

Photonische Telekommunikationsnetze

Komponenten und Netzgestaltung

Dipl.-Ing. Jan Späth

Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung (IND)

Prof. Dr.-Ing. Dr. h. c. P. J. Kühn

Übersicht

- Entwicklungstrends**
- Grundkonzepte und -komponenten**
- Photonische Netze in Realisierung und Forschung**
- Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt**
- Probleme und Visionen**

Einführung (1)

- ❑ **Photonik:** Systemtechnik, bei welcher die Informationsübertragung und -verarbeitung mit *optischen und optoelektronischen* Mitteln erfolgt

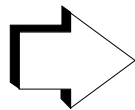
- ❑ **zunehmender Einsatz optischer Technologien:**
 - ursprünglich: rein elektrische Netze (Übertragung und Vermittlung)
 - gegenwärtig: optische Übertragung und elektronische Vermittlung
 - künftig: optische Übertragung und optische Vermittlung

- ❑ **mögliche Einsatzgebiete:**
 - Backplane- und On-Board-Verbindungen (Multiprozessor-Systeme)
 - Zugangsnetze; lokale Netze (Stern- und Ringnetze)
 - Weitverkehrsnetze

- ❑ **Beschränkungen der Photonik:**
 - keine optischen Speicher verfügbar
 - rein optische Signalverarbeitung noch am Anfang der Entwicklung
 - höchste Integrationsdichte nicht erreichbar

- ❑ riesige Bandbreite auf Glasfasern (theoretisch: ~ 25.000 Gbit/s = 25 Terabit/s)
- ❑ geringes Gewicht und kleine Querschnitte (bis zu 10^6 Fasern pro cm^2)
- ❑ Störunempfindlichkeit gegenüber elektrischen Einflüssen
- ❑ Sicherheit (kein unbemerktes Auskoppeln der Signale)

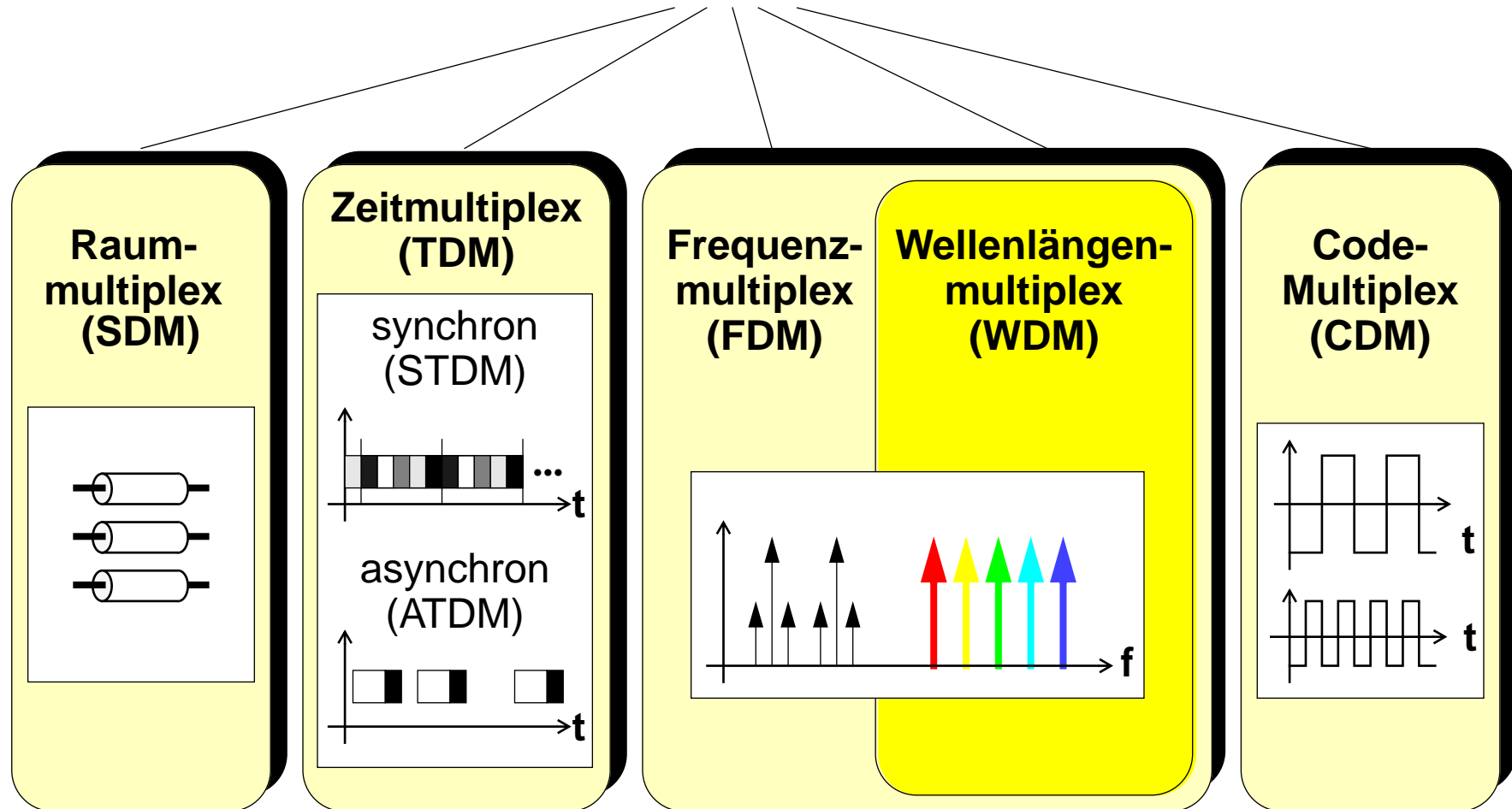
- ❑ Transparenz
- ❑ Verstärkerabstand (> 30 km)
- ❑ Mehrkanalverstärker



vielversprechende Eigenschaften für kostengünstige Systeme

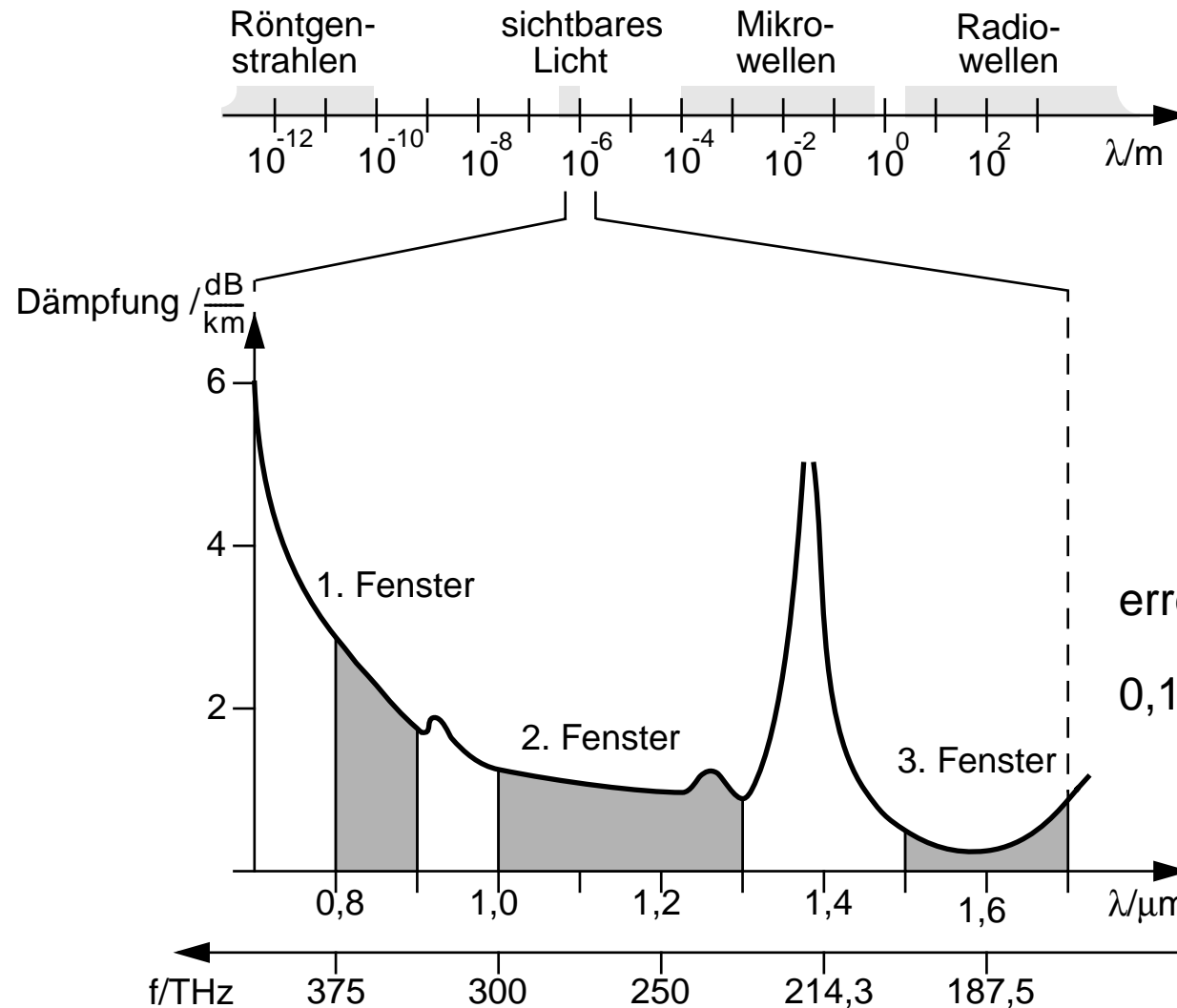
WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Multiplexverfahren



