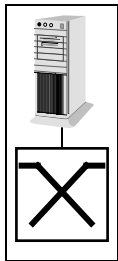


Netze und Protokolle für das Internet



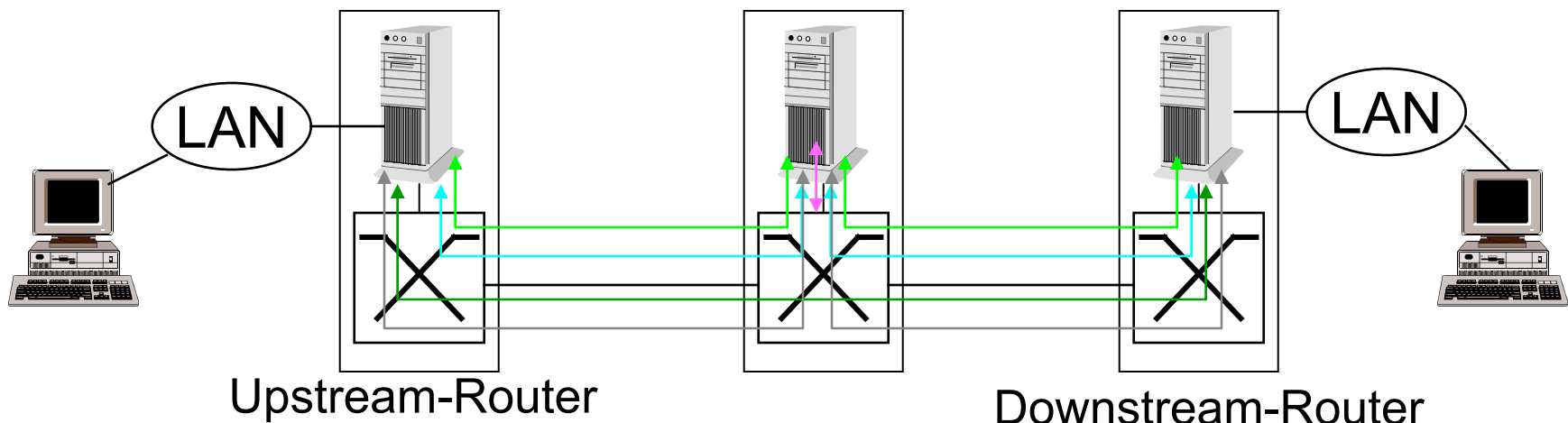
4. Multiprotocol Label Switching

Inhalt

- IP Switching
 - Ipsilon IP Switching
 - Topologie-basiertes IP Switching
- Multiprotocol Label Switching
 - Forwarding Equivalence Class u. Next-Hop Label Forwarding Entry
 - MPLS Paketverarbeitung
 - MPLS Label Stack
 - MPLS und ATM
 - Label Distribution Protocol
 - MPLS-Anwendungen
 - Traffic Engineering
 - Signalisierung
 - QoS-Unterstützung
 - MPLS Rerouting
 - Erkennung von Fehlern und Ausfällen

Ipsilon IP Switching

- zunächst: Routing über Default-Pfad
- Router identifiziert Fluss, etabliert für diesen einen speziellen **ATM-VC** zum Upstream-Router und signalisiert dies via **IFMP**
 - Ipsilon Flow Management Protocol (RFC1953/4)
- Downstream-Router etabliert analog einen **ATM-VC**
- Router klebt beide VCs zusammen (**GSMP**) → **Short-Cut ATM-VC**
 - Generic Switch Management Protocol (RFC1987)
- Skalierbarkeitsproblem wegen feiner Granularität



Topologie-basiertes IP Switching

- Skalierbarkeits-Problem von Ipsilon IP Switching
→ Topologiebasierte Ansätze
 - Cisco Tag Switching
 - IBM Aggregated Route-based IP-Switching
- Short-Cuts für aggregierte Flüsse,
z.B. für alle Flüsse zwischen Subnetzen
- Harmonisierung der Hersteller-spezifischen
Vorschläge: **Multiprotocol Label Switching (MPLS)**

Multiprotocol Label Switching

- Lösung für beliebige Netztechnologien (auch LANs)
- basiert auf Trennung der IP-Router-Funktionalität in
 - Forwarding: Weiterleiten von Datenpaketen (mit Label Swapping)
 - Control: Routing-Protokolle, Signalisierung, Management
- Label: kurze, IP-unabhängige Kennung, z.B.
 - Schicht-2-Informationen (ATM VPI/VCI)
 - Shim-Header (Header zwischen IP- und Schicht-2-Header)
- Label Swapping:
 - Table-Lookup zum Bestimmen der Route und des neuen Labels (vgl. ATM)
- Label Switching Routers (LSR) leiten Pakete entlang eines unidirektionalen Label Switched Path (LSP) weiter.
- Hauptanwendung: Virtuelle Private Netze

FEC und NHLFE

▪ Forwarding Equivalence Class (FEC)

- Gruppe von Paketen, die in gleicher Art und Weise über eine Teilstrecke weitergeleitet werden
- grobe FEC
 - Beispiel: alle Pakete mit gleichem Zieladresspräfix
- feine FEC
 - Beispiel: Pakete der gleichen Anwendung

