

Next Generation Internet & IP Services:

Internet Service Providing: Webhosting, Qualitäts-Infrastrukturen, IP-Services & Billing

(Symposium III-1)

Traffic Engineering für neue Qualitäts-Infrastrukturen

Qualitätssicherung in IP-Netzen

Dipl.-Ing. Kai-Oliver Detken (<http://www.detken.net>) ist Senior Consultant und Geschäftsführer der DECOIT e.K. (<http://www.decoit.de>). Er gründete die Firma am 01.01.01, um herstellerneutral Lösungen und Produkte von Herstellern und Anbietern bewerten zu können. Hinzu kommt die Kompetenz der Softwareentwicklung, die für Entwicklungen und Anpassungen in Kundenprojekten erforderlich sind. Neben kommerziellen Projekten werden auch internationale Forschungsprojekte angegangen und umgesetzt. Zurzeit wird u.a. in dem Projekt Next Generation Networks (NGN) an neuen Konzeptionen für das mobile Internet der Zukunft gearbeitet. Detkens Hauptkompetenzen sind High-Speed-, Security-, Mobility- und Internet-Lösungen. Zusätzlich ist er für verschiedene Verlage aktiv, in denen er Artikel und Bücher veröffentlicht. Sein aktuellstes Buch „Echtzeitplattformen für das Internet“ setzt sich mit der hier angesprochenen Thematik eingehend auseinander und wird voraussichtlich Anfang 2002 erscheinen.

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG	3
2	IP-ANSÄTZE FÜR QOS	5
2.1	INTEGRATED SERVICES (INTSERV)	5
2.2	DIFFERENTIATED SERVICES (DIFFSERV)	7
3	MULTI-PROTOCOL LABEL SWITCHING (MPLS)	9
4	VERGLEICH DER LAYER-2-VERFAHREN	13
4.1	MPLS CONTRA ATM	14
4.1.1	<i>Anpassung/Integration von IP auf ATM</i>	14
4.1.2	<i>Nettobitrate</i>	14
4.1.3	<i>Performance</i>	15
4.1.4	<i>Traffic Engineering (TE)</i>	16
4.1.5	<i>Quality-of-Service (QoS)</i>	16
4.2	MPLS CONTRA POS	17
4.2.1	<i>IP-Integration</i>	17
4.2.2	<i>Nettobitrate</i>	18
4.2.3	<i>Performance</i>	18
4.2.4	<i>Traffic Engineering</i>	18
4.2.5	<i>Quality-of-Service (QoS)</i>	19
5	BEWERTUNG	19
5.1	ATM-ANSATZ	19
5.2	POS-ANSATZ	20
6	LITERATURVERWEIS	22

1 Einleitung

In den letzten Jahren hat sich die Telekommunikations- und Datenlandschaft rapide gewandelt. Dies wurde hauptsächlich durch das Internet hervorgerufen, dessen Protokollfamilie auch immer mehr Einzug in andere Netze hält. Dabei wandelt sich auch das Internet selbst immer mehr, da es neue Anforderungen wie Echtzeitfähigkeit, Dienstgütegarantie, Sicherheit und Skalierbarkeit bewältigen muss, für die es eigentlich nicht entwickelt wurde. Entstanden ist diese Entwicklung durch den Wunsch „Anything-over-IP“ oder „IP-over-Anything“ umzusetzen, wodurch auch Sprache und Video besser unterstützt werden sollen. Hinzu kommt der alte Wunsch nach Sprach-/Datenkonvergenz, damit nur noch ein Netz verwaltet werden muss, um Kosten einzusparen und flexibler auf Innovationen reagieren zu können.

Im Bereich heterogener Netzstrukturen im WAN¹ hat sich aufgrund der Plattformunabhängigkeit und der leicht zu implementierenden Software auf unterschiedlichen Rechnersystemen die TCP/IP-Protokollfamilie gegenüber anderen Protokollen durchsetzen können. Aufgrund der anwachsenden Datenraten im Weitverkehrsbereich unter Einbeziehung neuer Anwendungsmöglichkeiten, wie Computer Supported Co-operative Work (CSCW), ist die Effektivität von IP-Protokollen von entscheidender Bedeutung. Da TCP/IP-Protokolle eigentlich für geringe Datenraten im Internet entwickelt wurden, spielt deshalb die Anpassung und Integration von IP auf Hochgeschwindigkeitsnetzen wie ATM² oder Gigabit Ethernet (GE) für das LAN³ oder WAN eine wichtige Rolle.

ATM ist für das B-ISDN-Referenzmodell als Übertragungsprotokoll eingeführt worden. Dabei haben der große Erfolg und Verbreitungsgrad des Internet dazu geführt, das ATM als Transportmedium einzusetzen, welches neben hoher Bandbreite auch Skalierbarkeit, Dienstgüte und Erweiterbarkeit anbietet. Deshalb müssen die beide Protokolle IP und ATM reibungslos zusammenarbeiten. Zusätzlich sind die Anwender an der Integration der eigenen traditionellen Netzwerke interessiert, um bestehende und zukünftige Investitionen absichern zu können. Allerdings haben IP-Protokolle und ATM eine völlig unterschiedliche Funktionsweise. Die Standardisierungsgremien IETF⁴, ITU⁵ und ATM-Forum haben Standards spezifiziert, die IP auf ATM anpassen bzw. integrieren. Dabei ist das endgültige Ziel, die Vorteile von ATM unter Einbeziehung des IP-Protokoll nutzen zu können. Als wichtige Elemente sind in diesem Zusammenhang LAN Emulation (LANE), Multi-Protocol-over-ATM (MPOA) und Multi-Protocol-Label-Switching (MPLS) zu nennen. Ebenfalls wird über direkte IP-Verbindungen über SDH nachgedacht, um so den Overhead gering zu halten.

Aus Gründen der Ökonomie war die optimale Netznutzung für einen Netzbetreiber schon immer ein Ziel, dessen Realisierung eine Anforderung an die Netztechnologie darstellt. Aufgrund der Dienstvielfalt erhält diese Anforderung aber einen neuen Aspekt. Das Vermeiden von Überlastsituationen an einzelnen Netzwerkkomponenten ist auch für die Übertragung von zeitkritischen Daten vorteilhaft, da sich die Netzperformance verbessert. Traffic Engineering beschreibt die Fähigkeit, durch entsprechende Maßnahmen den Verkehr so zu

¹ Wide Area Network

² Asynchronous Transfer Mode

³ Local Area Network

⁴ Internet Engineering Task Force

⁵ International Telecommunication Union

lenken, dass das Netz optimal ausgenutzt wird. Es soll vermieden werden, dass freie Ressourcen ungenutzt bleiben und gleichzeitig andere Bereiche überlastet sind. Erste Ansätze, um Traffic Engineering in IP-Netze zu implementieren, wurden über das Load Sharing realisiert, das von Routing-Protokollen wie Open Shortest Path First (OSPF) und Intermediate System to Intermediate System Protocol (IS-IS) unterstützt wird. Dieser Mechanismus findet dann Anwendung, wenn mehrere Pfade zwischen Quelle und Senke existieren, welche die gleichen Kosten aufweisen. Kosten definieren die Verbindung zwischen zwei Netzelementen anhand von Parametern und erlauben den Routing-Protokollen so, eine Entscheidung über den Verbindungsweg zu treffen.

Werden beim Load Sharing mehrere Pfade gefunden, die mit gleichen Kosten verbunden sind, wird der Datenstrom gleichmäßig auf die Pfade aufgeteilt. Dieser Mechanismus eignet sich, um Traffic Engineering in kleinen Netzen zu betreiben. In großen Netzwerkumgebungen wird es aber kaum möglich sein, mehrere Pfade mit gleichen Kosten zu finden. Eine weitere Möglichkeit den Verkehr zu steuern bietet das Explicit Routing⁶ (ER). Dabei werden Informationen der Netzbelastung verwendet, um einen alternativen Pfad zu bestimmen, der über mehr Ressourcen verfügt. Einige Datenpakete werden zur Entlastung eines überlasteten Bereichs über diesen Pfad umgeleitet. Zu diesem Zweck wird den Headern dieser Pakete eine ER-Information angefügt. Alle Netzelemente entlang der Explicit Route werten diese ER-Information aus und leiten das Paket entsprechend weiter. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass zusätzliche Informationen im Header transportiert werden müssen, was die Nutzdatenrate herabsetzt.

Prinzipiell wäre es möglich, durch genügend Bandbreite im Netz eine ausreichende Qualität bereitzustellen, und das Best-effort-Prinzip auch weiterhin beizubehalten. Dieser Ansatz, der besonders von der Fraktion IP-over-Wave-Division-Multiplexing favorisiert wird, ist aber anzuzweifeln, da ausreichend Bandbreite nie vorhanden sein wird. Jede Erweiterung des Netzes wird auch unweigerlich neue Dienste und Anwendungen hervorbringen, die diese neuen Ressourcen wieder aufbrauchen. Um das zu Erkennen, muss man sich nur die Entwicklung in der Rechnertechnologie ansehen, deren Leistungsfähigkeit sich fortlaufenden Verdoppelt; ohne allerdings wesentlich mehr Spielraum für die vorhandenen Applikationen zu schaffen. [4]

Zusammenfassend soll ein Netz geschaffen werden, welches die Qualität von Echtzeit- und Datenanwendungen garantieren kann. Um dies umzusetzen, gibt es unterschiedliche Verfahren sowie die Möglichkeit Traffic Engineering im Kernnetz einzuführen. Das Hauptverfahren heißt heute Multi-Protocol Label Switching (MPLS), welches sich aktuell in der Standardisierungsphase befindet. Zu diesem Zweck werden die vornehmlich bestehenden WAN-Protokolle ATM und Packet-over-SONET (POS) vorgestellt und mit MPLS anhand verschiedener Parameter verglichen. Es findet somit eine Bewertung statt, die für den Einsatz von Quality-of-Service (QoS) im Netzwerk entscheidend ist, da MPLS auf ATM als auch POS basieren kann.

