

Photonische Kommunikationsnetze – Komponenten und Netzkonzepte *

Jan Späth¹, K.-D. Langer², M.N. Huber³

¹ Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung, Universität Stuttgart
Tel.: 0711 / 121 2488, Fax: 0711 / 121 2477, EMail: spaeth@ind.uni-stuttgart.de

² Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH
Tel.: 030 / 31002 457, Fax: 030 / 31002 250, EMail: langer@hhi.de

³ Siemens AG, München
Tel.: 089 / 722 23667, Fax: 089 / 722 27787, EMail: Manfred.Huber@oenzl.siemens.de

Kurzfassung

Photonische Kommunikationsnetze bieten vielversprechende Ansätze zur Gestaltung der künftigen Telekommunikations-Infrastruktur. Dies hat zu einer starken Zunahme der Forschungsaktivitäten in diesem Bereich geführt, was sich unter anderem auch in einer großen Zahl von Veröffentlichungen zeigt (z.B. in [2],[3],[4]). Unter *Photonik* wird dabei eine Systemtechnik verstanden, bei welcher die Informationsübertragung und -verarbeitung sowohl mit *optischen* als auch mit *opto-elektronischen* Mitteln erfolgt. Einige Vorteile optischer Technologien sind:

- die riesige verfügbare Bandbreite auf Glasfasern (ungefähr 25 – 50 THz)
- kleine Bitfehlerwahrscheinlichkeiten
- ein größerer Verstärkerabstand (>30 km) im Vergleich zu Kupfersystemen (~1,5 km)
- Gewicht und Querschnitte (bis zu 10⁶ Fasern pro cm²) kleiner als bei Kupferkabeln
- Störuneempfindlichkeit gegenüber elektrischen Einflüssen
- Möglichkeit transparenter Kanäle und einfacherer Netzstrukturen

Auf Grund dieser Vorteile werden bereits heute zahlreiche optische Übertragungsstrecken eingesetzt, wobei die Vermittlung allerdings noch immer im elektrischen Bereich geschieht. Da aber auch bei der Vermittlungstechnik große Fortschritte erzielt werden, sind Netze mit optischer Übertragung *und* Vermittlung in naher Zukunft realisierbar, wie zahlreiche Feldversuche belegen. Die Einsatzgebiete reichen dabei von optischen Backplane- und On-Board-Verbindungen für Multiprozessorsysteme über lokale Zugangsnetze bis hin zu Weitverkehrsnetzwerken.

Allerdings gibt es auch Beschränkungen optischer Technologien, die in absehbarer Zeit nicht aufgehoben werden können. Dazu zählt die Tatsache, daß keine optischen Informationsspeicher bekannt sind, die auch nur annähernd die Leistungsfähigkeit elektronischer Speicher erreichen. Auch wird die Integrationsdichte bei optischen Chips nicht den Stand der Elektronik erreichen. Außerdem steht die rein optische Signalverarbeitung erst am Anfang ihrer Entwicklung, so daß für komplexere Verarbeitungsvorgänge eine Wandlung in elektrische Signale notwendig ist. Diese Beschränkungen führen dazu, daß bisherige Netzkonzepte nur bedingt auf

* Diese Arbeit wurde teilweise mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie unter dem Förderkennzeichen 01 BP 504 / 2 gefördert.

optische Netze übertragen werden können. Mehr Erfolg versprechen hier neue, auf photonische Besonderheiten abgestimmte Konzepte.

Der folgende Beitrag soll – ausgehend von einer kurzen Bestandsaufnahme – einige wesentliche Entwicklungstrends in der Kommunikationstechnik aufzeigen. Als mögliches Entwicklungsziel wird ein Kernnetz basierend auf optischer Übertragung und Vermittlung sowie ein Zugangsnetz mit Glasfaseranschlüssen für Einzelteilnehmer gesehen. In welchem Zeitraum und auf welchem Weg dieses Ziel erreicht werden soll, ist aber noch eine offene Frage.

So herrscht beispielsweise noch Unsicherheit bezüglich der künftigen Dienstentwicklung. Zwar wird allgemein davon ausgegangen, daß im kommenden Informationszeitalter eine stark steigende Nachfrage nach Bandbreite ein deutlich erhöhtes Verkehrsaufkommen bewirken wird. Die bisher eher schleppend anlaufenden Feldversuche mit kostenpflichtigen Multimedia-Diensten für Privatteilnehmer zeigen aber auch, daß der private Markt die prognostizierten Zuwachsraten möglicherweise nicht in der erwarteten kurzen Zeit erreichen wird.

