Zeitschrift: Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology

Herausgeber: Swisscom

Band: 79 (2001)

Heft: 10

Artikel: MPLS versus MPLS

Autor: Utiger, Christoph / Weibel, Hans

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-876586

IP-Transportplattform

MPLS versus MPLS

Das exponentielle Wachstum an Internet-Anwendern und Internet-Verkehr sowie die generell gestiegene Bedeutung des Internet-Protokolls (IP) drängt viele Telekommunikations-Netzbetreiber zum Aufbau einer universellen IP-Transportplattform. Eine breite Palette neuer geschäftlicher und privater Anwendungen fordert zudem von einem derartigen Netz neue Übertragungscharakteristiken und nachweisbare Serviceeigenschaften. Die heute in der Standardisierungsphase befindliche Technik Multiprotocol Label Switching (MPLS) verspricht dabei eine flexible Lösung zu sein, um heutige Einschränkungen des Internet-Protokolls bezüglich Skalierbarkeit, Traffic Engineering, Quality of Service (QoS) und Virtual Private Networks (VPN) zu beheben.

Diese Übersicht zeigt auf, wie MPLS funktioniert und wie sich MPLS im Carrier-Bereich mit weiteren Techniken einsetzen lässt. Zudem werden wichtige Eigenschaften der MPLS-Technik dargestellt und Netzarchitekturen dargelegt.

CHRISTOPH UTIGER UND HANS WEIBEL

Hintergrund von MPLS

Die Internet Engineering Task Force versucht unter dem Begriff Multiprotocol Label Switching (MPLS) die Reihe der proprietären IP-Switching-Protokolle unter einem allgemeinen Standard zu vereinen. Zum Thema MPLS wurden bislang zwölf RFCs über Themen wie Architektur, LDP, VPN und Traffic Engineering verabschiedet. Dazu kommen weitere 28 Internet-Drafts zu Encapsulation, Routing, Traffic Engineering usw.

MPLS stellt eine flexible Lösung dar, um die in grossen Router-Netzen vorhandenen Einschränkungen, wie Skalierbarkeit, fehlende Quality-of-Service-Eigenschaften und Möglichkeiten des Traffic Engineering aufzuheben. Den Herstellern zufolge verbindet MPLS die Vorteile von IP-Routing mit den Vorteilen von Layer-2-Switching und bietet dem Netzbetreiber weitgehende Möglichkeiten, sein Netz einfach und effizient zu betreiben. MPLS lässt sich in Wide Area Networks wie auch in grösseren Corporate Networks einsetzen.

MPLS bietet dem Netzbetreiber folgende Eigenschaften und Services:

- Mechanismen, um Verkehrsflüsse beliebiger Anwendungen zu steuern und zu managen (Traffic Engineering).
- Vereinfachtes und dadurch schnelles Weiterleiten von Layer-3-Paketen (IP) anhand fixer Labels (erhöhte Performance).
- Die Unabhängigkeit zwischen Layer 2 und Layer 3 bleibt gewährleistet. Integration und Unterstützung etablierter Techniken wie ATM, Frame Relay, Paket over Sonet (PoS) usw.
- Trennung der Signalisierung (Routing) von den Datenströmen.
- Schnittstellen zu existierenden Routing-Protokollen wie OSPF, IS-IS, RIP usw.
- Möglichkeiten zur Implementierung neuer Routing-Protokolle, ohne dass der Datenfluss dabei beeinträchtigt wird.
- Verbesserte Skalierbarkeit des Routing durch Stapeln von Labels (Labelstack).
- Möglichkeit zur Realisierung von Netzwerk-basierten Virtual Private Networks (VPN).

MPLS: Architektur, Funktionen und Protokoll-Stack

MPLS umfasst verschiedene Funktionen, die jedoch nicht als eigenständige Komponenten realisiert werden, sondern als Gruppierung verschiedener im Netz enthaltener Aufgaben oder Protokolle zu betrachten sind. Die Funktionen sind:

- Network Layer Routing (IP)
- Label-Verteilung (LDP) und Signalisierung
- Label Mapping am Edge
- Einschachtelung in den Data Link Layer (Encapsulation)
- Label-based Switching im Core-Netz (Forwarding)
- Traffic Engineering und QoS

Architektur und Komponenten

Die Vielseitigkeit der MPLS-Technik lässt verschiedene Architekturen und Kombinationen mit anderen Protokollen zu. MPLS in Verbindung mit ATM, Frame Relay, Dynamic Packet Transport (DPT) oder Packet over Sonet und MPLS für IPv4, IPv6 oder auch IPX sind möglich. In der Praxis lassen sich jedoch zwei Hauptarchitekturen erkennen. Die Router-basierte Lösung (Bilder 1 und 2), die aus drei verschiedenen Router-Typen besteht und die Switch-basierte Lösung (Bilder 3 und 4), die als Erweiterung einer ATM-Infrastruktur betrachtet werden kann.

Router-basierte Architektur (LSR, LER und CER)

Die Label Switching Routers (LSR) und die Label Edge Routers (LER) bilden die Hauptkomponenten in einem Router-basierten MPLS-Netz (Bilder 1 und 2). Die LSRs werden im Core-Bereich eingesetzt, während die LERs die Grenze (Edge) zum MPLS-Netz bilden. Der Customer Edge Router (CER) bildet den Netzzugang auf Teilnehmerseite.

Core-Bereich

Ein Label Switching Router ermöglicht das schnelle Durchschalten von IP[1]-Paketen anhand von fixen Labels. Die Funktionsweise des Weiterschaltens (Forwarding) von Paketen ist derjenigen von ATM oder Frame Relay ziemlich ähnlich. Ein Paket wird beim Eintreffen am Eingangsport auf sein Label untersucht und entsprechend einer Forwarding Table durch den Router an das Ausgangsport weitergereicht. Bevor das Paket auf den neuen Leitungsabschnitt übertragen wird, bekommt es ein neues, für diesen Abschnitt gültiges Label zugewiesen. Die Labels werden pro Leitungsabschnitt durch ein Label Signalling Protocol gegenseitig ausgehandelt. Ein LSR findet

[1] Die Funktionsweise bezieht sich nach den Internet-Drafts auf IPv4, IPv6, IPX usw.