⁶ wird auch als Source Routing bezeichnet

2 IP-Ansätze für QoS

Wenn das Internet nicht als einzelnes Netz, sondern aus einem Verbund gleichberechtigter Netze betrachtet wird, müssen nicht nur technische Vorkehrungen beim Übergang in andere Teilnetze getroffen werden, sondern auch gegenseitige Abkommen bezüglich der Einhaltung der Dienstgüte im eigenen Netz. Hinzu kommt, dass die Tarifierung der angebotenen QoS-Dienste und die Authentifizierung übergreifend sichergestellt werden muss. Eine Authentifizierung muss im allgemeinen sowohl am Netzeingang als auch an den Netzübergängen stattfinden. Dies ist aber auch im Internet ein offenes Thema.

Als wichtige Vermittlungseinheiten im Internet agieren Router. Verkehrsströme einzelner Rechner (Hosts) kommen am Eingang des Routers in eine Warteschlange. Der Router analysiert den Paketkopf und entscheidet anhand dessen, auf welchen Ausgang das Paket weitergereicht wird. In der Regel werden am Eingangspunkt des Netzes mehrere kleinere Datenströme zu einem großen zusammengefasst. Da die einzelnen Hosts im allgemeinen unabhängig voneinander das Netz benutzen, wird auch die Auslastung der Ressourcen statistisch verteilt. Diesen Zugriffsmechanismus nennt man statistisches Multiplexen. Folgende Parameter sind dabei wichtig, die welche die Verkehrscharakteristik beeinflussen können:

- Die (momentane) Menge der ankommenden Datenpakete
- Verarbeitungsgeschwindigkeit des Routers
- Die verfügbare Bandbreite zwischen den Routern im Backbone

Weiterhin ist anzumerken, dass IP ein Protokoll der Vermittlungsschicht (Schicht 3) ist und nicht den Zugriff auf ein physikalisches Medium beschreibt. Dies ermöglicht zwar, dass das Internet Protocol (IP) unabhängig von der Übertragungstechnologie arbeiten kann, Mechanismen zwischen den Layer-2-Protokollen und IP müssen aber vorhanden sein, um beispielsweise QoS, Priorisierung oder Ressourcenreservierung ausnutzen zu können. Dafür sind aber nicht alle Layer-2-Protokolle geeignet.

Momentan werden zwei Ansätze diskutiert um sogenannte Class-of-Service (CoS) bzw. IP-QoS einzuführen: Integrated Services (IntServ) und Differentiated Services (DiffServ). Beide Ansätze können aber ebenfalls keine Garantien vergeben und gehen als Grundlage von ausreichend Bandbreite (Überkapazitäten) aus. [1]

2.1 Integrated Services (IntServ)

Um Dienstklassen in das Internet einzuführen, wurde die Arbeitsgruppe Integrated Services (IntServ) von der IETF ins Leben gerufen. Ziel war es, besonders Echtzeitapplikationen effizienter und mit der maximal möglichen Performance zu unterstützen. Der reine Best-effort sollte durch ein komplexes Modell abgelöst werden, um die Anforderungen neuer Applikationen erfüllen zu können. Um dies zu ermöglichen, sollten Prioritätsklassen eingeführt werden, die den unterschiedlichen Anforderungen zugeordnet wurden. Folgende Annahmen hat man dabei für das IntServ-Modell getroffen:

- Ressourcen müssen explizit verwaltet werden, um die Anforderungen der Anwendungen erfüllen zu können.
- Die Dienstgarantien für Echtzeitapplikationen können nicht ohne Reservierung von Ressourcen erfolgen.

- Die End-to-end-Verzögerungszeiten müssen begrenzt werden, um die dynamische Anpassung an sich ändernde Netzbedingungen gewährleisten zu können.
- Statistisches Aufteilen zwischen Echtzeit- und Datenapplikationen ist vorteilhaft, wenn man über eine gemeinsame Infrastruktur beide Anwendungen nutzen will.

Die Dienstgüte wird sich für die Anwendungen unterscheiden. Dabei steht die Verzögerung einzelner Pakete im Vordergrund, die durch die maximale und minimale Verzögerung begrenzt wird. Echtzeitanwendungen benötigen dabei eine garantierte Verzögerung, während andere Anwendungen weniger anfällig sind. Dabei unterteilt die Integrated Service Group diese Anwendungen in Hard Real-time, Delay Adaptive und Elastic Applications. Die erste Gruppe ist sehr empfindlich gegenüber Störungen, während die zweite Gruppe leichte Verzögerungen toleriert. Die dritte Gruppe sind reine Datenanwendungen, die große Zeitverzögerungen zulassen und das Zwischenspeichern von Daten zulassen.

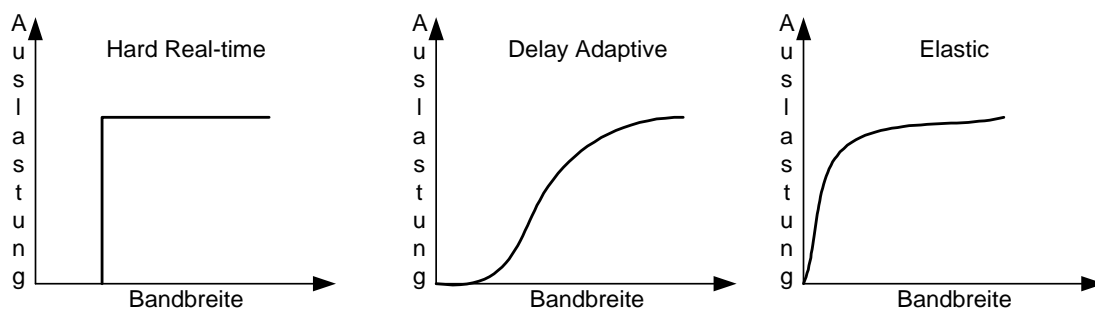


Abbildung 1: Unterschiedliche Eigenschaften der Anwendungen

Der Guaranteed Service nach RFC-2212 berücksichtigt alle Serviceparameter und Kombinationen aus ihnen. Das heißt, hier wird nicht nur der Durchsatz als Maß der Dienstgüte herangezogen, sondern ebenfalls die Verzögerungszeiten. Es fehlen dennoch notwendige Parameter wie Jitter und Latenzzeiten. Ein Datenfluss wird durch die Beschreibung eines Token Bucket definiert. Durch diese Verkehrsbeschreibung ist das Netzwerk in der Lage, verschiedene Parameter zu berechnen, die beschreiben, wie der Datenfluss gehandhabt wird. Dadurch wird die maximale Verzögerung ermittelt, die sich durch eine feste sowie eine Pufferverzögerungszeit definiert. Die feste Verzögerung beinhaltet die Auswahl des Weges durch das Netz, bestehende Übertragungsverzögerungen usw. Bislang ist der Guaranteed Service allerdings nicht für das Internet umgesetzt worden.

Die dedizierte Zuweisung von Bandbreite ermöglicht der Controlled Load Service nach RFC-2211. Dadurch wird die Kontrolle der von den Applikationen angeforderten Übertragungsraten ermöglicht. Alle anderen QoS-Parameter bleiben jedoch unberücksichtigt. Das heißt, Netzparameter können nicht mit einbezogen werden. Die Implementierung der Controlled Load QoS ist auch oberhalb der Sicherungsschicht möglich, da die maximale Transferrate eines Übertragungsmediums eine unveränderliche Größe darstellt. Das heißt, falls man die Controlled Load QoS in das Internet einführen würde, was beispielsweise über das Protokoll RSVP möglich ist, könnten die unteren Schichten ohne Änderungen übernommen werden. Man müsste somit keine Hardware austauschen, da alleine der Durchsatz berücksichtigt wird.