Auch bei technologischen Aspekten gibt es noch zahlreiche ungelöste Probleme. So wurden zwar beeindruckende Fortschritte bei den Übertragungsleistungen von Glasfasersystemen gemacht (Übersicht nach [1]), bei Komponenten und Systemen der optischen Vermittlungstechnik sind aber noch Verbesserungen erforderlich, um rein optische Netze realisieren zu können. Ebenso steht die Beantwortung von Fragen der Architektur und des Managements solcher Netze erst am Anfang.

Ein wichtiger Bereich der Telekommunikationsnetze sind die Zugangsnetze, die einen wesentlichen Teil der Gesamtkosten eines Netzes bewirken. Um auch hier leistungsfähige optische Lösungen zu herkömmlichen Realisierungen wirtschaftlich konkurrenzfähig zu machen, haben sich in der Aktion „Full Service Access Network“ (FSAN) wichtige Netzbetreiber und Systemhersteller mit dem Ziel zusammengeschlossen, durch die Definition von Anforderungen eine gemeinsame Basis für künftige Komponenten und Systeme zu schaffen [5]. Durch die dann möglichen größeren Stückzahlen werden signifikante Preisvorteile erwartet.

Die am Ende des Beitrags kurz angedeuteten Feldversuche und Forschungsprojekte zeigen, daß in großem Umfang an der Umsetzung der technologischen Fortschritte der letzten Jahre in funktionsfähige photonische Systeme und Netze gearbeitet wird. Der Einsatz photonischer Netze um die – oder kurz nach der – Jahrtausendwende erscheint daher durchaus realistisch.

Literatur

- [1] E.-J. BACHUS, K.-D. LANGER: „Photonische Kommunikationsnetze – Wellenlängenmultiplex für die Datenautobahn“, *G-IIA-Symposium*, Bochum, September 1996
- [2] Special Issue on Optical Networks, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 14, Nr.5, Juni 1996
- [3] Special Issue on Multiwavelength Optical Technology and Networks, *IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology*, Vol. 14, Nr. 6, Juni 1996
- [4] Special Issue on Optical Access Networks toward Life Enhancement, *IEICE Transactions on Communications*, Vol. E79-B, Nr. 7, Juli 1996
- [5] F. SPORLEDER et. al.: „Diensteneutrale Zugangsnetze“, *Der Fernmelde-Ingenieur*, S. 1 – S. 79, Mai/Juni/Juli 1996

Photonische Kommunikationsnetze

Komponenten und Netzkonzepte

Jan Späth, Institut für Nachrichtenvermittlung und Datenverarbeitung
Tel.: (0711) 121 - 2488, Fax: (0711) 121 - 2477
EMail: spaeth@ind.uni-stuttgart.de

K.-D. Langer, Heinrich-Hertz-Institut für Nachrichtentechnik Berlin GmbH

Dr. M.N. Huber, Siemens AG, München

Gliederung:

- „State of the Art“
- Entwicklungstrends
- Ausblick – offene Fragen

„State of the Art“ (1)

Netze:

- zunehmende Verbreitung des **ISDN** (64kb/s) bis zum Endteilnehmer
- starkes Anwachsen der **Mobilfunkdienste** (v.a. bei Sprachdiensten)
- Einsatz unterschiedlicher **Satellitensysteme** (geostationäre Systeme, LEOS)
- vielfältige **Rechnerkommunikationsnetze**
- **B-ISDN** in vielen Bereichen auf der Schwelle zur Einführung; **ATM-Pilotnetze**

Dienste:

- im **Weitverkehrsbereich** (noch) Dominanz der Sprachdienste (64 kb/s)
- Zunahme der Rechner-**Heimanwendungen** (v.a. über Modem mit 2,4 – 34 kb/s, zunehmend auch über ISDN)
- **Business-Anwendungen**: bereits heute Bedarf an höheren Bitraten, deshalb: oft teure Speziallösungen erforderlich
- Boom bei **Internet-/WWW-Anwendungen**

„State of the Art“ (2)

