *(label mapping)*. Ab diesem Zeitpunkt markiert der LSR u alle dem FEC A entsprechenden Daten mit dem Label L. LSR d trifft nun sämtliche den FEC A betreffenden Wegewahlentscheidungen basierend auf Label L. In diesem Szenario muss bereits ein Datentransfer zwischen LSR u und LSR d bestehen.

b) LSR u will Daten über den LSR d verschicken. Er weist diesen Daten den FEC A zu und fordert LSR d auf, ihm dafür ein Label zuzuweisen *(label request)*. LSR d weist dem FEC A das Label L zu und teilt dies LSR u mit. LSR u markiert alle dem FEC A entsprechenden Pakete mit dem Label L. Da dies prinzipiell dem Verbindungsaufbau in ATM-Netzen entspricht, ist es die für ATM-Netze empfohlene Variante.

In MPLS-Netzen können mehrere Labels hierarchisch in einem LIFO-Stapel angeordnet werden, dem sogenannten Label-Stack [DRFT MLSE, Kapitel 2] (siehe Abbildung A-2).

2. Der vorbelastete Leser kann dieses Label – dem MPLS seinen Namen verdankt – mit den VP/VC-Identifikatoren bei ATM vergleichen.

3. Nähere Informationen hierzu finden Sie in [DFRT MBGP].

4. Es existieren Überlegungen, die RSVP-Reservierungsnachrichten zur Zuweisung der Labels zu nutzen (siehe [DRFT MLSR]).

Der Label-Stack wird als spezieller Header zwischen den Schicht-2- und den Schicht-3-Header gestellt. Um MPLS-Pakete in Ethernet-basierten Netzen identifizieren zu können wurde ein neuer *Ethertype,* 0x8847 für Unicast- und 0x8848 für Multicast-MPLS-Pakete, spezifiziert.
Alternativ dazu kann das oberste Element des Label-Stacks direkt in die entsprechende Schicht-2- bzw. Schicht-3-PDU (z.B. VPI/VCI bei ATM; Flow Label bei IPv6[5]) hineinkodiert werden. Diese Lösung ist besonders komfortabel, wenn nur ein Label pro PDU zugelassen ist und auf den Stack verzichtet wird. Ansonsten muss der restliche Label-Stack zusätzlich mit dem Paket übertragen werden. Mit Hilfe des Label-Stacks kann unter anderem ein Tunnel auf MPLS-Basis realisiert werden (näheres siehe [DRFT MLSA, Kapitel 2.27]).

0	20	23	2431
Label	Exp	S	TTL
Label	...	..	...

Exp: Experimental Use
S: Bottom of Stack (=1 im letzten Eintrag)

Abbildung A-2. Aufbau des MPLS-Label-Stack

A.2 MPLS in ATM-Netzen

In ATM-Netzen ist LDP das für die Label-Reservierung bevorzugte Protokoll. Der Label-Wert wird dabei direkt in den VPI/VCI bzw. nur in den VCI[6] hineincodiert. Verwendet man einen Label-Stack, so muss dieser analog zur oben erklärten Verfahrensweise als zusätzlicher Header [DRFT MLSE, Kapitel 9] vor das IP-Paket gestellt werden.

Setzt man in einem IPoA-Netz konsequent MPLS ein, so kann sowohl auf das ATM-Routing, als auch auf die explizite ATM-Adressierung der IP-Endsysteme verzichtet werden, d.h. es sind für den Verbindungsaufbau keine Adressauflösungsmechanismen wie in CLIP bzw. LANE nötig. Die LSRs müssen lediglich IP-Routing-Algorithmen (z.B. OSPF) ausführen und darauf basierend ihre Wegewahlentscheidungen treffen. Wie das ablaufen könnte, sehen Sie in Abbildung A-3.

Alternativ zum Hop-by-Hop-Routing ist es mit MPLS auch möglich, vor der Label-Verteilung, einen expliziten Datenpfad auszuwählen *(Source Routing)*. In diesem Fall durchlaufen die LDP-Nachrichten das Netz auf dem vorgegebenem Pfad und nehmen in den betroffenen LSRs die Reservierungen (Label-Zuweisungen) vor. Ein hieraus resultierender Vorteil ist, dass die dazwischen liegenden LSRs keine Informationen über das verwendete Schicht-3-Protokoll benötigen, die betroffenen LSRs müssen also weder IP-Routingprotokolle verstehen, noch eine IP-basierte Wegewahlentscheidung treffen.

