

I.I.R.-Konferenz

Das SDH-Forum:  
Synchronous Digital Hierarchy im Blickpunkt



Renaissance Hotel, Köln  
01.-04. Dezember 1998

**Beitrag:**  
IP-over-SDH/SONET (IPoS)

**AUTOR:**

Dipl.-Ing. Kai-Oliver Detken  
studierte Nachrichtentechnik an der  
Hochschule Bremen und Informationstechnik  
an der Universität Bremen. Nach dem Studium wechselte  
er zum BIBA-Institut an der Universität Bremen, um im  
EU- Bereich an Technologieprojekten zu arbeiten.  
Heute ist er als Berater bei der OptiNet GmbH  
tätig und für den Bereich ATM/Internet als Leiter des  
Competence Center Future Knowledge (CC-FK)  
verantwortlich.

Dipl.-Ing. Kai-Oliver Detken  
OptiNet GmbH  
Goebelstraße 46  
D-28865 Lilienthal  
Tel.: ++49-4298-9365-0  
Fax: ++49-4298-9365-22  
URL: <http://www.optinet.de>  
E-Mail: [detken@optinet.de](mailto:detken@optinet.de)  
Private URL: <http://kai.nord.de>

## Inhaltsverzeichnis

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>EIGENSCHAFTEN DER UNTERSCHIEDLICHEN TECHNOLOGIEN .....</b> | <b>4</b>  |
| 1.1      | INTERNET-PROTOKOLL (IP) .....                                 | 4         |
| 1.2      | SYNCHRONOUS DIGITAL HIERARCHY (SDH) .....                     | 5         |
| 1.3      | ASYNCHRONOUS TRANSFER MODE (ATM) .....                        | 7         |
| <b>2</b> | <b>IP-OVER-ATM (IPOATM) .....</b>                             | <b>9</b>  |
| <b>3</b> | <b>IP-OVER-SDH/SONET (IPOS) .....</b>                         | <b>11</b> |
| <b>4</b> | <b>PROTOKOLL-OVERHEAD .....</b>                               | <b>14</b> |
| <b>5</b> | <b>VERGLEICH BEIDER VERFAHREN .....</b>                       | <b>16</b> |
| <b>6</b> | <b>FAZIT UND AUSBLICK .....</b>                               | <b>17</b> |
| <b>7</b> | <b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS .....</b>                            | <b>20</b> |
| <b>8</b> | <b>LITERATURVERWEISE .....</b>                                | <b>23</b> |

## 1 Einleitung

TCP/IP-Protokolle nehmen in heterogenen Netzen einen immer höheren Stellenwert ein und sind zu einem Quasistandard expandiert. Das wachsende Internet ist ein Beispiel für die Verbreitung der TCP/IP-Protokollfamilie. Der Bandbreitenbedarf der Endbenutzer wächst aber zusätzlich mit den Anforderungen an die verwendeten Applikationen. Weiterhin sind Quality-of-Service (QoS) Merkmale notwendig, um bei isochronen Datenströmen die Dienstgüte sicherstellen zu können. Heterogene Netzstrukturen in denen die TCP/IP-Protokollfamilie vornehmlich eingesetzt wird, bieten diese QoS-Unterstützung bislang nicht. Der Asynchrone Transfer Modus (ATM) ist in der Lage diese Engpässe zu beseitigen. Aus diesem Grund hängt der Erfolg von ATM auch von der Anpassung an das Internet Protokoll (IP) ab, damit die erforderliche Dienstgüte auch bereitgestellt werden kann.

Neben ATM hat sich die Synchronous Digital Hierarchy (SDH) in Europa bzw. Synchronous Optical Network (SONET) in den USA auf der Transportschicht etabliert. SDH/SONET wurde 1988 von der CCITT (heute ITU-T) zur Ablösung der Plesiochronen Digital Hierarchie (PDH) weltweit standardisiert. Seit 1994 wird nur noch SDH eingesetzt und PDH nicht mehr erweitert. SDH kommt damit ganz klar aus dem WAN und ist nur zum reinen Transport der Daten auf der Schicht 2 spezifiziert worden. Die guten Möglichkeiten von SDH Netzwerkmanagement, Ausfallsicherheit und hohe Standardisierung miteinander zu vereinen, hat es sich vor ATM im WAN etabliert. ATM hat sich, aufgrund des effektiveren Multiplexens, der Dienstgüte, Skalierbarkeit und Flexibilität im WAN ebenfalls durchgesetzt. Da ATM aber meistens mittels SDH-Rahmen transportiert wird, was zusätzlichen Overhead bedeutet, wird inzwischen darüber nachgedacht, entweder SDH oder ATM aus dem Protokollstack zu streichen. Beide Möglichkeiten werden hier angesprochen.

IP hat sich in jedem Fall auf der Schicht 3 des OSI-Referenzmodells durchgesetzt und benötigt eine effiziente Weiterverarbeitung. In der Vergangenheit wurde die Effizienz von IP-Protokollen für Hochgeschwindigkeitsnetze angezweifelt, da IP eigentlich für geringe Datenraten entwickelt wurde. Das ist auch nicht ganz unberechtigt – vor allem bei Echtzeitanwendungen. Neue Verfahren, wie Multiprotocol-over-ATM (MPOA), machen es durch die Zusammenarbeit zwischen der IETF und dem ATM-Forum möglich, daß unterschiedlichste Protokollarten aufeinander angepaßt werden können. Multiprotocol Label Switching (MPLS) geht einen anderen Weg, um IP auf beliebige Schicht-2-Technologien anzupassen. Es besteht im Grunde aus einem Router-Protokoll, welches wesentlich weniger Verbindungen in einem großen Netzverbund benötigt, um Pakete direkt und schnell an den Empfänger weiterzuleiten. Beide Ansätze werden hier verwendet, um IP-over-ATM (IPoATM) mit IP-over-SDH/SONET (IPoS) auch über solche Verfahren miteinander zu vergleichen. Zusätzlich werden die Standardisierungsfortschritte betrachtet und die Vor- und Nachteile gegenübergestellt.

## 2 Eigenschaften der unterschiedlichen Technologien

Um unterschiedliche Technologien bewerten zu können, sollte man sich die Eigenschaften zuallererst verdeutlichen. Dabei ist es ebenfalls entscheidend, sich den Protokollstack zu vergegenwärtigen, um die Übertragungsmechanismen verstehen zu können. Wenn man von der Anwendungsschicht ausgeht, so gibt es sehr unterschiedliche Möglichkeiten des Transports. Geht man außerdem davon aus, daß nur noch IP auf der Netzwerkschicht zum Einsatz kommt, muß man sich zwischen dem Point-to-Point-Protocol (PPP) und ATM entscheiden. Aus diesem Grund machte man sich Gedanken über das Weglassen einer weiteren Schicht, da hier zusätzlicher Overhead entsteht. PPP kommt neben SDH/SONET auch bei ISDN zum Einsatz. Dies ist notwendig, da man ein Protokoll zum Verbindungsaufbau und Authentifikation entwickeln mußte. Im Grunde eine überflüssige Entwicklung, da man ebensogut HDLC hätte einsetzen können. Die Weiterentwicklung Multilink PPP (ML-PPP) ist fertig standardisiert, findet sich aber noch in keinen Produkten wieder. Erst danach kommt es zum Transport der Daten über SDH/SONET, die meistens über Single-mode Fiber (SMF) weitergeleitet werden. Beim Einsatz von ATM kommt noch ein beträchtlicher Overhead hinzu, da eine ATM-Zelle einen Protokollkopf von 5 Byte (9,4%) besitzt. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, daß ATM direkt die Anwendungsdaten annimmt und über SDH-Rahmen überträgt. Es handelt sich hierbei um Native ATM-Anwendungen, die bislang keinen großen Verbreitungsgrad gefunden haben. Schließlich sei auch die Frage gestattet, warum man den unbedingt SDH unter den ATM-Zellen benötigt, da ATM auch in der Lage wäre, direkt auf der Physical Layer aufzusetzen. Dadurch könnte man dann ebenfalls Overhead einsparen.

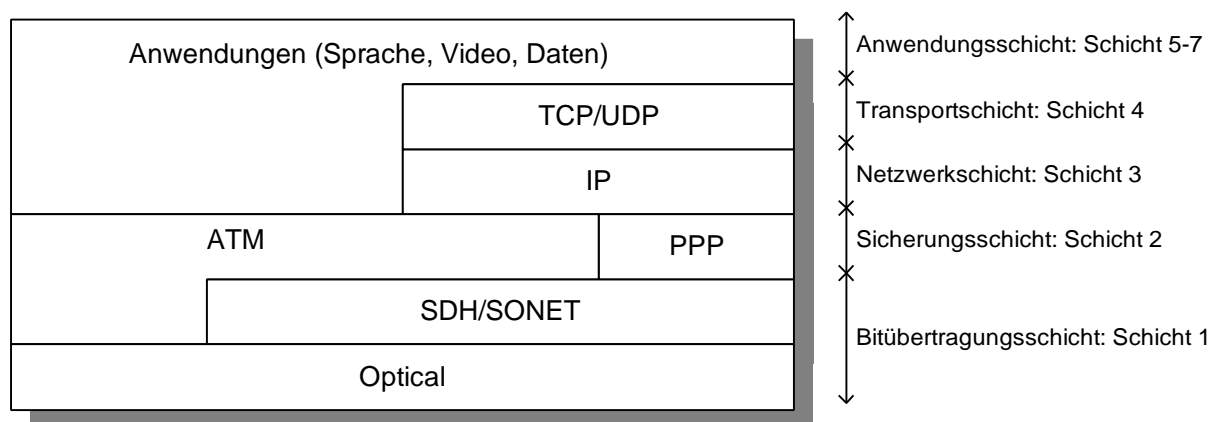


Abbildung 1: Protokollstack für die IP-Übertragung

### 2.1 Internet-Protokoll (IP)

Die Entwicklung des Internets beruht auf den Anfängen des ARPANET und entstand 1969 durch die militärischen Forschungen der DARPA. Sinn des ARPANET war es, die Gültigkeit der Kommunikationstechnik mit der Bezeichnung Packet-Switching zu überprüfen. Weiterhin sollte die Zuverlässigkeit der Datentechnik erhöht, die Übermittlungscharakteristik verbessert und die Kosten verringert werden. In heterogener Netzumgebung setzte man neue Protokolle in unterschiedlichen Rechnerplattformen ein. Militärisch versprach man sich durch diese heterogene Struktur das Netz unempfindlich gegen jegliche Art von Netzausfall zu machen. D.h., auch gegen evtl. atomare Gegenschläge. Die gesammelten Erfahrungen hatten dabei später großen Einfluß auf eine Vielzahl von Datenübertragungstechnologien im LAN-, MAN- und WAN-Bereich. Der Nachfolger des damaligen ARPANET ist das heutige Internet, welches heute das größte heterogene Datennetz der Welt darstellt. D.h., es

besteht aus einem Zusammenschluß von geographisch getrennten Datennetzen, die über Router und Gateways miteinander verbunden sind. Die Koordination der Entwicklung neuer Internet-Protokolle wird von der Internet Engineering Task Force (IETF) vorgenommen.