Die aktuelle Spezifikation definiert nicht detailliert, wie Datenbursts im einzelnen gehandhabt werden sollen. Die Einbeziehung eines Admission-Control-Algorithmus ist allerdings eine gute Möglichkeit den Gesamtverkehr zu ermitteln und dadurch spezielle Informationen über den Datenfluss zu erhalten. Nachteilig ist, dass dieser Algorithmus schwer zu

entwickeln und auf das Netz anzupassen ist. Außerdem müsste die Infrastruktur des Internets geändert werden. Um die Ressourcen zwischen den unterschiedlichen Routern im Internet halbwegs garantieren zu können, ist das Resource Reservation Protocol (RSVP) entwickelt worden. Da im Internet unterschiedliche Verbindungsschichten (z.B. ATM, PPP, IEEE.802-Technologien) zum Einsatz kommen, ist RSVP unabhängig von diesem Layer entworfen worden. Eine andere Möglichkeit wäre es, andere Netze wie ATM, die bereits einen QoS anbieten können, direkt mit einzubeziehen. [1]

2.2 Differentiated Services (DiffServ)

Neben dem Ansatz der Integrated Services sind die Differentiated Services (DiffServ) der IETF entstanden, um die Probleme der IntServ zu lösen. Hier wird u.a. daran gearbeitet, die Spezifikation der IEEE 802.1p auf die IP-Pakete (IPv4 und IPv6) umzusetzen. Erste RFCs (RFC-2474, RFC-2475 und RFC-2598) für die Differentiated Services liegen bereits vor. Man möchte hier die bereits gewonnenen Erkenntnisse und Erfahrungen aus ATM einzusetzen, um IP-Traffic-Management-Funktionalität und Dienstgüte zu implementieren. Im ersten Schritt wird dies durch eine neue Interpretation der TOS-Bits im IP-Header umgesetzt.

Das Konzept von DiffServ ist dabei, dass die Dienste in einige wenige QoS-Klassen unterteilt werden. Für jede so entstandene Dienstklasse wird ein Satz von Behandlungsregeln (Per-Hop Behaviour – PHB) definiert. Datenpakete, die in das Netz eintreten, werden im DS-Feld des Paketkopfes entsprechend ihrer Dienstklasse markiert und unter Berücksichtigung der dafür definierten PHB weiterverarbeitet. Mehrere unterschiedliche Verkehrsströme mit ähnlichen QoS-Anforderungen werden somit zu einem größeren Verkehrsbündel zusammengefasst (Aggregation), das im Netz auf gleiche Weise behandelt wird. Man spart sich somit die vielen Zustände und deren Verwaltung im Netz. Stattdessen wird die Vorverarbeitung des Verkehrs bzw. die Markierung der QoS-Klasse, das Policy-Control und Traffic-Shaping nur einmal, nämlich am Eingang in das DiffServ-Netzes vorgenommen. Der Ansatz DiffServ bringt somit eine völlig neue Sicht auf die QoS-Architektur und das Zusammenspiel einzelner Bereiche mit sich.

Als DS-Feld bezeichnet man in DiffServ das TOS-Feld des IPv4-Headers bzw. das Traffic Class Oktett des IPv6-Headers, wie Abbildung 2 zeigt. Dabei wird vorausgesetzt, dass dieses Feld nach den DiffServ-Regeln gesetzt wird. Die ersten 6 Bit des Bytes, die zur Differenzierung unterschiedlicher Fluss-Aggregate eingesetzt werden, werden als DS-Codepoint bzw. abgekürzt DSCP bezeichnet. Die letzten zwei Bit bleiben zur Zeit unbenutzt. Anhand des DS-Codepoints, den ein Paket besitzt, entscheidet ein DS-Knoten, welche PHB darauf angewandt wird. Jedem DS-Codepoint entspricht genau ein PHB. Es können außerdem mehrere DSCP auf ein PHB abgebildet werden. Somit führt die Abbildung DSCP zu PHB auf eine Tabellenauswertung, bei der die DSCPs den Tabellenindex bilden. PHB kann dabei folgende Merkmale beinhalten:

- Drop Threshold
- Pufferzuordnung
- Service Priorität
- Service Rate

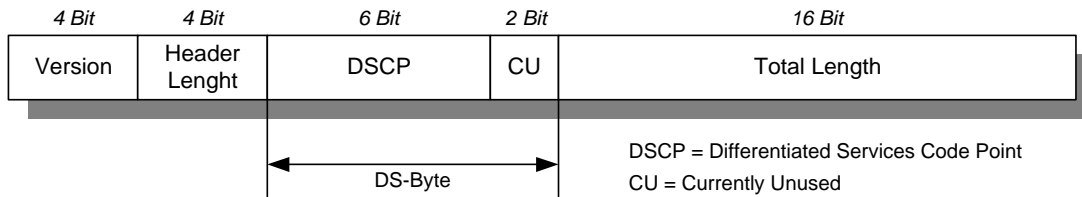


Abbildung 2: Differentiated Service Byte Field

Neben der einstellbaren Priorität sollen dann auch Durchsatz, Verzögerung, Jitter und Paketverluste mit einbezogen werden. Zusätzlich müssen die Netzknoten bestimmte Funktionalitäten wie Paketklassifizierung, Forwarding und Verkehrszustände (Metering, Marking, Shaping, Policing) abdecken. DiffServ soll die Probleme bezüglich der Skalierbarkeit von den Ansätzen der Integrated Services kompensieren. Dies soll durch die Einführung einer komplexen Klassifizierung und Zustandsfunktionen an den Randknoten sowie durch PHB zum Zusammenfassen des Verkehrs bei IPv4 und IPv6 über das DS-Feld erfolgen. PHB wurden spezifiziert, um eine feine Unterteilung der zugewiesenen Puffer- und Bandbreiten-Ressourcen an jedem Netzknoten vornehmen zu können. Die Bereitstellung des Dienstes und die Verkehrszustände sind dabei völlig unabhängig von den Forwarding-Funktionen. Eine Unterteilung ist gewährleistet durch:

- Zusammenfassen des Verkehrs durch den Service
- Gesetzte Funktionen und PHB für die Umsetzung der Services
- Wert des DS-Feldes (DSCP) für die Markierung der IP-Pakete, um PHB zu selektieren
- Eigener Knotenmechanismus, welcher das PHB realisiert

Dabei steht im Mittelpunkt aller Betrachtungen eine administrative Einheit, die oft als DiffServ Cloud bzw. DS-Domäne genannt wird. Die administrativen Vereinbarungen und Abkommen müssen bei DiffServ eine übergeordnete Rolle spielen. Man versucht mit der Entwicklung dieses Modells nicht eine einheitliche Behandlung des DiffServ-Verkehrs weltweit im Internet zu erzielen, sondern bildet vielmehr mehrere solcher DiffServ-Wolken, innerhalb deren feste Verarbeitungsregeln definiert sind. Darüber hinaus wird die Behandlung der Daten beim Eintritt bzw. beim Verlassen solcher Bereiche in bestimmten Service Level Agreements (SLAs) festgehalten und entsprechend auf die Datenströme angewendet. Diese Sichtweise liegt zwar der gegenwärtigen Internetverwaltung näher, ist im QoS-Bereich aber völlig neu. Alle Betrachtungen beziehen sich dabei wie auch bei den Integrated Services auf einen Simplex-Datenstrom.

Das Architekturmodell von DiffServ funktioniert so, dass ein Paket, welches ein DiffServ-Netz erreicht, einen Classifier passiert, in dem es einem bestimmten Aggregat zugeordnet wird. Vom Classifier wird es an den Traffic Conditioner weitergereicht. Spätestens am Ausgang des Conditioners wird das Datenpaket mit einem DS-Codepoint versehen, mit dem es durch die DS-Domäne weitergeleitet wird. Jeder DS-Knoten prüft bei dessen Empfang den DSCP und leitet das Paket gemäß dem zugehörigen PHB und der Routing-Tabelle weiter. Die Zuordnung DSCP zu PHB wird anhand der global definierten Mapping-Tabelle oder anhand der in der DS-Domäne geltenden lokalen Mapping-Regeln durchgeführt. [2]

3 Multi-Protocol Label Switching (MPLS)

Die Aufgabe, die Anzahl der nötigen Router-Hops auf einer Übertragungsstrecke so gering wie möglich zu halten, ist heute noch nicht optimal gelöst. So wird beispielsweise in IP-Legacy-Netzen jedes einzelne Paket von einem Router zum nächsten weitergereicht. Diese müssen dazu die Header der Datenpakete analysieren und anhand der darin abgelegten Informationen eine Wegewahl treffen (Hop-by-Hop-Routing). Das Verfahren ist relativ aufwändig und erhöht insbesondere in IP-over-ATM-Netzwerken die Verzögerungszeiten. Zusätzlich müssen die IP-Pakete aus den ATM-Zellen erzeugt und nach der Analyse wieder in solche eingekapselt werden.

Multi-Protocol Label Switching (MPLS) ist ein anderer Ansatz, um eine Integration zwischen ATM-Switches und IP-Routern zu verwirklichen. Es gibt viele Vorschläge vorhanden, die hier bereits behandelt wurden und alle sehr unterschiedlich ausfallen. Die Arbeitsgruppe MPLS von der IETF hat die unterschiedlichen Ansätze gebündelt und zu einem Standard verarbeitet. Bevorzugt wurden dabei die Verfahren Tag-Switching von Cisco und ARIS von IBM. Dabei arbeitet MPLS unabhängig von der zugrunde liegenden Netzstruktur. Das heißt, es könnte durchaus auch Gigabit-Ethernet eingesetzt werden.

Die Subworking Group, die von der IETF eingesetzt wurde, um MPLS zu standardisieren, hat sich zum Ziel gesetzt die Integration von Routing (Schicht 3) und Switching (Schicht 2) voranzutreiben. MPLS beinhaltet dabei hauptsächlich das IP-Protokoll, kann jedoch auch für andere Schicht-3-Protokolle verwendet werden. MPLS lässt diesen Teil in der Spezifikation offen, muss aber in der Lage sein, Schicht-3-Pakete weiterzuleiten.

