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

Herausgeber: Swisscom

Band: 78 (2000)

Heft: 3

Artikel: Optische Netzarchitekturen

Autor: Schiess, Marcel

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-876428

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: 08.07.2025

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

Exploration Programmes:
Corporate Technology explores
Future Telecommunications

Optische Netzarchitekturen

Die Verwendung optischer Übertragungstechnologie im Transport- und Anschlussnetz hat in den vergangenen Jahren zu gewaltigen Veränderungen geführt. Die übertragene Kapazität ist von 155-Mbit/s-Grosskoax- oder -Richtstrahlsystemen Ende der 80er-Jahre auf Tbit/s-Systeme auf Glasfasern hochgeschnellt. Dies entspricht einer Kapazitätssteigerung um den Faktor von einer Million. Heute entwickelt sich die optische Nachrichtentechnik weg von der reinen Übertragung hin zu Funktionen, die bis anhin von höheren Netzschichten wahrgenommen worden sind. Wie in [1] gezeigt, existieren bereits weit entwickelte Netzelemente wie der optische Add-Drop Multiplexer (OADM) und bald schon werden optische Cross-Connects (OXC) verfügbar sein.

Im Exploration Programme EP97-9 «Transport Network Evolution» werden zukünftige Szenarien für die optimale Ausnutzung und den Ausbau des Backbone-Transportnetzes erarbeitet. Kerngebiet ist die wirtschaftliche Migration der Netze von der alten Welt der Sprachübertragung in die neue Welt der Datenübertragung. Eine besondere Bedeutung kommt dabei der Einführung einer optischen Transportschicht und der optimalen Nutzung der darüber liegenden Protokollschichten, wie SDH, ATM und IP, zu. Die Wahl der zu benutzenden Schichten hängt vom anzubietenden Serviceportfolio ab und hat natürlich einen grossen Einfluss auf die Investitions- und Betriebskosten des Netzes sowie die Flexibilität für die Einführung von neuen Diensten.
Exploration Programmes werden von der Konzernleitung genehmigt und in Corporate Technology ausgeführt. Die Aktivitäten haben einen mittel- bis langfristigen Horizont von zwei bis sieben Jahren, je nach Gebiet.

Die Absicht dieses Beitrages ist zu zeigen, wie mit den vorhandenen optischen Übertragungstechnologien und den optischen Netzelementen transparente optische Netzarchitekturen

MARCEL SCHIESS, BERN

realisiert werden können. Transparent bedeutet, dass in den Netzelementen – ausser den Zugangspunkten – keine optisch-elektrischen Wandlungen der Signale vorgenommen werden. Die Grundfunktion eines optischen Netzes ist primär, optische Pfade bereitzustellen, die optisch transparent von einem Zugangspunkt des Netzes zu anderen führen. Weitere elementare Funktionen sind die Bereitstellung von Schutzpfaden und Routinen für die Wiederherstellung («Restoration») eines ursprünglich optimalen Netzzustandes. In heutigen Netzarchitekturen übernehmen höhere Netzebenen, primär SDH und IP, diese Schutzfunktion.
Es gilt zwischen den Begriffen Topologie und Architektur zu unterscheiden. Die Topologie beschreibt, wie Netzknoten miteinander verbunden sind. Dabei wird zwischen physikalischer und logischer (oder virtueller) Topologie unterschieden. Die physikalische Topologie definiert die physisch vorhandenen Verbindungen (Kabel, Funkverbindungen usw.) zwischen den Knoten. Die logische Topologie wird durch die existierenden Verkehrsflüsse über die physikalische Topologie definiert. Die dadurch geschaffene Knotenkonnektivität kann von der zugrunde liegenden physikalischen Topologie völlig unabhängig sein (Bild 7 in [1]). Es gibt fünf Grundtopologien: vermascht, ringförmig, sternförmig, busförmig und baumförmig (Bild 1). Ein vermaschtes Netz ist dadurch charakterisiert, dass von einem Netzknoten aus direkte Verbindungen zu beliebigen anderen Knoten vorhanden sind. In einer ringförmigen Topologie hat ein Netzknoten dagegen nur eine Verbindung zu seinen zwei nächsten Nachbarn. In einem sternförmigen Netz gibt es einen zentralen Knoten, über den alle Verbindungen laufen. In der Bustopologie teilen sich alle Knoten das gemeinsame Übertragungsmedium. Die Baumtopologie ist hierarchisch gegliedert mit einem Hauptknoten zuoberst.

Programmszenario

Die strategische Frage für das EP «Transport Network Evolution» lautet: «How can Swisscom provide a radically more cost-effective backbone network for supporting the emerging multi-services market?»

Virtuelle Topologien können mittels den eingangs erwähnten optischen Pfaden implementiert werden. Die Endknoten werden miteinander über eine Wellenlänge verbunden, während die Netzknoten zwischen Sender und Destination transparent passiert, also quasi umlaufen werden.
Eine Architektur wird durch das vom Netzbetreiber gewählte Zusammenspiel von physikalischer und virtueller Topologie sowie den implementierten Schutzmechanismus definiert. Ebenfalls Bestandteil einer bestimmten Architektur ist die Interoperabilität mit höheren Transportschichten. Man kann auch sagen, dass eine Architektur auf einer Topologie aufbaut.

