

Synchrone Digitale Hierarchie

KURZFASSUNG

36 Seiten

INHALT

1	Übersicht.....	2
2	Allgemeines	3
3	Synchroner Transfer Modul STM.....	7
3.1	Kenndaten	7
3.2	Rahmenaufbau eines STM-1	9
3.2.1	Overhead.....	10
3.2.2	Payload (Nutzinformation)	16
3.2.2.1	Transport von ATM-Zellen	16
3.2.2.2	Transport von PCM-Systemen (Tributaries)	18
4	Netzelemente	25
4.1	Regenerator	26
4.2	Synchronous Multiplex Terminal	26
4.3	Add-and-Drop-Multiplexer	27
4.4	Cross Connect	28
4.5	Netzstruktur.....	29
5	Qualität und Zuverlässigkeit	29
6	Kontrollfragen	33
7	Bilder und Tabellen	34
8	Abkürzungen	35
9	Literatur	35

1 Übersicht

Anfang der 80er Jahre entwickelte Bell Core auf Basis des PCM-24 das schnelle und für optische Übertragungswege geeignete Überungsverfahren SONET (Synchronous Optical Network). 1985 wurde SONET von ANSI standardisiert. In Abstimmung mit den SONET-Standards wurde Ende der 80er Jahre von ITU-T die Synchrone Digitale Hierarchie (SDH) standardisiert – G.707, G.708, G.709. ETSI hat daraus eine hauptsächlich auf PCM-30 beruhende Untermenge für den europäischen Wirtschaftsraum standardisiert. Die Einführung erfolgte Anfang der 90er Jahre.

Die Änderungen der Verkehrsmuster durch den zunehmenden Datenverkehr verändern jedoch auch die Anforderungen an die Netzbetreiber und führen z.B. bei der Realisierung großer Ortsnetze (Metro-Netzwerke) zu neuen Technologien. Obwohl sich SONET und SDH den neuen Herausforderungen anpassen bleiben sie die einzigen brauchbaren Lösungen für große, unverwüsthliche und wirtschaftliche Netze. Trotz aller Einschränkungen ist das Protokoll die Wahl traditioneller Telekom-Betreiber. Das wird sich ohne Zweifel ändern, aber heute haben die beiden alten Technologien noch einen großen Vorteil, und womöglich den einzigen der zählt: sie funktionieren.

Bereits vor SONET und SDH gab es optische Übertragungstechnik die jedoch auf proprietären Architekturen und Multiplex-Formaten beruhte. Die Netzbetreiber als Nutzer dieser Strukturen bemühten sich jedoch Standards festzulegen, um die Geräte verschiedener Hersteller kombinieren zu können. In den Vereinigten Staaten hieß die Antwort SONET; diese Technologie wurde schließlich weltweit von der ITU-T (International Telecommunications Union - Telecommunications Sector) als SDH (Synchronous Digital Hierarchy, Synchrone Digitale Hierarchie) standardisiert. SONET und SDH sind fast identisch, aber die Unterschiede sind groß genug, dass Gerätehersteller angeben müssen, ob ihre Anschlusskarten SONET, SDH oder beides unterstützen.

Obwohl das neue Protokoll die proprietären Elemente, die das öffentliche Netz durchsetzten, nicht komplett eliminierte, verbesserte es die Situation doch dramatisch, indem es einheitliche physikalische, Management- und funktionale Schnittstellen schuf. SONET/SDH ermöglichen:

- Reduktion der nötigen Ausrüstung bei Erhöhung der Zuverlässigkeit,
- präzise Leistungsüberwachung, Fehlererkennung und zentralisierte Fehlerisolierung,
- synchrones Multiplexing-Format und damit vereinfachte Schnittstellen zu anderen Einrichtungen.
- automatische Schutzschaltungen, die vor Ausfällen durch Kabelbrüche oder Gerätefehler schützen,
- Festlegung grundsätzlicher Standards, um Geräte verschiedener Hersteller einsetzen und verbinden zu können,
- Definition einer flexiblen Architektur für zukünftige Anwendungen mit einer Vielfalt an Übertragungsraten der auf Glasfaser basierenden Übertragungshierarchie.
- Bei SONET werden diese Übertragungsraten OC (optical carrier) Level genannt und entsprechen den elektrischen synchronen Transportsignalen (STS),
- Bei SDH werden sie als synchrone Transportmodule (STM) bezeichnet

Schlüsselwörter

Plesiochrone digitale Hierarchie, Synchrone digitale Hierarchie, Synchronous Optical Network, synchroner Transfermodul, Synchronous Transport Signal, Overhead, Payload, AU4 Pointer, Cross Connect, ATM-fähig

2 Allgemeines

Die plesiochrone digitale Hierarchie (PCM-Multiplex-Hierarchie) erlaubt es nicht, einen Kanal oder eine Anzahl von Kanälen direkt aus einem Bitstrom höherer Geschwindigkeit zu entnehmen, wodurch immer alle Hierarchiestufen des Multiplexsystems durchlaufen werden müssen die erforderlich waren um Systeme mit höheren Kanalzahlen zu bilden. Dieser Vorgang ist nicht sehr flexibel, da durch die starre Hierarchie Bündel mit bestimmten Bandbreiten gebildet werden in die zusätzlich entsprechende Kapazitätsreserven für Spitzenzeiten oder für Ersatzschaltungen aufgrund defekter anderer Bündel vorgesehen werden müssen. Diese Nachteile werden von der Nachfolgetechnologie SDH vermieden, die jedoch wegen der um ein Vielfaches höheren Übertragungsgeschwindigkeiten nur in optischen Netzen eingesetzt werden kann.

Die Synchrone Digitale Hierarchie SDH ermöglicht den direkten Zugriff auf Signale bestimmter Bandbreite innerhalb eines hochkanaligen Systems, um diese an einen Teilnehmer oder an eine Vermittlungsstelle zu geben. Es ist auch möglich, auf den breitbandigen Signalstrom zuzugreifen, um bestimmte Signale gegen andere auszutauschen, ohne die gesamte Multiplexhierarchie durchlaufen zu müssen. Dieser flexible Zugriff erfolgt über sog. SDH-Netzelemente mit rechnergesteuerten Koppelnetzen. Je nach Art des Netzelementes erfolgt die Steuerung der Koppelnetze aufgrund der Teilnehmer-Wahlinformation oder durch Managementinformationen, auf welche die Teilnehmerwahl keinen Einfluss nehmen kann. Die SDH-Elemente werden an jenen Orten untergebracht, an denen bei der PDH Verstärker und Multiplexeinrichtungen untergebracht waren.

Um einen fließenden und reibungslosen Übergang von der starren PDH-Technik zur flexiblen Breitbandübertragungstechnik sicherzustellen wurde das Konzept so ausgelegt, dass die neue Breitbandübertragungstechnik sowohl ANSI- als auch CEPT-Rahmen transportieren kann. Dementsprechend gibt es seit 1988 auch bei der Breitbandübertragungstechnik zwei Multiplexhierarchien:

- das von ANSI spezifizierte auf 1,5 Mbit/s aufbauende SONET und
- das von ETSI spezifizierte auf 2 Mbit/s aufbauende SDH.

Die Plesiochrone digitale Hierarchie PDH

(1) Bei der Plesiochronen Digitalen Hierarchie PDH gibt es weltweit zwei Multiplexhierarchien:

- das von ANSI mit einer Basisbitrate von 1,5 Mbit/s spezifizierte PCM 24 und
- das von ETSI mit einer Basisbitrate von 2 Mbit/s spezifizierte PCM 30.

Bei der PDH¹ handelt es sich um Daten, deren gemultiplexte Datenströme von leicht unterschiedlichen Taktraten herrührend¹ mit Stopfbits ergänzt transportiert werden müssen, wodurch die Lage z.B. eines bestimmten Bytes innerhalb eines Rahmens zeitlich nicht vorher-sagbar ist, ohne vorher die eingefügten Stopfbits wieder entfernt zu haben.

¹ Bei der Einführung der PDH in den 50er Jahren gab es noch kein taktsynchrones Netz, sondern jede Vermittlungsstelle hatte einen Taktgenerator der zwar innerhalb der vorgeschriebenen Toleranzen, aber nicht synchron zu den anderen Taktgeneratoren lief.

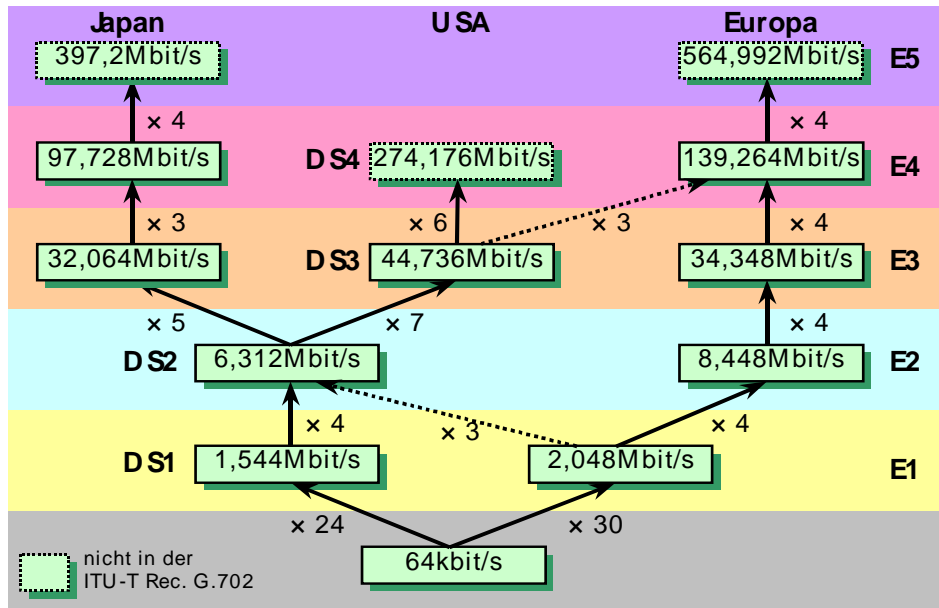


Bild 1 Aufbau der PDH Multiplex Hierarchie

Das bedeutet, dass zur Bildung eines PCM-Systems höherer Ordnung immer alle Hierarchiestufen des Multiplexsystems zu durchlaufen sind, um mehrere Kanäle zu einem System mit höherer Kanalzahl zusammenzufassen. Auf der Empfängerseite werden dieselben Hierarchiestufen in umgekehrter Reihenfolge durchlaufen, um die einzelnen Kanäle dann weiter verteilen zu können.