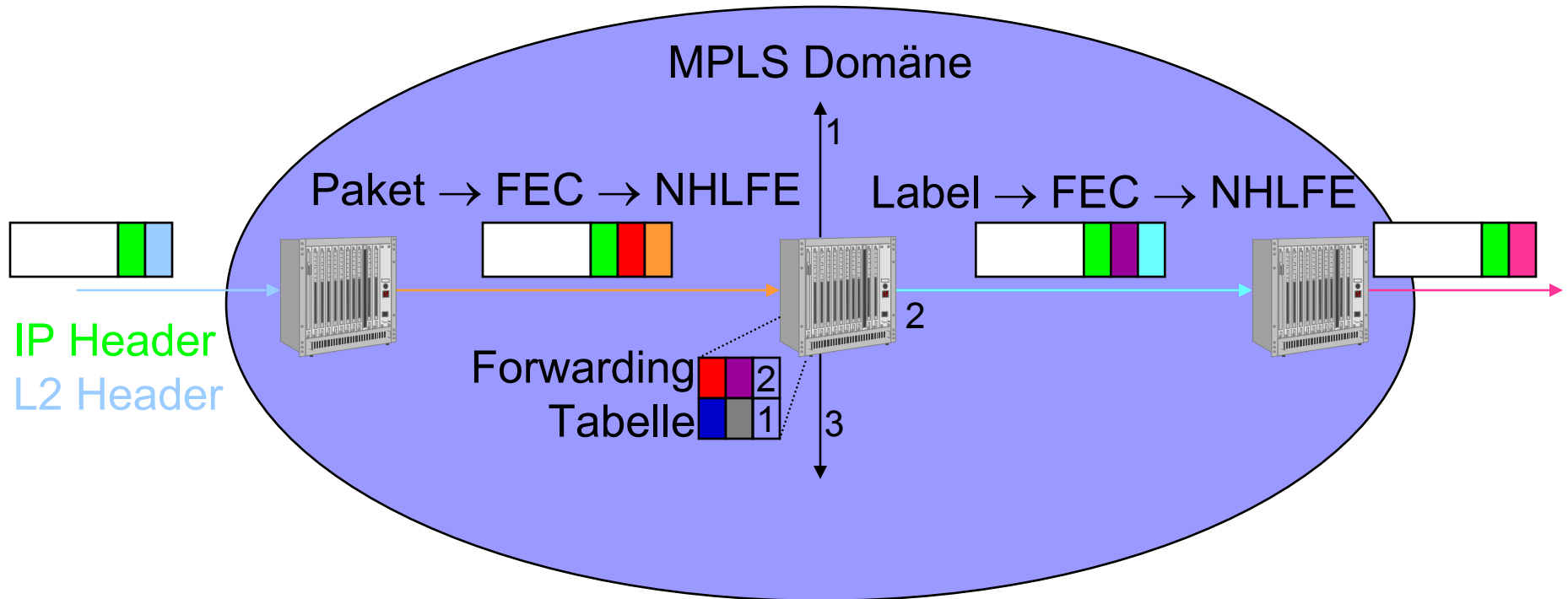
▪ Next-Hop Label Forwarding Entry (NHLFE)

- Ausgangs-Interface (nächster Knoten)
- Ausgangs-Label
- Label-Stack-Operation
 - push
 - pop
 - swap
- optional:
 - Schicht-2-Einkapselung
 - Ressourceninformationen
 - weitere Paketverarbeitungsoptionen, z.B. DiffServ-Kontext

