

# **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**

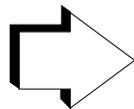
- Entwicklungstrends**
- Grundkonzepte und -komponenten**
- Photonische Netze in Realisierung und Forschung**
- Forschungsaktivitäten im BMBF-Projekt**
- Probleme und Visionen**

# 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

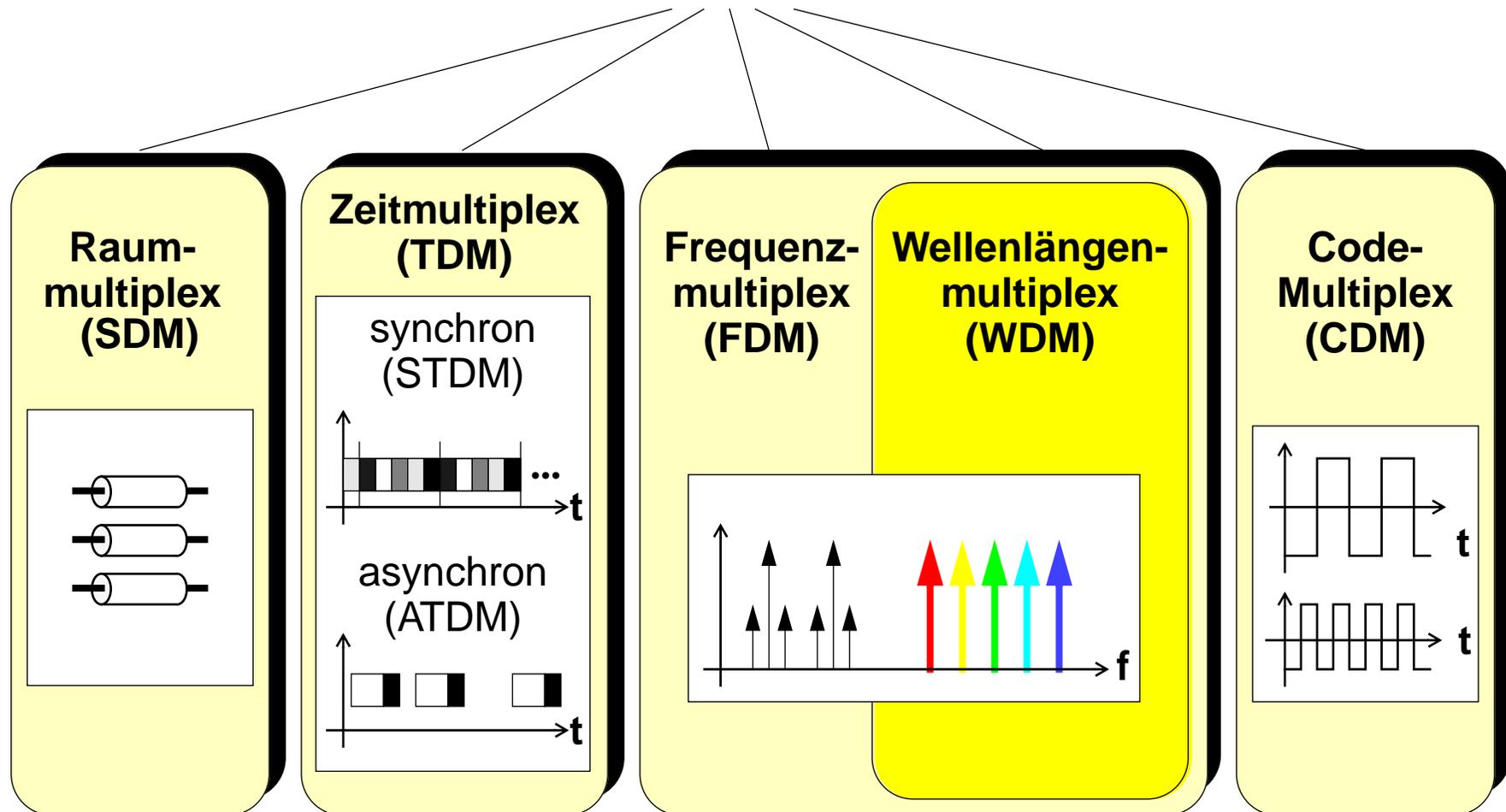
- ❑ riesige Bandbreite auf Glasfasern (theoretisch: ~ 25.000 Gbit/s = 25 Terabit/s)
- ❑ geringes Gewicht und kleine Querschnitte (bis zu  $10^6$  Fasern pro  $\text{cm}^2$ )
- ❑ Störunempfindlichkeit gegenüber elektrischen Einflüssen
- ❑ Sicherheit (kein unbemerktes Auskoppeln der Signale)
  
- ❑ Transparenz
- ❑ Verstärkerabstand ( $> 30$  km)
- ❑ Mehrkanalverstärker



vielversprechende Eigenschaften für kostengünstige Systeme

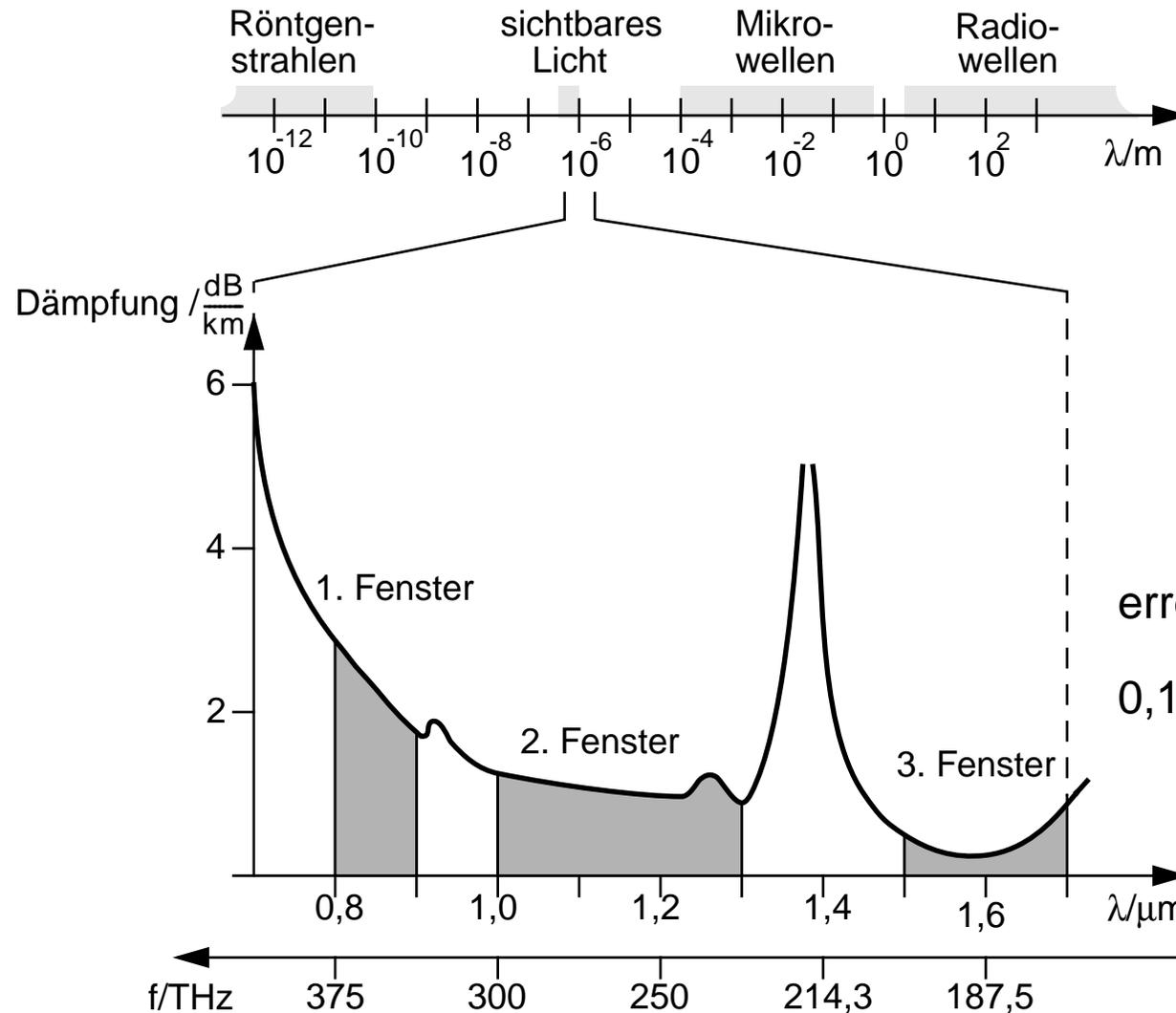
# WDM (Wavelength Division Multiplexing)

