Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 87 (1996)

Heft: 3

Artikel: Der Markt verlangt nach SDH und ATM : robuste und wirtschaftliche Breitband-Technologien

Autor: Bajenescu, Titu I.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-902300

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: 04.12.2025

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

In den siebziger Jahren begannen die Fernmeldeverwaltungen die analoge Übertragungs- und Vermittlungstechnik mit digitaler Technik zu ergänzen und abzulösen. Die Möglichkeit, alle Informationsarten (Sprache, Daten usw.) kosteneffizient im gleichen, dienstintegrierenden Netz zu führen, sowie günstigere Hardwarekosten waren für den Siegeszug der Digitaltechnik ausschlaggebend. Als neue Elemente der digitalen Netzwerktechnik sind die Synchrone Digitalhierarchie (SDH) und der Asynchrone Transfermodus (ATM) entwickelt worden; sie befinden sich in der Einführung.

Der Markt verlangt nach SDH und ATM

Robuste und wirtschaftliche Breitband-Technologien

■ Titu I. Bajenescu

In Europa wurden bei der Einführung der Digitaltechnik zunächst 30 Sprachkanäle je 64 kBit/s oktettweise zu einem Primärmultiplexsignal von 2,048 MBit/s multiplexiert; dieses wurde dann mit wachsender Leistungsfähigkeit der Mikroelektronik und Photonik hierarchisch immer höher multiplexiert: erst auf 8,448 bzw. 34,368 MBit/s, dann auf 139,264 MBit/s, schliesslich auf etwa 565 MBit/s. Dabei müssen die einzelnen zu multiplexenden Signale nicht ganz eng miteinander synchronisiert sein (der Schlupf wird durch Ausgleichbits, sogenannte Stopfbits, kompensiert); deswegen wird dieses Übertragungskonzept Plesiochrone Digitalhierarchie (PDH)[1] genannt.

[1] Die PDH wurde bereits 1972 vom CCITT (ITU-T) standardisiert und wird seitdem weltweit in grossem Umfang eingesetzt. Inzwischen haben sich die Marktanforderungen erheblich weiterentwickelt. Um diese Anforderungen abzudecken, wurden vom ITU-T seitdem zwei neue Übermittlungskonzepte standardisiert, zuerst die Synchrone Digitalhierarchie (SDH), später der Asynchrone Transfermodus (ATM). Beide Konzepte sind erst dank der Fortschritte bei optischer Übertragung (2,5 GBit/s sind bereits im Einsatz), hochintegrierter Mikroelektronik und «Netzintelligenz» kosteneffizient realisierbar.

Adresse des Autors:
Prof. Ing. *Titu I. Bajenescu,* M. Sc., Consultant, 13, Ch. de Riant-Coin, 1093 La Conversion.

Synchrone Digitalhierarchie (SDH)

Nach Feldversuchen mit synchronen Übertragungssystemen in Europa, den USA und Japan wurde die SDH auf Initiative von Bellcore vom CCITT in einer ersten Fassung im Jahre 1988 für die netzinterne Übertragung standardisiert, also etwa 15 Jahre nach der PDH. Die Vorteile sind in Tabelle I aufgelistet.

Zentrales Merkmal des SDH-Konzeptes ist das gewählte Multiplexverfahren (Bild 1). Basis für das Multiplexverfahren ist der «synchrone Transportmodul STM-1» mit einer Transportbitrate von 155,52 MBit/s. In jedem STM-1-Transportmodul ist neben einer nutzbaren Übertragungskapazität von 150,336 MBit/s ein stattlicher «Abschnitts-Overhead» (Section Overhead, SOH) von 5,184 MBit/s enthalten, der nur für den gerade genutzten SDH-Übertragungsabschnitt Bedeutung hat; er dient unter anderem zum Erkennen des Anfangs des Zeitmultiplexrahmens, zur Überwachung der Qualität des betreffenden Übertragungsabschnittes und enthält ausreichend Übertragungskapazität (0,768 MBit/s) für den Transport von Netzmanagementinformation.

Für Bitraten unterhalb und oberhalb der STM-1-Transportbitrate von 155,52 MBit/s werden unterschiedliche Multiplexverfahren angewandt. Für Bitraten unterhalb der STM-1-Transportbitrate wird die nutzbare

1. Effizienteres Übertragungskonzept

a) Geeignetes Multiplexprinzip für praktisch beliebig hohe Transportbitraten (N×155 MBit/s) inklusive die Möglichkeit von Nutzsignalen grösser 150 MBit/s
b) Vereinfachtes Multiplexen und Demultiplexen, verbesserter Zugang zu den unteren Ebenen
c) Vereinheitlichtes Multiplexkonzept für alle Regionen (im Detail noch Varianten für Europa, Nordamerika, Japan . . .)
d) Kompatibilität mit PDH-Signalen
e) Gute Eignung für den Transport von ATM-Zellen

2. Netzaspekte

a) Leistungsfähigere Infrastruktur für wachsenden digitalen Verkehr
b) Mehr Flexibilität durch Netzmanagement (ausreichende Übertragungskapazität für Netzmanagementinformation im SDH-Overhead)
c) Höhere Verfügbarkeit (Steuerinformationen für betriebsbegleitende Überwachung von Einzelsignalen und Leitungsumkonfiguration in Echtzeit)
d) Internationaler Standard für Inneramtsschnittstellen und für Verbindungsleitungen
e) Leistungsfähiger Standard für die Kopplung von Netzen unterschiedlicher Betreiber

Tabelle I Vorteile der SDH gegenüber der PDH

Übertragungskapazität des STM-1-Transportmoduls hierarchisch und oktettweise in Container (Tabelle II) unterschiedlicher Grösse unterteilt. Es stehen fünf Containergrössen zur Auswahl.