□ Übertragungstechnik

- im **Weitverkehrsbereich** überwiegend Verwendung von Glasfasern
- 2,5 Gb/s sind Standard, 10 Gb/s werden eingeführt (Punkt-zu-Punkt)
- **MAN-Bereich**: Reihe von Standardlösungen (FDDI, DQDB)
- **LAN-Bereich**: Raten von 10 MB/s – 100 MB/s verbreitet
- **Zugangsnetze**: Kupfer/Koax; Funknetze; z.T. Fasernetze

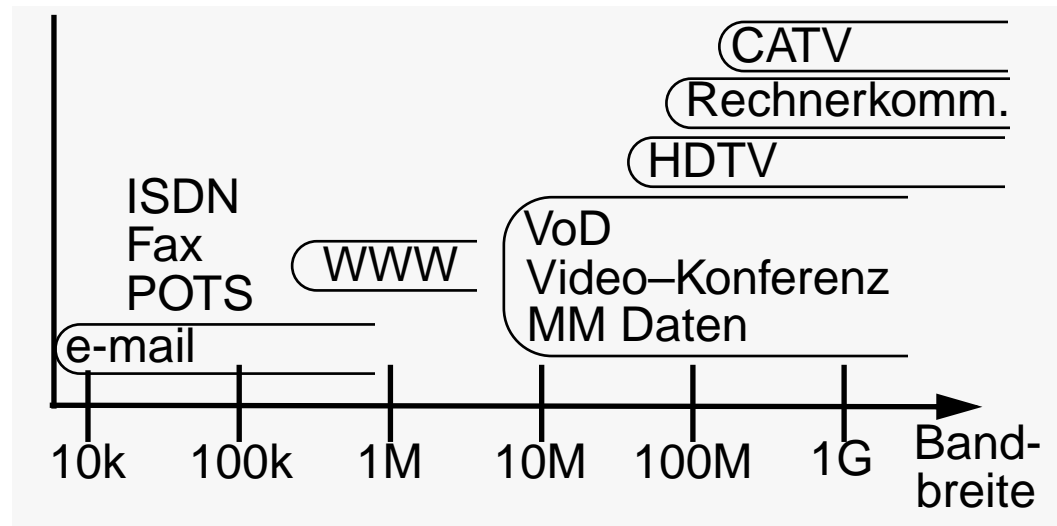
□ Vermittlungstechnik

- Multi-Megabit-Switche verfügbar; Gigabit evtl. noch elektronisch realisierbar
- günstige CMOS-Technologie wird beherrscht
- Probleme bei ATM (Puffergröße, Geschwindigkeit, Komplexität)

□ Regulatorische Randbedingungen

- mehrere Betreiber → Konkurrenz
- Regelungen für Wegerechte und -gebühren sind umstritten

- künftig: breites Spektrum an Bandbreitanforderungen
- moderates Wachstum der Anforderungen des Einzelteilnehmers
- Zunahme bei Diensten wie Video-on-Demand fraglich (Akzeptanz, Kosten)



- neue, unerwartete Entwicklungen (WWW, Java, Rechnerkommunikation)
- steigende Teilnehmerzahlen
- aufkommende Spezialanwendungen (Verbindung von TV-Studios)