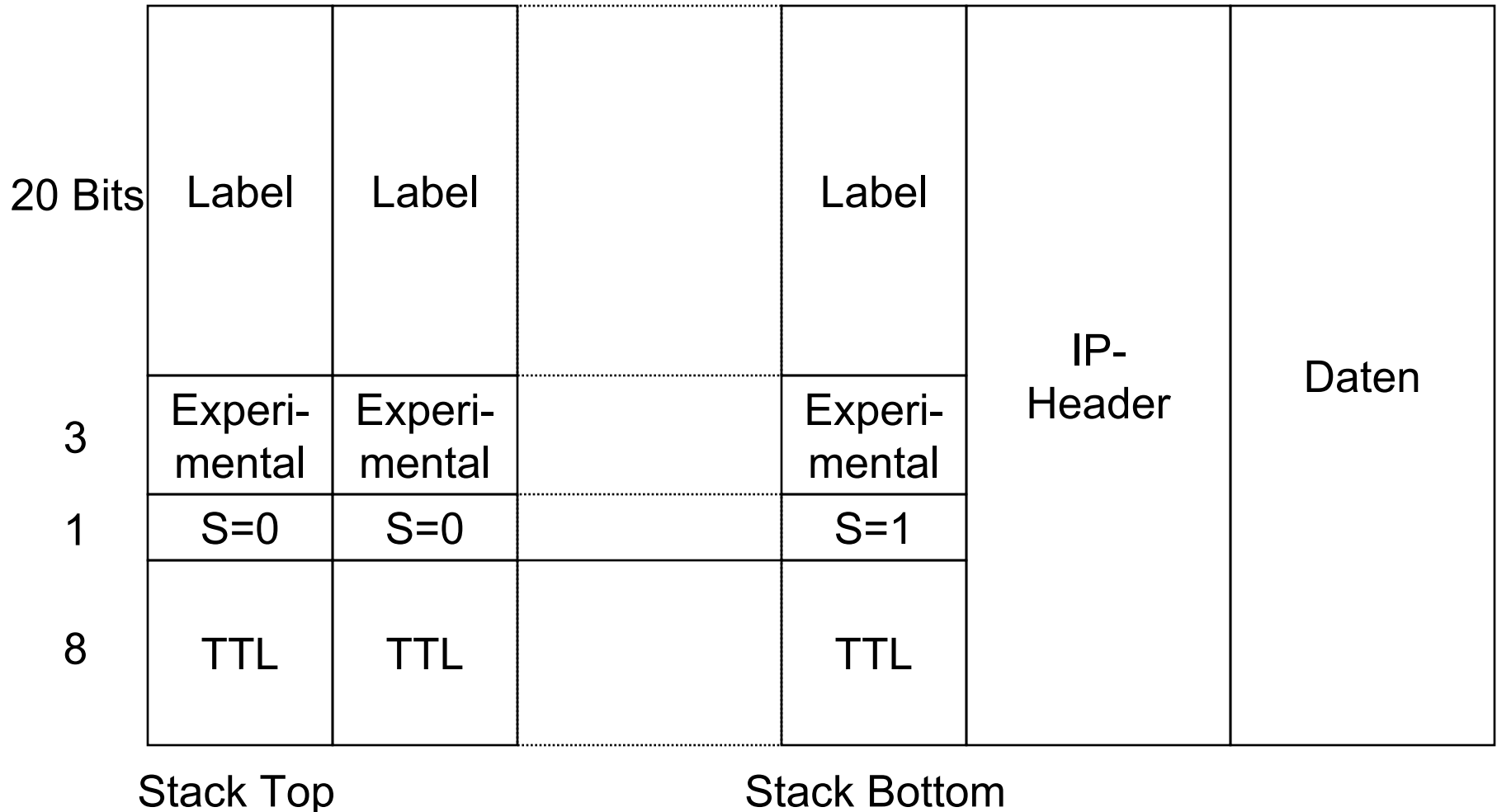
MPLS Paketverarbeitung

- Pakete treten in eine MPLS-Domäne ein
 - Abbildung: Paket → FEC → NHLFE
(Paketklassifikation)
- Pakete innerhalb einer MPLS-Domäne
 - Abbildung: Label → FEC → NHLFE
- Label-FEC-Bindungen bei LSRs
- Mehrere NHLFEs pro FEC
 - Lastausgleich: alternierende Benutzung von LSPs
 - Redundante NHLFEs: schnelles Rerouting

