

Diplomarbeit

Thema: Integration von ATM in bestehende LAN's

Bearbeiter: cand. ing. Frederick Wunderlich

Betreuer: Dr. H.-D. Melzer (Universität Rostock)
Dipl.-Ing. Wolf-Günther Böhme (PFI Kommunikations- und
Computertechnik GmbH Berlin)

Abgabe: 30.01.1997



Universität Rostock

Fakultät für Ingenieurwissenschaften

Fachbereich Elektrotechnik

Institut für Nachrichtentechnik und Informationselektronik

Aufgabenstellung

Thema: Integration von ATM in bestehende LAN's

Die Firma SIEMENS installiert an der Universität Rostock ein ATM.-Netz, das im Rahmen der studentischen Ausbildung in ein aufzubauendes Kommunikationslabor eingebunden werden soll.

Herr Wunderlich hat die Aufgabe, in seiner Diplomarbeit die Integration von ATM in bestehende LAN's zu untersuchen und Möglichkeiten des ATM-Einsatzes (im Anwenderbereich) an der Universität Rostock (Institut für Nachrichtentechnik und Informationselektronik) herauszuarbeiten und in Teilen zu realisieren. Die Arbeit soll den Betreibern und Nutzern des gegenwärtig zu errichtenden Kommunikationsdatennetzes ein unterstützendes Hilfsmittel sein.

Gegenstand der Diplomarbeit ist:

- Darstellung der Integration von ATM in bestehende LAN's (Encapsulation over ATM, IP over ATM, LAN-Emulation, MPOA (Multiprotocol over ATM))
- Vergleich von Konzepten zur VLAN-Bildung anhand aktueller Normierungsstände und deren Umsetzung in Firmenprodukten
- Möglichkeiten für die ATM-Nutzung an der Universität Rostock mit Produkten der Firma CISCO (Einsatzgebiete, Erweiterungs- und Optimierungsmöglichkeiten)
- effektiver Einsatz von Meß- und Analysetechnik im ATM-Bereich
- Vorschlag für die Demonstration von ATM-Applikationen im Rahmen der studentischen Ausbildung (Gestaltung eines Praktikumsversuches)

Kurzreferat

Das Ziel der Arbeit bestand darin, einen Überblick über die Verfahren und Standards zur Integration von ATM in bestehende LAN's zu geben und die sich im Zusammenhang mit der gegenwärtigen Installation des UNI-Netzes (ATM-Backbone) bietenden Möglichkeiten für die Nutzung am Standort Warnemünde zu analysieren.

Um diesen Ansprüchen gerecht zu werden, wurden gegenwärtig verfügbare Verfahren ausführlich dargestellt, sowie auf zukünftige Ansätze eingegangen.

Mit LAN-Switching und ATM im Backbone bietet sich die Möglichkeit der Bildung virtueller Netze. Diese Möglichkeit ist auch für die Nutzung an der Universität Rostock von zentraler Bedeutung.

Möglichkeiten, die sich (in diesem Zusammenhang) mit den eingesetzten CISCO-Komponenten ergeben, werden dargestellt. In Zusammenarbeit mit dem Rechenzentrum konnten einige Funktionalitäten (im Rahmen des derzeitigen Realisierungsstandes) nachgewiesen werden.

Für den Standort Warnemünde wurden spezielle Erweiterungsvorschläge und Optimierungsansätze erarbeitet, welche als Anregungen für den zukünftige Netzausbau gesehen werden können.

Im Hinblick auf die Einbindung des im Aufbau befindlichen Kommunikationslabors in die studentische Ausbildung werden Ansätze zur Gestaltung eines zukünftigen Laborversuches dargestellt.

Danksagungen

Für die freundliche Unterstützung und Betreuung meiner Diplomarbeit möchte ich mich an dieser Stelle bei Herrn Dr. H.-D. Melzer (UNI Rostock) und Herrn DI W.-G. Böhme (PFI Kommunikations- und Computertechnik GmbH Berlin) bedanken.

Weiterhin bin ich Herrn DI Koebsch (SIEMENS AG, NL Rostock) für nützliche Hinweise und Anregungen dankbar.

Besonderer Dank gilt Herrn Frisch (Rechenzentrum UNI Rostock), ohne dessen Hilfe und Unterstützung der Aufbau eines Testnetzes zum Nachweis der LAN Emulation und der Nachweis der VLAN-Funktionalität nicht möglich gewesen wäre.

Abschließend sei allen gedankt, die mich während der Zeit meines Studium und der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützten, in erster Linie meine Eltern und Freunde.

Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung.....	i
Kurzreferat.....	ii
Danksagungen.....	iii
Inhaltsverzeichnis.....	iv
Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen.....	viii
Abbildungsverzeichnis.....	xiv
Tabellenverzeichnis.....	xviii

1. Einleitung

2. Grundlegende Betrachtungen

2.1. Das OSI-Referenzmodell.....	3
2.2. Local Area Networks.....	4
2.2.1. Grundlegende Aspekte.....	4
2.2.2. LAN's im OSI-Referenzmodell.....	6
2.2.3. Grundlegende LAN-Standards.....	7
2.2.4. LAN-Steuerungsverfahren.....	7
2.2.5. Kurzcharakteristik etablierter LAN-Typen und deren Leistungsgrenzen.....	8
2.2.5.1. Ethernet (10 Mbit/s).....	8
2.2.5.2. Token Ring (4/16 Mbit/s) und FDDI (100 Mbit/s).....	10
2.3. Die TCP/IP-Protokollfamilie.....	12
2.3.1. TCP/IP im OSI-Referenzmodell.....	13
2.3.2. IP (Internet Protocol).....	13
2.3.2.1. IP-Datenpakete und Fragmentierung.....	14
2.3.2.2. IP-Adressen und Adreßauflösung.....	15
2.3.3. TCP (Transmission Control Protocol) und UDP (User Datagram Protocol)....	18
2.3.4. Ausblick auf IPv6.....	20

3. ATM - ein Überblick

3.1. Das ATM-Prinzip.....	25
3.1.1. Die ATM-Zellstruktur.....	27
3.1.2. Das Prinzip der Virtuellen Verbindung.....	29
3.2. Charakteristische Eigenschaften, Vorteile und Nachteile.....	30
3.3. ATM im Referenzmodell.....	32
3.3.1. Das ATM-Referenzmodell und die zugehörigen Schichtenfunktionen.....	32
3.3.2. Die Anpassungsschicht (AAL).....	35

3.3.2.1. Überblick über Dienstklassen und AAL-Typen.....	37
3.3.2.2. Die AAL-Typen 0, 1 und 2.....	38
3.3.2.3. Struktur und Funktion der AAL 3/4 und AAL 5 (wesentlich für die Datenübertragung).....	40
3.3.2.3.1. Der AAL-Typ 3/4.....	41
3.3.2.3.2. Der AAL-Typ 5.....	44
3.4. Bitraten-Dienste im ATM.....	46
3.4.1. CBR, VBR, ABR und UBR.....	46
3.4.2. Die besondere Rolle von ABR für den LAN-Verkehr.....	48
3.5. ATM - heute.....	49
3.5.1. Meinungen, Einschätzungen und Zitate.....	50
3.5.2. ATM-Standardisierung.....	52
3.6. Spezifikationen der wichtigsten ATM-Interfaces für die Anwendung im lokalen Bereich (Funktionsübersicht).....	54
3.6.1. UNI-Spezifikation.....	56
3.6.1.1. ATM-Adreßformate und Adreßauflösungsprotokoll am UNI.....	57
3.6.2. P-NNI-Spezifikation.....	58

4. Integration von ATM in bestehende LAN's 63

4.1. ATM - eine neue Technik revolutioniert die LAN-Welt.....	63
4.1.1. Entwicklungen im LAN-Bereich und Problemfelder bestehender Technik.....	63
4.1.2. Die Lösung - ATM.....	67
4.1.3. Migration zu ATM und Internetworkingkonzepte.....	68
4.1.3.1. Migrationskonzepte.....	69
4.1.3.2. Internetworkingkonzepte.....	71
4.1.4. ATM-Komponenten (Überblick).....	75
4.2. Protokollaspekte der Integration von ATM in LAN's.....	76
4.2.1. Grundlegende Aspekte der LAN/ATM-Integration.....	76
4.2.2. Der CLS (Connectionless Server) als erster Integrationsansatz.....	78
4.2.3. LAN/ATM-Internetworking-Konzepte (heute).....	82
4.2.3.1. RFC 1483 - Multiprotocol Encapsulation over ATM.....	84
4.2.3.1.1. LLC-Encapsulation.....	85
4.2.3.1.2. VC-basiertes-Multiplexing, Null-Encapsulation.....	88
4.2.3.2. RFC 1577 - Classical IP over ATM.....	90
4.2.3.2.1. IP-Paket-Encapsulation.....	91
4.2.3.2.2. IP-Subnetzanforderungen und -konfiguration.....	92
4.2.3.2.3. Adreßauflösung.....	92
4.2.3.2.4. Vorteile, Nachteile und Grenzen.....	95
4.2.3.2.5. Das NHRP (Next Hop Resolution Protocol).....	96
4.2.3.3. LAN Emulation (Version 1).....	98
4.2.3.3.1. Grundlegende Bemerkungen, wesentliche Eigenschaften und Vorteile.....	98
4.2.3.3.2. LANE-Struktur und LANE-Komponenten.....	102
4.2.3.3.3. LANE-Interfaces.....	107
4.2.3.3.4. Verbindungen innerhalb der LANE-Struktur.....	108
4.2.3.3.5. LANE-Protokollablauf (Mechanismen und Funktionen).....	110
4.2.3.3.5.1. Initialisierung, Konfiguration und Registrierung eines LEC beim Beitritt zu einem ELAN.....	110

