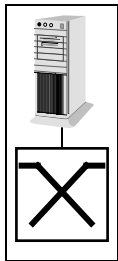


Netze und Protokolle für das Internet

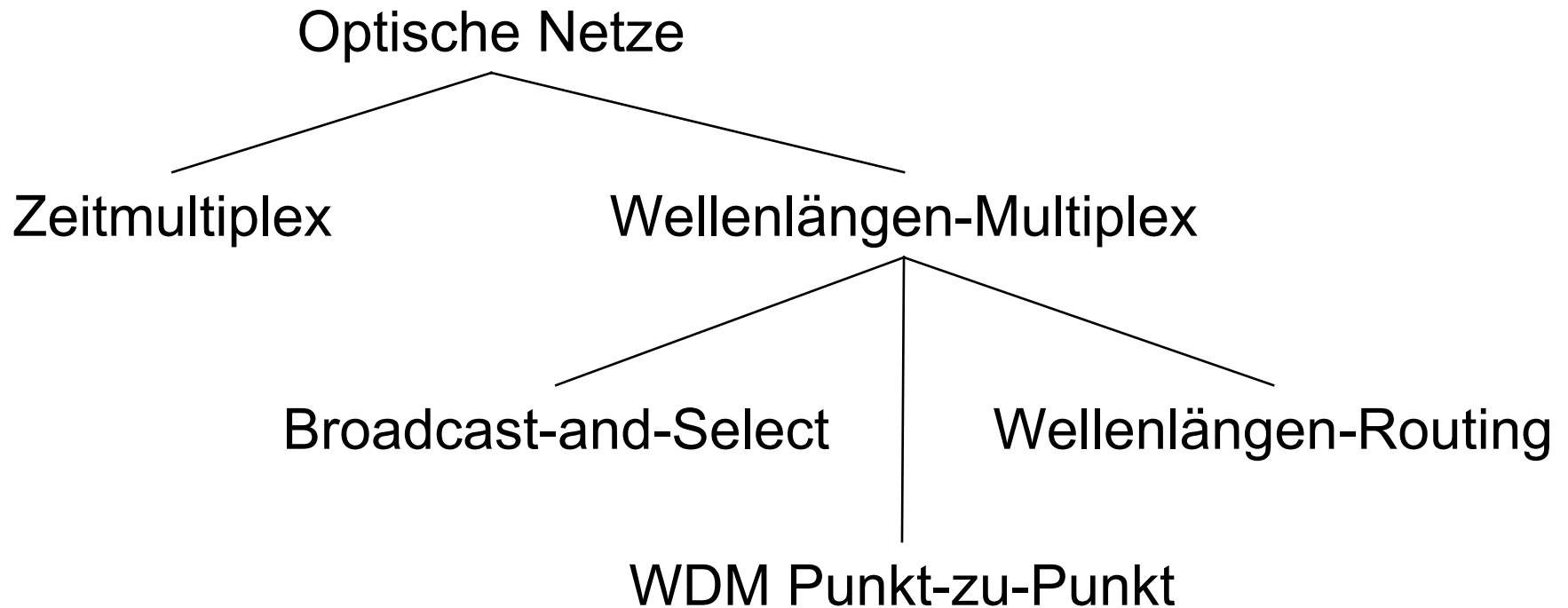


5. Optische Netze der nächsten Generation

Inhalt

- Wavelength Division Multiplexing (WDM)
- Physikalische Schicht in Optischen Netzen
- Optische Netze
 - Broadcast and Select
 - WDM Punkt-zu-Punkt-Netze
 - Wellenlängen-Routing
- WDM Protection und Restoration
- Optische Switches
- Optisches Circuit- und Paket-Switching
- IP über WDM Modelle
- Multiprotocol Lambda Switching
- Generalized MPLS
- Optical Burst Switching

Optische Netze



Wavelength Division Multiplexing (WDM)

- Zeitmultiplex erscheint für Bitraten >10 Gbit/s schwierig realisierbar
- WDM als Äquivalent von Frequenzmultiplex in optischen Medien
- heute verfügbar: WDM-Systeme mit 40 Kanälen zu je 10 Gbit/s (OC-48/STM-16) über 100 km
- DWDM: Dense WDM

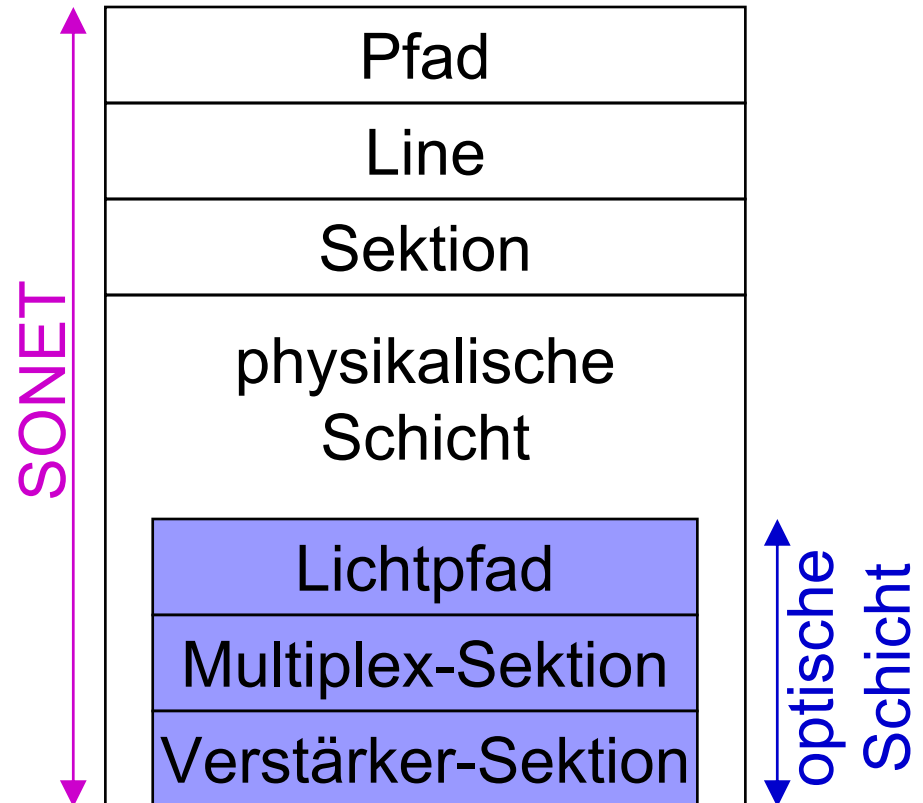
Physikalische Schicht in Optischen Netzen

1. Generation

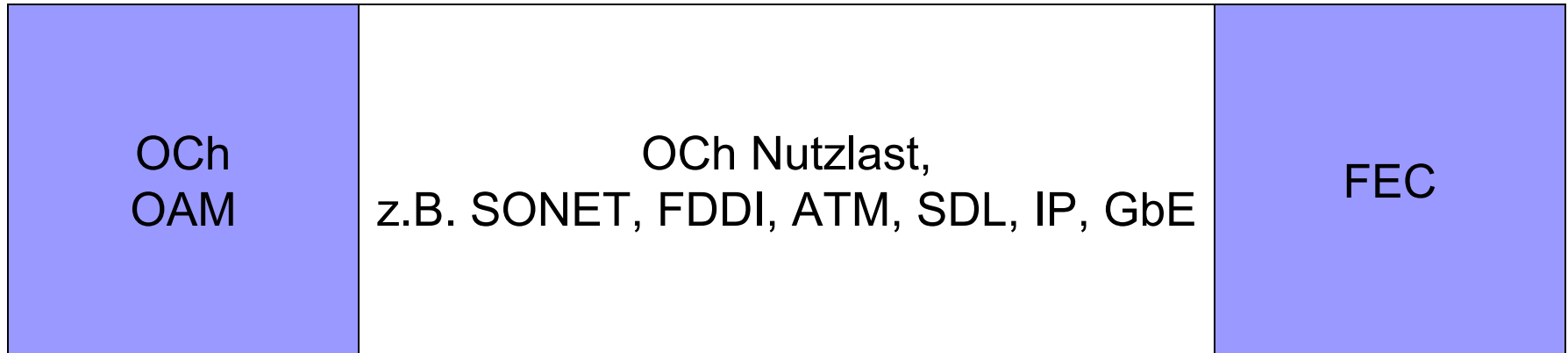
- Punkt-zu-Punkt-Verbindung

2. Generation

- Optische Schicht bietet der darüberliegenden Schicht einen Lichtpfad an.
- Teilschichten
 - Lichtpfad (optischer Kanal)
 - Ende-zu-Ende-Routing von Lichtpfaden (Wellenlängen)
 - Optische Multiplex-Sektion
 - Punkt-zu-Punkt-Link entlang eines Lichtpfads
 - Gruppen von Wellenlängen
 - Optische Verstärker-Sektion
 - definiert optische Signale
 - Verstärkung optischer Signale

