

Containerverkehr auf Telekom-Netzen : SDH, die Synchron digitale Hierarchie, macht Netze flexibler und wirtschaftlicher

Autor(en): **Niederhauser, Klaus**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association Suisse des Electriciens, de l'Association des Entreprises électriques suisses**

Band (Jahr): **83 (1992)**

Heft 13

PDF erstellt am: **06.08.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-902839>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Containerverkehr auf Telekom-Netzen

SDH, die Synchron Digital Hierarchy, macht Netze flexibler und wirtschaftlicher

Klaus Niederhauser

Weltweite Liberalisierung und steigende Kundenanforderungen prägen den Telekommunikationsmarkt im letzten Jahrzehnt des zwanzigsten Jahrhunderts. Eine Antwort auf die veränderten Bedingungen ist das neue Multiplex- und Übertragungskonzept Synchron Digital Hierarchy (SDH). Der vorliegende Beitrag beschreibt, ausgehend von den bestehenden plesiochronen Netzen, die Architektur der neuen Übertragungsnetze. Die wichtigsten Begriffe und Netzelemente werden erläutert.

Les efforts en cours dans le monde en vue de la libéralisation des réseaux de télécommunications ainsi que les besoins accrus de la part des utilisateurs vont modifier profondément le marché des télécommunications. La hiérarchie numérique synchrone (SDH, Synchronous Digital Hierarchy), dont les principes sont décrits dans cet article, est une structure de multiplexage et de transmission, permettant de répondre aux nouveaux besoins des utilisateurs.

Ohne funktionstüchtiges nationales und internationales Telekommunikationsnetz sind geschäftliche Tätigkeiten kaum mehr denkbar; die Telekommunikation hat sich in der Industrie und im Dienstleistungsbereich zum strategischen Wettbewerbsfaktor entwickelt. Immer komplexere EDV-Mittel finden in immer umfassenderen Prozessen Einsatz und rufen nach einer Erhöhung der Übertragungskapazität. Gleichzeitig wird der Telekom-Kunde kostenbewusster. Er erwartet vom Netzbetreiber die Erfüllung seiner Kommunikationsbedürfnisse zu angemessenen, leistungsbezogenen Preisen. Mietleitungen beispielsweise sind erst dann wirtschaftlich optimal, wenn die vom Kunden benötigte Übertragungskapazität dann und nur dann zur Verfügung steht, wenn dieser sie auch wirklich braucht. Einer hohen Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit seiner Übertragungsmittel schenkt jener Kunde besondere Beachtung, für den ein Betriebsunterbruch ernste geschäftliche Konsequenzen hat. Diese steigenden Bedürfnisse und Anforderungen aber vermögen die bestehenden Netze nicht oder nur ungenügend zu erfüllen.

Der Marktdruck hat in einigen Ländern bereits zur Entmonopolisierung der Telekomnetze mit entsprechenden Konsequenzen geführt. Seit seiner Privatisierung ist beispielsweise der englische Netzbetreiber British Telecom weltweit tätig; auf dem Heimmarkt stösst er auf ernsthafte Konkurrenz der Firma Mercury. Auch in der Schweiz bringt das kürzlich in Kraft getretene neue Fernmeldegesetz eine Liberalisierung des Datenverkehrs. Ähnliche Entwicklungen sind in mehreren europäischen Ländern im Gange. Die Netzbetreiber stehen vor einem Umbruch, und erfolgreich wird

nur sein, wer unter höherem Kosten- und Qualitätsdruck in der Lage ist, rasch auf die sich verändernden Anforderungen zu reagieren. Dazu werden Übertragungsnetze benötigt, die grösstmögliche Flexibilität bei der Konfigurierung neuer, kundenspezifischer Übertragungswege bieten. Um die Betriebskosten trotz steigender Netzkomplexität zu senken – nur so kann dem wachsenden Preisdruck begegnet werden –, ist für die Netzführung und die Netzüberwachung ein umfassendes *Netzmanagementsystem* notwendig. Dieses soll verschiedene betriebliche Abläufe automatisieren und die Betriebs- und Personalkosten senken helfen. Die geforderte hohe Netzflexibilität und die umfassende Netzführung durch ein Netzmanagementsystem ist ohne neue *Netzarchitektur* nicht zu erreichen.