Schutzschaltungen

In WDM-Netzen können Schutzpfade grundsätzlich auf zwei verschiedene Arten implementiert werden. Bevor darauf näher eingegangen wird, soll zum besseren Verständnis das abstrakte Konzept der optischen Übertragungsebenen kurz erläutert werden. Bild 2 stellt schematisch eine optische Übertragungsstrecke dar. Jede SDH-Senderkarte und jeder SDH-Empfänger kommuniziert auf der Stufe einzelner Wellenlängen. Dazwischen wird also ein optischer Pfad (Optical Channel, OCh) errichtet. Diese Strecke entspricht im Wesentlichen der Regenerator Section im SDH-Schichtenmodell. Der optische Multiplexer führt dann eine Anzahl von optischen Kanälen (einzelne Wellenlängen) zu einem optischen Multiplexsignal zusammen. Diese Bündel werden gemeinsam zu den weiteren optischen Netzelementen geschickt. So lange man die Bündel als Ganzes behandelt, spricht man von der

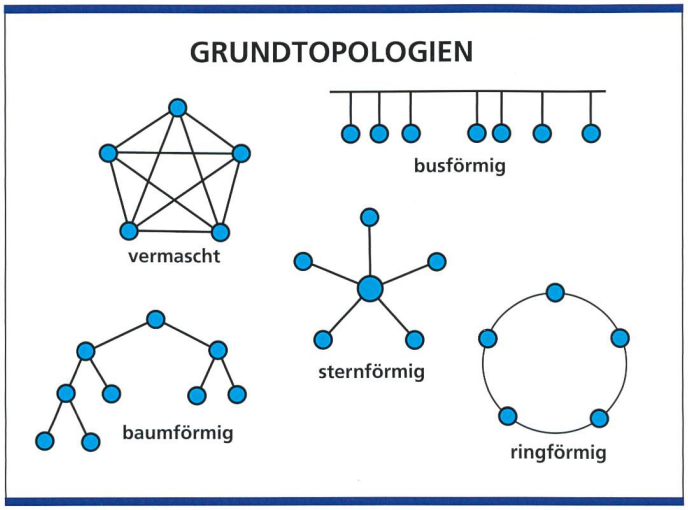

Bild 1. Grundformen für Netztopologien: vermascht, ringförmig, sternförmig, busförmig und baumförmig.

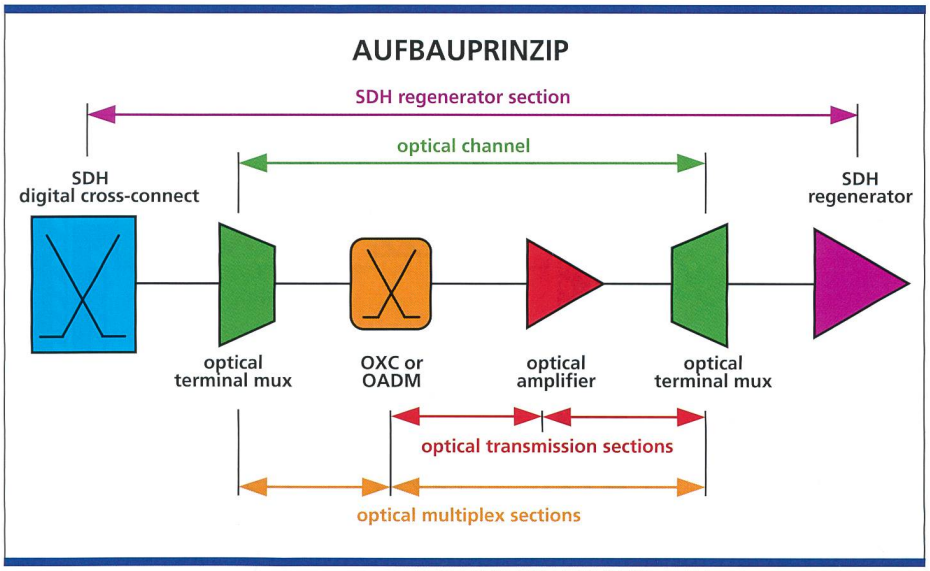

Bild 2. Aufbauprinzip der optischen Übertragungsschichten: optischer Kanal (OCh), optische Multiplex Section (OMS), optische Transmission Section (OTS).

optischen Multiplex Section (OMS). Diese Bündel werden von OADM oder OXC ganz oder teilweise in ihre einzelnen Wellenlängen zerlegt und weiterbehandelt. Folglich terminieren OADM und OXC die optischen, multiplexierten Abschnitte. Ein OMS kann in sich noch weiter verfeinert werden, indem man die Abschnitte zwischen optischen Verstärkern als optische Transmission Sections (OTS) bezeichnet. Hier bleiben die Wellenlängenbündel immer als Ganzes erhalten. Der optische Verstärker terminiert nur eine OTS, aber keine OMS. Es erscheint sinnvoll, wenn man an denjenigen Punkten in der optischen Übertragungsstrecke Abzweigmöglichkeiten der Schutzpfade vorsieht, an welchen man auf einzelne Wellenlängen zugreifen kann. Man unterscheidet daher OCh-Schutz, das heisst, einzelne Wellenlängen werden zwischen SDH-Sender und SDH-Empfänger geschützt, und OMS-Schutz, das heisst, die Wellenlängenbündel werden abschnittweise geschützt.