Das Internet Protokoll (IP) hat heute durch neue Dienste und grafische Benutzeroberfläche World Wide Web (WWW) eine weite Verbreitung gefunden. Dies beinhaltet exponentiell steigende Anwenderzahlen, die sich durchaus negativ auf den vorhandenen Adreßraum, Datensicherheit und Zugriffsdatenraten auswirken. Der Übergang vom Forschungsnetz zum kommerziellen Dienstanbieter ist hingegen längst überwunden. Das Internet ist zum Universalnetz expandiert, welches man in vielen Unternehmen zum Datenaustausch, Informationsgewinn und/oder als preiswerte Möglichkeit des Nachrichtenaustausches (E-Mail) nutzt. Aus diesem Grund muß man Sicherheitsmechanismen implementieren, die den Geschäftsaustausch im Internet fördern und unterstützen.

Die Notwendigkeit von Sicherheitsmechanismen wirkt sich allerdings negativ auf Echtzeitanwendungen aus, die das Internet der Zukunft beherrschen und unterstützen soll. Dabei ist dieses Handicap aber eher das kleinere Problem. Durch die Auslagerung von Echtzeitdiensten in das Internet sowie die Kommerzialisierung der Dienste, ist zu beobachten, daß das Internet momentan an den Rand seiner Leistungsfähigkeit gerät. Hier hilft auch keine einfache Erhöhung der Bandbreite, da die Internet Service Provider (ISPs) regelmäßig die Datenleitungen ausbauen und damit nur vorübergehend Engpässe abbauen. Das Internet muß einfach intelligenter mit seinen Ressourcen umgehen und zukünftig auch geringe Verzögerungszeiten anbieten. Protokolle wie IPv6, RSVP, MARS und NHRP sollen das Internet künftig mit Bandbreitenreservierung, einer Art Quality-of-Service (QoS), verbesserten Multicast-Fähigkeiten und Shortcut-Funktionalität zur Umgehung der Router-Engpässe ausstatten.

Hinzu kommt, daß IP ein verbindungsloses Protokoll ist. Es leitet Datenpakete auf Hop-by-Hop-Basis (Netzwerk-zu-Netzwerk) weiter, unabhängig von dem darunterliegenden Netzwerk (Ethernet, Token Ring, FDDI, Fibre Channel im LAN sowie X.25, ISDN, Festleitungen, SDH, ATM im WAN). Fehlererkennung und -korrektur sowie Erhaltung der Sendereihenfolge und Duplikatserkennung, werden nicht durch IP angeboten und müssen durch Protokolle höherer Schichten (Transport Control Protocol – TCP) vorgenommen werden. TCP/IP ist inzwischen für alle Rechnerplattformen und Betriebssysteme verfügbar. Weiterentwicklungen in den letzten Jahren haben das Protokoll allerdings immer weiter verbessert.

Durch die weite Verbreitung hat sich die TCP/IP-Protokollfamilie im WAN-Bereich als Quasistandard herauskristallisiert. Flexibilität, Plattformunabhängigkeit und Preisvorteile werden auch weiterhin den Erfolg dieses Protokolls sicherstellen und noch ausbauen. Gebühren lassen sich durch IP einfacher erfassen und Broadcast-Sendungen (Ansprechen aller Stationen) werden weitestgehend vermieden, wodurch geringere Kosten im WAN-Bereich entstehen. Zusätzlich ist die Netzstruktur fast beliebig den Kundenwünsche entsprechend erweiterbar. IP hat sich trotz seiner Nachteile, als Protokoll für multimediale Daten durchgesetzt und benötigt effiziente Transportprotokolle zur Umsetzung seiner Ziele.

## **2.2 Synchronous Digital Hierarchy (SDH)**

SONET/SDH hingegen ist für Übertragungssysteme im WAN-Bereich entwickelt worden und wird von den Telekommunikationsanbietern weltweit verwendet. 1988 wurde diese Architektur zum SDH-Standard der CCITT. Dieser Standard beschreibt ausschließlich die Übertragungsrahmen der OSI-Schicht-1 und unterscheidet zwei Varianten: die nordamerikanische ANSI-SONET und die europäische ETSI-SDH. Die erste Hierarchiestufe von SO-

NET wurde dabei auf die speziellen amerikanischen Bedürfnisse auf eine Bitrate von 51,84 MBit/s ausgelegt. Die entsprechenden optischen und elektrischen Signale bei SONET werden als STS-1 (Synchronous Transport Signal, Ebene 1) bezeichnet. Im Gegensatz dazu basiert SDH, wie in den ITU-Empfehlung G.707 beschrieben, auf einer Bitrate von 155,52 MBit/s, also exakt der dreifachen Grundbitrate von SONET. Das zugehörige Signal wird hier als STM-1 (Synchronous Transport Module, Ebene 1) bezeichnet. Die Bitraten der nächsthöheren Hierarchiestufen sind ganze Vielfache der Bitrate von Stufe 1 und entstehen durch entsprechende Byte-Verschachtelung von Stufe 1 an aufwärts.

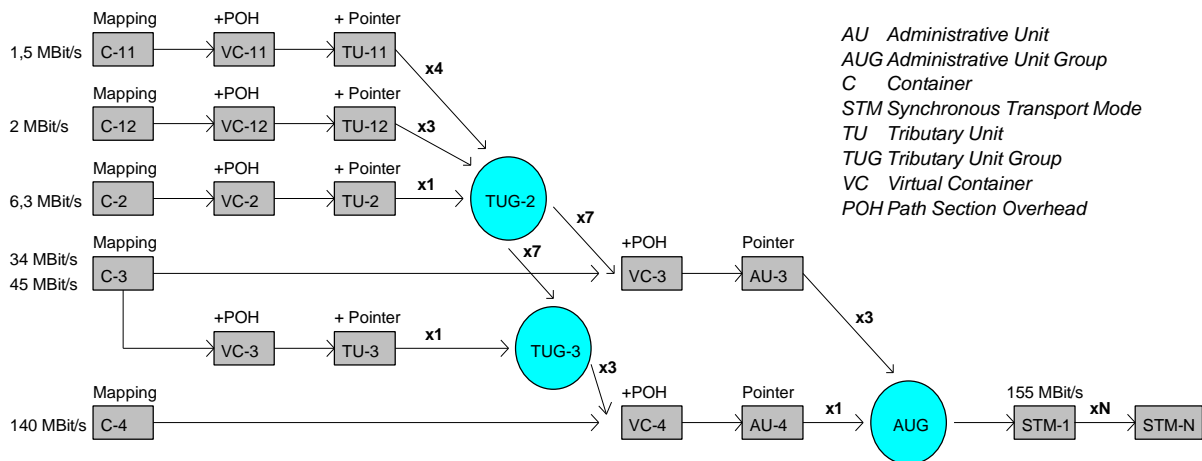


Abbildung 2: SDH-Multiplexschema

SDH läßt den Transport verschiedener, durch unterschiedliche Bitraten und Strukturen gekennzeichnete Signale zu. Subsignalformate, die sogenannten Virtuellen Container (VC), die im STM transportiert und an Netzknoten unabhängig von ihrem Inhalt (Payload) durchgeschaltet werden, ermöglichen dieses. Ein VC besteht aus dem Path Overhead (POH) und dem eigentlichen Payload Container (C). Der Inhalt des Containers besteht dabei entweder aus kleineren synchronen VCs (Higher-Order-Container) oder aus Signalen der Plesiochronen Hierarchie (Low-Order-Container). Diese VCs besitzen Substrukturen, die von der zu transportierenden Nutzlast abhängig sind. Besteht die Nutzlast wiederum aus einzelnen VCs, so werden sie in Tributary Unit Group (TUG) unterteilt, welche ihrerseits wieder in Tributary Units (TU) aufgeteilt sind. Jeder TU stellt die Übertragungskapazität für einen VC-Kanal dar, während die TUG die Lage der TU im Higher-Order-VC bestimmt. Die TU, die sich unmittelbar unter der Hierarchie des STM-1-Rahmens befindet, wird Administrative Unit (AU) genannt, welche zusammengefaßt wiederum eine Administrative Group (AUG) ergeben. Der AU-Pointer referenziert den Beginn des VC-Containers. Einen Überblick über die Verschachtelungen von Bitratenuntersystemen in den STM-1-Rahmen zeigt Abbildung 2.

SDH verspricht Abhilfe bei den Nachteilen der Plesiochronen Digitalen Hierarchie (PDH). Dabei beschränkt sich diese Spezifikation auf die Beschreibung von OSI-Schicht-1-Übertragungsrahmen. SDH ermöglicht die Kompatibilität von Netzen und Übertragungseinrichtungen in einem weltweiten Rahmen. Da bei SDH-Einrichtungen sehr viel mehr Funktionen als bei der PDH genormt sind (optische Schnittstellen, Overhead-Funktionen, Funktionalität der Geräte), wird bei Netzen auf Basis des SDH-Standards ein effizienteres Netzwerkmanagement möglich. Weiterhin kann SDH von Übertragungsdiensten wie ATM als physikalisches Transportmedium genutzt werden.