Die LDP-Pakete werden mittels LLC/SNAP-Einkapselung (über AAL5) nach [RFC 1483] übertragen. Um die LDP-Nachrichten im Netz verteilen zu können ist auf jeden Fall mindestens eine Nicht-MPLS-Verbindung notwendig. Wenn sowohl VPI als auch VCI

5. Der IPv6-Header besitzt ein 24-Bit großes als “Flow Label” bezeichnetes Feld.

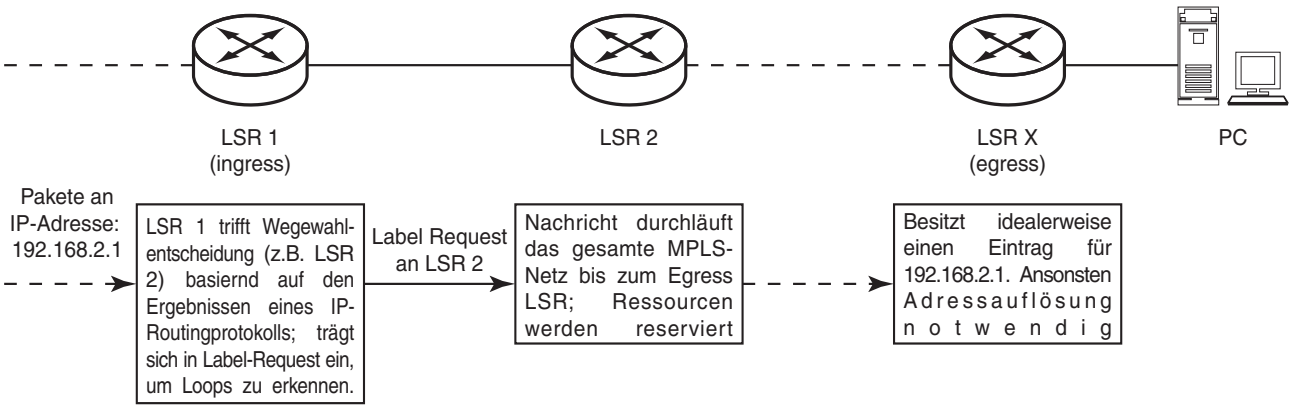

Abbildung A-3. MPLS in einem ATM-Netz.

von MPLS kontrolliert werden (d.h. als Label verwendet werden), hat die Nicht-MPLS-Verbindung den VPI/VCI-Wert “0/32”. Wird nur der VCI als Label verwendet, so wird pro VPI der VCI “32” für LDP-Verkehr reserviert.[6]
Eine detaillierte Beschreibung des LDP-Protokolls finden Sie in [DRFT MLDP].

A.3 VCID – Virtual Connection Identifier

Sind innerhalb eines Netzes nicht alle ATM-Switches MPLS-fähig, so befindet sich u. U. zwischen zwei Peer-LSRs eine beliebige Infrastruktur nicht-MPLS-fähiger L2-Switches. In diesem Fall ändert jeder der zwischen den beiden LSRs liegenden L2-Switches die VPI/VCIs, d.h. der upstream LSR und der downstream LSR verwenden i.d.R. unterschiedliche Labels (VPI/VCI) für ein und dieselbe Verbindung (siehe Abbildung A-4). Das Label kann hier nicht als Verbindungsidentifikator in den LDP-Nachrichten verwendet werden.

In solch einem Szenario muss der Verbindung ein eindeutiger VCID *(Virtual Connection Identifier)* zugewiesen werden. Der VCID wird von dem upstream gelegenen LSR bestimmt und an den downstream gelegenen LSR, entweder durch spezielle VCID-Nachrichten oder implizit beim Verbindungsaufbau durch die ATM-Signalisierung, übermittelt. Die folgenden LDP-Nachrichten (z. B. Label Request, Label Mapping) beziehen sich statt auf den VPI/VCI auf den VCID.

6. Verzichtet MPLS auf den VPI für die Label-Kodierung, kann dieser als ATM-Tunnel für MPLS verwendet werden. Mittels diesem “VP-Tunneling” ist es möglich, dass sich zwei LSRs wie MPLS-Peer-Entitys verhalten, obwohl zwischen ihnen eine beliebige ATM-Infrastruktur liegen kann.

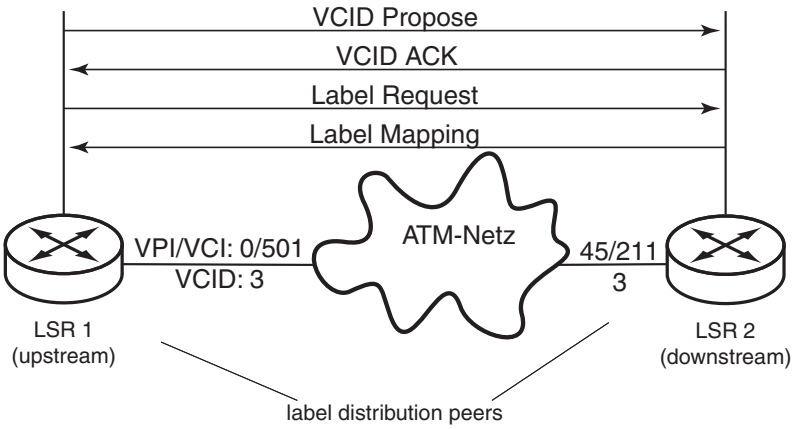

Abbildung A-4. VCID-Zuweisung

Hinweise zur Abbildung:
LSR 1 baut eine ATM-Verbindung zu LSR 2 auf. Je nach Fähigkeit der Switches kann der zu dieser Verbindung gehörige VCID während des Verbindungsaufbaues innerhalb der Signalisierungsnachrichten an den LSR 2 übermittelt werden *(outband notification)*. Alternativ dazu kann der VCID nach erfolgreichem Verbindungsaufbau mit einer speziellen VCID-Nachricht übertragen werden *(inband notification)*. Jeder der beiden LSRs speichert die Zuordnung der VCIDs zu den entsprechenden (nur lokal gültigen) VPI/VCIs. Die folgenden LDP-Nachrichten verwenden zur Identifikation der Verbindung den VCID.