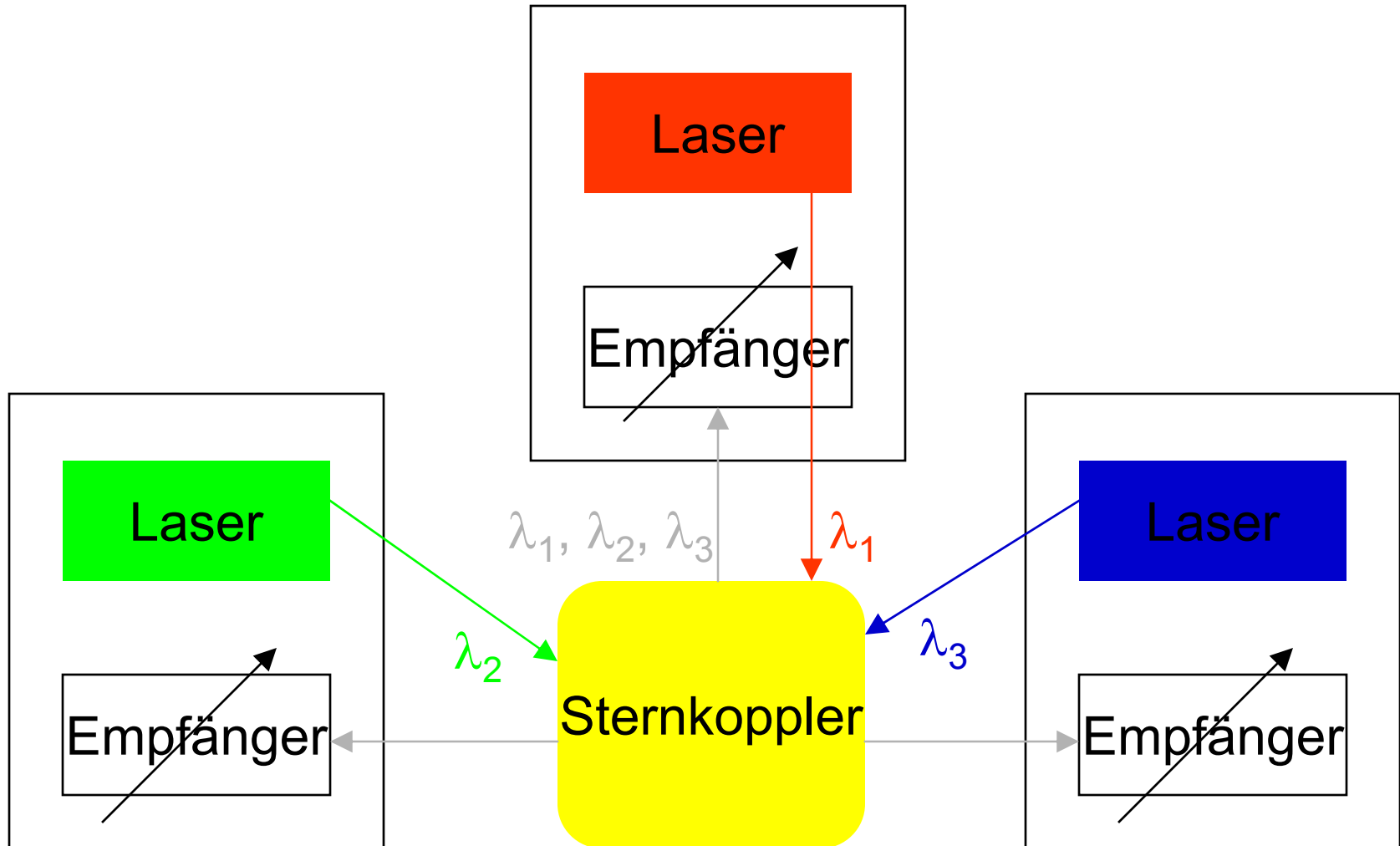


Optical Channel Digital Wrapper

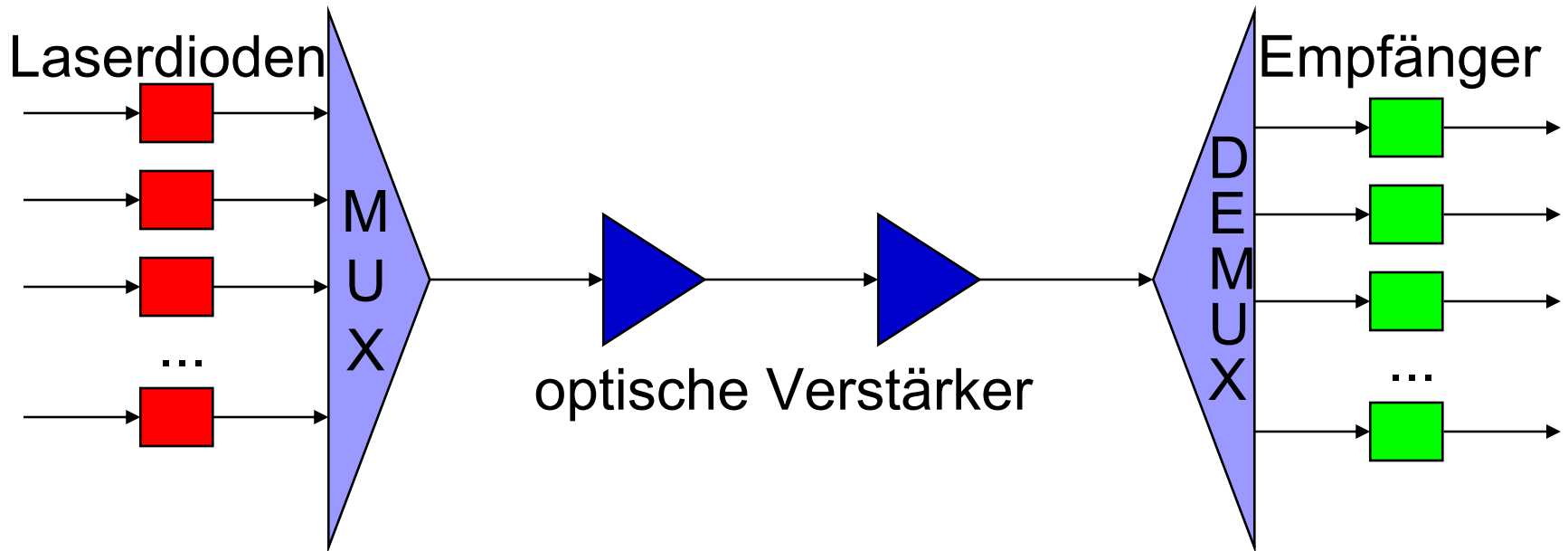


- ersetzt SONET-Rahmen
- Funktionen
 - Performance Monitoring
 - Protection und Restoration auf Wellenlängenbasis
 - Signalregeneration
 - Forward Error Correction