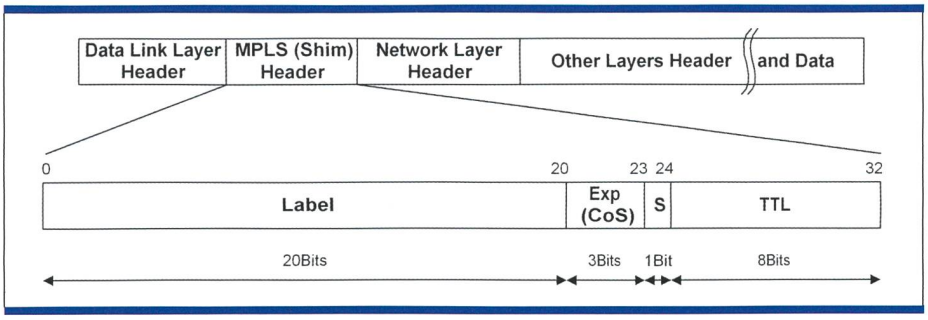

Bild 1. Router-basierte Architektur mit LSR, LER und CER.

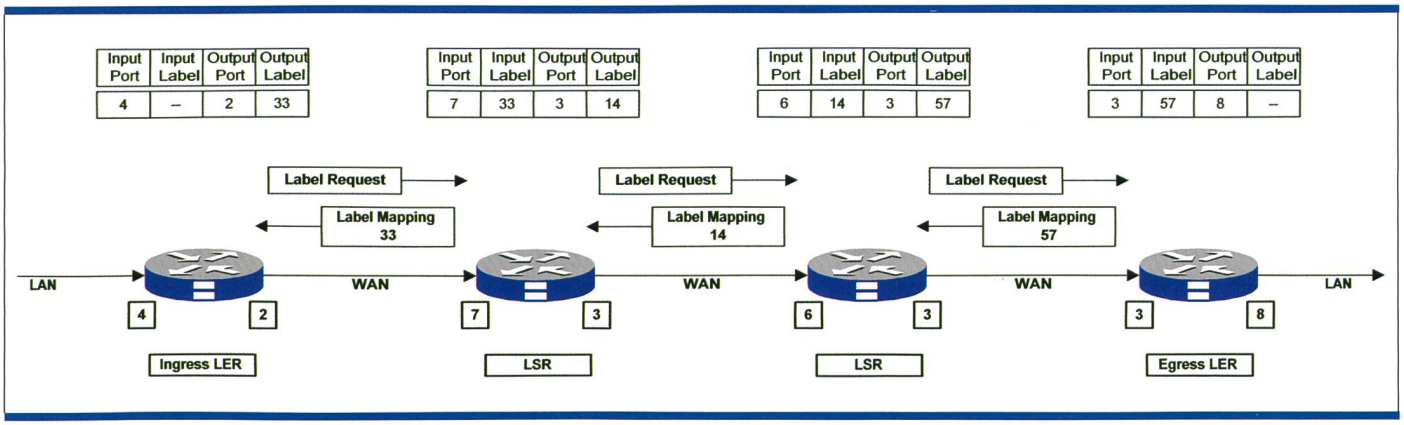

Bild 2. Protokoll-Stack der Router-basierten Architektur.

seine Anwendung im Core-Bereich und wird oft auch als P-Router (P: Provider) bezeichnet.
Als physikalische Schnittstellen bzw. als Übertragungstechniken zwischen den LSRs und LERs anerbieten sich Techniken wie Packet over Sonet (PoS) oder Dynamic Packet Transport (DPT, Ethernetrahmen über SDH).

Edge-Bereich
Die LERs werden am Übergang zwischen einem herkömmlichen IP-Netz und einem MPLS-Netz eingesetzt. Diese Router unterstützen im Access-Bereich insbesondere auch xDSL-Schnittstellen, im Core-Bereich MPLS-erweiterte WAN- bzw. Backbone-Schnittstellen. Die LERs bilden die Endpunkte von Label Switched Paths (LSP) innerhalb des MPLS-Netzes. Der LER übernimmt als wichtigste Aufgabe das Zuweisen und Entfernen von Labels. Dazu wird jedes Paket klassifiziert und einem Übertragungskanal zugewiesen, der den geforderten Service gewährleistet. In vielen Dokumentationen wird der LER auch als Provider Edge (PE) benannt.

Customer-Bereich
Die CERs werden in den Lokalitäten der Kunden installiert und bilden den Zugang zum Übertragungsnetz. Die CERs sind herkömmliche Router, die dem Kunden eine LAN-Schnittstelle (Ethernet) zur Verfügung stellen und eine Schnittstelle zum WAN besitzen. Zwischen CER und LER werden die Pakete konventionell, das heisst ohne MPLS-Mechanismen übertragen. Als Übertragungstechniken zwischen CER und LER eignen sich, wie erwähnt, die xDSL-Techniken.

ATM-basierte Architektur (ATM-MPLS)

Die ATM-basierte Architektur geht davon aus, dass der Netzbetreiber bereits über eine ATM- bzw. Frame-Relay-Infrastruktur verfügt oder sich diese im Aufbau befindet. Dazu werden lediglich neue MPLS-Schnittstellen (Label Controlled ATM Interfaces, LC-ATM) an der ATM-Netzgrenze zur Verfügung gestellt. Grundsätzlich handelt es sich bei dieser Architektur vielmehr um ein ATM-Netz mit Unterstützung für MPLS-fähige Local Area Networks. Bilder 3 und 4 zeigen die Architektur mit dem zugehörigen Protokoll-Stack.
Der ATM-Switch übernimmt die Aufgabe des schnellen Durchschaltens von Paketen bzw. Zellen. Diese Funktion entspricht weitgehend derjenigen eines konventionellen ATM-Switch. Erweiterungen gegenüber einem konventionellen ATM-Switch sind jedoch die zusätzlichen Label Controlled ATM Interfaces an der Netzgrenze und die parallel zur ATM-Signalisierung unterstützte Label-Verteilung mittels Label Distribution Protocol (LDP).
Bedingt durch die Kompatibilität zur ATM-Technik werden für die physikalische Übertragungsschicht Schnittstellen der Synchronous-Digital-Hierarchy (SDH) benutzt. Im Access finden hauptsächlich die xDSL-Techniken Anwendung.
Als Netzabschluss am Kundenstandort kann ein konventioneller Router oder ein Label Edge Router verwendet werden. Selbstverständlich lassen sich gleichzeitig auch native ATM-Services, Frame Relay Services oder andere emulierte Services über ein solches Netzwerk betreiben. Gegenüber der Router-basierten Architektur mit den drei verschiedenen Router-Typen gestaltet sich für den Netzbetreiber die ATM-basierte Architektur mit einem Switch und verschiedenen Netzabschlussmöglichkeiten als einfachere und leistungsfähigere Variante.