→ starker Zuwachs im Transportbereich zu erwarten



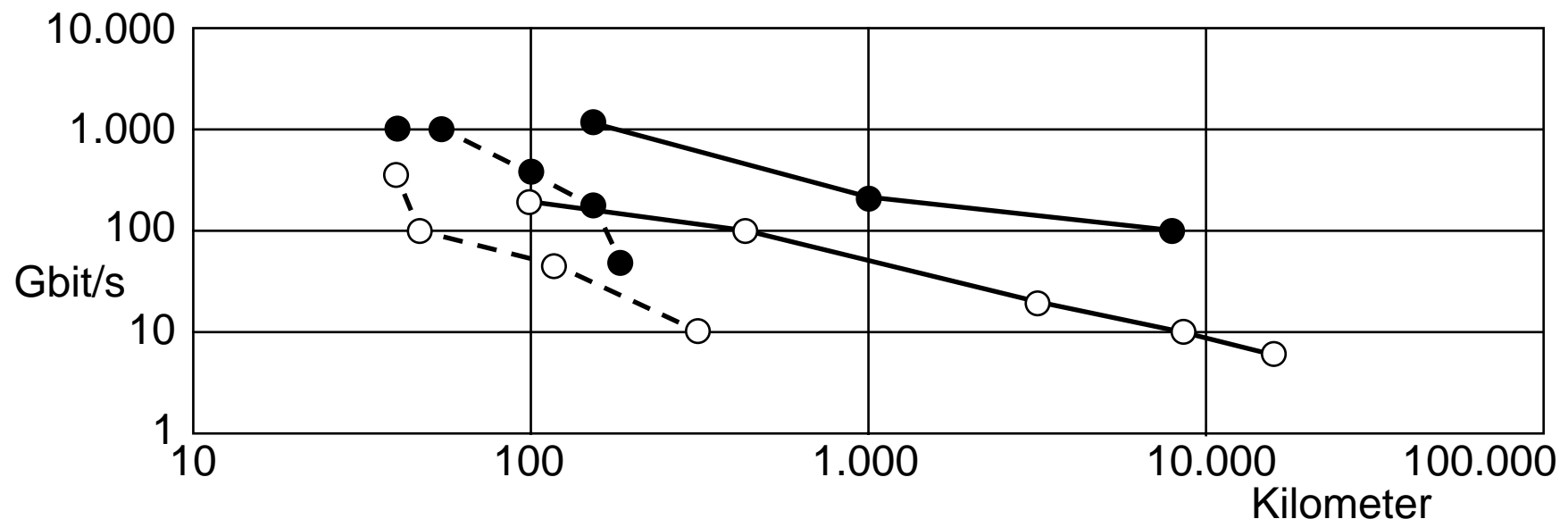
Zunahme bei Business-Anwendungen ?



**Wieviel zahlt der private Benutzer für BB-Anwendungen ?
(Nutzen, Vergnügen, Mode)**



- **Elektronik:** weiterhin große Fortschritte zu erwarten:
 - Geschwindigkeit
 - Integrationsdichte
- **Fasertechnologie:**
 - relativ hoher Entwicklungsstand
 - Potential: Dämpfung, Dispersion, Übertragungsraten, WDM, Verstärker
 - Problembereiche: vorhandene Infrastruktur, Regeneratoren
- **Übertragungstechnik:** mit Verstärker (—), ohne Verstärker (- - -), WDM (●), Einzelkanal (○); Ergebnisse aus Versuchen der Jahre 1994 – 1996