Jedem Container ist ein eigener, reichlich dimensionierter Pfad-Overhead (POH, Tabelle II) beigegeben, der den Container auf seinem «Pfad» durch das SDH-Netz transparent begleitet, auch über mehrere Übertragungsabschnitte hinweg. Mit seiner Hilfe wird zum Beispiel die Übertragungsqualität des Pfades betriebsbegleitend überwacht. Die Grösse der Container wurde so gewählt, dass sie für die Übertragung der wesentlichen, regional unterschiedlichen, herkömmlichen PDH-Signale (Tabelle II) geeignet ist.

Im Gegensatz zur PDH ist bei der SDH der selektive Zugriff auf einzelne Signale auf effiziente Weise möglich, das heisst ohne Demultiplexen und erneutes Multiplexen des gesamten Transportmoduls. Dies wird erreicht durch das oktettorientierte Multiplexen und durch die direkte Adressierung jedes Containeranfangs mit Hilfe von Distanzadressen (Pointern) im Overhead des übergeordneten Containers.

Im Rahmen des von ITU-T einheitlich standardisierten SDH-Grundkonzepts haben sich im Detail regional (Europa, Nordamerika, Japan) unterschiedliche Varianten herausgebildet, die bei interkontinentalen Verbindungen geeignete Adaptionen erfordern.

Oberhalb von 155,52 MBit/s werden einfach N synchrone Transportmoduln oktettweise zu einem neuen Transportmodul STM-N multiplexiert, ohne dass dabei nach oben Grenzen gesetzt sind: so ergibt dies bei $N=4$ eine Transportbitrate von 622,08 MBit/s, bei $N=16$ eine solche von 2488,32 MBit/s (Tabelle III).

Durch geeignete Definition der STM-1-Transportmoduln ist es auch hier möglich, einzelne Transportmoduln STM-1 selektiv herauszufiltern, ohne die begleitenden anderen Transportmoduln interpretieren zu müssen. Die SDH ermöglicht ausserdem das Übertragen von Nutzsignalen über 150 MBit/s durch geeignetes Ketten von STM-1-Transportmoduln mit ihren C4-Containern.

Obwohl bei der SDH normalerweise alle Container mit der Transportbitrate streng synchron sind, kann die Phasenlage der Container C3 und C4 innerhalb des STM-1-Transportmoduls durch Oktett-Stopfen nachgestimmt werden, um in grossen Netzen gegebenenfalls auftretende leichte Taktschwankungen ohne Informationsverlust ausgleichen zu können. Die mit der SDH nur lose synchronisierten PDH-Signale werden in einen geeigneten, synchronen SDH-Container «gestopft», der dann als synchrones Signal behandelt werden kann.

Bei allen hierarchischen Multiplexverfahren (daher auch bei der SDH) sind der Bitratenflexibilität und Übertragungseffizienz Grenzen gesetzt, wenn Signale unterschiedlicher Bitrate zu bedienen sind. Zum einen müssen Signale beliebiger Bitrate mit einem mehr oder weniger grossen Overhead auf die nächste Containergrösse «aufgepolstert» werden: ein PDH-Signal von 34,368 MBit/s zum Beispiel auf einen C3-Container (mit 48,384 MBit/s, Tabelle II). Zum anderen führt die Restkapazität von «angebrochenen» Containern zu einem nicht zu unterschätzenden Effizienzverlust: Schon ein einziger 64-kBit/s-Kanal erfordert, dass ein ganzer C1.2-, ein C2-, ein C3- und ein C4-Container «angebrochen» werden, so dass diese Container für die Übertragung von breitbandigen Signalen, die der Containergrösse entsprechen, nicht mehr zur Verfügung stehen. Könnten zum Beispiel bei einem STM-4-Transportmodul (622 MBit/s) in jeder der 4 Hierarchiestufen nur 70% der Kapazität genutzt werden (was nicht unrealistisch ist), so könnten insgesamt nur 25% (!) (genauer $7^4 = 0{,}24$) der möglichen STM-4-Kapazität ausgenutzt werden.