Encapsulation

MPLS unterstützt eine Reihe von Layer-2-Protokollen (Data Link Layer). Im LAN sind das Ethernet, FDDI und Token Ring. Im WAN sind es vorwiegend ATM, Frame Relay und PPP in Zusammenhang mit Packet over Sonet. Einige Varianten werden zwar in den Spezifikationen behandelt, dürften sich aber wegen ihrer geringen Bedeutung oder technischer Limitationen kaum breit durchsetzen. Ähnlich verhält es sich mit den Layer-3-Protokollen, wo natürlich IPv4 im Vordergrund steht.
Die für den MPLS-Layer benötigte Protokollsteuerinformation wird je nach Link Layer unterschiedlich untergebracht:

- In einem eigens dafür vorgesehenen Header, dem so genannten Shim Header (Bild 5).
- In einem bestehenden Layer-2-Protokollfeld (Label belegt VPI/VCI-Feld von ATM oder das DLCI-Feld von Frame Relay).
- In einem bestehenden Layer-3-Protokollfeld (Label belegt Flow Label - Feld von IPv6).

Der Shim Header umfasst die fixe Länge von 32 Bits (vier Oktett) und ist zwischen dem Data Link Layer (Layer 2 Header) und dem Network Layer Header (IP-Header) eingepackt. Dieser Shim Header beinhaltet nebst dem Label noch weitere Felder (Exp-, S- und TTL-Fields) und damit auch Möglichkeiten, die bei anderweitig platzierten Labels entfallen.

Label
Das Labelfeld umfasst 20 Bits. Sein Wert identifiziert einen unidirektionalen Pfad eindeutig. In Verbindung mit ATM werden die Labelwerte in den VPI- und VCI-Feldern und in Verbindung mit Frame Relay im DLCI-Feld übertragen. Dabei sind verschiedene Optionen möglich (siehe Encapsulation). Bei Ethernet oder PPP wird so das Konzept des virtuellen Pfads neu eingeführt, während dies in ATM und Frame Relay schon enthalten ist. Für IPv6 kann das Label auch im Flow Label des Layer 3 Headers untergebracht werden.

Experimental Field (Exp) oder Class of Service (CoS)
Das Feld CoS wurde durch Cisco's TAG Switching definiert. Die definitive Benutzung dieses Feldes wurde jedoch noch nicht in einem Standard festgelegt, weshalb das Feld von der MPLS-Arbeitsgruppe in Experimental umbenannt wurde. Das Experimental-Feld dient jedoch zur Kennzeichnung der von den Paketen erwarteten Behandlung durch die Label Switch Routers (Policing, Buffering usw).

Stack (S)
MPLS unterstützt hierarchische Netzwerkstrukturen, die sich in einer Hierarchie von Labels, dem so genannten Labelstack, widerspiegeln. Das Verfahren funktioniert nach dem Last-in-First-out-Prinzip (LIFO). Bei einem Stapel von Labels wird jeweils nur das oberste Label im Stack berücksichtigt. Das Stack-Feld kennzeichnet mit dem Wert 1 das Ende (Bottom) des Labelstacks. Alle weiteren Labels beinhalten im Stack-Feld den Wert 0. Mit dem Labelstack lassen sich gezielt hierarchische Routing Domains bilden (Tunneling Mode).

Time-to-Live (TTL)
Das Time-to-Live-Feld beinhaltet 8 Bits, entspricht weitgehend dem TTL-Feld des IP-Headers und ermöglicht, in Schleifen kreisende Pakete zu eliminieren. Mit dem Durchlaufen eines LSR wird der Wert von TTL um mindestens 1 reduziert. Erreicht TTL den Wert 0, so wird das Paket verworfen. Am Zugang zum MPLS-Netz wird der Wert des IP-TTL-Feldes in das MPLS-TTL-Feld kopiert. Verlässt ein Paket das MPLS-Netz, so wird sein aktueller MPLS-TTL-Wert in das IP-TTL-Feld zurückkopiert.

Label-Verteilung
Die Label-Verteilung ist eine der aufwändigsten Funktionen in der MPLS-Technik. Die Verteilung der Labels erfolgt immer zwischen den LSRs mit einer Anfrage- und Antwort-Sequenz. Bild 6 verdeutlicht den Ablauf.
MPLS unterstützt nicht nur eine Methode der Label-Verteilung, sondern bislang deren vier:

Label Distribution Protocol (LDP) und Constraint-based Routing Label Distribution Protocol (CR-LDP)
Das LDP wird benutzt, um Unicast-IP-Destinationen den Labels zuzuweisen. Das CR-LDP erweitert das LDP-Protokoll

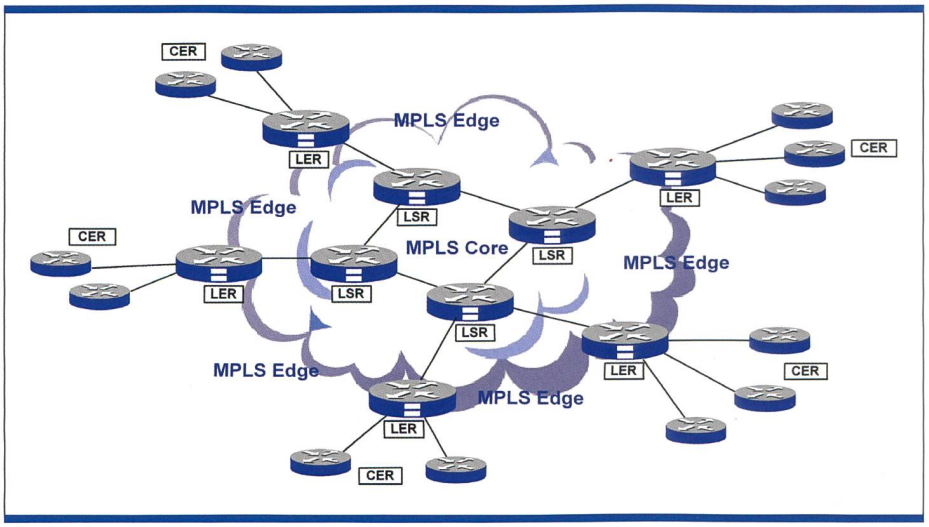

Bild 3. ATM-basierte Architektur.