Sie ist nicht sehr flexibel, da durch die starre Hierarchie Bündel mit bestimmten Bandbreiten gebildet werden und besitzt folgende wesentliche Nachteile:

- Weltweit verschiedene Standards (man benötigt Übergangsmultiplexer)
- Keine Schnittstellen zwischen Signalen unterschiedlicher Hierarchiestufen - es müssen immer mehrere Multiplex- und Demultiplex-Schritte ausgeführt werden um von einer niedrigen Hierarchiestufe in eine höhere zu kommen und umgekehrt
- Fehlende Flexibilität für moderne Netzanwendungen

Synchronous Optical Network SONET und Synchrone Digitale Hierarchie SDH

(2) Bei der Synchronen Digitalen Hierarchie - SDH gibt es weltweit zwei Multiplexhierarchien:

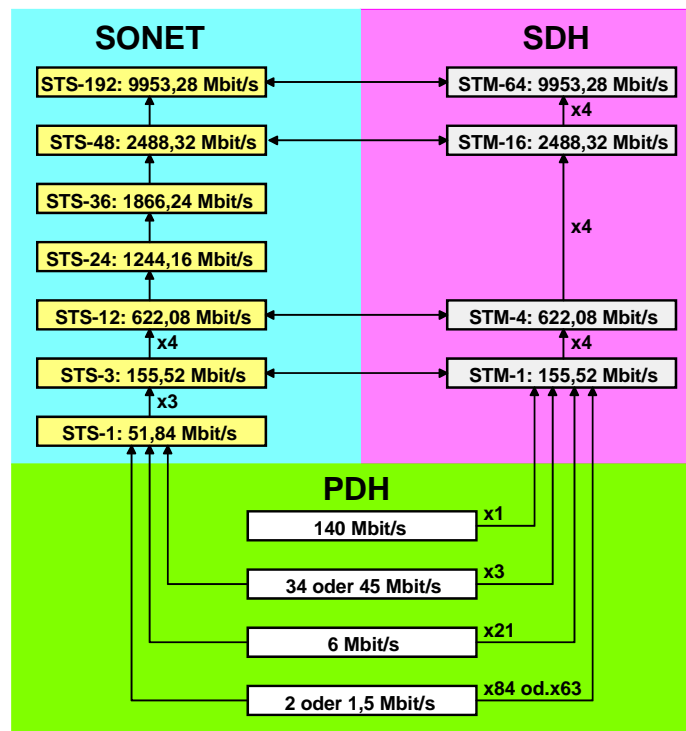
- das von ANSI spezifizierte auf 1,5 Mbit/s aufbauende SONET und
- das von ETSI spezifizierte auf 2 Mbit/s aufbauende SDH.

SDH arbeitet sowohl mit PCM-24 als auch mit PCM-30 zusammen. Aus diesem Grund basieren sowohl SDH als auch PDH auf einer Wiederholfrequenz von 8 kHz, d.h. einem Zeitabschnitt von 125 µs nach welchem die Daten einer Nachrichtenverbindung fortgesetzt werden. Bei der Plesiochronen digitalen Hierarchie wird dieser Zeitabschnitt Pulsrahmen genannt, bei der Synchronen digitalen Hierarchie wird er als Transportrahmen oder besser als Synchroner Transfer Modul (STM) bezeichnet. Ein STM ist ein standardisierter Behälter der aus Overhead und Payload besteht und in den Netzelementen des Übertragungsnetzwerkes in jeder Hierarchiestufe aus- und umgepackt werden kann, wodurch das Demultiplexen bis zum Basissystem wie bei der PDH entfällt.

Bei der "Synchronen Digitalen Hierarchie - SDH" kann man die Position eines bestimmten Bytes innerhalb eines Rahmens zeitlich genau vorhersagen, wodurch der direkte Zugriff auf Signale bestimmter Bandbreite innerhalb eines hochkanaligen Systems ermöglicht wird, um sie an einen Teilnehmer oder eine Vermittlungsstelle zu geben. Es ist auch möglich, auf den breitbandigen Signalstrom zuzugreifen, um bestimmte Signale durch andere auszutauschen,

ohne die gesamte Multiplexhierarchie durchlaufen zu müssen. Dieser flexible Zugriff erfolgt über ein rechnergesteuertes Koppelnetz.

SDH transportiert PDH-Systeme (PCM-Systeme) genauso wie ATM-Zellenströme, und ist damit die ideale Übertragungsart für verschieden strukturierte Informationsflüsse. Die Elemente eines SDH-Netzes werden dort untergebracht, wo heute Verstärker und Multiplexeinrichtungen untergebracht sind.



STS Synchronous Transport System STM Synchronous Transport Module

Bild 2 Synchrones Digital Hierarchy und SONET

Bild 2 zeigt Aufbau sowie die Beziehung SONET — SDH — PDH. Die linke Seite stellt den amerikanischen SONET-Aufbau dar, rechts sind die international standardisierten SDH—Bitraten sowie die PDH-Systeme aufgeführt, die transportiert werden können

Gegenüberstellung von PDH und SDH

Die großen Vorteile der SDH gegenüber der PDH sind höhere Übertragungsgeschwindigkeit und flexiblere Datenbearbeitung, da man immer direkt auf die Daten zugreifen und sie verändern kann.

	Synchrone Digitale Hierarchie	Plesiochrone Digitale Hierarchie
Taktversorgung	Ein Mastertakt-Generator je Netz (Genauigkeit 10^{-11})	Ein Mastertakt-Generator je Vermittlungsstelle
Basisbitrate:	155 Mbit/s	2 Mbit/s (PCM-30), 1,5 Mbit/s (PCM-24)
max. Bitrate	dzt. 40 Gbit/s	565 Mbit/s (140 Mbit/s lt. ITU-T-Norm)
höhere Geschwindigkeiten:	in 4er-Schritten, durch einfaches, lineares, byteweises Multiplexen	in 4er-Schritten, durch einfaches, lineares, bitweises Multiplexen
Netzmanagement	mittels eigener Netzelemente verwaltbar	nicht verwaltbar
Zugriff:	Die Position eines bestimmten Bytes kann zeitlich genau vorhergesagt werden Man kann immer direkt darauf zugreifen der Zugriff erfolgt durch rechnergesteuerte Koppelnetze	Die Position eines bestimmten Bytes ist zeitlich nicht vorhersagbar vor dem Zugriff müssen alle Hierarchiestufen des Multiplexsystems durchlaufen werden

Tabelle 1 Vergleich SDH – PDH

SONET und SDH-Systemtakt

Vor SONET und SDH waren die Übertragungssysteme asynchron, d.h. jedes Gerät hatte seinen eigenen Taktgenerator. Takte sind in digitalen Vermittlungssystemen deshalb so wichtig, weil man um die Bitrate konstant zu halten wissen muss, wo die Einsen und Nullen beginnen. Bei sehr hohen Datenraten geht die Zeit zum Lesen eines Bits in die Mikrosekunden wodurch ein sehr genauer Taktgenerator benötigt wird um das Netz exakt steuern zu können. Synchrone Netzwerke verwenden dazu einen Referenztakt mit einer Genauigkeit von ± 1 aus 10^{-11} , der von einer Cäsium-Atomuhr (Stratum 1 Primary Reference Clock, PRC) abgeleitet ist. Selbst wenn zwei Stratum-Uhren synchron (plesiochron) laufen, treten Unterschiede in der Taktrate auf. So kann z.B. bei einer Bitrate von 44,36 Mbit/s und 20 ppm^2 eine Differenz von 1789 Bits pro Sekunde zwischen zwei Systemen bzw. Leitungen auftreten.

Bei synchroner Signalübertragung wie bei SONET und SDH treten die Flanken zwischen Bits exakt im gleichen Takt, mitunter aber zu geringfügig verschiedenen Zeiten (die innerhalb der Toleranz liegen müssen) auf. Diese Unterschiede (Phasenverschiebung) können durch die Laufzeit oder durch Jitter entstehen.

In der SDH-Welt werden Systeme international einheitlich in Vierer-Sprüngen mit einheitlichen Datenraten gebildet. Es gibt nur einen Systemtakt (oder N-fache davon). Da aber SDH auch PDH-Systeme mit leicht abweichenden Taktraten transportieren muss, gleicht man diese Ungenauigkeiten dadurch aus, dass der Beginn eines jeden VC-x relativ zum STM-1 floaten kann. Ein Teil eines Containers beginnt in einem STM-1, der restliche Teil wird in dem folgenden STM-1 übertragen. Ein VC-x Pointer zeigt auf den VC-x Beginn. Die Bildung des Pointers und dessen zeitliche Änderungsmöglichkeit ist streng reglementiert, da der logische Bearbeitungsaufwand beträchtlich ist und man sich gegen Fehlinterpretationen absichern.

² ppm...parts per million

Wenn also ein Pointersprung durchgeführt werden soll, wird für einen STM-1 die relative VC-x Bitrate erhöht oder gesenkt. Für zusätzliche Bytes sind Plätze vorgesehen oder es folgt an bestimmten vorgesehenen Byteplätzen eine Leerinformation. Danach hat sich der VC-x Rahmenbeginn relativ zum STM-1 Beginn verschoben. Beim Übergang SDH → PDH hat man auch deshalb das Problem, sprunghafte Änderungen der Datenraten wieder glätten zu müssen. Dafür sind Schwungradschaltungen, sog. PLLs, vorgesehen.

3 Synchroner Transfer Modul STM

Sowohl PDH als auch SDH basieren auf einer Wiederholfrequenz von 8 kHz, d.h. einem Zeitabschnitt von 125 µs nach welchem die Daten einer Nachrichtenverbindung fortgesetzt werden. Bei der Plesiochronen digitalen Hierarchie wird dieser Zeitabschnitt Pulsrahmen genannt, bei der Synchronen digitalen Hierarchie wird er als Synchroner Transfer Modul (STM) bezeichnet. Ein STM besteht aus zwei Teilen die wie folgt bezeichnet werden:

- Teil des Netzbetreibers (Overhead) und
- Teil des Nutzers, der als Payload

Im Payloadfeld können zwei Arten von Daten transportiert werden:

- Plesiochrone Digitale Signale (PCM-Systeme), die als Tributaries bezeichnet werden, und
- ATM-Zellen, die eine konstante Länge von 53 Byte haben.

3.1 Kenndaten

Basissystem - Rahmenstruktur

(3) Der SDH-Rahmen wird auch als STM (synchroner Transfer/Transport Modul) bezeichnet. Der kleinste SDH-Transportrahmen wird STM-1 (Synchroner Transfer Modul 1) genannt. Er ist der Transportrahmen der ersten Hierarchieebene und besitzt folgende Merkmale:

- Wiederholfrequenz: 8kHz, → Rahmendauer: 125 µs (wie bei PDH)
- Basisbitrate: 155,52 Mbit/s → 9 Zeilen mal 270 Spalten mal 8 Bit mal 8000 Wiederholungen je Sekunde

Der STM-1 Transportrahmen hat eine Breite von 270 Spalten und eine Höhe von 9 Reihen. Jede Spalte entspricht 1 Byte, die Transportkapazität beträgt daher 2430 Bytes (270 Bytes x 9), die Bitrate 155,52 Mbit/s.

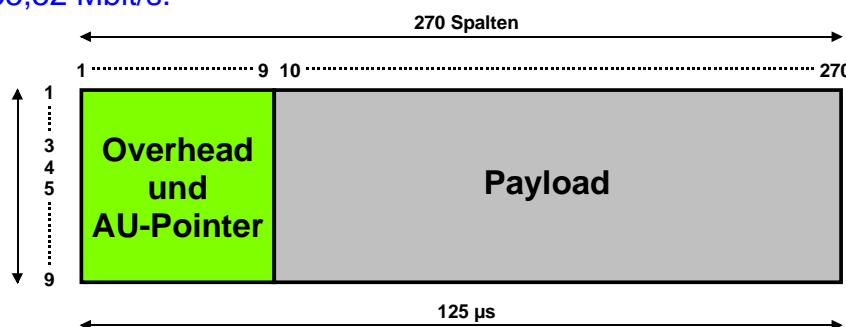


Bild 3 Basissystem - Grundstruktur

Die oben angeführte Grobstruktur zeigt die grundsätzliche Trennung eines STM-1-Rahmens in einen Bereich des Netzbetreibers (gelb) und einen Bereich des Netzanwenders (grau). Im Payloadfeld eines STM-1-Moduls können entweder PCM-Systeme, d.h. PDH-Signale, oder ATM-Zellen, das sind Datenpakete mit einer konstanten Länge von 53 Bytes, übertragen werden. Beide Arten werden in sog. Containern transportiert.