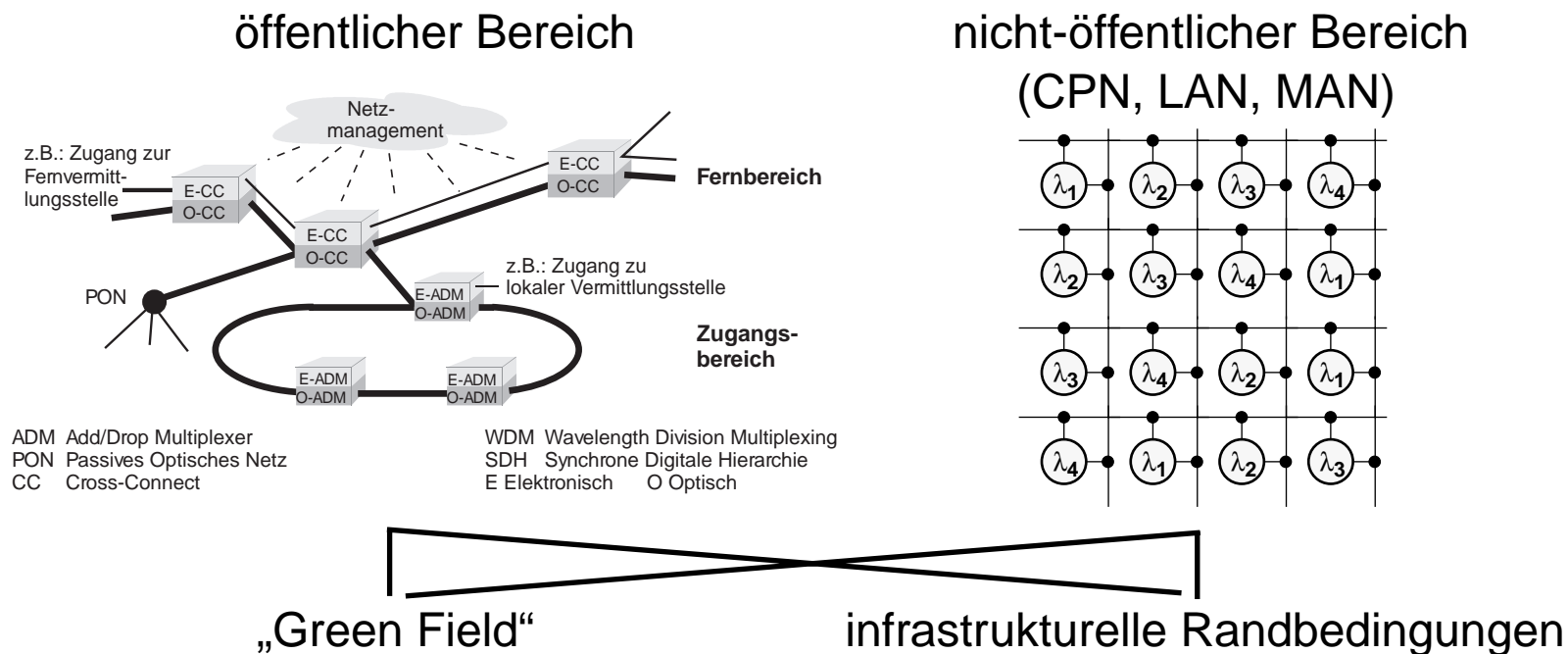
- **Vermittlungstechnik:**

- Koppellemente: passiv; z.B. Arrayed Waveguide Grating, Sternkoppler
- Raumschalter, Wellenlängenschalter:
 - Faserschalter hat noch immer beste Systemeigenschaften
 - bei integrierten Lösungen u.a. Dämpfungsprobleme
- Wellenlängenumsetzer: vorerst opto-elektronische Lösungen
- Zeitstufe: problematisch, u.a. wegen Problematik „*optischer Speicher*“

- **OEICs (Opto - Electrical Integrated Circuits):**

- Kombination von Optik und Elektronik auf einem Chip
- Grundvoraussetzung für preiswerte Massenware
- Technologie steht auf der Schwelle zur Marktreife
- Chips mit komplexerer Funktionalität noch im Forschungsstadium

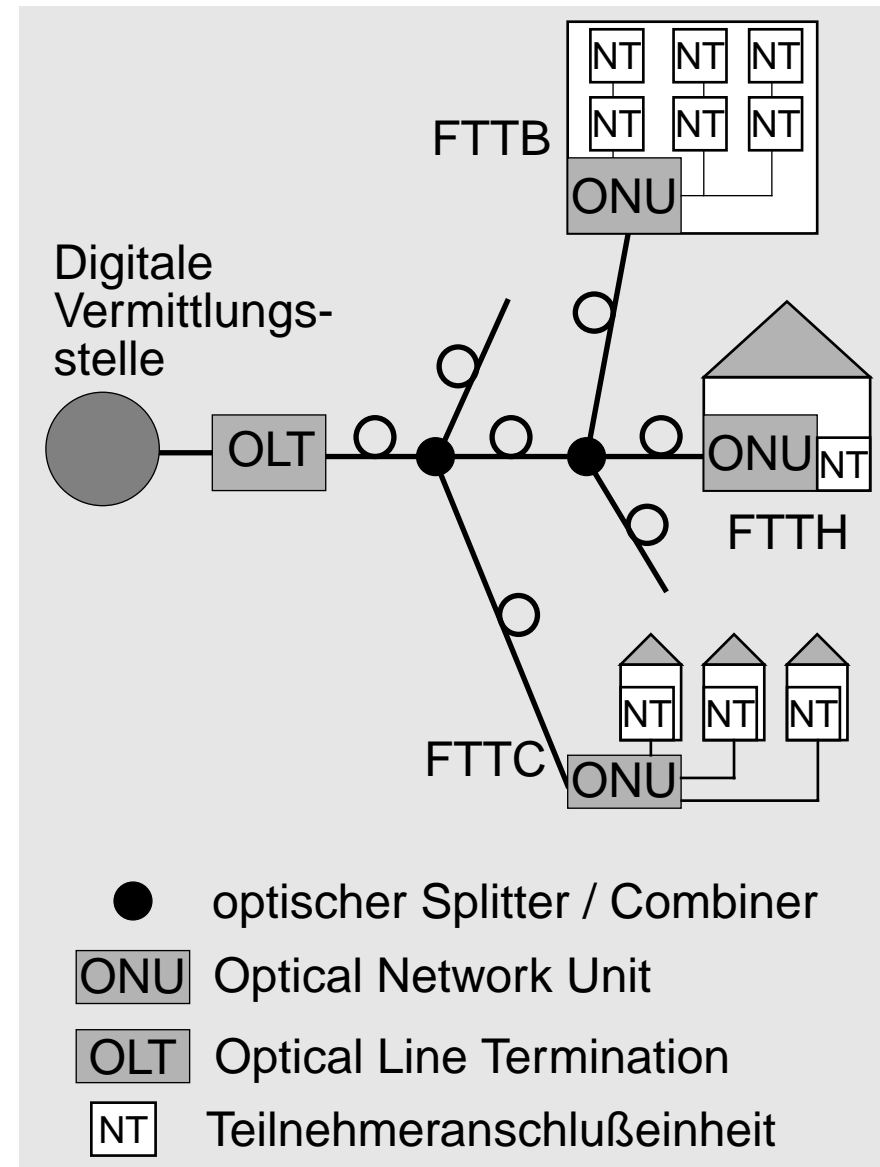
- Anwendungsfelder: WAN-Transportnetze mit optischer Schicht, MAN, LAN, Zugangsnetze, Spezialanwendungen
- Konzepte: **evolutionäre** und **revolutionäre** Konzepte