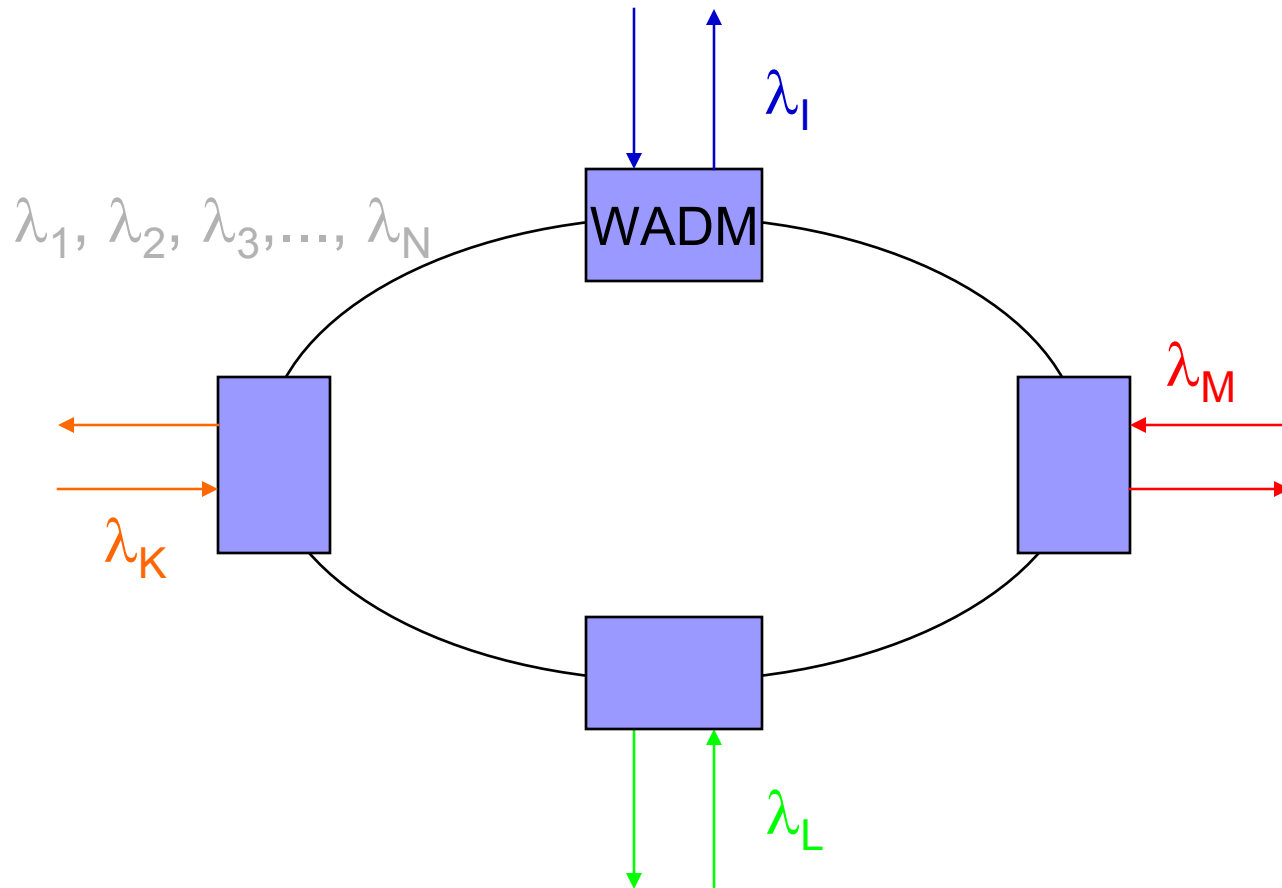
Broadcast and Select



WDM Punkt-zu-Punkt-Netze

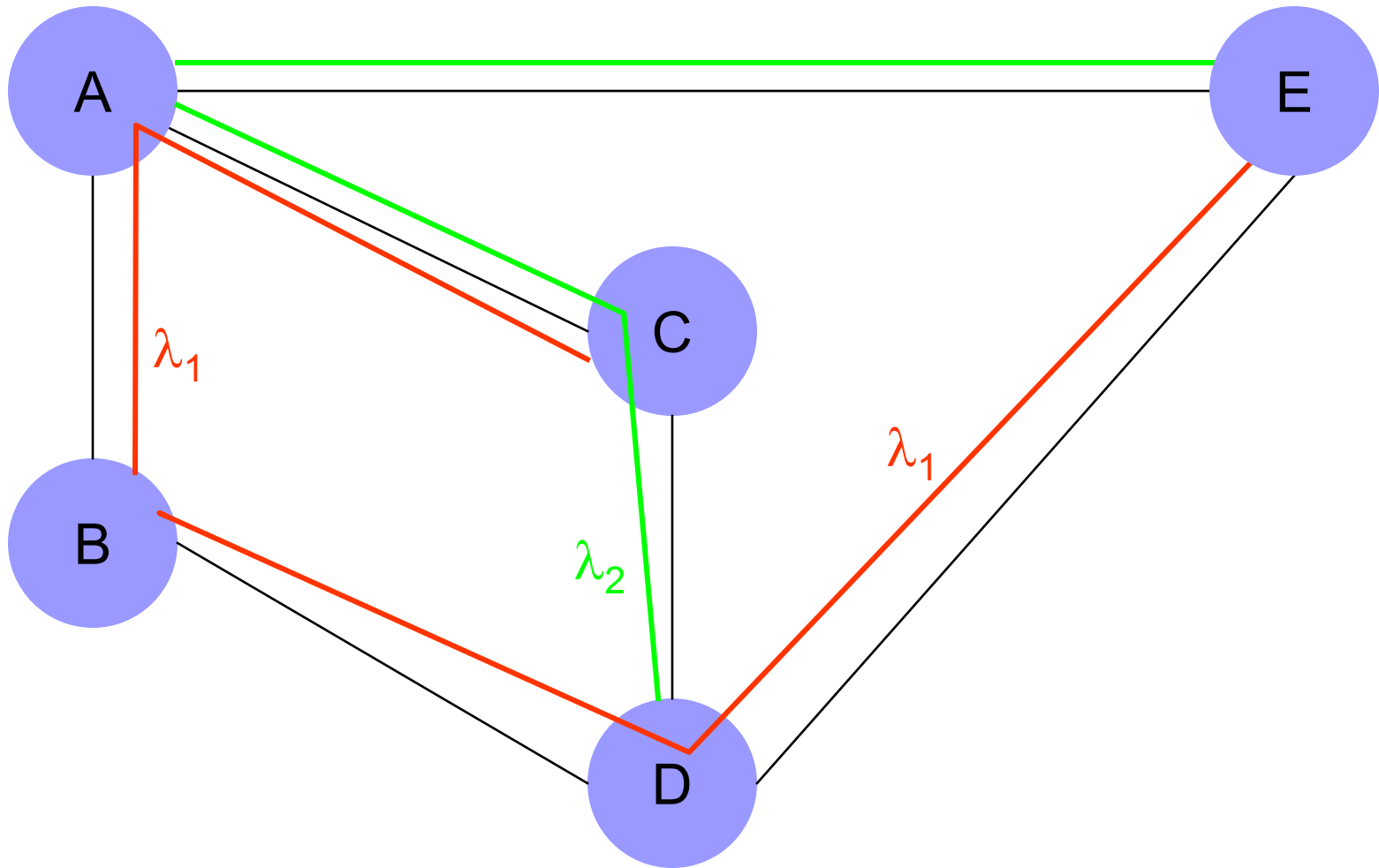


Optische Add/Drop-Multiplexer



WADM: Wavelength Add/Drop Multiplexer

WDM Wellenlängen-Routing



hier: Szenario ohne Wellenlängenkonvertierung

Alternativen: elektronische / optische Wellenlängenkonvertierung

Routing and Wavelength Assignment (RWA)

- **Problemstellung**
 - gegeben:
 - Netztopologie
 - Anforderungen für bestimmte Anzahl von Lichtpfaden
 - gesucht:
 - Weg und Wellenlänge für jede Anforderung mit möglichst geringer Anzahl benutzter Wellenlängen
- **NP-vollständiges Problem**

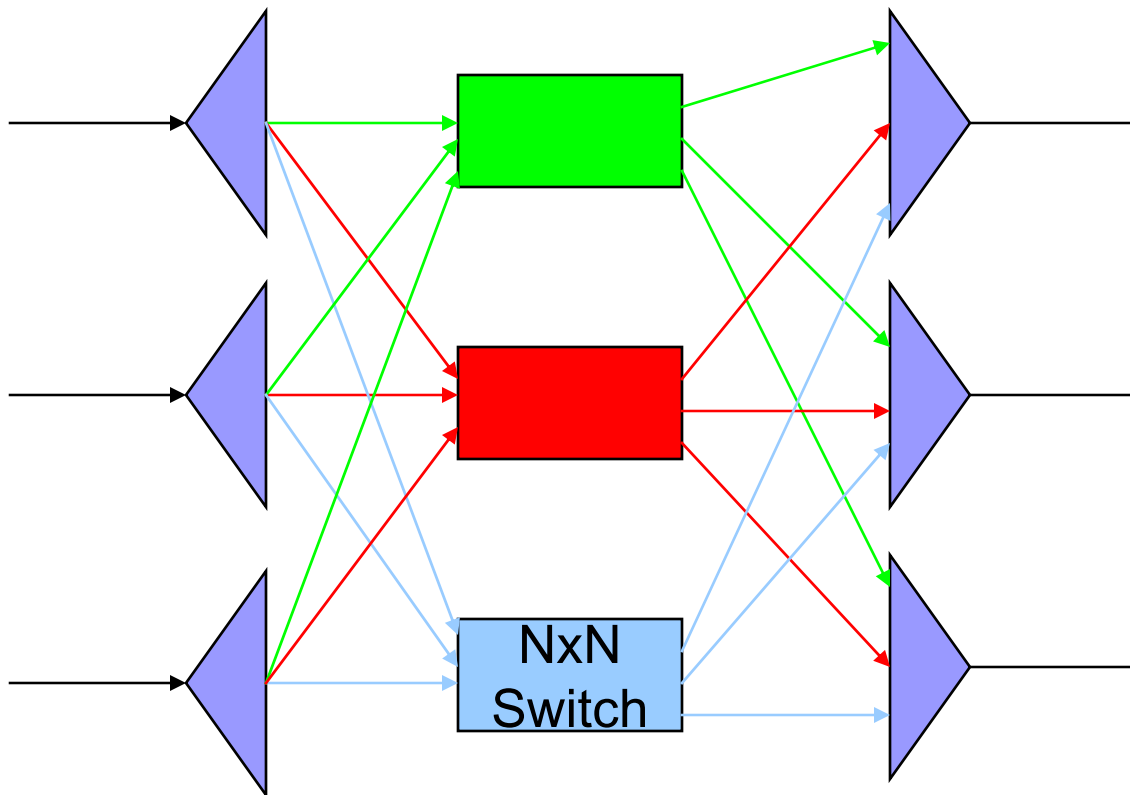
WDM Protection und Restoration

- WDM-Netze basieren wie SONET-Netze auf Ring- oder vermaschten Strukturen.
 - Daher sind ähnliche Protection- und Restoration-Mechanismen wie bei SONET anwendbar.
 - Zusätzliche Schutzmechanismen aufgrund mehrerer Wellenlängen möglich
 - Protection / Restoration basierend auf Wellenlängen statt LWL
 - Backup-Wellenlängen
 - in der selben Glasfaser (für Laser-Ausfälle) oder
 - in anderen Glasfasern (für Lichtwellenleiterausfälle).
 - Probleme
 - RWA für Backup-Wellenlängen
 - optische Monitoring-Ports in photonischen Switches erforderlich
- Pfad- statt Link-Protection/Restoration
- Forward Error Correction