Systeme höherer Ordnung (Höhere Hierarchien)

(4) SDH hat den großen Vorteil, ein nach oben offenes System zu sein. Höhere Hierarchien werden in Vierschritten durch einfaches, lineares byteweises Multiplexen erzielt. erreicht.

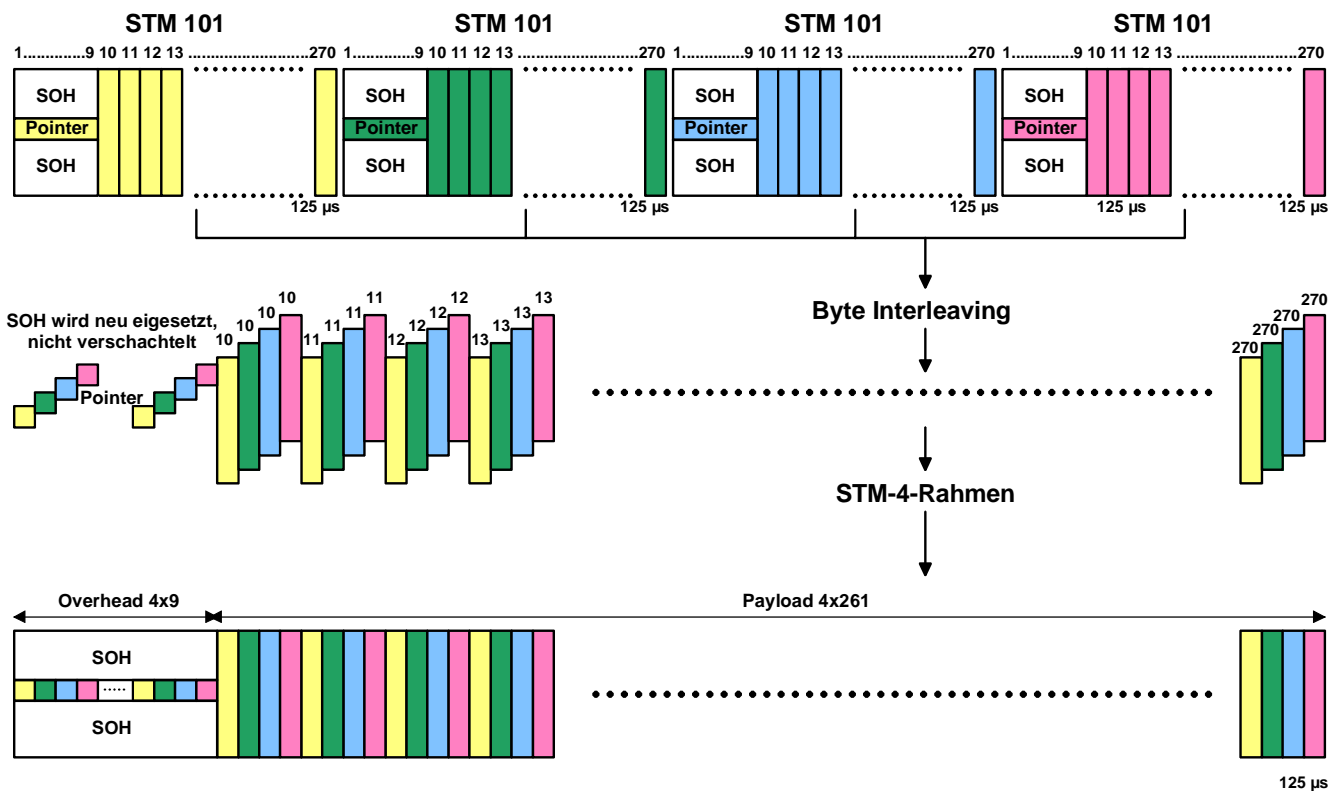
STM-1		155,52 Mbit/s
STM-4	= 4 • STM-1 Modul	622,08 Mbit/s
STM-16	= 4 • STM-4 Modul	2488,32 Mbit/s
STM 64	= 4 • STM-16 Modul	9953,28 Mbit/s
STM 256	= 4 • STM-64 Modul	39813,12 Mbit/s

Tabelle 2 SDH Systeme höherer Ordnung

Darüber hinausgehenden Übertragungsgeschwindigkeiten werden durch optisches Multiplexen (WDM bzw. DWDM) realisiert.

Für einen STM-4 Rahmen wird z.B. zuerst ein Byte des 1.STM-1 Rahmens, dann das äquivalente Byte des 2.STM-1 Rahmens gemultiplext usw..

Für einen STM-16 werden daher 16 verschiedene STM-1 linear gemultiplext. Ausgenommen davon sind Bytes deren Einsatz nur einmal notwendig ist, wie z.B. die einfache Dienstfern-sprechmöglichkeit des STM-1 (E1, E2), die nur einmal zwischen zwei Netzknoten eines höheren SDH-Systems (N>4) benötigt werden.



SOH...Section Overhead
Bild 4 Bilden eines STM-4

3.2 Rahmenaufbau eines STM-1

Die Bestandteile eines kommenden STM-1-Rahmens werden an verschiedenen Stellen, Stufen genannt gelesen und bearbeitet. Stufe eins ist der Regenerator, der das Ende eines Abschnitts darstellt. Die Stufe zwei ist am Ende der Leitung lokalisiert und Stufe drei schließlich am Zielort, am Ende des Pfades.

Aus diesem Grund widerspiegelt die Struktur des STM-Rahmens diese verschiedenen Netzkomponenten. Der STM-Rahmen hat vier Abschnitte; drei davon beinhalten Overheadinformationen für das Netzwerkmanagement und Fehlererkennung auf Abschnitten, Leitungen und Pfaden, der vierte enthält die Nutzdaten.

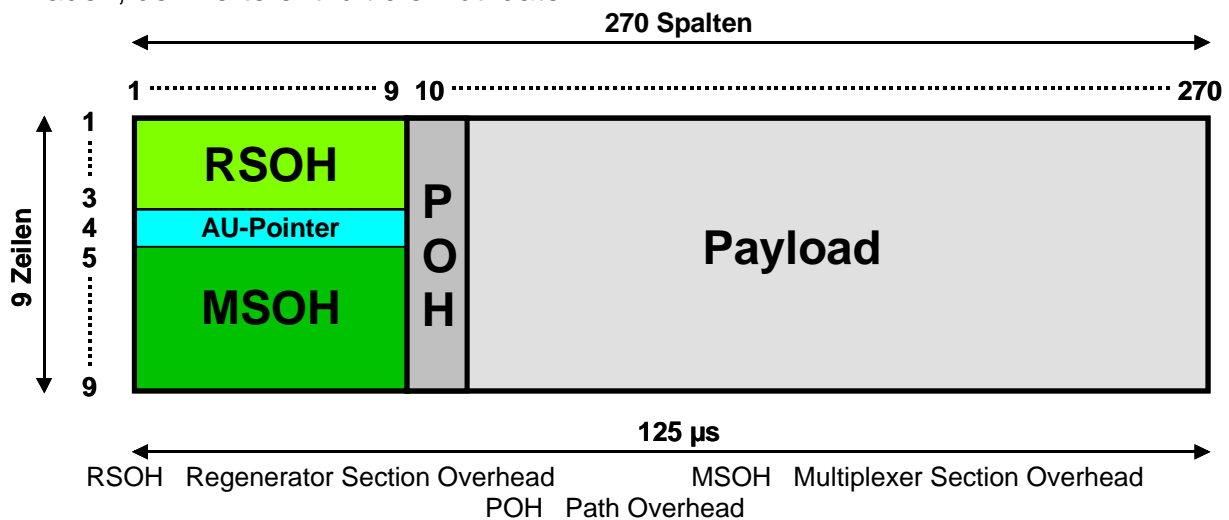


Bild 5 STM-1-Rahmenstruktur

(5) Ein SDH-Rahmen besteht aus folgenden Bestandteilen:

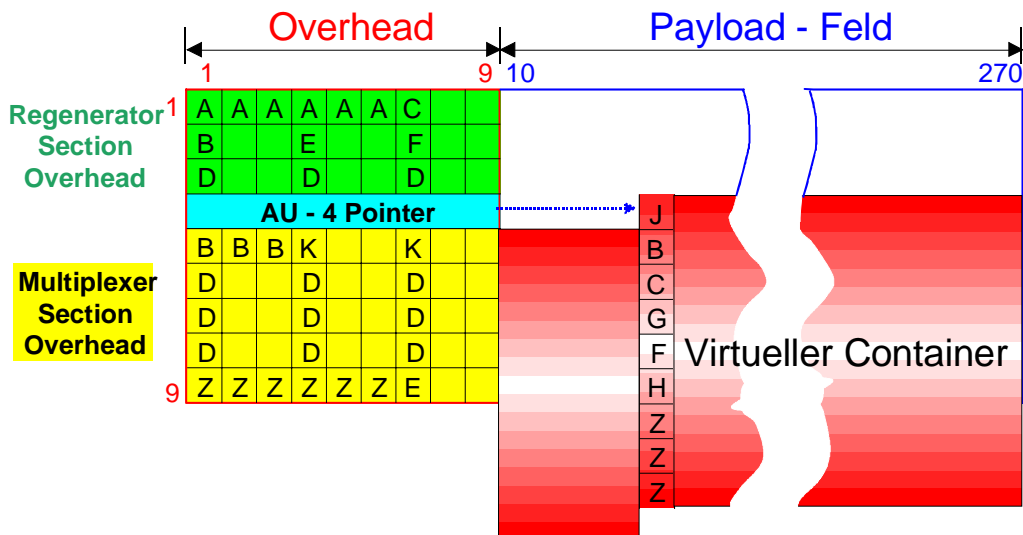
- Overhead für den Netzbetreiber zum Transport des STM durch das SDH-Netz (9 Spalten à 9 Zeilen)
 - Section Overhead SOH, besteht aus:
 - Regenerator Section Overhead RSOH
er gilt für den Regenerator-Abschnitt des SDH-Netzes, wird am Ende eines Abschnittes bearbeitet und für jeden Abschnitt neu gebildet. Er enthält:
 - Synchronisierungsinformation,
 - Fehlererkennungsinformation,
 - STM-1 Identifikation,
 - 64 kbit/s-Wartungskanäle für Sprache und Daten zur Störungsbehebung
 - Multiplexer Section Overhead MSOH
er gilt für den Multiplexer-Abschnitt des SDH-Netzes, wird am Ende einer Leitung bearbeitet und am Anfang einer Leitung neu gebildet. Er enthält:
 - Fehlererkennungsinformation,
 - 64 kbit/s-Wartungskanäle für Sprache und Daten zur Störungsbehebung
 - Informationen zur automatischen Schaltung von Ersatzwegen
 - AU-Pointer
zeigt auf das erste Byte des Virtuellen Containers 4 oder auf das erste Byte einer Transport Unit Group 3

- Payload für den Nutzer zum Transport von Nutzdaten (261 Spalten à 9 Zeilen)
 - Path Overhead POH kennzeichnet das Ende eines Pfades durch das SDH-Netz. Er wird beim Mappen eines PCM-Systems in einen Container gebildet und bei Entnehmen des PCM-Systems aus dem Container wieder entfernt → Zielinformation
 - Virtueller Container VC-4, oder 3 Transport Unit Groups 3 TUG-3 enthält die Nutzdaten; entweder PCM-Systeme oder ATM-Zellen

Im Payloadfeld können entweder

- ATM-Zellenströme oder
- Plesiochrone digitale Signale – PCM-Systeme, sog. Tributaries transportiert werden.