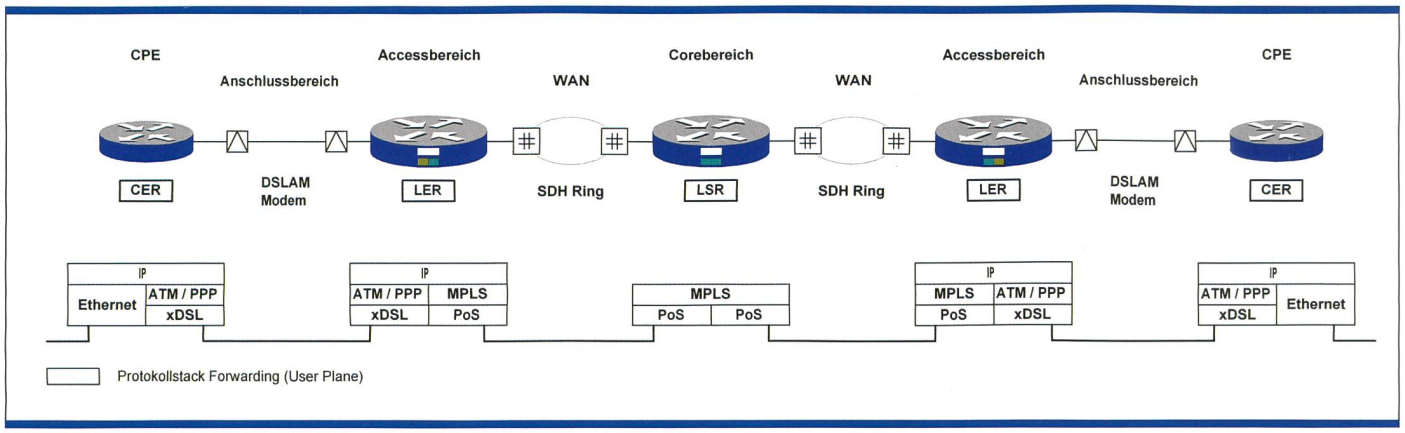

Bild 4. Protokoll-Stack der ATM-basierten Architektur.

mit der Möglichkeit, Ressourcen zu reservieren und Datenströme zu beeinflussen (Traffic Engineering).

Resource Reservation Protocol (RSVP) und Resource Reservation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE)
Die beiden RSVP und RSVP-TE erlauben ebenfalls Ressourcen zu reservieren und Datenströme zu beeinflussen (Traffic Engineering). Während RSVP für konventionelle IP-Datenströme entwickelt wurde, erlaubt das RSVP-TE zusätzlich die Verteilung der Labels für die LSPs.

Border Gateway Protocol (BGP)
Erweiterungen des BGP ermöglichen die Verteilung der Labels über Netz-Domains hinaus und erlauben so die Realisierung von Virtual Private Networks.
Protocol-Independent Multicast (PIM)
PIM ermöglicht es, einem Multicast-Datenstrom ein Label zuzuweisen.

Die heute am meisten verwendeten Protokolle sind:

Label Distribution Protocol
Das Label Distribution Protocol (LDP) ist ein neues, durch MPLS definiertes Protokoll, das die Verteilung und Aushandlung von Labels mittels Meldungen und Prozeduren zwischen zwei Label Switch Routers (LSRs) oder einem Label Edge Router (LER) und einem Label Switch Router (LSR) erlaubt. Das Label Distribution Protocol automatisiert die Verteilung der Labels vom Ingress LER bis zum Egress LER und ermöglicht das Mapping der Labels vom Network Layer Routing zum Data Link Switched Path. Das Label Distribution Protocol ermöglicht dadurch den gesamten Aufbau des LSP entlang der LSRs. Das Protokoll beinhaltet folgende Eigenschaften:
- Erkennung und Unterhalt der Anwesenheit von LSRs in einem MPLS-Netz.
- Benutzt den Transport Layer (TCP oder UDP) zur Übertragung der Meldungen.
- Ist skalierbar und einfach erweiterbar.

Label Distribution mittels BGP-4
MPLS ermöglicht die Zuweisung von Labels ebenfalls mittels Border Gateway Protocol (BGP-4). Die Zuweisung erfolgt im Huckepackverfahren in einer BGP Update Message zusammen mit der Verteilung von Routing-Informationen. Die BGP Update Messages erfolgen zwischen zwei Peers aufgrund einer Topologieänderung oder durch gegenseitiges periodisches Updaten.

Label Switched Path (LSP)
Um einen Label Switched Path mit den notwendigen Leitungseigenschaften aufzubauen, muss ein LER Informationen darüber erhalten, welche Nutzdaten über diesen Pfad übertragen werden. Die MPLS-Architektur verweist dazu auf die Forwarding Equivalence Class (FEC). Die MPLS-Spezifikationen liefern jedoch keine genaue Definition der Forwarding Equivalence Class. Ausgegangen wird von Adressenpräfixen für ganze LAN-Segmente bis zu einzelnen IP-Adressen. Für QoS auf Anwendungsebene notwendige Erweiterungen, die auch Transportprotokoll-Adressen oder Portnummern einbeziehen, sind denkbar, jedoch heute nicht spezifiziert. Wenn ein Label Switching Router einer Forwarding Equivalence Class ein Label zuweist, um einen Label Switched Path (LSP) aufzubauen, muss der Router am anderen Ende des Links (Peer) diesen Labelwert erkennen können, um die Pakete eindeutig dieser

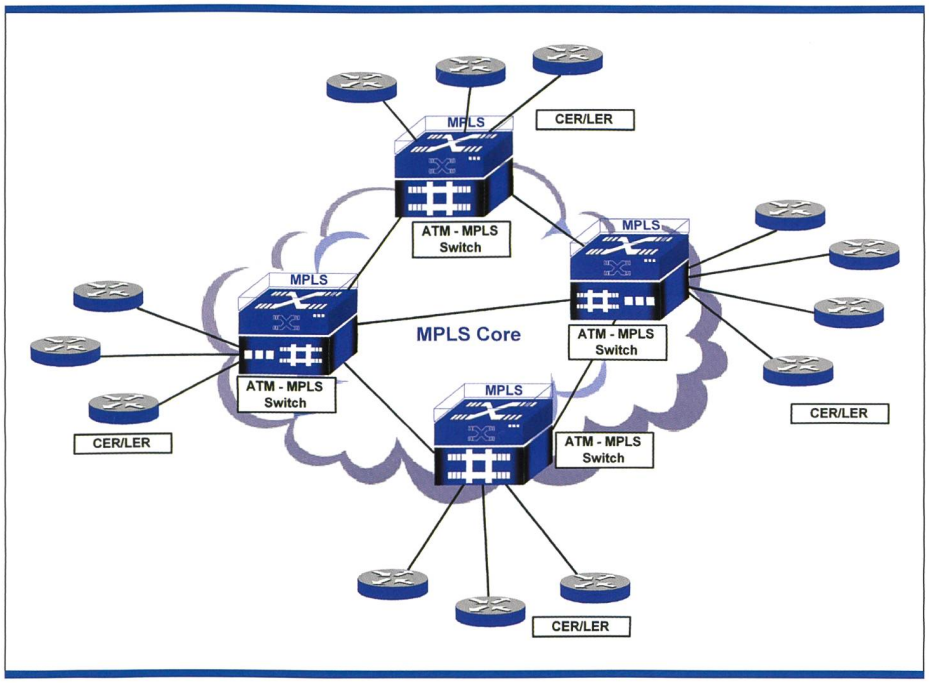

Bild 5. MPLS-Header.