4.2.3.3.5.2. Datenübertragung,LANE-Rahmen-Formate und Adreßauflösung	112
4.2.3.3.6. Nachteile der aktuellen LANE-Version (1.0).....	121
4.2.3.3.7. Ausblick auf LANE 2.0.....	123
4.2.3.4. Bewertung der vorgestellten Ansätze.....	123
4.2.3.4.1. Vergleich der Standardkonfigurationen.....	123
4.2.3.4.2. Vergleich der Verfahren	124
4.2.3.4.3. Effizienz-Betrachtungen für RFC 1577 und LANE über AAL-5.....	128
4.2.3.5. ATM-API's (Application Programm Interface).....	128
4.2.4. Zukünftige LAN/ATM-Internetworking-Ansätze.....	131
4.2.4.1. MPOA - Multiprotocol over ATM.....	132
4.2.4.1.1. Allgemeine Struktur und Funktionsweise.....	133
4.2.4.1.2. Vor- und Nachteile.....	140
4.2.4.2. I-PNNI - Integrated PNNI.....	141
4.2.4.2.1. Ausgangsüberlegungen für I-PNNI.....	141
4.2.4.2.2. I-PNNI - Protokollmechanismus.....	143
4.2.4.2.3. Vergleich der Routingverfahren.....	146
4.3. Ausblick auf die Zukunft von ATM.....	148

5. VLAN's - Virtuelle Netze **150**

5.1. Grundlegende Betrachtungen.....	150
5.1.1. Allgemeine Definition und wesentliche Vorteile sowie nachteilige Aspekte	150
5.1.2. Technischer Hintergrund.....	154
5.1.3. Kategorisierung.....	154
5.2. VLAN-Konzepte.....	155
5.2.1. Layer-2-VLAN's.....	155
5.2.1.1. VLAN's mit LAN-Switching.....	155
5.2.1.2. VLAN's mit ATM und LANE	158
5.2.2. Layer-3-VLAN's.....	160
5.2.2.1. Virtuelle Subnetzbildung.....	161
5.2.2.2. Virtuelle Router.....	162
5.2.3. Relationale Netze (nur der Vollständigkeit halber).....	165
5.3. VLAN-Signalisierung.....	166
5.4. VLAN-Standardisierungsaktivitäten.....	167
5.4.1. IEEE 802.10.....	168
5.4.2. IEEE 802.1q (zukünftig).....	170
5.5. Aktuelle VLAN-Konzepte (anhand ausgewählter Beispiele).....	172
5.5.1. Cisco's VLAN-Strategie.....	172
5.5.1.1. VLAN-Development-Roadmap.....	172
5.5.1.2. Derzeitige VLAN-Implementierung.....	177
5.5.2. Vergleich der VLAN-Konzepte von Cisco und 3Com.....	180

6. Kurzübersicht: ATM-Meß- und Analysemöglichkeiten **182**

6.1. Möglichkeiten der (klassischen) externen Meßtechnik.....	182
6.1.1. Hauptaufgaben und Grundansätze der ATM-Meßtechnik.....	182
6.1.2. Anforderungen an ATM-Analysatoren.....	185
6.1.3. Übersicht über derzeit verfügbare (ATM-) Meßgeräte.....	186

6.2. Systeminterne Analyse- und Managementtools.....	187
6.2.1. Funktionen des Netzwerkmanagement (am Beispiel von Cisco Works).....	188
6.2.2. RMON-Funktionalität.....	191

7. Analyse der sich mit der Installation des Rostocker UNI-Netzes ergebenden Möglichkeiten für die Nutzung am Standort Warnemünde **194**

7.1. Struktur des Rostocker UNI-Netzes (RUN).....	194
7.1.1. Backbonestruktur und UNI-Rechenzentrum.....	194
7.1.2. Kurzcharakteristik der eingesetzten Cisco-Komponenten.....	194
7.2. Standort Warnemünde.....	197
7.2.1. Analyse der bisherigen Struktur und des derzeitigen Kommunikationsbedarfs für den Standort Warnemünde.....	197
7.2.1.1. Darstellung der bisherigen Struktur am Standort Warnemünde.....	197
7.2.1.2. Analyse des Kommunikationsaufkommens und -bedarfes für ausgewählte Institute (auch im Hinblick auf das zukünftige Netz).....	197
7.2.2. Struktur des Netzes auf dem UNI-Gelände Warnemünde.....	200
7.2.3. Vorläufige Ansätze zur Netznutzung.....	200
7.2.4. Erweiterungs- und Optimierungsansätze.....	201
7.2.4.1. Möglichkeiten der Serveranbindung.....	201
7.2.4.2. VLAN-Verwaltung.....	205
7.3. Das Kommunikationslabor.....	208
7.3.1. Anbindung an das UNI-Netz.....	208
7.3.2. Anwendungsmöglichkeiten im Kommunikationslabor.....	208
7.3.3. Ausblick auf zukünftige Erweiterungen.....	210
7.3.4. Ansätze für die studentische Ausbildung.....	211