Der Hauptvorteil der Synchronen Digitalen Hierarchie gegenüber der alten PDH-Struktur liegt allerdings in der Verwendung eines transparenten Multiplexverfahren. Das heißt, daß

ein 64 kBit/s Kanal direkt aus der höchsten SDH-Multiplexhierarchie von derzeit 9,95 GBit/s entkoppelt werden kann und umgekehrt. Man spricht deshalb auch vom Ein-Stufen-Multiplexing innerhalb von SDH-Netzwerken. Dies ist bei der PDH-Technik nicht der Fall. Dies bedeutet für SDH im Vergleich zu PDH die Einsparung einer großen Anzahl teurer Multiplex- bzw. Demultiplexanlagen sowie die Möglichkeit, Netzwerke wesentlich flexibler zu gestalten. Ferner wurde die Overhead-Struktur der SDH-Übertragungsrahmen so ausgelegt, daß modernere, hochautomatisierte Vermittlungsanlagen sowie Netzwerkmanagementsysteme unterstützt werden. Die Telekom AG als Netzbetreiber in Deutschland setzt bereits den in 90iger Jahren geplanten Übergang von plesiochronen zum synchronen digitalen Netz um. Die Beschaffung für die vorhandenen Digitalisierungsanteile im Fernnetz (1993 ca. 90%) und im Ortverbindungsleitungsnetz (ca. 60%) in plesiochroner Technik läuft seit 1994 aus, es werden nur noch synchrone Einrichtungen beschafft.

### 2.3 Asynchronous Transfer Mode (ATM)

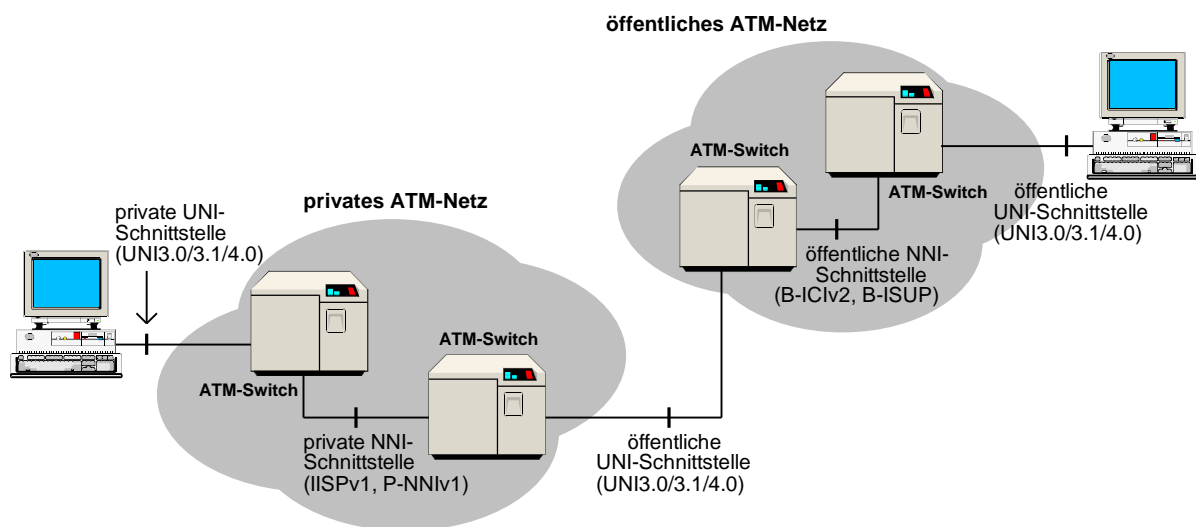
Der Asynchrone Transfer Modus ist bereits 1986 als Grundlage für das Breitband-ISDN (B-ISDN) von der damaligen CCITT (heute ITU) ausgesucht worden, aufgrund der sich abzeichnenden Engpässe im Weitverkehrsbereich. Inzwischen hat sich die ATM-Technik seit der Verabschiedung diverser Standards zwischen 1991 und 1993 durch die International Telecommunication Union (ITU) fest etabliert. Im privaten Bereich hat das ATM-Forum seit 1993 de-facto Standards geschaffen. Dabei besteht das ATM-Forum aus einem Zusammenschluß von Herstellern, Universitäten, Beraterfirmen und Benutzern, das sich durch wesentlich schnellere Spezifikationen auszeichnet. Diese werden als Vorschläge an die ITU weitergeleitet.

Mit der ATM-Technik wurden die Erwartungen verknüpft, ein breites Spektrum an Diensten unter einem vorgegebenen dienstspezifischen Gütekriterium unterstützen zu können. Nach anfänglichen Startproblemen, die sich aus der unzureichenden Standardisierung ergaben, ist bei ATM inzwischen die erste Entwicklungsphase abgeschlossen. ATM besitzt eigenes Routing, Signalisierung und Adressenstruktur, wodurch sich ein komplexes Themengebiet ergibt. Zusätzlich sind Mechanismen zur Sicherstellung der Dienstgüte vorhanden, die durch Überwachung der Verkehrsparameter, der Netzauslastung und der Netzgüte (Zellenverlustrate, Zellenverzögerung usw.) eingehalten und garantiert werden kann. Weiterhin müssen die spezifischen Eigenschaften des Datenverkehrs, der durch die verschiedenen Dienstklassen (UBR, ABR, VBR, CBR) beschrieben wird, und den Verkehrssteuermechanismen der ATM-Technik betrachtet werden.

| Dienstklassen  | Verkehrsbeschreibung   | Anwendungen   |
|--|--|---|
| Constant Bit Rate (CBR)  | Peak Cell Rate (PCR) beschreibt CBR, die zugleich hier auch die durchschnittliche Rate darstellt | Sprachkommunikation   |
| Real-time Variable Bit Rate (rt-VBR),<br>Non real-time VBR (nrt-VBR) | Peak Cell Rate (PCR) und mittlere Datenrate (Sustainable Cell Rate) beschreiben VBR              | Videokonferenzen (rt),<br>Banktransaktionen (nrt)             |
| Unspecified Bit Rate (UBR)   | Peak Cell Rate (PCR); es existieren keine Dienstgütegarantien                                    | LAN-Kopplung  |
| Available Bit Rate (ABR)   | Allowed Cell Rate (ACR) schwankt durch Regelmechanismus zwischen PCR und Minimum Cell Rate (MCR) | Datenkommunikation mit garantierter Verlustwahrscheinlichkeit |

Tabelle 1: ATM-Dienstklassen

Bei ATM werden auf jedem Übertragungsabschnitt ununterbrochen Zellen fester Länge (53 Bytes) übertragen. Die Zellen bestehen aus 48 Byte für Nutzinformationen und 5 Byte für den Zellkopf (Header), der unter anderem die Kanal- oder Pfadadressierung enthält. Ist gerade keine Nutzinformation zu senden, so werden spezielle Leerzellen gesendet. Hierbei ist die Nettobitrate sehr klein. Werden hingegen fast nur Nutzzellen gesendet, so nähert sich die Nettobitrate der Transportbitrate (bei 155 MBit/s ist die Transportbitrate etwa 149,76 MBit/s). Dadurch ermöglicht ATM Verbindungen mit beliebiger Nettobitrate. Jede Zelle wird durch eine Kennung einem bestimmten virtuellen Übertragungspfad und einem darin geführten virtuellen Kanal zugeordnet. Da die Zellen klein sind, kommt es nur zu sehr geringen Verzögerungszeiten. Dadurch können synchrone und asynchrone Dienste gleichermaßen realisiert werden.



**Abbildung 3: Optimale ATM-Netzstruktur im LAN und WAN**

Das ATM-Netz arbeitet verbindungsorientiert, behält also die Reihenfolge der Zellen für jede Verbindung bei. Beim Verbindungsaufbau teilt der Netzbenutzer dem Netz über einen virtuellen Signalisierungskanal die gewünschte Bitrate mit und das Netz reserviert anschließend auf allen Übertragungswegen die entsprechende Bandbreite. Alle Netzknoten sind über eine oder mehrere sogenannte ATM-Schalteneinheiten (ATM-Switches) miteinander verbunden, welche die Zellen an ihren jeweiligen Bestimmungsort vermittelt. Dies kann aufgrund der festen Zellenlänge gleichzeitig für mehrere Zellen erfolgen. Die Netzteilnehmer teilen sich also nicht ein gemeinsames Übertragungsmedium, wie bei den lokalen Netzen (LANs), sondern sie entledigen sich an der ATM-Schalteneinheit ihrer Zellen. Auf Zugriffsalgorithmen muß keine Rücksicht genommen werden. Die insgesamt zur Verfügung stehende Übertragungsbandbreite wird von der ATM-Schalteneinheit nach Bedarf verteilt.

ATM ist als eine der wenigen Techniken für Hochgeschwindigkeitsnetze in der Lage, Datenströme für unterschiedliche Datenraten flexibel zu übertragen und zu übermitteln. Es kann somit nicht nur Dienste, sondern auch Netze vollständig integrieren. Damit stellt ATM eine vereinfachte Paketvermittlung dar, wobei die einfachen Protokolle keine Fehlerkorrektur unternehmen. Erst die Anpassungsschichten (AAL 1-5) kontrollieren auch die Nutzdaten. Im Fehlerfall wird das entsprechende Paket verworfen. Wiederaufsetzen nach Fehlern bleibt den Endsystemen überlassen. Zusätzlich sind Algorithmen für die Flußsteuerung und die Verbindungsparameterüberwachung entwickelt worden. Wenn das Netzwerk überlastet ist, kommt es nur zu einer Verbindungsabweisung. Bestehende Verbindungen werden nicht unterbrochen oder deren Datenrate gesenkt. Die Leistungsfähigkeit eines ATM-Netzes wird demnach ausschließlich von der Netzauslegung beeinflusst und nicht vom



Übertragungsprotokoll. Da bei heutigen Netzen von wesentlich weniger Bitfehlern auszugehen ist, müssen im Grunde auch keine Fehlerkorrekturen durchgeführt werden. Diesen Umstand machen sich ATM zunutze.