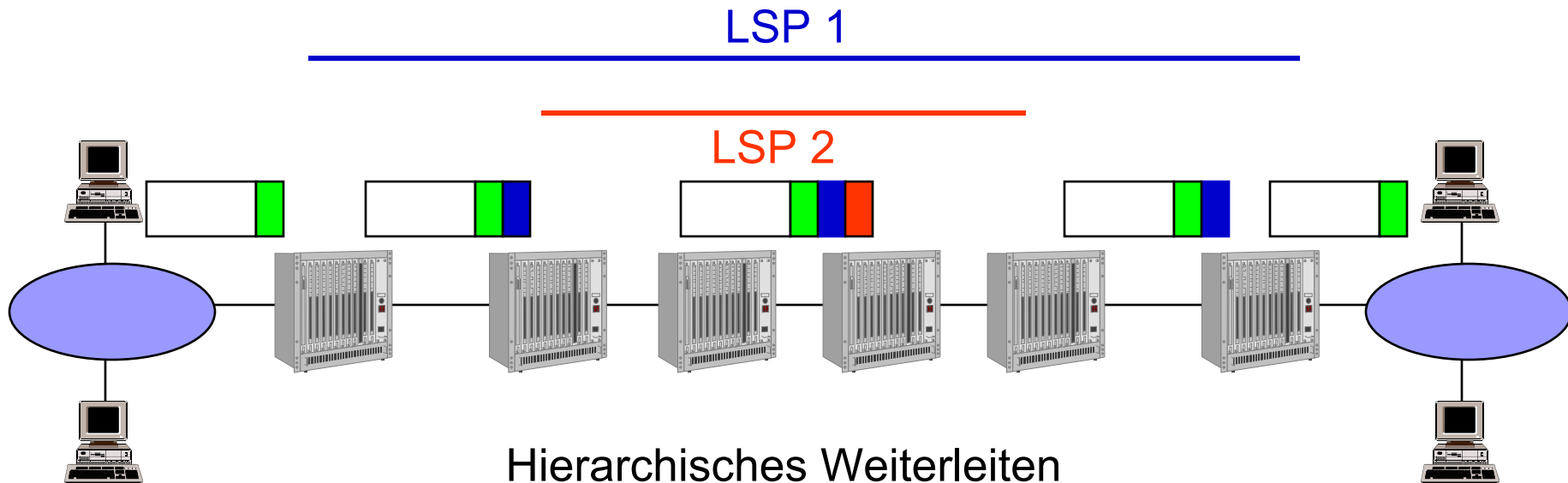
MPLS Beispiel



MPLS Label Stack

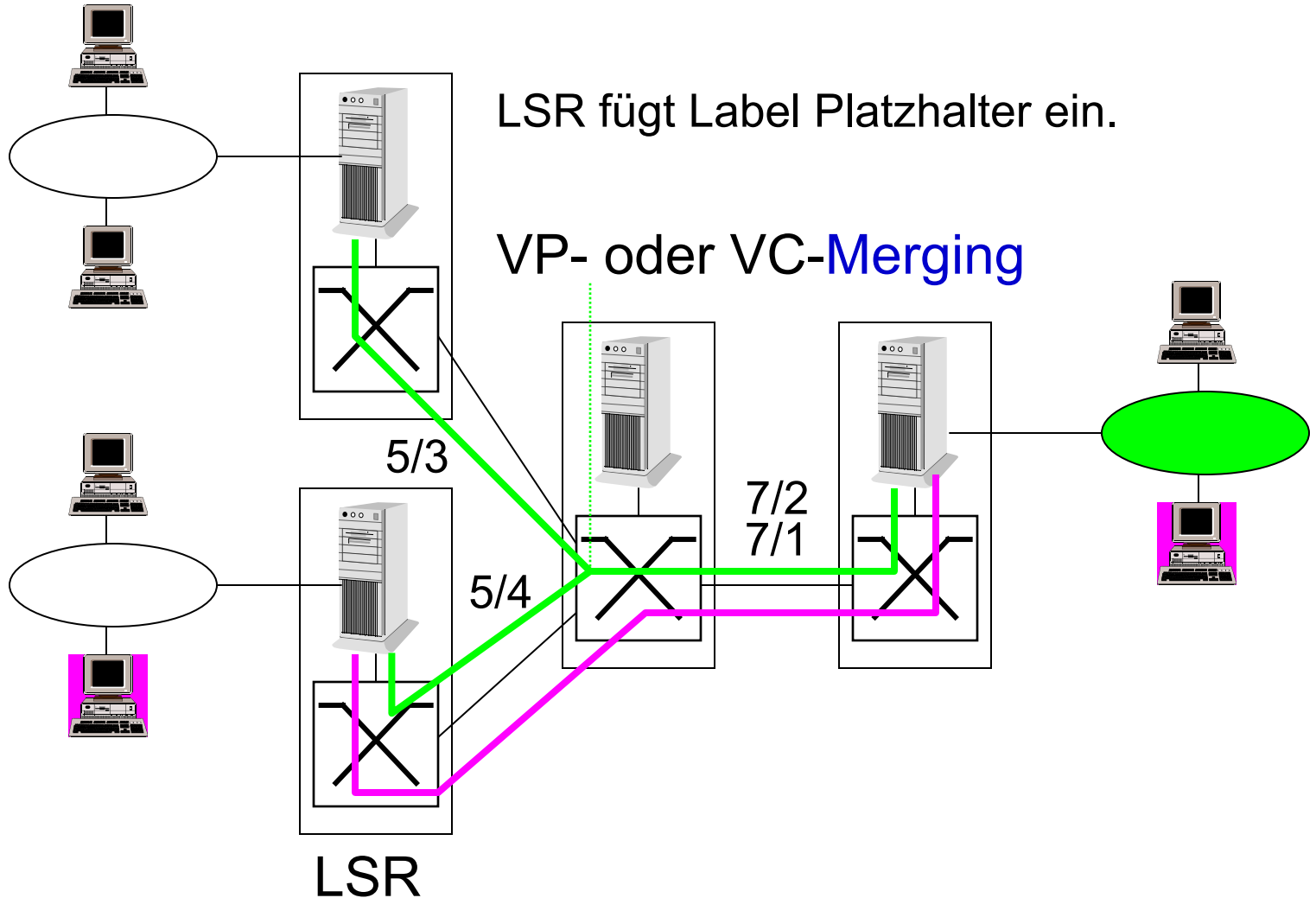


Label-Stacking



Hierarchisches Weiterleiten

MPLS und ATM



Etablieren von LSPs

- control-driven (hop-by-hop) LSPs
 - Jeder LSR bestimmt das nächste Interface für einen LSP basierend auf seiner IP-Forwarding-Tabelle.
 - Label Distribution Protocol (LDP) zur Signalisierung
 - Label Requests/Mapping an/vom nächsten Knoten
- explicitly (constrained-based) routed LSPs (CR-LSPs)
 - Etablieren und Steuern eines LSPs zwischen Label Edge Routern (LER)
 - Strict / Loose Route Specification
 - Spezifikation von mit einem LSP verbundenen QoS-Parametern
 - Signalisierungsprotokolle
 - CR-LDP
 - RSVP-TE

Label Distribution Protocol (LDP)

- Discovery-Nachrichten
 - zeigen Existenz eines LSR an.
 - Hello
- Session-Nachrichten
 - etablieren und erhalten LDP-Sitzungen aufrecht.
 - Initialization, Keep Alive
- Notification-Nachrichten
 - für Fehlernachrichten und Anzeigen
 - Notification
- Advertisement-Nachrichten
 - Address, Address Withdraw
 - Anzeige und Zurückziehen von Interface-Adressen
 - Label Mapping, Label Request, Label Withdraw
 - Anzeige, Anforderung, Zurückziehen von Label-Bindungen (FEC ↔ Label)
 - Label Abort Request
 - Abbruch einer unbeantworteten Label Request Nachricht
 - Label Release
 - Anzeige, dass zuvor angeforderte Label-Bindungen nicht mehr benötigt werden

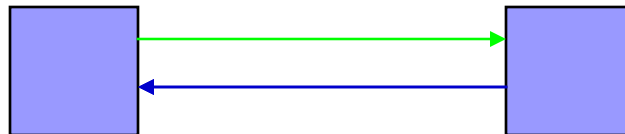
LDP-Sitzungen

LSRs

- entdecken sich gegenseitig durch HELLO-Nachrichten
- etablieren TCP-Verbindungen
- initialisieren Parameter
 - Label-Verteilungsmethode
 - Zeitgeberwerte
 - Label-Bereiche
- erhalten LDP-Sitzungen mit Keep-Alive-Nachrichten aufrecht.