Container C Typ	Bitrate	Pfad-Overhead (POH)	Geeignet für PDH-Signal
C4	149,760	0,576	139,264
C3	48,384	0,576	44,734 und 34,368
C2	6,832	0,016	6,312
C1.2	2,224	0,016	2,048 und 1,544
C1.1	1,648	0,016	1,544

Tabelle II Multiplexen unterhalb 155,52 MBit/s (Bitraten in MBit/s)

Transport-Modul STM-N	Transport-Bitrate	Abschnitts-Overhead SOH	Container bei C4-Kettung
STM-16c	2488,32	82,94	2405,376
STM-4c	622,08	20,734	599,040
STM-1	155,52	5,184	149,760

Tabelle III Multiplexen oberhalb 155,52 MBit/s (Bitraten in MBit/s)

Der Asynchrone Transfermodus (ATM)

Nach ersten Prototypen und ATM-Pilotversuchen in der zweiten Hälfte der achtziger Jahre wurde vom CCITT 1990 eine erste Fassung von ATM-Standards, zunächst für Festverbindungen (an den Wählverbindungen wird noch gearbeitet) verabschiedet. Wegen der grossen Varianz des Bitratenbedarfs bei wichtigen neuen Anwendungen (z.B. LAN/MAN-Kopplung, Festbild-, Bewegtbildübermittlung, Multimedia usw.) und um für derzeit noch nicht absehbare Dienste-Entwicklungen besser gerüstet zu sein, wurde der ATM vom ITU-T für das Breitband-ISDN (B-ISDN) als das Multiplex- und Vermittlungsprinzip festgelegt.

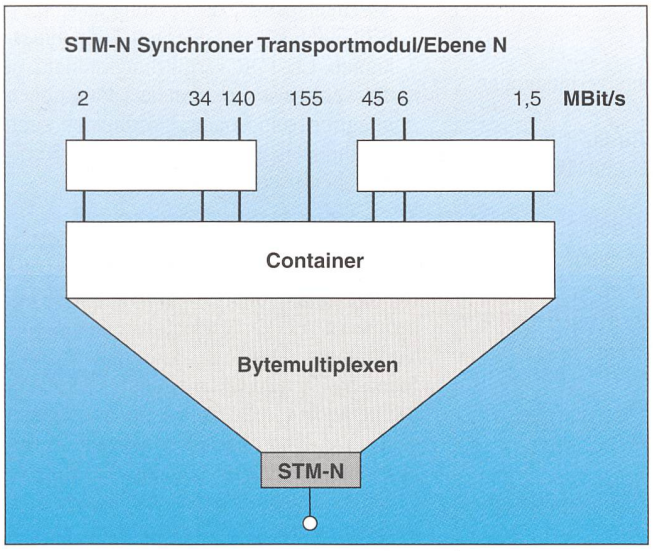

Bild 1 Prinzip der Synchronen Digitalhierarchie (SDH)

Im zukünftigen B-ISDN werden alle Informationsarten paketiert übertragen (Bild 2). Die Pakete haben feste Länge (53 Oktetts, davon 48 Oktetts Nutzinformation und 5 Oktetts Zellkopf) und werden «Zellen» genannt. Hat der Absender gerade keine Nutzinformationen zu senden, so sendet er im Zellkopf geeignet markierte Leerzellen. Bei einem typischen, standardisierten Teilnehmeranschluss auf STM-1-Basis (verfügbare Kapazität: 149,76 MBit/s, Tabelle III) werden je Richtung über 350 000 Zellen pro Sekunde übertragen. Für paketierte PCM-codierte Sprache (64 kBit/s) werden etwa 150 Zellen pro Sekunde übermittelt, für Bildübermittlung (je nach Anwendung) bis etwa 250 000 Zellen je Sekunde, was etwa 100 MBit/s entspricht. Je nachdem, wie viele der übermittelten Leerzellen mit Nutzinformation gefüllt werden, kann für eine Verbindung mit gleicher Hardware und Software auf diese Weise jede beliebige Bitrate von quasi Null bis zu einer Maximalrate, die sich an der Transportbitrate orientiert, geboten werden. Auf diese Weise ist es möglich, alle Informationsarten effizient in einem Netz zu übermitteln: Dauerbitraten (Sprache, PDH-Bitraten), variable Bitraten (spezielle Bildcodierungsverfahren) und paketorientierten Datenverkehr (Bild 2).

Durch Ausnutzen der Identifikationsfelder im Zellkopf (VPI, Virtual Path Identifier, und VCI, Virtual Channel Identifier) werden die Nutzzellen einem bestimmten ATM-Pfad (VPI) und innerhalb dieses Pfades einem bestimmten ATM-Kanal (VCI) zugeordnet. Auf diese Weise ist es möglich, über einen Übertragungsabschnitt praktisch beliebig viele Pfad- und Kanalverbindungen mit beliebiger Bitrate zu führen. Das ATM-Multiplexverfahren kennt keine Hierarchiestufen. Es ist einheitlich für Schmalband- und für Breitbandverbindungen (z. B. bis zu 2 GBit/s) sowie für Pfadverbindungen und für die darin geführten Kanalverbindungen. Auf diese Weise wird ein Maximum an Bitratenflexibilität geboten, das über die PDH und SDH weit hinausgeht.

Das ATM-Netz behält für jede Verbindung die Zellenreihenfolge bei. Beim Verbindungsaufbau stellt das ATM-Netz sicher, dass die vom Benutzer gewünschte Bitrate auf jedem Übertragungsabschnitt verfügbar ist. Die ATM-Zellen können praktisch über jede transparente, digitale, ausreichend fehlerfreie Verbindung transportiert werden (aus Performance-Gründen empfiehlt sich eine Mindestbitrate von etwa 34 MBit/s). Wegen der ausgefeilten Managementfunktionen sind SDH-Pfade für den Transport von ATM-Zellen besonders gut geeignet. ATM-Einrichtungen können aber auch über PDH-Strecken oder (mittels Glasfaser, Funk, in Sonderfällen auch Kupfer) direkt miteinander verbunden werden.