Punkt-zu-Punkt-Systeme

Punkt-zu-Punkt-Verbindungen bilden die einfachsten Übertragungsstrecken. Will man eine solche Strecke gegen einen Faserunterbruch schützen, muss eine zweite Linie in einem räumlich getrennten Kabeltrasse vorhanden sein. Man unterscheidet zwischen linearem – oder dediziertem – Schutz 1+1 (Bild 3) und 1:N verteiltem Schutz, das heisst, eine Faser ist gleichzeitig für den Schutz von N Fasern in Betrieb vorgesehen. Dies verlangt eine spezielle, flexible Ausrüstung der Hardware (z.B. abstimmbare Laser, welche die jeweiligen zu schützenden Wellenlängen adaptieren können). Offensichtlich ist die zweite, verteilte Schutzlösung sparsamer bezüglich der Ressourcen, welche dafür reserviert werden müssen. In beiden Fällen wird beim Erkennen eines Übertragungsfehlers automatisch auf den Schutzpfad umgeschaltet.

Punkt-zu-Multipunkt-Systeme

Speziell im Anschlussnetz ist die Punkt-zu-Multipunkt-Architektur eine optische Architektur mit grossem Potenzial. Dabei wird die Linie vom Sender zur Empfangsseite mittels einen passiven optischen Splitters aufgeteilt, und zwar so, dass alle Empfänger einen vom Inhalt her identischen Anteil des ursprünglichen Signals empfangen. Mittels Wellenlängenkodierung und/oder elektrischer Kodierung kann dann ein Nutzsignal pro Empfänger individuell definiert werden. Die Schutzschaltungen von Punkt-zu-Multipunkt-Systemen werden gleich wie bei Punkt-zu-Punkt-Systemen geführt.

Ringarchitekturen

Allen Ringarchitekturen ist gemeinsam, dass Schutzschaltungen einfach zu realisieren sind. Im Störungsfall wird der Verkehr einfach über das komplementäre Ringsegment geführt. Dies kann aber auch gleichzeitig ein Nachteil sein, da dieser Weg in der Regel sehr viel länger als der normale Verkehrsweg ist. Wie wir später sehen werden, sind vermaschte Architekturen diesbezüglich flexibler, bedingen aber ein aufwendigeres Netzmanagement.

Eine Ringarchitektur basiert meistens auf zwei Faserringen, in welchen je im gegenläufiger Richtung übertragen wird. Als Alternative kann auch nur ein Faserring verwendet werden; dann müssen für beide Richtungen unterschiedliche Wellenlängen benutzt werden. Im diesem Fall können die beiden Richtungen nicht über verschiedene Wege geführt werden, weshalb ein Faserbruch auf beide wirkt. Ringe mit getrennten Fasern sind diesbezüglich besser, benötigen aber mehr Fasern. Dieser Nachteil verschwindet jedoch weit gehend, wenn wegen hohen Verkehrsaufkommens mehrere Faserringe parallel betrieben werden müssen.

SDH- und optische Ringarchitekturen weisen somit sehr grosse Ähnlichkeiten auf:

- In SDH werden virtuelle Container durch den Ring gelenkt. Sie werden mit Add-Drop-Multiplexern (ADM) in

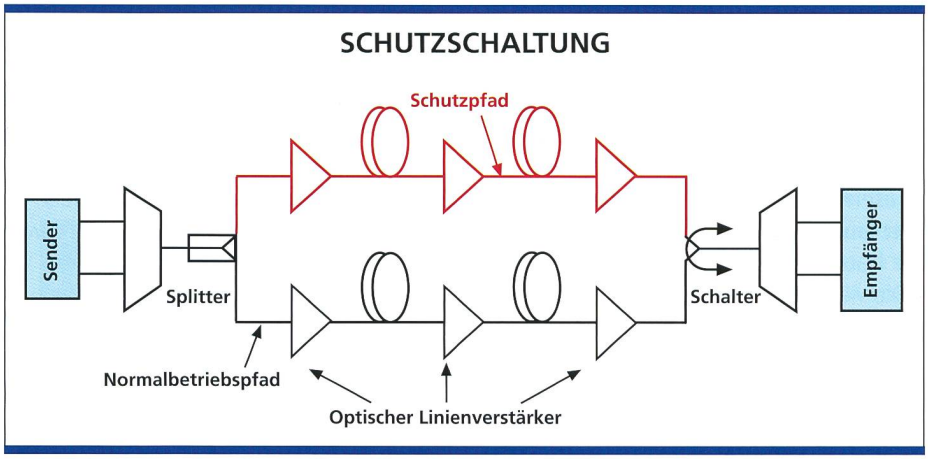

Bild 3. 1+1-Schutzschaltung. Der Sender überträgt über zwei physisch getrennte Pfade das gleiche Signal. Der Empfänger schaltet bei einer Störung automatisch auf den Schutzpfad.