## 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:

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

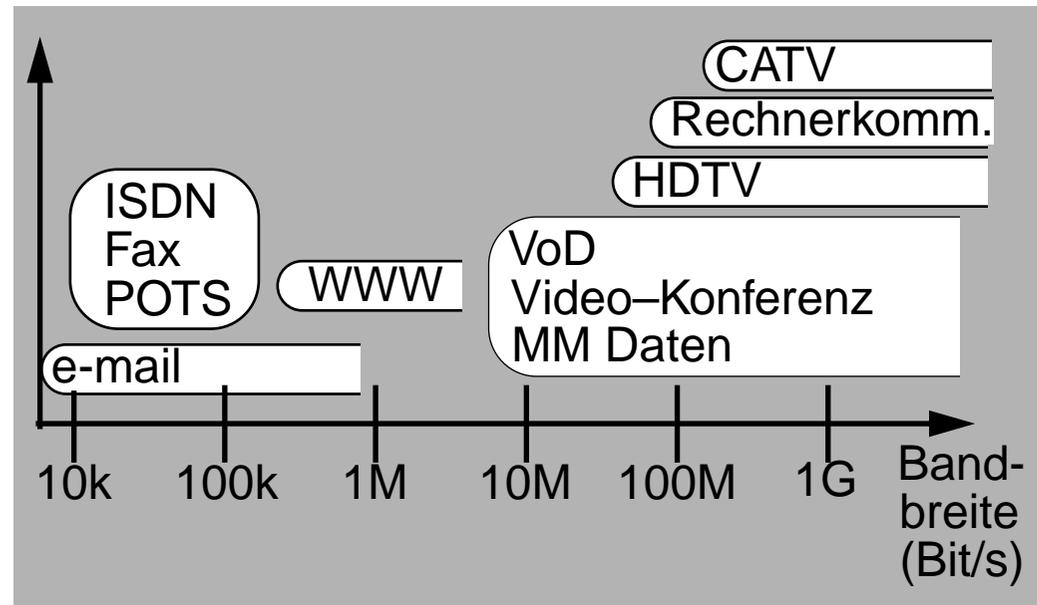
# Gliederung

---

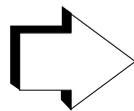
---

- 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:

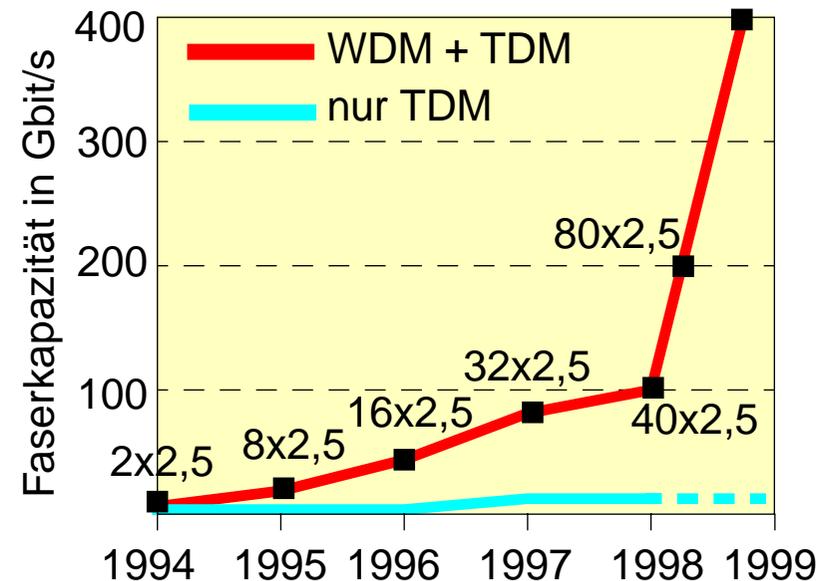
- große Fortschritte seit der Einführung 1994/95
- Potential: Verstärker, Kanalraten
- Problem: Regeneratoren, Management