Label-Ankündigung

- Labels fließen in entgegengesetzter Richtung wie die Daten.
- Optionen
 - Downstream Unsolicited Label Advertisement
 - Downstream-LSR sendet **Label Mapping** ohne explizite Aufforderung an Upstream-LSR
 - Downstream-On-Demand Label Advertisement
 - Upstream-LSR fordert mit **Label Request** den Downstream-LSR auf, ein Label zu selektieren und eine **Label Mapping** Nachricht zurückzusenden.



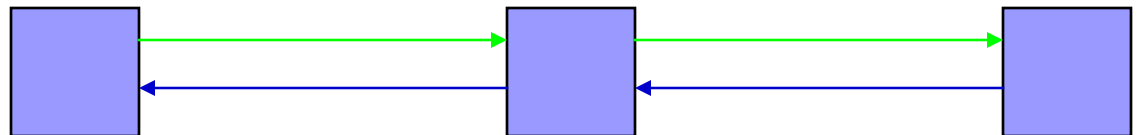
LSP Setup Steuerung

▪ Unabhängige Steuerung (independent control)

- LSR kann Label Mappings jederzeit verteilen.
- Schnelles Aufsetzen von LSPs
- Schleifenvermeidung notwendig

▪ Geordnete Steuerung (ordered control)

- Egress-Router initiiert Label-Verteilung.
- LSR kann Label Mappings an Upstream LSR nur dann senden, wenn er von seinem Downstream LSR bereits ein Label erhalten hat.
- für explizite Wegewahl



Label Verteilungsoptionen

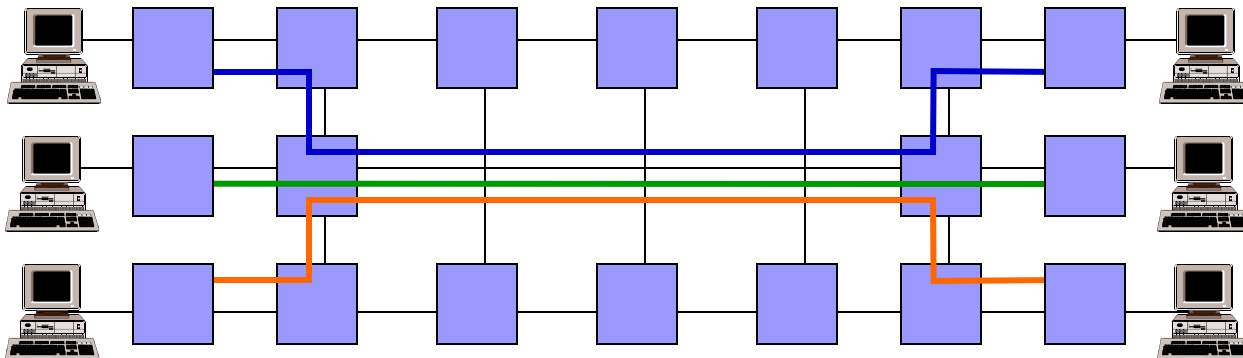
- Downstream Unsolicited Independent Control
- Downstream Unsolicited Ordered Control
- Downstream On Demand Independent Control
- Downstream On Demand Ordered Control

MPLS-Anwendungen

- Traffic Engineering
 - Problem: Shortest-Path Routing führt zu Überlastungen von bestimmten Links während andere unbelastet bleiben.
 - Etablieren von LSPs für bestimmte (aggregierte) Flüsse
- Lastausgleich
 - Etablieren von mehreren LSPs für eine FEC
 - Wechseln zwischen LSPs
- Virtuelle Private Netze
 - Weiterleiten zwischen Subnetzen basierend auf Label
 - Ersatz für IP-in-IP-Tunnels
- Dienstgütenunterstützung
 - Ressourcenreservierung (DiffServ, ATM) für bestimmte LSPs
- Umleiten bei Linkausfällen
 - Etablieren von mehreren LSPs für eine FEC und Umschalten zwischen NHLFEs bei erkannten Fehlern
 - Etablieren von Bypass LSPs und Erhöhen des Label-Stacks