3.2.1 Overhead



- | | |
|---|--|
| <p>SOH:</p> <ul style="list-style-type: none"> A.....Rahmensynchronisations-Bytes B.....Parity-Kontroll-Bytes C.....STM-1 Kennzeichnung eines STM-N Rahmens D.....TMN-Datenbytes E.....Dienstfernsprechkanäle F.....Anwenderkanal K.....Steuerung von Ersatzschaltungen Z.....Ersatzkanäle | <p>VC-4 POH:</p> <ul style="list-style-type: none"> J.....Pfadkennung B.....Parity-Kontroll.Byte C.....VC-Kennung G.....Pfad Status F.....Pfad-Anwenderkanal H.....Überrahmenkennung Z.....Reservekanäle |
|---|--|

Bild 6 STM-1 Overhead

(6) Der Overhead wird in einen Regenerator- und einen Multiplexerabschnitt unterteilt. Auf den einzelnen Verbindungsabschnitten werden, wie das nachfolgende Bild zeigt, nur die dafür vorgesehenen Overhead-Anteile ausgewertet.

- Der Regeneratorabschnitt ist zwischen zwei Regeneratoren gültig und ändert sich nach jedem Regenerator
- der Multiplexerabschnitt ist zwischen zwei Multiplexern gültig und ändert sich nach jedem Multiplexer
- Beide Overheads gemeinsam werden als Section Overhead SOH bezeichnet. Die im SOH eingetragenen Informationen leiten die SDH-Module durch das Netz.

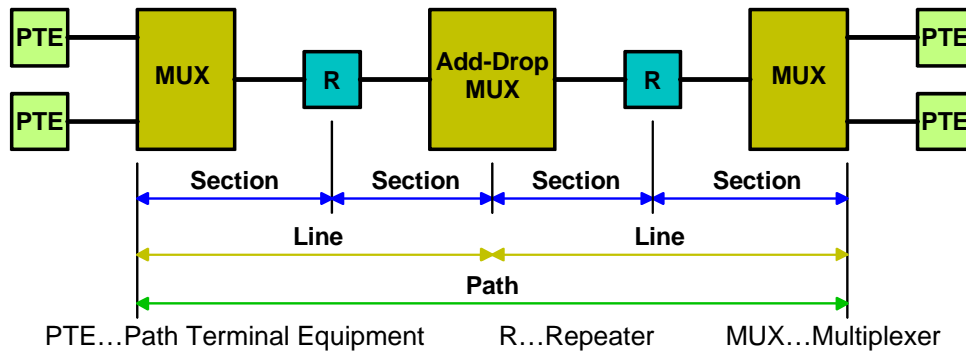


Bild 7 Wirkbereiche der Overheads

Ein STM-1 Rahmen wird am Netzeingang (Multiplexer links) erstellt und am Netzausgang Multiplexer rechts) terminiert. Zwischen Multiplexern gibt es meist noch Regeneratoren um das Signal aufzufrischen damit größere Entfernungen überbrückt werden können. Man unterteilt die Übertragungstrecke daher in folgende Abschnitte:

- Regenerator Section RS (Übertragungstrecke zwischen 2 Regeneratoren oder einem Netzelement und einem Regenerator) und
- Multiplexer Section MS (Übertragungstrecke zwischen zwei Netzelementen)

Aufgaben des RSOH

(7) Die Zeilen 1-3 werden als Regenerator Section Overhead benutzt. Die Dateninhalte des RSOH werden in jeder Regenerator Section neu erzeugt und terminiert und haben folgende Aufgaben:

- Rahmensynchronisation
- STM-1 Identifikation und Zuordnung
- Fehlerkontrolle (Qualitätsprüfung)
- Bereitstellung von Sprach- und Datenkanälen zu Betriebs- und Wartungszwecken.

Aufgaben des MSOH

(8) Die Zeilen 5-9 werden als Multiplexsection Overhead benutzt. Die Dateninhalte des MSOH werden transparent durch die Regeneratorsections geführt und nur in jeder Multiplexsection neu erzeugt und terminiert und haben folgende Aufgaben:

- Automatische Leitungsersatzschaltung
- Fehlerkontrolle
- Bereitstellung von Sprach- und Datenkanälen zu Betriebs- und Wartungszwecken.

Aufgaben von AU- und TU-Pointern

Ein weltweit synchrones Netz ist ein Idealzustand, der in Praxis nicht immer erreicht werden kann. Innerhalb von synchronen Netzen werden zum Beispiel durch Störungen Inseln ohne Taktanbindung existieren, d.h. ein freilaufender Oszillator versorgt diese Inseln mit Taktinformation. Mit Einführung der Pointer wurde in der SDH die Möglichkeit geschaffen, in einer plesiochronen Welt den synchronen Charakter der transportierten Information zu behalten. Die an diese Insel herangeführte Information kann damit ohne Informationsverlust verarbeitet und weitergegeben werden, obwohl die Taktbitraten nicht übereinstimmen.

Da die Nutzinformation keinen festen Phasenbezug zum Rahmen hat wird innerhalb des Overhead-Blocks ein Zeiger (Pointer) mitgeführt. Dieser ermöglicht eine dynamische Anpassung der Phase eines Virtuellen Containers an den Rahmen und ermöglicht dadurch den Zugriff auf die Payload. In der SDH sind 2 Pointerarten definiert:

- AU-Pointer: AU-3-, AU-4-Pointer
- TU-Pointer: TU-3, TU-2-, TU-12-Pointer

(9) Der Aufbau von AU- und TU-Pointern ist prinzipiell gleich. Der Pointer ist ein Zeiger, der die Lage des Virtuellen Containers im Rahmen kennzeichnet.

Pointer erfüllen folgende Aufgaben:

- Entkopplung der Nutzsignale vom Übertragungsrahmen
- Definition der Lage jedes beliebigen VC im Rahmen mit dem Ziel, einzelne Multiplexgruppen ohne Schwierigkeiten entnehmen oder einfügen zu können.
- Synchronisation des Nutzinformationstaktes und des Rahmentaktes
- Ausgleich von Phasenschwankungen zwischen den Rahmen (Laufzeit) z. B. für das synchrone Multiplexen von STM-N auf STM-M

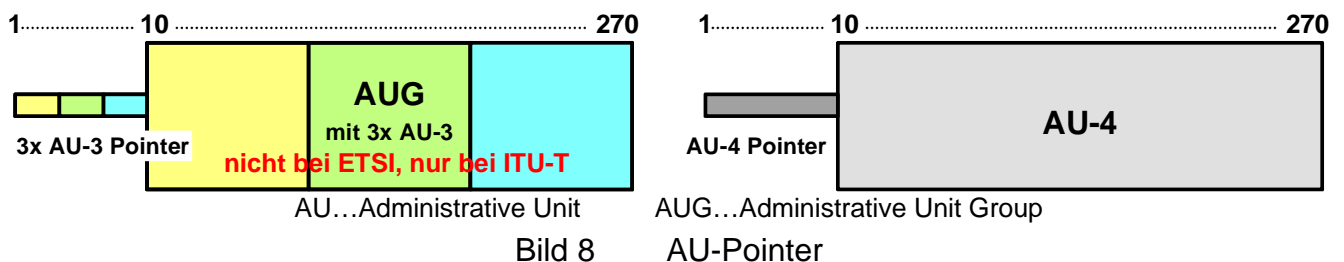
Pointer haben folgende Wirkung:

- Zeigerfunktion mit Pointerwert
- Taktanpassung durch Pointerstopfen
- Phasen Anpassung durch PointerwertEinstellung auf eine Referenzphase

AU-Pointer

Der **AU-3-Pointer** ist nur im Multiplexschema nach ITU-T G.709 aber nicht bei ETSI vorgesehen. Er ist in der 4. Zeile des SOH untergebracht und besteht aus 3 Bytes, bezeichnet mit H1, H2 und H3. Er ermöglicht eine dynamische Anpassung der Phase eines VC-3 an den Rahmen der Administrative Unit AU (und damit an den STM-Rahmen) und zeigt auf das erste Byte seines VC-3. Dynamisch bedeutet:

- Phase des VC-3 und des STM-Rahmens dürfen sich unterscheiden.
- Die Phasenlage darf sich bei unterschiedlicher Frequenz laufend ändern ohne dass ein Informationsverlust eintritt.



(10) Der **AU-4-Pointer** stellt den Phasenbezug zwischen dem Anfang eines VC-4 und dem Bezugspunkt im STM-1-Rahmen her. Er adressiert das erste Byte eines Payload-Bereiches und ist in der 4. Zeile des SOH untergebracht. Es wird nur jedes 3. Byte mit einer Zählnummer versehen. Der Pointer wird daher auch in 3-Byte-Inkrementen gezählt, d.h. Pointeränderungen können nur in 3 Byte-Werten erfolgen.

AU-4-Verkettung (Concatenation): Bei größeren Payloads werden mehrere AU-4 verkettet. Die erste AU-4 führt einen normalen Pointer, die dazugehörigen nachfolgenden AU-4 haben anstelle des Pointerwertes CI (Concatenation Indication) eingesetzt, welche anzeigt, dass diese AU-4 genauso wie die Vorhergehende zu behandeln sind.

Der AU-4 Pointer zeigt auf das J-Byte des VC-4 Path Overheads, den Beginn der Nutzinformation. Der POH enthält Angaben über die Struktur des Containers sowie einige Steuer und Überwachungsinformationen; er wird beim Eintritt in die SDH-Welt generiert und erst beim Verlassen analysiert; man kann ihn sich als Frachtpapier eines PDH-Rahmens vorstellen, das diesen während seines Weges in der SDH-Welt begleitet. Dieser Weg wird als "Path" (Pfad) bezeichnet.

