

**Zeitschrift:** Comtec : Informations- und Telekommunikationstechnologie = information and telecommunication technology

**Herausgeber:** Swisscom

**Band:** 74 (1996)

**Heft:** 4

**Artikel:** Photonische Transportnetze

**Autor:** Beer, Jürgen

**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-876760>

### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 06.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# PHOTONISCHE TRANSPORTNETZE

Telekommunikation steht zurzeit vor allem für Internet, das World Wide Web, T-Online, Remote Banking, Teleworking und Distant Learning, auch für breitbandige Dienste wie Datenverbund oder Video-on-demand und schliesslich für die vielzitierte Dateninfobahn. Die neuen Dienste erfordern neue, flexible Netzkonzepte. Für den Anschlussbereich stellte Bosch auf der Telecom Genf das neue Netzkonzept «Bosch Access Network System» vor.

Auch für den Transportbereich, den innersten Kern der Telekommunikationsnetze, entwickelt Bosch Telecom Systeme zur Bereitstellung von grösseren Übertragungskapazitä-

JÜRGEN BEER, BACKNANG

ten und zur wirtschaftlicheren Nutzung bestehender Trassen. Der Markt hierzu ist schon sichtbar. Die Netzbetreiber – allen voran amerikanischen Unternehmen – planen aus handfesten wirtschaftlichen Überlegungen die Vergrösserung ihrer Leitungskapazitäten zum Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit, die langfristige Nutzung von Investitionen trotz des schnellen technischen Fortschritts, die Verringerung von Kosten für Betrieb, Wartung und Netzmanagement sowie die Erhöhung der Betriebssicherheit.

## Vergrösserung der Reichweiten mit optischen Faserverstärkern

Ein wesentlicher Kostenfaktor der optischen Übertragung im Transportnetz sind die Reichweiten der Übertragungssysteme. Ihre begrenzenden

Faktoren ergeben sich aus den nicht-idealnen Materialeigenschaften der Glasfaser und der daraus folgenden Dämpfung und Dispersion. Für Systeme mit Datenraten unterhalb von 10 Gbit/s stört vorwiegend die Fasdämpfung, sie verringert die Amplitude der digitalen Lichtimpulse. Bei höheren Bitraten ist es die Dispersion, in deren Folge sich die Lichtimpulse verformen; sie müssen in ihrem zeitlichen Verlauf wieder regeneriert werden. Dazu benötigte Systeme sind aufwendig und jeweils nur für eine Bitrate verwendbar.

Ein erster Schritt zur Überwindung dieser Grenzen gelang Bosch Telecom vor wenigen Jahren mit der Entwicklung von Erbium-dotierten Faserverstärkern, die das Unternehmen unter den Namen BOA- und OFA150-Serie anbietet. Als rein photonische Komponente verstärken sie Lichtsignale ohne elektrooptische Umwandlung. Bei Systemen mit Datenraten von 2,5 Gbit/s genügt es, alle 100 km einen optischen Faserverstärker (OFA) zur Korrektur der Dämpfungsverluste einzusetzen.

Die infolge der Dispersion nötige zeitliche Regeneration der Lichtsignale ist beim Einsatz von OFA bei Standardfasern erst nach rund 600 km erforderlich. Dies verringert die Investitionskosten für eine Übertragungsstrecke erheblich. (Die genannten Entfernungswerte sind nur Richtwerte und hängen auch von der Art der verwendeten Sendelaser und Empfangsdioden ab.) Kern des optischen Faserverstärkers ist eine Erbium-dotierte Faser. Das Licht eines leistungsstarken Pump lasers bringt die Erbiumionen in höhere Energiezustände, aus denen sie beim Zusammentreffen mit Photonen des Nutzsignallichts wieder zurückfallen. Dabei entstehen zusätzliche Photo-