A.4 Label-Merge

Ein Schwachpunkt, welcher in realen ATM-Systemen zu Tage tritt, ist die begrenzte Zahl an gleichzeitig nutzbaren VP/VC-Identifikatoren (bzw. gleichzeitiger Verbindungen[7]). MPLS bietet als Ausweg das *Label Merging* [DRFT MLSA, Kapitel 2.26] an. Eine an ATM-Netze angepasste Variante ist das sogenannte *VC Merge* [DRFT MAVS, Kapitel 8.3].

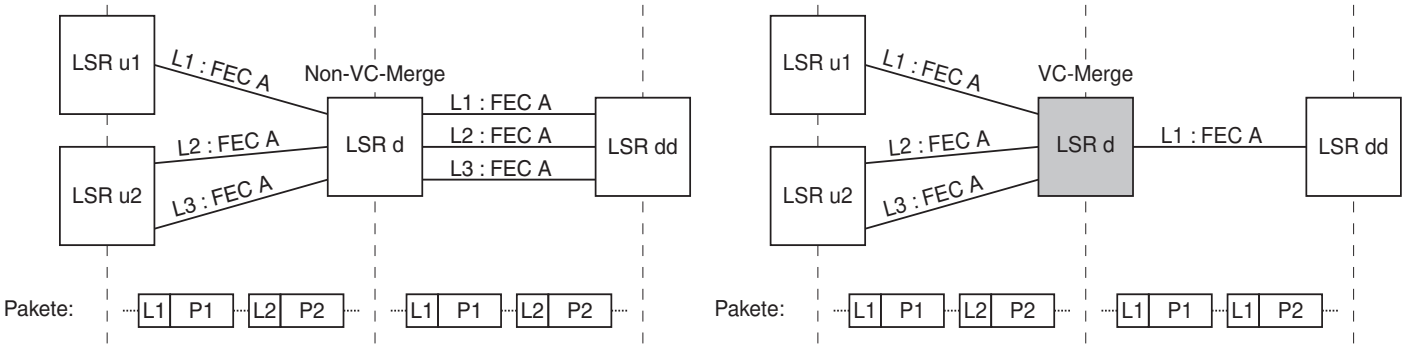

Abbildung A-5. VC-Merge

Angenommen ein LSR d vermittelt bereits einen FEC A und hat diesem das Label L1 zugewiesen (vgl. Abbildung A-5): erkennt dieser LSR nun einen zweiten FEC A (z.B. durch identische Zieladresse), bzw. wird er (von einem upstream gelegenen LSR u2) aufgefordert diesem FEC ein weiteres Label zuzuweisen, so hat er die Möglichkeit die beiden Datenströme unter einem **outgoing** Label zu vereinen (merge). Mit anderen Worten, er

7. In handelsüblichen Workgroup-Switches beträgt die Zahl der maximal gleichzeitig realisierbaren Verbindungen zwischen 4000 und 12000.

fordert von LSR dd kein neues Label für diesen Datenstrom an, sondern verwendet für beide Datenströme das gleiche outgoing Label L1. Unabhängig davon, ob LSR d einen "Merge" durchführt oder nicht, muss er an den upstream gelegenen LSR auf jeden Fall ein neues Label vergeben, da dieser eventuell keinen VC-Merge unterstützt (wie LSR u2 in Abbildung A-5).

Das größte Problem bei der Implementierung des VC-Merge ist, dass nicht die Reihenfolge-Zusicherung der ATM-Schicht verletzt werden darf. Zellen aus verschiedenen Datenströmen dürfen lediglich an den SAR-PDU-Grenzen vermischt werden, da es ansonsten der SAR-Schicht nicht mehr möglich ist, die ATM-Zellen sinnvoll zusammenzusetzen (siehe Abbildung A-6). Ein VC-Merge-fähiger Switch muss also die Grenzen[8] der SAR-PDUs erkennen und darf erst, nachdem er eine komplette SAR-PDU abgearbeitet hat, die Nächste vermitteln.