Netzarchitektur

Im heutigen Fernsprechnetze werden zur Verbindung der analogen und digitalen Vermittlungszentralen vorwiegend Übertragungssysteme der plesiochronen (von griech. plesios und chronos, annähernd synchron) digitalen Hierarchie (PDH) eingesetzt. Wichtigste Funktionselemente in diesen Übertragungssystemen sind Multiplexer, Leitungsausrüstungen und Netzverteiler. Zur Mehrfachausnutzung der Verbindungswege zwischen den Vermittlungszentralen werden in den Multiplexern mehrere Sprachkanäle schrittweise zu höheren Signalbündeln vereinigt. Im sogenannten Primärmultiplexer werden in Europa entsprechend der CCITT-Spezifikation G.702, 30 Sprachkanäle zu einem Bündelsignal von 2,048 MBit/s zusammengefasst. In Amerika beträgt die tiefste Übertragungsrate 1,544 MBit/s, was der gleichzeitigen Über-

Adresse des Autors

Klaus Niederhauser, El.-Ing. HTL/STV,
Ascom Ericsson Transmission AG,
Belpstrasse 37, 3000 Bern 14.

Hierarchie- stufe	Übertragungsrate der plesiochronen Hierarchie		SDH – Bezifferung	
	Europa	Nordamerika	Container	Virtuelle Cont.
0	64 kbit/s	64 kbit/s		
1	2.048 Mbit/s	1.544 Mbit/s	C-1	VC-1
2	8.448 Mbit/s	6.312 Mbit/s	C-2	VC-2
3	34.368 Mbit/s	44.736 Mbit/s	C-3	VC-3
4	139.264 Mbit/s	—	C-4	VC-4

Tabelle I
CCITT-Hierarchie-
stufen

hinaus ermöglicht der Einsatz der Cross-Konnektoren einen einfacheren Übergang von der plesiochronen zur synchronen Übertragungswelt. Mit Hilfe der plesiochronen Schnittstellen, die in den DXCs eingebaut werden können, lassen sich die neuen SDH-Übertragungssysteme elegant in die bereits bestehenden plesiochronen Netze integrieren.

Mit der Einführung des DXC ist aber nur ein Aspekt der neuen Netzarchitektur erfüllt. Damit internationale und herstellerunabhängige Übertragungsnetze überhaupt realisiert werden können und die Netzevolution sichergestellt ist, mussten weit tiefgreifendere Massnahmen eingeleitet werden. Es wurden überschaubare Grundeinheiten definiert, welche als Bausteine für die gesamte Netzarchitektur verwendet werden können. Im Rahmen der CCITT-Aktivitäten wurde deshalb ein Satz solcher grundlegender Architekturkomponenten zur Beschreibung eines universellen SDH-Transportnetzes bestimmt. Das sind im wesentlichen topologische Komponenten, Komponenten für die Verarbeitungsfunktionen und funktionale Einheiten für den Datentransport.

Mittels der topologischen Komponenten (Hard- und Software) kann das Übertragungsnetz in geografische Subnetze aufgeteilt werden. Dies erlaubt zum Beispiel die Schaffung von Netzeinheiten, die bezüglich Betrieb, Überwachung und Routing unabhängig voneinander sind. Die Verarbei-

mittlung von 24 Sprachkanälen entspricht. Aus der Tabelle I sind die Übertragungsraten der höheren Multiplexierstufen ersichtlich. Die Leitungsausrüstungen ermöglichen die Übertragung der Bündelsignale über längere Distanzen, wobei als Übertragungsmedium Koaxialkabel, Glasfaserkabel oder Mikrowellen eingesetzt werden. Die Verbindungswege zwischen den Vermittlungszentralen und den Multiplexern einerseits und zwischen den Multiplexern benachbarter Hierachiestufen andererseits werden üblicherweise über sogenannte Netzverteiler geführt. Hier wird durch eine manuelle Verbindung bestimmt, welches Bündelsignal mit welchem Multiplexer respektive mit welcher Leitungsausrüstung verbunden werden soll. Benötigt ein Telekom-Kunde beispielsweise eine neue Mietleitung, sind in den betroffenen Netzverteilern die erforderlichen Verbindungen zu installieren, was nicht ohne zeitraubenden administrativen und planerischen Aufwand möglich ist. Elektronische Durchschaltelemente werden nur für spezielle Dienste eingesetzt.