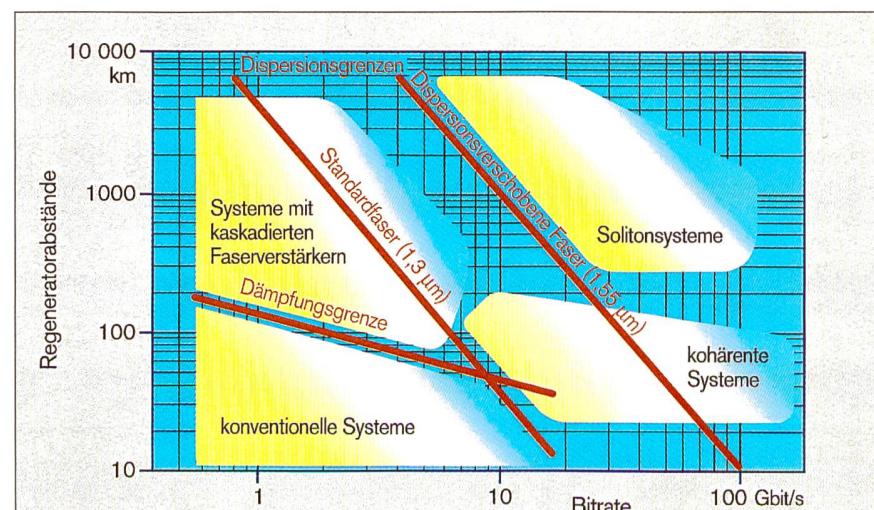


Bild 1. Begrenzende Faktoren optischer Systeme.

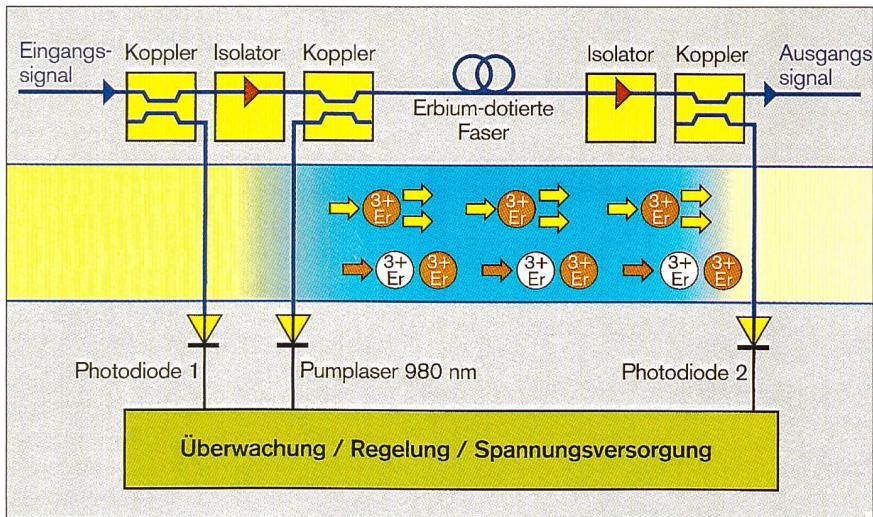


Bild 2. Prinzip des Erbium-dotierten optischen Faserverstärkers.

steme mit Datenraten von 10 Gbit/s Entfernungen von 100 km und mehr ohne Regenerator überbrücken. In der Literatur sind auch Lösungen auf der Basis Braggscher Gitter bekannt.

### Vergrösserung der Übertragungskapazität durch Wellenlängenmultiplex

Die ständige Forderung nach Erhöhung der Datenrate von Übertragungsstrecken führte bei elektronischen Telekommunikationssystemen schon in der Vergangenheit immer wieder in die Grenzbereiche des tech-

nen mit der Wellenlänge des Signallichts. OFA enthalten neben diesen optischen Kernfunktionen Einrichtungen zur Regelung und Überwachung ihrer Leistung sowie zur Anbindung an Netzmanagementsysteme.