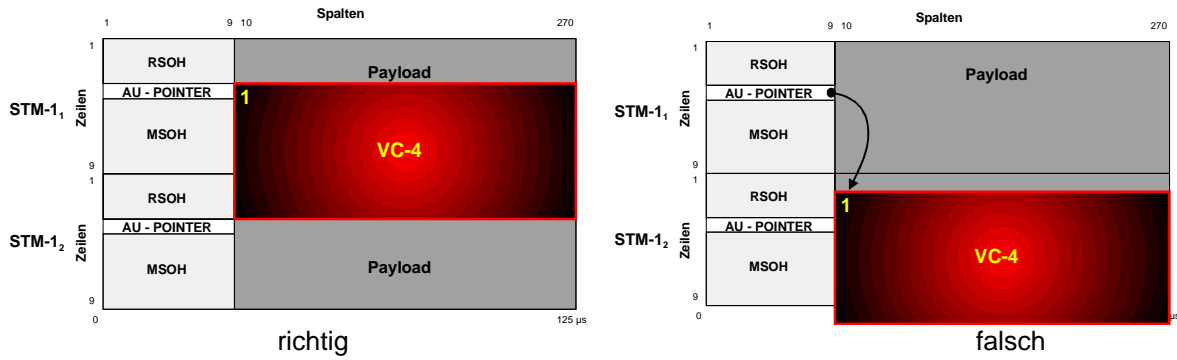


Bild 9 Einfügen eines VC-4

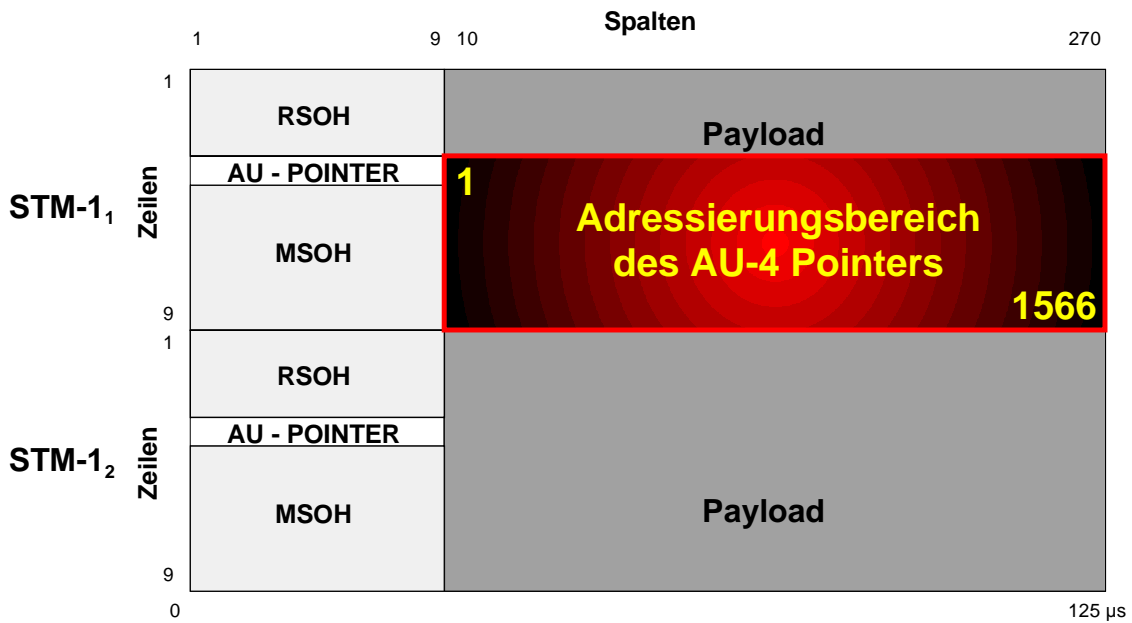
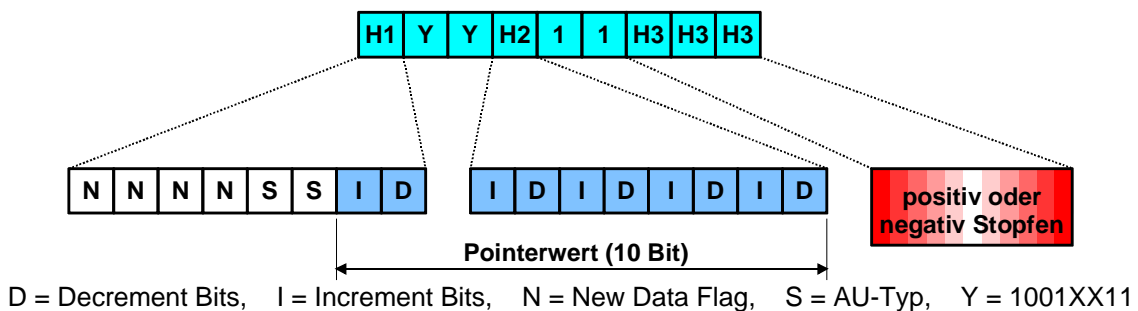


Bild 10 Adressierungsmöglichkeit des AU-4-Pointers

Der Einsatz der Pointertechnik ermöglicht keine feste Kopplung zwischen den Virtuellen Containern und dem Rahmen. Es können somit Zwischenspeicher eingespart und Laufzeiten minimiert werden.

In Fällen wo das Eingangssignal eines Netzelementes nicht synchron zum Ausgang ist - das SDH-Netz also nicht synchron ist, bzw. benachbarte Netze nicht mit derselben Genauigkeit laufen - liegt der VC-4 nicht immer an der gleichen Stelle eines STM-1 Rahmens. In solchen Fällen werden die auftretenden Differenzen durch sog. Pointeraktionen (Justifications) ausgeglichen. Darunter versteht man eine Verkürzung bzw. Vergrößerung des Pointers, die durch dessen Zusammensetzung aus den H1, H2 und H3 Bytes möglich wird, und die H3 Bytes, da sie keine Informationen enthalten, zur Ausrichtung des VC-4's verwendet werden können. Man unterscheidet zwischen negativer und positiver „Justification“.



D = Decrement Bits, I = Increment Bits, N = New Data Flag, S = AU-Typ, Y = 1001XX11

Bild 11 Aufbau des AU-4-Pointers

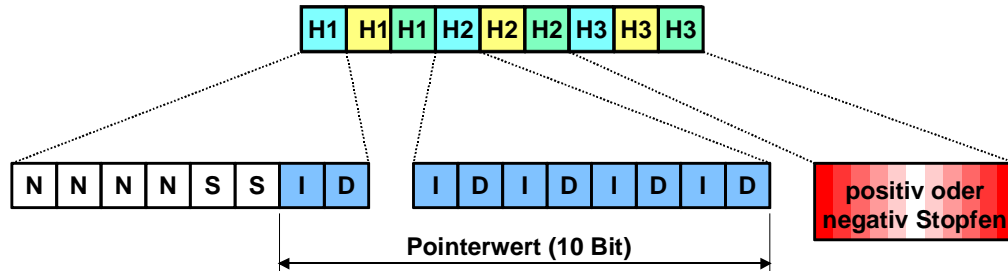


Bild 12 Aufbau der AU-3 Pointer

Der Aufbau von AU- und TU-Pointern ist prinzipiell gleich. Sie bestehen aus 3 Byte. Zwei Byte werden für den Pointerwert verwendet und ein drittes Byte, das Pointeraction-Byte, zur Taktanpassung mittels Stopfverfahren.

Der Pointerwert gibt an, wo der VC in der Payload liegt (Zeigerfunktion). Wenn eine Taktanpassung zwischen STM-1-Rahmen und VC erfolgen muss³, so werden Stopfinformationen über die Invertierung von Pointerwertbits dem Empfänger mitgeteilt.

- Negativ-Stopfen: D-Bits invertiert
- Positiv-Stopfen: I-Bits invertiert

Negativ-Stopfen (Negative Justification):

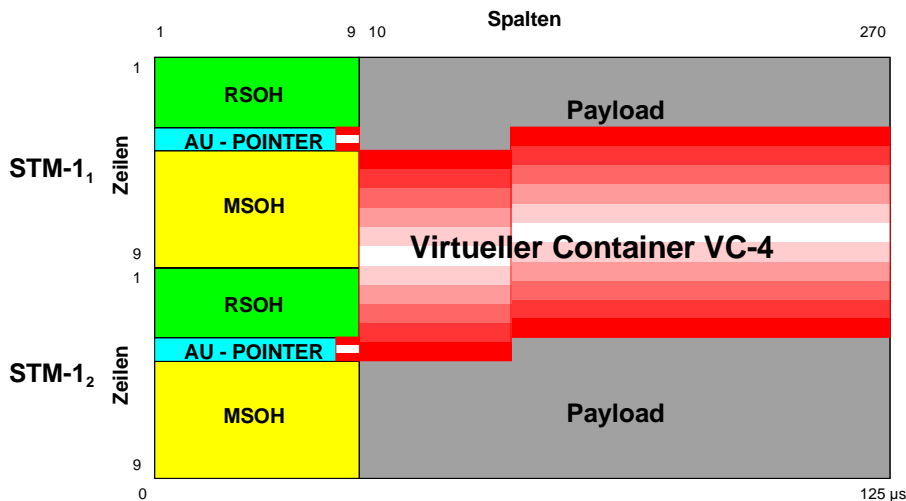


Bild 13 Negative Justification – $f_{IN} > f_{OUT}$

Ist die Taktrate des Eingangssignals größer als die des Ausgangssignals, so werden die 3 H-Bytes mit Nutzlastdaten aufgefüllt (negative Justification). Bei der negativen Justification wird der Pointerwert um 1 erniedrigt. Dieser Pointerwert muss mindestens für 3 Rahmen erhalten bleiben.

³ Ist zwischen benachbarten Netzen – internationaler Verkehr – möglich, da diese nicht synchron laufen; laut ITU-T 125 μ s Differenz nach > 70 Tagen erlaubt.

Positiv-Stopfen (Positive Justification):

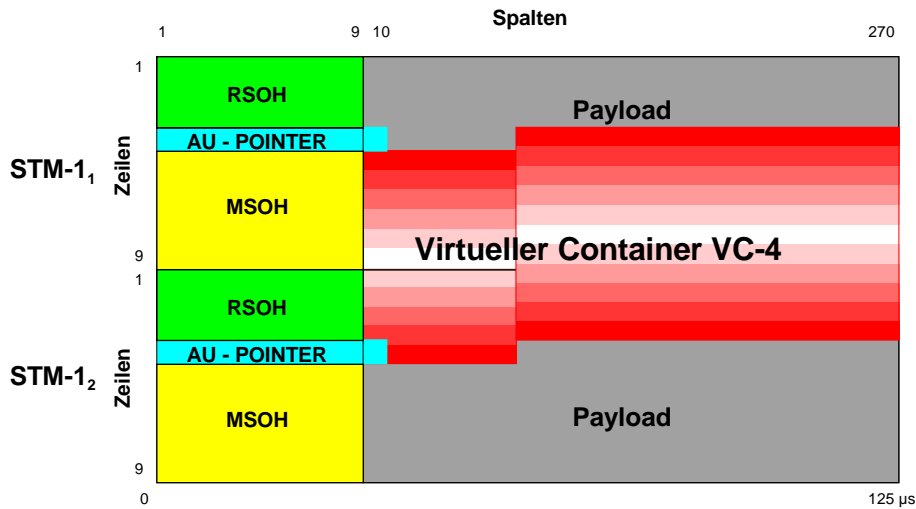


Bild 14 Positive Justification $f_{IN} < f_{OUT}$

Ist die Taktrate des Signaleingangs kleiner als die des Ausgangs werden 3 Stopfbytes am AU-4 Pointer angehängt (positive Justification). Durch das anhängen dieser Stopfbits erhöht sich der Pointerwert um 1 und muss mindestens die nächsten 3 Rahmen gleich bleiben. Erst dann kann eine erneute Pointeroperation durchgeführt werden.

TU-Pointer

(11) sind Zeiger, welche die Phasenverschiebung zwischen virtuellen Containern verschiedener Kapazität regeln.

Der **TU-3-Pointer** stellt den Phasenbezug zwischen VC-3 und TUG-3 her und ist in der 1. Spalte des TUG-3-Rahmens untergebracht. Er besteht aus 3 Bytes, bezeichnet mit H1, H2 und H3. Er ermöglicht eine dynamische Anpassung der Phase eines VC-3 an den TUG-3-Rahmen. Dynamisch bedeutet:

- Phase des VC-3 und des TUG-3-Rahmens dürfen sich unterscheiden.
- Die Phasenlage darf sich bei unterschiedlicher Frequenz laufend ändern ohne dass ein Informationsverlust eintritt.

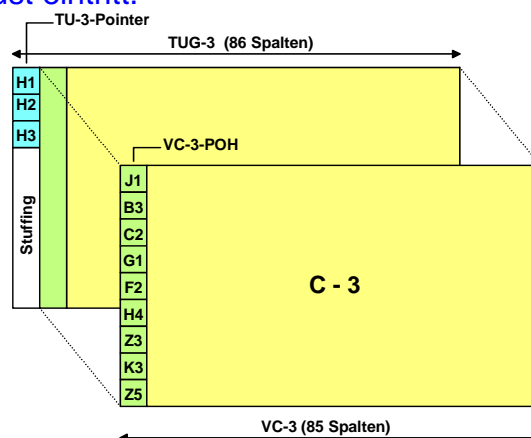


Bild 15 Multiplexen eines VC-3 in eine TUG-3

Der **TU-2-Pointer**, manchmal auch als TU-12-Pointer bezeichnet, stellt den Phasenbezug zwischen VC-12 und TUG-2 her d.h.:

- Phase des VC-2 und des TUG-2-Rahmens dürfen sich unterscheiden.
- die Phasenlage darf sich bei unterschiedlicher Frequenz laufend ändern ohne dass ein Informationsverlust eintritt.