Für stossweisen Verkehr (Bursty Traffic) oder Verkehr mit variabler Bitrate ermöglicht der ATM im Prinzip statistisches Multiplexen. Allerdings fehlen dafür noch geeignete Standards. Der möglichen Einsparung an Übertragungskapazität stehen dabei höhere Komplexität und mögliche Qualitätseinbussen gegenüber. Voraussetzung für die Anwendung statistischer Verfahren ist in jedem Fall eine statistisch relevante Anzahl (z. B. mindestens 10) miteinander nicht korrelierter Verbindungen auf dem gleichen Übertragungsabschnitt.

Durch seine paketorientierte Natur ist der ATM auch besonders gut für die Übermittlung von netzbezogenen Steuerinformationen geeignet. Dazu gehören: Benutzer-Netz-Signalisierung, netzinterne Signalisierung, IN-bezogene Steuerinformationen (IN: intelligentes Netz), Netz-Management-Informationen. Der ATM ermöglicht praktisch unbegrenzte Bandbreite und Bitratengranularität. Verbindungsspezifische Managementinformation (vergleichbar dem Pfad-Overhead bei der SDH) wird mit im Zellkopf markierten Managementzellen übertragen.

Durch geeignete Anpassungseinrichtungen beim Teilnehmer oder am Netzeingang können in einem ATM-Netz auch herkömmliche Schnittstellen, Dienste und

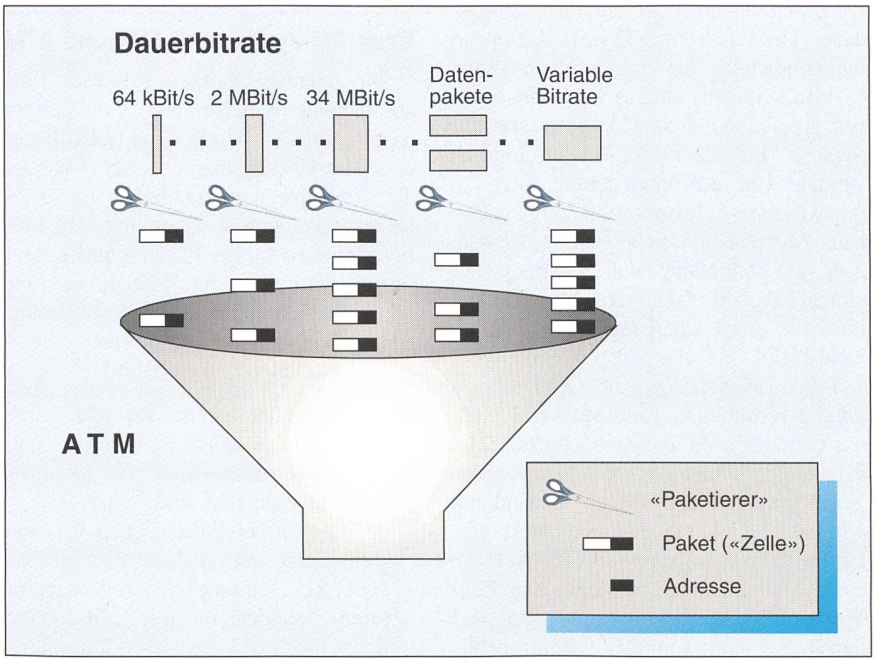

Bild 2 Prinzip des Asynchronen Transfermodus (ATM)

1. Multiplexverfahren

a) Maximum an Bitratenflexibilität
- Praktisch beliebige Bitratengranularität für Pfad- und Kanalverbindungen (SDH: grobe Stufung der Pfade in Anlehnung an die PDH)
- Beliebige Kombination von Verbindungen unterschiedlicher Bitrate

b) Höhere Übertragungseffizienz und günstigere Hardwarekosten im Falle von Bitratenvielfalt von Nutzsignalen

c) Einheitliche Behandlung von Pfaden und Kanälen (SDH: nur Pfade)

d) Möglichkeit des statistischen Multiplexens (bei Bursty Traffic oder variabler Bitrate)

e) Einheitliches Multiplexprinzip von Schmalband bis Breitband (z. B. 2 GBit/s)

f) Global (Europa, Nordamerika, Japan) einheitliches Multiplexverfahren

2. Netzaspekte

a) Basis für B-ISDN (laut ITU-T-Standard)
- Netzinterne Anwendung und Benutzerzugang
- Fest- und Wählverbindungen (SDH: nur Festverbindungen)

b) Effiziente Übermittlung für beliebige netzinterne Steuerinformationen (Netzmanagement, Signalisierung, intelligentes Netz)
- praktisch beliebige Bitratengranularität
- paketorientiertes Übermittlungsprinzip (Cell Relaying)

c) Verbindungsspezifische Managementinformation für Pfad- und Kanalverbindungen

Tabelle IV Vorteile des Asynchronen Transfermodus gegenüber der SDH

Anwendungen bedient werden (z. B. Schmalband-ISDN, analoge Fernsprechanschlüsse, Datenschnittstellen; LAN/MAN-Kopplung und Frame-Relay).