### 3 IP-over-ATM (IPoATM)

Nachdem man anfangs angenommen hat, daß ATM durch seine positiven Eigenschaften die gesamte Netzlandschaft im LAN und WAN vereinfachen und jede Migration letztendlich auf ATM abzielen wird, geht man nun davon aus, daß ATM neben anderen Netzlösungen bestehen muß. Das heißt, ATM wird seinen Platz im LAN-/WAN-Backbone-Bereich einnehmen und dabei die Interoperabilität zu anderen Netzen, wie Ethernet, Fast-/Gigabit-Ethernet, Token-Ring, Fast-Token-Ring und FDDI gewährleisten müssen. Dabei kommen nicht ausschließlich ATM-Zellen zum Einsatz, sondern vornehmlich IP, da sich dieses Protokoll bei den verwendeten Applikationen und Betriebssystemen auf breiter Basis durchgesetzt hat. Dabei werden Verfahren wie Classical-IP (CLIP), LAN-Emulation (LANE) und Multiprotocol-over-ATM (MPOA) eingesetzt, um ATM und IP aufeinander anzupassen bzw. zu integrieren.

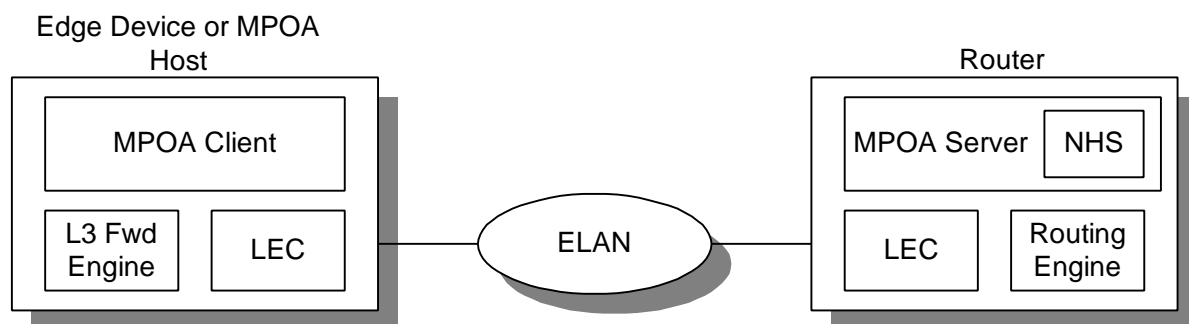
| Standards | Beschreibung  |
|-----------|---|
| RFC-791   | Internet Protocol   |
| RFC-792   | Internet Control Message Protocol                             |
| RFC-826   | An Ethernet Address Resolution Protocol                       |
| RFC-1112  | Host Extension for IP Multicasting                            |
| RFC-1157  | A Simple Network Management Protocol                          |
| RFC-1191  | Path MTU Discovery  |
| RFC-1195  | Use of OSI IS-IS for Routing TCP/IP and Dual Environment      |
| RFC-1213  | TCP/IP Management Information Base                            |
| RFC-1293  | Inverse Address Resolution Protocol                           |
| RFC-1483  | Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5       |
| RFC-1577  | Classical IP and ARP over ATM                                 |
| RFC-1626  | Default IP MTU for use over ATM AAL5                          |
| RFC-1755  | ATM Signalling Support for IP over ATM                        |
| RFC-1932  | IP over ATM: A Framework Document                             |
| RFC-2022  | Support for Multicast over UNI 3.0/3.1 based ATM Networks     |
| RFC-2149  | Multicast Server Architecture for MARS-based ATM multicasting |
| RFC-2332  | NBMA Next-Hop Resolution Protocol (NHRP)                      |

**Tabelle 2: Wichtige Internet Standards für IPoATM**

Die vorhandenen Möglichkeiten von IP-over-ATM wie LANE und CLIP ermöglichen bisher nur den Aufbau einzelner Subnetze. Wenn mehrere Subnetze auftreten, sind Router für eine Kommunikation erforderlich. Dadurch kann die Effizienz erheblich beeinflußt werden, da Router den Datendurchsatz begrenzen und Verzögerungen durch Protokollbearbeitung hervorrufen. Im Gegensatz zu Bridges, die auf der OSI-Schicht 2 (Datensicherungsschicht, MAC Layer) arbeiten und ebenfalls die traditionellen LANs und LAN-Segmente verbinden, besitzen die Router auf OSI-Schicht 3 (Vermittlungsschicht, Network Layer) zusätzlich Filter- oder auch Firewall-Funktion. Router legen somit fest, welcher Datenverkehr sich innerhalb einer bestimmten Domäne aufhalten soll und welcher nach außen gehen beziehungsweise daher kommen darf. Innerhalb der IP-Umgebung bedeutet dies, daß Applikationsdaten von einem Endgerät zuerst in IP-Pakete unterteilt werden (20 Byte - 65 kByte) und danach

in Ethernet-Rahmen, falls es sich um ein solches LAN handelt. Befinden sich dabei Sender und Empfänger in derselben Domäne (auch IP-Subnetz genannt), wird der Empfänger direkt per Ethernet/MAC- und IP-Adresse angesprochen und die Ethernet-Rahmen zuletzt wieder zu IP-Paketen zusammengefügt. Bei unterschiedlichen Domänen muß dabei die Kommunikation über mindestens einen Router erfolgen.

In diesem Fall bestimmt nur noch die IP-Adresse den Empfänger. Die MAC-Adresse wählt nur den nächsten Router auf dem Routing-Pfad aus. Dabei speichert jeder Router die Ethernet-Rahmen in seinem Eingangspuffer, setzt diese zu IP-Paketen zusammen und stellt durch die IP-Adresse fest, über welchen Router-Port der Empfänger erreicht werden kann. Adressentabellen im Router beinhalten dabei die IP-Adressen und Port-Nummern und müssen durch Routing-Protokolle (OSPF, RIP etc.) laufend aktualisiert werden bzw. sind bei der Weiterleitung der Pakete behilflich. Letztendlich werden die IP-Pakete wieder in MAC-Rahmen zerlegt, mit einer neuen MAC-Empfangsadresse versehen und über den entsprechenden Ausgangsport am Router in Richtung Empfänger weitergeleitet. Dieser Vorgang wird bei allen Routern auf dem Übertragungspfad wiederholt, bis schließlich die richtige Domäne vom IP-Paket erreicht wurde, in der MAC- und IP-Adresse wieder übereinstimmen. Hinzu kommt noch der Spanning-Tree Algorithmus, um die aktiven und deaktivierten Ports zu überwachen, falls der Router auch noch die Funktionen einer Bridge übernimmt. Dieser komplexe Vorgang hat natürlich erhebliche Verzögerungszeiten zur Folge, die gerade bei heutiger Anforderung der Echtzeitfähigkeit der Netze nicht mehr hingenommen werden dürfen. Latenzzeiten von 100 ms pro Router können so leicht entstehen. Durch das verwendete Store-and-Forward Verfahren ist der Datendurchsatz von Routern auf Werte zwischen 100 000 und 1 Millionen Pakete pro Sekunde begrenzt.



**Abbildung 4: MPOA-Komponenten**

Die bisherigen Möglichkeiten von IP-over-ATM wie LANE und CLIP, ermöglichen bisher nur den Aufbau einzelner Subnetze. Wenn mehrere Subnetze auftreten, sind Router für eine Kommunikation erforderlich. Dadurch kann die Effizienz erheblich beeinflusst werden, da Router den Datendurchsatz begrenzen und Verzögerungen durch Protokollbearbeitung hervorrufen. MPOA beseitigt diesen Nachteil durch sogenannte Shortcuts (direkte Verbindungen) zwischen unterschiedlichen IP-Subnetzen. Da MPOA direkt auf der Netzwerkschicht 3 aufsetzt, wird die Ausnutzung von ATM-Eigenschaften ermöglicht. Durch die neue Idee eines virtuellen Routers und durch Integration bestehender Ansätze, versucht MPOA die Routerfunktionen Forwarding und Routing räumlich zu trennen. Bisherige Routerfunktionen ermöglichten den Informationsaustausch über die Wegewahl zum Empfänger (Routing) und der anschließenden Übertragung der Daten (Forwarding). Beim Ansatz des virtuellen Routers werden sogenannte Forwarder über ein standardisiertes Protokoll zentral von Router-Servern gesteuert. Die Routing-Funktionen werden dabei von den Router-Servern ausgeführt. Durch diese Trennung sind erhebliche Kosteneinsparungen durch Manage-

mentvereinfachungen über die Zentralisierung der Routerfunktionen möglich. Zusätzlich lassen sich einfache Forwarder mit einem geringeren technischen Aufwand realisieren.

MPOA arbeitet ausschließlich mit ATM zusammen. Vorteilhaft ist, daß ein QoS erstmals unterstützt werden kann, die Router-Engpässe durch Trennung der Funktionen Forwarding und Routing verschwinden, Shortcut-Nutzung, Bildung von VLANs und Autokonfiguration ermöglicht wird. Nachteilig ist der noch zu flach definierte Standard 1.0, hohe Komplexität und die Nutzung von Shared-VCs (kein End-to-End-QoS möglich). MPOA ist für mittlere bis große Netze im Backbone/Campusbereich einsetzbar und baut grundsätzlich auf LANEv2.0 auf.

#### 4 IP-over-SDH/SONET (IPoS)

Der QoS, den IPoS anbietet, unterscheidet sich ganz entschieden von dem QoS von ATM. Da der Begriff aber nicht endgültig spezifiziert wurde, wird er auch bei IP mißbräuchlich eingesetzt. Da ATM diesen Begriff aber zuerst eingeführt hat und sich alle vergleichbare Technologien darauf beziehen, muß man die Leistungsfähigkeit gegenüberstellen. So ist IP nur in der Lage Prioritäten, sogenannte Class-of-Services (CoS) festzulegen. Dies kann durch das Feld Type-of-Service (TOS) im IP-Header eingestellt werden. Bislang wird diese Option aber nicht ausgenutzt. Ciscos High-End-Router unterstützten proprietär dieses Feld, um unterschiedliche Dienstklassen unter Verwendung von Random Early Detection (RED) und Weighted RED (WRED) anbieten zu können. Wenn IP-Pakete das Netz betreten, wird dann zuerst die Priorität über die Edge Router festgelegt. Anschließend wird der Verbindungspfad durch das Netz bestimmt. Um das Umsetzen zu können, ist die Committed Access Rate (CAR) definiert worden, die die Durchsatzgrenzen am Netzrand festlegt und die Menge des Verkehrs für ein bestimmtes Interface. RED ist hingegen ein Congestion Avoidance Mechanismus, der den Datenfluß durch die variablen Fenstergrößen bei TCP kontrolliert. Dadurch sollen Überbelastungen im Vorfeld ausgeräumt werden können. WRED ist eine Weiterentwicklung, die speziell das Maximieren von Durchsatz und Auslastung mit einem Minimum an Paketverlusten und Verzögerungen zur Aufgabe hat. Es wurden hierfür bereits sechs CoS definiert.