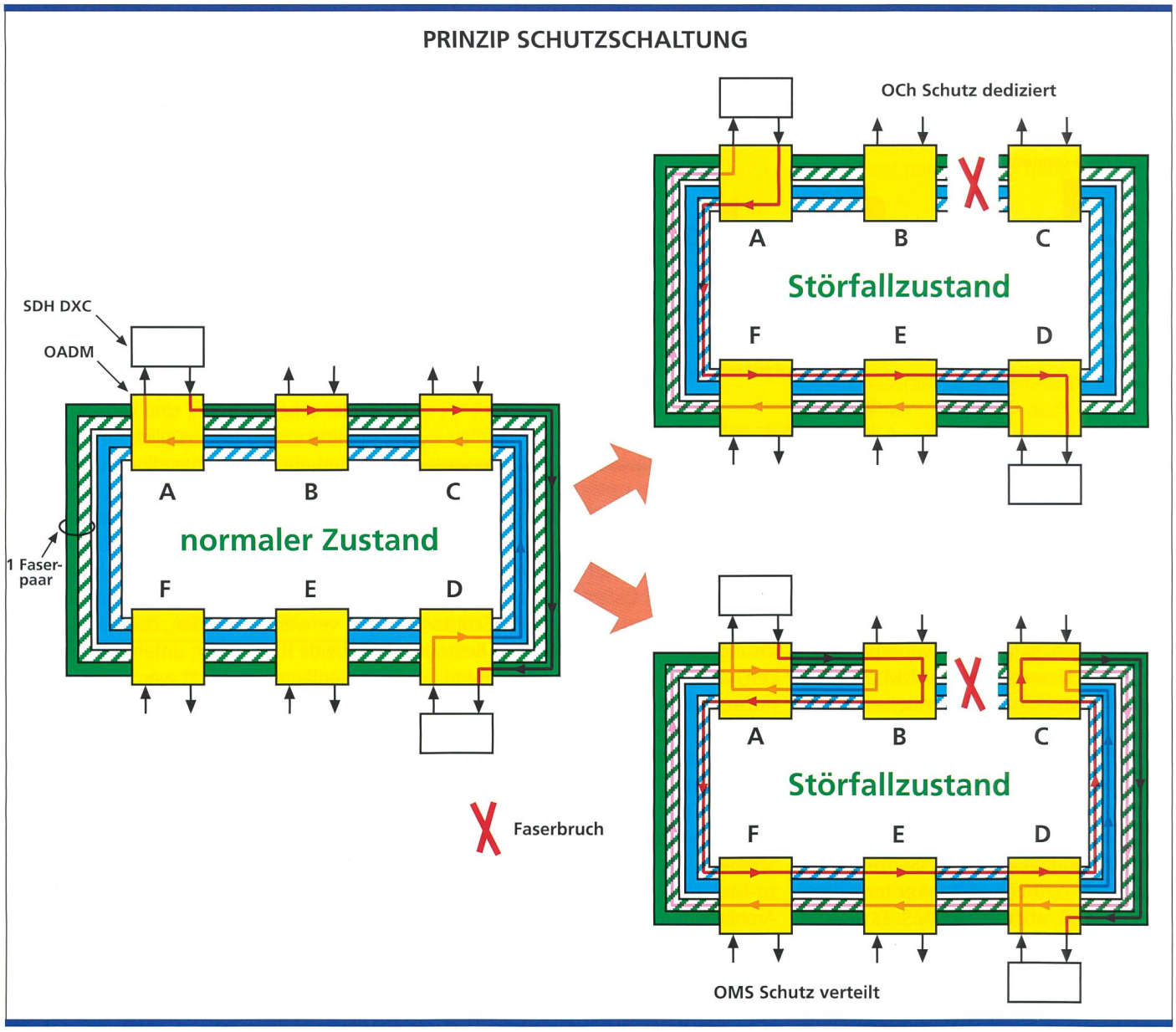

Bild 4. Prinzip der OCh- und OMS-Schutzschaltungen. Bei OCh-P werden diejenigen Kanäle, welche geschützt werden sollen, automatisch auf die vorbereiteten Schutzpfade umgeschaltet. Bei OMS werden alle betroffenen Kanäle gleichzeitig auf den Schutzpfad umgeschaltet.

beispielsweise STM-16 eingefüllt, transportiert und bei einem anderen Knoten via ADM herausgenommen.

- In optischen Ringen werden Wellenlängenpfade durch das Netz geleitet. WDM-Signale laufen über einzelne Fasern. Über OADM sind einzelne Wellenlängenkanäle zugänglich.

Die Hauptunterschiede sind:

- Die viel gröbere Kapazitätsgranularität der Wellenlängen (2,5 bis 10 Gbit/s pro Wellenlänge) im Vergleich zu den elektronisch fein unterteilbaren Zeitschlitzen.
- In SDH können die Zeitschlitze leicht mittels Routingtabellen gesteuert werden. In optischen Netzen ist das Verbinden eine physikalische Operation. Ein Vertauschen von Zeitschlitzen ist äquivalent zum Vertauschen der Wellenlängenfarben.

Architekturen für optische Ringe unterscheiden sich primär dadurch, wie die Knoten logisch vermascht sind und wie die Pfade geschützt werden. Über den Faserring können die Knoten beispielsweise voll vermascht werden, indem zwischen sämtlichen Knoten eine Wellenlänge geführt wird. Jede Wellenlänge trägt eine feste logische Verbindung. Die volle logische Vermaschung kann aber auch mit einem Ring erreicht werden, bei dem nur die Nachbarknoten mit Wellenlängen verbunden sind. Dann erfolgt die Vermaschung via die höhere Ebene, beispielsweise mit STM-1-Kanälen über die SDH Multiplex Section.

Auch in Ringen können Schutzpfade dediziert für einzelne Wellenlängenkanäle (1+1) implementiert werden, oder nur eine kleinere Anzahl, beispielsweise nur einer, für N Kanäle (1:N). Meistens ist die zweite Lösung langsamer in ihrer Reaktion auf eine Störung, einmal wegen der Laufzeit über das längere komplementäre Ringsegment und auch wegen der notwendigen Kommunikation zwischen Störungsquelle/-detektor und den Schaltern.