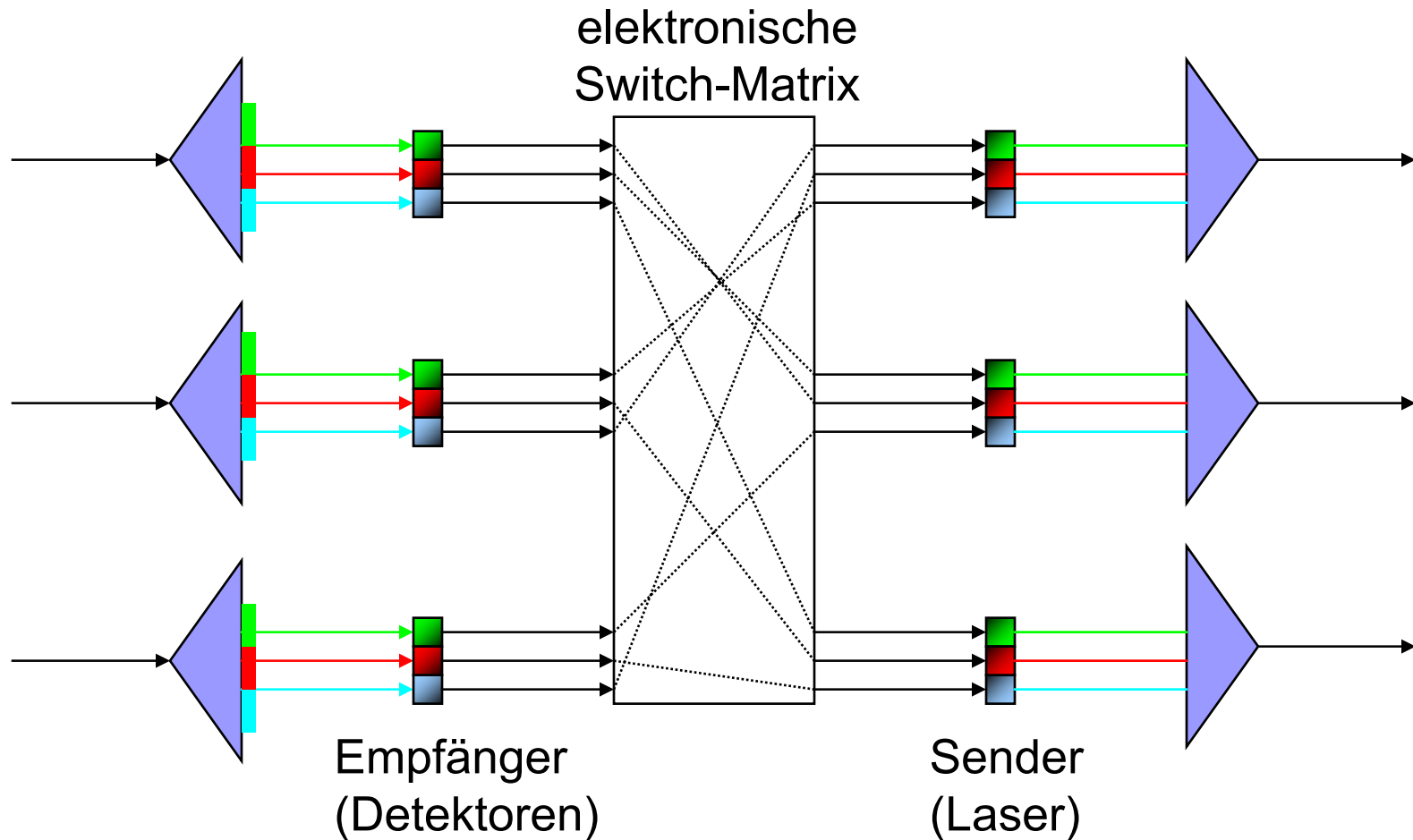
Optische Switches

- ohne Wellenlängenkonvertierung
- mit elektronischer Wellenlängenkonvertierung
- mit optischer Wellenlängenkonvertierung

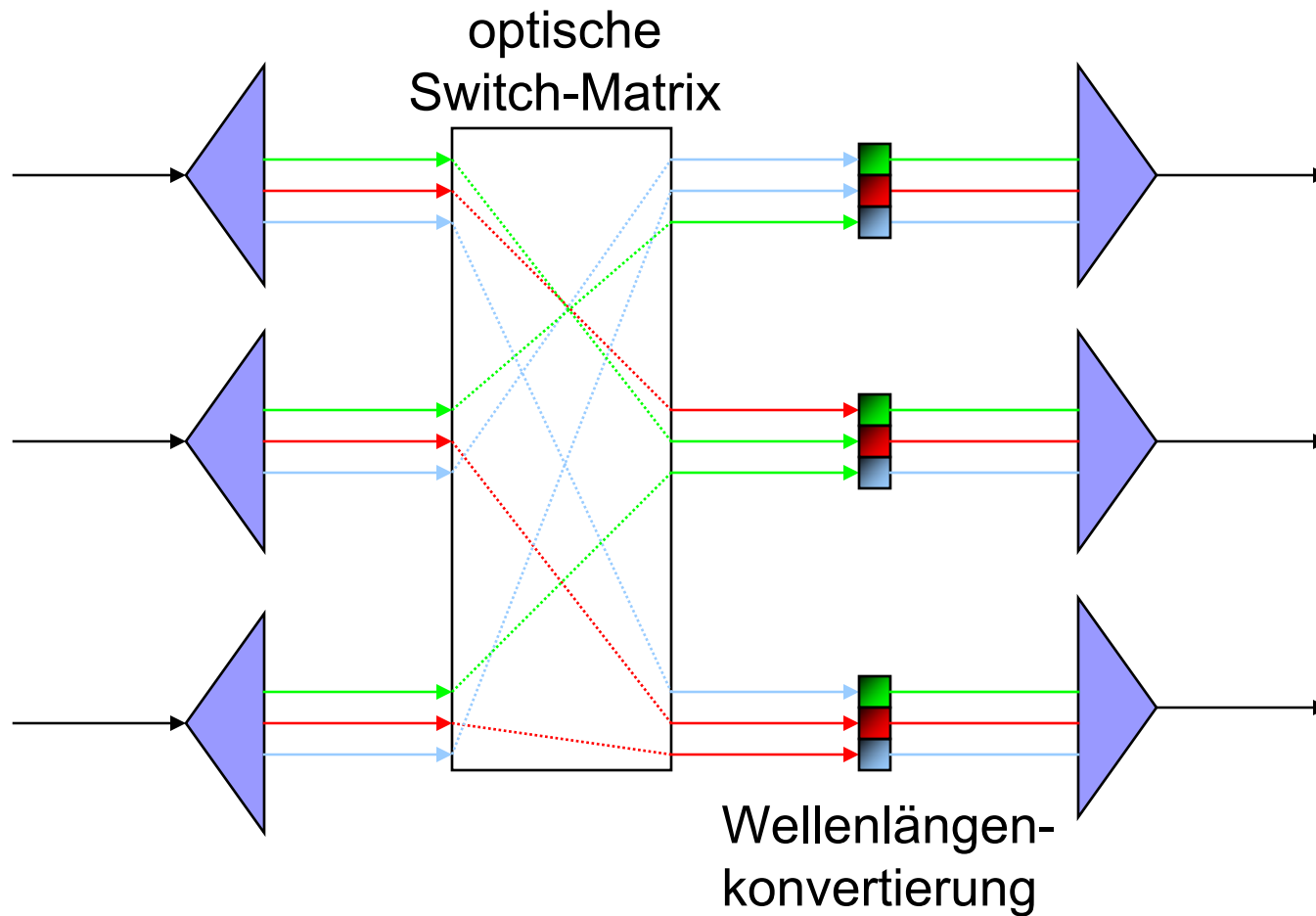
Optischer Switch ohne Wellenlängenkonvertierung