Um erfolgreich eingesetzt werden zu können, muß IPoS in der Lage sein, Layer-3-Switching zu unterstützen. Weiterhin sollten Multicast und Broadcast kontrolliert werden können, da es sonst zu Schwierigkeiten während des Betriebs kommen kann. Traffic Management und Überlastungskontrolle sollen für eine effiziente Auslastung sorgen. QoS muß ebenfalls angeboten werden, da die Provider ansonsten keine verzögerungsempfindlichen Anwendungen wie Sprache und Video anbieten können. Um IPoS zu ermöglichen, ist die Spezifikation PPP-over-SONET/SDH nach RFC-1619 entstanden. Eine andere Möglichkeit wäre der Einsatz von HDLC, der sich aber nur durch HDLC-ähnliche Rahmen bemerkbar macht. PPP arbeitet dabei mit unterschiedlichen physikalischen Schnittstellen wie RS-232, RS-422 und V.35 zusammen. PPP ist ein Punkt-zu-Punkt Link Layer Protokoll mit den folgenden Funktionen:

- Einkapselung und Übertragung der Pakete von Multiple Network Layer Protokollen über die selbe Verbindung.
- Etablieren, Konfigurieren und Test der Link Layer Verbindung.
- Etablieren und Konfigurieren des Network Layer Protocols.

PPP spezifiziert somit den Mechanismus der Einkapselung und das Link Control Protocol (LCP). Zusätzlich benötigt PPP andere Protokolle für die Authentifikation, Link Quality Monitoring und Network Control Protocols (NCP). PPP ermöglicht außerdem UNI und NNI

Signalisierung. Implementierte LCP und IPCP Optionen von PPP sind: Maximum Receive Unit, Quality Protocol, Magic Number und IP-Adressen.

|          |          |          |             |             |          |          |          |
|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|----------|----------|
| Flag     | Address  | Control  | Protocol ID | Information | Padding  | FCS      | Flag     |
| 01111110 | 11111111 | 00000011 | 1/2 Byte    | variabel    | variable | 2/4 Byte | 01111110 |

**Abbildung 5: PPP Rahmenaufbau (HDLC-ähnlich)**

Das Protokoll PPP behandelt SONET/SDH wie eine Byte-orientierte synchrone Verbindung. PPP-Rahmen, wie in Abbildung 5 gezeigt, werden als ein zusammenhängender Datenstrom in die SONET/SDH Payload eingefügt. Um PPP-Rahmen innerhalb von der SONET/SDH Payload transportieren zu können, werden Flags in den Rahmen eingefügt. Wichtige Standards für IPoS zeigt die Tabelle 3.

| Standards | Beschreibung   |
|-----------|--|
| RFC-791   | Internet Protocol  |
| RFC-792   | Internet Control Message Protocol  |
| RFC-1112  | Host Extension for IP Multicasting   |
| RFC-1157  | A Simple Network Management Protocol   |
| RFC-1191  | Path MTU Discovery   |
| RFC-1195  | Use of OSI IS-IS for Routing TCP/IP and Dual Environment                           |
| RFC-1213  | TCP/IP Management Information Base   |
| RFC-1293  | Inverse Address Resolution Protocol  |
| RFC-1332  | The PPP Internet Protocol Control Protocol (IPCP)                                  |
| RFC-1333  | PPP Link Quality Monitoring  |
| RFC-1471  | Managed Objects for the Link Control Protocol of the Point-to-Point-Protocol       |
| RFC-1473  | Managed Objects for the IP Network Control Protocol of the Point-to-Point-Protocol |
| RFC-1619  | PPP over SONET/SDH   |
| RFC-1661  | The Point-to-Point-Protocol (PPP)  |
| RFC-1662  | PPP in HDLC-like Framing   |
| RFC-2175  | MAPOS 16 - Multiple Access Protocol over SONET/SDH with 16 Bit Addressing          |
| RFC-2176  | IPv4 over MAPOS Version 1  |
| RFC-2171  | MAPOS - Multiple Access Protocol over SONET/SDH Version 1                          |

**Tabelle 3: Wichtige Internet Standards für IPoS**

Eine andere Möglichkeit, um IP über SDH-Verbindungen zu transportieren, stellt Multiprotocol Label Switching (MPLS) dar. MPLS ist die Zusammenführung aller IP-Switching Bestrebungen der Hersteller unter dem Dach der IETF. Dabei ist MPLS aber im Gegensatz zu MPOA zur Router-Kommunikation einsetzbar. Damit erlangt dieses Verfahren eine größere Bedeutung im WAN-Bereich als MPOA. Somit ist hier ein fließender Übergang aus dem Campusbereich in den WAN-Bereich zu verzeichnen. MPLS ordnet einem Datenfluß ein Stream Label zu, wodurch Echtzeitdaten schneller weitergeleitet werden können. Dieses Verfahren ist aber nur in großen Netzstrukturen anwendbar, da bei auftreten kurzer Datenströme ein relativ schlechter Wirkungsgrad erreicht wird. Ein großer Vorteil von MPLS ist aber die Unabhängigkeit von der darunterliegenden Infrastruktur. So können neben SDH auch andere Hochgeschwindigkeitsnetze (z.B. ATM) eingesetzt werden. Wie der Standard aber letztendlich umgesetzt wird bleibt abzuwarten. Vergleiche zwischen MPOA und MPLS

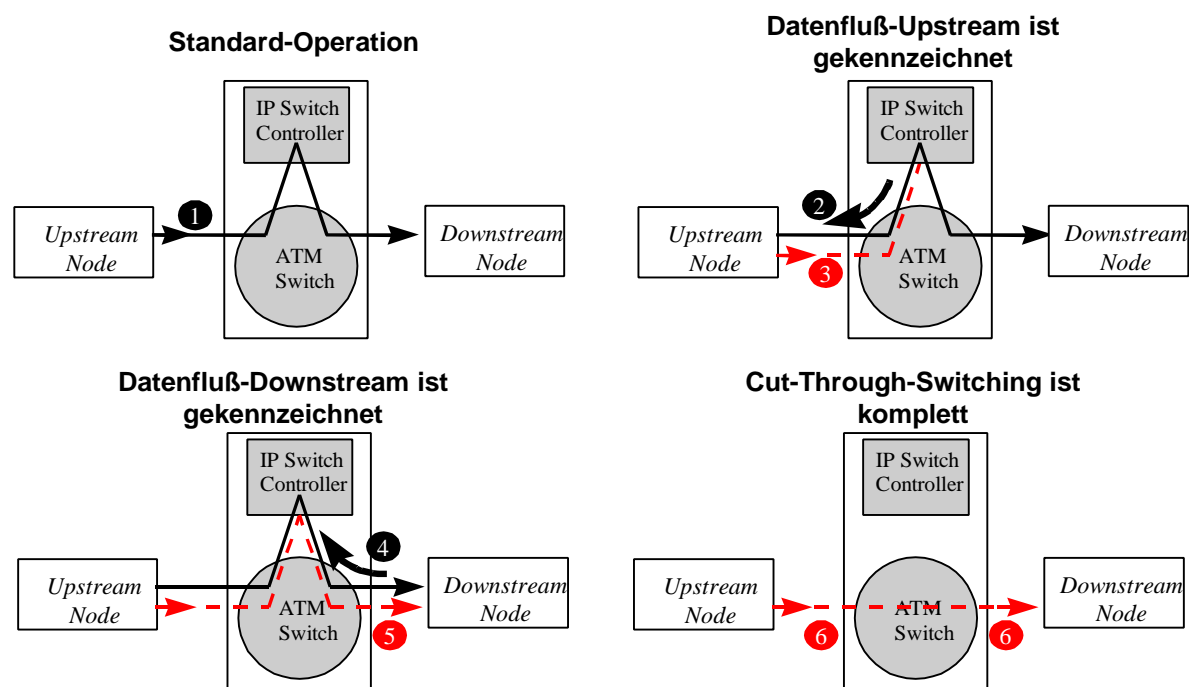
sind daher erst bei vorhandenen Implementierungen der Hersteller möglich. Selbst der theoretische Vergleich fällt schwer, da MPLS noch ein Draft Standard ist.

MPLS besitzt folgende Eigenschaften:

- Integriert Label Swapping Forwarding mit Netzwerk Layer Routing
- Label Swapping verbessert Skalierbarkeit der Netzwerkschicht und dem Layer Routing Service
- MPLS ermöglicht neue Routing Services ohne die Forwarding Mechanismen zu ändern
- MPLS ist nicht auf eine spezielle Link Layer Technologie festgelegt
- Verwendung von Routing-Ansätzen: Normaler Betriebsmodus Layer-3-Routing
- MPLS ist für Router-Kommunikation ausgelegt

Die Protokolle auf der Schicht 3 des OSI-Referenzmodells statten die Pakete mit Informationen aus, die für die Bestimmung des nächsten Router in einem Netzwerk (Hops) nicht unbedingt notwendig sind. Für die einfache Weiterleitung von Paketen sind weniger Informationen ausreichend, die man durch zwei Funktionen unterteilen kann:

- Aufteilung der Datenströme in Forwarding Equivalent Classes (FECs). Alle Datenströme, die in eine FEC eingeordnet werden, kann man, bezogen auf das Forwarding, unabhängig von ihrer Routing-Information gleich behandeln.
- Zusätzliche Funktionen zur Abbildung der FECs auf das nächste Ziel. Das heißt, die Durchführung des Label Swapping.