WDM (Wavelength Division Multiplexing)

Spektrum der elektromagnetischen Wellen:



Übertragungsfenster:

1. Fenster bei 850 nm
2. Fenster bei 1300 nm
3. Fenster bei 1550 nm

erreichbare Dämpfung:

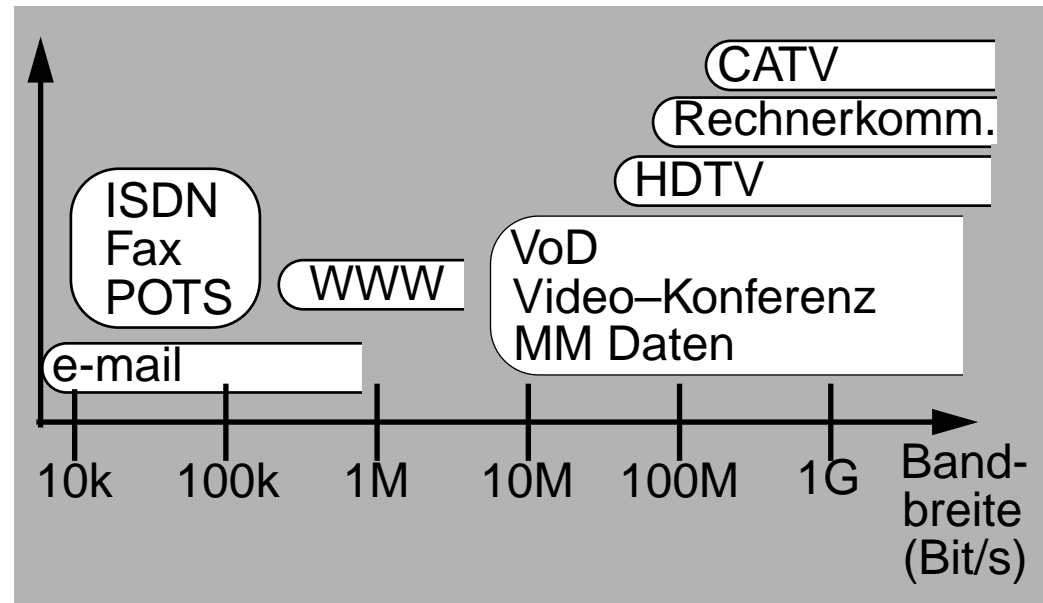
$$0,16 \text{ dB/km} < \alpha < 0,2 \text{ dB/km}$$

Gliederung

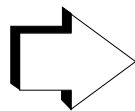
- Einführung
- **Entwicklungstrends**
- Grundkonzepte und -komponenten
- Photonische Netze in Realisierung und Forschung
- Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt
- Probleme und Visionen

❑ Wachstum bei:

- klassischen Sprachdiensten (4 - 8 % pro Jahr)
- Mobilfunkdiensten
- Datendiensten (Internet: Verkehrszunahme um Faktor 5 pro Jahr)



- ❑ künftig: breites Spektrum an Bandbreitanforderungen
- ❑ aufkommende Spezialanwendungen (Verbindung von TV-Studios, ...)
- ❑ Deregulierung / Liberalisierung der Märkte



**starker Zuwachs im Transportbereich zu erwarten
(Schätzungen: 35 - 60 % pro Jahr)**

□ Fasertechnologie:

- relativ hoher Entwicklungsstand
- Potential: Dämpfung, Dispersion
- Problem: vorhandene Infrastruktur

□ WDM-Technologie:

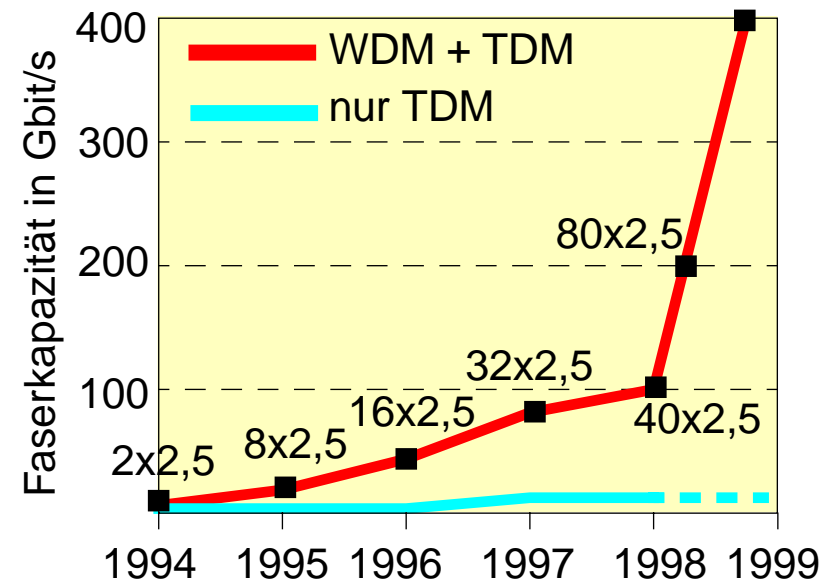
- große Fortschritte seit der Einführung 1994/95
- Potential: Verstärker, Kanalraten
- Problem: Regeneratoren, Management