Gegenüberstellung von ATM und SDH

Tabelle IV zeigt als Übersicht die Vorteile des ATM gegenüber der SDH. Im folgenden sei auf ein paar Nachteile des ATM gegenüber der SDH eingegangen. Ein Nachteil, der beim Telefonieren störend werden kann, ist die Paketierungsdauer. Das Füllen einer Zelle dauert um so länger, je kleiner die Quellenbitrate ist; bei 64-kBit/s-Sprache sind es immerhin 6 ms. Bei grossen ATM-Netzen kann daher für Sprache Echokompensation erforderlich werden. Um die Verzögerung nicht zu gross werden zu lassen, sollte durch geeignete Netzplanung sichergestellt werden, dass je Verbindung und Richtung nur einmal paketiert und depaketiert wird, auch im Falle eines Übergangs zum Schmalband-ISDN.

Ein ATM-Netz kann im Gegensatz zu leitungsvermittelten Ansätzen keine Zeittransparenz bieten: die Zellen treffen beim Empfänger, statistisch schwankend, nicht genau im gleichen zeitlichen Abstand ein, wie sie der Absender abgeschickt hat. Grund dafür sind die im ATM-Netz an jeder Multiplexstelle erforderlichen Zell-Warteschlangen. Bei Anwendungen, bei denen dies stört, kann der Empfänger die Zeittransparenz problemlos mit Hilfe der Taktreferenz, die von der Transportbitrate abgeleitet werden kann, und einem standardisierten Adaptionsprotokoll (1 Oktett je Zelle, das heisst etwa 2% Overhead) zurückgewinnen.

Der mit ATM verbundene Overhead ist im Vergleich zu SDH nicht kritisch, wenn nicht nur eine einzige, sondern unterschiedliche Nutzbitraten zu bedienen sind. Ein letzter, aber wesentlicher Nachteil des ATM im Wettbewerb mit der SDH ist ein zeitlicher Rückstand an Produktreife von drei bis fünf Jahren.

Neue Architektur mit SDH und ATM

Die schnelle Digitalisierung der Telekommunikationsnetze und die äusserst leistungsfähigen und wirtschaftlichen Glasfaser-Übertragungssysteme werden die Topologie der öffentlichen Nachrichtennetze verändern. Kostenvorteile bei Investition sowie bei Planung und Betrieb (wegen der einfacheren Netzstruktur) führen zu einer Reduktion der Netzhierarchieebenen. Der Trend geht zu einer Gliederung in zwei Netzebenen (Bild 3):

- in die Kernnetzebene, wo sehr grosse Knoten (Crossconnectoren, CC und/oder Fernvermittlungen, TE) miteinander vermascht sind, und
- in die Anschlussnetzebene, wo sich recht kleine oder auch grössere Remote Units RU (Multiplexer oder Konzentratoren) befinden, die mit Crossconnectoren (auch als Add-Drop-Multiplexer konfiguriert, Bild 3; die zugehörigen Netzmanagement-Einrichtungen sind im Bild nicht gezeigt) oder mit Teilnehmerknoten LE (Ortsvermittlungsstellen, in die wahlweise Crossconnect-Funktionen integriert sein können) verbunden sind, die ihrerseits mit den Knoten der Kernnetzebene verbunden sind.

Um Knotenausfälle in ihren Auswirkungen möglichst gering zu halten, werden die Remote Units vorzugsweise mit zwei Teilnehmerknoten verbunden, von denen eine Verbindung aktiv ist, die andere im Stand-by-Zustand (Dual Homing). Die Teilnehmerknoten wiederum sind mit mindestens zwei Knoten der Kernnetzebene verbunden. Ausserdem können die Remote Units auch dann internen Ortsverkehr abwickeln, wenn die Verbindungen zu den Teilnehmerknoten unterbrochen sind.

Wegen des grossen Verkehrsvolumens, das bereits von einem einzigen leistungsfähigen Glasfaser-Übertragungssystem bewältigt wird, gewinnt neben der Knoten-Ersatzschaltung auch die Ersatzschaltung von Verbindungsleitungen in Realzeit an Bedeutung. «Selbstheilende» Ringstrukturen (siehe Ring mit ADM in Bild 3) sind in diesem Zusammenhang besonders für die Anschlussnetzebene von Interesse. Das Ersatzschalten von Verbindungsleitungen sollte bei Einfach-Fehlern dezentral gesteuert (in «Realzeit») erfolgen, das zentrale Netzmanagement kann dann anschliessend ohne Zeitdruck informiert werden. Bei der SDH und beim ATM können auch die für PDH-Netze noch typischen Verteilerschränke entfallen, in denen Übertragungswege durch manuelles Rangieren konfiguriert wurden, was zwangsläufig langsam, fehlerträchtig und kostenaufwendig war. Ihre Funktion wird von den durch Netzmanagement ferngesteuerten SDH/PDH-Schalteinrichtungen mitübernommen.