8. Zusammenfassung, Schlußfolgerungen **213**

Anhänge

Anhang A - Verzeichnis ATM-bezogener Standards der wichtigsten internationalen Gremien.....	216
Anhang B - Unterlagensammlung zum Rostocker UNI-Netz (Schwerpunkt: Standort Warnemünde).....	222
Anhang C - Darstellung der Ergebnisse des Nachweises der LANE- und VLAN-Funktionalität.....	231
C.1. Nachweis der LANE-Funktionalität durch Konfiguration eines ELAN's am Testaufbau.....	231
C.1.1. Testaufbau.....	231
C.1.2. Darstellung wesentlicher Konfigurationsschritte zur Einrichtung eines ELAN's.....	232
C.2. Nachweis der VLAN-Funktionalität über das ATM-Backbone.....	236
C.2.1. Vorausgehende Bemerkungen.....	236
C.2.2. VLAN-Funktionsnachweis.....	238
Anhang D - Abbildungen und Listings zu Möglichkeiten netzinterner Analysetools.....	240

Literaturverzeichnis.....	246
---------------------------	-----

Eidesstattliche Erklärung.....	251
--------------------------------	-----

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

A

AAL	ATM Adaptation Layer
AH	Authentication Header
AHFG	ATM Host Functional Group
AIS	Alarm Indication Signal
AL	Alignment Field
AMS	Audio/Visual Multimedia Service
ANSI	American National Standards Institute
API	Application Programm Interface
ARP	Address Resolution Protocol
ARPA	Advanced Research Project Agency
ASIC	Application Specific Integrated Circuits
ATM	Asynchronous Transfer Mode
ATMARP	ATM Address Resolution Protocol
ATM-Vst.	ATM-Vermittlungsstelle

B

BA-Size	Buffer Allocation Size Indication
B-ICI	Broadband Inter Carrier Interface
B-ISDN	Breitband-ISDN
BOM	Begin of Message
B-Tag	Beginning Tag
BUS	Broadcast and Unknown Server

C

CAC	Connection Admission Control
CBDS	Connectionless Broadband Data Service
CBR	Constant Bit Rate
CCITT	Comite´ Consultatif International Te´le´graphique et Te´le´phonique
CS	Coordination Server
CES	Circuit Emulation Server
CER	Cell Error Ratio
CDDI	Copper Distributed Digital Interface
CDV	Cell Delay Variation
CLNAP	Connectionless Network Access Protocol
CLR	Cell Loss Ratio

CLS	Connectionless Server
COM	Continuation of Message
CPCS	Common Part Convergence Sublayer
CPCS-UU	CPCS User-to-User Indication
CPI	Common Part Indication
CRC	Cyclic Redundancy Check
CS	Convergence Sublayer
CSI	Convergence Sublayer Indication
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection
CSU	Channel Service Unit
CT	Cell Type
CTD	Cell Transfer Delay
CTRL	Control

D

DA	Destination Address
DCC	Data Country Code
DFFG	Default Forwarder Function Group
DoD	Department of Defense
DS	Digital Signal
DSAP	Destination Service Access Point
DQDB	Distributed Queue Dual Bus
DXI	Data eXchange Interface

E

EDC	Edge Device Client
EDFG	Edge Devices Functional Group
EFCI	Explicit Forward Congestion Indication
ELAN	emulated LAN, emuliertes LAN
EOM	End of Message
ESI	Endsystem-Identifier
ESP-H	Encrypted Security Payload Header
E-Tag	Ending Tag
ETSI	European Telecommunications Standard Institute

F

FCS	Frame Check Sequence
FDDI	Fiber Distributed Digital Interface
FEC	Forward Error Correction
FR	Frame Relay
FTP	File Transfer Protocol
FUNI	Frame UNI

H

HDC	Host Device Client
HDTV	High Definition TV
Hdr	Header
Hrsg.	Herausgeber

I

IASG	Internet Address Sub Group
ICD	International Code Designator
ICFG	IASG Coordination Functional Group
ICV	Integrity Check Value
Id	Identifier
IDU	Interface Data Unit
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
IGRIP	Interior Gateway Routing Information Protocol
IISP	Interim Interswitch Signalling Protocol
ILMI	Interim Local Management Interface
InARP	Inverse Address Resolution Protocol
InATMARP	Inverse ATM Address Resolution Protocol
IOS	Internetwork Operating System
IP	Internet Protocol
I-PNNI	Integrated PNNI
IPX	Internetworking Packet Exchange
ISDN	Integrated Services Digital Network
ISL	Interswitch Link Protocol
ISO	International Organization for Standardization
ITU-T	International Telecommunication Union, Telecommunication Standardization Sector
IWU	Internetworking Unit