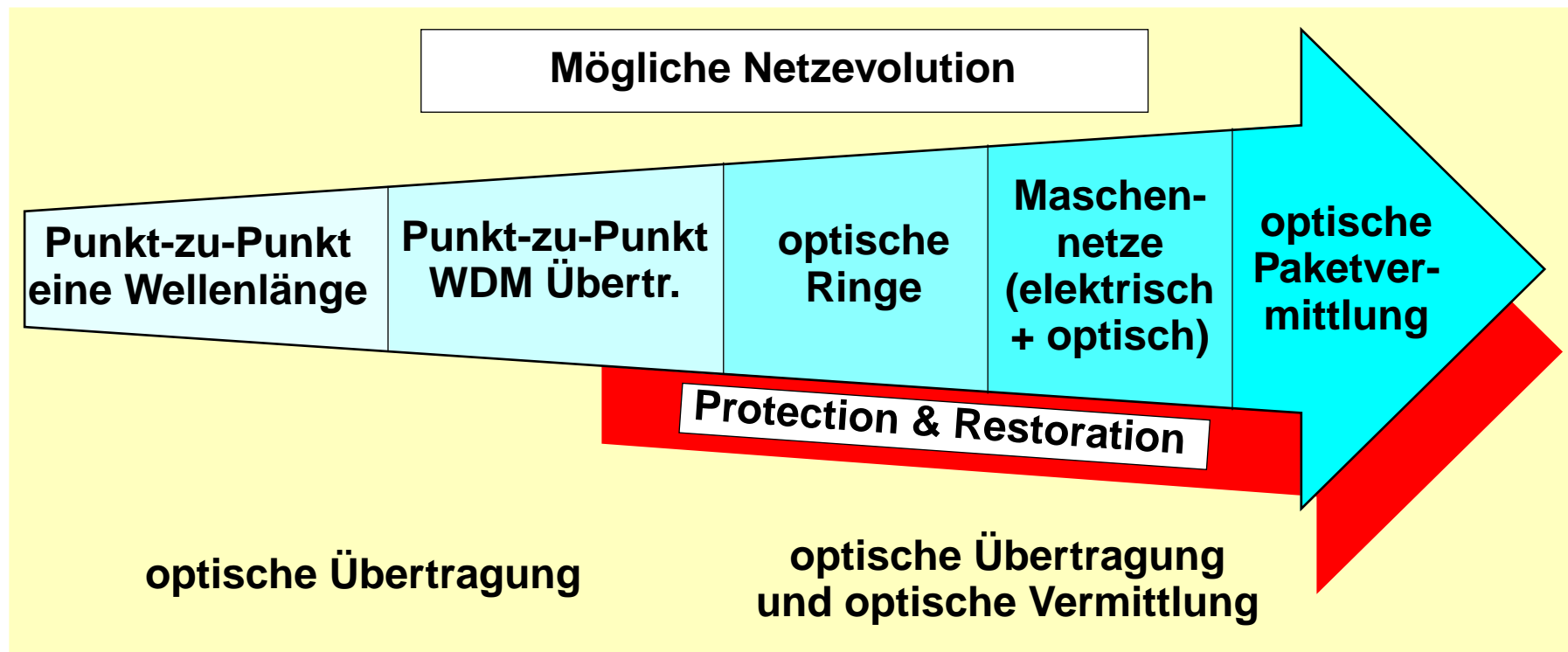
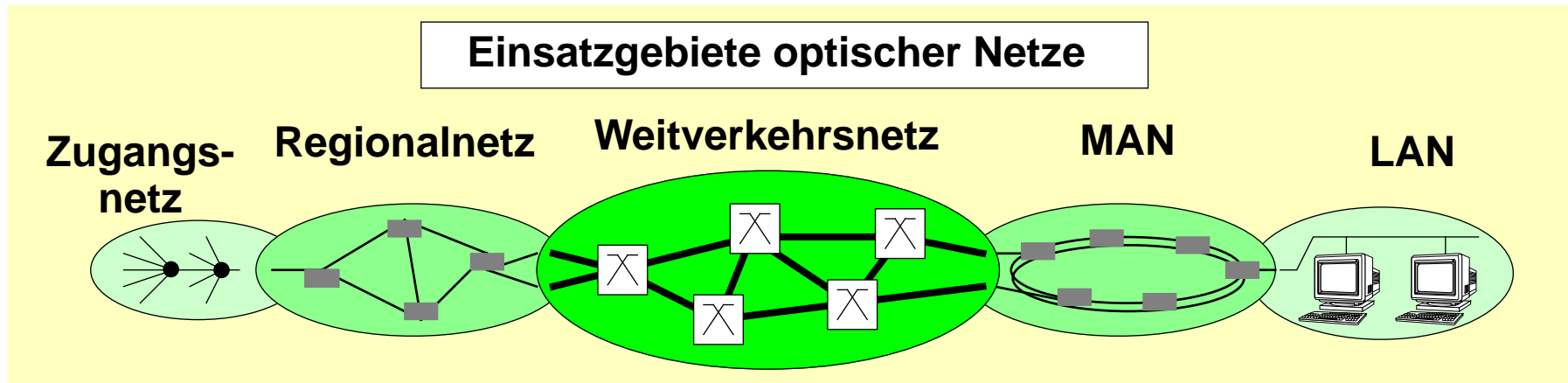
□ Entwicklung der Übertragungskapazität über Singlemode-Fasern

○ kommerzielle Systeme:

○ Laborversuche (1998):

- Raten > 1 Tbit/s (ca. 100 km)
- Längen > 10.000 km (200 Gbit/s)





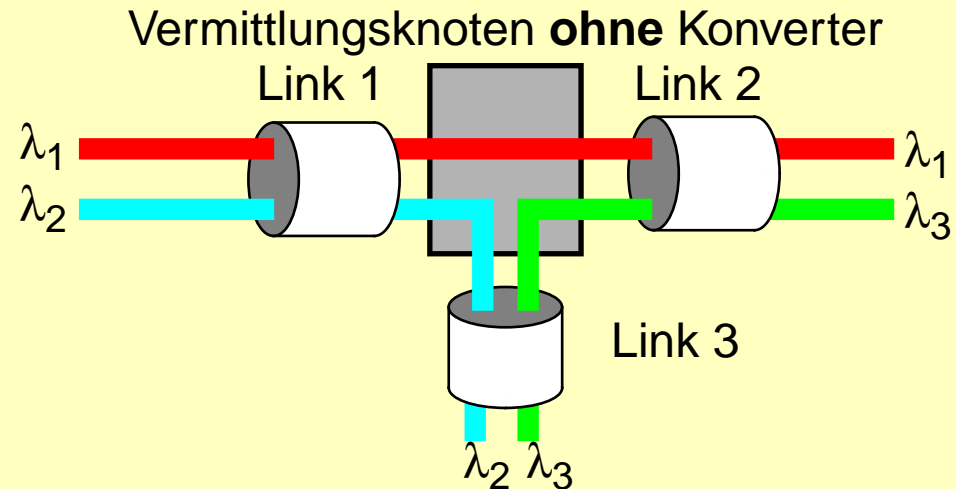
Gliederung

- ❑ Einführung
- ❑ Entwicklungstrends
- ❑ **Grundkonzepte und -komponenten**
- ❑ **Photonische Netze in Realisierung und Forschung**
- ❑ **Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt**
- ❑ **Probleme und Visionen**

Grundkonzepte für WDM-Netze Wellenlängenkonflikt

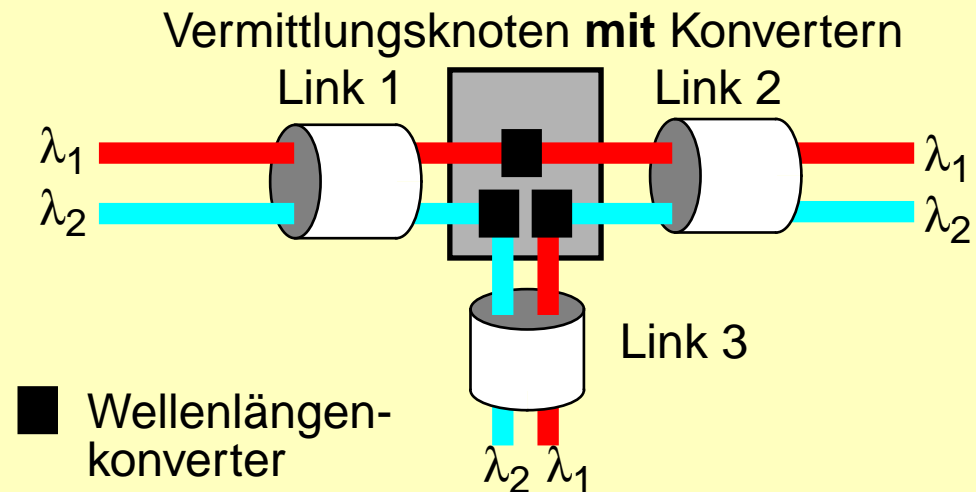
□ Wavelength Path (WP):