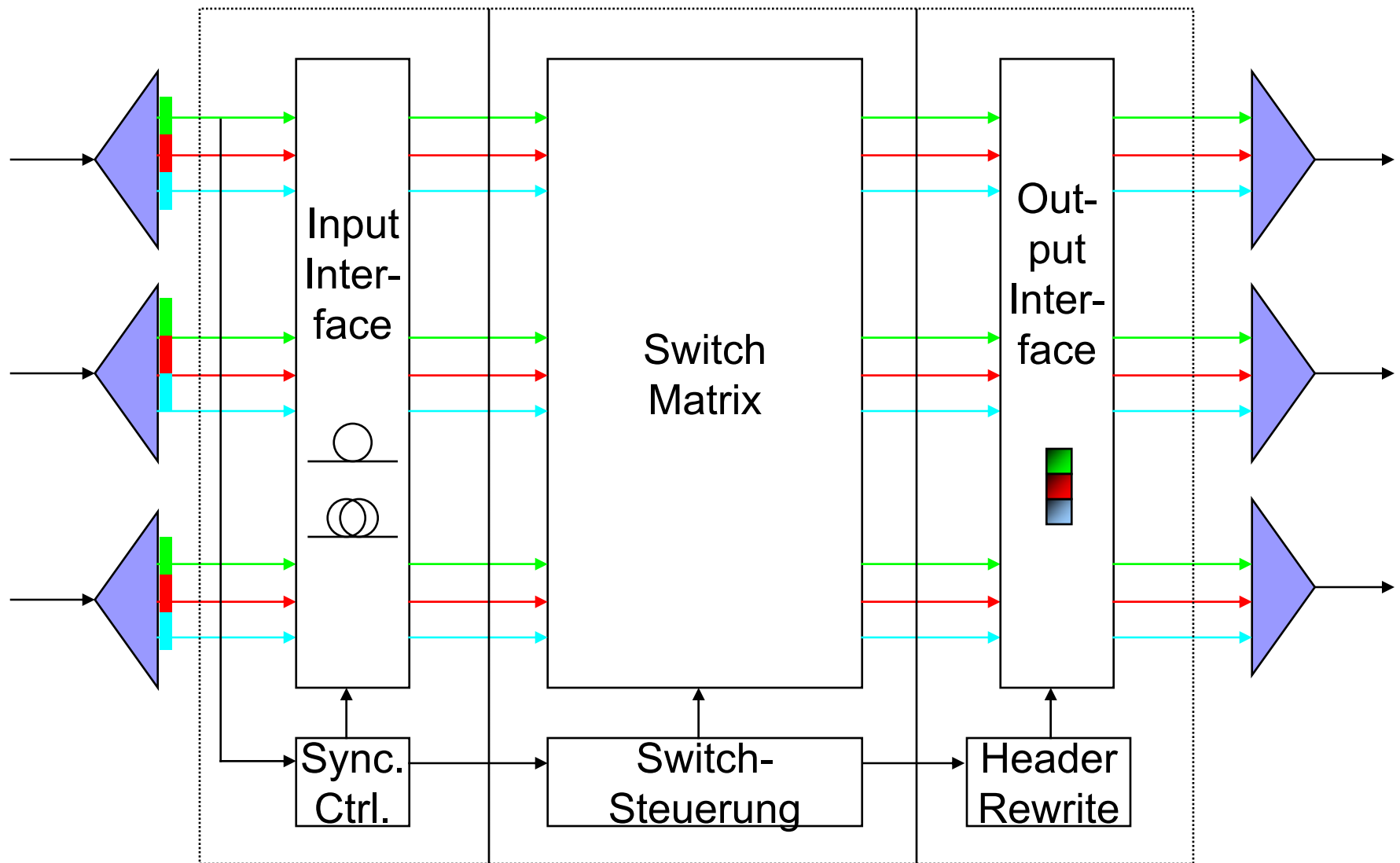
Optischer Switch mit elektronischer Wellenlängenkonvertierung



Optischer Switch mit optischer Wellenlängenkonvertierung



Optischer Paket-Switch



Komponenten optischer Paket-Switches

- Eingang
 - Verstärkung
 - Extraktion der Paket-Header
 - Synchronisation
- Switch
 - Switch-Steuerung
 - Konfiguration des Switches in Abhängigkeit der Paket-Header
 - Switch-Matrix
 - Mikroelektromechanische Systeme (MEMS)
 - Semiconductor Optical Amplifier (SOA)
 - Filter
 - Arrayed Waveguide Gratings (AWGs)
- Ausgang
 - Auflösung von Konflikten
 - Header Rewrite
 - Signalverstärkung

Auflösung von Konflikten am Ausgang

- Signale gleicher Wellenlängen können gleichzeitig am Ausgang eines Switches auftreten (*Contention*)
- Lösungsansätze
 - Pufferung (Fiber Delay Lines)
 - Wellenlängenkonvertierung
 - Wellenlängendimensionierung
 - Deflection Routing

Optisches Circuit- und Paket-Switching

■ Circuit-Switching

- Wellenlängen zur statischen Verbindung von Routern
- Bandbreite einer Wellenlänge ist ggf. viel zu gross für einzelne Benutzer
- geringe Effizienz für Burst-artigen Verkehr
- RWA-Problem

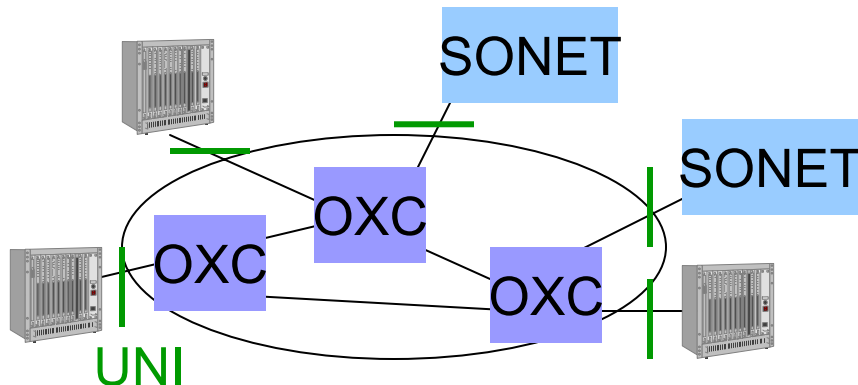
■ Paket-Switching

- flexibel und effizient
- extrem aufwändige Implementierung
- IP over WDM ist mit verbindungsorientiertem Ansatz einfacher realisierbar
 - MPLS (Wellenlänge=Label)
→ MP λ S
 - Optical Burst Switching
→ Übertragung von Steuersignalen auf separater Wellenlänge zur Switch-Steuerung

IP über WDM Modelle

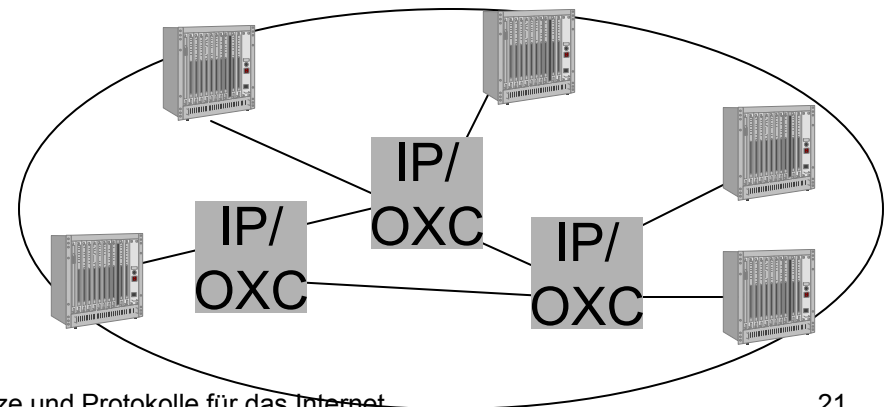
■ Overlay Modell

- IP-Router und optische Switches in unterschiedlichen administrative Domänen
- Verbindung über UNI (user-network interface)
- Optische Topologie ist für IP-Router transparent
- Unterschiedliche Signalisierungs- und Routing-Protokolle
- Multi-Protokoll-Unterstützung