• **offene Probleme:**

- ☞ **Kostenaspekte**
- ☞ **Netzmanagement**

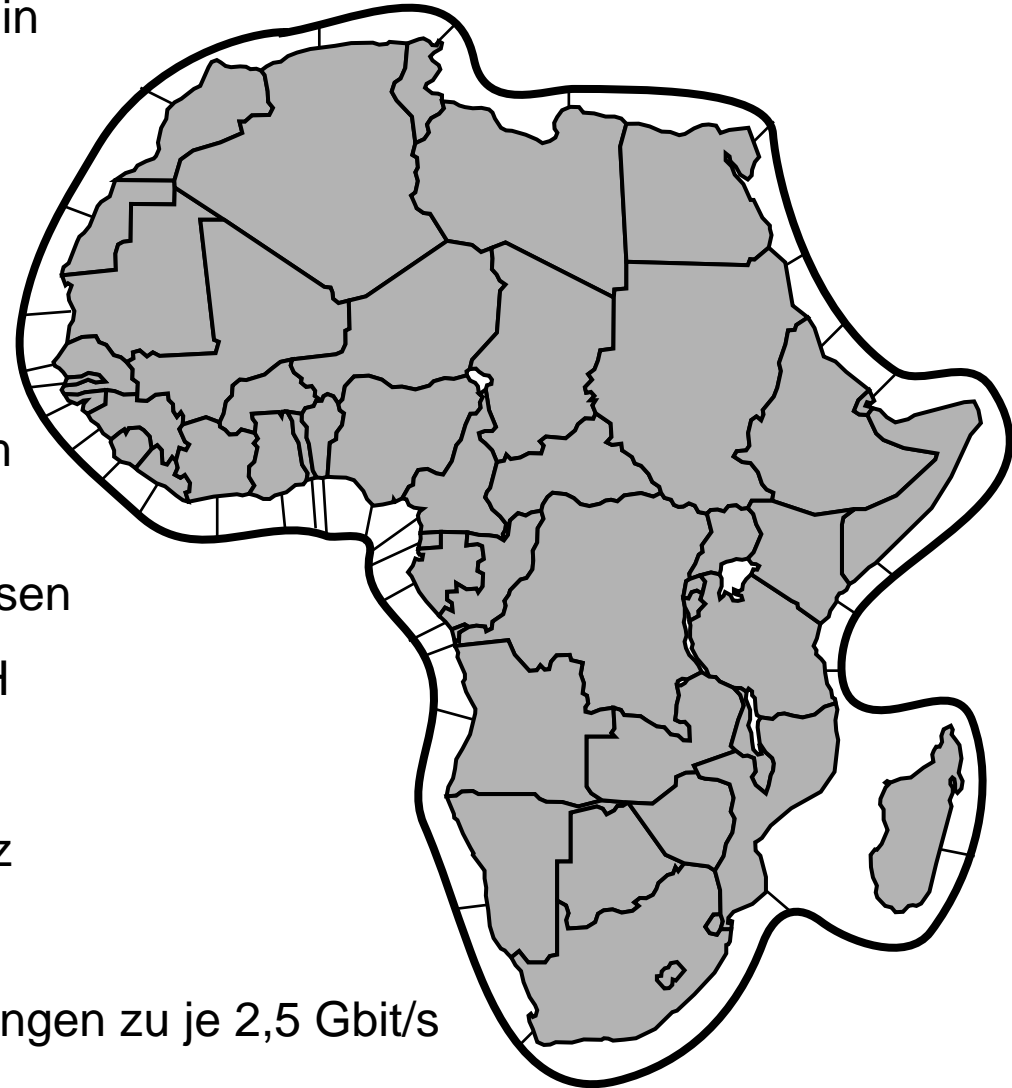
- kostenintensiver Bereich
- Aktion: Full Service Access Network (FSAN)
 - Kooperation von Netzbetreibern und Systemherstellern
 - Ziel: gemeinsame Anforderungen
 - größere Stückzahlen
 - sinkende Preise
- Ergebnisse:
 - ATM durchgehend als Transportverfahren
 - Architekturen mit unterschiedlicher „optischer Durchdringung“
 - Erarbeitung von Anforderungen v.a. auf physikalischer Ebene
 - Kosten- und Marktprognosen