**Abbildung 6: Funktionsweise des Layer-3-Switchings**

Alle Pakete, die zu demselben FEC gehören, werden als ein Data Stream bezeichnet. Die Pakete werden von einem Sendeknoten zum selben Zielknoten gesendet und identisch behandelt. Die Funktion, die die Datenpakete in eine FEC abbildet, wird auf dem gesamten Weg durch das MPLS-Netzwerk nur einmal für jedes Paket berechnet. Im Netzwerk selbst wird keine Untersuchung des Layer-3-Headers mehr vorgenommen. In einem MPLS-Netzwerk trifft eine Netzwerkkomponente die Entscheidung über die Vergabe eines Labels. Wenn dies geschehen ist, informiert sie den nächsten Nachbarn auf dem Übertragungspfad von dieser Entscheidung. Es können Label für Routing-Gebiete oder auch einzelnen

Datenströmen vergeben werden. Da Switchingpfade nicht zu Beginn festgelegt werden, ist ein Protokoll im Einsatz, welches die Verteilung der Label im Gesamtnetzwerk steuert. Zusätzlich ist es möglich einzelne Switchingpfade zusammenzufassen.

Die Komponenten von MPLS lassen sich wie folgt aufzählen:

- Label: Ein Label dient zur Identifikation, wodurch ein Datenstrom gekennzeichnet wird. Labels besitzen weiterhin eine feste Länge.
- Label Switch Router (LSR): Umsetzen des Eingangslabels in den Ausgangslabel.
- Labeled Packet: Datenpaket, welches bereits ein Label besitzt. Das Label kann durch Einkapselung eingefügt worden sein oder Teil eines Layer-3-Headers (IPv6 Flow Identifier) bzw. Layer-2-Headers (ATM-VCI/VPI) sein.
- Label Distributed Protocol (LDP): Definiert die Art und Weise, wie die Information über die Label/Datenstrom-Bindung in einem MPLS-Netzwerk verteilt ist.
- Label Switched Path (LSP): Der Weg durch das Netzwerk, auf dem die Datenpakete durch das Netzwerk geschwitched werden.

Die zugrundeliegende Netzwerktechnologie wird nicht näher spezifiziert. Das Zusammenspiel von MPLS und bestimmten Technologien (z.B. ATM und Frame Relay) wird in weiteren RFC-Spezifikationen konkretisiert werden. Dadurch ist MPLS vielseitig einsetzbar. Schleifen innerhalb eines Netzwerks werden außerdem erkannt und vor Auftreten bereits unterdrückt. Switchingpfade können auf dem Verbindungspfad durch das Netzwerk zusammengelegt werden. Zusätzlich hat man auch an die Interoperabilität mit NHRP gedacht, wodurch das Zusammenspiel MPOA mit MPLS ermöglicht wird.

Einen anderen Ansatz IP auf SDH-Rahmen anzupassen, besteht über das Multiple Access Protocol over SONET/SDH (MAPOS). Dieses Protokoll definiert als Transportmethode HDLC-Rahmen über SONET/SDH zu übertragen (RFC-2171). HDLC zeichnet sich durch seine Bitcodierung und Sicherheitsmechanismen für die physikalische Schicht aus. Andere Protokolle wie TCP/IP und SPX/IPX können es für die Übermittlung nutzen. Indem IPv4 auf das MAPOS-Protokoll angepaßt wird, erfolgt so eine IP-Übertragung durch Einkapselung in MAPOS-HDLC-Rahmen und ARP für das Mapping zwischen HDLC und IP (RFC-2176). Es handelt sich hierbei allerdings nicht um einen Standard, sondern ausschließlich um einen Vorschlag. Eine genauere Spezifikation müßte erfolgen, damit die IETF diesem Lösungsvorschlag größere Aufmerksamkeit widmen wird.

## 5 Protokoll-Overhead

Eine Anwendung, die Daten über ein Netzwerk überträgt, kann nicht die volle Bandbreite des verwendeten Kommunikationsmediums ausnutzen. Der Overhead, welcher für den Transport der Daten benötigt wird, verbraucht immer einen gewissen Anteil der Bruttoübertragungsrate. Wenn noch zusätzliche Protokollstrukturen umgesetzt werden müssen, die auf höheren Schichten funktionieren, summieren sich die unterschiedlichen Overheads auf Kosten der Nettoübertragungsrate weiter auf. Das heißt, jede Protokollschicht fügt den übertragenden Daten einen Header und/oder Trailer hinzu. Zur Überprüfung der Protokollzuverlässigkeit werden ebenfalls noch weitere Felder, wie HEC, AAL-5-CRC und IP-Prüfsumme, angehängt. Für Multiplex-Funktionen sind ebenfalls zusätzliche Felder, wie ATM-VPI/VCI, IP-Quellen- und Empfängeradresse sowie UDP/TCP-Portnummern, vorhanden. Alle Felder zusammen besitzen dann noch Längenangaben der Protocol Data Unit (PDU) und Verbindungszustände. Die Frage bei der gesamten Umsetzung der Protokoll- und Kontrollstrukturen ist, wie effektiv letztendlich noch eine Datenübertragung bei kleiner werdender Nettobitrate ist.

| Protokollschichten            | OC-3c-Schnittstelle       |                           |                           |
|-------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                               | SONET/SDH                 | 155,520 MBit/s            |                           |
| ATM-Schicht                   | 149,760 MBit/s            |                           |                           |
| Anpassungsschicht Typ 5       | 135,632 MBit/s            |                           |                           |
| Maximum Transport Unit (MTU)  | 576 Byte                  | 9180 Byte                 | 65527 Byte                |
| LLC/SNAP-Einkapselung         | 126,937 MBit/s            | 135,220 MBit/s            | 135,563 MBit/s            |
| IP-Protokoll                  | 125,198 MBit/s            | 135,102 MBit/s            | 135,547 MBit/s            |
| Transportschicht              | 120,851 MBit/s            | 134,808 MBit/s            | 135,506 MBit/s            |
| Anwendungsschicht über TCP    | 116,504 MBit/s            | 134,513 MBit/s            | 135,464 MBit/s            |
| Anwendungsschicht über UDP    | 119,112 MBit/s            | 134,690 MBit/s            | 135,489 MBit/s            |
| $\Sigma$ Overhead bei TCP/UDP | 39,016 / 36,408<br>MBit/s | 21,007 / 20,830<br>MBit/s | 20,056 / 20,031<br>MBit/s |
| (in Prozent)                  | (25,1 / 23 %)             | (13,5 / 13,4 %)           | (12,9 / 12,9 %)           |

**Tabelle 4: OC-3c-Interface-Overhead bei IP-over-ATM**

Tabelle 4 zeigt die jeweiligen Schichten auf, die bei der IP-Übertragung über das ATM- bzw. SDH-Netz verwendet werden. Die STM-1-Rahmenstruktur besitzt drei Overhead-Arten, die aus dem Regenerator Section Overhead, Multiplex Section Overhead sowie dem Path Layer Overhead bestehen. Der STM-1-Rahmen überträgt einen Rahmen der Größe 2430 Byte alle 125  $\mu$ s mit einem Overhead von 90 Byte. Dadurch entsteht aufgrund der Bruttoübertragungsrate von 155,520 MBit/s ein Gesamt-Overhead von 5,760 MBit/s, wodurch die Nettoübertragungsrate noch 149,760 beträgt. Der Overhead durch die genutzte STM-1 Rahmenstruktur liegt also mit 90 Byte pro Rahmen bei 3,7%. Unter der Voraussetzung einer vollständigen Auslastung der STM-1 Rahmen ist damit maximal die Übertragungsrate der direkten Zellenübertragung von 149 MBit/s bei STM-1 bzw. 599 MBit/s bei STM-4 zu erreichen.

Tabelle 4 vergleicht außerdem drei verschiedene MTU-Größen: 576 Byte (Standardgröße für das Internet), 9180 Byte (Festgelegte Standardgröße für IP-Übertragung über ATM) und 65527 Byte (Maximale IP-Paketgröße über die AAL-Typ-5-Schicht). Hieran ist zu erkennen, daß bei einer MTU-Größe von 576 Byte der Overhead deutlich größer ist, als bei den anderen beiden Varianten. Da die LAN-Emulation nur einen maximalen MTU-Wert von 1500 Byte erreichen kann und ein zusätzlicher Header erforderlich ist, ist dieses Verfahren ineffizienter als beispielsweise Classical-IP mit 9180 Byte. Weiterhin verbessert eine Vergrößerung der MTU-Werte über 9180 Byte nicht mehr deutlich die Nettoübertragungsrate. Aus diesem Grund wurde 9180 Byte auch als Default Maximum Transmission Unit (D-MTU) festgelegt. Durch diese Begrenzung werden die Übertragungsfehler geringer gehalten, da der Verlust von einzelnen ATM-Zellen den Verlust des gesamte AAL-Typ-5-Paketes verursachen würden. Die maximal mögliche Größe von 65527 Byte über die Anpassungsschicht 5 ist deshalb nur ein theoretischer Wert, der in der Praxis nicht angestrebt werden sollte.