Die Bytes für die Pointeroperationen werden mit V1, V2, V3 und V4 bezeichnet. Diese Bytes sind jeweils als erstes Byte in 4 aufeinander folgenden TU-2 untergebracht. Die Festlegung, welches Byte im aktuellen TU-2 vorhanden ist, erfolgt über den Überrahmenindikator H4 des VC-3-POH bzw. VC-4-POH.

3.2.2 Payload (Nutzinformation)

Im Payloadfeld eines STM-N-Moduls können entweder

- ATM-Zellen oder
- PCM-Systeme, d.h. PDH-Signale bzw. Tributaries transportiert werden.

3.2.2.1 Transport von ATM-Zellen

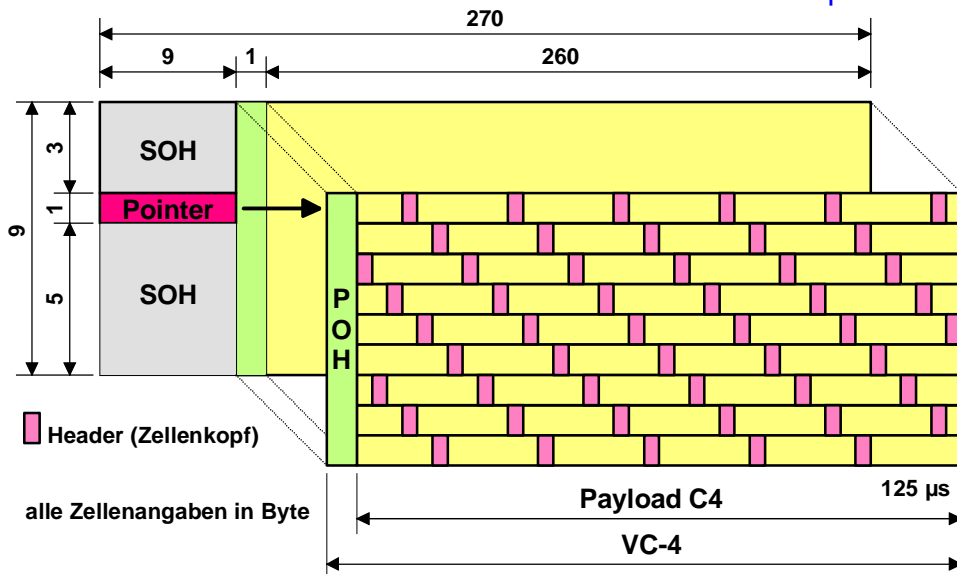
Für den Transport von ATM-Zellen durch SDH sind drei Schnittstellen vorgesehen:

- SDH-basierte Schnittstelle
- Zellen-basierte Schnittstelle
- PDH-basierte Schnittstelle

SDH-basierte Schnittstelle

(12) Basis ist der „Synchronous Transport Modul 1“ (STM-1) mit einer Bruttobitrate von 155,520 Mbit/s. Beim SDH-basierten UNI werden die Zellen in einem Container C-4 transportiert.

Dabei gibt es keine Synchronität der Zellen mit dem Übertragungsrahmen („floating payload“). Eine Indikation im Overhead kennzeichnet dass ATM-Zellen transportiert werden.



SOH...Section Overhead POH...Path Overhead

Bild 16 ATM Zellentransport in STM-1

Auf der SDH-basierten Option bei 155 Mbit/s wurde eine Variante für 622 Mbit/s entwickelt, die in der SDH-Standardisierung zwar als Option vorgesehen, aber im Übertragungstechnischen Netz meist nicht implementiert ist. Dabei wird ein zusammenhängender Container von

599,04 MBit/s vorgesehen — genannt C4-4c, wobei das „c“ für „concatenated“ (= verkettet) steht. Der Grund liegt in der besseren Ausnutzung eines solchen, nicht segmentierten Containers, da es bei Segmentierung des Containers vorkommen kann, dass eine Verbindung nicht mehr angenommen werden kann, obwohl die Kapazität noch vorhanden wäre.

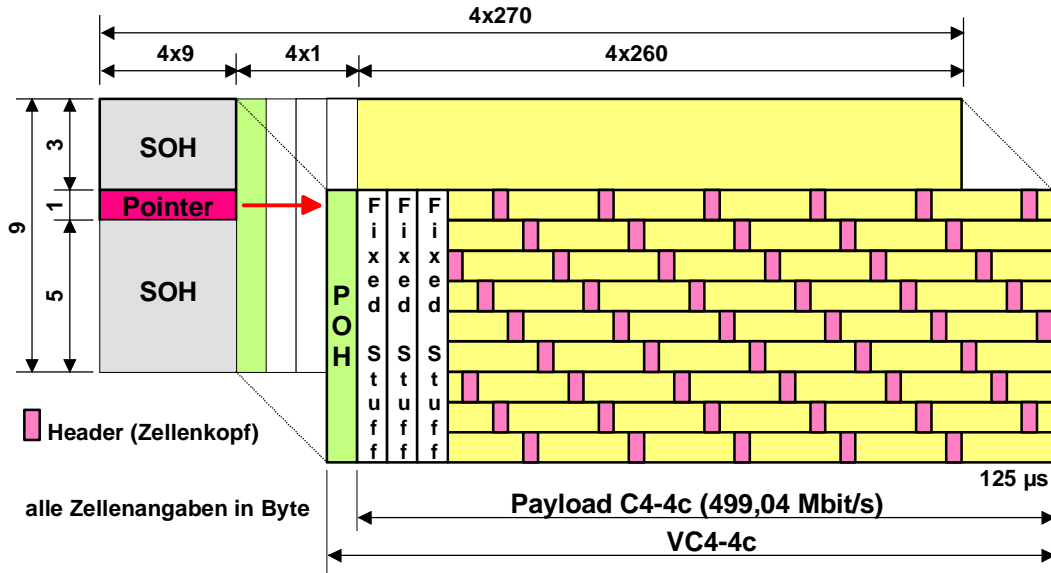


Bild 17 ATM Zellentransport in STM-4

Zellen-basierte Schnittstelle

(13) Die zweite UNI-Version mit 155,520 Mbit/s kennt keinen externen Rahmen, die Zellen nutzen die volle Bandbreite. Der Overhead muss hierbei in Zellen geführt werden (OAM-Zellen). Als nutzbare effektive Bitrate wurde, wie bei der SDH-Option, 149,760 Mbit/s festgelegt. Um wirklich „asynchron“ zu sein, wurde ein Zeitfenster vorgegeben, in dem die „155,52 / 149,76-Bedingung“ erfüllt sein muss.

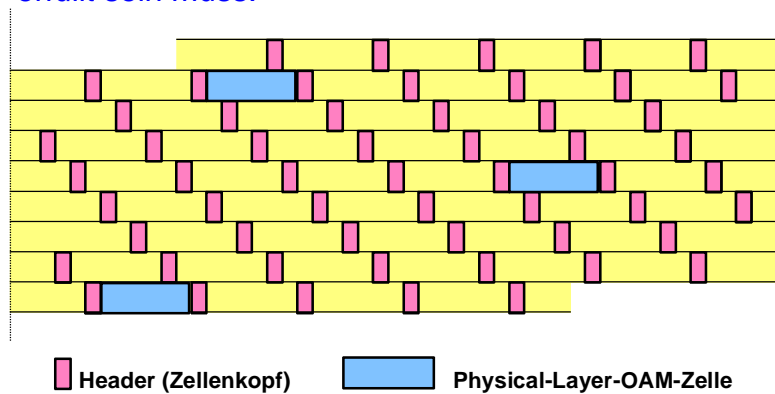


Bild 18 Kontinuierlicher Zellenstrom

PDH-basierte Schnittstellen

(14) In Netz können auch noch andere Übertragungssysteme auftreten. So waren zumindest zu Beginn der Breitband-Netzeinführung Systeme der Plesiochronen Hierarchie noch weit verbreitet — und sie sind es auch heute noch. Für die wichtigsten Übertragungsraten wurde das Verpacken von Zellen in solche PDH-Systeme beschrieben ("Mapping"). Dabei gilt generell, dass die Oktettgrenzen der ATM-Zellen auf Oktettgrenzen des Übertragungsrahmens fallen. Immer am Rahmenbeginn bzw. in der ersten Spalte des Übertragungsrahmens sind Oktetts für die Synchronisation und OAM-Funktionen vorgesehen.

Das folgende Bild zeigt das Mapping am Beispiel eines mit ATM-Zellen gefüllten Übertragungsrahmens von 34 Mbit/s. Es ist ein unkonventioneller Rahmen, da die erste Spalte nicht ganz gefüllt ist. Diese Rahmenstruktur ist in G.832 festgelegt.

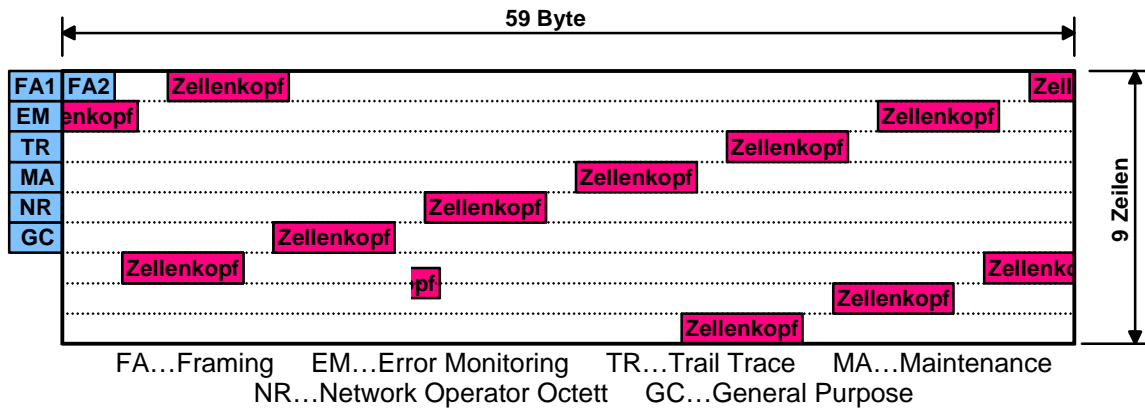


Bild 19 Zellen-Mapping bei 34 Mbit/s

3.2.2.2 Transport von PCM-Systemen (Tributaries)

PDH-Signale, d.h. PCM-Systeme bzw. Tributaries werden in Containern transportiert die in den Payload-Bereich eines STM-1 gemappt werden.