L

LAN	Local Area Network
LANE	LAN-Emulation
LE-ARP	LANE-ARP
LEC	LAN Emulation Client
LECID	LEC-Identifier, LEC-Identification
LECS	LAN Emulation Configuration Server
LEN	Length
LES	LAN Emulation Server
LGN	Logical Group Node
LI	Length Indicator
LIS	Logical IP Subnetwork
LLC	Logical Link Control
LNNI	LANE-NNI
LSAP	Logical Link Service Access Point

LUNI LAN-Emulation User-to-Network-Interface

M

MAC Media Access Control
MAN Metropolitan Area Network
MARS Multicast Address Resolution Server
MDF Management Defined Field
MIB Management Information Base
MID Multiplex Identification
MMF Multi Mode Fiber
MPOA Multiprotocol over ATM
MPU Maximum Protocol Unit
MTU Maximum/Message Transfer Unit

N

NBMA Non-Broadcast-/Multi-Access-
NDIS Network Driver Interface Specification
NFS Network File System
NHRP Next Hop Resolution Protocol
NHS Next Hop Server
NIC Network Interface Card
NLPID Network Layer Protocol Identifier
NNI Network-to-Network Interface
NP Network Protocol
NSAP Network Service Access Point
NSP Name Server Protocol

O

OAM Operation, Administration and Maintenance
OC Optical Carrier
ODI Open Data Link Interface
OSI Open System Interconnection
OSPF Open Shortest Path First
OUI Organization Unique Identifier

P

PAD Padding-Field
PDH Plesiochronous Digital Hierarchy
PDU Protocol Data Unit
PGL Peer Group Leader
PHY Physical Layer, Physikalische Schicht
P.ID Protocol Identifier

PMD	Physical Medium Dependent Sublayer
P-NNI	Private NNI
PRBS	Pseudo Random Binary Signal
PRI	Primary Rate Interface
PVC	Permanent Virtual Circuit



QoS	Quality of Service
Q.SAAL	Q. Signaling ATM Adaptation Layer



RARP	Reverse Address Resolution Protocol
RD	Routing Domain
RDI	Remote Defect Indication
RFC	Request for Comments
RFFG	Remote Forwarder Function Group
RIP	Routing Information Protocol
RMON	Remote Monitoring
ROLC	Routing over large Clouds
RS	Route Server
RSFG	Route Server Functional Group
RSVP	Ressource Reservation Protocol
RTMP	Routing Table Maintenance Protocol
RTP	Real Time Protocol



SA	Source Address
SAA	Service Aspects and Applications
SAID	Security Association Identifier
SAP	Service Access Point
SAR	Segmentation and Reassembly Sublayer
SDE	Secure Data Exchange
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SDU	Service Data Unit
SECB	Severely Errored Cell Block Ratio
SEL	Selector Field
SIP	SMDS Interface Protocol
SMDS	Switched Multi-Megabit Data Service
SMF	Single Mode Fiber
SMTP	Simple Mail Transfer Protocol
SN	Sequence Number
SNA	Systems Network Architecture
SNAP	Subnetwork Access Protocol, Subnetwork Attachment Point
SNMP	Simple Network Management Protocol

SNP	Sequence Number Protection
SONET	Synchronous Optical Network
SPX	Sequenced Packet Exchange
SSAP	Source Service Access Point
SSCS	Service Specific Convergence Sublayer
SSM	Single Segment Message
ST	Segment Type
STM	Synchronous Transport Modul
STP	Shielded Twisted Pair
STS	Synchronous Transport Signal
S-UTP	Shielded-Unshielded Twisted Pair
SVC	Switched Virtual Circuit

T

TC	Transmission Convergence Sublayer
TCP	Transmission Control Protocol

U

UDP	User Datagram Protocol
UIC	Unnumbered Information Command
UNI	User-to-Network Interface
UTP	Unshielded Twisted Pair

V

VBR	Variable Bit Rate
VBR-NRT	VBR-non real time
VBR-RT	VBR-real time
VC	Virtual Circuit, Virtual Channel
VCC	Virtual Channel Connection
VCS	Virtual Configuration Server
VLAN	Virtual LAN
VMS	Virtual Memory System
VNR	Virtual Networking Router
Vst.	Vermittlungsstelle
VTOA	Voice over ATM
VTP	Virtual Trunk Protocol