- durchgehende Wellenlänge von Quelle bis Senke
- keine Konversionen



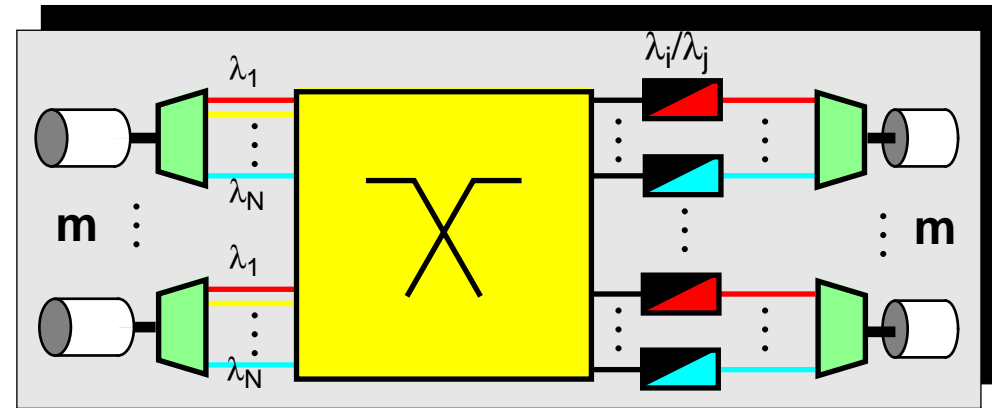
□ Virtual Wavelength Path (VWP):

- Wellenlängen abschnittsweise zugeteilt
- beliebige Konversion in jedem Knoten

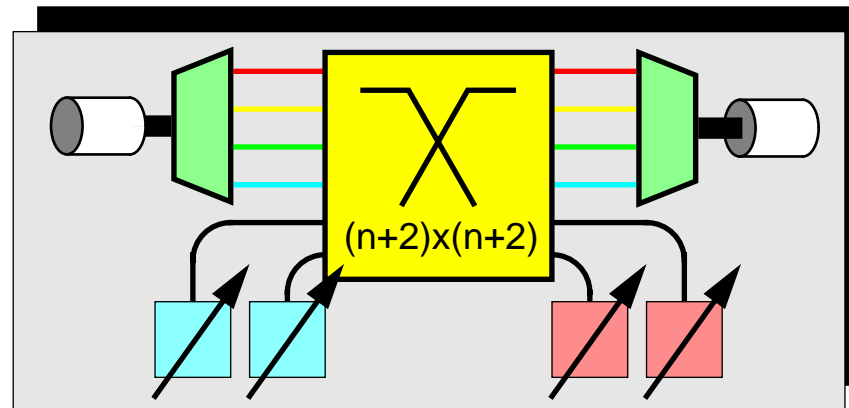


□ Konzepte mit partieller Konversion

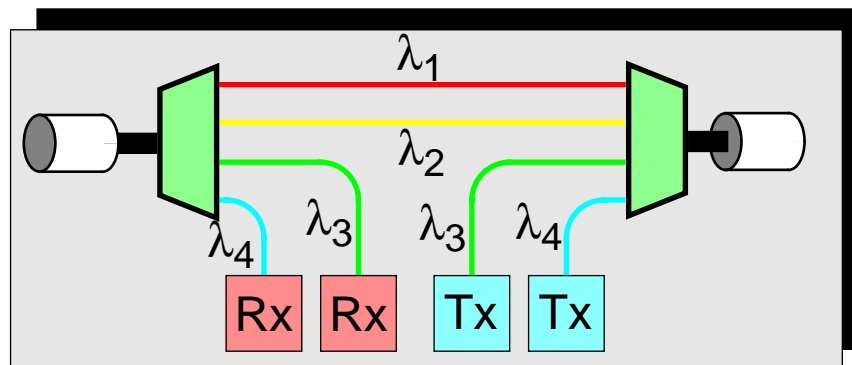
optischer Crossconnect



konfigurierbarer ADM



fixer ADM



ADM: Add/Drop-Multiplexer

Grundkomponenten

- ❑ **Sender und Empfänger**
- ❑ **Filter / Multiplexer / Demultiplexer**
- ❑ **Verstärker**
- ❑ **Regeneratoren**
- ❑ **Wellenlängenkonverter**
- ❑ **Schalter**
 - **für Fasern**
 - **für Wellenlängenkanäle**

Gliederung

- ❑ Einführung
- ❑ Entwicklungstrends
- ❑ Grundkonzepte und -komponenten
- ❑ **Photonische Netze in Realisierung und Forschung**
- ❑ **Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt**
- ❑ **Probleme und Visionen**

Optische Netze

□ Einsatz von Glasfasern

- seit ~1975 verfügbar, inzwischen dominieren Singlemode-Fasern
- DTAG: 120.000 km Kabel, > 2,5 Mio. km Fasern; BT: ~3,3 Mio. km Fasern
- Basis der Backbone-Netze aller großen alternativen Netzbetreiber
- MANs und Zugangsnetze (FTTx); ISIS/OPAL der DTAG für > 4 Mio. Tln.

□ Einsatz von WDM-Technologie

- in US-Weitverkehrsnetzen seit 1995, in Europa seit 1997
- Marktvolumen in Nordamerika: 500 Mio. US\$ (1996); >> 3 Mrd. US\$ (1999)
- Pläne in Deutschland (erste Versuchsstrecke der DTAG, weitere 20 - 30 Strecken in Planung, DFN: Ersatz des B-WiN durch G-WiN im Frühjahr 2000)

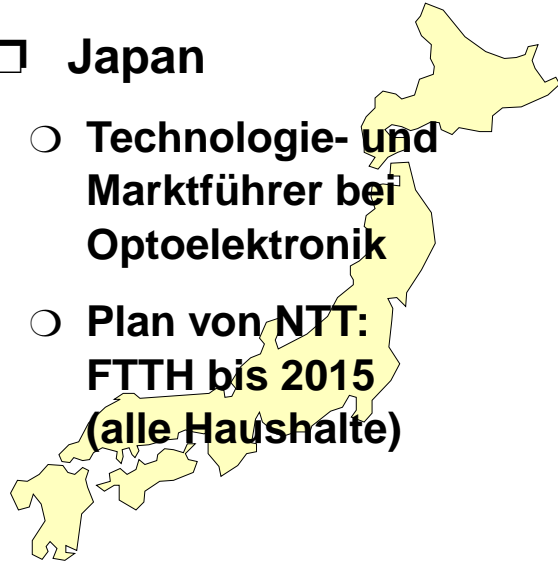
□ Unterseekabelsysteme basierend auf Glasfasern

- seit 1989 im Atlantik (Europa - USA), Bitraten ab 280 Mbit/s
- stärkerer Zuwachs als bei Satellitenverbindungen
- weltweit zahlreiche neue Projekte unter Verwendung von WDM

Forschungsaktivitäten „Photonische Netze“

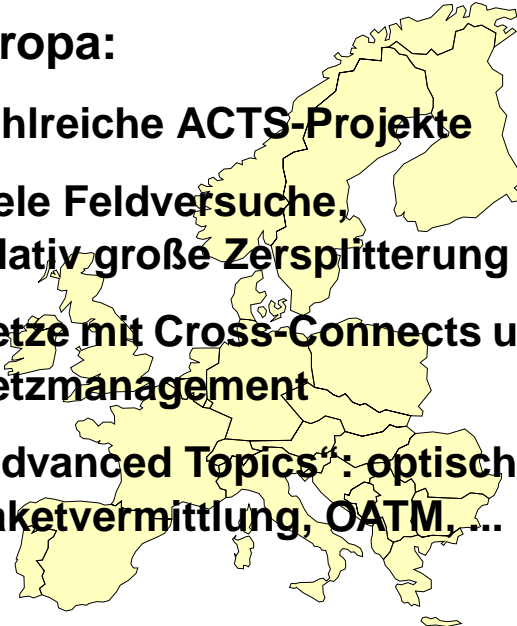
☐ Japan

- Technologie- und Marktführer bei Optoelektronik
- Plan von NTT: FTTH bis 2015 (alle Haushalte)