Tabelle 1 fasst die grundsätzlichen Möglichkeiten für optische Schutzschaltung (Protection) in Ringen zusammen und Bild 4 veranschaulicht die beiden Beispiele OCh mit dedizierter Schutzschaltung (Dedicated Protection, OCh DP)

und OMS mit verteilter Schutzschaltung (Shared Protection, OMS SP).
Ein interessanter Aspekt in der Diskussion über optische Ringarchitekturen ist die Frage nach der Anzahl benötigter Wellenlängen, um ein bestimmtes Verkehrsaufkommen im Netz abzudecken. Wenn man von einer logisch voll vermaschten Ringarchitektur (mit vier Fasern) ausgeht und annimmt, dass der Verkehr zwischen allen Netzknoten gleichmässig verteilt ist, dann wird die folgende Wellenlängenanzahl, n_λ, benötigt, um einen blockierungsfreien Betrieb zu gewährleisten [2]:

OCh DP: $n_\lambda = N(N-1)/4$, (1)

OMS SP: $n_\lambda = \lfloor (N^2-1)/8 \rfloor$, (2)

wobei N die Anzahl der Netzknoten darstellt, und $\lfloor . \rfloor$ aufrunden auf die nächste Integerzahl bedeutet. Im OMS-SP-Fall beträgt die benötigte Wellenlängenanzahl mit wachsendem N beinahe nur die Hälfte des Och-DP-Falles. Da aber heute bei WDM-Ausrüstung die Tendenz zu einer massiven Überdimensionierung der Anzahl Wellenlängen besteht, ist die Optimierung der Wellenlängenressourcen nur bedingt ein Problem.
Es kann nun ausführlich darüber diskutiert werden, auf welche optische Netzebene der Schutzweg einer Verbindung gelegt werden soll. Einerseits kann der OMS-Schutz kostengünstiger sein, weil alle Kanäle miteinander geschützt werden; zusätzlich benötigt man einfache Faserschalter auf beiden Seiten des OADM. Die Auslösung des Schutzzustandes ist zudem schneller, weil die Störung an der Quelle behoben wird, ohne also dazu das langsame (zentrale) Managementsystem zu benützen. Andererseits ist der Schutz in der OCh-Ebene selektiver – man kann beispielsweise nur diejenigen Wellenlängen schützen, die Verkehr von hoher Priorität übertragen – und schützt zudem auch die darunter liegenden Ebenen.

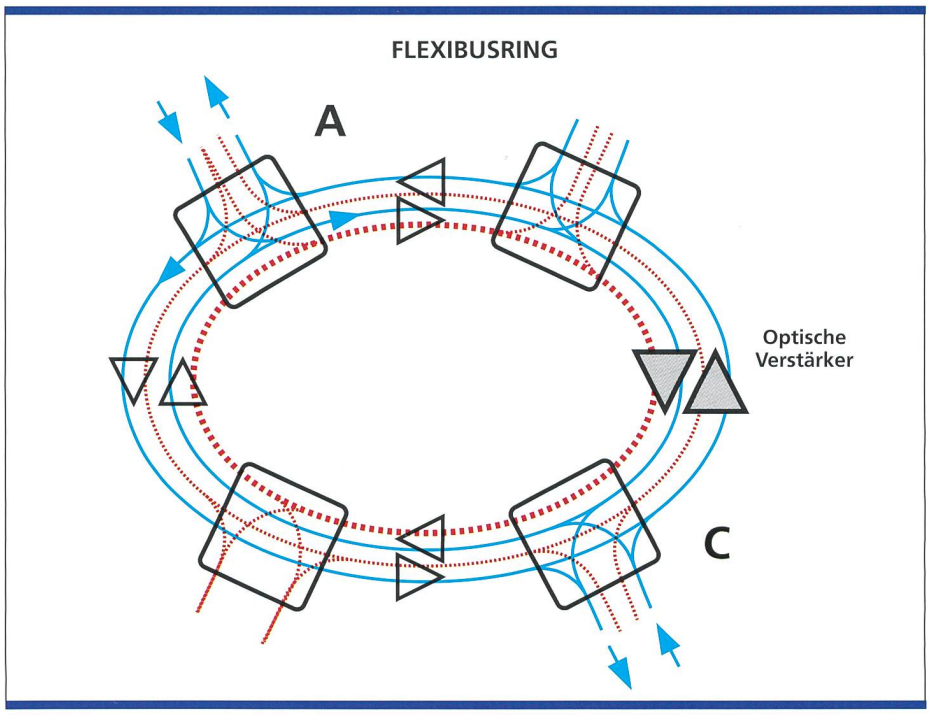

Bild 5. Grundprinzip des FlexiBus-Rings (ERION, Ericsson). Ein Verstärkerpaar ist blockiert, die anderen sind durchlässig; alle Knoten sind in einer Broadcast-Busstruktur in beiden Richtungen verbunden.

Eine interessante Ringarchitektur stellt der ERION FlexingBus der Firma Ericsson dar [3], eine Punkt-zu-Multipunkt-(«broadcast»)-Architektur, bei der alle Wellenlängen zwischen den Knoten verteilt werden. Physikalisch ist der ERION jedoch ein Zweifaserring, auf dem der Verkehr gegenläufig übertragen wird. Mit OADM werden aus den beiden Fasern in jedem Knoten die benötigten Signale aus bestimmten Wellenlängen herausgenommen und neue Signale über die entsprechenden Wellenlängen wieder in den Bus eingesetzt. Zwischen jedem Knotenpaar befindet sich ein optischer Verstärker. Die Verstärkung eines dieser Linienverstärker wird im ERION so tief geschaltet, dass das optische Signal stark abgeschwächt wird, und damit öffnet sich der Ring zu einem Bus mit variablen Endpunkten. Durch diese Massnahme werden optisches Kanalübersprechen und Rauschen unterdrückt. Wenn im Bus ein Faserbruch auftritt, dann schaltet der dämpfende Verstärker auf volle Verstärkung. Damit wird der Bus – mit neuen Endpunkten – wieder intakt. Dank Broadcast haben bei einem einfachen Faserunterbruch immer alle Knoten Zugang zu allen Verbindungen.
Zum Abschluss des Kapitels über optische Ringarchitekturen soll noch kurz auf eine interessante Mischform einer optisch-elektrischen Ringarchitektur eingegangen werden. Der Coloured Section Rin» (CSR) [4] ist ein Ring, bei dem die logische Verbindung (Routing) über SDH erfolgt (elektronisch, ADM) und der 1+1-Schutzpfad über einen optischen Zweitweg (OADM) bereitgestellt wird. Je eine bestimmte Wellenlänge dient der Verbindung benachbarter Knoten im Ring. Die Arbeitsverbindung benützt die direkte Faserverbindung zwischen den Knoten. Bei einem Faserbruch schaltet der SDH-ADM um auf den Laser für die anderen Laufrichtungen auf dem Schutzring, wobei wieder der längere Weg im Ring zu berücksichtigen ist. Die Anzahl benötig-