W

WAN	Wide Area Network
-----	-------------------

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1.:	OSI-Referenzmodell.....	3
Abb. 2.2.:	LAN-Topologien	5
Abb. 2.3.:	LAN's im OSI-Referenzmodell.....	6
Abb. 2.4.:	LAN-Standards (Einordnung).....	7
Abb. 2.5.:	LAN-Zugriffsverfahren.....	7
Abb. 2.6.:	Effizienz von Ethernet (Sendewahrscheinlichkeit $1/k$ bei k Stationen)...	10
Abb. 2.7.:	Internet Protocol Suite.....	13
Abb. 2.8.:	IP-Fragmentierung.....	14
Abb. 2.9.:	IPv4-Header.....	15
Abb. 2.10.:	IP-Adresse (Grundstruktur).....	16
Abb. 2.11.:	IP-Adreßklassen.....	16
Abb. 2.12.:	UDP-Header.....	19
Abb. 2.13.:	IPv6-Header.....	20
Abb. 2.14.:	IPv6-Header und Extension Header.....	21
Abb. 2.15.:	IP-Migration durch Tunneln.....	24
Abb. 3.1.:	ATM-Zelle (Aufbau und Headerformate).....	28
Abb. 3.2.:	VP-, VC-Konzept.....	29
Abb. 3.3.:	Abschnittsweise VCI/VPI-Umwertung.....	30
Abb. 3.4.:	ATM-Referenzmodell.....	32
Abb. 3.5.:	Ebenenfunktionen (im Überblick).....	33
Abb. 3.6.:	ATM-Referenzmodell und Einfluß der Schichten auf die Zellbestandteile.....	33
Abb. 3.7.:	Die zentrale Rolle der AAL-Schicht.....	35
Abb. 3.8.:	Aufbau der Payload einer ATM-Zelle in der AAL-Schicht.....	36
Abb. 3.9.:	ATM-Anwendungen und AAL-Typen.....	38
Abb. 3.10.:	AAL-1-SAR-PDU.....	38
Abb. 3.11.:	AAL-0-SAR-PDU.....	39
Abb. 3.12.:	AAL-2-SAR-PDU.....	39
Abb. 3.13.:	Struktur der AAL für die Typen $3/4$ und 5.....	40
Abb. 3.14.:	Funktionsweise der AAL $3/4$	41
Abb. 3.15.:	AAL $-3/4$ -CPCS-PDU.....	42
Abb. 3.16.:	AAL $-3/4$ -SAR-PDU.....	43
Abb. 3.17.:	AAL-5-SAR-PDU.....	44
Abb. 3.18.:	Funktionsweise der AAL-5.....	45
Abb. 3.19.:	AAL-5-CPCS-PDU.....	46
Abb. 3.20.:	Zweigeteilte ATM-Entwicklung.....	50
Abb. 3.21.:	ATM-Forum Standardisierungsaktivitäten im Überblick.....	53
Abb. 3.22.:	ATM-Interfaces.....	55

Abb. 3.23.:	ATM-Adreßformate.....	57
Abb. 3.24.:	PNNI Routing Hierarchie.....	61
Abb. 3.25.:	QoS-basiertes Routing mit PNNI.....	61
Abb. 3.26.:	Ersatzwegeschaltung.....	62
Abb. 4.1.:	Entwicklung der LAN-Technologien und Übertragungs- geschwindigkeiten	65
Abb. 4.2.:	Entwicklung der LAN-Konzepte.....	66
Abb. 4.3.:	Einsatz von ATM im Backbone Bereich.....	70
Abb. 4.4.:	Brücken und Router.....	72
Abb. 4.5.:	Die Rolle von Routern in der Entwicklung der Switching- Technologie.....	73
Abb. 4.6.:	Mögliche LAN/ATM-Internetworking-Ansätze.....	74
Abb. 4.7.:	Gegensatz von LAN's und ATM.....	76
Abb. 4.8.:	Connectionless Service als Brücke zwischen ATM und klassischen LAN's.....	78
Abb. 4.9.:	CLS-Konzepte.....	79
Abb. 4.10.:	Stand-alone-CLS.....	80
Abb. 4.11.:	Integrated CLS.....	81
Abb. 4.12.:	Native-Mode-Protocol- und LANE-Ansatz.....	83
Abb. 4.13.:	LLC-Encapsulation.....	85
Abb. 4.14.:	In RFC 1483 definierte Framestrukturen für die LLC-Encapsulation.....	86
Abb. 4.15.:	Anwendung auf Ethernet-Stack.....	87
Abb. 4.16.:	Encapsulation für Ethernet.....	88
Abb. 4.17.:	VC-basiertes-Multiplexing.....	89
Abb. 4.18.:	In RFC 1483 definierte Framestrukturen für das VC-basierte- Multiplexing.....	89
Abb. 4.19.:	RFC 1577 Protokollstruktur.....	91
Abb. 4.20.:	Prinzip der IP-Paket-Encapsulation.....	91
Abb. 4.21.:	Encapsuliertes ATMARP-Paket.....	91
Abb. 4.22.:	RFC 1577 Adreßauflösung.....	93
Abb. 4.23.:	RFC 1577 Adreßauflösung: Initialisierung.....	94
Abb. 4.24.:	RFC 1577 Adreßauflösung: Adreßanfrage.....	95
Abb. 4.25.:	Routing zwischen LIS im klassischem IP-over-ATM-Modell.....	96
Abb. 4.26.:	NHRP-Funktion.....	98
Abb. 4.27.:	Konzept der LANE.....	99
Abb. 4.28.:	Allgemeine LANE-Funktionsweise.....	100
Abb. 4.29.:	LANE-Schichtenmodell.....	103
Abb. 4.30.:	LANE-Komponenten.....	104
Abb. 4.31.:	Teilnahme eines Endgerätes an mehreren ELAN's.....	106
Abb. 4.32.:	LANE-Interfaces.....	107
Abb. 4.33.:	Control und Data VCC's.....	108
Abb. 4.34.:	Beitritt eines LEC zum ELAN.....	111
Abb. 4.35.:	Control Frame.....	114
Abb. 4.36.:	Data Frames und Encapsulation.....	114
Abb. 4.37.:	BUS Broadcast von Unicast Frames und simultaner LE-ARP- Request zum LES.....	116