Entwicklungstrends Realisierungen & Feldversuche (1)

- zahlreiche Faserstrecken für Punkt-zu-Punkt - Übertragungen
- weltweit: > 50 Mio. km Fasern verlegt, in Deutschland: ca. 2,5 Mio. km Fasern
- ISIS- und OPAL-System der Deutschen Telekom
- Verwendung von Fasern in **Untersee-Kabelsystemen**:
 - ab etwa 1989 Verlegungen im Nordatlantik (Europa – USA)
 - Zuwachs des transportierten Verkehrs stärker als bei Satellitenverbindungen
 - Einsatz in Italien zur Verbindung von Küstenstädten
 - aktuelles Beispiel: neue Verbindung Europa – Ferner Osten (via Mittelmeer und Indischem Ozean, Investitionskosten ~1,2 Mrd. DM)
- **Forschungsprojekte**:
 - **USA**: WDM-Trials zahlreicher Konsortien; Finanzierung z.T. durch ARPA
 - **Japan**: starke Stellung durch führende Position bei der Optoelektronik, flächendeckendes Breitbandnetz bis 2015 angekündigt
 - **EU**: Photonik-Projekte im Rahmen von RACE, ACTS und COST
 - **Deutschland**: Photonik-Schwerpunktprogramme des BMBF

- bisher: mehr Telefonanschlüsse in New York als in Afrika
- nur ca. 30.000 Kanäle für Verbindungen zw. Afrika und dem Rest der Welt
- geplanter Betrieb: ab 1999
- Unterwasser-Ring mit 40.000 km Fasern
- ca. 40 Länder direkt angeschlossen
- Kombination von WDM und SDH
- Gleichberechtigung aller Länder
- Sicherheitsaspekte: Datenschutz
- Fehlertoleranz bei Einzelausfall
- geplant: 4 Fasern mit 8 Wellenlängen zu je 2,5 Gbit/s
- Entwicklung v.a. durch AT&T



Ausblick (1)

- optische Übertragung auf Weitverkehrsstrecken: ✓
- zunehmende Ausbreitung der Glasfaser „zum Rand“ hin: ✓
- durchgehender Einsatz von ATM im Zugangsbereich: (✓)
- Renaissance der Durchschalte-Vermittlung: (?)
- andere, für die Photonik angepaßte Übertragungsverfahren: (?)
- photonische Vermittlungstechnik: (?)
- Bandbreite im Überfluß – keine Übertragungseingänge: ?!

Ausblick (2)

F: Quo Vadis Kommunikationstechnik ?

A: Ziel:

- **optische Kernnetze mit optischer Vermittlung im Weitverkehrsbereich**
- **optische Zugangsnetze mit Glasfaser bis zum Teilnehmer (FTTH)**
- **in speziellen Anwendungsgebieten eventuell Kombination mit anderen Technologien (z.B. Funk)**

F: Wie und in welchem Zeitraum kann dieses Ziel erreicht werden ?