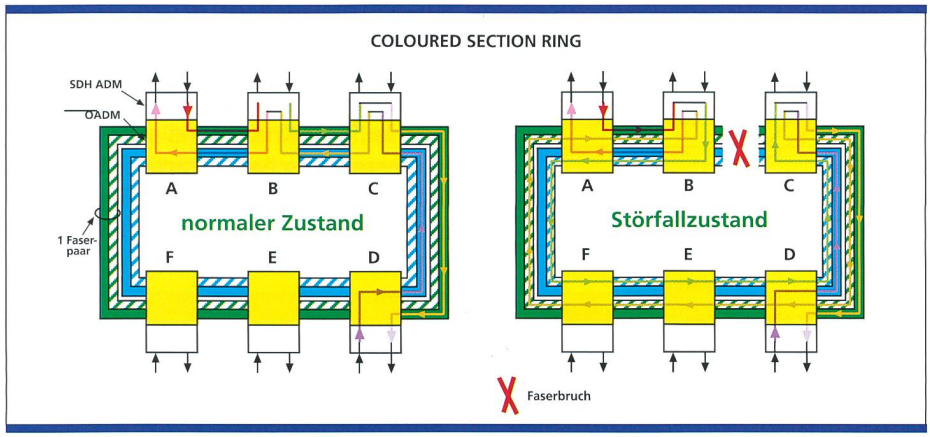

Bild 6. Coloured Section Ring (CSR) mit zwei Faserringen.

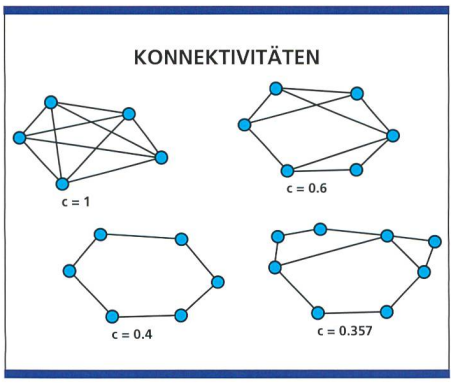

Bild 7. Beispiele verschiedener Konnektivitäten.

ter Wellenlängen ist klein, sie ist nämlich gleich der Anzahl der Knoten, weil immer zwischen je zwei Knoten eine Wellenlänge eingesetzt wird. Zudem kann das Netzmanagement der SDH-Ringarchitektur weit gehend übernommen werden. Der Hauptvorteil dieser Architektur ist jedoch, dass über herkömmliche SDH-Ring eine n-fache Kapazitätssteigerung erzielt werden kann, wobei n die Anzahl der parallel verwendeten Wellenlängen ist. Es ist kein Ausbau der physischen Faserinfrastruktur von SDH-Ringen notwendig.

Vermaschte Architekturen

Trotz der relativ guten Effizienz der optischen Ringarchitekturen und der verhältnismässig weit entwickelten Netzmanagementprotokolle erlaubt die Einschränkung auf die Ringtopologie keine maximale Konnektivität, die mit anderen Topologien durchaus möglich ist. In [5] wird anhand eines einfachen 5-Knoten-Beispiels gezeigt, dass zusätzliche direkte Faserverbindungen zwischen den Knoten in einer ursprünglichen Ringtopologie – Übergang zu vermaschter Topologie – der Kapazitätsdurchsatz um 20 bis 50% erhöht werden kann. Im Gegensatz zu Ringtopologien ist aber die optische Pfadlänge in einer vermaschten Architektur nicht mehr offensichtlich. Zum Beispiel stehen generell mehrere Schutzpfade bei 1+1-Schutzschaltungen zur Verfügung, die alle unterschiedliche Längen aufweisen können. Daher stellen physikalisch bedingte Übertragungsstreckenbegrenzungen – beispielsweise durch chromatische Dispersion, Polarisationsmodendispersion (PMD), nichtlineare Fasereffekte usw. – wichtige Dimensionierungsparameter in optisch transparenten Netzen dar, die komplexer zu handhaben sind als in den geometrisch viel einfacheren Ringtopologien.