■ Peer Modell

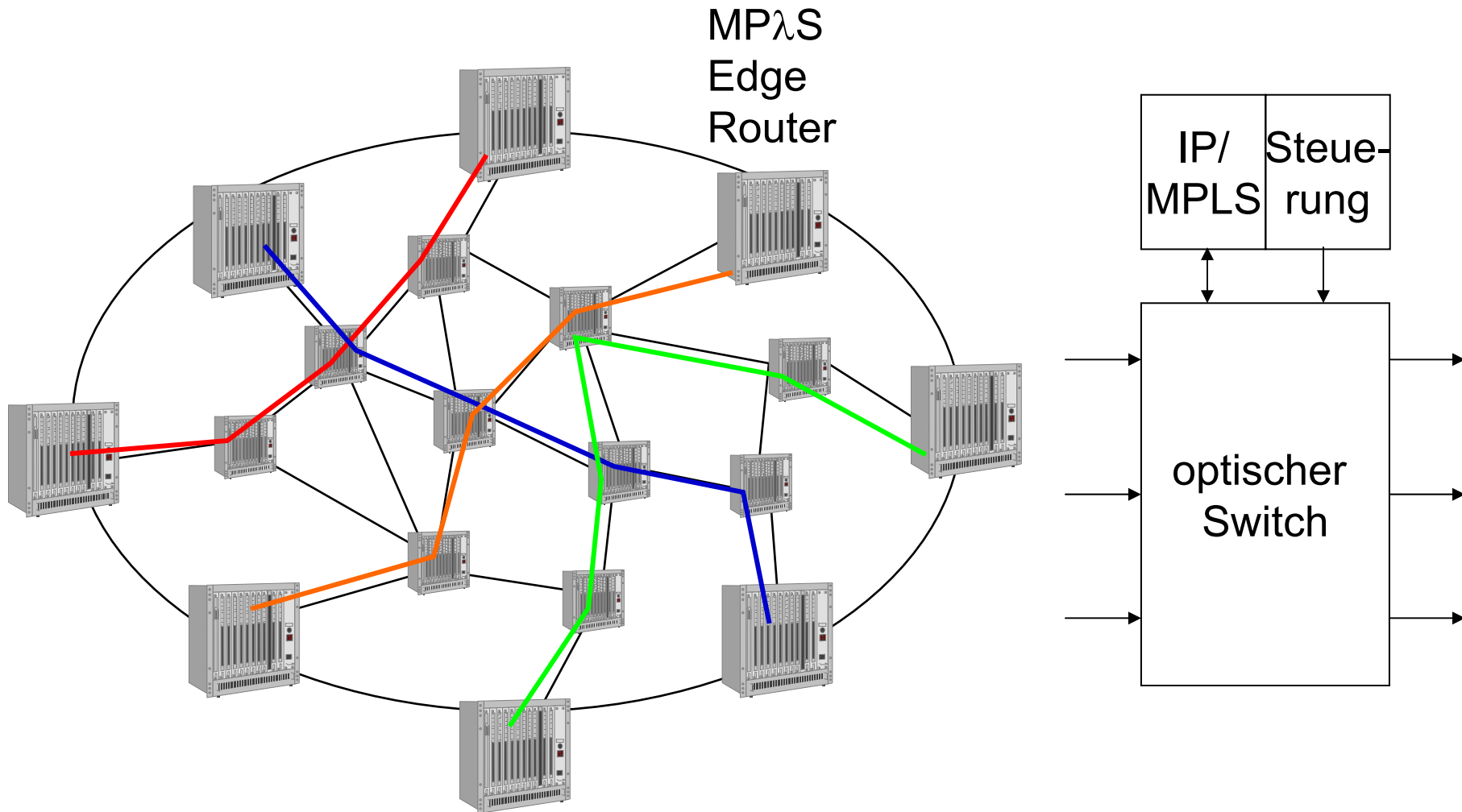
- eine einzige administrative Domäne
- IP-Router und optische Switches tauschen Topologieinformationen aus.
- Gemeinsame Menge von Signalisierungs- und Routing-Protokollen
- ein einziges (IP basiertes) Adressierungsschema



Multiprotocol Lambda Switching

- Anwendung von MPLS auf Switching in optischen Netzen, z.B. mit Wellenlängenkonvertierung
- Optische Switches benötigen Kontrollebene zur Konfiguration und zum Management (üblich: (proprietäre) Netzmanagementprotokolle)
- MP λ S-Ansatz (vgl. MPLS/ATM):
 - Erweiterung der Switches um MPLS-Router
 - Einsatz von IP/MPLS-Protokollen als Kontrollprotokolle (ggf. zusammen mit Netzmanagementprotokollen)
 - Verbindung der MPLS-Router-Instanzen über dedizierte Wellenlänge, z.B. für Default-Routing und Signalisierung
 - MPLS Steuerungsaufgaben
 - Resource Discovery
 - Verteilen von Zustandsinformationen
 - Auswahl und Management von (Licht)Pfadern

Multiprotocol Lambda Switching



MP λ S Probleme

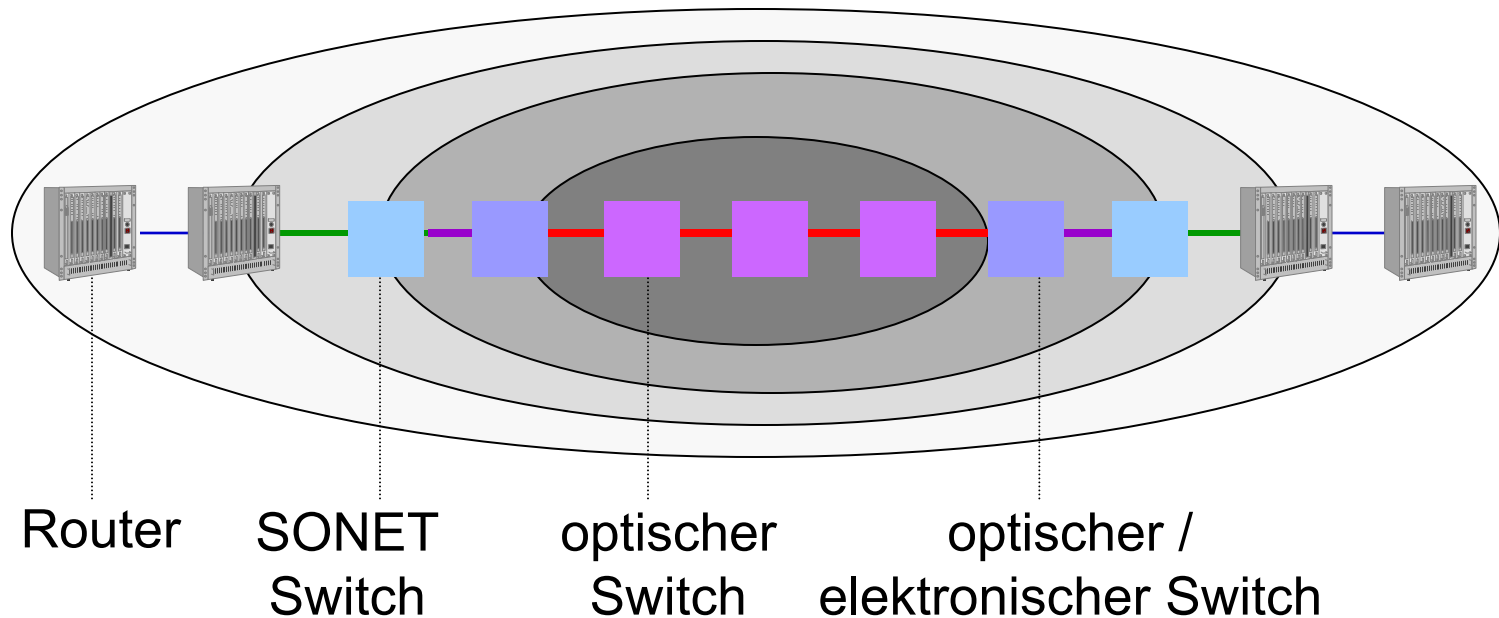
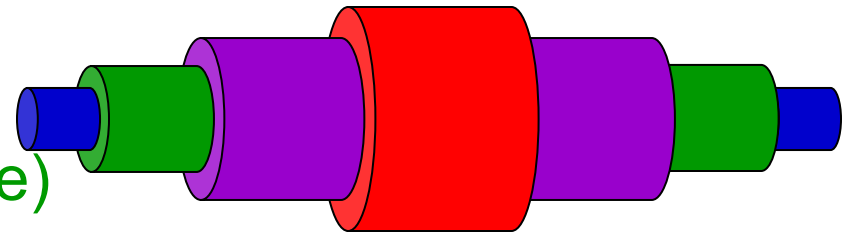
- Anzahl verfügbarer Wellenlänge ist relativ gering
→ diskrete Menge von Bandbreiten
- Kapazität einer Wellenlänge ist sehr hoch im Vergleich zu üblichen LSPs
- keine Label-Stack-Operationen
- kein Label-Merging
- Üblicherweise transparentes optisches Switching
→ Optische Switches können Paket-Header nicht analysieren.
- Neue Objekte für Wellenlängen in MPLS-Signalisierungsprotokollen erforderlich.