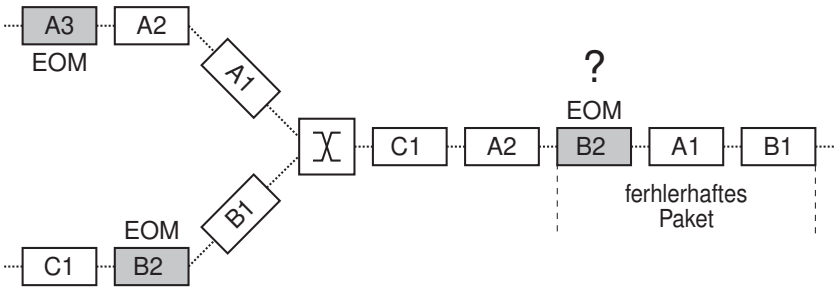

Abbildung A-6. Interleaving-Probleme bei VC-Merge

Merkmal	MPOA/LANE	MPLS
VLAN-Bildung	Ja	Nein
Geeignet für heterogene Strukturen	Nein	Ja (LAN, ATM, Frame Relay, PPP)
benötigt NHRP	Ja	Nein
ATM-Routing	Ja	Nein
IP-ATM-Adressabbildung	Ja	Nein
Minderung der Router-Hops im Vergleich zu LANE/CLIP	Ja	Ja
VC-Merge	Nein	Ja
Source Routing möglich	Nein	Ja

Tabelle A-1. Gegenüberstellung MPOA vs. MPLS

MPLS ist nicht nur für den Einsatz in ATM-Netzen geeignet, auch für Ethernet-Netze ist damit ein produktübergreifender Standard für "Layer 3 Switching" geschaffen. Man kann also davon ausgehen, dass MPLS in Zukunft eine bedeutende Rolle beim Design von Rechnernetzen spielen wird. Früher oder später wird es eventuell angebracht sein, dieses

8. Bei Verwendung des AAL5 ist das PT-Feld (Payload Type) im ATM-Header auf "1" gesetzt, um das Ende einer SAR-PDU (Segmentation and Reassembly PDU) anzuzeigen. Die restlichen Zellen einer SAR-PDU bekommen den Wert "0" zugewiesen.

Thema in das Rechnernetzepraktikum aufzunehmen. Näheres zur möglichen Verwendung von MPLS im Rahmen des Rechnernetzepraktikums finden Sie in Kapitel 4.2.3 “MPLS im Praktikum” auf Seite 52.

ANHANG B

Praktikumsaufgaben:
“LAN/WAN am Beispiel von ATM”
(mit Lösungshilfen für den Betreuer)

Im Folgenden wird eine unabhängige Seitennummerierung verwendet, diese entspricht der Originalnummerierung der Praktikumsunterlagen und den Verweisen in Kapitel 3 dieser Arbeit.

ANHANG C

Skripten und Konfigurationsdateien

minimal.cfg:

```
Match.Ordering: default
default.Address: 39.276f.31.000111.0000.0189.0100.0020481a3488.01
default.Accept:  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
```

Praktikum.cfg:

```
[ELAN]

.Aging_Time: 100
.Connection_Complete_Timer: 4
.Expected_LE_ARP_Response_Time: 1
.Flush_TimeOut: 4
.Forward_Delay_Time: 15
.LAN_Type: Ethernet/IEEE 802.3
.Maximum_Frame_Size: 1516
.Maximum_Retry_Count: 1
.Maximum_Unknown_Frame_Count: 1
.Maximum_Unknown_Frame_Time: 1
.Multicast_Send_VCC_Type: Best Effort
.Path_Switching_Delay: 6
.VCC_TimeOut_Period: 1200
Einkauf.Aging_Time: 60
Einkauf.BUS_Address: 39276F3100011100000189010000020481A3488DB
Einkauf.BUS_Machine_Name: swlane1
Einkauf.Machine_Name: swlane1
Einkauf.LAN_Name: Einkauf
Einkauf.LAN_Type: Ethernet/IEEE 802.3
Einkauf.Address: 39276F3100011100000189010000020481A3488D9
Einkauf.Maximum_Frame_Size: 1516
Match.Ordering: Einkauf
39276F3100011100000189010000204808344101.Machine_Name: hplane1
39276F3100011100000189010000204808344101.LAN_Name: Einkauf
39276F3100011100000189010000204808344101.Aging_Time: 60
39276F3100011100000189010000204808344101.Machine_Name: pclane8
39276F3100011100000189010000204808344101.LAN_Name: Einkauf
39276F3100011100000189010000020481A348800.Aging_Time: 60
39276F3100011100000189010000020481A348800.Machine_Name: swlane1
39276F3100011100000189010000020481A348800.LAN_Name: Einkauf
39276F3100011100000189010102048070A7500.Machine_Name: hplane2
39276F3100011100000189010102048070A7500.LAN_Name: Einkauf
39276F3100011100000189010102048070A75XX.Aging_Time: 60
39276F3100011100000189010102048070A75XX.Machine_Name: swlane2
39276F3100011100000189010102048070A75XX.LAN_Name: Einkauf
Einkauf.Accept:  XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX, \
                 39276F3100011100000189010000204808344101XX, \
                 39276F3100011100000189010000020481A348800XX, \
                 39276F3100011100000189010102048070A7500XX, \
                 39276F3100011100000189010102048070A75XXXX, \
                 39276F3100011100000189010102048070A75XXXX

[VLAN_MANAGER]

.Domain: Praktikum
.Machine: hprnp1
.Time:  Tue Mar 30 13:37:22 METDST 1999
.User:  praktiku
.Version: (LE) Configuration Server Config version 2.0

[CONFIG_SERVER_VM]

swlane1.CS_Name: sw1clip
swlane1.LECS_Address: 39276F3100011100000189010000020481A348802

[MANAGED_MACHINES]
```

```
hplane1.ATM_Connected: TRUE
hplane1.ESI: 002048070AAA
hplane1.Machine_Subtype: type-ESA-200e
hplane1.Machine_Type: FOREATMADAPTER
hplane1.NSAP: 39276F3100011100000189010000020480 70AAA00
hplane1.state: AVAILABLE
hplane2.ATM_Connected: TRUE
hplane2.ESI: 002048070A75
hplane2.Machine_Subtype: type-ESA-200e
hplane2.Machine_Type: FOREATMADAPTER
hplane2.NSAP: 39276F3100011100000189010100204807 0A7500
hplane2.state: AVAILABLE
pclane8.ESI: 002048083441f
pclane8.Machine_Type: FOREATMADAPTER
pclane8.NSAP: 39276F3100011100000189010000204808344100
pclane8.state: AVAILABLE
swlane1.ATM_Connected: TRUE
swlane1.ESI: 0020481A3488
swlane1.Machine_Subtype: asx200wg
swlane1.Machine_Type: FOREATMSWITCH
swlane1.NSAP: 39276F3100011100000189010000204 81A348800
swlane1.state: AVAILABLE
swlane2.ATM_Connected: TRUE
swlane2.ESI: 0020481A2AB9
swlane2.Machine_Subtype: asx200wg
swlane2.Machine_Type: FOREATMSWITCH
swlane2.NSAP: 39276F3100011100000189010100204 81A2AB900
swlane2.state: AVAILABLE
```