SDH-Einführung

SDH wird gerade in verschiedenen Netzen eingeführt, zunächst als Ergänzung, später auch als Ablösung von PDH-Technik. Ab etwa der zweiten Hälfte der neunziger Jahre werden voraussichtlich nur noch SDH-Geräte an Stelle von PDH-Geräten beschafft. Es handelt sich dabei im allgemeinen um folgende SDH-Geräte: Terminal-Multiplexer, Add-Drop-Multiplexer, Crossconnectoren für schmalbandige Benutzersignale (beispielsweise 2 MBit/s, 34 MBit/s) und Crossconnectoren für hochratige Signale (z. B. für 150 MBit/s, 140 MBit/s). Fast alle einschlägigen Hersteller haben eine SDH-Gerätefamilie in ihrem Produktprogramm.

Obwohl die optimierte SDH-Einführungsstrategie wegen der unterschiedlichen Randbedingungen (Nachfrageprognose, Ist-Stand des Netzes, Deregulierung usw.) im Detail von Netz zu Netz unterschiedlich ist, ist folgendes Stufenprogramm in vielen Fällen typisch:

- Erweiterungsbeschaffung für Punkt-zu-Punkt-Konfigurationen in SDH- statt in PDH-Technik (die SDH ist zur PDH kompatibel)
- Entstehen von Teilnetzen
- Entstehen eines die obengenannten Teilnetze umfassenden Overlaynetzes
- Integration von SDH-Schnittstellen und SDH-Funktionen in Vermittlungsstellen

ATM-Einführung

ATM wurde bereits wegen seiner bestechenden Flexibilitäts- und Durchsatzvorteile für leistungsfähige PC und Workstations (Multimediastationen), für Netze im Teilnehmerbereich (ATM-LAN), für Metropolitan Area Networks (MAN auf Basis IEEE 802.6) und für private Netze entdeckt. Erste ATM-Produkte für den Teilnehmerbereich sind frisch am Markt, eine Reihe von MAN bereits installiert. Im Gegensatz zum Schmalband-ISDN eilen beim ATM offenbar die ATM-Anwendungen und -Endeinrichtungen den öffentlichen Netzen voraus. Im Bereich öffentlicher Netze werden seit 1994 ATM-Pilotnetze installiert, die kommerzielle Einführung ist für die zweite Hälfte dieses Jahrzehnts geplant. Solange das öffentliche Netz noch nicht den ATM bietet, behelfen sich private ATM-Netze mit PDH- und SDH-Verbindungen der öffentlichen Netze, über die sie, für das öffentliche Netz transparent (end to end), ATM-Zellen austauschen.

Wie die Einführung der SDH, so wird sich auch die optimierte Einführung des ATM im öffentlichen Netz bei jedem Netz etwas anders gestalten. Etwas abstrakter gesehen, lassen sich folgende Einführungsschritte unterscheiden (Bild 4):

Schritt 1: ATM-Overlaynetz für ATM-Festverbindungen, bestehend aus ATM-Multiplexern (Remote Units) und ATM-Crossconnectoren. Die ATM-Multiplexer bieten bei Bedarf neben der ATM-Schnittstelle auch herkömmliche Schnittstellen, um vorhandenen Einrichtungen (Endeinrichtungen, MAN usw.) den Zugang zum ATM-Netz zu erleichtern. Auch der (transparente) Zugang mit Primärmultiplex-Bitraten zum Schmalband-ISDN (S-ISDN) ist möglich.

Schritt 2: Ergänzung von ATM-Wählverbindungen mit einer für neue Breitbandanwendungen (beispielsweise Multimediaanwendungen) optimierten Auswahl von Zusatzdienstmerkmalen: Dafür werden auf Wählverbindungen spezialisierte ATM-Teilnehmerknoten (ATM-LE) und wahlweise auch ATM-Konzentratoren ergänzt. Die Teilnehmerknoten sind direkt oder über ATM-Crossconnectoren mit dem ATM-Kernnetz verbunden. Die Benutzer der Teilnehmerknoten sind über ATM-Konzentratoren oder über ATM-Multiplexer/Crossconnectoren angeschlossen. Falls am gleichen Ort im Netz ein ATM-Crossconnect *und* ein ATM-Teilnehmerknoten erforderlich sind, so können beide Teilsysteme in einem «universellen ATM-Teilnehmerknoten» integriert werden; ähnlich können ATM-Konzentrator und ATM-Multiplexer zu einer «universellen ATM-Remote-Unit» integriert werden. Ob eine Integration zweckmässig ist, hängt vom Einzelfall ab: Für eine Integration sprechen die Hardwarekosten, dagegen Verfügbarkeitsaspekte, da die integrierten Systeme zwangsläufig grösser und komplexer sind.

Schritt 3: Integration der S-ISDN-Dienste mit voller Funktionalität in ATM-Netz, inklusive Interworking mit dem S-ISDN. Für diesen Schritt werden die ATM-Teilnehmerknoten von Stufe 2 mit zusätzlicher Software und mit Interworking-Schnittstellen ausgestattet. Statt eine selbständige Einrichtung zu bleiben, kann ein Teilnehmerknoten dabei auch zu einer Adjunct-Vermittlung einer existierenden Schmalband-Vermittlungsstelle werden oder ein integriertes Teilsystem einer vorhandenen Schmalband-Vermittlungsstelle.