(15) Basierend auf ITU-T wurde von ETSI folgende Multiplex-Struktur standardisiert:

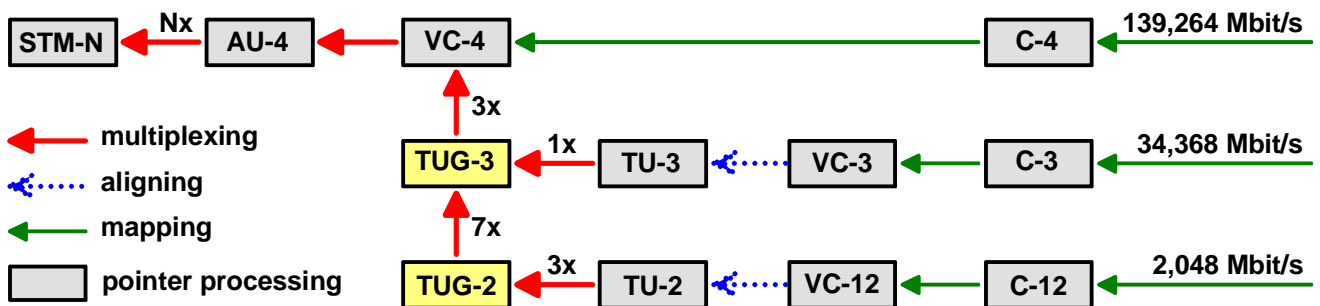


Bild 20 Multiplex-Struktur (nach ETSI vereinfacht)

Aktivitäten:

1. Mapping das Anpassen der plesiochronen Zubringersignale an die synchrone Signalverarbeitung durch Hinzufügen eines Path Overheads.
2. Aligning das Angleichen der Phasenlage Virtueller Container an jene der TUGs bzw. an jene des STM
3. Multiplexing das zeitliche Verschachteln mehrerer „Grundinformationen“ zu einer Blockstruktur höherer Ebene (z.B.: mehrere TU-12 zu einer TUG-2) oder das Ergänzen einer vorhandenen Blockstruktur mit zusätzlichen Daten (z.B.: Hinzufügen des SOH zu einer AUG).

Arbeitsschritte:

Um ein PCM-System (Tributary) in einem STM zu transportieren sind folgende grundlegende Schritte erforderlich:

1. Container werden durch Einfügen (Mappen) von PCM-Systemen gebildet:
C-12 = 2,048 Mbit/s, C-3 = 34,366 Mbit/s, C-4 = 139,264 Mbit/s.

2. Virtuelle Container VC-12, VC-3 und VC-4 entstehen durch Hinzufügen des Pfad Overhead (POH)
Virtuelle Container VC-4 entstehen auch durch Multiplexen dreier Tributary Unit Groups TUG-3 wobei dem VC-4 kein eigener POH hinzugefügt wird.
3. Tributary Units TU-2 (bzw: TU-12), TU-3 werden durch Errechnen und Hinzufügen eines Pointers zu virtuellen Containern VC-12 und VC-3.
4. Tributary Unit Groups TUG-2 werden durch Multiplexen dreier Tributary Units TU-12 gebildet.
Tributary Unit Groups TUG-3 entsprechen entweder einer Tributary Unit TU-3 und enthalten einen TU-3-Pointer oder werden durch Multiplexen von sieben Tributary Unit Groups TUG-2 gebildet, wobei an Stelle des TU-3 Pointers der sog Null Pointer Indicator NPI eingefügt ist – kein TU-3-Pointer erforderlich.
5. Administrative Units AU-4 entstehen durch Errechnen und Hinzufügen des AU-4 Pointers.
6. Administrative Unit Groups entsprechen bei ETSI der Administrative Units AU-4
7. Synchronous Transport Modules STM-1 entstehen durch Multiplexen einer AUG mit dem Section Overhead SOH.

Multiplexelemente

1. Container (C) – Blockstruktur in welche die plesiochrone Quellinformation durch Mapping eingefügt wird. Die Wiederholfrequenz aller Container ist 125 µs, das entspricht der üblichen Wiederholfrequenz der plesiochronen Signale. Für Europa sind dies:
 - VC12 1 x PCM 30 2 Mbit/s
 - VC 3 1 x PCM 480 21 x PCM 30 34 Mbit/s
 - VC 4 1 x PCM 1920 3 x PCM 480 63 x PCM 30 140 Mbit/s
2. Virtuelle Container (VC) - besteht aus einem Container und dem zugehörigen Pfad Overhead POH. Der POH wird am Eingang der SHD gebildet und kann in jedem Knoten neu gebildet werden. Er wird zusammen mit dem Container transportiert und am Zielort wieder entfernt – sog. logischer Kanal.
3. Tributary Unit (TU) - besteht aus VC und einem TU-Pointer. Der TU-Pointer enthält Informationen zur Taktanpassung zwischen Pfaden unterschiedlicher Ordnung.
4. Tributary Unit Group (TUG) - Mehrere Tributary Units (TU) können durch Multiplexen wie folgt zu einer TUG zusammengefasst werden:
 - drei VC12 in einer TUG-2,
 - sieben TUG-2 in einer TUG-3 und
 - drei TUG-3 in einem STM-1
5. Administrative Unit 4 (AU-4) - besteht aus einem VC-4 und einem Administrative Unit Pointer 4. Der AU-Pointer enthält Informationen zur Taktanpassung des plesiochronen Pfades an die synchrone Transportrate.
6. Administrative Unit Group (AUG) - entsteht durch Multiplexen einer AU-4 in die Blockstruktur eines STM-1; AU-4 und AUG sind bei ETSI ident.
7. Synchrones Transportmodul (STM) - Multiplexrahmen der SDH, bestehend aus einer AUG und einem SOH der untersten Ebene. Der SOH enthält Informationen zur Verkehrslenkung und Qualitätsüberwachung in SDH-Netzen. Die Steuerinformationen für die SDH-Elemente haben ihren Ursprung in den Betriebs- und Wartungszentren und sind nicht mit Signalisierungsinformationen zur Steuerung von Wählverbindungen zu verwechseln.

Dem ETSI-Multiplexschema entsprechend wird anschließend die Bildung der einzelnen Multiplexelemente gezeigt:

Administrative Unit (AU):

Die VC-4 und der AU4 Pointer bilden zusammen die Administrative Unit.

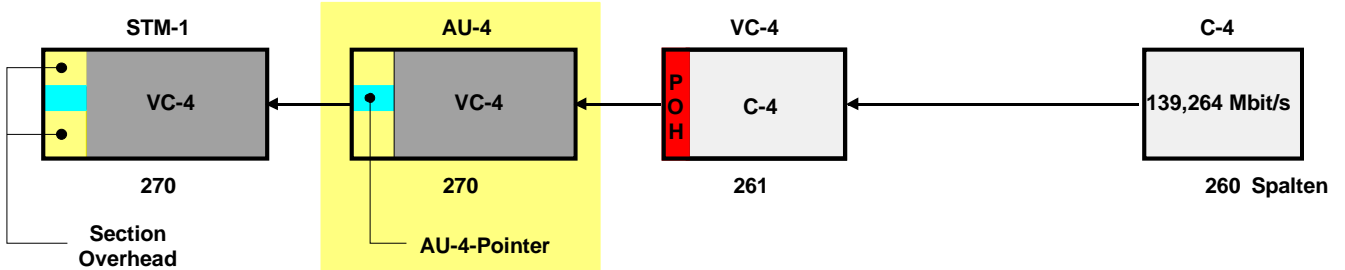


Bild 21 Administrative Unit Group

Virtueller Container VC-4:

- **(16)** Größe: 261 Spalten / 9 Zeilen
- Gesamtkapazität: 261Bytes x 9 = 2349Bytes
- Nutzlastkapazität: 260Bytes x 9 = 2340Bytes

Das entspricht einer Übertragungsgeschwindigkeit von 149,76Mbit/s, wobei jedoch nur 140Mbit/s verwendet werden. Der Rest dient zur Synchronisation des plesiochronen Signals auf die Taktrate des synchronen Netzes.

Die erste Spalte ist für den Path Overhead POH reserviert. Im POH werden Informationen für Betriebs-, Überwachungs- und Steuerungsfunktionen übertragen die den VC-4 von dessen Erzeugung bis zur Auflösung betreffen.

Der Inhalt eines VC-4 kann entweder aus einem 140Mbit/s Signal bestehen das in einen Container C-4 gepackt wird, oder aus drei TUG-3, die in einen virtuellen Container VC-4 gemultiplext werden. Das Multiplexschema wird Byte interleaved - byteweise - durchgeführt. Die drei TUG-3 können unterschiedliche Nutzlaststrukturen besitzen.

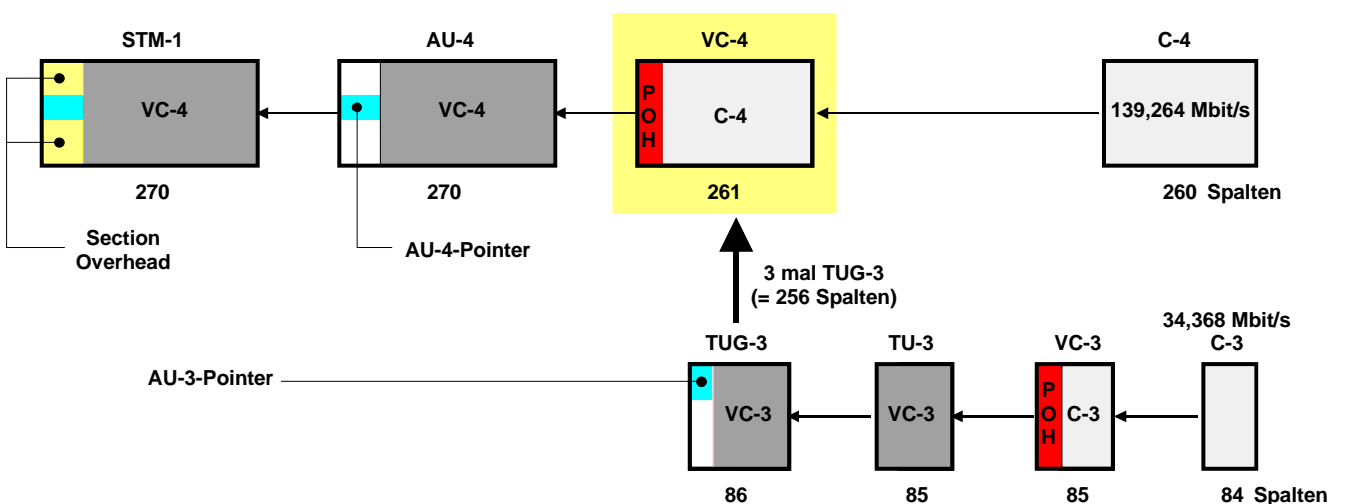


Bild 22 Virtueller Container VC-4

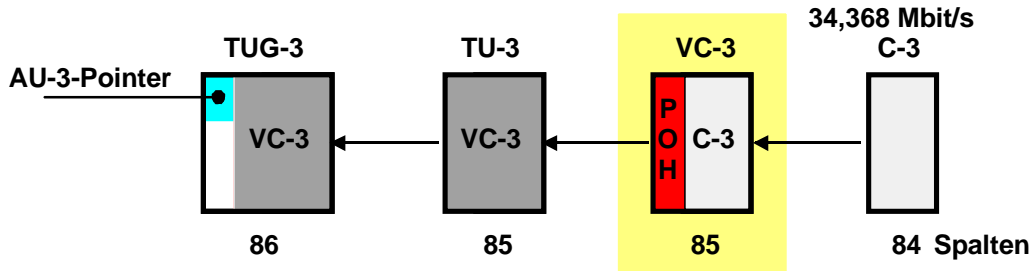


Bild 25 Virtueller Container VC-3 und TUG-2

Tributary Unit Group TUG-2:

- (18) TU-12 Gesamtkapazität: 36 Byte
- TUG-2 Gesamtkapazität: 108 Byte = 3x36

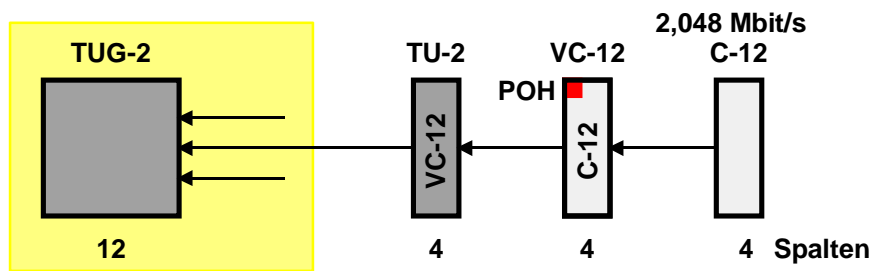


Bild 26 Tributary Unit Group TUG-2

Durch das Hinzufügen eines POH entsteht aus dem Container C-12 ein VC-12 bzw. eine Tributary Unit Group TU-12. Drei TU-12 werden in eine Tributary Unit Group TUG-2 gemultiplext. Durch das Multiplexschema der TUG-2 werden die Bytes Spaltenweise in die TUG-2 eingebunden (Byte interleaved).