MPLS funktioniert nach dem Prinzip des Label Swapping und verhält sich demnach sehr ähnlich zu Tag-Switching und ARIS. Allerdings spezifiziert MPLS deutlich mehr, als in beiden Verfahren beschrieben ist. Das heißt, MPLS skaliert von kleinen Netzwerken und hoher Vergabezahl der Label bis hin zu großen Netzwerken, in denen die Labels für große Routing-Gebiete vergeben werden. MPLS macht sich den Umstand zunutze, dass Layer-3-Protokolle Informationen besitzen, die nicht für die Bestimmung des nächsten Routers bzw. Hops nötig sind. Für die einfache Weiterleitung von Paketen reichen wesentlich weniger Informationen aus.

Die Vergabe eines Labels wird bei MPLS immer durch eine Netzkomponente durchgeführt. Nachdem dies geschehen ist, wird der ihr vorgelagerte Nachbar über diese Entscheidung informiert. Gleichzeitig wird mitgeteilt, welches Label für den Datenstrom vergeben wurde. Dabei besitzt MPLS eine hohe Skalierbarkeit, da Label für ganze Routing-Gebiete sowie einzelne Datenströme vergeben werden können. Dabei wird den topologieorientierten Verfahren der Vorzug gegeben. Switching-Pfade durch das Netz werden durch ein Protokoll festgelegt, welches die Verteilung der Label im Gesamtnetzwerk steuert. Zusätzlich können aber auch einzelne Switching-Pfade zusammengefasst werden. Dadurch entsteht ein vom Ausgang-LSR aus gesehener Switching-Baum, der wiederum sehr viel Ähnlichkeit mit dem IP Navigator besitzt.

Abbildung 3 zeigt die MPLS-Architektur, die verdeutlicht, dass es sich bei MPLS um einen Routing-Ansatz handelt. Um die Performance des Routings zu verbessern, wird die Forwarding-Funktion in den einzelnen Knoten des Connectivity-Netzes entscheidend vereinfacht. Hierbei wird dem sonst rein verbindungslos arbeitenden IP-Netz ein verbindungsorientierter Mechanismus – der Label Switch Path – im Connectivity-Netz hinzugefügt. Das IP-Paket bekommt somit ein zusätzliches Label und Datenflüsse können einem bestimmten Stream Label zugeordnet werden.

Die zentrale Komponente in MPLS-Netzwerken ist der so genannte Label Switching Router (LSR). Er teilt die zu transportierenden IP-Pakete in so genannte Forwarding Equivalence Classes (FECs) ein, wobei er sich an den Layer-3-Zieladressen oder anderen, noch nicht näher spezifizierten Merkmalen orientiert. Anschließend übermittle er die FECs an den nächsten LSR.

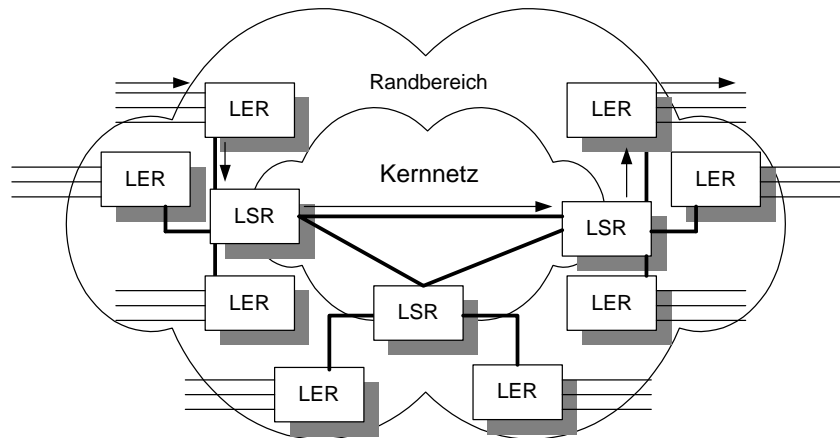


Abbildung 3: MPLS-Architektur

MPLS sieht für jede FEC ein lokal eindeutiges Label fester Länge vor. Seine Funktion ähnelt den Virtual Path Identifiers (VPIs) und Virtual Channel Identifiers (VCIs) bei ATM oder dem Tag beim Tag Switching von Cisco. Anhand des Labels leiten nachgeschaltete Router die ankommenden Datenpakete weiter – ein Prozess, der auch als Label Switching bezeichnet wird. Die LSRs müssen dabei weder Layer-3-Adressfelder auswerten noch Routing-Tabellen durchforsten.

Der Netzwerkabschnitt, auf dem ein Datenpaket via Label Switching von LSR zu LSR weitergereicht wird, heißt Label Switching Path (LSP). Verlässt ein Datenpaket den LSP, muss das betreffende Label vom so genannten Egress LSR entfernt werden. Die Vergabe eines Labels für eine FEC liegt bei dem aus Sicht des Datenstroms Downstream (d) gelegenen LSR (Abbildung 4, oben: Solicited Downstream). Wahlweise kann auch ein Upstream (u) lokalisierter LSR ein Label anfordern (Abbildung 4, unten: Downstream on Demand). Im Detail geschieht dies folgendermaßen:

- **Unsolicited Downstream:** LSR (d) erkennt eine FEC und weist LSR (u) an, allen dazugehörigen Datenpaketen das Label L anzuheften. LSR (d) trifft nun anhand von L sämtliche Wegewahlentscheidungen, die den FEC A betreffen. In diesem Szenario muss bereits ein Datentransfer zwischen LSR (d) und LSR (u) bestehen.
- **Downstream on Demand:** LSR (u) will Daten über LSR (d) verschicken. Er weist diesen Daten die FEC A zu und fordert LSR (d) auf, ihm dafür ein Label mitzuteilen (Label Request). Das tut LSR (d) und übermittle LSR (u) das Label L. LSR (u) markiert daraufhin alle der FEC A entsprechenden Pakete mit L. Der Verbindungsaufbau entspricht dem in ATM-Netzwerken und wird daher auch dort empfohlen.

Layer Distribution Peers

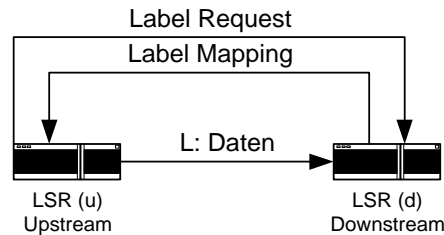
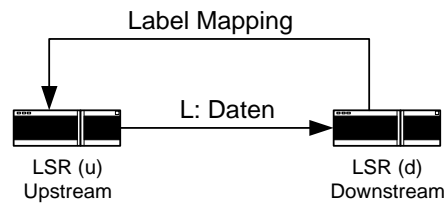


Abbildung 4: Label-Zuweisung bei MPLS

MPLS schreibt bei der Vergabe von Labels kein Protokoll vor; außer dem speziell entwickelten Label Distribution Protocol (LDP) kommen auch andere in Frage, beispielsweise das Border Gateway Protocol (BGP) oder Resource Reservation Protocol (RSVP).

Auf einem LIFO-Stapel, (LIFO = Last In, First Out), dem so genannten Label Stack (Abbildung 5), können die Labels abgelegt werden. Er wird als zusätzlicher Header zwischen den Layer-2- und den Layer-3-Header gestellt. Um MPLS-Pakete in Ethernet-Netzwerken identifizieren zu können, wurde ein neuer Ethertype definiert: 0x8847 für Unicast- und 0x8848 für Multicast-MPLS-Pakete. Alternativ kann das oberste Element des Label-Stacks direkt in die entsprechende Layer-2- beziehungsweise Layer-3-PDU (PDU = Protocol Data Unit) codiert werden – besonders bequem, wenn nur ein Label pro PDU zugelassen ist und auf den Stack verzichtet wird.

0	20	23	24	31
Label		Exp	S	TTL
Label	

Exp = Experimental Use
 S = Bottom of Stack (=1 im letzten Eintrag)
 TTL = Time-to-Live

Abbildung 5: MPLS-Stack

In ATM-Netzen ist ein zusätzliches LDP für die Label-Reservierung nicht notwendig. Der Label-Wert wird hier direkt in den VPI und VCI oder auch nur in den VCI geschrieben. Ein IP-over-ATM-Netz, das konsequent MPLS verwendet, benötigt weder eine explizite ATM-Adressierung der Endsysteme noch ATM-Routing. Für den Verbindungsaufbau sind also keine Adressauflösungsmechanismen wie bei CLIP oder LANE mehr nötig. Die LSRs müssen lediglich IP-Routing-Algorithmen ausführen, wie etwa Open Shortest Path First (OSPF),

und anhand des Resultats eine Wegewahl treffen. Abbildung 6 zeigt einen möglichen Ablauf.