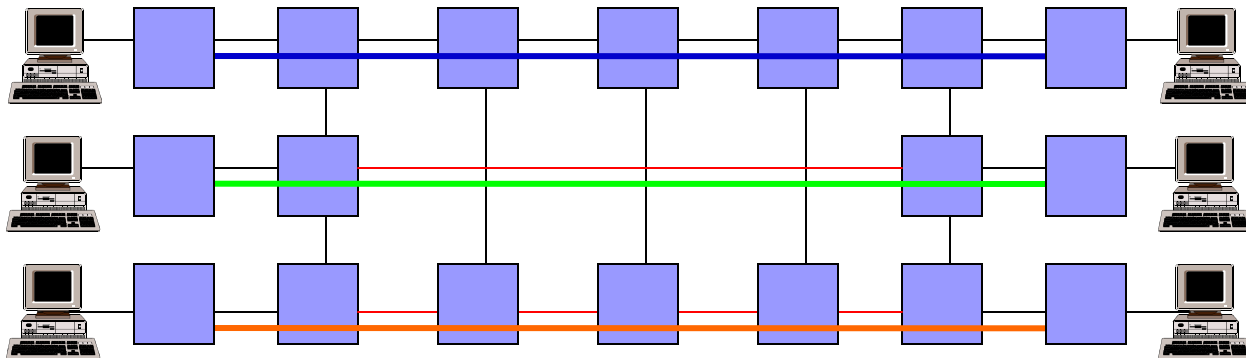
Traffic Engineering

- = Prozess, den Verkehr durch ein Netz so steuern, dass die Ressourcennutzung und die Leistung optimiert werden.
- Problem
 - Shortest-Path-Routing führt zu Staus auf bestimmten Links während andere gering belastet bleiben.
 - Lösungsansätze
 - Schnellere Router und Links
 - Overlay-Modell
 - Modifikation von Routing-Protokoll-Parametern (z.B. OSPF Link Weights)
 - Lastverteilung, z.B. durch MPLS LSPs für aggregierte Flüsse



Traffic Engineering mit MPLS

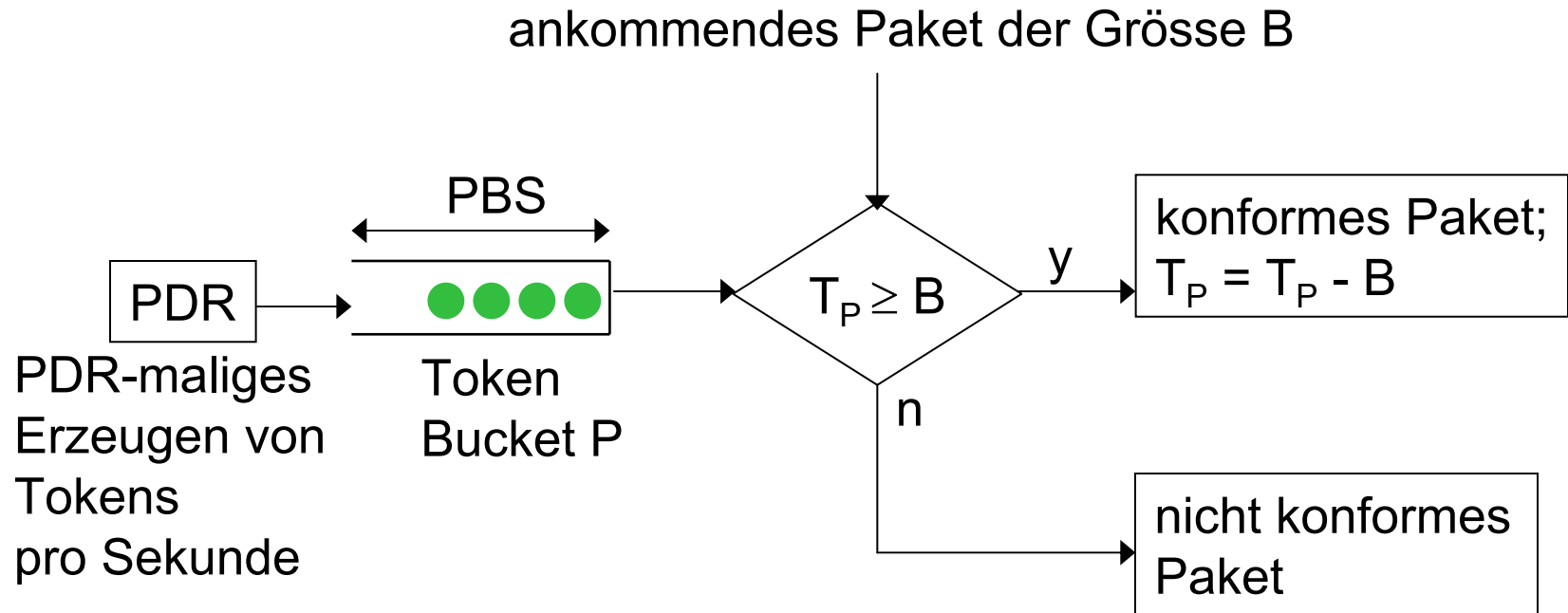
- Bilden einer Netzkarte mit Kapazitätsinformationen
 - Erweiterung von Routing-Protokollen, um Kapazitätsinformationen zu verteilen
 - Netzmanagement (Messung / Monitoring)
- Constrained-based Routing
 - Ausblenden von Links, die Bedingungen (Constraints) nicht erfüllen
 - Auswahl des kürzesten Pfads der verbleibenden Topologie
- Aufsetzen von “constrained-based routed LSPs” zwischen Ingress- und Egress-Router