Das oben umschriebene Netzkonzept der weltweit installierten plesiochronen Systeme wird sich mit der Einführung der *Synchronen Digitalen Hierarchie* (SDH) verändern. Ein neuer, wesentlicher Bestandteil im zukünftigen SDH-Netzkonzept bilden die *vollelektronischen* Digitalen Cross-Connect-Systeme (DXC), die an die Stelle der mechanischen Netzverteiler gesetzt werden. Damit ergeben sich für den Netzbetreiber eine Vielzahl von Möglichkeiten, die mit den herkömmlichen Netzen nur unter grossem Aufwand oder überhaupt nicht zu erreichen waren. Die Steuerung der DXC erfolgt unabhängig vom eigentlichen Informationsaustausch durch ein zentrales Netzmanagementsystem (TMN). Was bisher aufwendige, manuelle Umrangierungen verlangte, kann im neuen Netzkonzept der Synchronen Digitalen Hierarchie dank den DXCs ferngesteuert erledigt wer-

den. Die DXCs sind indessen nicht nur in der Lage, ganze ankommende Signalbündel zu rangieren, sondern ermöglichen dank der eingebauten hochintegrierten Multiplexierstufen auch die Durchschaltung kleinerer Informationsbündel. Dies wird vor allem durch die neue Rahmenstruktur der SDH-Technologie begünstigt. Der Einbau von Digitalen Cross-Konnektoren in die zukünftigen SDH-Transportnetze und der Einsatz von übergreifenden Netzmanagementsystemen führen zu dynamischen Telekommunikationsnetzen, die in der Lage sind, die in der Einleitung aufgezeigten Anforderungen zu erfüllen. Die DXCs geben dem Übertragungsnetz die nötige Flexibilität und erlauben dem Netzbetreiber, schnell auf die Wünsche seiner Kunden zu reagieren. (Insbesondere die Bereitstellung von digitalen Mietleitungen, Leased Lines, fordert zunehmend ein hohes Mass an Netzflexibilität.) Zudem erlauben sie eine optimale Nutzung der Netzressourcen und damit einen ökonomischeren Netzbetrieb. Darüber