Schritt 4: Schmalband-Anschlüsse am ATM-Netz (zusätzlich zu BB-Anschlüs-

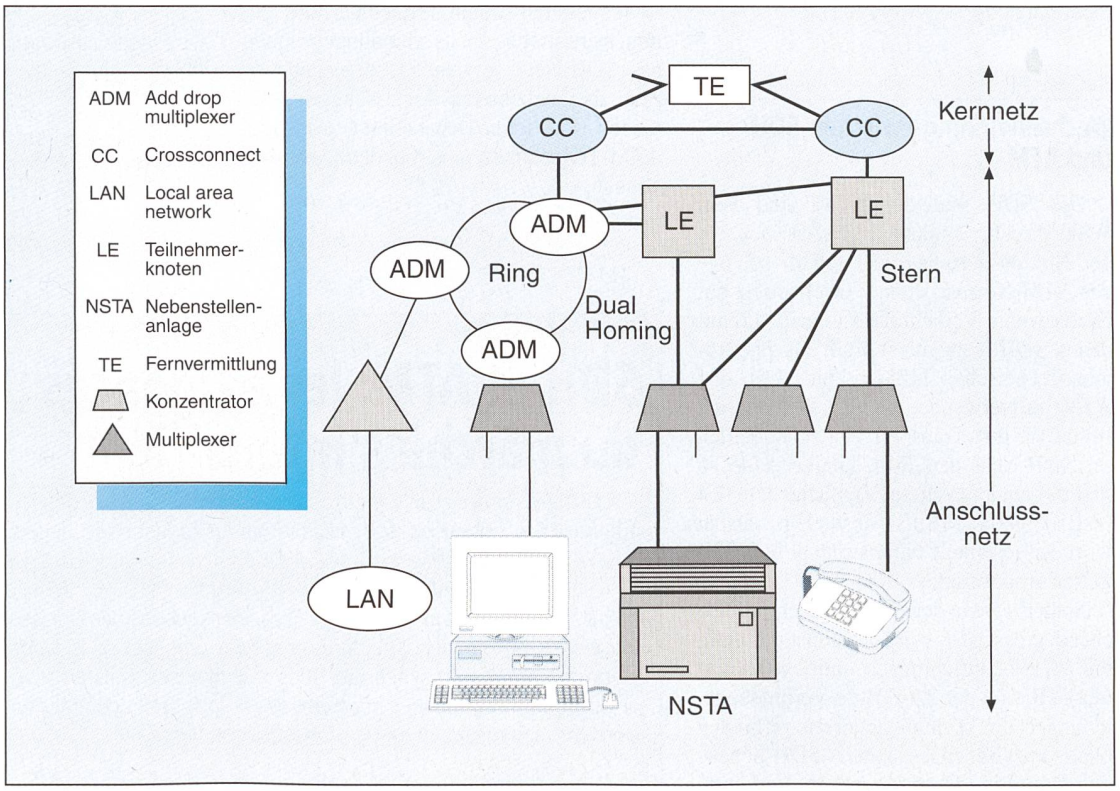

Bild 3 Zukünftiger Aufbau von Telekommunikationsnetzen mit weniger Netzebenen

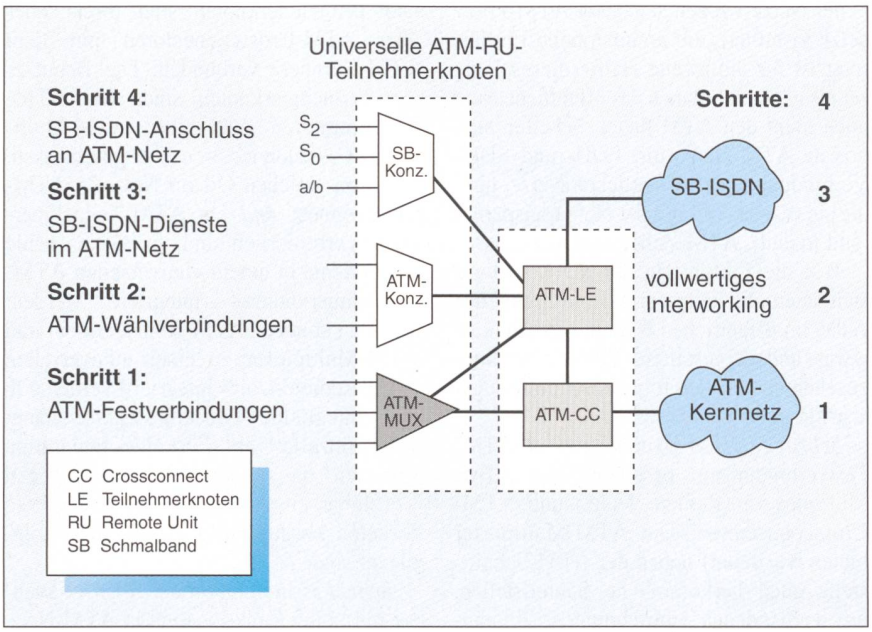

Bild 4 Schritte zur Einführung von ATM

sen): In den vorigen Schritten wurden die herkömmlichen Anschlüsse des S-ISDN (a/b, S0, S2) noch ausschliesslich von leitungsvermittelnden Systemen bedient (nicht im Bild gezeigt). In diesem Schritt nun werden diese Schmalbandanschlüsse nach entsprechender Anpassung (Paketierung/Depaketierung usw.) ebenfalls mit ATM-Technologie bedient. Sobald Schritt 4 in grösserem Umfang Wirklichkeit wird, ist wahrscheinlich, dass der Schmalbandverkehr gegenüber dem Breitbandverkehr keine nennenswerte Last mehr darstellt.