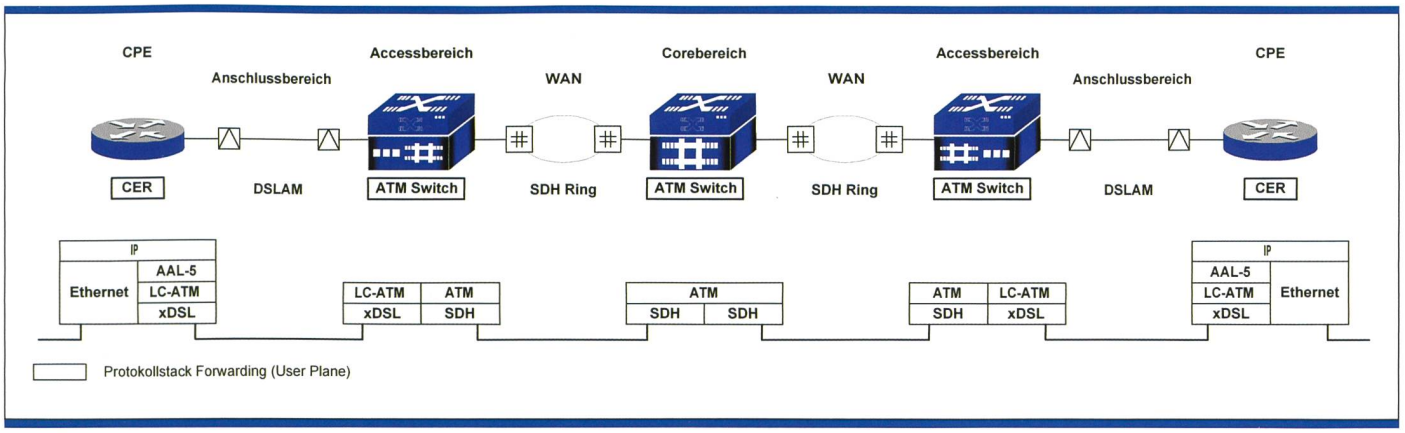

Bild 6. Label Distribution.

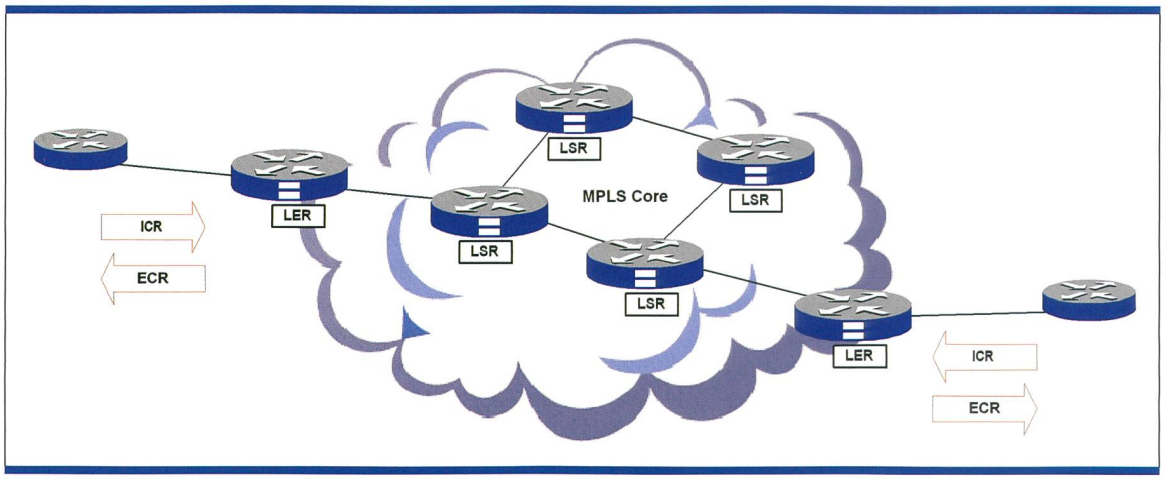

Bild 7. Pipe Model.

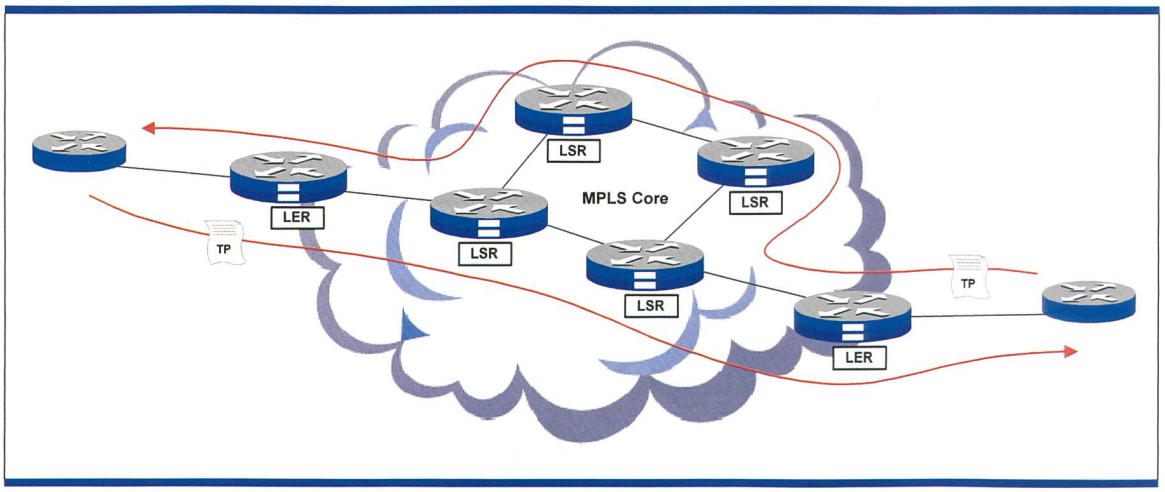

Bild 8. Hose Model.

FEC zuordnen und auf den nächsten Abschnitt des Pfads weiterleiten zu können. Beide Router halten in ihren Tabellen denselben Labelwert, der auf dem Link zwischen den beiden Anschlussports einen virtuellen Pfadabschnitt eindeutig identifiziert. Der sendende Router kennzeichnet somit alle Pakete, die zu einer spezifischen FEC gehören, mit demselben Label und schickt diese an das Ausgangsport. Der empfangende Router klassifiziert am Eingangsport alle Pakete und ordnet sie dem Labelwert entsprechend der spezifischen FEC zu. Die Verkettung der Labels und die damit verknüpften virtuellen Pfadabschnitte bilden den Label Switched Path (LSP). Jeder LSP ist unidirektional.