Um die physikalischen Randbedingungen unter Kontrolle zu halten, bzw. die Netzplanung möglichst einfach zu gestalten, können verschiedene Ansätze gewählt worden:

- Das Netz wird in optisch transparente Teilnetze partitioniert. Diese Partitionen sind physikalisch maximal so gross zu wählen, dass die erwähnten Begrenzungen nicht zum Tragen kommen. Die verschiedenen Teilnetze kommunizieren miteinander über optisch-elektrische Schnittstellen, inklusive Signalregenerierung.
- Eine alternative Lösung bilden solche Architekturen, die begrenzte optische Pfadlängen schon als Entscheidungskriterium bei der Routenwahl benutzen bei denen jeder Netzknoten nur mit seinen nächsten Nachbarn verknüpft ist. Das bedeutet, dass keine langen, direkten Verbindungen bestehen, die allenfalls Probleme verursachen können. Dieser Ansatz läuft auf regelmässige Netztopologien hinaus.

Einen wichtigen Begriff bei vermaschten Netzarchitekturen stellt die Konnektivität dar. Sie ist definiert als die Anzahl physikalischer Verbindungen in der betrachteten Topologie, normiert auf die maximal mögliche Anzahl Verbindungen (volle Vermaschung) dieser Topologie. Mathematisch kann die Konnektivität c daher wie folgt definiert werden:

$$c = \frac{2 \cdot L}{N \cdot (N-1)} \qquad (3)$$

wobei L die Anzahl vorhandener Verbindungen darstellt und N die Anzahl der Knoten. Die Extremfälle bilden dabei die vollvermaschte (jeder Knoten hat mit jedem anderen eine direkte Verbindung) und die Ringtopologie (jeder Knoten hat nur zwei Verbindungen) dar. Bild 7 zeigt einige Beispiele.

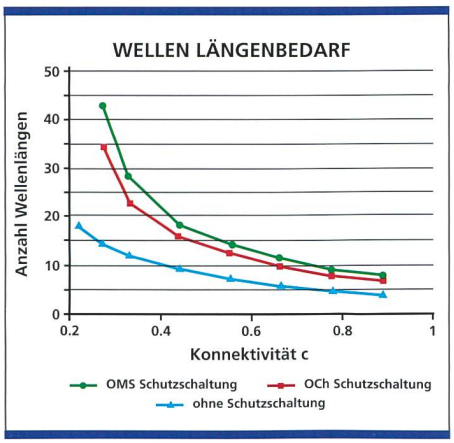

Bild 8. Wellenlängenbedarf für ein vermaschtes Netz mit elf Knoten und gleichmässig verteilter Verkehrslast.

Via Konnektivität kann nun der Bedarf an Wellenlängen ermittelt werden. Bild 8 zeigt die im Durchschnitt benötigte Wellenlängenanzahl in einem vermaschten Netz mit elf Knoten. Das Beispiel 8 zeigt die drei Fälle ohne Schutzschaltung, mit Och- und mit OMS-Schutzschaltung. Man erkennt deutlich, dass mit zunehmender Konnektivität, das heisst mit mehr direkten Faserverbindungen zwischen den Knoten, der Wellenlängenbedarf sinkt. Man ersetzt quasi Wellenlängen mit zusätzlichen Fasern.

Der Grundgedanke der Partitionierung des gesamten Netzes in Teilnetze beruht auf der Beobachtung, dass das Verkehrsvolumen zwischen Netzknoten am geografischen Rand des Netzes und den zentraleren Knoten deutlich kleiner ist als das Verkehrsvolumen zwischen den zentraleren Netzknoten. Das Netz kann deshalb geografisch aufgeteilt werden, ohne dass es zu nennenswerten Performanceeinbussen kommt – wenn die optische Transparenz eingeschränkt wird –, indem die Übergänge zwischen den einzelnen Teilnetzen über optisch-elektrische Schnittstellen laufen. Das Gesamtnetz wird am sinnvollsten in ein eigentliches Zentralnetz mit allen verkehrsmässig stark ausgelasteten Knoten (innerhalb der Ellipse C in Bild 9) und eine beschränkte Anzahl von Subnetzen (X, Y und Z in Bild 9) mit den Randknoten aufgeteilt. Es gibt somit keine direkten Faserverbindungen vom Subnetz X ins Netz Y oder Z. Solche Verbindungen müssen als logische Verbindungen über das zentrale Netz geführt werden. Um eine möglichst hohe Verfügbarkeit des Gesamtnetzes zu gewähren, sind die Subnetze jeweils über zwei Knoten an das zentrale Netz anzuschliessen[1]. Dieses Prinzip wird Dual Homing genannt (Bild 9).

Eine solche Partitionierung führt wie gewünscht dazu, dass die maximale optisch transparente Pfadlänge und die Anzahl durchlaufener Knoten und anderer Netzelemente (optische Verstärker, Filter usw.) beschränkt werden. Im Gesamtnetz sinkt daher die Konnektivität, dafür kann sie aber in den Teilnetzen grösser werden.

[1] Dies wird bereits heute im SDH-Fernnetz von Swisscom so betrieben. Die Ringe der Stufe F2 sind jeweils an zwei geografisch getrennten Stellen an die höchste Netzschicht F1 angebunden.