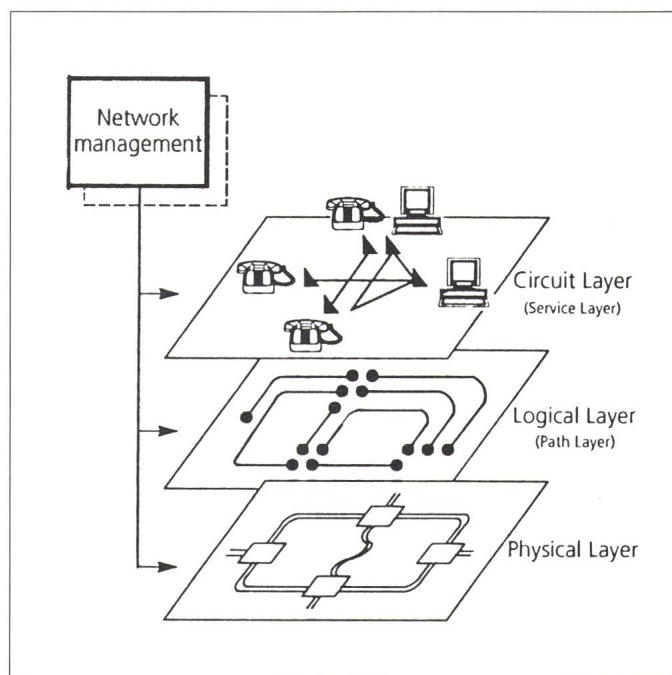


Bild 1
Netzarchitektur

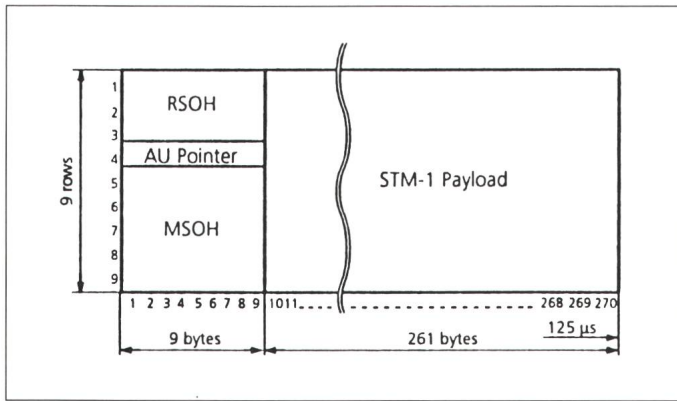


Bild 2
STM-1-Rahmenstruktur
 RSOH Regenerator Section Overhead
 MSOH Multiplexer Section Overhead
 Payload Nutzlast

tungsfunktionen sind technische Grundfunktionen, auf denen die Netzelemente der SDH-Technologie aufgebaut sind. Die funktionalen Einheiten für den Datentransport schaffen die Voraussetzung, um das Transportnetz in verschiedene Schichten (Layers) zu unterteilen (Bild 1). Der unterste Layer beinhaltet die *physikalischen Verbindungen* des Übertragungsnetzes sowie alle Funktionen, die mit der STM-n-Rahmenstruktur (wird weiter unten erklärt) in Verbindung stehen. Im Unterschied zu den bisherigen Netzen sind bei SDH praktisch alle logischen Netzstrukturen wie Punkt-zu-Punkt-Verbindungen, Bus, Ring und vermaschte Netze möglich. Das umfassende Netzmanagementsystem, das die Netzelemente steuert und überwacht, bestimmt, wie die Durchschaltkonfiguration der DXCs ausgebildet sein müssen, um die momentan erforderlichen Verbindungen zwischen den Netzanschlüssen sicherzustellen. Diese gewünschten (elektronisch realisierten) Verbindungen sind Teil des *logischen Layers* und ermöglichen die Übertragung der angebotenen Dienste. Die oberste Schicht, der *Circuit-Layer*, bildet dieses Dienstnetz ab. Soll im Netz ein neuer Dienst implementiert werden, sind dazu möglicherweise mehrere zusätzliche logische Verbindungen nötig. Diese können in kurzer Zeit ohne Anpassungen im physikalischen Layer, über das zentrale Netzmanagementsystem elektronisch gesteuert und realisiert werden.

Die SDH-Rahmenstruktur

Die 1988 vom CCITT vorgeschlagene Rahmenstruktur für die Synchron Digital Hierarchy (SDH) hatte vor allem zum Ziel, einige Mängel der plesiochronen Hierarchie zu beheben. Da das plesiochrone Multiplexierverfahren nicht gestattet, ein-

zelne Basiskanäle ohne hohen Demultiplexieraufwand aus Bündelsignalen höherer Hierarchiestufen zu isolieren, bestand die Forderung nach einem Verfahren, das ein einfaches Ein- und Auskoppeln von Nutzsignalen erlaubt. Auch sollte für die europäischen und die amerikanischen Übertragungsraten (Tab. I) das gleiche Multiplexierverfahren verwendet werden können. Zudem war zur Überwachung und Kontrolle der Netze ein Bedarf nach zusätzlichen Übertragungskanälen vorhanden. In Bild 2 ist die Rahmenstruktur des synchronen Transportmoduls erster Ordnung (STM-1) dargestellt. Dieses Modul ermöglicht die Signalübertragung innerhalb des physikalischen Layers. Der Rahmen ist byteweise (8 Bit) orientiert. Die einzelnen Bytes sind in einem Rahmen von 9 Zeilen zu 270 Spalten angeordnet, der entsprechend der Abtastrate für den band-