Ein grosser Vorteil der OFA ist, dass sie unabhängig von der Bitrate und dem Format der Signale arbeiten. Sie sind für Digitalsignale transparent und übertragen problemlos PDH-, SDH- und ATM-Signalfolgen. Selbst die Verstärkung analoger Signale ist möglich. Auch die Dispersionsgrenze der Glasfasern ist keine unüberwindbare Hürde mehr. Bosch Telecom bietet spezielle dispersionskorrigierende Glasfasern an, mit denen Übertragungssy-

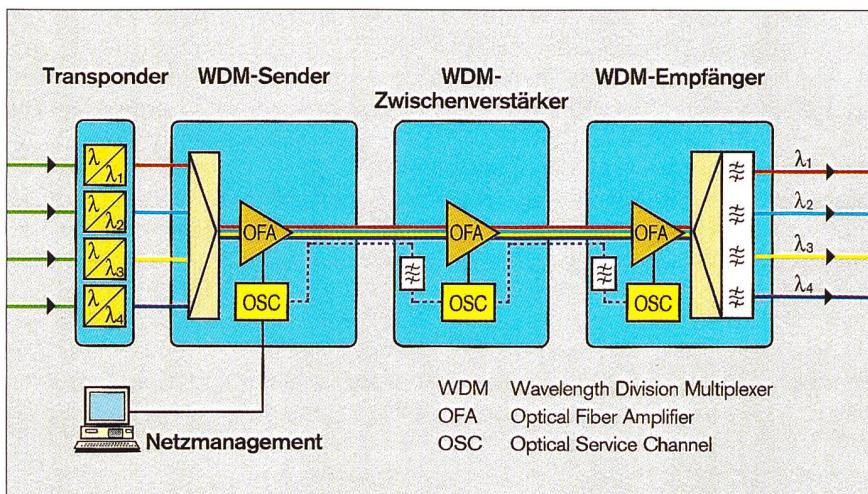


Bild 3. Wellenlängen-Multiplexsystem mit vier Kanälen.

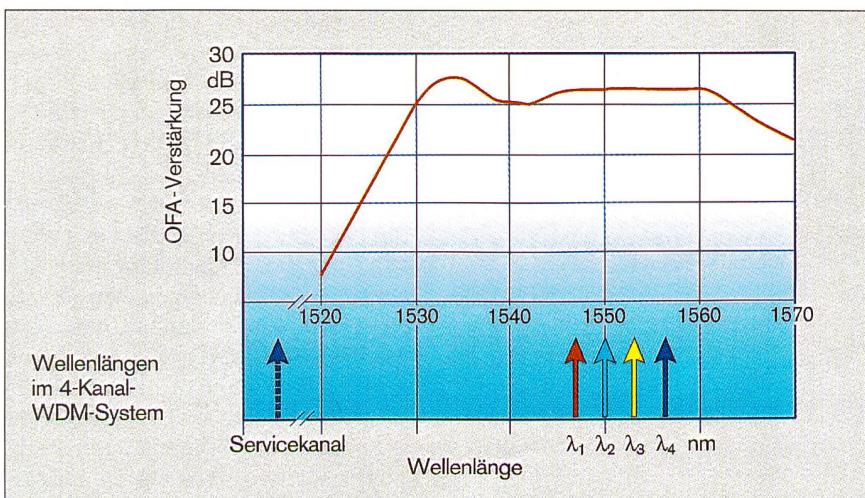


Bild 4. Wellenlängenmultiplex und optischer Fasenverstärker (OFA).

nisch Machbaren. Seit Jahren dauert der Wettstreit zwischen den schnellen, aber teuren Gallium-Arsenid-Schaltkreisen und der preiswerten, aber durch längere Schaltzeiten benachteiligten bipolaren Siliziumtechnologie an.