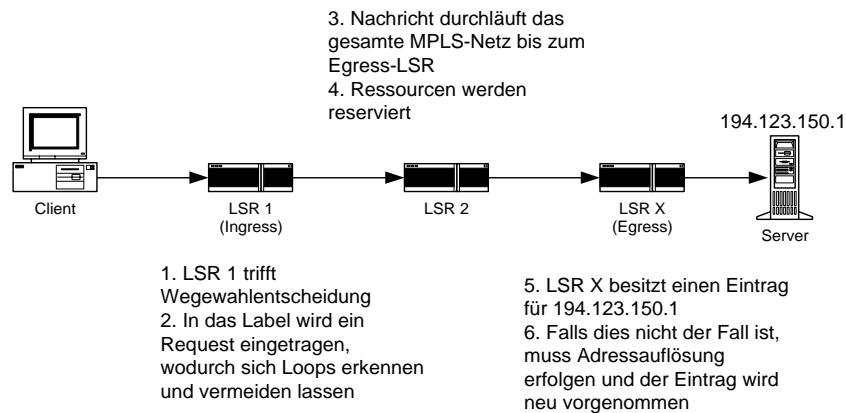


Abbildung 6: Ein Label Switching Path wird etabliert

MPLS ermöglicht Source-Routing als Alternative zum Hop-by-Hop-Routing. Dabei durchlaufen die LDP-Nachrichten das Netzwerk auf dem vorgegebenen Pfad und nehmen in den betroffenen LSRs die Reservierungen (Label-Zuweisungen) vor. Vorteil bei diesem Verfahren ist, dass die beteiligten LSRs keine Informationen über das verwendete Layer-3-Protokoll benötigen. Sie müssen also weder IP-Routing beherrschen noch eine IP-Wegewahl treffen.

Die LDP-Pakete werden mittels LLC-SNAP-Einkapselung über AAL-5 entsprechend dem Standard RFC-1483 übertragen. Um die LDP-Nachrichten im Netz verteilen zu können, ist in jedem Fall mindestens eine Nicht-MPLS-Verbindung nötig. Wenn VPI und VCI von MPLS als Label verwendet werden, hat die Nicht-MPLS-Verbindung den VCI/VPI-Wert 0/32. Wird nur VCI als Label verwendet, so wird pro VPI der VCI-Wert 32 für den LDP-Verkehr reserviert.

Befinden sich zwischen zwei Peer-LSRs ein oder mehrere nicht-MPLS-fähige ATM-Switches, so kann das Label nicht zur Identifikation der Verbindung in den LDP-Nachrichten dienen, denn die VPIs und VCIs werden von den nicht-MPLS-fähigen ATM-Switches verändert. Daher erhält eine solche Verbindung einen eindeutigen Virtual Connection Identifier (VCI). Er wird von der Upstream gelegenen LSR bestimmt und an den Downstream gelegenen LSR übermittelt: entweder durch eine eigene VCID-Nachricht oder implizit während des Verbindungsaufbaus.

Ein Schwachpunkt, welcher in realen ATM-Umgebungen zu Tage tritt, ist die begrenzte Anzahl gleichzeitig nutzbarer VPIs und VCIs. MPLS bietet als Ausweg das so genannte Label Merging. Eine an ATM-Netzwerke angepasste Variante ist VC-Merge. Angenommen, ein LSR (d) vermittelt bereits eine FEC A und hat dieser das Label L1 zugewiesen (Abbildung 7). Erkennt er nun etwa anhand der identischen Zieladresse eine zweite FEC A oder wird er von einem LSR (u2) aufgefordert, dieser zweiten FEC A ein weiteres Label zuzuordnen, so hat er die Möglichkeit, die beiden Datenströme unter einem einzigen Label L1 zu vereinen (Merge). Mit anderen Worten: Er fordert von LSR (dd) kein neues Label für diesen Datenstrom an, sondern verwendet für beide dasselbe Label L1. Unabhängig davon, ob LSR (d) den Merge durchführt oder nicht, muss er an LSR (u2) ein neues Label vergeben, weil dieser VC-Merge unter Umständen nicht unterstützt.

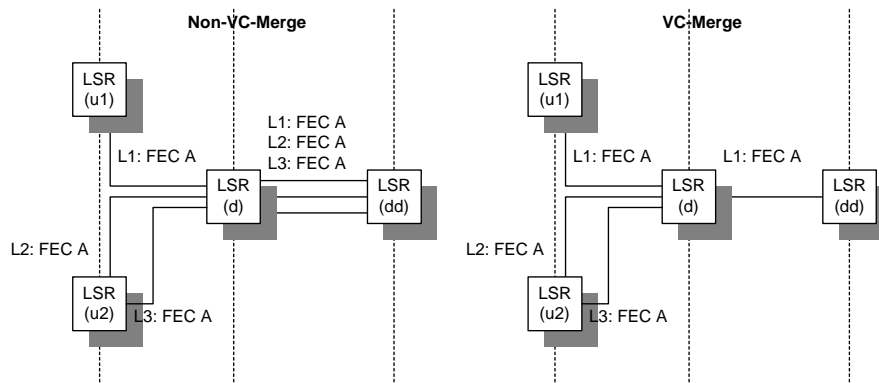


Abbildung 7: VC-Merger von identischen VPI/VCI-Labels

Das größte Problem bei der Implementierung von VC-Merger ist die Einhaltung der zugesicherten Reihenfolge der ATM-Pakete. Zellen aus verschiedenen Datenströmen dürfen lediglich an den SAR-PDU-Grenzen (SAR = Segmentation and Reassembly Sublayer) vermischt werden. Ein VC-Merger-fähiger Switch muss also die Grenzen der SAR-PDUs erkennen. MPLS zieht keine Hardware-Modifikationen der Endsysteme nach sich, vielmehr genügt ein Software-Update der Komponenten, um das Netzwerk MPLS-fähig zu machen. Der Standard wird dabei unabhängig von der Verbindungstechnik eingesetzt werden können. Gerade im WAN-Bereich dürfte das in Zukunft ein nicht zu unterschätzender Vorteil sein.

4 Vergleich der Layer-2-Verfahren

Mit MPLS ist der Ansatz gemacht worden, die vorhandenen Label-Switching-Verfahren miteinander zu kombinieren. MPLS ist für Weitverkehrsnetze geeignet und kann sich über Router mit MPOA ergänzen. Dadurch, dass einem IP-Paket am Netzrand ein Label zugeordnet wird, können spezifizierte CoS-/QoS-Parameter vergeben werden. Eine garantierte Dienstgüte ist somit möglich. Allerdings leidet MPLS darunter, dass man die reservierten Ressourcen, die für die Wege genutzt werden, nur selten alle nutzen kann. Hinzu kommt, dass MPLS seit bereits drei Jahren sehr kontrovers diskutiert wird:

- **Traffic Engineering (TE):** Die Grundidee bei MPLS basiert auf festlegbaren Routen, die durch das Internet hindurch geschaltet werden, um Verzögerungen reduzieren oder gar garantieren zu können. Dabei wird MPLS heute als eigenständige Protokollschicht definiert, die unabhängig von Layer-2-Protokollen, Aufgaben übernimmt, die ursprünglich ATM vorbehalten waren. Zur Qualitätsgarantie wird daher der Ansatz IntServ oder DiffServ innerhalb von IP-Netzen eingesetzt.
- **Virtual Private Network (VPN):** Der Aufbau eines VPN kann ebenfalls sehr effizient mittels MPLS durchgeführt werden. Mit MPLS lassen sich Tunnels zwischen den Edge-Routern der ISP schalten, die verschiedene Standorte eines VPN verbinden. Hierdurch wird eine höhere Sicherheit sowie Qualität durch festverschaltete virtuelle Verbindungen erreicht.

Da der Hauptanwendungsbereich des MPLS in den WAN-Netzen liegt, werden für die Gegenüberstellung ATM und POS herangezogen. Es wird hierbei geprüft, in welcher Form die

einzelnen Protokolle in der Lage sind, die Anforderungen, die an die WAN-Technologie gestellt werden, zu realisieren.

4.1 MPLS contra ATM

4.1.1 Anpassung/Integration von IP auf ATM

ATM wurde ursprünglich nicht im Hinblick auf den IP-Transport entwickelt. Bei ATM und IP handelt es sich sogar um zwei grundsätzlich verschiedene Protokolle, was die Anpassung bzw. Integration erschwert. Dennoch konnten mehrere Verfahren entwickelt werden, um die geforderte IP-Anpassung bei ATM zu realisieren. Beispiele für diese Verfahren bestehen in CLIP, LANE und Multi-Protocol-over-ATM (MPOA).

MPLS ist sofort im Hinblick auf den IP-Transport entwickelt worden. Die Vermittlung im MPLS basiert unter anderem auf konventionellen IP-Routing-Protokollen. Diese werden für den Aufbau der Label Switched Path (LSP) verwendet. Der Aufbau der LSP erfolgt automatisiert. Die Abbildung der IP-Adressen auf MPLS-Labels erfolgt im MPLS in den Label Edge Routern (LER) und wird ohne zusätzliche Server durchgeführt. Hierbei bietet das MPLS selbst auch Multicast-Fähigkeiten. Aufgrund der Unabhängigkeit gegenüber der Schicht 2 ist MPLS auch sehr flexibel für unterschiedlichste Netzwerktechnologien einsetzbar. Ein Integrationseinsatz von IP und ATM ist machbar und kann effektiv durchgeführt werden.