Wenn man nun IPoS mit IP-over-ATM über den Overhead miteinander vergleicht, kann man mit IP-over-PPP über SONET/SDH (STS-3c/OC-3c) Verbindung eine größere Nutzdatenrate erreichen. Bei einem direkten Vergleich mit einer MTU von 576 Byte lassen sich somit ca. 14% Overhead vermeiden. Allerdings gilt dieser Vergleich ohne die Einbeziehung von Integrationsverfahren, wie beispielsweise MPLS, so daß man effektiv von 5-6% ausgehen muß. Dieser Wert kann für eine Beurteilung nicht ausschlaggebend sein. Im nächsten Abschnitt werden deshalb die Eigenschaften nochmals genauer miteinander verglichen.

| Protokollschichten                            | OC-3c-Schnittstelle                        |
|---|--|
| SONET/SDH                                     | 155,520 MBit/s                             |
| PPP   | 149,460 MBit/s                             |
| Maximum Transport Unit (MTU)                  | 576 Byte                                   |
| IP  | 147,15 MBit/s                              |
| Transportschicht                              | 142,803 MBit/s                             |
| Anwendungsschicht über TCP                    | 138,456 MBit/s                             |
| Anwendungsschicht über UDP                    | 141,064 MBit/s                             |
| $\Sigma$ Overhead bei TCP/UDP<br>(in Prozent) | 17,064 / 14,456 MBit/s<br>(11,0 % / 9,3 %) |

**Tabelle 5: OC-3c-Interface-Overhead bei IP-over-SONET/SDH**

## 6 Vergleich beider Verfahren

PPP alleine kann nur für feste Verbindungen durch das Netzwerk eingesetzt werden. Wenn man mehr Intelligenz nutzen möchte, um auch Traffic Management durchführen zu können, müssen Integrationsverfahren genutzt werden. Diese benötigen wiederum eigene Protokolle, um Routing-Informationen im Netz verteilen zu können. Dies wird den Overhead bei SDH wiederum erhöhen, so daß man nur noch 5-6% Bandbreitengewinn gegenüber IP-over-ATM verzeichnen kann. ATM bietet hier ein Management für die Zuteilung der Datenraten an, die über VCCs weitergeleitet werden. Dadurch wird der entsprechende QoS festgelegt und vorhandene Verbindung durch multiple Datenströme ausgenutzt. ATM ermöglicht durch seine Cell Switching Eigenschaften die Zuteilung unterschiedlicher virtueller Pfade und Kanäle auf einer Verbindung, die alle einen QoS bekommen mit Garantie über die Bandbreite. Weiterhin kann die Auslastung eines Netzes sehr effizient verteilt werden, um Überlast bereits im Vorfeld vermieden zu können. Durch integriertes Routing und Addressing ist ATM in der Lage sehr effizient mittel SVC-Verbindungen Router miteinander zu koppeln. Dadurch können große weltweite Netzwerke miteinander verknüpft werden. Zusätzlich kann bei Ausfall eines Routers automatisch ein Re-Routing durch P-NNI erfolgen.

Auf der anderen Seite, kann PPP kein Bandbreitenmanagement durchführen. Hier wird nur eine einfache Punkt-zu-Punkt-Verbindung hergestellt, wobei die TCP/IP-Schicht für die korrekte und fehlerfrei Paketübertragung zuständig ist. Auch die Zuteilung der Verbindung muß über TCP/IP erfolgen, um diese mit anderen fair teilen zu können. Das kann bei langsamen Verbindungen zu einem Problemfall werden. In diesem Fall können große Pakete mit geringer Priorität die gesamte Übertragung eines Datenstroms mit höherer Priorität blockieren. Die Qualität einer Verbindung, kann auch hier nicht durch Class-of-Service (CoS) sichergestellt werden. Somit kann IpoS nicht einwandfrei Verzögerungen garantieren. MPLS versucht diesen Nachteil u.a. zu beseitigen. Beim Aufbau größerer Backbone Netze müßten alle Router mittels PPP verbunden werden. Eine komplette Vermaschung würde entstehen. Probleme könnten entstehen, beim Zugriff auf SDH-Verbindungen, da diese im WAN stark limitiert sind.

Bei der Betrachtung der Flußkontrolle (Flow Control) kommt ATM ebenfalls bessere Noten. ATM verwendet Call Admission Control (CAC), Traffic Shaping und User Parameter Control (UPC) oder Policing. Diese Funktionalität stellt sicher, daß alle gewünschten Netzwerkeigenschaften erfüllt werden können. Verkehr, der über die abgemachte Peak Cell Rate (PCR) hinausgeht, wird gekennzeichnet durch das Bit Cell Loss Priority (CLP) im ATM-Header und verworfen, wenn die Netzlast zu hoch wird. Falls keine zu hohe Belastung im



Netz vorhanden ist, werden die überschüssigen Zellen weitergeleitet. Der Teilnehmer kann somit sofort feststellen, in welchem Zustand sich das Netz befindet. ATM arbeitet relativ schlecht mit der Flußkontrolle von TCP zusammen. Um dieses Problem zu verkleinern, wurden Mechanismen wie Partial Packet Discard (PPD) und Early Packet Discard (EPD) auf der Anpassungsschicht AAL-5 implementiert. Diese Funktionen ermöglichen dem Switch Überlasten entgegenzuwirken, indem Zellen verworfen werden. Zusätzlich besteht eine Fehlertoleranz bei ATM, die die Rückgewinnung (Recovery) fehlerhafter Links und Switches durch Routing Verbindungen über P-NNI ermöglicht.

PPP verwendet keinen Kontrollmechanismus, wodurch die TCP-Flußkontrolle direkt auf der PPP-Verbindung aufsetzt. Router, die über ATM oder SDH miteinander verbunden sind, sehen nur eine Pipe mit einer bestimmten Bandbreite zwischen sich. Um einen ausreichenden Durchsatz anbieten zu können, muß eine effiziente Zwischenspeicherung erfolgen. PPP besitzt ebenfalls keinerlei Fehlertoleranz. Jedoch besitzt die darunterliegende SONET/SDH-Schicht einen redundanten Ring für gesichertes Switching, falls eine Verbindung ausfällt. Diese Möglichkeit kann natürlich auch über ATM genutzt werden, wenn ATM über SDH genutzt wird. Dies ist allerdings meistens der Fall. Direkte Zellenübertragung der ATM-Zellen findet noch gar nicht statt, würde aber den Overhead-Nachteil noch weiter reduzieren.

## 7 Fazit und Ausblick

Die Arbeitsgruppe ION der IETF arbeitet an einer Erweiterung von CLIP. Hauptziel ist es, eine ATMARP-Serverliste einzuführen, welche es gestattet, mehrere ATMARP-Server in einem LIS-Subnetz aufzubauen. Dafür wird das Serve Cache Synchronization Protocol (SCSP) momentan spezifiziert, wodurch ATMARP immer mehr hin zum Protokoll NHRP gedrängt wird. NHRP soll später als gemeinsames Resolution Protocol von allen Clients genutzt werden. Zusätzlich lassen sich durch SCSP redundante Strukturen realisieren.

LANE Version 2.0 wird ebenfalls weiter durch das ATM-Forum vorangetrieben. Die Schnittstellen zwischen Client und Server (LAN-Emulation User Network Interface – L-UNI) und der Schnittstelle zwischen den Servern (LAN-Emulation Network Network Interface – L-NNI) werden darin abschließend spezifiziert. Die L-UNI soll kompatibel zur bisherigen Version bleiben und weitere Funktionen enthalten:

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

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

MPOA und MPLS bieten langfristig gesehen die einzige Möglichkeit, bei Einsatz von IP QoS direkt auf andere Netze zu übertragen. Dabei nimmt die Idee des virtuellen Routers bei MPOA immer konkretere Strukturen an. Durch ihn wird es möglich, Router-Funktionen auf das Netz zu verteilen, um dadurch Router-Engpässe zu vermeiden. Zentrale Router-Server steuern dann verteilte Edge Devices (Randgeräte), die die Schnittstelle zu den traditionellen LAN-Netzen darstellen. Ein entgegengesetzter Ansatz beinhaltet den Einsatz von Multilayer-Switches. Dieser Ansatz verlegt die Routing-Funktionalität in einzelne Switches,

die in gemischter Ethernet/ATM-Umgebung das Routing (Schicht 3) und Ethernet-Switching (Schicht 2) übernehmen. Beachtet werden müssen auch Unterschiede zwischen ATM- (P-NNI) und IP-Routing. In diesem Bereich sind deshalb die Standardisierungsgremien bemüht, für große NBMA-Netze Lösungen zu entwickeln.

Das exponentielle Wachstum der Anzahl von Internet-Teilnehmern, zusammen mit dem Anstieg der Multimedia-Anwendungen haben auf jeden Fall zur Folge, daß die derzeitige Generation von Routern die explosionsartig ansteigenden Anforderungen an die Bandbreite nicht mehr erfüllen kann. Diese Router werden immer mehr zu Engpässen beim Prozeß der Ende-zu-Ende-Weiterleitung. Um diesen Routerengpaß zu beseitigen, gibt es verschiedene Lösungen. Eine Möglichkeit ist es sicherlich, neue Routerarchitekturen einzuführen, wodurch der Router mehr zu einer Vermittlungsanlage (Gigabit-Router) wird. Die andere Möglichkeit sind die Änderungen der externen Routerarchitekturen und die engere Integration von IP und ATM bzw. SDH (MPOA und MPLS), indem Verkehrsflüsse mit hoher Datenmenge und lang andauernde Verkehrsflüsse direkt auf der ATM-Ebene weitergeleitet werden (Shortcut-Routing). Problematisch bleibt hierbei die Frage, welche Shortcut-Routingmechanismen man auswählen sollte sowie wann ein Shortcut durch ein bestimmtes Ereignis ausgelöst werden kann. Ansonsten hat man wieder eine Vielzahl von Verbindungen, die sich gegenseitig unfair behandeln. Aufgrund der Komplexität der Standards werden ATM-Forum und IETF noch einige Zeit für die endgültigen Spezifikationen benötigen. Hier wird man noch einige Zeit auf Interoperabilität warten müssen.

Abschließend stellt sich nicht die Frage SDH oder ATM auf der Transportschicht einzusetzen. Viel wichtiger ist es, eine hohe Flexibilität bezüglich neuer Anwendungen zu besitzen, damit man Dienste schneller anbieten kann. Gleichzeitig sollte das Backbone Netz ohne großen Aufwand verwaltet werden können. Die Skalierbarkeit ist ebenfalls, neben dem Traffic Management, wichtig. SDH ist ausschließlich als Transportmedium entwickelt worden und bietet Punkt-zu-Punkt-Verbindungen mit hoher Geschwindigkeit an. Die Unterschiede beider Möglichkeiten sind also Geschwindigkeit versus Flexibilität. Da der Overhead auch nicht allzu große Vorteile bietet, spricht vieles für die ATM-Lösung.