Neben diesen konventionellen Entwicklungen setzt Bosch Telecom auf einen weiteren und zukunftsträchtigen Weg, nämlich mit Wellenlängen-Multiplexsystemen die Leitungskapazität zu erhöhen und die immense Bandbreite der Glasfaser von fast 20 000 GHz besser zu nutzen. Dabei überträgt eine Faser gleichzeitig von einander unabhängige Lichtsignale verschiedener, aber nah beieinander-

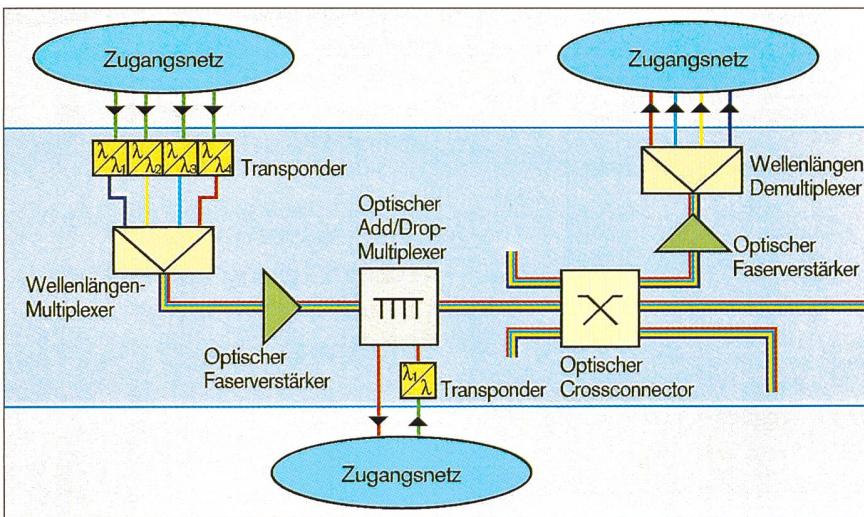


Bild 5. Struktur und Basiskomponenten.

liegender Wellenlängen des dritten optischen Fensters. Das Verfahren steht bei Bosch Telecom kurz vor der Produktionsreife. Bereits auf der Telecom Genf hat das Unternehmen ein Demonstrationsmodell vorgestellt. Das Prinzip des Wellenlängenmultiplexers ähnelt klassischen Frequenzmultiplexsystemen. Zunächst setzt ein Transponder OPT (Optical Path Transponder) die zu übertragenden optischen Signale jeweils in eine definierte Wellenlänge des dritten optischen Fensters (Wellenlängenbereich von 1530 bis 1570 nm) um. Dazu sind Laser mit ausgesuchter oder einstellbarer Wellenlänge erforderlich. Ein optischer Koppler fasst die noch räumlich getrennten Signale zusammen und speist sie in eine einzige Faser ein. Danach verstärkt ein optischer Faserver-

stärker das komplette Signalbündel. Die einzelnen Lichtsignale stören sich bei der Übertragung auf einer Faser – zumindest in erster Näherung – nicht gegenseitig, da sie ja unterschiedliche «Farben» haben. Wie bei konventionellen optischen Übertragungssystemen mit nur einer Wellenlänge verstärken bei entsprechend grossen zu überbrückenden Entfernungen weitere Zwischenverstärker die Signalbündel, bevor sie zur Empfangsstelle gelangen. Optische Filter trennen dort das Signalbündel schliesslich wieder in Einzelsignale zur Übertragung in nachgeschalteten Netzen auf. Der grosse Kostenvorteil des Wellenlängenmultiplex ergibt sich daraus, dass jeweils ein OFA als Verstärker für die gesamte Anzahl gleichzeitig zu übertragender Lichtsignale genügt.

Die Kosten jeder Zwischenverstärkerstelle verteilen sich anteilig auf die Einzelsignale.

Parallel zu den Nutzsignalen überträgt ein optischer Service- und Überwachungskanal OSC (Operational Service Channel) niedrigerer Bitrate (zum Beispiel 2 Mbit/s) Informationen für betriebliche Aufgaben. Er verläuft zweckmässigerweise an den Verstärkern vorbei und ist damit auch bei Verstärkerausfall in Betrieb.