Abb. 4.38.:	Broadcast LE-ARP-Request zu allen LEC's.....	116
Abb. 4.39.:	LE-ARP-Response mit Ziel-ATM-Adresse.....	117
Abb. 4.40.:	LES Broadcast des LE-ARP-Response.....	117
Abb. 4.41.:	Data Direct VCC vom Quell-LEC zum Ziel-LEC.....	117
Abb. 4.42.:	Beispiel 1.....	118
Abb. 4.43.:	Beispiel 2.....	119
Abb. 4.44.:	Beispiel 3.....	120
Abb. 4.45.:	Kommunikation innerhalb und zwischen ELAN's.....	122
Abb. 4.47.:	Standardkonfiguration RFC 1483.....	123
Abb. 4.48.:	Standardkonfiguration RFC 1577.....	124
Abb. 4.49.:	Standardkonfiguration LANE.....	124
Abb. 4.50.:	IP über Ethernet-LANE oder direkt über ATM.....	127
Abb. 4.51.:	AAL-5-CPCS-PDU für IP over ATM.....	127
Abb. 4.52.:	AAL-5-CPCS-PDU für IP über Ethernet-LANE.....	128
Abb. 4.53.:	RFC 1577- und LANE-Protokollstacks im Vergleich zum ATM-API.....	130
Abb. 4.54.:	ATM-API.....	130
Abb. 4.55.:	MPOA-Funktionsgruppen und Prinzip des virtuellen Routers.....	136
Abb. 4.56.:	MPOA-Grundstruktur und Eigenschaften.....	137
Abb. 4.57.:	ATM/PNNI-Netz und Overlay Routing mit herkömmlichen Protokollen.....	141
Abb. 4.58.:	Heterogenes I-PNNI-Netz.....	143
Abb. 4.59.:	I-PNNI und Overlay Routing.....	146
Abb. 5.1.:	Allgemeines VLAN-Konzept.....	151
Abb. 5.2.:	VLAN-Kategorisierung.....	155
Abb. 5.3.:	Unterstützung von VLAN's durch Switches.....	156
Abb. 5.4.:	LAN-Switching basierte VLAN-Bildung.....	156
Abb. 5.5.:	Portweise Zuordnung.....	157
Abb. 5.6.:	MAC-basierte Zuordnung.....	158
Abb. 5.7.:	VLAN's über ATM und LANE.....	159
Abb. 5.8.:	Kanten-Router-Prinzip.....	162
Abb. 5.9.:	Virtueller Router.....	164
Abb. 5.10.:	802.10-Prinzip.....	168
Abb. 5.11.:	802.10-Frame Format.....	169
Abb. 5.12.:	Format des tagged Frame beim One-Level-Model.....	171
Abb. 5.13.:	Two-Level-Model.....	172
Abb. 5.14.:	Format des tagged Frame beim Two-Level-Model.....	172
Abb. 5.15.:	Cisco Fusion Architektur.....	173
Abb. 5.16.:	VLAN-Evolution (VLAN-Development-Roadmap/aus Sicht der Flexibilität).....	173
Abb. 5.17.:	Load Distribution.....	174
Abb. 5.18.:	VTP.....	175
Abb. 5.19.:	Dynamic VLAN's.....	176
Abb. 5.20.:	Multilayer-VLAN's.....	177
Abb. 5.21.:	Cisco-VLAN-Architektur.....	178