Zusammenfassend lassen sich unterschiedliche Bereiche für beide Technologien ausmachen, in denen entweder IPoS oder IPoATM Verwendung finden:

- *ISP Backbones*: Hier werden hauptsächlich schnelle Verbindungen benötigt, ohne komplexe Anpassungs- oder Integrationsverfahren. Allerdings ist fehlendes Traffic Management und QoS ein Hindernis, um IPoS einzusetzen. ATM sollte hier eine bedeutendere Rolle spielen und wird auch bereits erfolgreich eingesetzt. MPLS kann über SONET/SDH diesen Erfolg gefährden.
- *Corporated Network (CN)*: CNs verbinden Intranets über große Entfernungen miteinander. Statische Verbindungen sind dafür ausschließlich notwendig, die eine möglichst hohe Nettodatenrate besitzen sollten. SONET/SDH eignet sich für diesen Anwendungsfall. Allerdings sind die Equipmentkosten gegenüber ATM noch sehr hoch. ATM besitzt hier wieder den Vorteil, daß die Bandbreite optimal aufgeteilt werden kann, um unterschiedlichen Protokollen (z.B. IPX/SPX, SNA, AppleTalk, DECnet) eigene virtuelle Verbindungen zuzuteilen.
- *Campus Backbone*: Dieser Bereich wird klar von ATM dominiert. Die Kosten sind inzwischen gesunken und mannigfaltige Schnittstellen (UTP, STP, MMF, SMF, TAXI) werden angeboten. Die Flexibilität ist neben den Kosten hier klar entscheidend, weshalb SONET/SDH keine Chance hat sich durchzusetzen.

- *Carrier Networks*: Carrier besitzen oftmals die SONET/SDH-Lösung, da sie einfacher zu handhaben ist. Einen größeren Verbreitungsgrad hat aber die Variante ATM-over-SDH gefunden, da hierüber dem Kunden flexibles Traffic Management und QoS angeboten werden kann.

ATM bleibt die bessere Lösung für den Kern eines Netzwerks. Dadurch kann man wesentlich flexibler auf Anforderungen reagieren. Zusätzlich wird eine hohes Maß an Skalierbarkeit und QoS garantiert. Dienste lassen sich schneller implementieren und bereitstellen. Allerdings fehlt oftmals das nötige Know-how. Hier hat SDH Vorteile gegenüber ATM, da es länger am Markt vorhanden ist. Kostenvorteile lassen sich aber, aufgrund des heutigen Verbreitungsgrades, bei ATM ausmachen. Entscheidend wird schließlich MPOA oder MPLS für den Erfolg von IPoATM oder IPoS sein. Beim Einsatz von MPOA ist ATM eine Voraussetzung. MPLS nimmt keinen direkten Bezug auf die Netztechnologie und kann dadurch SDH flexibler gestalten sowie Traffic Management einführen. Aus diesem Grund vertritt der Autor die Meinung, daß IPoS im ISP Backbone und bei Carrier Networks Einsatz finden wird, während IPoATM für das Campus Backbone und CNs ein klarer Favorit ist. MPOA ist besser für solche Netze geeignet, während MPLS in der Lage sein wird, sehr große Netze zu unterstützen. Letztendlich wird aber alles von den sinkenden Kosten in beiden Bereichen abhängen.

## 8 Abkürzungsverzeichnis

|         |   |
|---------|---|
| AAL     | Adaptation Layer  |
| ABR     | Available Bit Rate  |
| ACR     | Allowed Cell Rate   |
| ANSI    | American National Standards Institute                           |
| ARP     | Address Resolution Protocol                                     |
| ARPANET | Advanced Research Project Agency Network                        |
| ATM     | Asynchronous Transport Modus                                    |
| ATMARP  | Asynchronous Transport Modus Address Resolution Protocol        |
| AU      | Administrative Unit   |
| AUG     | Administrative Group  |
| B-ISDN  | Breitband-ISDN  |
| C       | Container   |
| CAC     | Call Admission Control  |
| CAR     | Committed Access Rate   |
| CBR     | Constant Bit Rate   |
| CCITT   | Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique  |
| CLP     | Cell Loss Priority  |
| CLIP    | Classical-IP  |
| CN      | Corporated Network  |
| CoS     | Class-of-Services   |
| CRC     | Cyclic Redundancy Check   |
| DARPA   | Defence Advanced Research Project Agency                        |
| DECnet  | Digital Equipment Corporations proprietary NETWORK architecture |
| D-MTU   | Default Maximum Transmission Unit                               |
| EPD     | Early Packet Discard  |
| ETSI    | European Telecommunications Standards Institute                 |
| FEC     | Forwarding Equivalent Classes                                   |
| HDLC    | High-level Data Link Control                                    |
| HEC     | Header Error Control  |
| IETF    | Internet Engineering Task Force                                 |
| IPoATM  | IP-over-ATM   |
| IPoS    | IP-over-SDH/SONET   |
| IP      | Internet Protocol   |
| IPv4    | Internet Protocol, Version 4                                    |
| IPv6    | Internet Protocol, Version 6                                    |
| IPCP    | Internet Protocol Control Protocol                              |
| IPX     | Internetworking Packet Exchange Protocol                        |
| ISDN    | Integrated Services Digital Network                             |
| ISP     | Internet Service Provider                                       |
| ITU-T   | International Telecommunication Union - Telecommunications      |
| LAN     | Local Area Network  |
| LANE    | LAN Emulation   |
| LCP     | Link Control Protocol   |
| LDP     | Label Distributed Protocol                                      |
| LEC     | LAN Emulation Client  |
| LIS     | Logical IP Subnet   |

|         |  |
|---------|--|
| LSP     | Label Switched Path                                  |
| LSR     | Label Switch Router                                  |
| L-NNI   | LAN-Emulation Network Network Interface              |
| L-UNI   | LAN-Emulation User Network Interface                 |
| MAC     | Media Access Control                                 |
| MAN     | Metropolitan Area Network                            |
| MAPOS   | Multiple Access Protocol over SONET/SDH              |
| MARS    | Multicast Address Resolution Server                  |
| MCR     | Minimum Cell Rate                                    |
| MMF     | Multi Mode Fibre                                     |
| MPLS    | Multiprotocol Label Switching                        |
| MPOA    | Multiprotocol-over-ATM                               |
| MTU     | Maximum Transmission Unit                            |
| NBMA    | Non Broadcast Medium Access                          |
| NCP     | Network Control Protocols                            |
| NHRP    | Next-Hop Resolution Protocol                         |
| NHS     | Next-Hop Server                                      |
| NNI     | Network Network Interface                            |
| Nrt-VBR | Non real-time Variable Bit Rate                      |
| OC-3c   | Optical Carrier 3c; 155,52 MBit/s                    |
| OSPF    | Open Shortest Path First                             |
| PCR     | Peak Cell Rate                                       |
| PDH     | Plesiochronen Digital Hierarchie                     |
| PDU     | Protocol Data Unit                                   |
| P-NNI   | Public Network Network Interface                     |
| POH     | Path Overhead  |
| PPD     | Partial Packet Discard                               |
| PPP     | Point-to-Point-Protocol                              |
| QoS     | Quality-of-Service                                   |
| RED     | Random Early Detection                               |
| RIP     | Routing Information Protocol                         |
| RSVP    | Ressource Reservation Protocol                       |
| Rt-VBR  | Real-time Variable Bit Rate                          |
| SCSP    | Serve Cache Synchronization Protocol                 |
| SDH     | Synchronous Digital Hierarchy                        |
| SMF     | Single Mode Fiber                                    |
| SNA     | Systems Network Architecture                         |
| SONET   | Synchronous Optical NETwork                          |
| SPX     | Sequenced Packet Exchange Protocol                   |
| STM-1   | Synchronous Transport Module, Ebene 1; 155,52 MBit/s |
| STP     | Shielded Twisted Pair                                |
| STS-1   | Synchronous Transport Signal, Ebene 1; 51,84 MBit/s  |
| SVC     | Switched Virtual Circuit                             |
| TAXI    | Transparent Asynchronous Xmitter/receiver Interface  |
| TCP     | Transport Control Protocol                           |
| TOS     | Type-of-Service                                      |
| TU      | Tributary Units                                      |
| TUG     | Tributary Unit Group                                 |
| UNI     | User Network Interface                               |

|      |                                 |
|------|---------------------------------|
| UPC  | User Parameter Control          |
| URB  | Unspecified Bit Rate            |
| UTP  | Unshielded Twisted Pair         |
| VBR  | Variable Bit Rate               |
| VC   | Virtuellen Container            |
| VCC  | Virtual Circuit Connection      |
| VC   | Virtuellen Container            |
| VCI  | Virtual Channel Identifier      |
| VLAN | Virtual Local Area Network      |
| VPI  | Virtual Path Identifier         |
| WAN  | Wide Area Network               |
| WRED | Weighted Random Early Detection |
| WWW  | World Wide Web                  |

## 9 Literaturverweise

1. Detken, Kai-Oliver: ATM in TCP/IP-Netzen: Grundlagen und Migration zu High Speed Networks; ISBN 3-7785-2611-1; Hüthig-Verlag; Heidelberg 1998
2. Detken, Kai-Oliver: MPOA - Handhabung heterogener Netzstrukturen; Congressband II - ATM-Evolution der Telekommunikation, neue Entwicklungen der Multimediavernetzung; ONLINE'98; 21. Europäische Kongreßmesse für Technische Kommunikation; ISBN 3-89077-179-3; Düsseldorf 1998
3. Detken, Kai-Oliver: Handbuch der Telekommunikation: Der Asynchrone Transfer Modus (ATM) in der Internet-Protokoll-Umgebung; Verlagsgruppe Deutscher Wirtschaftsdienst; ISBN 3-87156-096-0; Köln 1998
4. Detken, Kai-Oliver: ATM/Hochgeschwindigkeitsnetze in der Internetprotokollumgebung; Institute for International Research (I.I.R.), Strategische Aspekte von Hochgeschwindigkeitsnetzen – ATM und Gigabit-Ethernet im Vergleich; Düsseldorf 7.-9. Oktober 1997
5. Cisco's Packet over SONET/SH (POS); White Paper; Technology Support; Mission Accomplished; URL: [http://www.cisco.com/warp/public/733/12000/posdh\\_wp.htm](http://www.cisco.com/warp/public/733/12000/posdh_wp.htm); 1997
6. Pensler, Michael: Integration und Migration von LAN Strukturen in ATM; Diplomarbeit an der Universität Oldenburg; Fachbereich Informatik; Oldenburg 1998
7. Comparison of IP-over-SONET and IP-over-ATM Technologies; Trillium Digital Systems, Inc.; Web Version 1072006.11; URL: [http://www.trillium.com/whats-new/wp\\_ip.html](http://www.trillium.com/whats-new/wp_ip.html); November 26; Los Angeles 1997