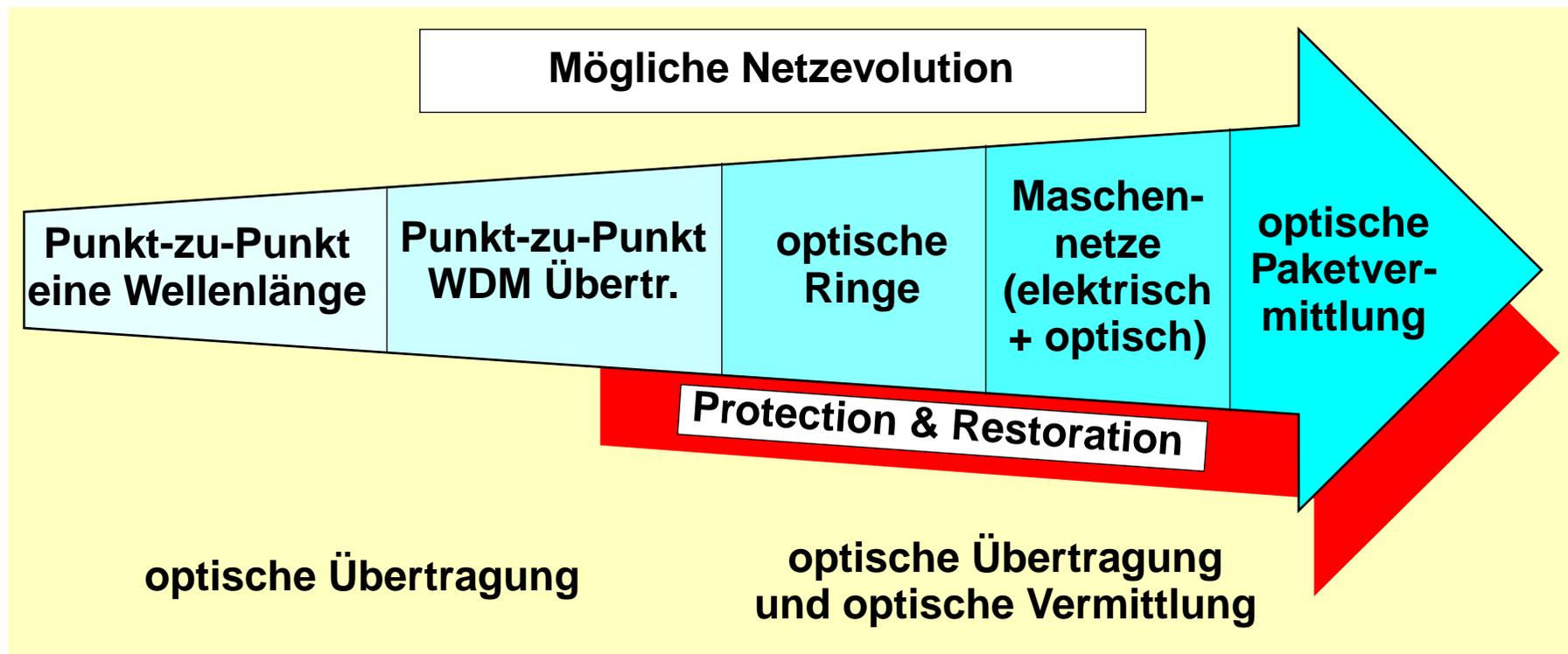
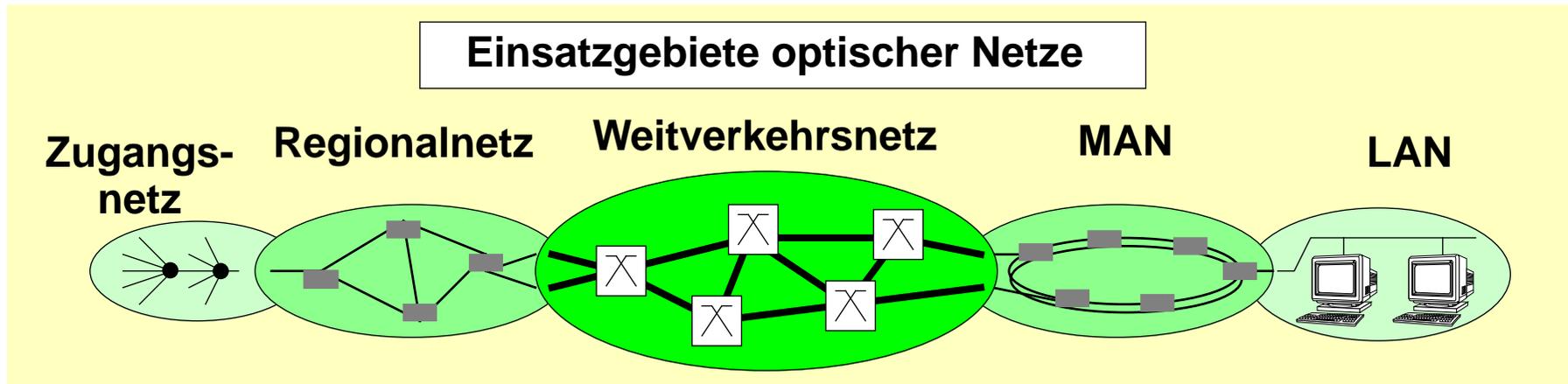
## ☐ Entwicklung der Übertragungskapazität über Singlemode-Fasern

### ○ kommerzielle Systeme:

### ○ Laborversuche (1998):

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





# Gliederung

---

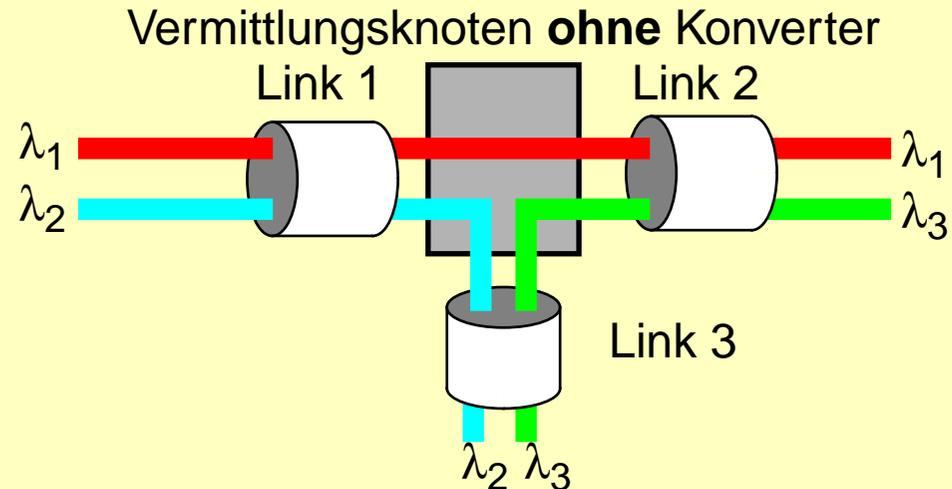
---

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

# Grundkonzepte für WDM-Netze Wellenlängenkonflikt

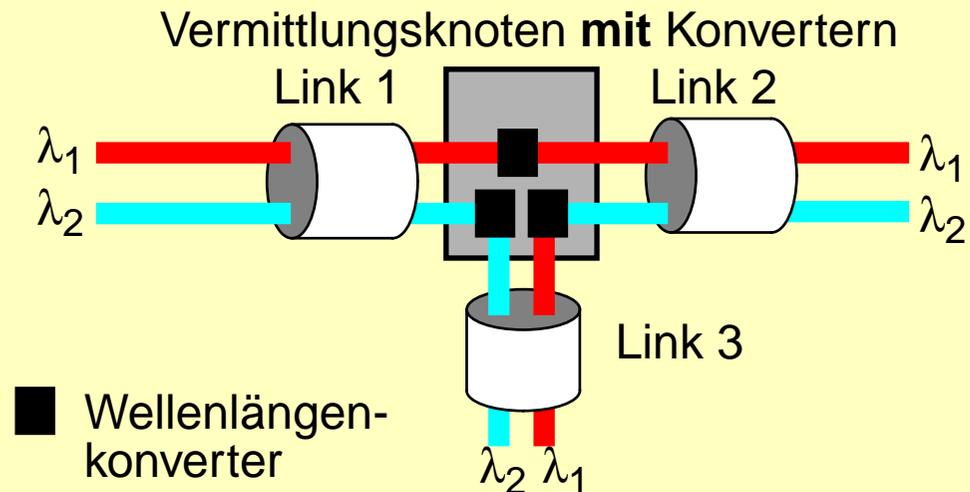
## □ Wavelength Path (WP):