4.1.2 Nettobitrate

An dieser Stelle wird der Einfluss von ATM und MPLS bzw. von POS und MPLS im nächsten Abschnitt auf die effektive Übertragungsrate (Nettobitrate) untersucht. Dieser Einfluss besteht im zu transportierenden Overhead. Hierbei ein Beispiel bei der Darstellung des Overhead in den Übertragungsrahmen der WAN-Protokolle für den Transport eines 1500 Bytes großen IP-Pakets gegeben. Der Signalisierungsaufwand, sowie der Overhead in den TCP-Rahmen und den SDH-Containern bleibt unberücksichtigt, da diese Vernachlässigung⁷ keinen Einfluss auf den Vergleich zwischen ATM und MPLS bzw. später zwischen POS und MPLS hat.

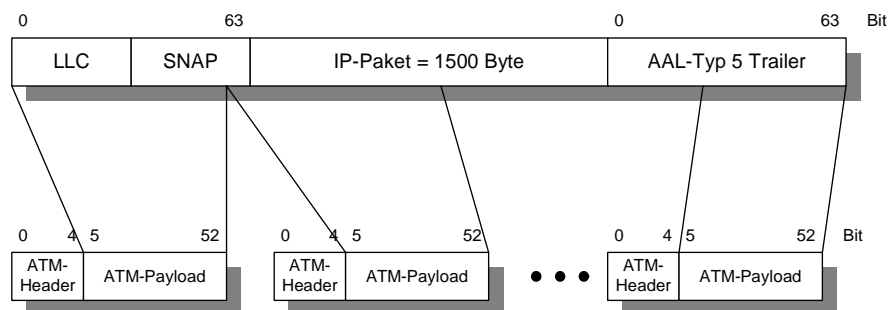


Abbildung 8: ATM-Overhead

ATM-Netze zeichnen sich auf Grund der Verwendung von lediglich 53 Byte großen ATM-Zellen generell durch ein relativ schlechtes Overhead-Nutzdaten-Verhältnis aus. Abbildung

⁷ mit Ausnahme der Signalisierung

8 verdeutlicht den ATM-Overheadanteil beim Transport eines 1500 Byte großen IP-Datenpakets.

Nach dem Einpacken in einen AAL-Typ-5-Rahmen wurden dem IP-Paket ein 16-Byte-Overhead angefügt. Diese bestehen im LLC-/SNAP-Header und dem AAL-Typ-5-Trailer. Für die Übertragung muss nun der gesamte Rahmen, welcher jetzt aus 1516 Byte besteht, in ATM-Zellen abgebildet werden. Eine ATM-Zelle nimmt hierbei 48 Byte über das Payload-Feld auf. Für die Übertragung von 1516 Byte werden 32 ATM-Zellen benötigt. Jede Zelle erhöht den Overhead zusätzlich um 5 Byte durch den ATM-Header. Bei 32 Zellen erhöht sich der Gesamt-Overhead auf diese Weise um weitere 160 Byte. Für den Transport eines 1500 Bytes großen IP-Pakets werden somit insgesamt 176 Byte an Overhead benötigt. Hieraus ergibt sich ein relativer Overhead von 10,5%.

Der Overhead-Anteil im MPLS wird in der Abbildung 9 ebenfalls am Beispiel eines 1500-Byte-IP-Pakets dargestellt. Hierbei wird von zwei Einträgen im Label-Stack ausgegangen. Nach dem Anfügen der beiden Shim-Header und dem anschließenden Einpacken in einen AAL-Typ-5-Rahmen wurden dem IP-Paket 16 Byte Overhead angefügt. Auch hier werden für die Übertragung von 1516 Bytes 32 ATM-Zellen benötigt. Der Gesamt-Overhead für den Transport eines 1500 Bytes großen IP-Pakets mit zwei angefügten Shim-headers beträgt somit ebenfalls 176 Bytes, woraus sich ein identischer Overhead von 10,5% ergibt.

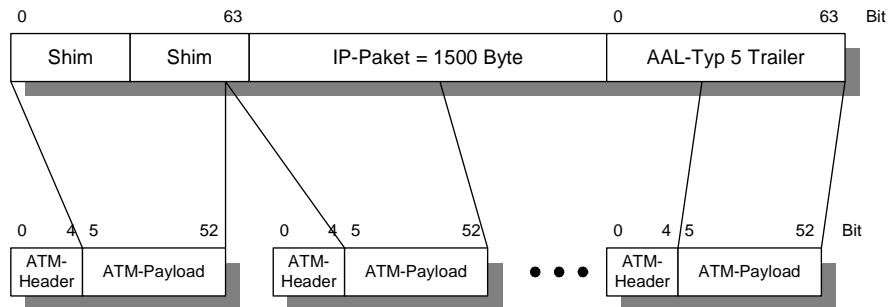


Abbildung 9: MPLS-Overhead bei ATM-basierter Technologie

4.1.3 Performance

Die Unterstützung von Echtzeit-Anwendungen wurde bereits als eine wichtige Anforderung an die WAN-Technologie definiert. Die Realisierung einer hohen Performance, mit der eine geringe Verzögerungszeit und ein hoher Durchsatz gemeint ist, spielt hierbei eine entscheidende Rolle. Die Performance ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Hierzu gehören beispielsweise das verwendete Übertragungsmedium, die Länge der Übertragungsstrecke und die Geschwindigkeit, mit der ein Paket in den Netzelementen verarbeitet wird. Diese Paket-Verarbeitung wird maßgebend durch das verwendete Forwarding-Konzept bestimmt.

ATM verwendet das ATM-Switching als Forwarding-Konzept. Die Forwarding-Entscheidung basiert hierbei auf den VCI/VPI-Feldern des ATM-Headers. Aus diesem Grund ist es für das Forwarding nicht notwendig, die ATM-Zellen zusammensetzen und die höheren Schichten auszuwerten. MPLS verwendet hingegen das Label-Switching als Forwarding-Konzept. Bei zugrunde liegender ATM-Technologie werden die Label-Werte in die hierfür umdefinierten VCI/VPI-Felder der ATM-Zellen geschrieben. Die Forwarding-Entscheidung basiert hierbei auf den umdefinierten VCI/VPI-Feldern des ATM-Headers. Auf diese Weise

ist es nicht notwendig, die ATM-Zellen wieder zusammenzusetzen, um den ebenfalls transportierten Shim-Header auszuwerten.

4.1.4 Traffic Engineering (TE)

Das TE erlaubt das gezielte Einrichten eines Datenstroms mit dem Ziel, das Netz gleichmäßig zu belasten. Des Weiteren besteht im TE eine wichtige Unterstützung zur Realisierung eines Quality-of-Service (QoS).

In konventionellen ATM-Netzen bestehen viele Funktionen, die ein Traffic Engineering ermöglichen. Ein wichtiges Element der TE-Fähigkeiten von ATM liegt im Private Network-to-Network Interface (P-NNI). Das P-NNI ist eine standardisierte Schnittstelle und regelt den Datenaustausch zwischen zwei ATM-Systemen. Hierfür wurde ein Protokoll festgelegt, das den Verbindungsaufbau zwischen zwei Teilnehmern steuert. Es handelt sich hierbei um das P-NNI-Protokoll, zu dessen Aufgaben das Routing für den Verbindungsaufbau von ATM-VC gehört. Der Routing-Mechanismus des P-NNI-Protokolls gleicht dem OSPF, ist aber aufgrund zusätzlicher Funktionen komplexer. Das P-NNI-Routing ermöglicht die Definition bestimmter Verkehrsparameter, welche für die Berechnung des Pfades berücksichtigt und eingehalten werden müssen. Auf diese Weise kann die Überlastung einzelner Netzelemente vermieden werden, da das P-NNI-Protokoll in diesen Fällen einen alternativen Pfad wählt.

Um zu verhindern, dass ein Teilnehmer mehr Ressourcen in Anspruch nimmt, als er ursprünglich beim Verbindungsaufbau über das P-NNI-Routing gefordert hat, verfügt das ATM über eine Vielzahl weiterer Funktionen. Hierzu gehören beispielsweise das einfache Verwerfen von Zellen, das Herunterstufen von Prioritäten, das Traffic Shaping oder das Buffer Management in den Switches. Diese Funktionen stellen ebenfalls einen Teil des TE dar.

Im MPLS wird das TE über zwei verschiedene Ansätze realisiert. Zum einen ist das LDP mittels des Constraint-based Routing auf CR-LDP erweitert worden. Dieses berechnet den Pfad, über den ein Label Switched Path (LSP) aufgebaut werden soll. Hierfür wird der CSPF-Algorithmus verwendet. Dieser Algorithmus basiert auf dem Shortest-Path-First-Algorithmus, der beispielsweise von OSPF verwendet wird. Das CSPF erlaubt zusätzlich die Definition bestimmter Parameter (z.B. Bandbreite), welche für die Berechnung des Pfades berücksichtigt und eingehalten werden müssen. Auf der anderen Seite ist das RSVP-Protokoll auf Basis von RSVP-TE erweitert worden. Hierdurch lassen sich über den IntServ-Ansatz MPLS-Verbindungen bestimmte Prioritäten zuweisen, die über das gesamte MPLS-Netz erhalten bleiben. Beide Ansätze werden momentan sehr kontrovers diskutiert. Funktionen von MPLS, die sicherstellen, dass kein Teilnehmer mehr als die geforderten und reservierten Ressourcen in Anspruch nimmt, sind dementsprechend bislang noch nicht spezifiziert worden.