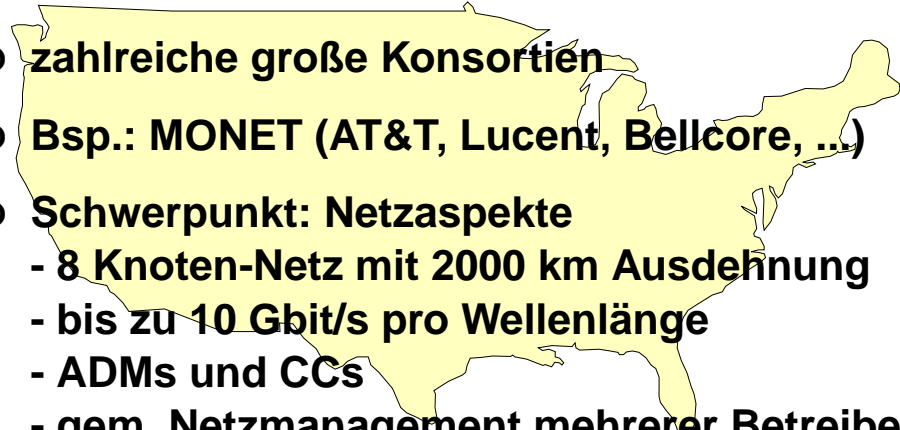
☐ Europa:

- zahlreiche ACTS-Projekte
- viele Feldversuche, relativ große Zersplitterung
- Netze mit Cross-Connects und Netzmanagement
- „advanced Topics“: optische Paketvermittlung, OATM, ...



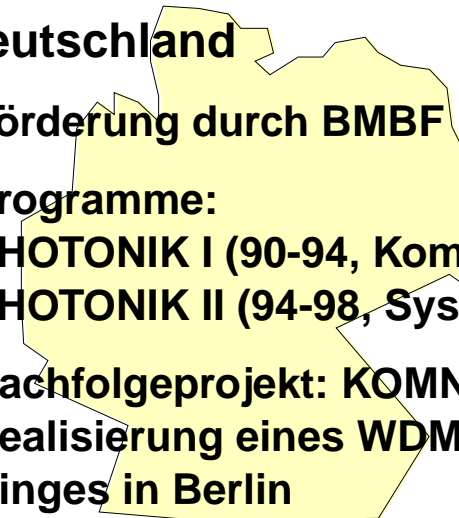
☐ USA

- zahlreiche große Konsortien
- Bsp.: MONET (AT&T, Lucent, Bellcore, ...)
- Schwerpunkt: Netzaspekte
 - 8 Knoten-Netz mit 2000 km Ausdehnung
 - bis zu 10 Gbit/s pro Wellenlänge
 - ADMs und CCs
 - gem. Netzmanagement mehrerer Betreiber



☐ Deutschland

- Förderung durch BMBF
- Programme: PHOTONIK I (90-94, Komponenten) PHOTONIK II (94-98, Systeme)
- Nachfolgeprojekt: KOMNET Realisierung eines WDM-City-Ringes in Berlin



Gliederung

- Einführung
- Entwicklungstrends
- Grundkonzepte und -komponenten
- Photonische Netze in Realisierung und Forschung

- **Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt**
 - **Methoden und Arbeitsgebiete**
 - **Netzplanung**
 - **Leistungsbewertung**

- **Probleme und Visionen**

Methoden und Arbeitsschwerpunkte

☐ Netzplanung

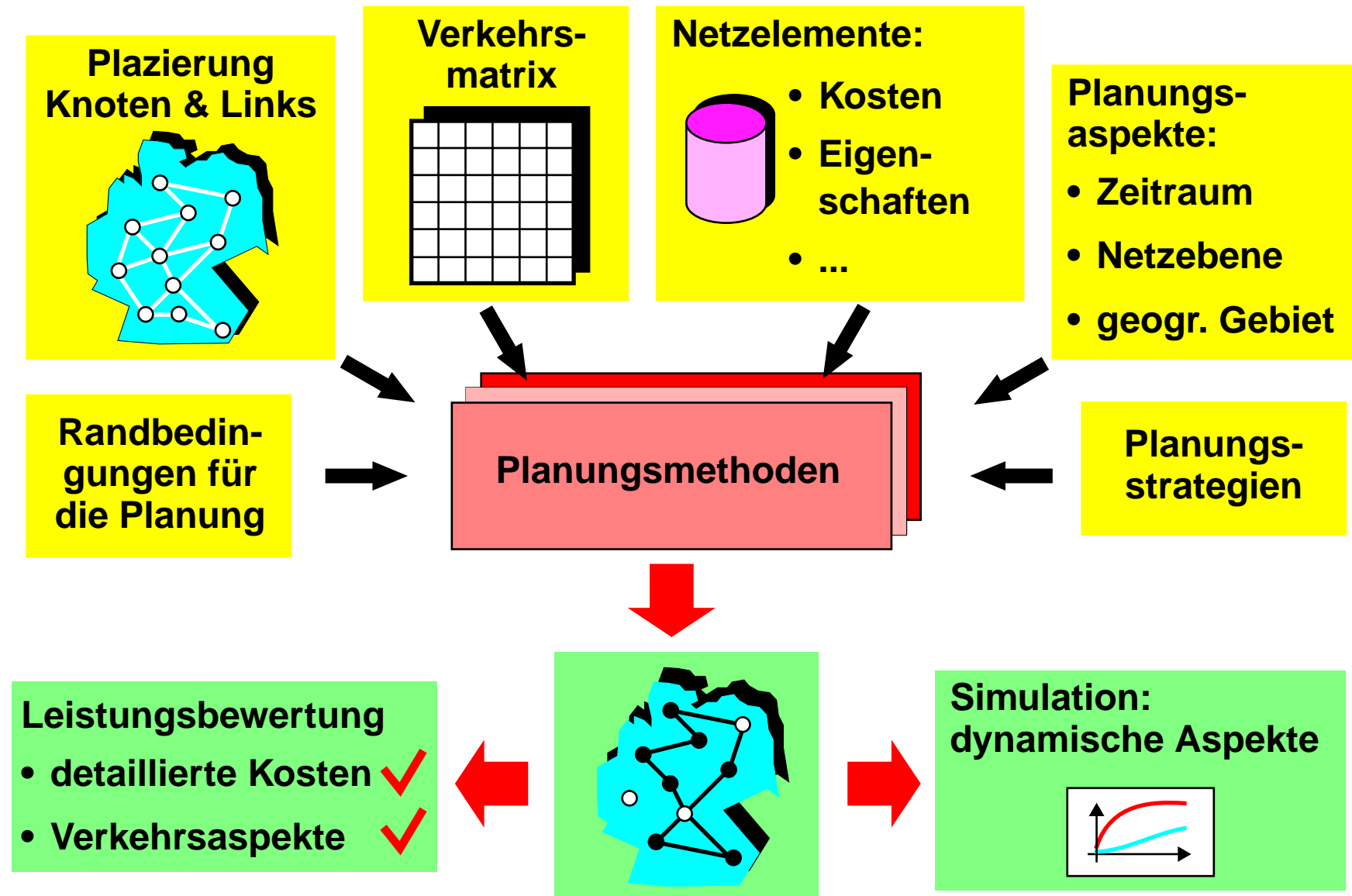
- Multi-Layer Planning
- Netzeditor

☐ Leistungsbewertung (analytisch und simulativ)