Wechselwirkung zwischen SDH und ATM

Die SDH und der ATM sind kein Widerspruch, sondern ergänzen sich. In der Einführungsphase des ATM, solange das ATM-Netz ein dünnes Overlaynetz mit relativ wenig Verkehr ist, kann ein vorhandenes SDH-Netz mit Vorteil als übertragungstechnische Infrastruktur für den ATM mitverwendet werden. ITU-T hat bisher für den Transport von ATM-Zellen im SDH-Netz den C4-Container (149,76 MBit/s) und gekettete Vielfache von C4 (z. B. 599,04 MBit/s) festgelegt. Dabei wird der gesamte Containerinhalt in ATM-Zellen strukturiert.

Später – wenn der ATM-Verkehr ausreichend gross ist – wird es günstiger sein, die ATM-Einrichtungen mit optischen 622-MBit/s- oder 2,5-GBit/s-Verbindungsleitungen direkt miteinander zu verbinden ohne dazwischengeschaltete SDH-Schalteinrichtungen. Dafür sprechen Verkehrsaspekte (Möglichkeit grösserer Nutzbitraten als etwa 110 MBit/s, kleinerer Verschnitt, kleinere Verzögerung und Jitter), Hardwarekosten und Vereinfachungen beim Netzmanagement.

Um zeitkritische Wechselwirkungen zwischen dem SDH- und ATM-Netzmanagement im Fehlerfall zu vermeiden, sollten die Verbindungsleitungen bzw. Verbindungsschnittstellen zwischen dem SDH- und ATM-Netz möglichst frühzeitig mit dezentral gesteuerter Ersatzschaltung (in Realzeit) ausgestattet sein.

Schliesslich sollten Teilnehmer, die leitungsvermittelte Festverbindungen über das SDH-Netz verwenden, zu gegebener Zeit über netzinterne Anpassungseinrichtungen (Paketierer/Depaketierer) auch mit ATM-Teilnehmern verbunden werden können.

Ausblick

Die evolutionäre Entwicklung vom schmalbandorientierten PDH-Netz zur SDH und zum ATM als zukünftige Basis für das B-ISDN ermöglicht eine Evolutionsstrategie zur Einführung von Breitbanddiensten auf der Grundlage eines universellen öffentlichen Kommunikationsnetzes, das grösste Wirtschaftlichkeit, äusserste Flexibilität und höchste Zuverlässigkeit bietet, wobei die umfangreichen Investitionen im Netz, einschliesslich der Betriebs- und Wartungstechnik, in hohem Grad weitergenutzt werden können. Vermittlungs- und Übertragungstechnik werden mehr und mehr integriert. Die ATM-Technologie ermöglicht nicht nur eine einfache, kostengünstige Netzarchitektur für das Übermitteln aller Informationsarten sowie der netzorientierten Steuerinformationen (z. B. Signalisierung), sondern auch äusserst leistungsfähige Systeme.

Literatur

[1] SDH: When and how? Communications International, January 1993, pp. 9–14.

[2] *T. I. Bajenescu:* ATM High Speed Multiservices Broadband Integrated Network. Proceedings of Intelcom 94, November 2–5, 1994, Turin (Italien), pp. 30–34.

[3] *T. I. Bajenescu:* Synchronous Digital Hierarchy. Bulletin SEV/VSE 85(1994)9, S. 17–22.

[4] Entwicklungslinien der Telekommunikation. ITG-Fachbericht 123, VDE-Verlag, Berlin, 1993.

[5] *T. I. Bajenescu:* Datenübermittlung leichtgemacht. Systeme, H. 6(1994), S. 31–37.

[6] *T. I. Bajenescu:* Datenkommunikationsnetzwerke heute und morgen. Expert-Verlag, Renningen, 1994.

[7] *T. I. Bajenescu:* Is ATM Ready for Commercial Service? Proceedings of Thirteenth Annual Conference on European Fibre Optic Communications and Networks EFOC & N 95, June 27–30, 1995, Brighton, England, vol. 1, pp. 200–203.

SDH et ATM: les exigences du marché s'intensifient

Dans les années soixante-dix, les administrations des télécommunications ont commencé à compléter les installations analogiques de commutation et de transmission et à les remplacer par des installations numériques. La possibilité de transporter à de moindres coûts tous les types d'informations (voix, données, etc.) à l'aide d'un même réseau intégrant tous les services, ainsi que le coût plus avantageux du matériel ont été les facteurs décisifs de la marche triomphale de la technique numérique. La hiérarchie numérique synchrone SDH et le mode de transfert asynchrone ATM ont été développés comme nouveaux éléments de la technique numérique des réseaux; ils se trouvent maintenant en phase d'introduction.