- durchgehende Wellenlänge von Quelle bis Senke
- keine Konversionen



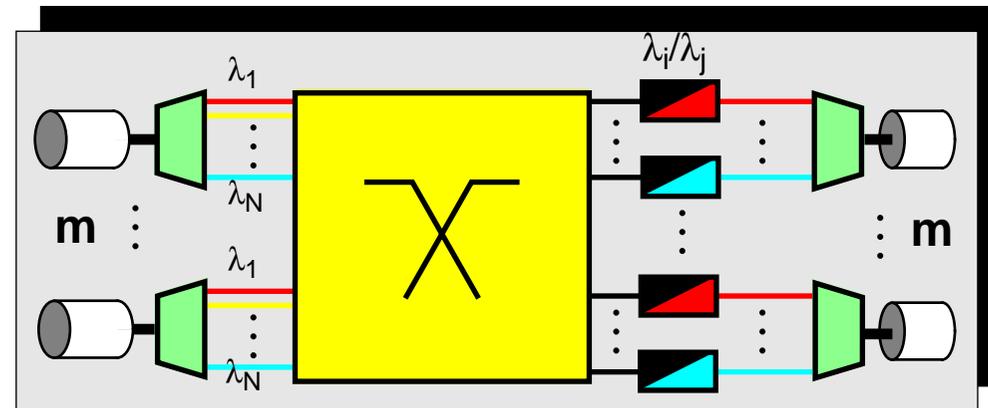
## □ Virtual Wavelength Path (VWP):

- Wellenlängen abschnittsweise zugeteilt
- beliebige Konversion in jedem Knoten

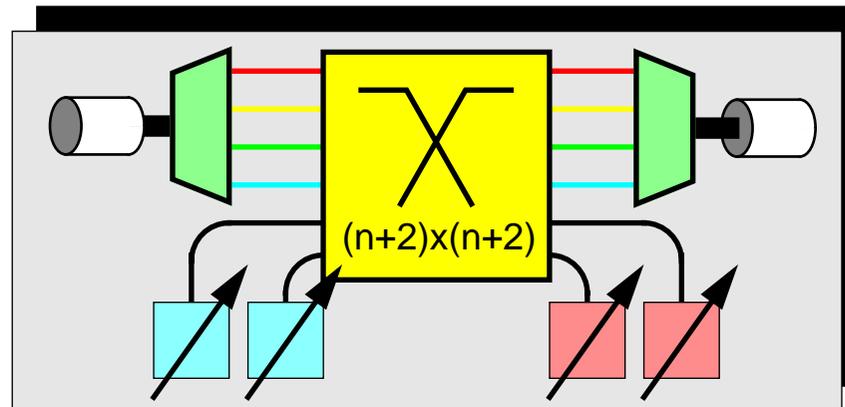


## □ Konzepte mit partieller Konversion

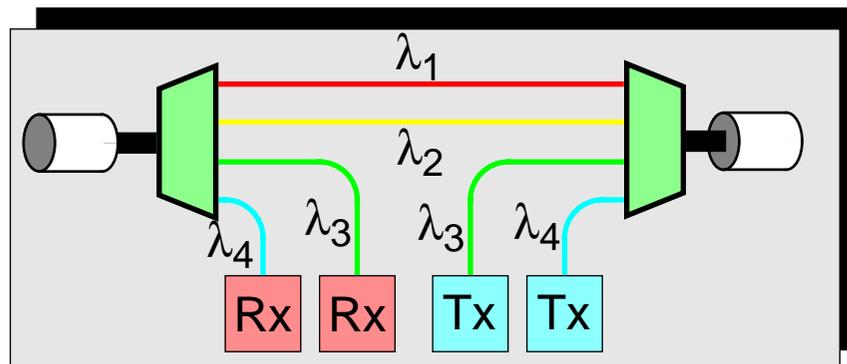
optischer  
Crossconnect



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“

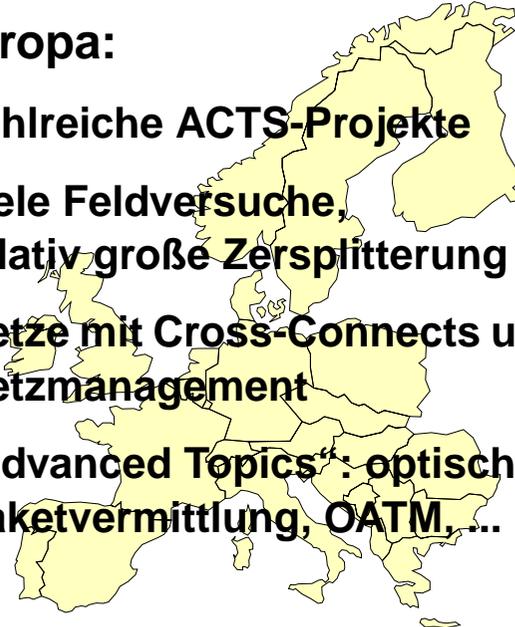
## ☐ Japan

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



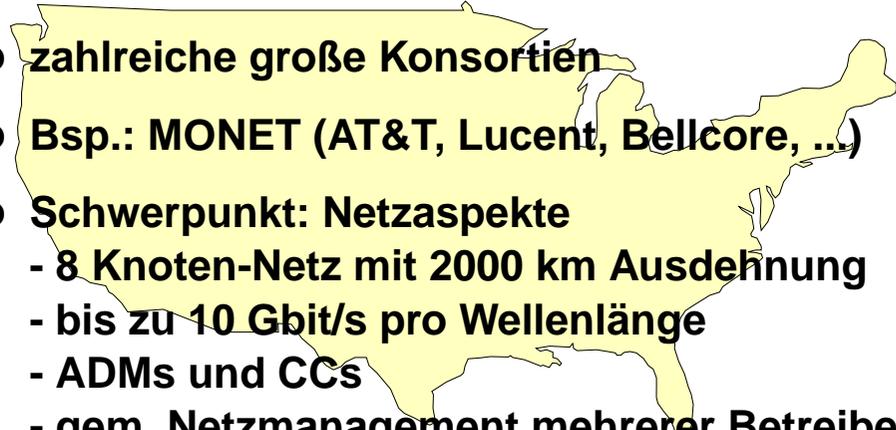
## ☐ Europa:

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



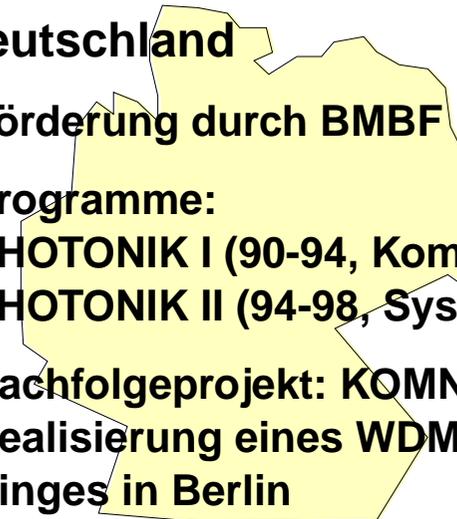
## ☐ USA

- 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

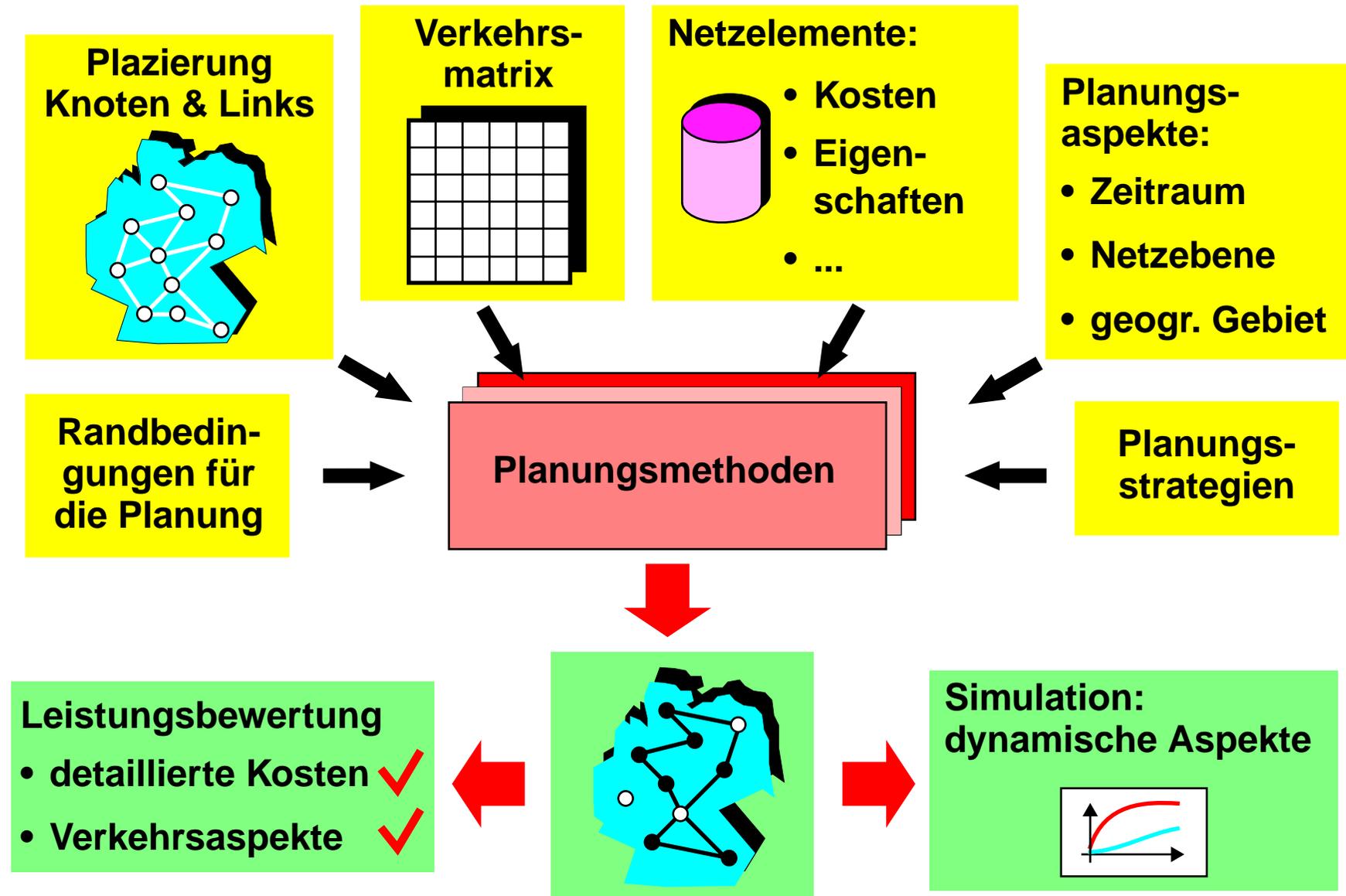
---

- 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

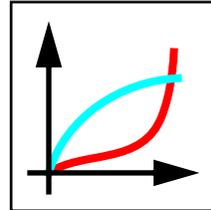
---

- ❑ **Netzplanung**
  - **Multi-Layer Planning**
  - **Netzeditor**
  
- ❑ **Leistungsbewertung (analytisch und simulativ)**
  - **Routingverfahren**
  - **Architektur von Netzen und Netzelementen**
  
- ❑ **Verfügbarkeit von Netzen**
  - ***Protection-* und *Restoration*-Mechanismen**