- Routingverfahren
- Architektur von Netzen und Netzelementen

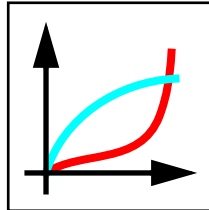
☐ Verfügbarkeit von Netzen

- *Protection-* und *Restoration*-Mechanismen

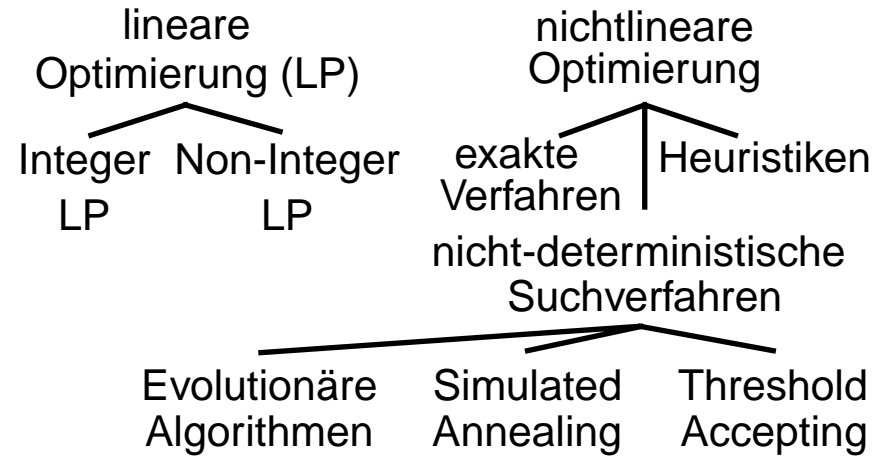


Verkehrsvorhersage

- wichtig
- schwierig
- Klassifizierung gemäß:
 - Zeitraum
 - geographischem Gebiet
 - Einflußparameter

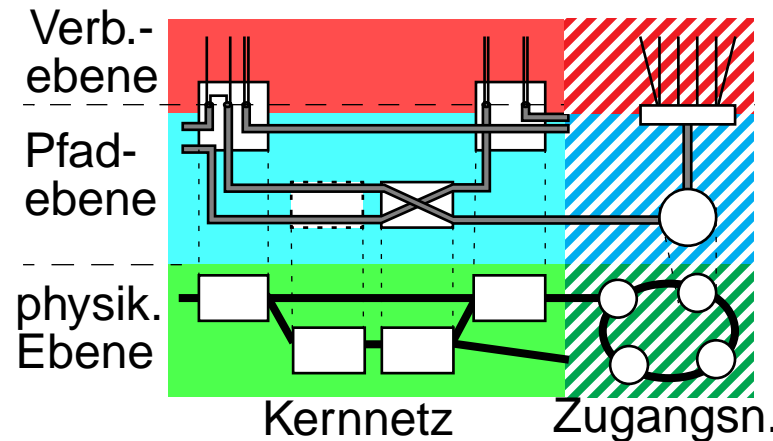


Optimierungsverfahren



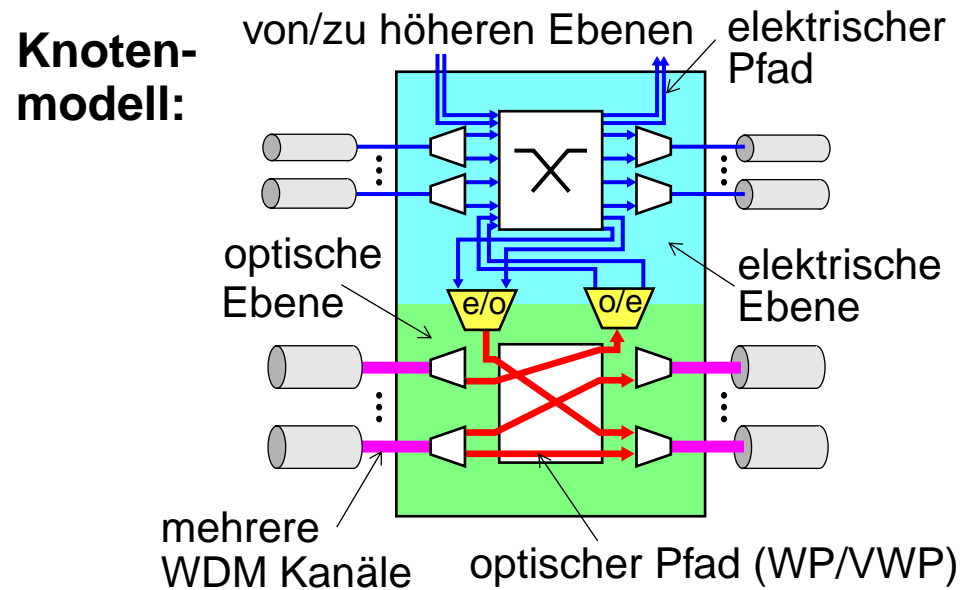
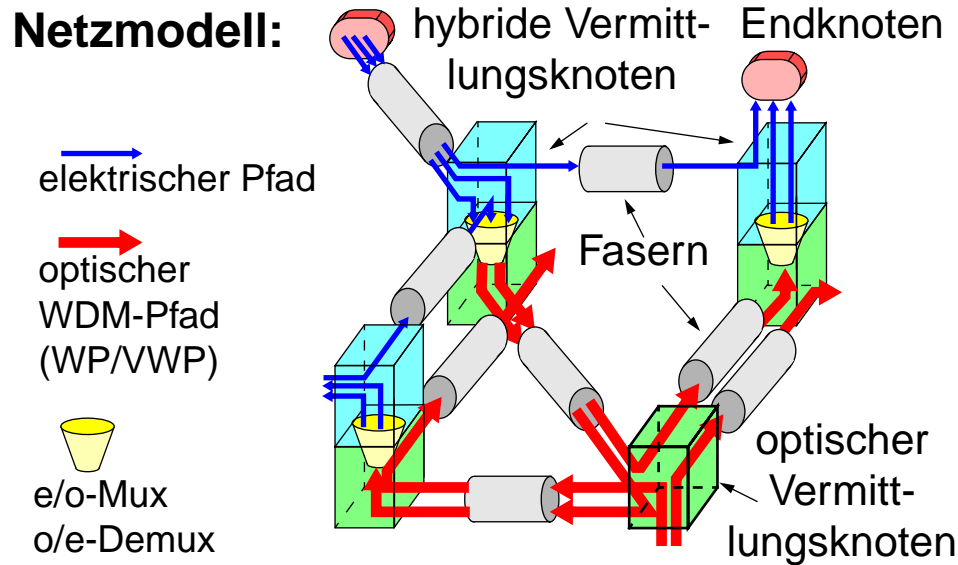
Dekompositionsverfahren