4.1.5 Quality-of-Service (QoS)

Die Realisierung von QoS ist nur dann sinnvoll, wenn sie auf der gesamten Übertragungsstrecke von der Quelle bis zur Senke⁸ besteht. Die Anforderungen, die in diesem

⁸ Ende-zu-Ende

Zusammenhang an die WAN-Technologien gestellt werden, beziehen sich aus diesem Grund nicht auf die Realisierung eines isolierten QoS in einem WAN, sondern auf die Unterstützung von bereits im LAN verwendeten QoS-Lösungen.

ATM bietet umfangreiche Möglichkeiten zur Realisierung von QoS. Um IP-Netze über ein ATM-Netz zu verbinden, ist es notwendig, den IP-QoS auf den ATM-QoS abzubilden. Nur so ist es möglich, einen QoS auf der gesamten Übertragungsstrecke zu realisieren. Das CLIP-Verfahren ist ausschließlich für Adressenauflösung konzipiert worden und kann für diese Aufgabe nicht verwendet werden. Ebenso fällt LANE aus, da hier nur Anpassungen von Ethernet und Token Ring an ATM über den Overlay-Ansatz möglich sind.

Aus diesem Grund müssen zusätzliche Mechanismen eingesetzt werden, um die Abbildung des QoS durchzuführen. Bei entsprechender Routerunterstützung ist es möglich, diese Abbildung über manuelle Konfiguration zu realisieren. Die Verwendung eines automatisierten Verfahrens ist ebenfalls denkbar. MPOA bietet diese Möglichkeit eines Ende-zu-Ende QoS, wenn als Layer-2-Technologie ATM gewählt wurde und eine direkte Verbindung zum ATM-Netz besteht. Bei Einsatz von Ethernet- oder Token-Ring-Netzen am Netzwerkrand ist ebenfalls nur eine Anpassung ohne QoS machbar.

Im Vergleich zu ATM kann MPLS einen QoS Ende-zu-Ende durch die Unterstützung der IP-QoS-Modelle IntServ und DiffServ ermöglichen. Für das IntServ-Konzept ist die MPLS-Domäne transparent. Die Realisierung des QoS über das Signalisierungsprotokoll⁹, erfolgt identisch zu anderen IP-Netzen. Wird das DiffServ-Konzept verwendet, so verhält sich die MPLS-Domäne ebenfalls wie ein IP-Netz. Die MPLS-Domäne bildet hierbei eine eigene DiffServ-Domäne, welche mit den anliegenden DiffServ-Domänen kooperiert. Beide Ansätze/Modelle sind aber noch nicht abschließend standardisiert. [4]

4.2 MPLS contra POS¹⁰

Die zu betrachtenden Funktionen, wie das Traffic Engineering (TE) oder die Unterstützung des IP-QoS und der VPN, sind vom zugrunde liegenden Schicht-2-Protokoll unabhängig. Aus diesem Grund unterscheiden sich die MPLS-over-POS-Funktionen nicht von den MPLS-over-ATM-Funktionen. Auf eine erneute Darstellung wird an dieser Stelle verzichtet, sodass für MPLS-over-POS lediglich die Overhead-Betrachtung durchgeführt werden muss. Anschließend folgt eine Bewertung, welche sich auf die Effizienz der betrachteten Funktionen stützt. Im folgenden ist mit einem MPLS-Netz ein POS-basiertes MPLS-Netz gemeint.

4.2.1 IP-Integration

POS realisiert die Unterstützung eines Schicht-3-Protokolls über die Verwendung des entsprechenden Network Control Protocol (NCP). Das NCP ist ein Steuerungsprotokoll, dessen Aufgabe im Auf- und Abbau sowie der Konfiguration des zu verwendenden Schicht-3-Protokolls liegt. Für den Transport von IP-Daten wurde als NCP das Internet Protocol Control Protocol (IPCP) definiert. Über das IPCP realisiert POS ein IP-Netz, das die entsprechende Adressierung und das Routing des Internet-Protokolls verwendet. Da POS selbst keine intelligenten Mechanismen besitzt und alle Schicht-3-Protokolle überträgt,

⁹ üblicherweise RSVP

¹⁰ Packet-over-SONET

musste auch keine Anpassung auf IP erfolgen. Auf diese Weise ist eine volle IP-Integration gegeben.

4.2.2 Nettobitrate

Der Overhead im POS setzt sich für den Transport von IP-Paketen aus dem PPP- und dem HDLC-Rahmen zusammen. Abbildung 10 verdeutlicht den Overheadanteil am Beispiel eines 1500 Byte großen IP-Pakets¹¹. Der Overhead in den TCP-Rahmen und den SDH-Containern bleibt hier wie zuvor unberücksichtigt.



Abbildung 10: POS-Overhead

Durch die Abbildung kann man erkennen, dass für den Transport des IP-Pakets ein Overhead von acht Byte benötigt wird. Diese acht Bytes setzen sich aus zwei Byte für den PPP-Rahmen und sechs Byte für den HDLC-Rahmen zusammen. Damit errechnet sich das Overhead-Nutzdaten-Verhältnis für ein 1500 Byte großes IP-Paket zu 0,5%. Es ist aber hierbei zu beachten, dass der Overhead im PPP in kritischen Fällen weiter reduziert werden kann. Für die Overhead-Betrachtungen wurde an dieser Stelle von dem maximalen Overhead ausgegangen.

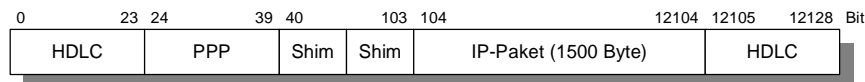


Abbildung 11: MPLS-Overhead bei POS

Bei dem Overhead-Anteil von MPLS wird ebenfalls von der maximalen PPP-/HDLC-Einkapselung sowie von zwei Einträgen im Label-Stack ausgegangen. Abbildung 11 verdeutlicht den Overhead im MPLS. Durch die zusätzlichen Bytes der Shim-Header erhöht sich der zu transportierende Overhead um 8 Byte. Hieraus ergibt sich ein relativer Overhead von 1%.

4.2.3 Performance

Wird über POS ein IP-Netz realisiert, so verwendet es das Schicht-3-Routing für die Paketvermittlung. Die Paketvermittlung basiert auf der Auswertung des IP-Header eines Pakets und der Suche nach einem Eintrag in der Routing-Tabelle.

4.2.4 Traffic Engineering

Das Traffic Engineering (TE) ist in POS-basierten IP-Netzen über konventionelles Routing nicht zu realisieren. Load Sharing und Explicit Routing (ER) sind zusätzliche Verfahren, die ein TE ermöglichen. Da die Anwendung des Load Sharing auf kleine Netze beschränkt ist, wird hier nur das ER¹² betrachtet. Das ER ermöglicht es, IP-Pakete auf einen bestimmten Pfad zu zwingen. Dies wird realisiert, indem jedem IP-Paket eine ER-Information angefügt wird, anhand derer die Vermittlung in den Netzelementen durchgeführt wird. Die ER-

¹¹ typischer Ethernet-Rahmen

¹² welches auch als Source Routing bezeichnet wird

Information legt den Pfad fest, dem ein IP-Paket folgen muss. Durch die Festlegung der ER-Information, können bestimmte Netzbereiche entlastet werden.

4.2.5 Quality-of-Service (QoS)

Wird über POS ein IP-Netz realisiert, so bietet es die Möglichkeit, einen IP-QoS auf der Basis der IP-QoS-Modelle IntServ und DiffServ aufzusetzen. Diese Modelle wurden für den Einsatz in IP-Netzen konzipiert. [4]

5 Bewertung

5.1 ATM-Ansatz

Die IP-Integration ist über das MPLS einfacher zu realisieren als über das ATM in Verbindung mit dem MPOA-Verfahren möglich ist. Werden im ATM PVC-Verbindungen verwendet, so erfordert dies einen hohen Konfigurationsaufwand. Insbesondere für große Netze besteht aus diesem Grund in der Verwendung von SVC-Verbindungen eine interessante Alternative, welche den Konfigurationsaufwand entscheidend reduzieren kann. Allerdings müssen hierbei zusätzliche Server für die Adressenauflösung eingesetzt werden. Diese Server stellen einen Single-Point-of-Failure (SPOF) dar und müssen entsprechend ausgelegt werden. Dies ist mit weiteren Schwierigkeiten verbunden, da bei der Einführung von Ersatz-Servern beispielsweise die Synchronisation der Tabellen der einzelnen Server gewährleistet werden muss.

MPLS hingegen bietet den Vorteil eines geringen Konfigurationsaufwandes, da die LSP unter anderem über die Verwendung von IP-Routing-Protokollen automatisch aufgebaut werden. Des Weiteren verwendet das MPLS keine Adressen-Server, wodurch die damit verbundenen Probleme vermieden werden. Der zu transportierende Overhead ist im MPLS im hier betrachteten Beispiel trotz Anfügen der beiden Shim-Header nicht höher als im ATM. Auch das Anfügen weiterer Shim-Header würde das ohnehin relativ schlechte Overhead-Nutzdaten-Verhältnis, welches durch die ATM-Zellen zu Stande kommt, nur geringfügig reduzieren. Da auf der anderen Seite das Overhead-Nutzdaten-Verhältnis im MPLS beim Transport eines einzelnen Shim-Headers sogar verbessert wird, ist an dieser generell betrachtet weder von einem Vor- noch einem Nachteil zu sprechen.