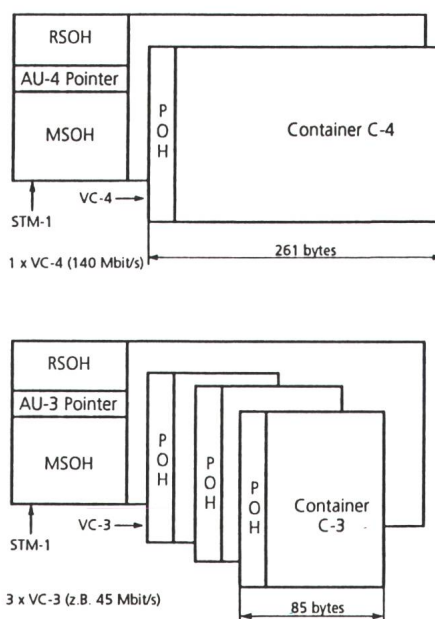


Bild 3 STM-1-Rahmen mit Virtuellen Containern
 POH Path Overhead

begrenzten Telefoniekanal innerhalb von 125 µs zeilenweise seriell übertragen wird. Zur Übertragung des Rahmens (8 Bit × 9 Zeilen × 270 Spalten) innerhalb von 125 µs ist somit eine Übertragungsrate von 155,520 MBit/s erforderlich.

Die ersten 9 Spalten bilden den sogenannten Section Overhead, der in den Regenerator Section Overhead (RSOH) und in den Multiplexer Section Overhead (MSOH) unterteilt ist. Der RSOH enthält alle die Informationen, die allen Netzelementen zugänglich sein müssen. Dies sind unter anderem das Rahmensynchronisationswort und die Netzmanagementinformationen. Im Multiplexer Section Overhead sind die Informationen enthalten, die für den End-zu-End-Betrieb eines Leitungsabschnittes zwischen synchronen Multiplexern erforderlich sind. So finden sich in diesem Overhead-Teil unter anderem Paritätswörter zur Erkennung und Auswertung von Übertragungsfehlern sowie Informationen zur Steuerung von Ersatzschaltungen und Datenkanälen zur Übertragung der Netzmanagement-Informationen. Zwischen den beiden Overheads liegt in der vierten Zeile ein Zeiger (AU-Pointer), der die Position des Virtuellen Containers innerhalb der Payload markiert. Als Payload wird derjenige Freiraum im STM-1-Rahmen bezeichnet, der zur Übertragung der Nutzsignale zur Verfügung steht. Er ist 261 Spalten lang und verkörpert daher eine Übertragungskapazität von rund 150 MBit/s. Diese Übertragungskapazität beinhaltet genügend Reserve, um die höchste Übertragungsrate der plesiochronen Hierarchie (139,264 MBit/s) zu übertragen.

Die SDH-Technologie lässt den Transport verschiedener Signalarten mit unterschiedlichen Bitraten zu, ohne dass das Übertragungsnetz um- oder aufgerüstet werden muss. Dies ist vor allem durch die Definition von Subsignalformaten, den sogenannten Virtuellen Containern (VC), möglich. Sie sind Bestandteil der logischen Ebene. Ein oder mehrere Virtuelle Container werden in der Payload der STM-1-Rahmenstruktur über das synchrone Netz übertragen. Zwei mögliche Beispiele sind in Bild 3 dargestellt. Der Virtuelle Container VC-4 enthält ein Signal der Übertragungsrate 140 MBit/s, während in einem VC-3 ein solches der Übertragungsrate 45 MBit/s oder 34 MBit/s Platz findet.

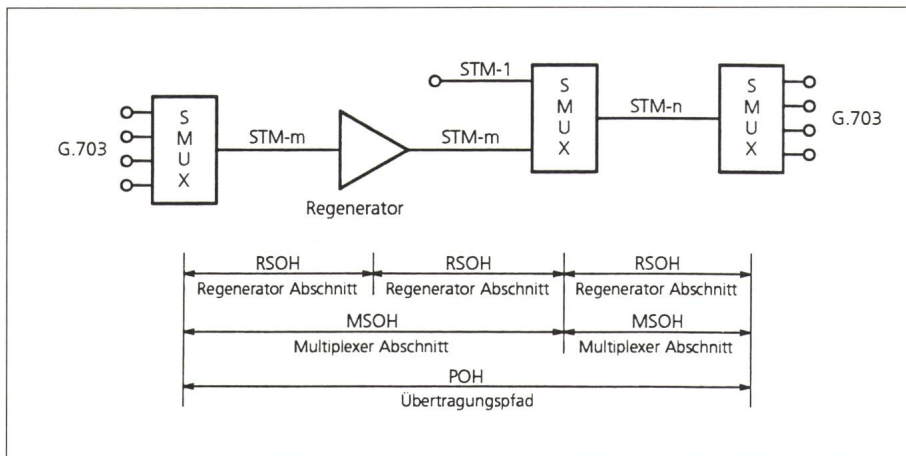


Bild 4 Wirkungsbereiche des Section- und Path Overhead (Netzausschnitt)
SMUX Synchroner Multiplexer