Generalized MPLS

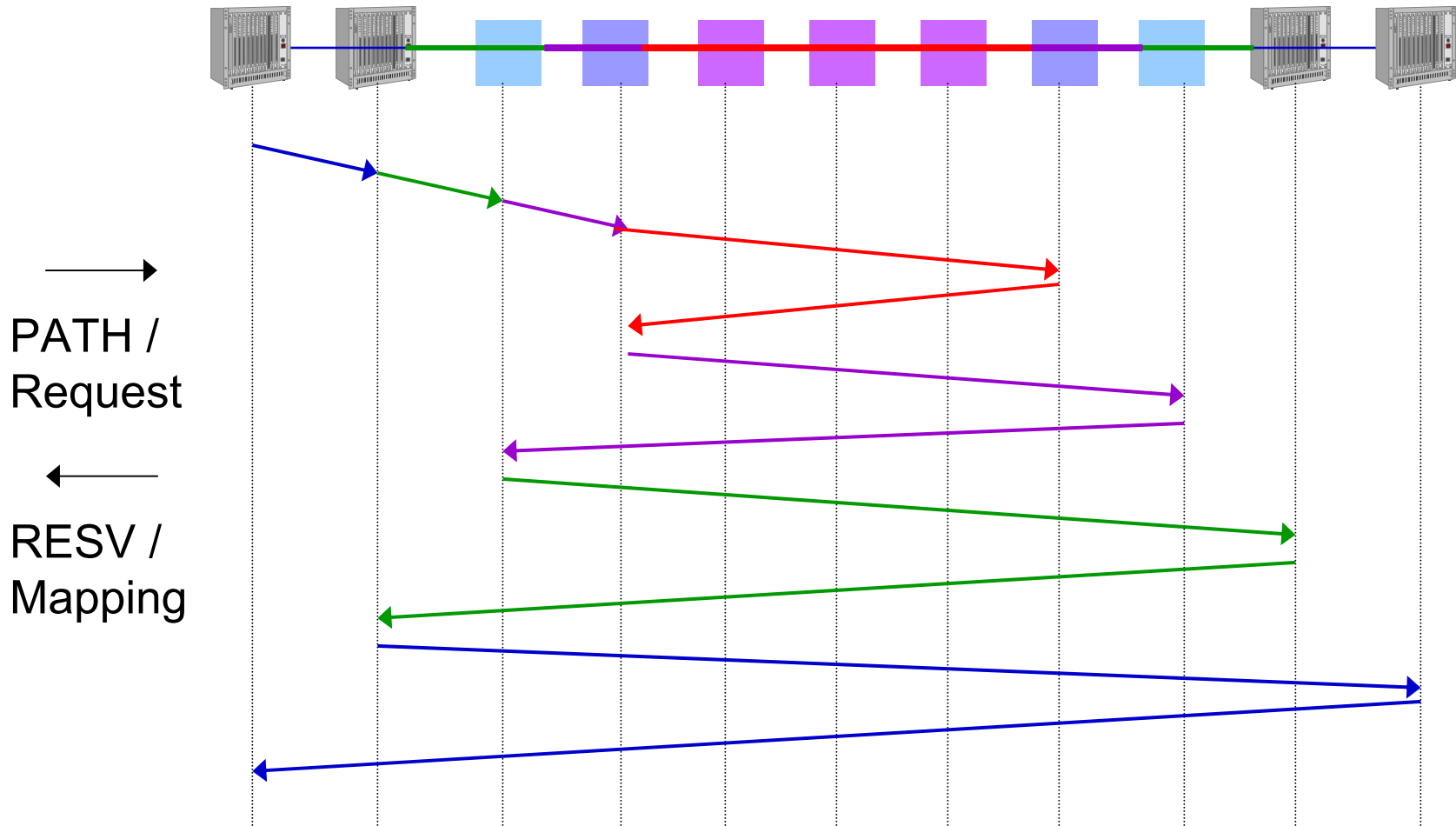
- Hierarchische LSPs
- Erweiterungen für Link State Routing Protokoll
 - zur Ankündigung der Verfügbarkeit optischer Ressourcen
 - für OSPF oder IS-IS
- MPLS Signalisierungs-Erweiterungen
 - Unterstützung von TDM-, Wellenlängen- und Port-Switching
 - Unterstützung bidirektionaler LSPs
 - für RSVP-TE oder CR-LDP
- Link Management Protocol (LMP)

LSP-Hierarchie

- Physikalische (LWL) LSPs
- Optische (λ) LSPs (Och trails)
- Time-Slot LSPs (SONET Pfade)
- Logische (Paket) LSPs



Signalisierung in der LSP-Hierarchie



MPLS Signalisierungserweiterungen

- Generalized Label Request zur Beschreibung von LSP-Charakteristiken
 - LSP-Typ, z.B. Paket, SONET, λ
 - Generalized Payload Identifier
 - Bandbreite (diskrete Werte)
- Notify-Nachricht (für RSVP-TE)
 - um nicht-benachbarte Knoten über LSP-Ausfälle zu informieren
- Suggested Label
 - zur Beschreibung der Präferenz des Upstream-Knotens (Normalerweise schlagen Downstream-Knoten das Label vor.)
 - LSP-Kopf kann Wellenlängenzuordnung vornehmen
 - frühe Switch-Konfiguration, z.B. MEMS-Spiegel
- Label Sets
 - (inklusive / exklusive) Listen von Sub-Kanälen
 - Bereiche von Wellenlängen

Link Management Protocol (LMP)

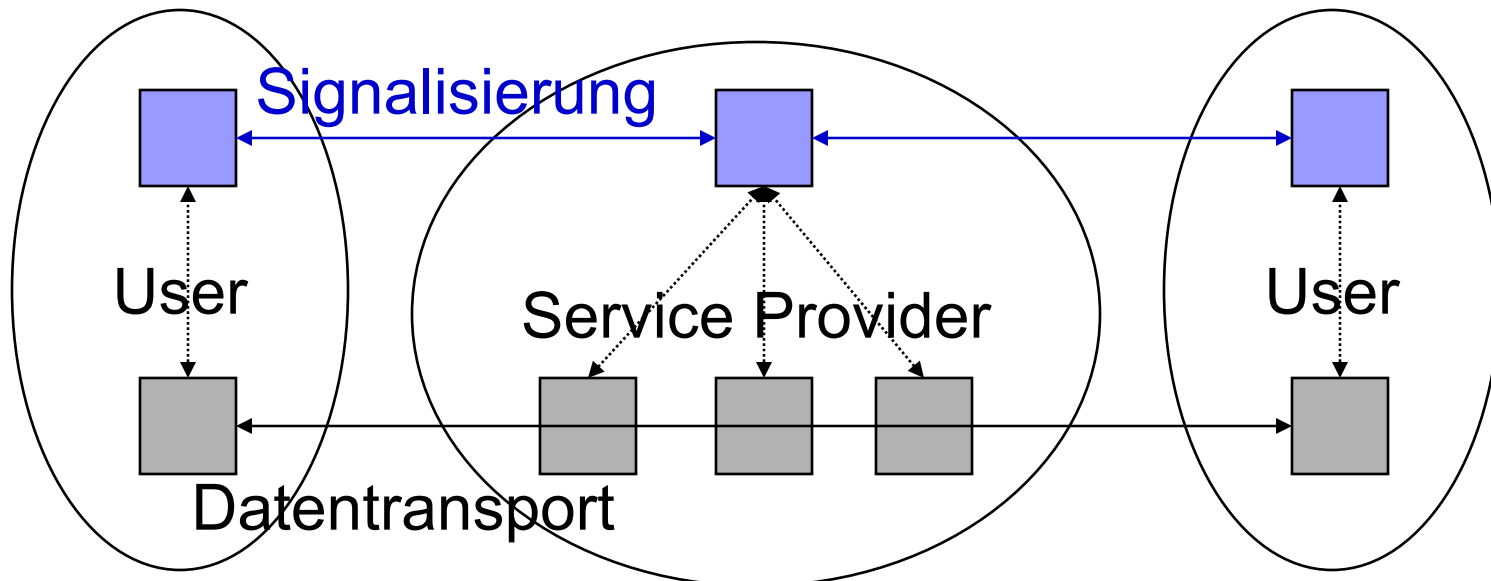
- Control Channel Management
 - Etablieren and Überwachung von Control Channels
- Link-Konnektivitäts-Verifikation
 - Austausch von Testnachrichten
- Korrelation von Link-Eigenschaften
 - Synchronisation und Austausch von Zusammenfassungen von Link-Eigenschaften
- Isolation von Fehlern
 - Lokalisierung von Fehlern (Quittierung von Fehlererkennungsnachrichten)
 - Initiierung von Protection- u. Restoration-Mechanismen