Abb. 5.22.:	Unterstützung der LAN Emulation in Cisco Produkten.....	178
Abb. 5.23.:	ISL.....	179
Abb. 6.1.:	Meßmethoden.....	184
Abb. 6.2.:	Struktur von Cisco Works.....	189
Abb. 7.1.:	Problem Serveranbindung.....	202
Abb. 7.2.:	Serveranbindung an Ethernet-Port.....	202
Abb. 7.3.:	Serveranbindung an Fast Ethernet-Port.....	203
Abb. 7.4.:	Direkte ATM-Anbindung der Server.....	203
Abb. 7.5.:	Einsatz eines lokalen Routers (i.Z. mit Serveranbindung).....	205
Abb. 7.6.:	Derzeitiger Ansatz der VLAN-Verwaltung.....	206
Abb. 7.7.:	Vorschlag für lokale VLAN-Verwaltung in Warnemünde.....	207
Abb. 7.8.:	Übersicht über die Ansätze zur Nutzung des installierten Netzes im Kommunikationslabors.....	209
Abb. 7.9.:	Ansatz zur Einbindung der HICOM-Anlagen ins UNI-Netz.....	210
Abb. 7.10.:	Ansatz für die Nutzung von Netzmanagementfunktionen.....	212
Abb. 7.11.:	Ansatz zum Nachweis der VLAN-Funktionalität.....	212
Abb. B.1.:	Bestehende Netzstruktur - Standort Warnemünde (einschließlich IP-Subnetzstruktur).....	223
Abb. B.2.:	Netzstrukturierung Haus 8 (Unternetz 139.30.200.0).....	224
Abb. B.3.:	Universität Rostock, ATM-Switches LS 1010 im Backbone.....	225
Abb. B.4.:	Universität Rostock, Rechenzentrum Gesamtdarstellung der Hardware.....	226
Abb. B.5.:	Universität Rostock, Warnemünde, Gesamtdarstellung der Hardware.....	227
Abb. B.6.:	Warnemünde, Schema LWL-Außenkabel.....	229
Abb. B.7.:	Verteilerschrankkonfiguration für das Kommunikationslabor Haus 8.....	230
Abb. C.1.:	Testaufbau zur LANE-Konfiguration.....	231
Abb. C.2.:	VLAN-Beziehung zwischen Ethernet- und ATM-Seite.....	237
Abb. C.3.:	VTP.....	237
Abb. C.4.:	Nachweis der VLAN-Funktionalität.....	238
Abb. D.1.:	Anzeige der Gerätekonfiguration für einen Cisco Catalyst 5000 mittels Cisco View.....	240
Abb. D.2.:	Statusinformationen für das Gesamtgerät.....	241
Abb. D.3.:	Statusinformationen auf Portebene.....	241

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1.: OSI-Schichtenfunktionen.....	4
Tab. 2.2.: LAN-Layer-Funktionen.....	6
Tab. 2.3.: CSMA/CD und Token Passing.....	8
Tab. 2.4.: Echtzeitfähigkeit von Ethernet, Token Ring und FDDI.....	12
Tab. 2.5.: Funktionen der IP-Headerfelder.....	15
Tab. 2.6.: IP-Adreßklassen.....	16
Tab. 2.7.: Vergleich IPv4 und IPv6.....	22
Tab. 3.1.: Funktionen der Zellkopfbestandteile.....	28
Tab. 3.2.: Schichtenfunktionen im Überblick (unter Einbeziehung der Sublayer).....	34
Tab. 3.3.: Dienstklassen und AAL-Typen.....	37
Tab. 3.4.: Funktionen der Header- und Trailerfelder der AAL-3/4-CPCS-PDU.....	42
Tab. 3.5.: Funktionen der Header- und Trailerfelder der AAL-3/4-SAR-PDU.....	43
Tab. 3.6.: Funktionen der Trailerfelder der AAL-5-CPCS-PDU.....	46
Tab. 3.7.: Foundation Specifications des ATM-Forums.....	53
Tab. 3.8.: Expanded Feature Specifications des ATM-Forum.....	54
Tab. 3.9.: ATM-Adreßformate.....	57
Tab. 4.1.: Eigenschaften von Brücken und Routern.....	72
Tab. 4.2.: LAN/ATM-Internetworking-Ansätze.....	74
Tab. 4.3.: Übersicht über ATM-Komponenten.....	75
Tab. 4.4.: Wesentliche Unterschiede zwischen traditionellen LAN's und ATM.....	76
Tab. 4.5.: Vergleich der Ansätze: LANE und Native Mode Protocol over ATM.....	84
Tab. 4.6.: Maximum Data Frame Sizes.....	115
Tab. 4.7.: Wesentliche Unterschiede zwischen RFC's und LANE.....	124
Tab. 4.8.: Standardisierungsansätze.....	132
Tab. 4.9.: Overlay- und I-PNNI-Routing.....	147
Tab. 4.10.: Highspeed-Technologien im Vergleich.....	149
Tab. 5.1.: VLAN-Development Roadmap.....	173
Tab. 5.2.: Vergleich Cisco/3Com hinsichtlich der angewendeten VLAN-Konzepte.....	180

Tab. 6.1.:	Überblick über ATM-bezogene Meßtechnik.....	186
Tab. 7.1.:	Lightstream 1010.....	194
Tab. 7.2.:	Catalyst 5000.....	195
Tab. 7.3.:	Cisco-Router.....	196
Tab. 7.4.:	Übersicht über die Nutzungsmöglichkeiten im Kommunikationslabor.... ...209	
Tab. A.1.:	Abgeschlossene Standards.....	218
Tab. A.2.:	In der Bearbeitung befindliche Standards.....	220