Loesung.cfg:

```
[ELAN]

.Aging_Time: 300
.Connection_Complete_Timer: 4
.Expected_LE_ARP_Response_Time: 1
.Flush_TimeOut: 4
.Forward_Delay_Time: 15
.LAN_Type: Ethernet/IEEE 802.3
.Maximum_Frame_Size: 1516
.Maximum_Retry_Count: 1
.Maximum_Unknown_Frame_Count: 1
.Maximum_Unknown_Frame_Time: 1
.Multicast_Send_VCC_Type: Best Effort
.Path_Switching_Delay: 6
.VCC_TimeOut_Period: 1200
Einkauf.Aging_Time: 60
Einkauf.BUS_Address: 39276F3100011100000189010000204 81A3488DB
Einkauf.BUS_Machine_Name: swlane1
Einkauf.Machine_Name: swlane1
Einkauf.LAN_Name: Einkauf
Einkauf.LAN_Type: Ethernet/IEEE 802.3
Einkauf.Address: 39276F3100011100000189010000204 81A3488D9
Einkauf.Maximum_Frame_Size: 1516
Marketing.BUS_Address: 39276F3100011100000189010000204 81A348800
Marketing.BUS_Machine_Name: swlane1
Marketing.Machine_Name: swlane1
Marketing.LAN_Name: Marketing
Marketing.LAN_Type: Ethernet/IEEE 802.3
Marketing.Address: 39276F3100011100000189010000204 81A348800
Marketing.Maximum_Frame_Size: 1516
Match.Ordering: Einkauf, Marketing
39276F3100011100000189010000204 8070AAA00.Machine_Name: hplane1
39276F3100011100000189010000204 8070AAA00.LAN_Name: Einkauf
39276F3100011100000189010000204 804808344101.Aging_Time: 60
39276F3100011100000189010000204 804808344101.Machine_Name: pclane8
39276F3100011100000189010000204 804808344101.LAN_Name: Marketing
39276F3100011100000189010100204 8070A7500.Machine_Name: hplane2
39276F3100011100000189010100204 8070A7500.LAN_Name: Einkauf
39276F3100011100000189010100204 81A2AB900.Machine_Name: swlane2
39276F3100011100000189010100204 81A2AB900.LAN_Name: Marketing
Einkauf.Accept:  39276F3100011100000189010000204 8070AAAXX, \
                 39276F3100011100000189010100204 8070A75XX
Marketing.Accept:  39276F3100011100000189010000204 8083441XX, \
                   39276F3100011100000189010100204 81A2AB9XX

[VLAN_MANAGER]

.Domain: Praktikum
.Machine: hpheger7
.Time:  Tue Jan 12 17:42:58 MET 1999
.User:  praktiku
.Version: (LE) Configuration Server Config version 2.0
```

```
[CONFIG_SERVER_VM]

swlane1.CS_Name: swclip1
swlane1.LECS_Address: 39276F3100011100000189010000020481A348802

[MANAGED_MACHINES]

hplane1.ATM_Connected: TRUE
hplane1.ESI: 002048070AAA
hplane1.Machine_Subtype: type-ESA-200e
hplane1.Machine_Type: FOREATMADAPTER
hplane1.NSAP: 39276F3100011100000189010000020480 70AAA00
hplane1.state: AVAILABLE
hplane2.ATM_Connected: TRUE
hplane2.ESI: 002048070A75
hplane2.Machine_Subtype: type-ESA-200e
hplane2.Machine_Type: FOREATMADAPTER
hplane2.NSAP: 39276F3100011100000189010100204807 0A7500
hplane2.state: AVAILABLE
pclane8.ESI: 002048083441
pclane8.Machine_Type: FOREATMADAPTER
pclane8.NSAP: 39276F3100011100000189010000204808344100
pclane8.state: AVAILABLE
swlane1.ATM_Connected: TRUE
swlane1.ESI: 0020481A3488
swlane1.Machine_Subtype: asx200wg
swlane1.Machine_Type: FOREATMSWITCH
swlane1.NSAP: 39276F3100011100000189010000204 81A348800
swlane1.state: UNASSIGNED
swlane2.ATM_Connected: TRUE
swlane2.ESI: 0020481A2AB9
swlane2.Machine_Subtype: asx200wg
swlane2.Machine_Type: FOREATMSWITCH
swlane2.NSAP: 39276F3100011100000189010100204 81A2AB900
swlane2.state: AVAILABLE
```