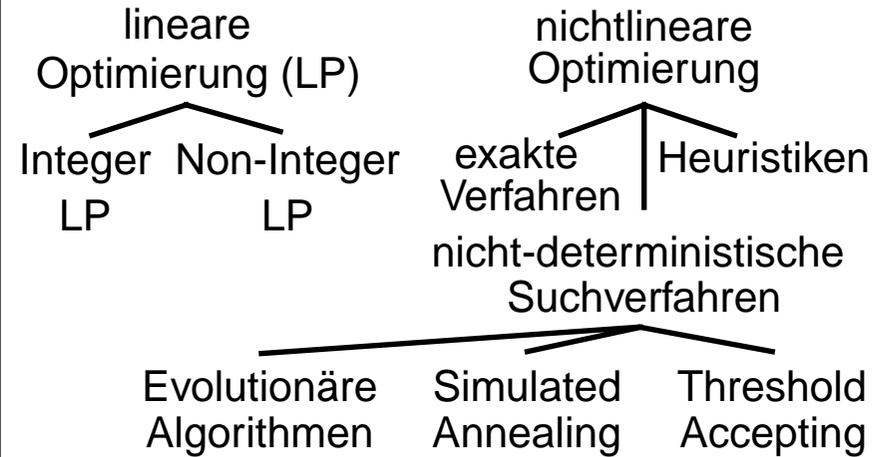


## Verkehrsvorhersage

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

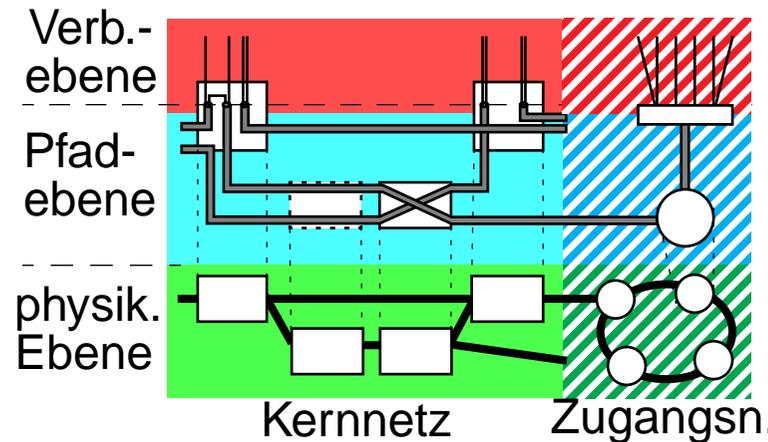


## Optimierungsverfahren



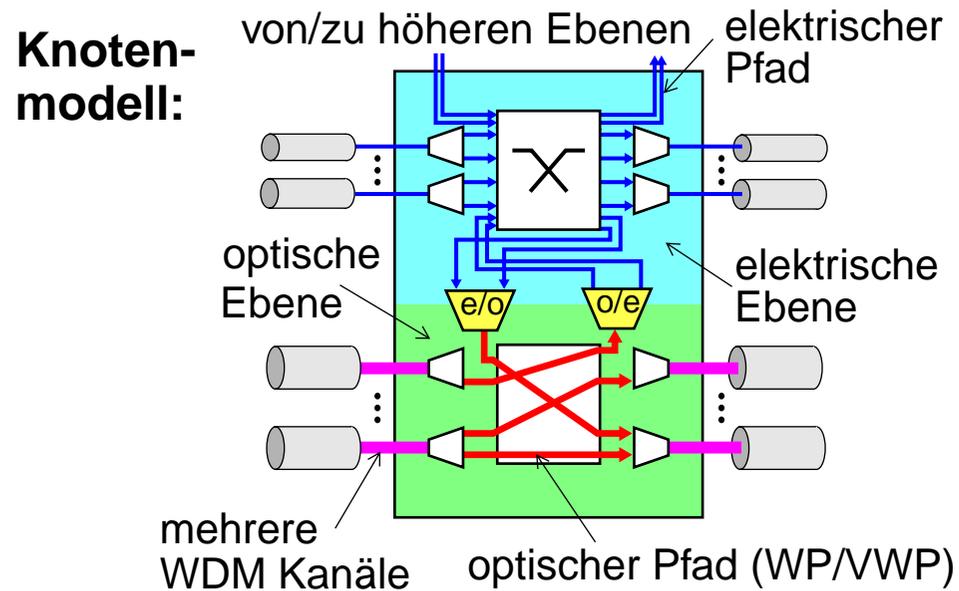
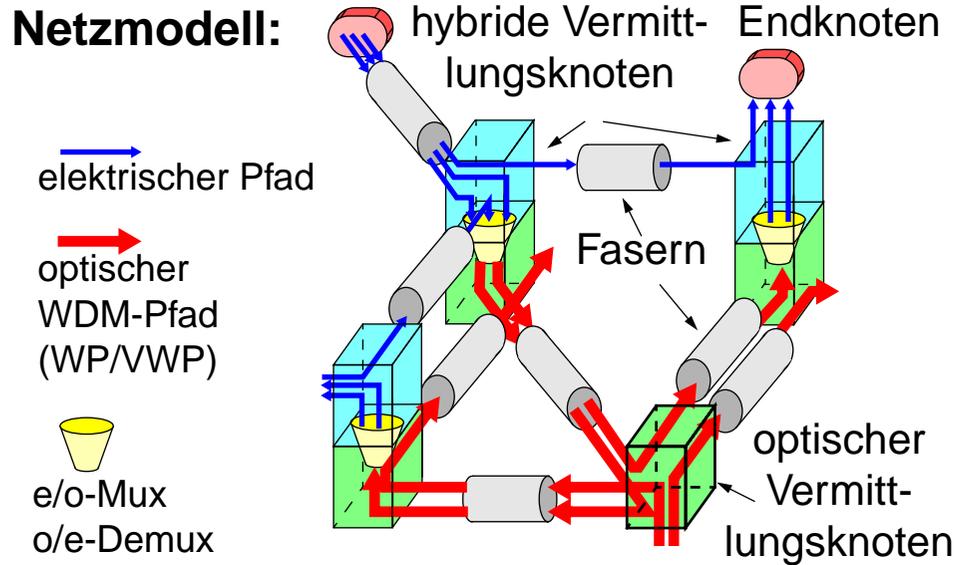
## Dekompositionsverfahren