Ein Virtueller Container (VC) besteht aus dem sogenannten Container (C) und dem Path Overhead (POH). Analog zu den plesiochronen Hierarchiestufen unterscheidet man zwischen vier Container- (C-n) bzw. vier Virtuellen Container-Haupttypen (VC-n). Die entsprechende Bezeichnung kann der Tabelle I entnommen werden. Der Container entspricht einem Informationsbehälter, der die Transportkapazität bestimmt. Sein Inhalt besteht entweder aus kleineren VCs oder direkt aus Signalen der plesiochronen Hierarchie, je nach dem sogenannten Mapping, das im CCITT-Dokument G.709 festgelegt ist, und welches zudem das Verpacken der plesiochronen Bitraten in die Container bestimmt. Der Path Overhead begleitet den Container – und damit das Nutzsignal – über den ganzen Übertragungspfad, bis an der Empfangsdestination das Nutzsignal aus dem Container herausgelesen wird. Der POH enthält deshalb alle Informationen, die zur Überwachung und Kennzeichnung des gesamten Übertragungspfad erforderlich sind. Mit dem Path Overhead, dem Multiplexer- und dem Regenerator Section Overhead werden also die Betriebs-, die Verwaltungs- und die Wartungsfunktionen in den verschiedenen Layers des SDH-Netzes wahrgenommen. Der kleine Netzausschnitt in Bild 4 verdeutlicht die Zuständigkeit der einzelnen Overheads.

Im Gegensatz zur plesiochronen Hierarchie werden die Bitraten der höheren Synchronen Transport Module (STM-4, STM-16) aus ganzzahligen Vielfachen des Grundmoduls von 155,520 MBit/s gebildet. Das Multiplexierverfahren basiert deshalb auf

einer einfachen Byte-Verschachtelung. Zu beachten ist jedoch, dass die SOH-Bereiche der einzelnen Zubringer wiederum zu einem Block zusammengefasst werden. Die Verschachtelung von vier STM-1-Signalen führt zu einer Übertragungsrate von 622,080 MBit/s (STM-4), von 16 STM-1 zu einer Übertragungsrate von 2488,320 MBit/s (STM-16).

Netzelemente

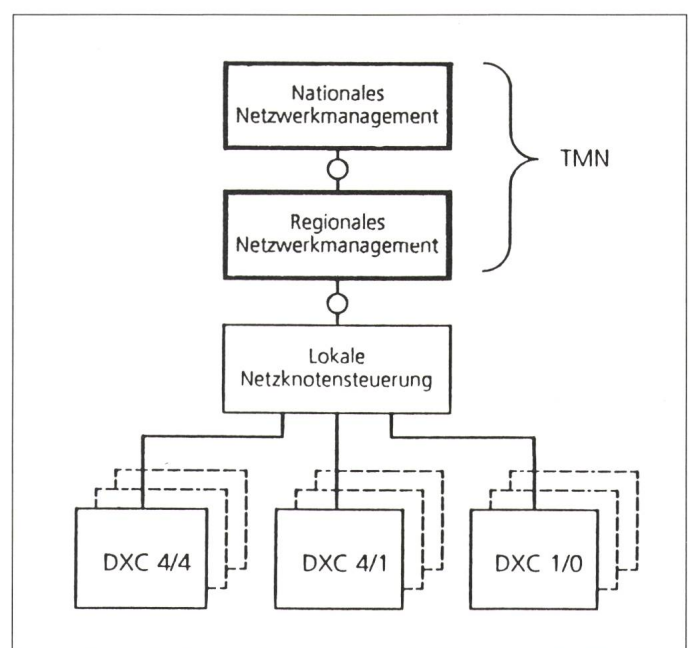
Das charakteristische der Netzelemente der SDH-Technologie besteht darin, dass ihre funktionelle Struktur einheitlich und verbindlich durch die Verarbeitungsfunktionen definiert ist. Dies ist eine zwingende Notwendigkeit, wenn die Funktion eines Netzmanagementsystems unabhängig vom