CR-LDP

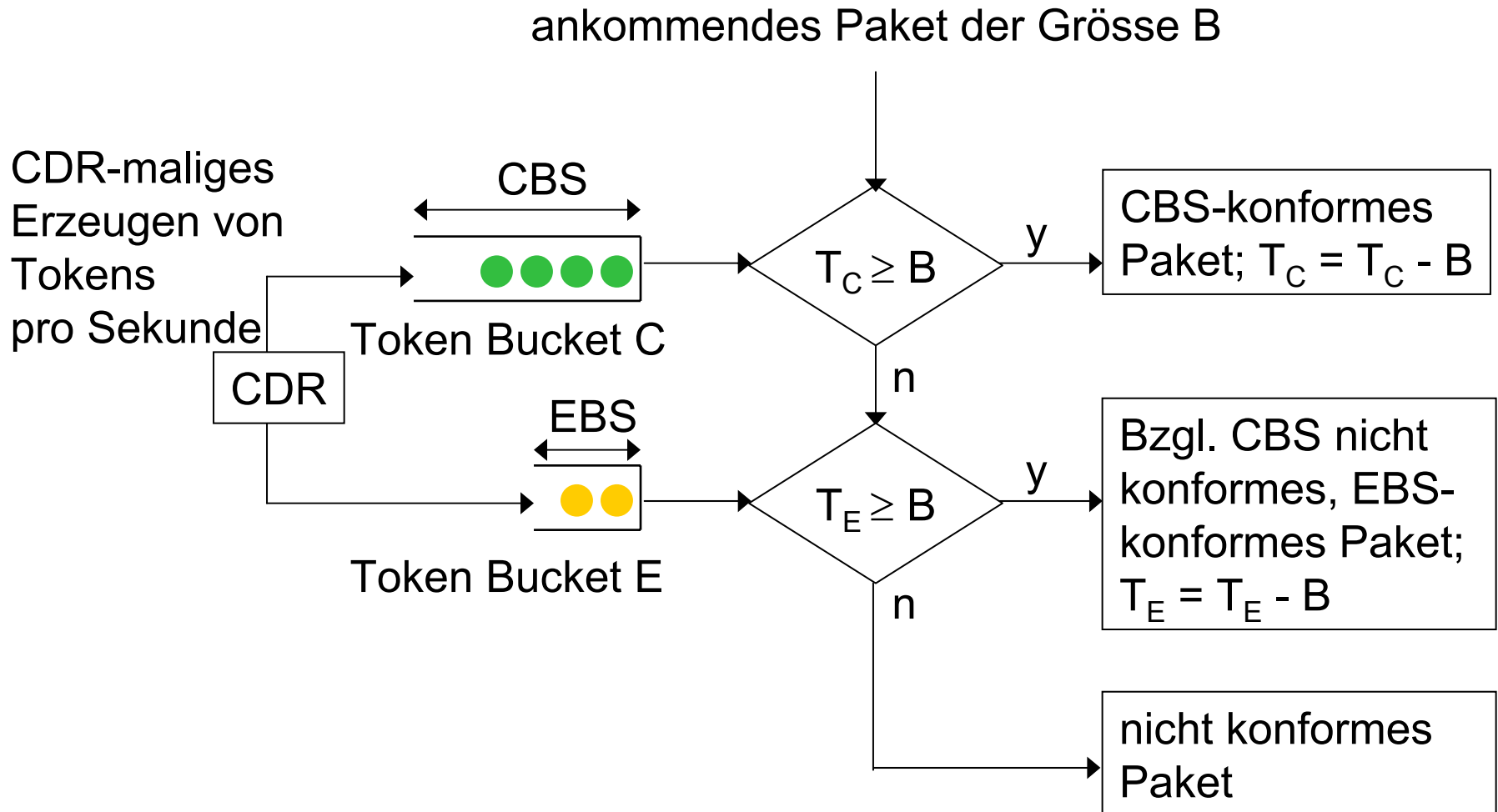
- Hard-state
- Aufsetzen von Pfaden
 - Strict, Loose, Loose Pinned
- Make-before-break Pfadoptimierung
- LDP-Erweiterungen
 - Explicit Route TLV (Knotenmenge zur Pfadspezifikation)
 - Traffic Parameters TLV für DiffServ- und ATM-Dienste
 - Peak Rate Token Bucket
 - Peak Data Rate (PDR)
 - Peak Burst Size (PBS)
 - Committed Data Rate Token Bucket (vgl. DiffServ single rate three color marker)
 - Committed Data Rate (CDR)
 - Committed Burst Size (CBS)
 - Excess Burst Size (EBS)
 - Route Pinning TLV

Peak Rate Token Bucket



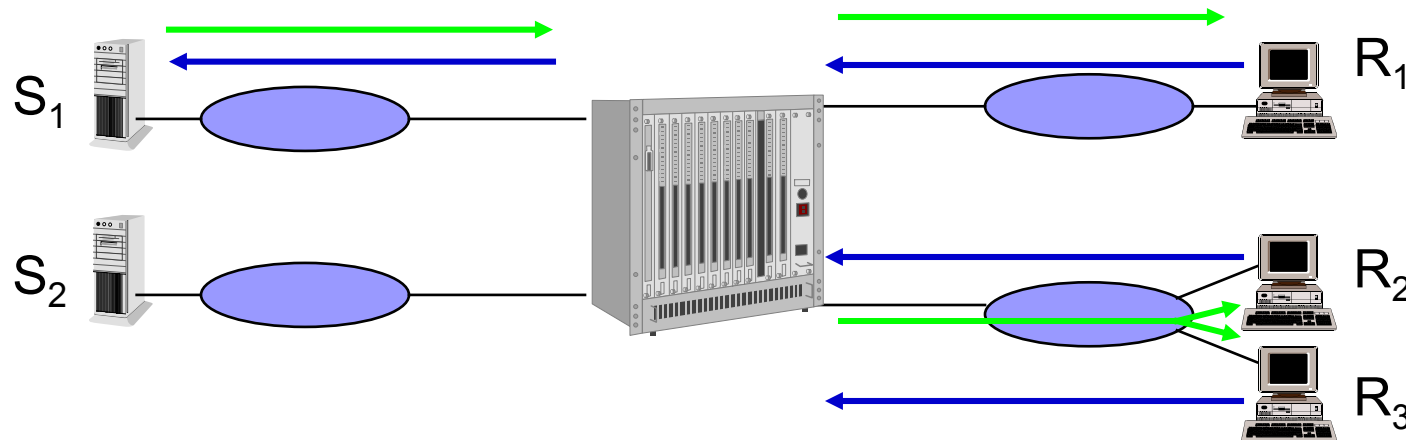
Traffic Conditioning Aktionen hängen von MPLS Domäne ab.