- funktional
- vertikal

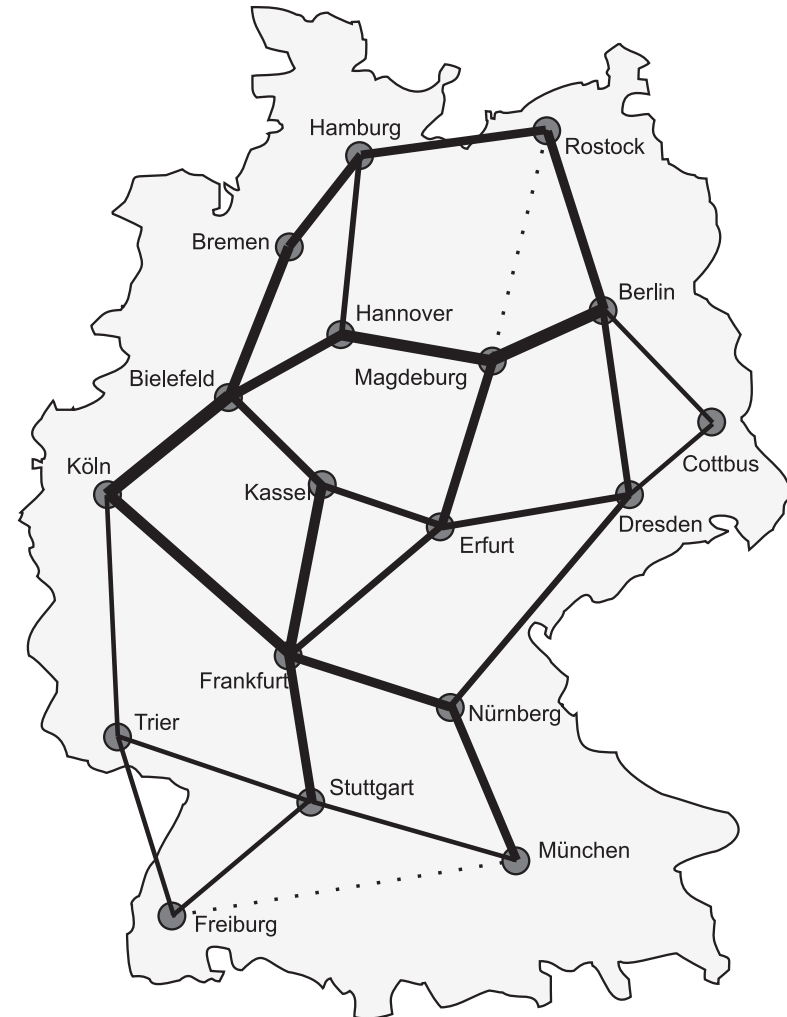


Modellierungsverfahren

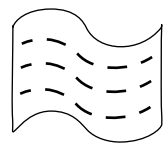
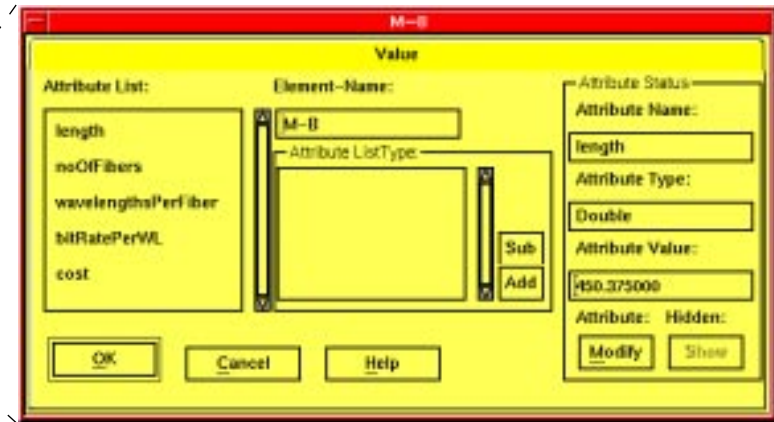
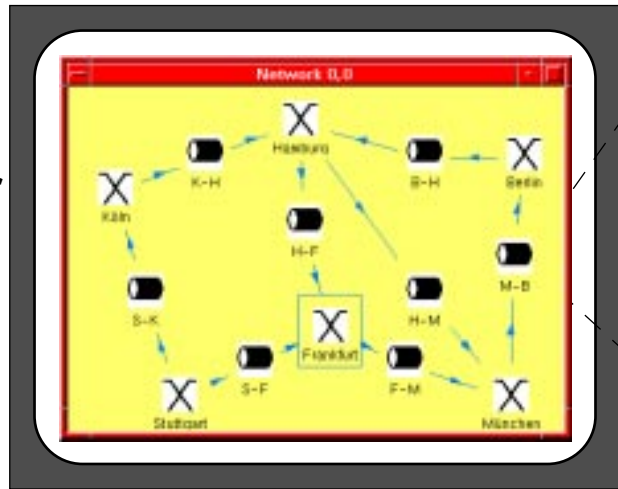
- verkehrstheoretische Modelle
- graphentheoretische Modelle



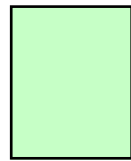
Planungsergebnis:



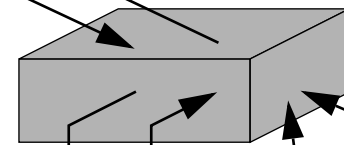
grafisch
gesteuerter
Netzeditor



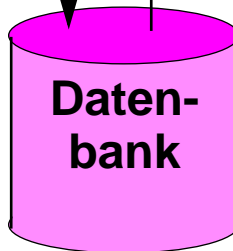
Eingabe-
parameter



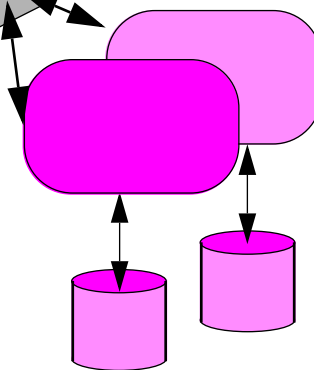
Filter



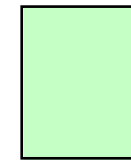
API



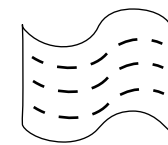
Daten-
bank



Algorithmen mit
lokalen Datenbanken

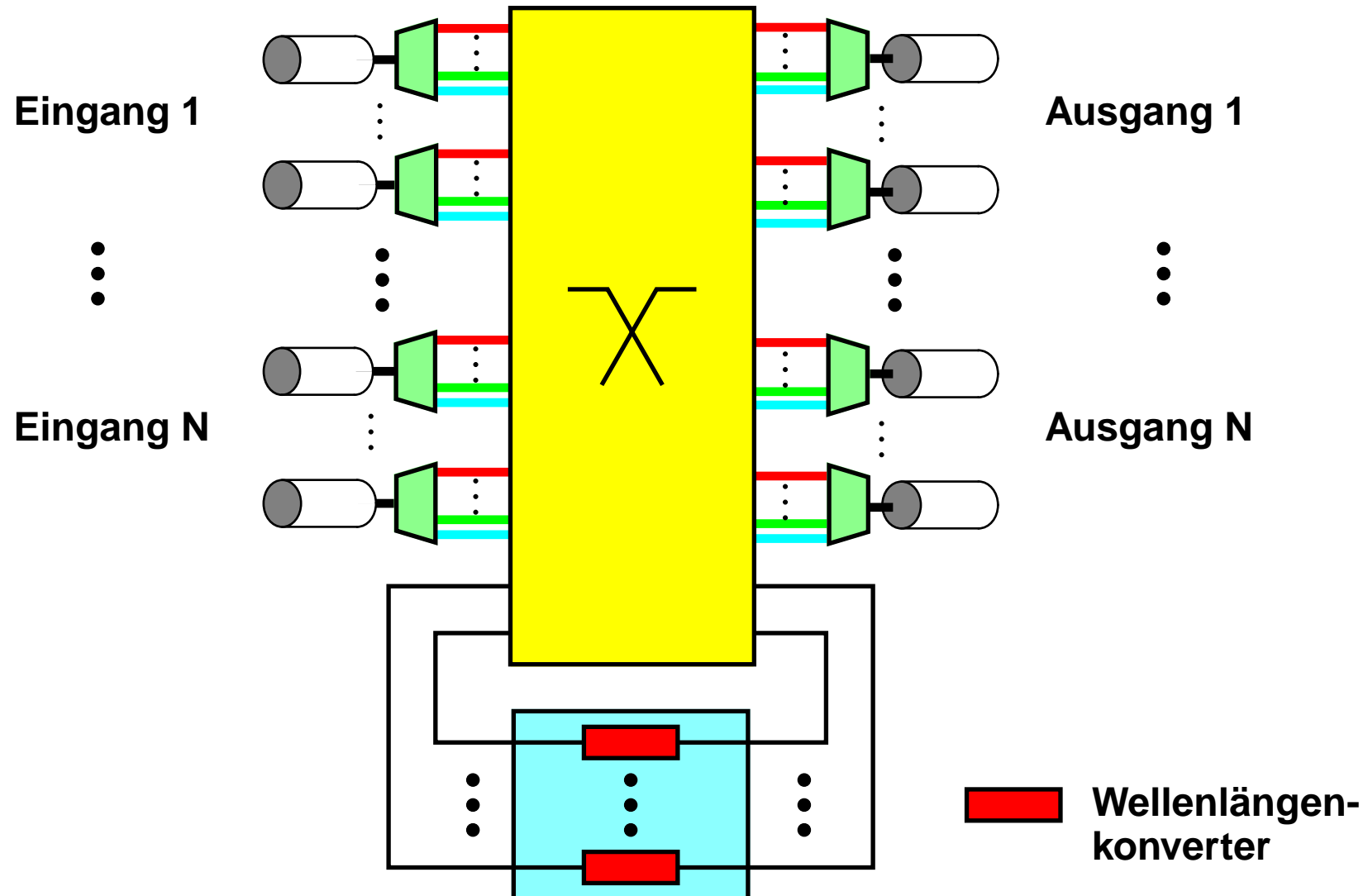


Generator



Ausgabe

Beispiel für Bewertung einer Crossconnect-Architektur



❑ Fallstudie:

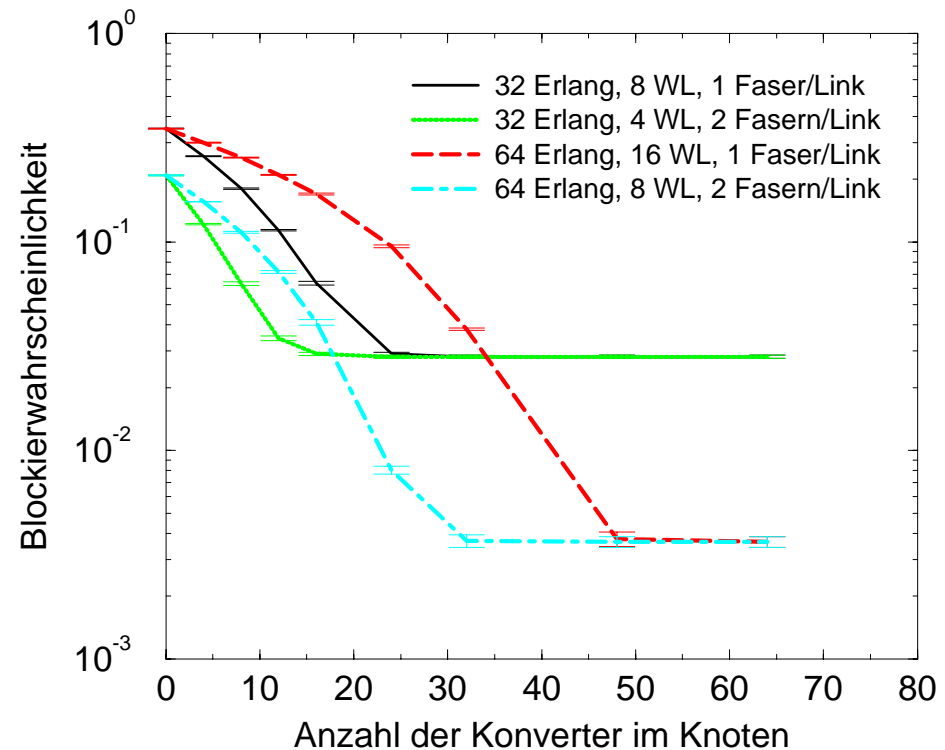
- Crossconnect mit 8 Links
- 1 oder 2 Fasern pro Link
- 4/8/16 Wellenlängen/Faser
- Konverterpool
- 0,5 Erlang/Wellenlänge

❑ Einfluß von Parametern:

- *WDM-Kanäle pro Faser*
- *Fasern pro Link*
- *Anzahl Konverter*

❑ Verbesserung bereits mit **wenigen Konvertern**

❑ **Bündelungsgewinn**



Gliederung

- ❑ Einführung
- ❑ Entwicklungstrends
- ❑ Grundkonzepte und -komponenten
- ❑ Photonische Netze in Realisierung und Forschung
- ❑ Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt
- ❑ **Probleme und Visionen**

Probleme und Visionen

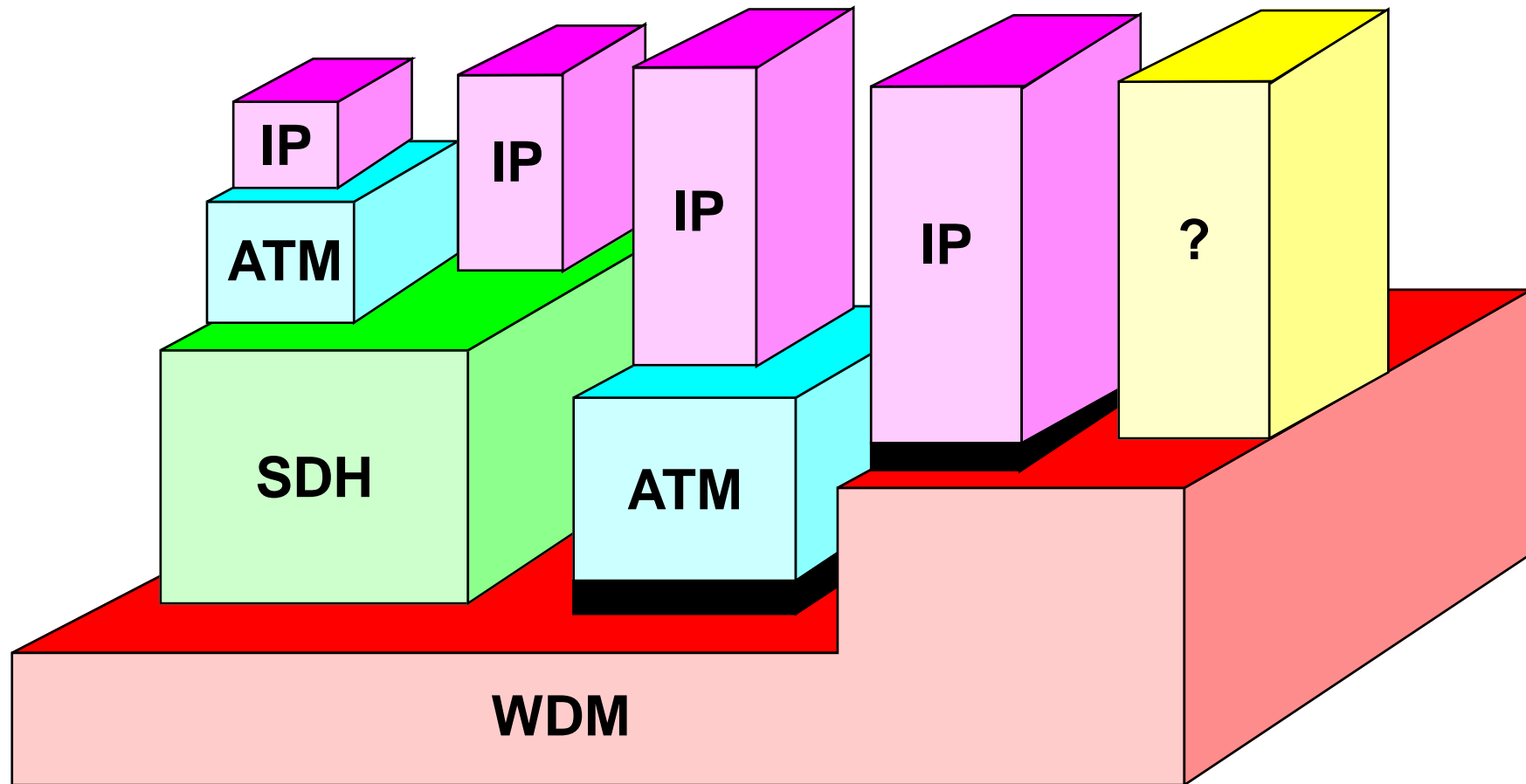
❑ Probleme / offene Punkte:

- Management optischer Systeme und Netze
- Verkehrsverhalten in künftigen Transportnetzen
- Transparenz in optischen Netzen; Regeneration
- Standardisierung

❑ Ausblick und Visionen:

- Weiterentwicklung bei Fasern / Übertragungstechnologien / OEICs
- optische Signalverarbeitung
- Konvergenz **Paketvermittlung – Photonik** („IP over WDM“)

Zukünftige Netzarchitekturen



- ❑ **Photonik:** einzige Möglichkeit, um exponentiell steigende Verkehrsanforderungen zu erfüllen
- ❑ **Vision:** Bandbreite umsonst und unbegrenzt verfügbar