checkroute.pl:

```
#!/usr/bin/perl
#Ueberprueft ob alle Routen auf dem Rechner richtig gesetzt sind

open (NETSTAT ,"/bin/netstat -nvr |");
$netstat = <NETSTAT>;
$netstat = <NETSTAT>;

while ($netstat = <NETSTAT>)
{
  if ($netstat != /default.*/) {$netstat2 = <NETSTAT>};
  print "\n\n\nNETSTAT: $netstat";
  print "$netstat2";
  @route = split(/[\/\s+]/,$netstat);
  @route2 = split(/\s+/,$netstat2);

  if ($route[0] =~ /192.*.*.*/ )
  {
    print "TREFFER \n";

    if ($route2[2] =~ /UH/)
    {
      system "/usr/sbin/route delete host $route[0] $route2[1]";
    }
    else
    {
      system "/usr/sbin/route delete net $route[0] netmask $route[1]
$route2[1]";
    }
  }
  else
  {
    print "$route[0] ist nicht 192.168.236.* \n"
  }
}
system "/sbin/init.d/net start";
system "/sbin/init.d/atm start";

#Nun ein Workaround, da der ifconfig nicht 255.255.255.192 als netmask
sonder .0 setzt:
system "/usr/sbin/route delete net 192.168.236 netmask 255.255.255.0
192.168.236.193";
system "/usr/sbin/route delete net 192.168.236 netmask 255.255.255.0
192.168.236.1";
```

```
#Vorsichtshalber IP-Forwarding deaktivieren
system "/usr/contrib/bin/nettune -s ip_forwarding 0";
```

netperf:

```
#!/usr/bin/ksh

if [ -a "/tmp/netperf_cpu" ]; then
        rm /tmp/netperf_cpu
fi

netperf.orig $1 $2 $3 $4 $5 $6 $7
```

nettune2:

```
#!/bin/ksh

if [[ "$1" = '-l' ]]; then
  nettune -l $2
  exit 1
fi

if [[ "$2" != ip_forwarding ]]; then
  echo "$2: Tut mir leid falsche Option!"
  cat /opt/fore/prakt/nettune.msg
  exit 1
fi

echo nettune $1 $2 $3 $4 $5 $6
nettune $1 $2 $3 $4 $5 $6
```

ANHANG D

Umfrage

Die ausführliche Datenbank (Access 98) mit allen Erhebungen finden Sie auf der dieser Diplomarbeit beigelegten CD-ROM.

Praktikumsumfrage

Name: _____
Gruppe: _____
Ich war in der Vorbesprechung: _____
Ich habe mich vorbereitet: _____

	Versuch 3.2.1	Versuch 3.2.2	Versuch 3.2.3	Versuch 3.2.4	Versuch 3.2.5
Dauer der Versuche (min):					
Bitte Noten 1-6 vergeben:					
War die Aufgabenstellung verständlich:					
Haben Sie verstanden, um was es bei dem Versuch ging:					
Der Versuch war (sinnvoll=1 / sinnlos=6):					
Der Versuch hat mein Verständnis für ATM gefördert:					

Allgemein:

Hilfestellung vom Betreuer (1-6): _____

Probleme bei der Umsetzung der Versuche: _____

Verbesserungsvorschläge: _____

Zusammenfassendes Urteil: _____

Aufgrund von Überanstrengungserscheinungen bei einigen Studenten wird voraussichtlich einer der Protokollanalyse Versuche herausfallen. Welcher sollte Ihrer Meinung nach wegfallen:

Versuch 3.2.1 Teil 2: LEC-Registrierung
Versuch 3.2.2 Teil 1: Adreßauflösung

Tag Nr.	Versuch Nr.	Aufgabenstellung verständlich	Ziel des Versuches verstanden	Sinnvoll Sinnlos	Verständnis gefördert
1	1	1,7	1,5	2,2	2,3
1	2	2	2	3	2
1	3	2,2	1,7	2,2	2
1	4	2,5	2	2,2	2,3
2	1	2,1	1,1	1,5	1,5
2	2	1,6	1,5	1,7	2,1
2	3	2,3	2,5	2,3	2,4
2	4	1,5	1,1	1,7	1,4
2	5	2,9	1,6	2	2,3
3	1	1,8	2,4	2,2	2,7
3	2	2,7	2,7	3,5	3,6
3	3	1,8	2,2	2,1	2,3
3	4	3	2,4	2,2	2,6