Als Explicit Routed LSP wird ein nach bestimmten Kriterien gesteuerter Pfad durch das MPLS-Netz bezeichnet. Dazu wird durch einen Constraint-Shortest-Path-First-Algorithmus (CSPF) eine Liste geeigneter Router bzw. Trunks ermittelt, welche die Nutzdaten durchlaufen sollen. Die Verteilung der Labels und der Aufbau der einzelnen Pfadabschnitte werden anschliessend nach dieser Liste vorgenommen. Jeder Router (Hop) extrahiert daraus seinen nächsten Peer und schickt die Labelanfrage nach dem spezifizierten Pfad durch das Netz.

MPLS Traffic Engineering

Das Traffic Engineering erlaubt dem Netzbetreiber, die Datenflüsse durch sein Netzwerk von der Quelle bis zum Ziel nach bestimmten Kriterien zu beeinflussen und zu steuern. Verbunden mit einer beeinflussbaren Routenwahl sind auch die Bereitstellung und die Kontrolle von Dienstklassen (QoS-Aspekte) sowie die kontrollierte Nutzung der Netzressourcen. Damit lassen sich Verkehrsstauungen vermeiden und Paketverluste minimieren. Mit QoS verbunden sind im Switch integrierte Policingfunktionen nach dem Prinzip von Leaky Bucket oder Token Bucket und Flusssteuerungsmechanismen, wie beispielsweise das Traffic Shaping.

Während IP Routing normalerweise den kürzesten Weg durch das Routernetz sucht, ermöglicht das MPLS Traffic Engineering Pfade mit einer vorgegebenen Route und mit einer vorgegebenen Übertragungscharakteristik (QoS) durch das Netz aufzubauen. Um dies zu erreichen, wird neben einer Kennzeichnung der verschiedenen Datenströme (FEC und Labels) auch eine Signalisierung mit Berücksichtigung verschiedener Link-Eigenschaften benötigt, welche die geeigneten Pfade durch die einzelnen Netzsegmente findet und die geforderten Ressourcen in den Netzsegmenten erfragt. MPLS unterstützt zwei dieser Verfahren:

- Constraint-based Routing Label Distribution Protocol (CR-LDP)
- Resource Reservation Protocol Traffic Engineering (RSVP-TE)

Während CR-LDP hauptsächlich seine Anwendung in der ATM-basierten Architektur findet, wird RSVP-TE für die Router-basierte Architektur propagiert. Eine Zusammenarbeit zwischen den beiden Verfahren ist nicht spezifiziert und dürfte durch die unterschiedlichen Meldungstypen und Abläufe auch kaum realistisch sein.

Quality of Service

MPLS enthält verschiedene Ansätze von Qualitätsdefinitionen. Das Pipe Model und das Hose Model beziehen sich hauptsächlich auf die Art der Verbindung im MPLS-Netz. Unterstützt sind aber auch die Integration von Diffserv und Möglichkeiten zur Verhinderung von Verkehrsstauungen.

Pipe Model

Das Pipe Model (Bild 7) beschreibt QoS-Möglichkeiten, die auf festen Pfaden durch das MPLS-Netz beruhen. Das Pipe Model kann sowohl für CR-LDP wie auch für RSVP-TE verwendet werden. Jedem Pfad können entsprechende Verkehrsparameter wie Committed Data Rate (CDR), Peak Data Rate (PDR), Peak Burst Size (PBS) usw. zugeordnet werden. CR-LDP und RSVP-TE spezifizieren gegenseitig unterschiedliche Traffic-Parameter. Im Gegensatz zu ATM werden jedoch keine zeitbedingte Traffic-Parameter und keine QoS-Parameter spezifiziert.

Hose Model

Im Hose Model (Bild 8) oder auch Uniform Model wird lediglich der Eintritts- und der Austrittspunkt des Datenverkehrs im MPLS-Netz spezifiziert. Die einzelnen Datenströme zwischen zwei CERs sind im Netz nicht mehr explizit erkennbar. Die Priorisierung der Datenströme erfolgt vielmehr nach dem Prinzip von Diffserv, indem IP-Pakete anhand des Type-of-Service-Feldes unterschieden werden[2]. Definiert werden im Hose Model lediglich zwei Verkehrsparameter, die Ingress Committed Rate (ICR) und die Egress Committed Rate (ECR). Diese beiden Bitraten können einerseits durch die Access-Rate oder mittels eines Layer-2-Pfads festgelegt werden.

Diffserv in MPLS

MPLS definiert im Shim Header ein Experimental Field, das zur Unterstützung von verschiedenen Serviceklassen vorgesehen ist. Das Feld umfasst drei Bits, womit bis zu acht verschiedene Klassen oder Per Hop Behaviors (PHB) ermöglicht werden. Dagegen bietet das im IP-Header enthaltene synonyme Feld Type-of-Service eine Unterscheidung von bis zu 64 verschiedenen Serviceklassen. Eine genaue Zuordnung der Type-of-Service-Werte zum Experimental Field liegt derzeit nicht vor.

Die MPLS-Drafts erwähnen jedoch zwei Möglichkeiten zur Behandlung von PHBs:

- Experimental-LSP: Bis zu acht verschiedene Serviceklassen können direkt dem Experimental Field des MPLS-Shim-Headers oder umgekehrt vom Experimental Field dem Type-of-Service-Feld zugeordnet werden.
- Label-LSP: L-LSP bedient sich der Zuordnung von PHBs zu verschiedenen LSPs. Diese Möglichkeit wird angewendet, wenn die benötigte Anzahl von Serviceklassen (PHBs) grösser als acht ist oder bei Techniken ohne Shim Header wie ATM oder Frame Relay.

Signalisierung von Verkehrsstauungen

Zur Signalisierung von Verkehrsstauungen in einem MPLS-Netz werden in den Drafts zwei Szenarien skizziert. Während die Explicit Congestion Notification, ähnlich wie im Frame Relay ein Flag im Experimental Field zur Anzeige von Verkehrsstauungen benutzt, geht der zweite Ansatz von einer expliziten Signalisierung mittels RSVP Tunnel Congestion Message aus. Bei beiden Methoden ist zu vermerken, dass die Flusskontrolle von den höheren Schichten übernommen werden muss. Die Signalisierung dient lediglich dazu, den Sender bzw. die Quelle über den Verkehrsstau im Netz zu informieren.