jeweiligen Lieferanten sein soll. Dank dem SDH-Konzept der Virtuellen Container ist sowohl im Netzzugangsbereich als auch im Regional- und im Fernnetz die Schaltmöglichkeit für alle Bitraten der Signalquellen gegeben. Dies ermöglicht zum Beispiel, Leitungersatzschaltungen zu realisieren oder die Ausnutzung der vorhandenen Übertragungswege zu erhöhen. Die erforderliche Schaltflexibilität wird vor allem durch den Einsatz der Cross-Connect-Systeme erreicht.

Das Bild 5 zeigt die Grundstruktur eines DXC-Systems mit dem dazugehörigen Netzmanagement (TMN). Eine lokale Knotensteuerung ist direkt an den Netzknoten vor Ort angeschlossen. Sie enthält die lokalen Steuerungs- und Bedienungselemente. Davon abgesetzt kann eine regionale Netzmanagement-Ebene zur Überwachung und Steuerung regionaler Subnetze angeschlossen werden. Eine zentrale nationale Management-Ebene kontrolliert das gesamte Netz. Bei den Geräten zur Durchschaltung der digitalen Signale können drei Typen unterschieden werden. Die Bezifferung der DXCs bezieht sich auf die Hierarchiestufen, die im Durchschaltelement verarbeitet werden können. In Bild 6 bezeichnet die jeweils erste Ziffer die höchste Hierarchiestufe, die an den DXC angeschlossen werden kann, während die zweite Ziffer die tiefste Hierarchiestufe benennt, die in der Durchschalteinrichtung verarbeitet werden kann.

Für den Netzaufbau werden als weitere Netzelemente der Terminal-Mul-

Bild 5 Grundstruktur eines Digital Cross-Connect-Systems



tiplexer und der Add/Drop-Multiplexer (Bild 7) benötigt. Der Terminal-Multiplexer dient dem direkten Netzzugriff, indem er gemäss der CCITT-Mapping-Vorschrift G.709 die elektrischen Schnittstellensignale G.703 der plesiochronen Hierarchie in ein synchrones Rahmensignal STM-n multiplexiert; er ist zudem in der Lage, mehrere STM-n-Signale tieferer Ordnung zu einem Signal höherer Ordnung zu vereinigen. Sein Ausgangssignal steht normalerweise an einer normierten optischen Schnittstelle zur Verfügung und kann direkt ins Übertragungsnetz eingebunden werden. Zur Alarm- und Performance-Überwachung sowie zur Konfigurierung des Multiplexers selbst ist er mit dem Netzmanagementsystem verbunden. In angepasster Anordnung kann der Terminal-Multiplexer auch als Leitungsregenerator eingesetzt werden.

Der Add/Drop-Multiplexer besitzt, wie aus Bild 7 ersichtlich, zwei Lei-

tungsschnittstellen und erlaubt somit ringförmige Netzstrukturen zu realisieren. Dies ist vorwiegend im lokalen Netzbereich interessant, wo aus einem hohen Datenstrom einzelne niederbitratige Signale ausgekoppelt oder neu eingeführt werden sollen. Das empfangene STM-n-Signal kann unverändert oder neu konfiguriert zum STM-n-Ausgangssignal durchgeschaltet werden. Auch die Signale der Anschlussschnittstellen können beliebig konfiguriert und in das gewünschte Signalbündel eingeführt werden. Wie der Terminal-Multiplexer akzeptiert der Add/Drop-Multiplexer an seinen Schnittstellen unterschiedliche plesiochrone und synchrone Signale. Auch er ist mit dem übergeordneten Netzmanagementsystem verbunden. Für alle geplanten synchronen Signalbündel (STM-1, STM-4 und STM-16) werden Terminal-Multiplexer und Add/Drop-Multiplexer zur Verfügung stehen.