Tabelle D-1. Durchschnittsbewertung der Aufgaben (Gruppe A)

Tag Nr.	Versuch Nr.	Aufgabenstellung verständlich	Ziel des Versuches verstanden	Sinnvoll Sinnlos	Verständnis gefördert
1	1	1,4	1,2	1,5	2,2
1	2	1,8	1,4	2,5	2
1	3	1,8	1,2	1,2	1,4
1	4	1,7	1,7	2,7	1,7

Tabelle D-2. Durchschnittsbewertung der Aufgaben (Gruppe B)

Tag Nr.	Versuch Nr.	Aufgabenstellung verständlich	Ziel des Versuches verstanden	Sinnvoll Sinnlos	Verständnis gefördert
2	2	1,1	1,1	1,5	2
2	3	2,1	1,7	1,7	1,5
2	4	1,3	1,3	1,6	1,6
2	5	2,6	1,3	1,6	1,8
3	1	1,5	1,8	1,7	2
3	2	2,7	1,8	2	2,2
3	4	1,8	2	1,8	2,2
3	5	2,5	1,6	1,5	1,6

Tabelle D-2. Durchschnittsbewertung der Aufgaben (Gruppe B)

Tag Nr.	Durchschnittsdauer
1	129 min
2	160 min
3	175 min

Tabelle D-3. Durchschnittliche Dauer pro Nachmittag (Gruppe A)

Tag Nr.	Durchschnittsdauer
1	150
2	131
3	166

Tabelle D-4. Durchschnittliche Dauer pro Nachmittag (Gruppe B)

Index über die Aufgaben

Aufgabenstellung 1

Aufgabe 1.1.1 23
Aufgabe 1.1.2 23
Aufgabe 1.1.3
- Teil 1 24
- Teil 2 24

Aufgabe 1.1.4 24
Aufgabe 1.1.5 28
Aufgabe 1.2.1 25
Aufgabe 1.2.2 25
Aufgabe 1.2.3 25
Aufgabe 1.2.4 29

Aufgabenstellung 2

Aufgabe 2.1.1 32
Aufgabe 2.1.2
- Teil 1 31
- Teil 2 34

Aufgabe 2.1.3 34
Aufgabe 2.1.4 35
Aufgabe 2.1.5 36
Aufgabe 2.2.1 32
Aufgabe 2.2.2 37
Aufgabe 2.2.3 38
Aufgabe 2.2.4 40
Aufgabe 2.2.5 40

Aufgabenstellung 3

Aufgabe 3.1.1 43
Aufgabe 3.1.2 44
Aufgabe 3.1.3 47
Aufgabe 3.1.4 49
Aufgabe 3.2.1 45
Aufgabe 3.2.2 46
Aufgabe 3.2.3 47
Aufgabe 3.2.4 47
Aufgabe 3.2.5 50

Literaturverzeichnis

[BLACKI] U. Black: *ATM Volume I: Foundation for Broadband Networks*, Prentice Hall; 1995.

[BLACKII] U. Black: *ATM Volume II: Signalling in Broadband Networks*, Prentice Hall; 1998.

[BLACKIII] U. Black: *ATM Volume III: Internetworking with ATM,* Prentice Hall, 1998.

[HALSALL] Halsall: *Computer Networks,* 1998.

[HEGERING] H.-G. Hegering, S. Abeck: *Integriertes Netz- und Systemmanagement,* Addison-Wesley, 1993.

[HEGERINGII] H.-G. Hegering, A. Läpple: *Ethernet,* Datacom.

[KYAS] O. Kyas: *ATM-Netzwerke,* Datacom, 1996.

[RATHGEB] E.Rathgeb, E. Wallmeier: *ATM – Infrastruktur für die Hochgeschwindigkeitskommunikation,* Springer 1997.

[RNI] H.-G. Hegering: *Vorlesung Rechnernetze 1,* WS 1997/98.

[RNII] H.-G. Hegering: *Vorlesung Rechnernetze 1,* SS 1998.

[SCHILL] Schill: *ATM-Netze in der Praxis,* Addison Wesley, 1997.

[SIEGMUND] G. Siegmund: *ATM - Die Technik,* Hüthig, 2. Auflage 1997.

[TANENBAUM] A. S. Tanenbaum: *Computernetzwerke,* 3. Auflage 1997.

[DETKEN I] K. Detken (Universität Bremen Bereich Telekommunikation), det@biba.uni-bremen.de: *Effizienz von IP über ATM* - Kopflast als Leistungsbremse, Nachzulesen in Gateway 5/97..

[DETKEN II] K. Detken (Universität Bremen Bereich Telekommunikation); det@biba.uni-bremen.de: *Multiprotokolle über ATM* - Virtuelle Router, Dienste mit Qualität; Nachzulesen in Gateway 4/97 und 5/97.