Rerouting

Zur Wiederherstellung von Pfaden bei Netzausfällen werden in der MPLS-Architektur ebenfalls mehrere Möglichkeiten skizziert. Eine offizielle Unterteilung der Möglichkeiten existiert nicht, kann aber grob nach der Initialisierung der Wiederherstellungsprozedur erfolgen.
Initialisieren nach einem Fehler im Netz die Ingress-LER neue Pfade, wird von Head End Reroute Capability gesprochen. Der Ingress-LER aktualisiert aufgrund einer Topologieänderung seine Routingtabelle und berechnet einen neuen Weg durch das Netz. Anschliessend wird der neue Pfad durch das Netz signalisiert und aufgebaut.
In einem MPLS-Netz kennt jeder Router die Topologie des Netzes, indem er durch das Routing-Protokoll (BGP) Meldungspfade zu jedem im Netz verfügbaren Router unterhält. Werden unterbrochene Links und Router innerhalb des Netzes erkannt und durch Rerouting-Mechanismen überbrückt bzw. wiederhergestellt, spricht man von Fast Reroute. Neben den optimalsten Pfaden für die Forwarding Equivalence Class (FEC) kann sich ein LSR ebenso alternative Pfade für den Fall von Netzunterbrüchen merken. Das Prinzip des Fast Reroute with Constraint-based Routing beruht auf dieser Überlegung. Dazu benutzt Fast Reroute with Constraint-based Routing die Eigenschaften des Labelstack. Die Signalisierung zum Aufbau neuer Pfade erfolgt dabei nach CR-LDP oder RSVP-TE.

Virtual Private Networks (VPN)

Für MPLS-Netze sind verschiedene Prinzipien zur Realisierung von Network-based Virtual Private Networks (VPN) in Diskussion. Am weitesten fortgeschritten und von Router-Herstellern favorisiert dürfte der Ansatz von BGP/MPLS-VPN sein. Auch unter dem Namen Peer Model oder verbindungsloses VPN bekannt, verspricht das Prinzip eine skalierbare und einfache Lösung für den Netzbetreiber. Im Gegensatz zum Overlay Model, das IP über Layer-2-Techniken wie Frame Relay oder ATM definiert, werden durch das Peer Model die VPNs vollständig auf Layer 3 definiert. Das Peer Model weist folgende Eigenschaften auf:

- Jedes VPN isoliert Routing und Forwarding der Daten zu anderen Netzen (VPNs).
- Skalierbarkeit, bis 2^{32} virtuelle Netze möglich.
- Geeignet für private Netzadressierung.
- Für den Benutzer sind keine Kenntnisse über die VPN-Technik notwendig.
- Flexibel und leichte Erweiterungsmöglichkeiten.
- Verbindungsloses VPN, da keine fest geschalteten Pfade im Netz.

Ein wichtiger Bestandteil eines BGP/MPLS-VPNs bilden die erweiterten IP-Adressen, die so genannten VPN-IP-Adressen. Mit einem ergänzten Route Distinguisher von 64 Bits erlangen die IPv4-Adressen Einzigartigkeit in einem MPLS-Netz.
Zur vollständigen Trennung der Datenströme wird in jedem LER für jedes von ihm unterstützten VPN eine eigene Forwarding-Tabelle[3] unterhalten. Je nach angeschlossenen Kunden und deren Zugehörigkeiten zu den VPNs kann dies für den LER von einer einzigen Forwarding-Tabelle bis zur Anzahl der administrierten IP-Adressen separate Forwarding-Tabellen bedeuten. Beim Eintreffen von IP-Paketen am LER-Eingangsport muss demnach der LER entscheiden, welche der

[2] Siehe folgender Abschnitt Diffserv in MPLS.

[3] Auch Forwarding Information Base (FIB) genannt.

eingerichteten Forwarding Table für das VPN zuständig ist.

Operation-, Administration- und Maintenance-Funktionen (OAM)

MPLS stellt auch einen Draft zur Unterstützung von Operation-, Administration- und Maintenance-Funktionen bereit. Das Prinzip beruht ähnlich der ATM-Technik auf eigenständigen OAM-Meldungen, die mit einem bestimmten Label-Wert gekennzeichnet werden. Unterstützt werden im ersten Draft Verbindungsverifikation, Erkennung von Pfadfehlern und Performance-Messungen. Die OAM-Funktionalitäten von MPLS sind Layer-unabhängig und funktionieren deshalb mit MPLS unter- und überliegenden Protokollschichten entsprechend unterschiedlich.

Ausblick

Für den Netzbetreiber zeigt sich der Nutzen der MPLS-Technik hauptsächlich in der Erweiterung bestehender Router- und ATM-Netze (Skalierbarkeit) und in der einfachen Realisierung von IP-VPN-Services im Netzwerk selbst. Diese Eigenschaften erlauben es ihm auch, der grossen Nachfrage nach Internet-Zugängen nachzukommen und dabei die Voice-Plattformen vom Internet-Verkehr zu entlasten.

Mehr Schwierigkeiten dürfte die Einführung des Traffic Engineering und der QoS-Unterstützung mit sich bringen. Verschiedene Ansätze von Signalisierungen und Traffic-Parametern konfrontieren den Netzbetreiber mit einer Vielzahl von Möglichkeiten.

Die Ausrichtung der zwei grundverschiedenen Architekturen (ATM-basierte Architektur und Router-basierte Architektur) lässt davon ahnen, dass die Debatten um die Einsatzgebiete zwischen Switching (ATM) und Routing (IP) längst nicht beendet sind, sondern unter dem Deckmantel MPLS still fortgeführt werden. Die schwer unter einem einfachen Netzkonzept zu vereinenden Techniken ATM und IP scheinen auch mit MPLS weiterhin auseinander zu driftend. Der Netzbetreiber steht damit auch mit MPLS vor der alten Entscheidung «ATM versus IP».

Die Frage stellt sich heute, ob ATM in dieser zweiten «IP versus ATM»-Runde – nicht zuletzt auch wegen UMTS – bei vielen Netzbetreibern wieder an Sympathie gewinnen wird, denn IP/MPLS steht heute in Sachen QoS da, wo ATM vor einiger Zeit zu scheitern drohte, nämlich an der hohen Komplexität, multimediale Dienste mit hoher Güte für eine grosse Anzahl von Kunden auf einem einzigen Netz anzubieten.

MPLS entwickelt sich aber auch weiter. Mit Multiprotocol Lambda Switching (MPLambdaS) und Generalized MPLS (GMPLS) sind Erweiterungen der MPLS Control Plane vorgeschlagen, sodass auch Time-Division Multiplex, Wavelength Switching und Spatial Switching unterstützt werden. [4, 6]

Unter der Hochschulpartnerschaft für Nachdiplomausbildung «eduswiss» entstand im April dieses Jahres die Abschlussarbeit «MPLS in Carrier-Netzen». Mitwirkende dieser Arbeit waren ***Christoph Utiger,*** *Swisscom AG (Verfasser der Arbeit) und* ***Hans Weibel,*** *Zürcher Hochschule Winterthur sowie* ***Michel Rast,*** *Ecole d'ingénieur de Fribourg (Betreuung und Expertise).*

Im vorliegenden Bericht «MPLS versus MPLS» wurden von Hans Weibel und Christoph Utiger die wesentlichen Erkenntnisse dieser Arbeit zusammengestellt. Ein Ausblick der MPLS-Technik mit den aktuellsten Entwicklungen runden den Bericht ab.