MPλS Zuverlässigkeitsmodell

- Erkennen von Linkausfällen durch SONET/WDM und Eskalation zu höheren Schichten
- Erkennen von Knotenausfällen durch höhere Schichten, z.B. LMP-Hello-Nachrichten
- MPLS Fast Rerouting mit CR-LDP oder TE-RSVP

UNI des Optical Interworking Forum

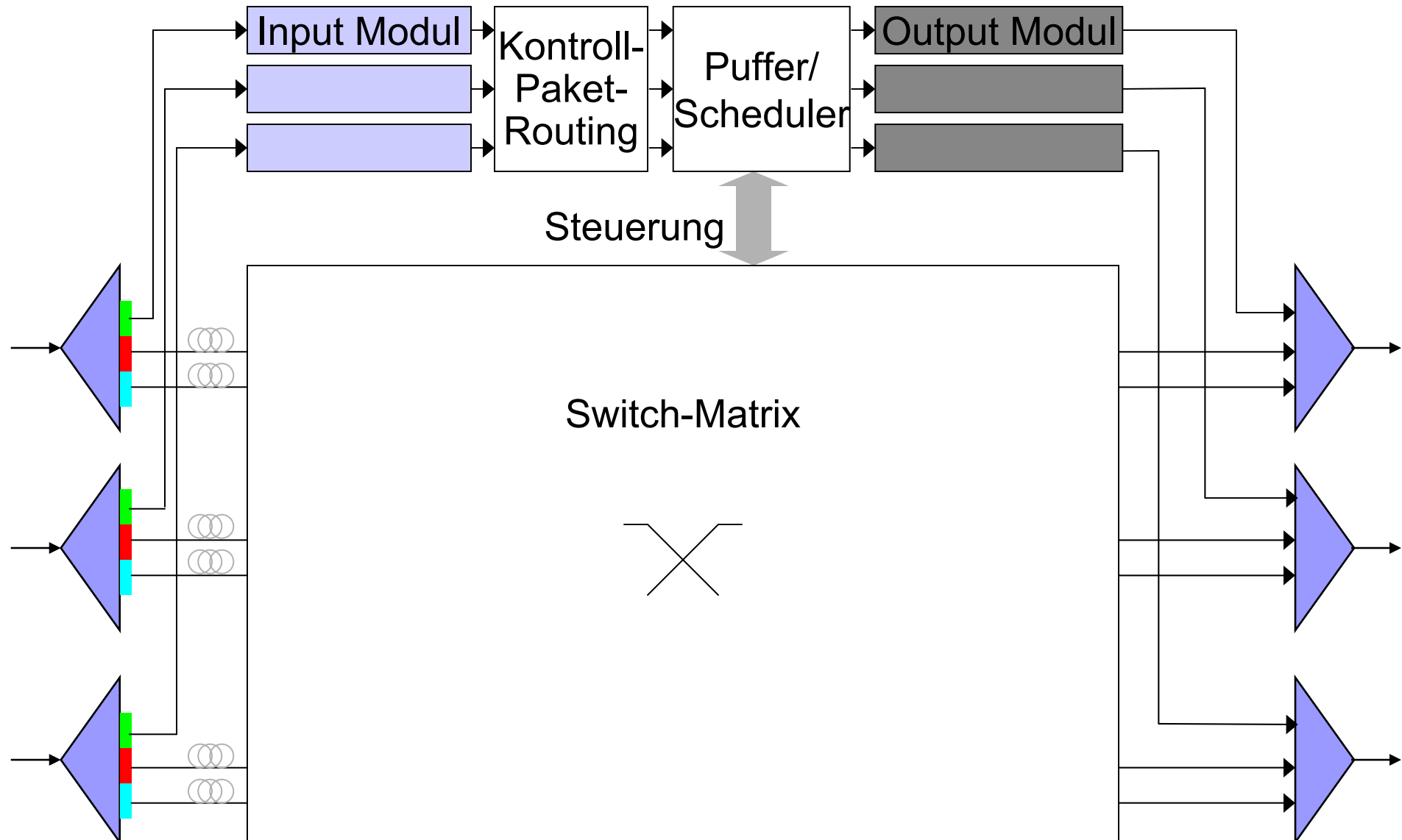
- Datentransport
- Signalisierung basierend auf GMPLS zum dynamischen Einrichten von (SDH-)Verbindungen
 - LDP und RSVP
 - LMP für Neighbour und Service Discovery



Optical Burst Switching (OBS)

- Granularität zwischen Circuit- und Paket-Switching
- One-way Bandbreitenreservierung
- Elektronische Verarbeitung von Kontrollpaketen
 - in-band (Header mit niedrigerer Rate)
 - out-of-band (Kontrollpaket über eigene Wellenlänge)
- OBS MAC-Schicht
 - Zusammensetzen von IP-Paketen in Bursts variabler Länge
 - Bestimmung des Offsets (= Zeit zwischen Kontrollpaket und Burst)
 - Senden des Kontrollpakets
 - Senden des Bursts
- OBS-Switch
 - Bandbreitenreservierung und “Cut-Through Switching” der Daten ohne Pufferung
 - Label Swapping (ggf. Wellenlängenkonvertierung)

Optical Burst Switch



OBS-Reservierungstechniken

Open-Ended

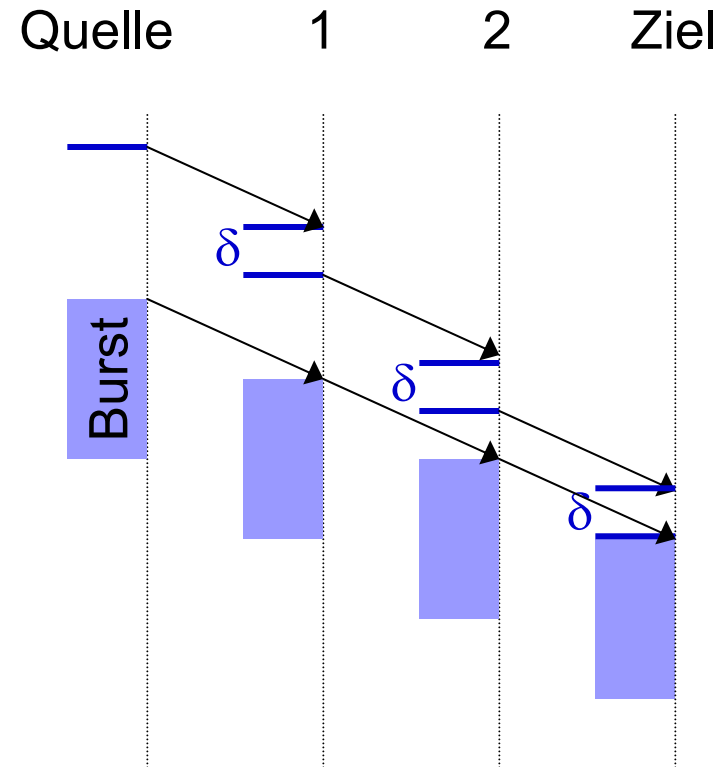
- Tell And Go (TAG)
 - SETUP-Nachricht
 - Burst (Puffern erforderlich falls zu früh gesendet)
 - RELEASE-Nachricht bzw. automatisches Auslaufen der Reservierung oder REFRESH-Nachricht
- In-Band Terminator (IBT)
 - Burst enthält In-Band Burst Header und Trailer um Anfang und Ende eines Bursts anzuzeigen.
 - Verzögerung erforderlich um IBT zu verarbeiten.

Closed-Ended

- Reserve Fixed Duration (RFD)
 - Bandbreitenreservierung für ein bestimmtes Zeitintervall wird in Kontrollpaket spezifiziert.
 - Kontrollpaket kann Verzögerungsparameter beinhalten, z.B.: Just Enough Time (JET)

Just Enough Time (JET)

- Burst wird nach einer Verzögerung $\Delta > n\delta$ gesendet, um die Verzögerung bei der Kontrollpaketverarbeitung zu kompensieren
- variable Burst-Längen
- Pufferung wird nur benötigt, um Blockierungen aufzulösen.
- Priorisierung
 - Grosse Offset-Zeit reduziert Wahrscheinlichkeit für Blockierungen, d.h. erhöht die Wahrscheinlichkeit für erfolgreiche Bandbreitenreservierungen.



Labeled OBS (LOBS)

- Kombination von MPLS und OBS
 - elektronische Verarbeitung von Labels und MPLS-Signalisierungsnachrichten
 - Optisches Burst Switching
- MPLS-Signalisierung über OBS-Kontrollkanäle
- Übertragen von Labels in Kontrollpaketen erlaubt normale MPLS-Operationen (Swapping, Stacking)
- TTL-Verarbeitung
 - durch Prädekrement im Ingress Router oder
 - durch TTL-Felder im Kontrollpaket