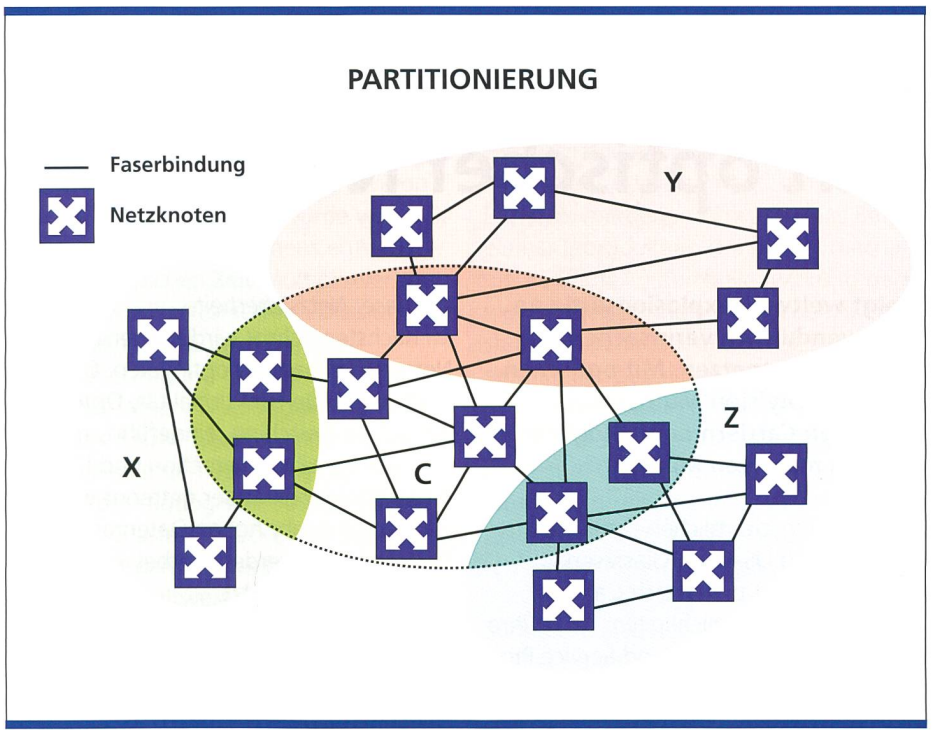

Bild 9. Partitionierung des Netzes in den zentralen Teil C und drei Subnetze, die über Dual Homing angeschlossen werden.

Im Bereich der regulären Strukturen vermaschter Netze hat die ETH Zürich wegweisende Arbeiten geleistet [7–9]. Basierend auf einer regelmässigen Gitterstruktur, die sowohl WDM als auch Fasermultiplexierung berücksichtigt, wird der Verkehr entlang der Gitterkolonnen und/oder Gitterzeilen geführt. Die Koordinaten des Zielknotens werden mittels einer Faser für die Kolonne und mittels einer Wellenlänge für die Zeile dieses Knotens kodiert.

Schlussbemerkungen

Die hier beschriebenen Grundarchitekturen optischer transparenter Netze werden in wenigen Jahren einen weiteren Sprung bezüglich Flexibilität und Kapazitätsdurchsatz der Transportnetze bewirken. Sie können in den beschriebenen Grundformen, aber auch in Untervarianten und Kombinationen aufgesetzt werden. Der gemeinsame Nenner ist das passive Wellenlängenrouting der Verkehrsströme über optisch transparente Pfade von begrenzter Länge. Zum heutigen Zeitpunkt sind optische Ringarchitekturen weiterentwickelt, sowohl bezüglich ihrer Technologie als auch bezüglich des benötigten Netzmanagements. Langfristig werden vermaschte Architekturen jedoch wegen der höheren Flexibilität Überhand gewinnen. 4, 9.4

Marcel Schiess *studied Electrical Engineering at the ETH Zurich. His PhD work at the Royal Institute of Technology in Stockholm addressed the simulations of optical high-bitrate transmission systems and non-linear effects in optical fibres. In 1995 Marcel Schiess joined Swisscom (Swiss Telecom PTT at that time). His work has focused on WDM technology and the evolution of an optical transport network layer based on WDM. He is currently project leader of the EURESCOM Project P709: «Evolution towards an optical network layer».*

Literaturangaben

[1] M. Schiess, Y. van Dam, C. Wickman, Wellenlängenmultiplex, der Weg zu optischen Netzen, comtec Nr. 3, S. 22–30, 1998.

[2] D. K. Hunter and D. Marcenac, Optimal mesh-routing in four-fibre WDM rings, Electron. Lett, Vol. 34, No. 8, pp. 796–797, 1998.

[3] Homepage: www.ericsson.se/transmission/wdm/product.shtml

[4] A. Hamel et al, Increased capacity in an MS protection ring using WDM technique and OADM: the Coloured Section Ring, Electronics Letters, Vol. 32, No. 3, pp. 234–235, 1996.

[5] M. Sexton and A. Reid, Broadband Networking; Artech House, Boston, 1997.

[6] D. Marcenac, in Deliverable 3 EURESCOM Project P918, Optical Network Planning, Heidelberg, 1999.

[7] H. A. Jäger, The WDM-gridconnect as a transport structure, IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 7, No. 5, pp. 576–578, 1995.

[8] H. A. Jäger and M.-S. Kao, Optical Bypassing Using a WDM-Gridconnect Patchwork, IEEE Photonics Technol. Lett., Vol. 9, No. 7, pp. 1026–1028, 1997.

[9] H. A. Jäger and Th. Gipser, Mapping of Virtual Regular Mesh Network Topologies onto Arbitrary Geographical Node Distributions, Proc. of the NOC 96, ISBN 90 5199 2742, Vol. 3, pp. 64–71, June 1996.

	Dedizierter Schutzpfad	Verteilter Schutzpfad
Optischer Kannal (OCh)	OCh-DP-Ring (1+1 OCh)	OCh-SP-Ring (1:1 OCh)
Optical Multiplex Section	OMS-DP-Ring (1+1 OMS)	OMS-SP-Ring (1:1 OMS)

Tabelle 1. Optische Ringarchitekturen und ihre Schutzschaltungen (DP für Dedicated Protection, SP für Shared Protection).