Literatur

MPLS: Technology and Applications, Bruce Davie, Yakov Rekhter, ISBN 1-55860-656-4.

Links zu MPLS

MPLS-Resource-Center: www.mplsrc.com

MPLS-Forum: www.mplsforum.org

Eduswiss-Diplomarbeit: MPLS in Carrier-Netzen: www.b-isdn.ch/mpls

The Internet Engineering Task Force: www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html

Multiprotocol Label Switching Architecture: www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt

International Telecommunication Union: www.itu.int

Nortel Networks: www.nortelnetworks.com/mpls

Cisco Systems: www.cisco.com

Protocols for LAN, WAN and ATM: www.protocols.com

Summary

MPLS versus MPLS

Exponential growth in Internet users and Internet traffic and a general increase in the importance of the Internet Protocol (IP) are prompting a large number of telecoms carriers to build a universal IP transport platform. Such a network is under growing pressure to provide new transmission characteristics and verifiable service features to meet the needs of a broad new range of business and residential applications. Multiprotocol Label Switching (MPLS), currently in the standardisation phase, looks set to offer a flexible solution for overcoming present-day constraints in the Internet Protocol in the areas of scalability, traffic engineering, quality of service (QoS) and virtual private networks (VPN). This summary describes how MPLS operates and how it can be deployed in the carrier area in conjunction with other technologies. It also presents the key properties of MPLS technology and network architectures.

Abkürzungen

ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
ATM	Asynchronous Transfer Mode
BGP-4	Border Gateway Protocol Version 4
CDR	Committed Data Rate
CER	Customer Edge Router
CR-LDP	Constraint-based Routing Label Distribution Protocol
CSPF	Constraint Shortest Path First
DNS	Domain Name Service
DPT	Dynamic Packet Transport
DSLAM	Digital Subscriber Line Access Multiplexer
DWDM	Dense Wavelength Division Multiplexing
ECR	Egress Committed Rate
FEC	Forwarding Equivalence Class
ICR	Ingress Committed Rate
IETF	Internet Engineering Task Force
IGP	Internal (Interior) Gateway Protocol
IP	Internet Protocol
IPv4	Internet Protocol Version 4
IPv6	Internet Protocol Version 6
IPX	Internet Packet Exchange
IS-IS	Intermediate System to Intermediate System
LAN	Local Area Network
LC-ATM	Label Controlled ATM Interface
LDP	Label Distribution Protocol
LER	Label Edge Router
LSP	Label Switched Path
LSR	Label Switching Router
MPLS	Multiprotocol Label Switching
OAM	Operation, Administration and Maintenance
OSPF	Open Shortest Path First
PBS	Peak Burst Size
PDR	Peak Data Rate
PHB	Per Hop Behavior
PIM	Protocol Independent Multicast
PoS	Packet over Sonet
PPP	Point to Point Protocol
QoS	Quality of Service
RFC	Request for Comment
RIP	Routing Information Protocol
RSVP	Resource Reservation Protocol
RSVP-TE	Resource Reservation Protocol Traffic Engineering
SDH	Synchronous Digital Hierarchy
SONET	Synchronous Optical Network
SPF	Shortest Path First
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol
UDP	User Datagram Protocol
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
xDSL	x Digital Subscriber Line; x = asymmetrical, very high bit rate

Das interplanetarische Internet kommt

Einer der Pioniere des Internets, Vint Cerf, hat zusammen mit dem Jet Propulsion Laboratory JPL in Pasadena (Kalifornien) begonnen, einen «Interplanetary Internet Protocol Standard» zu entwickeln. Darüber berichtete die amerikanische Zeitschrift «Wired». Cerf ist Chairman of the Board der Internet Corporation for Assigned Names and Numbers (ICANN) und alles andere als ein Fantast: Das neue Übertragungsprotokoll soll 2003 fertig sein, wenn auf dem Mars zwei neue Landfahrzeuge zur Erforschung des Planeten abgesetzt werden. Das geplante Übertragungsprotokoll könnte auch dazu dienen, die Kommunikation zwischen zwei Raumfahrzeugen oder zwischen Satelliten zu koordinieren. Also sichern Sie sich eine Internet-Adresse auf dem Mars. Und was das JPL betrifft: Es ist eine von der NASA finanzierte Einheit des California Institute of Technology (CalTech).

Ein US-Flop: Internet auf Starkstromleitungen

Was in Deutschland, Brasilien oder Korea längst eingeführt ist (wenngleich noch nicht als Marktdurchbruch bezeichnet), verläuft in den USA praktisch im Sande: Das Internet über Hochspannungsleitungen kommt dort aus den Startlöchern nicht heraus. Dabei wäre das Potenzial in den USA vorhanden, zumal sich ohne Probleme ein Datentransfer mit 2 Mbit/s anbietet, also auch Fernsehübertragung möglich wäre. Hier zeigt sich nach dem verspäteten Einstieg in das digitale Mobilfunkgeschäft einmal mehr, dass in den USA ein Nachholbedarf an moderner Kommunikationstechnik besteht.

Zu viel Glasfasern?

In den USA kommen erste Zweifel auf, ob sich die Investitionen in die Glasfasertechnologie denn lohnen. Das finanzielle Kürzertreten des Weltprimus Corning Glass Inc. hat diese Einstellung offensichtlich gefördert. Fakt aber ist, dass die Wachstumsraten in der Telekommunikation nur kurzzeitig durch Wirtschaftsstagnation aufgehalten werden: Der Telefonverkehr nimmt nach Aussagen des Massachusetts Institute of Technology (MIT) zwar nur mit 4% p. a. zu, die von der Glasfaser profitierenden Breitbanddienste aber mit 50% p. a. Noch ist hier die Ausgangsbasis viel kleiner, aber das ändert sich derzeit rasch, wenn auch unter gewissen Schwankungen. Dieses Auf und Ab ähnelt dem in der Halbleiterbranche – jedoch liegen auch in der Telekommunikation die langfristigen Wachstumsraten deutlich über dem, was selbst starke Volkswirtschaften an Wachstum in der Breite generieren können. In Deutschland hatte man nach der Wiedervereinigung 1990 das Kommunikationsnetz in den neuen Bundesländern weitgehend auf Glasfaserbasis erneuert – mit dem Erfolg, dass Deutschland heute zu den am besten für Breitbanddienste ausgerüsteten Ländern der Erde zählt.