Mit den Erbium-dotierten OFA lassen sich nur Signale des dritten optischen Fensters übertragen. Dies bedeutet aber keine wesentliche Einschränkung, weil vorgeschaltete Wellenlängen-Transponder alle optischen Signale in diesen Bereich transferieren. Das zugelassene optische Fenster bietet Platz für mindestens 30 bis 40 verschiedene Wellenlängen. Ihre Festlegung ist zurzeit noch bei den Standardisierungsgremien der ITU in der Diskussion. Es deutet vieles darauf hin, dass ITU ein Raster mit 0,7 nm Wellenlängenunterschied (entsprechend 100 GHz) festlegen wird. Nach Abschluss der Standardisierung werden Hersteller die für Wellenlängenmultiplexer notwendigen frequenzbestimmenden Bauelemente wie Laser und Filter kostengünstig in hohen Stückzahlen fertigen und anbieten.

## Photonische Netzstrukturen

Mit Wellenlängen-Multiplexsystemen und der OFA-Technik von Bosch Telecom lassen sich leistungsfähige Punkt-zu-Punkt-Verbindungen aufbauen. Für vollständig photonische Transportnetze entwickelt Bosch Telecom in den Forschungs- und Entwicklungslabors zusätzliche Komponenten wie optische Add/Drop-Multiplexer und optische Crossconnectoren, die Signalführungs- und Durchschalteaufgaben übernehmen.

Optische Multiplexer mit Add/Drop-Funktion zweigen Signale einer oder auch mehrerer Wellenlängen aus den Signalbündeln ab und führen sie beispielsweise in ein Zugangsnetz. Das System belegt die dadurch freiwerdenden Wellenlängen mit neuen Signalströmen, die aus dem Zugangsnetz kommen. Wellenlängen-Transponder bringen dazu die Eingangssignale in die richtige Wellenlänge. Add/Drop-Multiplexer und deren op-

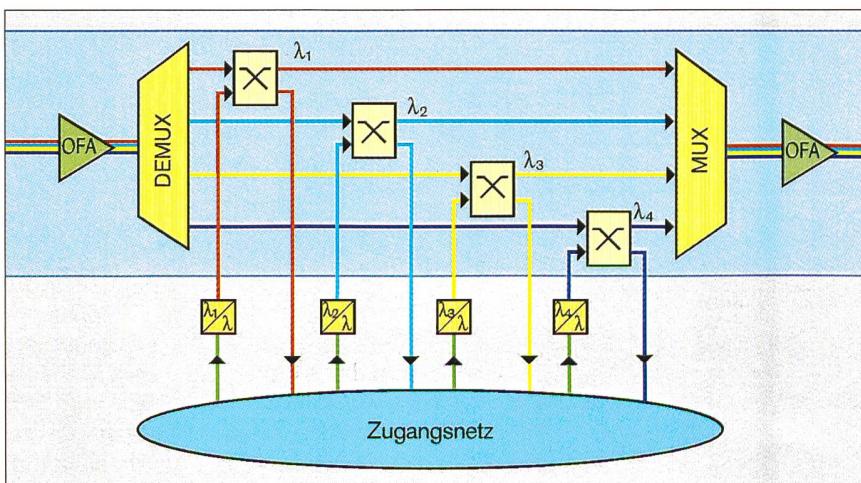


Bild 6. Optischer 4-Kanal-Add/Drop-Multiplexer.

tische Schaltmatrizen sind bedarfsweise über Software steuerbar. Optische Crossconnectoren schalten Lichtsignale von einem Signalbündel mittels zweier unterschiedlicher Crossconnect-Funktionen in ein anderes durch.