Committed Data Rate Token Bucket



Resource Reservation Protocol (RSVP)

- Anzeige der Sitzungsparameter durch **Pfadnachrichten** an Empfänger.
- Empfänger senden periodisch **Reservierungsnachrichten**.
- Router reservieren Ressourcen basierend auf Reservierungsnachrichten.
- Verschmelzen von Reservierungen



RSVP-TE

- Soft-state
- erfordert periodische Auffrischungen
- RSVP wird erweitert durch neue Objekte
 - zur Unterstützung von Downstream-on-demand Label Distribution (LABEL_REQUEST in PATH, LABEL in RESV)
 - zum Etablieren expliziter Routen (EXPLICIT_ROUTE in PATH)
 - zum Aufzeichnen von Routen in PATH/RESV (RECORD_ROUTE)
- Sender
 - erzeugt PATH und fügt LABEL_REQUEST-Objekt ein
- Empfänger
 - antwortet mit RESV inklusive LABEL-Objekt zur Anzeige des für die Identifikation des Verkehrs verwendeten Labels

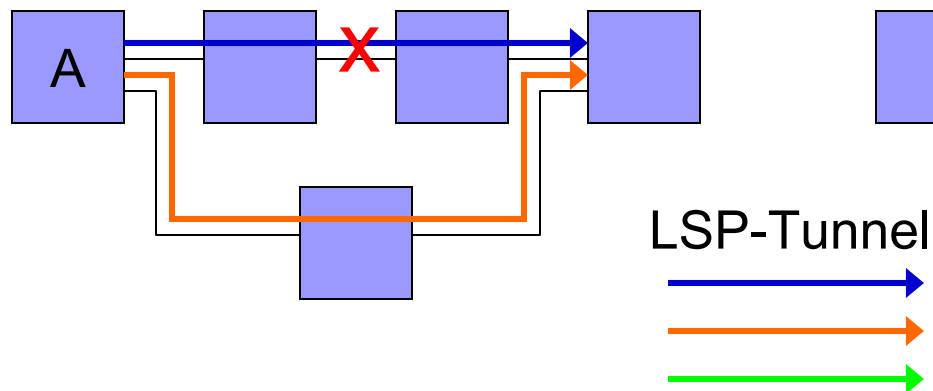
MPLS Rerouting

- Schnelles Rerouting
 - Minimierung von Ausfällen durch Splicing oder Stacking
- Optimiertes Rerouting
 - erneutes Optimieren von Verkehrsflüssen aufgrund von Topologieänderungen
 - Anfang eines LSP (Ingress LER) berechnet und etabliert optimierten LSP
 - Gründe für Rerouting
 - Fehlernachricht an LSP-Anfang
 - Verkehrsmonitoring durch LSP-Anfang
 - Make-before-break

Schnelles Rerouting

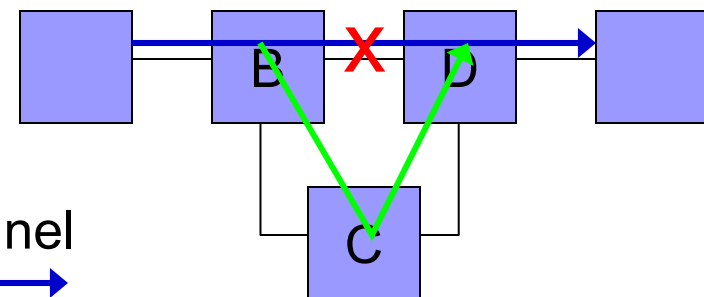
▪ Splicing

- Etablieren eines alternativen Bypass-LSPs (für Pfad) im voraus
- A wählt **Bypass-LSP** nach Fehlererkennung aus.



▪ Stacking

- **Bypass-LSP** für einen Link wird erzeugt (ggf. im voraus)
- B führt Label-Push-Operation durch
- C führt Label-Pop-Operation durch
- D empfängt Paket mit erwartetem Label



Erkennung von Fehlern und Ausfällen

- Fehlererkennung basierend auf IP-Level-Protokollen (z.B. OSPF oder LDP Hello/Fehler-Nachrichten) ist relativ langsam, speziell für Pfade.
⇒ Untere Schichten, z.B. SONET, sollten Fehlerinformation und Alarme an IP/MPLS zur Verfügung stellen.
→ **Bottom-up Eskalation**
- Untere Schichten können Fehler auf höheren Schichten nicht, z.B. IP-Router-Ausfall, nicht erkennen.
→ **Top-Down Eskalation**