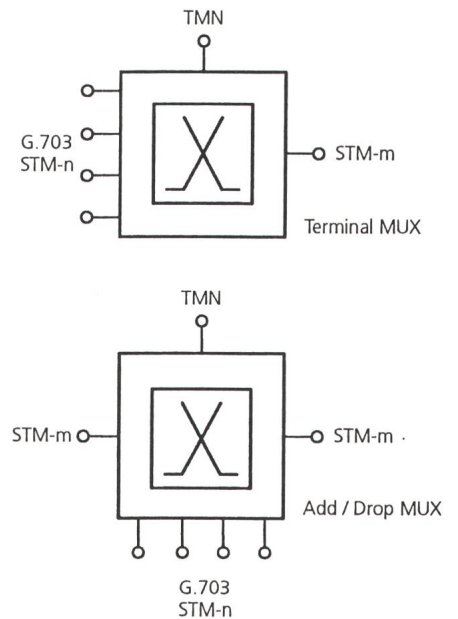


Bild 7 Multiplexertypen
 a Terminal-Multiplexer
 b Add/Drop-Multiplexer

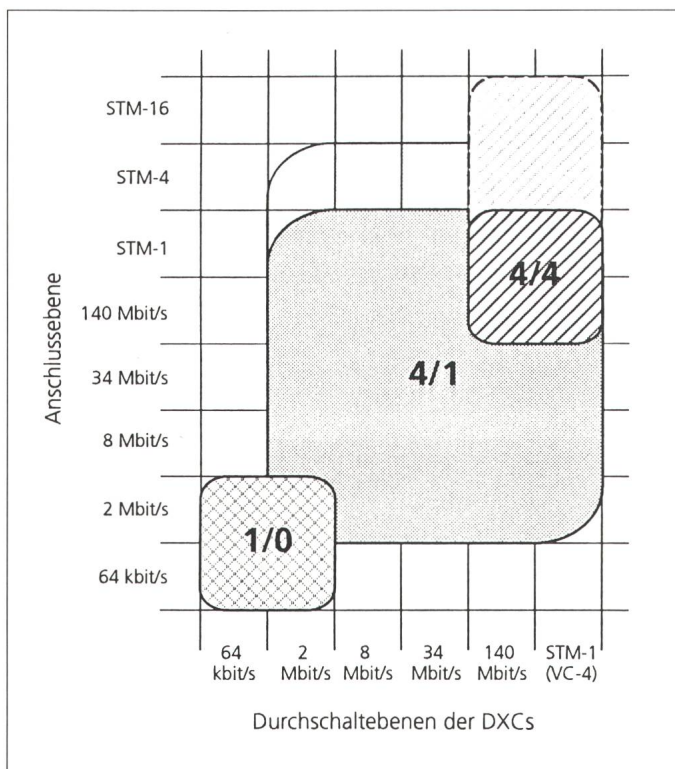


Bild 6 Anschluss- und Durchschaltebene der Digitalen Cross-Connect-Systeme
 Die erste Ziffer der Kennzeichnung (z.B. 4/1) bezeichnet die maximale Anschlussübertragungsrate, die zweite Ziffer die tiefste Übertragungsrate, die im DXC durchgeschaltet werden kann.

Ausblick

In verschiedenen Feldversuchen wird zur Zeit – vor allem in Europa – die SDH-Technologie erprobt. Ab etwa 1993 kann mit der Ersteinstallation von SDH-Teilnetzen gerechnet werden. Die Einführungs- und Migrationsszenarien unterscheiden sich von Land zu Land. Die Schweizerischen PTT planen die Einführung von SDH bereits für das Jahr 1993.

Literatur

- [1] CCITT-Empfehlung G.707: Synchronous Digital Hierarchy Bit Rates.
- [2] CCITT-Empfehlung G.708: Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy.
- [3] CCITT-Empfehlung G.709: Synchronous Multiplexing Structure.
- [4] CCITT-Empfehlung G.781: Structure of Recommendations on Multiplexing Equipment for the Synchronous Digital Hierarchy.
- [5] CCITT-Empfehlung G.782: Types and General Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy Multiplexing Equipment.
- [6] CCITT-Empfehlung G.783: Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy Multiplexing Equipment Function Blocks.