- Die räumliche Durchschaltung: Lichtsignale werden von einer Faser zur anderen geleitet, analog der Durchschaltung bei elektro-nischen Netzen.
- Die wellenlängenbezogene Durchschaltung: Lichtsignale werden von einer Wellenlänge in eine andere umgesetzt. Dazu sind wiederum Wellenlängen-Transponder erforderlich.

Diese Mehrfachfunktion optischer Crossconnectoren steigert die Flexibilität der Signalführung in den Netzen. Alle Netzelemente steuert das Bosch-Netzmanagementsystem NSÜ über den Service- und Überwachungskanal OSC.

## Vorteile des photonischen Transportnetzes

Die heute in Betrieb befindlichen optischen Übertragungsstrecken nutzen als Einwellenlängen-, besser Einkanal-systeme, die Bandbreite ihrer Glasfasern nur zu einem ganz geringen Teil aus. Photonische Netze weisen den Weg für eine wesentlich bessere Nutzung des Übertragungsmediums. Sie haben mehrere Vorteile.

### Vervielfachung der Übertragungskapazität

Wellenlängen-Multiplexsysteme, die gleichzeitig mehrere optische Signale verschiedener Wellenlänge auf einer Faser übertragen, steigern die Kapazität einer Glasfaserstrecke gegenüber optischen Einkanalsystemen erheblich. Die Verbesserung beträgt heute ein Faktor von vier bis acht, wird aber selbst bei der zunächst gültigen physikalischen Beschränkung auf das dritte optische Fenster bald einige Zehnfache betragen. Diese Technik überwindet Systemengpässe schnell und flexibel. Die für Wellenlängen-Multiplexer im Vierkanalbetrieb erforderlichen Basiskomponenten wie Wellenlängen-Transponder, optische Koppler und optische Filter

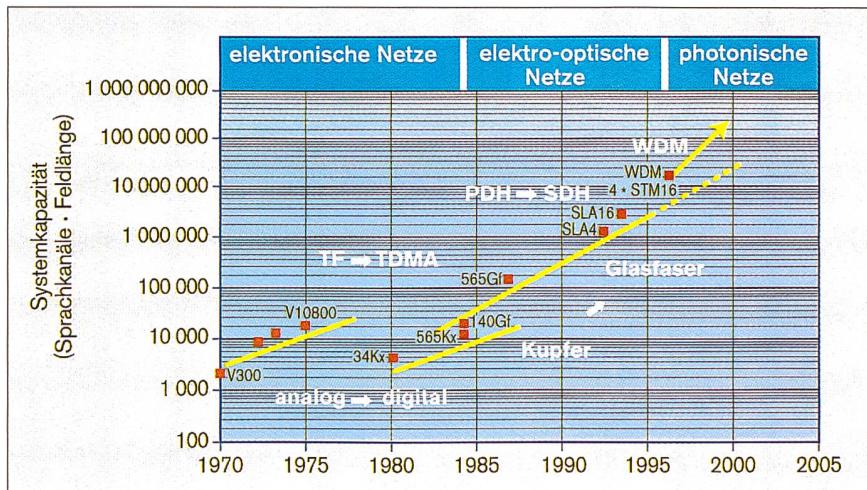


Bild 7. Entwicklung der Übertragungssysteme.

sind heute verhältnismässig einfach herzustellen.

### Grosse Zwischenverstärkerabstände

Mit Wellenlängen-Multiplex lässt sich eine optische Übertragungsstrecke leichter für höhere Bitraten aufrü-

sten (zum Beispiel von 2,5 Gbit/s auf 10 Gbit/s). Bei konventioneller Erhöhung der Bitrate im Einwellenlängensystem müssen die Zwischenverstärkerabstände wegen der bei Datenraten von 10 Gbit/s bereits merklich aufgetretenen Dispersionsfehler verkürzt werden. Bei Wellenlängenmultiplex hingegen bleiben die Zwischenver-