Eine höhere Performance ist im MPLS prinzipiell nicht gegeben. Beide Protokolle verwenden das Switching als Forwarding-Konzept. Hierbei wurde für die Verwendung von SVC-Verbindungen im ATM der Einsatz des NHRP vorausgesetzt. Ohne das NHRP ist es unter Umständen notwendig, Verkehr über Router zu transportieren, in denen das Forwarding-Konzept auf dem Schicht-3-Routing basiert. Der einzige Nachteil von ATM bezüglich der Performance besteht bei der Verwendung von SVC-Verbindungen, da diese bei Bedarf erst aufgebaut werden müssen. Hierbei kann es für den Aufbau unter Umständen sogar notwendig sein, eine Adressenanfrage bei einem ATMARP- oder einem NHRP-Server durchzuführen, wodurch sich der Beginn des Datentransports noch stärker verzögert. Nachdem der SVC aufgebaut wurde, ist aber mit der gleichen Performance wie im MPLS zu rechnen. Aus diesem Grund besteht im MPLS in der Performance im Vergleich zu ATM bei verwendeten SVC-Verbindungen nur ein geringfügiger Vorteil, im Vergleich zu ATM bei verwendeten PVC-Verbindungen weder ein Vor- noch ein Nachteil.

WAN-Funktionen	WAN-Technologien bzgl. IP-Transport	
	ATM	MPLS
IP-Integration	Zusätzliche Verfahren notwendig (z.B. MPOA)	Vorhanden
Nettobitrate und Overhead	Overhead = 10,5%	Overhead = 10,5%
Performance und Forwarding	ATM-2-Switching	Label-2-Switching
Traffic Engineering	P-NNI Routing	Verschiedene Verfahren: MPLS-LDP, RSVP-TE und Constraint-based Routing (CR-LDP)
IP QoS	Zusätzliche Verfahren notwendig (IntServ, DiffServ, MPOA)	Zusätzliche Verfahren notwendig (IntServ, DiffServ)

Tabelle 1: Direkter Vergleich von ATM und MPLS

Eine Realisierung des Traffic Engineering (TE) ist im MPLS ebenso möglich wie im ATM. In beiden stellt die Wegefindung einer Verbindung die Basis des TE dar. Es wurde hier nur die automatisierte Wegefindung über Routing-Protokolle betrachtet. ATM und MPLS verwenden dabei prinzipiell das gleiche Konzept. Allerdings können zur Realisierung des TE auch ergänzende Mechanismen wie das Traffic Shaping zum Einsatz kommen, die hier nicht explizit berücksichtigt wurden.

Das Bereitstellen eines IP QoS ist im MPLS einfacher und effektiver als im ATM zu realisieren. Obwohl das ATM über sehr gute QoS-Fähigkeiten verfügt, besteht das Problem darin, dass es sich hierbei um einen ATM-QoS handelt. Für die Realisierung eines IP-QoS muss eine Abbildung auf den ATM-QoS erfolgen, wodurch die Komplexität des Netzwerkes erhöht wird. Wird diese Abbildung über manuelle Konfiguration durchgeführt, so besteht an dieser Stelle ein zusätzlicher Konfigurationsaufwand. Des Weiteren bestehen in einem Abbildungsvorgang zusätzliche Operationen, die von den Netzelementen durchgeführt werden müssen. Hierdurch wird die Performance beeinträchtigt. Allerdings lassen sich dadurch feste Dienstgüten einstellen, die sich durch die Verkehrslast nicht verändern. Im MPLS kann über die IP-QoS-Modelle IntServ und DiffServ ebenfalls ein IP-QoS realisiert werden. Ein komplexer Abbildungsmechanismus ist hierbei nicht notwendig. Dies ist vorteilhaft für MPLS. Wenn allerdings ATM als Layer-2-Technologie eingesetzt wird, kommt es ebenfalls zu einer höheren Komplexität beim MPLS-Einsatz.

Zusammenfassend bestehen die Hauptvorteile von MPLS im Vergleich zum ATM in der einfacheren IP-Integration und IP-QoS-Unterstützung, wenn man reine TE-Aspekte berücksichtigt.

5.2 PoS-Ansatz

Die IP-Integration ist sowohl im MPLS als auch im POS gegeben. Aus diesem Grund besteht an dieser Stelle weder ein Vor- noch ein Nachteil von MPLS. Der zu transportierende Overhead ist im MPLS generell höher als im POS, da die Shim-Header zusätzlich übertragen werden müssen. Dies reduziert die Nettobitrate. Allerdings erhöht sich der Overhead-Anteil auf nur 1%, was nur geringe Auswirkungen auf die Nettobitrate hat. Dennoch be-

steht an dieser Stelle ein Nachteil von MPLS. Es ist aber zu beachten, dass hierbei der zusätzliche Overhead im POS, der für die Unterstützung des Traffic Engineering benötigt wird, nicht berücksichtigt wurde. Hier besteht bei MPLS sogar ein Vorteil, da es ein besseres Overhead-Nutzdaten-Verhältnis ermöglicht. Die Performance¹³ der untersuchten Protokolle ist bei MPLS prinzipiell höher. Im Gegensatz zum POS ist es bei MPLS für die Weiterleitung der Pakete nicht notwendig, diese in jedem Netzelement auf Schicht 3 zu verarbeiten. Auch muss MPLS in seiner Forwarding-Tabelle keine Einträge suchen. Diese werden über einen Index einfach ausgelesen. In der Performance liegt also ein Vorteil von MPLS. Allerdings ist zu beachten, dass dieser Vorteil mit der Entwicklung von Routern, die vollständig in Hardware realisiert sind, geringer geworden ist.

Die Realisierung des TE ist bei MPLS effektiver als im POS möglich. Die für die beiden Protokolle vorgestellten TE-Mechanismen basieren gleichermaßen auf dem Anfügen zusätzlicher Informationen. Diese Informationen enthalten eine Adressenliste und bestimmen auf diese Weise den Pfad für ein Paket. Diese Informationen stellen zusätzlichen Overhead dar. Im POS müssen diese Informationen jedem IP-Paket angefügt werden. Bei MPLS hingegen, ist der Transport dieser Informationen nur für den Aufbau des LSP notwendig. Abhängig von der Anzahl der Hops und der damit verbundenen Größe dieser Adressenliste wird das Overhead-Nutzdaten-Verhältnis bei MPLS wesentlich geringer belastet als im POS. Hier liegt ein wichtiger Vorteil von MPLS.

Die Realisierung eines IP-QoS ist sowohl im MPLS als auch im POS über die IP-QoS-Modelle IntServ und DiffServ vorgesehen. Aus diesem Grund besteht zunächst bei MPLS kein Vorteil. MPLS ermöglicht prinzipiell keine neuen QoS-Konzepte. Dennoch verbessert MPLS die QoS-Fähigkeiten eines IP-Netzes durch die Einführung des Constraint-based Routing, wodurch eine effektivere Nutzung von IntServ und DiffServ durch die aktive Rolle des Routing möglich wird.

WAN-Funktionen	WAN-Technologien bzgl. IP-Transport	
	POS	MPLS
IP-Integration	Vorhanden	Vorhanden
Nettobitrate und Overhead	Overhead = 0,5% (siehe Beispiel)	Overhead = 1% (siehe Beispiel)
Performance und Forwarding	Layer-3-Routing	Label-Switching
Traffic Engineering	Zusätzliche Verfahren	LDP, RSVP-TE, Constraint-based Routing (CR-LDP)
IP-QoS	IntServ, DiffServ	IntServ, DiffServ

Tabelle 2: Vergleich zwischen POS und MPLS

Zusammenfassend bestehen die Hauptvorteile des MPLS im Vergleich zum POS im verbesserten TE. Die Performance-Vorteile sind abhängig von der verwendeten Hardware und in der Praxis ein geringeres Argument für die Implementierung von MPLS. Der IP-QoS kann im MPLS optimiert werden. Dennoch besteht auch an dieser Stelle nur ein geringes Argument für die Einführung von MPLS.

¹³ geringe Verzögerungszeiten und hoher Durchsatz

6 Literaturverweis

- [1] DETKEN, KAI-OLIVER: *Quality-of-Service (QoS) versus Class-of-Services (CoS): Garantierte Dienstgüte in IP- und ATM-Netzen*; ONLINE 2000; Congressband II: Fixed, Mobile & High End Networking; 23. Europäische Kongressmesse für Technische Kommunikation; ISBN 3-89077-207-2; Düsseldorf 2000
- [2] DETKEN, KAI-OLIVER; EREN, EVREN: *Extranet - VPN-Technik zum Aufbau sicherer Unternehmensnetze*; Addison-Wesley-Verlag; Pearson Education Deutschland GmbH; ISBN 3-8273-1674-X; München 2001
- [3] FROMMHERZ, DANIEL: *Multi Protocol Label Switching – Technische Betrachtung des MPLS und Bewertung seines Einsatzes im WAN-Bereich*; Diplomarbeit an der Fachhochschule Darmstadt; Darmstadt 2001
- [4] ORLAMÜNDER, HARALD: *High-Speed-Netze*; Hüthig-Verlag; Heidelberg 2000