[DETKEN III] K. Detken (Universität Bremen Bereich Telekommunikation); det@biba.uni-bremen.de: *IP über ATM* - Pakete huckepack, Nachzulesen in Gateway 3/97.

[DETKEN IV] K. Detken (Universität Bremen Bereich Telekommunikation); det@biba.uni-bremen.de: *IP-Daten über ATM und SDH/Sonet* - Wellenreiter; Nachzulesen in Gateway 7/99.

[DRFT MAVS] B. Davie, J. Lawrence et. al.: *MPLS using LDP and ATM VC Switching,* draft-ietf-mpls-atm-02.txt, IETF, April 1999.

[DFRT MBGP] Y. Rekhter, E. C. Rosen: *Carrying Label Information in BGP-4,* draft-ietf-mpls-bgp4-mpls-02.txt, IETF, Februar 1999.

[DRFT MFLS] R. Callon, P. Doolan et. al.: *A Framework for Multiprotocol Label Switching,* draft-ietf-mpls-framework-02.txt, IETF, Abgelaufen Mai 1998.

[DRFT MLDP] L. Andersson, P. Doolan et. al.: *LDP Spezification,* draft-ietf-mpls-ldp-03.txt, IETF, Januar 1999.

[DRFT MLSA] E. C. Rosen, A. Viswanathan et.al.: *Multiprotocol Label Switching Architekture,* draft-ietf-mpls-arch-04.txt, IETF, Februar 1999.

[DRFT MLSE] E. C. Rosen, Y. Rekther et. al.: *MPLS Label Stack Encoding,* draft-ietf-mpls-label-encaps-03.txt, IETF, September 1998.

[DRFT MLSR] B. Davie, Y. Rekhter et. al.: *Use of Label Switching With RSVP,* draft-ietf-mpls-rsvp-00.txt, IETF, Expired: September 1998.

[FISC 99] F. Maximilian, Diplomarbeit: *Entwurf eines Managementobjektemodells für ATM-basierte Netze*, 1999.

[JESSEN] E. Jessen (Vorstandsvorsitzender des DFN und Professor für Informatik an der TUM): *Zukunft der Hochgeschwindigkeitsnetze* - ATM erobert WANs, Nachzulesen in Gateway 5/97.

[LANE V1] The ATM Forum, Technical Committee: *LAN Emulation Over ATM Version 1.0,* ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-lane-0021.000.pdf.

[LANE V2] The ATM Forum, Technical Committee: *LAN Emulation Over ATM Version 2.0 - LUNI Specifikation,* ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-lane-0084.000.pdf.

[MIRA] P. Mikulasch, T. Rabaschus, Fopra: *Aufbau und Konfiguration eines ATM-Testbeds für das Rechnernetzepraktikum,* 1999.

[MPOA V1] The ATM Forum, Technical Committee: *Multi-Protocol Over ATM Version 1.0,* ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-mpoa-0087.000.pdf.

[PNNI V1] The ATM Forum, Technical Committee: *Private Network-Network Interface Specification Version 1.0,* ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-pnni-0055.000.pdf.

[RFC 826] D. Plummer: *An Ethernet Address Resolution Protocol - or - Converting Network Addresses to 48.bit Ethernet Address for Transmission on Ethernet Hardware,* IETF, November 1982.

[RFC 950] J. Mogul, J. Postel: *Internet standard subnetting procedure,* IETF, 08/01/1985.

[RFC 1293] T. Bradely, C. Brown: *Inverse Address Resolution Protocol*, IETF, Januar 1992.

[RFC 1483] J. Heinanen: *Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaption Layer 5*, IETF, Juli 1993.

[RFC 1577] M. Laubach: *Classical IP and ARP over ATM*, IETF, Januar 1994, ersetzt durch RFC 2225

[RFC 1626] R. Atkinson: *Default IP MTU for use over ATM AAL5*, IETF, Mai 1994, ersetzt durch RFC 2225.

[RFC 2022] G. Armitage: *Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks*, IETF, November 1996.

[RFC 2225] M. Laubach: *Classical IP and ARP over ATM*, IETF, April 1998

[RFC 2332] J. Luciani et. al.: *NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP),* IETF, April 1998

[RFC 1629] R. Colella et.al.: *Guidelines for OSI NSAP Allocation in the Internet,* IETF, Mai 1994

[TMS V4] The ATM Forum, Technical Committee, *Traffic Management Specification Version 4.0,* ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-tm-0056.000.pdf.

[USS V4] The ATM Forum Technical Committee, *ATM User-Network Interface Signalling Specification Version 4.0,* ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-sig-0061.000.pdf.

[ADVISOR] HP Internet Adviser User's Guide, Hewlett-Packard Company USA Technical Response Center, http://www.hp.com/go/internetadvisor.

[FORE CON] ForeRunner ATM Switch Configuration Manual

[FORE REF] ForeRunner ATM Switch Reference Manual

[ATMFORUM] http://www.atmforum.com.

[ITU-T] http://www.itu.org/itu-t.