- funktional
- vertikal

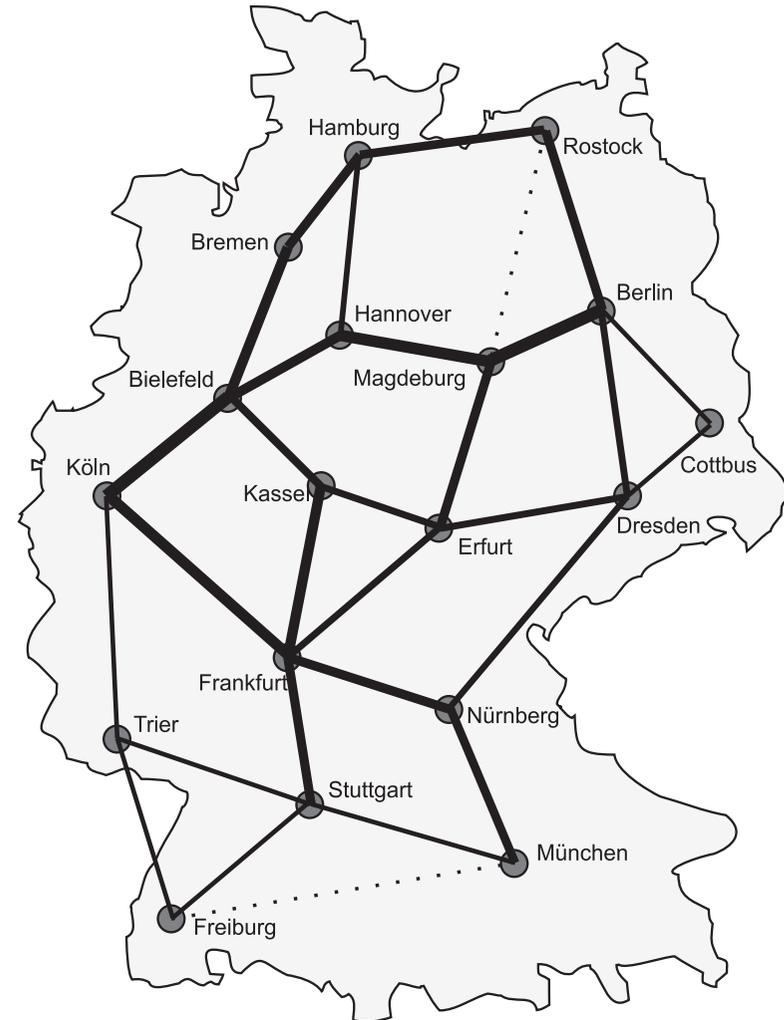


## Modellierungsverfahren

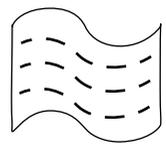
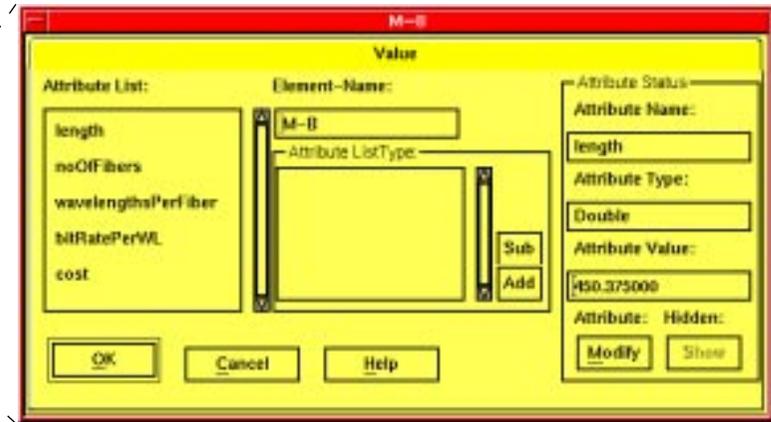
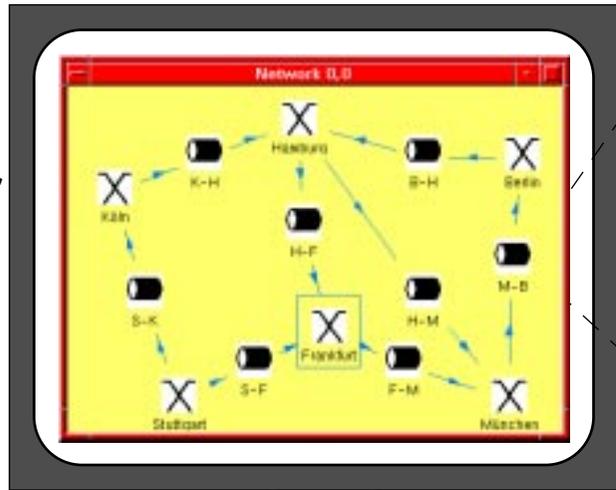
- verkehrstheoretische Modelle
- graphentheoretische Modelle



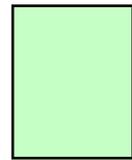
## Planungsergebnis:



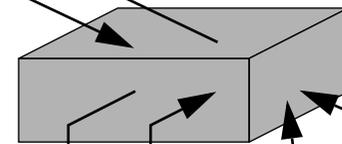
grafisch  
gesteuerter  
Netzeditor



Eingabe-  
parameter



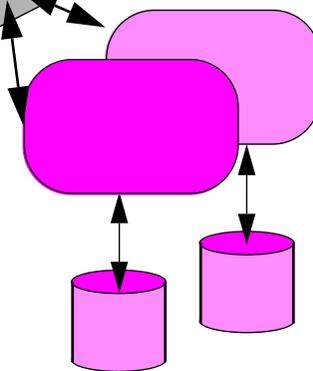
Filter



API



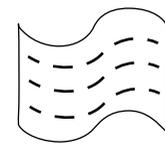
Daten-  
bank



Algorithmen mit  
lokalen Datenbanken

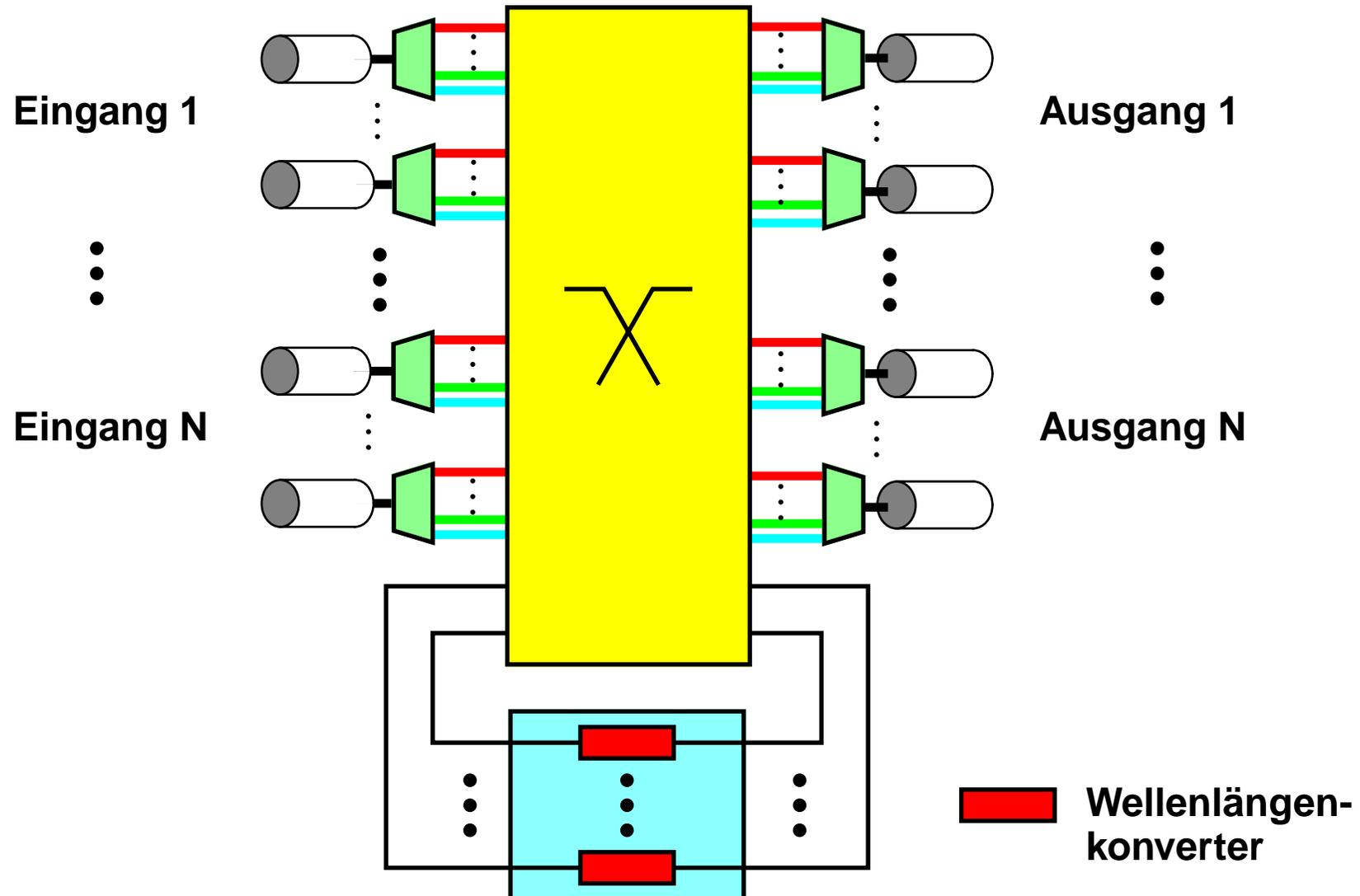


Generator



Ausgabe

## Beispiel für Bewertung einer Crossconnect-Architektur



## ❑ Fallstudie:

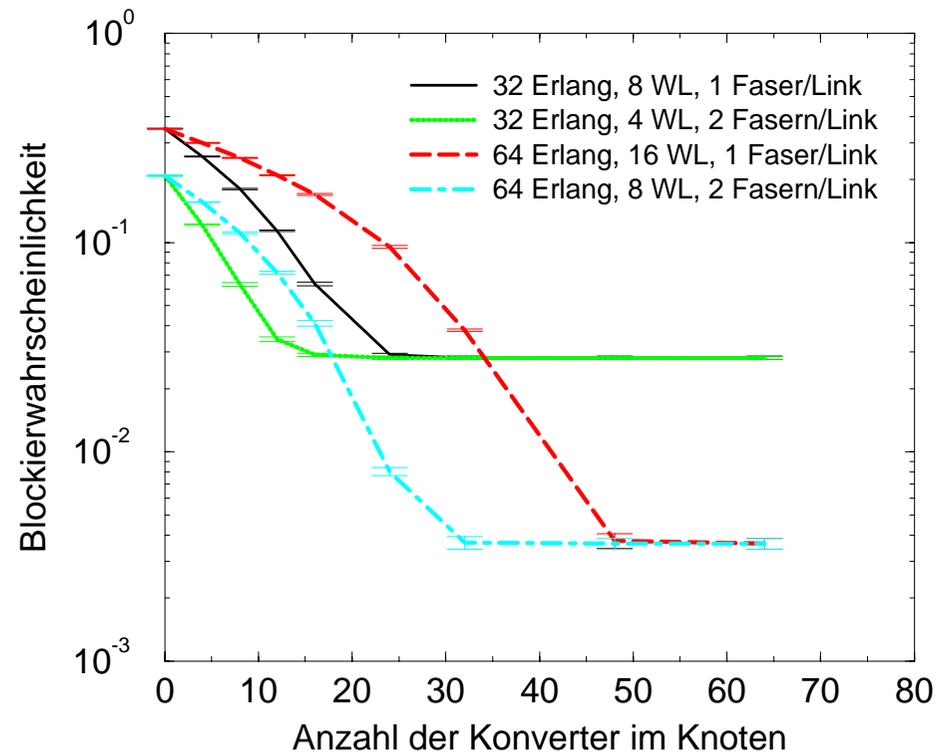
- Crossconnect mit 8 Links
- 1 oder 2 Fasern pro Link
- 4/8/16 Wellenlängen/Faser
- Konverterpool
- 0,5 Erlang/Wellenlänge

## ❑ 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:

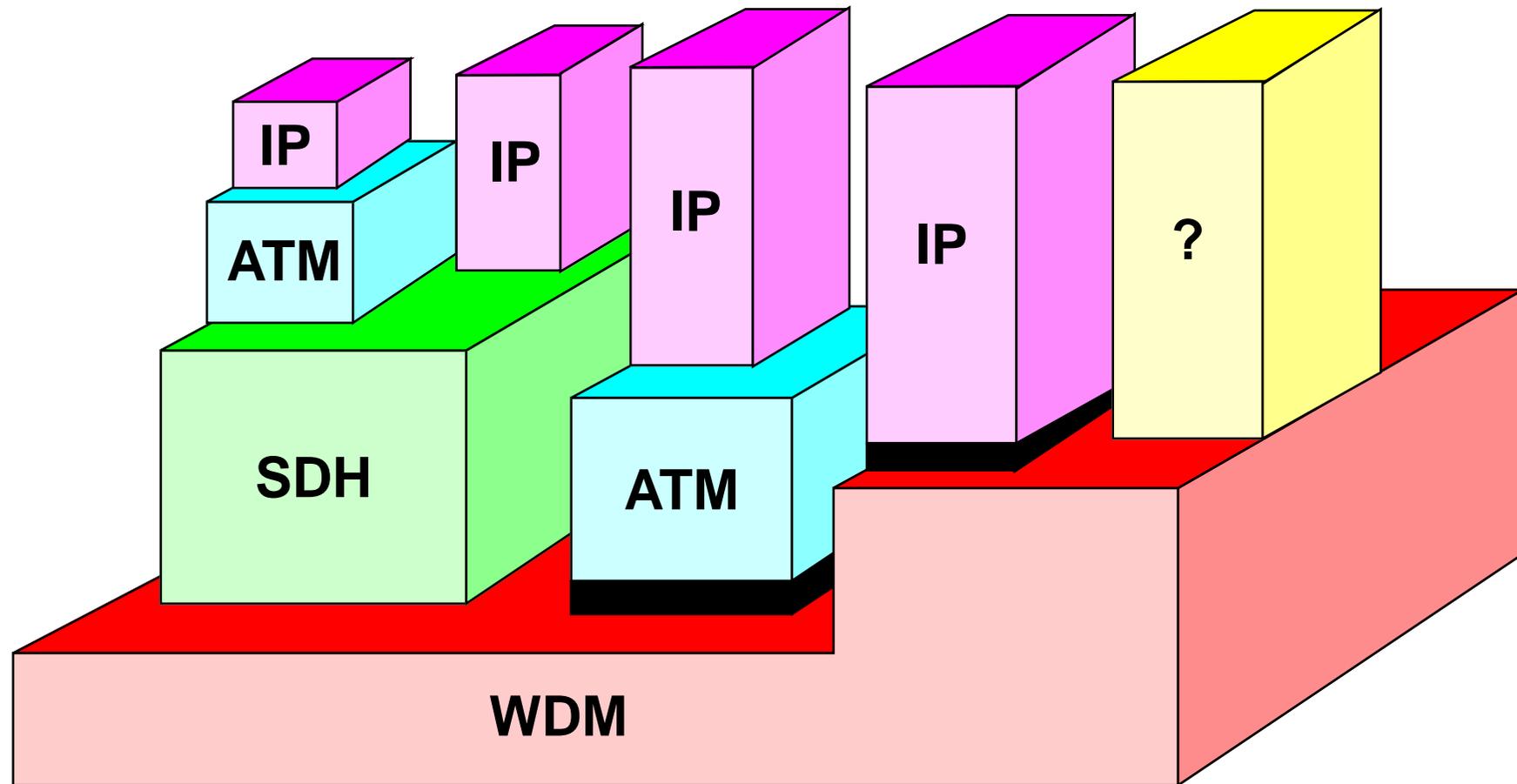
- Management optischer Systeme und Netze
- Verkehrsverhalten in künftigen Transportnetzen
- Transparenz in optischen Netzen; Regeneration
- Standardisierung

## ❑ 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