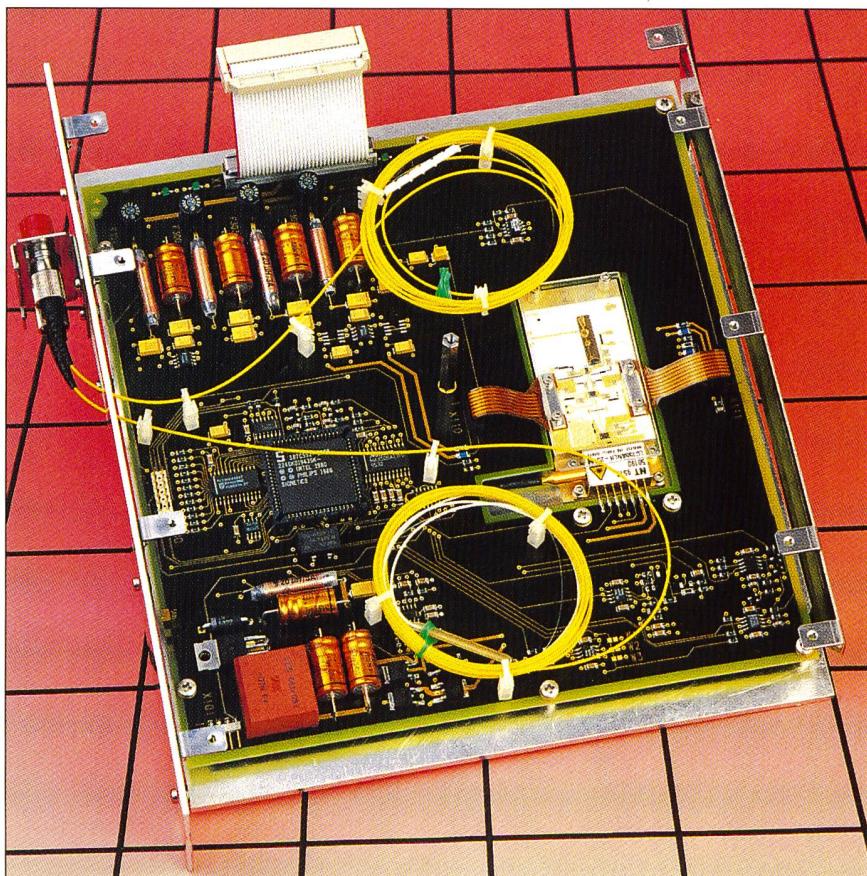


Bild 8. Der optische Transponder ist auf einer Doppel-Europakarte untergebracht. Sie enthält Empfängerdiode, Verstärker, Lasersender sowie Funktionen zur Überwachung und Steuerung. (Alle Bilder: Bosch)

stärkerabstände bestehen, weil für die Dispersion weiterhin die Bitrate des Basiskanals mit 2,5 Gbit/s maßgeblich ist.

#### Vielfachnutzung der Zwischenverstärker

Wie die Faser selbst werden auch die Zwischenverstärker bei Wellenlängen-Multiplexsystemen besser genutzt: Der optische Faserverstärker überträgt bei Wellenlängenmultiplex (wie auch die Faser) mehrere optische Signale gleichzeitig. Die OFA-Kosten verteilen sich also anteilig auf die einzelnen Signalstränge.

#### Einfache Signalführung

In optischen Add/Drop-Multiplexern und Crossconnectoren werden die Signalbündel in ihre einzelnen Wellenlängen getrennt, und sie lassen sich dann mit einfachen optischen Mitteln verzweigen, durchschalten oder neu zusammenfügen. Dies geschieht auf sehr hohen Hierarchiestufen, erfordert damit einen geringeren Aufwand als bei elektronischen Systemen und trägt so ebenfalls zur Kostenoptimierung bei.

#### Optische Transparenz

Die völlig transparente Übertragung in photonischen Systemen ist ein wichtiger Faktor für ihre Zukunfts-

## SUMMARY

### Photonic transport networks

Following the transition from carrier frequency to time division multiplex technology as well as from plesiochronous to synchronous digital hierarchy, Bosch Telecom is today already offering as prototypes systems for purely photonic transport networks with optical fibre repeaters from serial production and wavelength multiplexers. Before the end of 1996, the first point-to-point connections with quadruple wavelength multiplexers (4×2.5 Gbit/s) will go into operation, probably already with bidirectional transmission. Before the year 2000 Bosch Telecom will have developed to production level technologies for optical switching in add/drop and cross-connect multiplexers.

sicherheit. Unabhängig von heutigen und künftigen Signalformen und Übertragungsprotokollen und ohne zusätzliche Investitionen ist die sichere Übertragung der Signale gewährleistet.

stungsfähigen Netzmanagementsystem, grosse Flexibilität in der Anpassung an aktuelle Verkehrsbedingungen, aber auch völlig neue Ersatzschaltungskonzepte für Störfälle. [9.4]

#### Virtuelle Pfade

Photonische Netze mit Wellenlängen-Multiplexsystemen und optischen Durchschaltelementen eröffnen aufgrund der Breitbandigkeit der Glasfaser ein grosses Potential zusätzlicher, noch nicht belegter Kanäle, sogenannter virtueller Kanäle. Diese bieten, zusammen mit einem leis-

Quelle: Auszüge aus dem Referat zum 6. Bosch Telecom-Fachpresse-Kolloquium 1996, Backnang.

Jürgen Beer, Leiter des Produktbereichs Multiplextechnik und Netzmanagement der Bosch Telecom GmbH



**BIMEX®**

**SAUBER+GISIN**

Gen-Set Engineering

**Hauptsitz:**  
BIMEX Technic AG

Bierigutstrasse 4, CH-3608 Thun

Telefon 033 36 44 26

Fax 033 36 90 26

- Stromerzeuger
- mobile und stationäre Notstrom- und Spitzenlastaggregate
- Kabelverlegetechnik
- Fördertechnik • Mietflotte

**Niederlassung Zürich:**  
BIMEX Technic AG  
Sauber+Gisin Gen-Set Engineering

Wildbachstrasse 5, CH-8340 Hinwil

Telefon 01 938 31 11

Fax 01 938 14 74

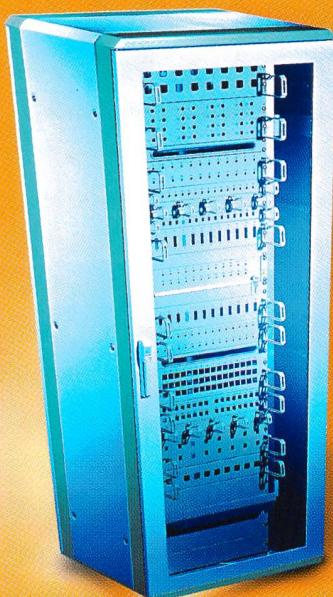
- Stationäre Notstrom- und Spitzenlastaggregate
- Blockheizkraftwerke
- Schaltanlagen • Steuerungen • Mietflotte

**Wir bringen Ihnen mehr p f u u s**

**NEU**  
Universeller  
Communications  
Analyser

**TTC FIREBERD 6000**

Um sich in **Elektronik** und **Telekommunikation** zu profilieren, braucht's schon ein ganz **spezielles Profil: flexRack.**



Dass das professionelle Schrankkonzept mit dem Profil für individuelle Lösungen und den modularen Komponenten das Zeug für den Einsatz in Elektronik und als Knotenpunkt in Netzwerken hat, erfahren Sie, wenn Sie den Katalog anfordern:  
Rittal AG, Ringstrasse 1, 5432 Neuenhof,  
Telefon 056 416 06 00 (Frau G. Schaub),  
Fax 056 416 06 66.

**TeleNetCom**  
Zürich  
21.5. - 24.5.96  
Halle 2.2, Stand 214

*Umschalten auf Perfektion*