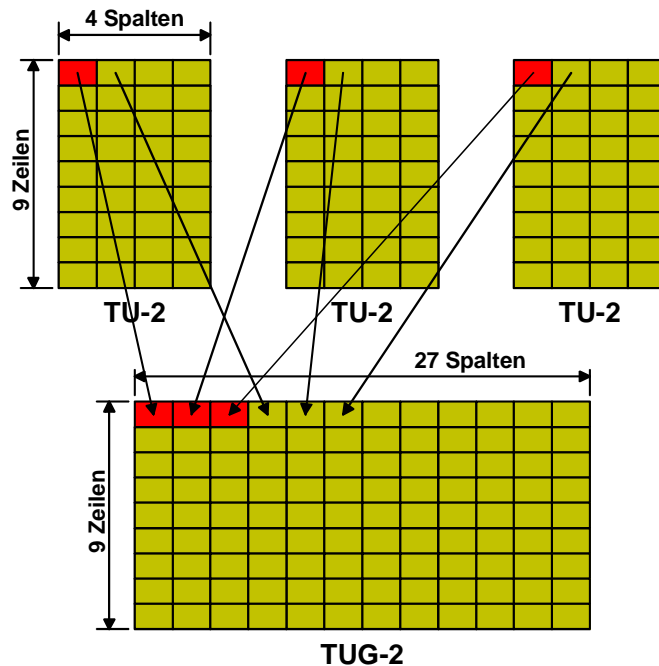


Bild 27 Multiplexen dreier TU-2 in eine TUG-2

Virtueller Container VC-12:

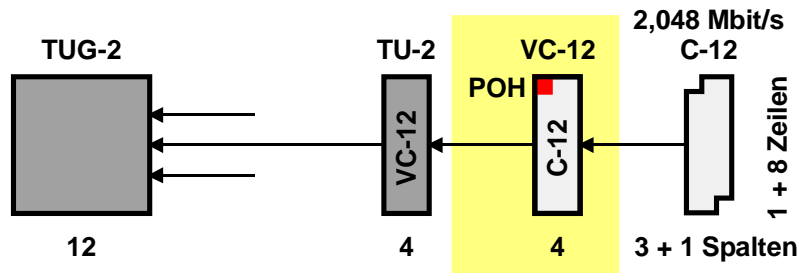


Bild 28 Virtueller Container VC-12

- Größe: 4 Spalten / 9 Zeilen (letzte Spalte nur 8 Zeilen)
- Gesamtkapazität: 35 Bytes
- Nutzlastkapazität: 34 Bytes
- Übertragungsrate: 2,176 Mbit/s.

Verwendet werden 2,048 Mbit/s, der Rest dient zur Synchronisation. Das erste Byte wird für den Path Overhead (=V5 Byte) verwendet.

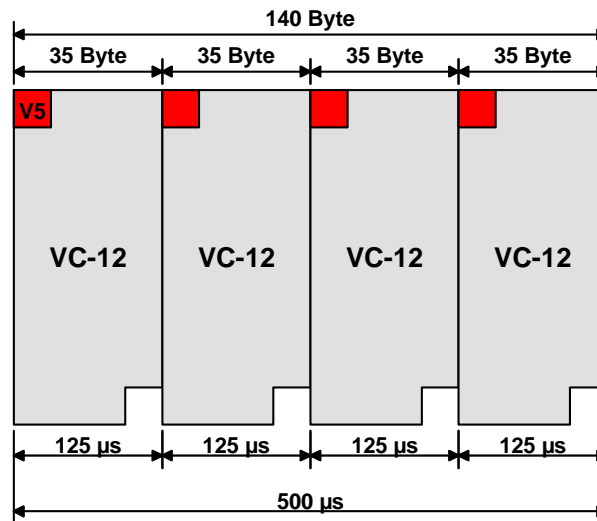


Bild 29 VC-12 Multiframe

Vier VC-12 können zu einem Überrahmen– sog. Multiframe - zusammengefasst werden:

Multiframkapazität: 140 Bytes; Multiframe Rahmendauer: 500µs

Die vier VC-12 bleiben von der Signalquelle bis zur Signalsenke eine Einheit zusammen. Aus diesem Grund ist das V5 Byte nur in jedem vierten VC-12 enthalten. Die restlichen V5 Bytes stehen als zusätzliche Kapazität zur Verfügung.

Path Overhead Header POH

Der Path Overhead POH bildet zusammen mit dem Container C den Virtuellen Container VC und ist u.a. für die Überwachung und Kontrolle der richtigen Adressierung, so wie für die Kennzeichnung des Containerinhaltes erforderlich. Die Kapazität des POH ist abhängig von der Pfadebene. Während der Higher-Order POH aus 9 Bytes (1 Spalte besteht), steht für den Lower-Order POH nur 1 Byte zur Verfügung.

- Der Higher-Order POH ist in der ersten Spalte (9 Bytes) des VC-3 bzw. des VC-4 untergebracht. Er wird bei der Bildung des VC-3 (VC-4) gebildet und bleibt unverändert bis zur Auflösung des Virtuellen Containers, um eine Überwachung des kompletten Pfades vornehmen zu können.

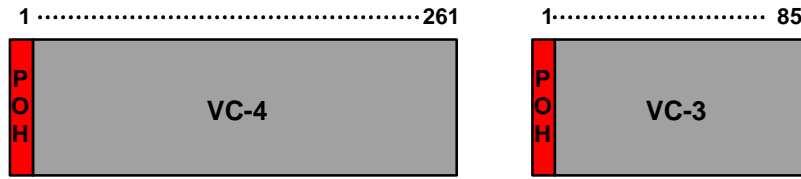


Bild 30 Higher-Order-Path

- Der Lower-Order POH ist das erste Byte im VC-12. Der TU-2-Pointer zeigt auf dieses Byte und stellt damit den Bezugspunkt des Lower-Order VC dar.

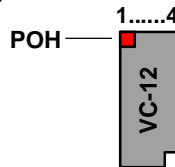
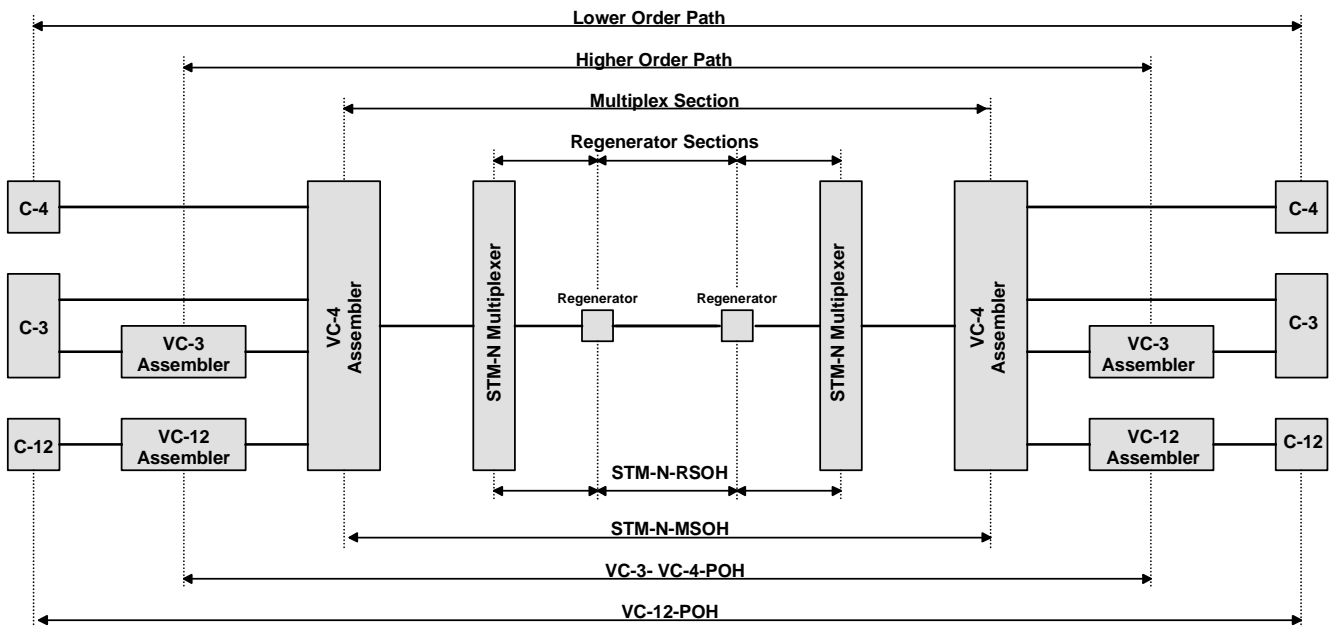


Bild 31 Lower-Order Path



SOH...Section Overhead, dem Übertragungsabschnitt zugeordnet
 POH...Path Overhead, dem virtuellen Container zugeordnet

Bild 32 Digitalsignalabschnitte in der SDH

(19) Der Path Overhead des VC-3 und VC-4 haben die gleiche Struktur und Funktion.

- J1
- B3
- C2
- G1
- F2
- H4
- Z1
- Z2
- Z3

- J1 = Path Trace (Verbindungskennzeichnung)
- B3 = Fehlerkontrolle (anhand Prüfsummenbildung)
- C2 = Path Signal Label (Gibt die Struktur der Nutzlast des VC's an)
- G1 = Path Status (Überwachung des Verbindungszustands)
- F2 = interner Kommunikationskanal
- H4 = Multiframe Indikator
- Z1-Z3 = nicht belegt

Der Path Overhead des VC-12 (V5- Byte) tritt im VC-12-Multiframe immer nur im ersten von vier Containern auf.

1	2	3	4	5	6	7	8		
Fehler- kontrolle		FEBE	Path Trace	Signal Label		FERF		Bit 1-2	= Fehlerkontrolle (anhand Prüfsummenbildung)
								Bit 3	= Far End Block Error (FEBE) Fehlermeldung wenn die Prüfsumme nicht stimmt)
								Bit 4	= Path Trace (Verbindungskennzeichnung)
								Bit 5-7	= Signal Label (Kennzeichnung des Nutzlastinhalts)
								Bit 8	=Far End Receive Failure (FERF) (Fehlermeldung bei Verbindungsunterbrechung)

4 Netzelemente

(20) Im Gegensatz zu PDH-Netzen sind SDH-Netze durch den Einsatz neuer Netzelemente managementfähig. Es sind folgende Basis-Netzelemente definiert:

- Regeneratoren (REG)
- Multiplexer
 - Terminalmultiplexer (TM) oder
 - Synchronous Multiplex Terminal (SMT)
- Add-and-Drop-Multiplexer (ADM) und
- Cross-Connect

SDH transportiert 64-kbit/s-Systeme genauso wie ATM-Zellenströme und ist damit die ideale Übertragungsart für verschieden strukturierte Informationsflüsse. Mit der SDH-Technik als verbindendem Element zwischen den ISDN- und B-ISDN-Vermittlungsstellen können die sehr unterschiedlichen Informationsströme flexibel gesteuert werden. Geringere Übertragungsraten können durch flexible Multiplexer zu höheren Übertragungsraten zusammengefasst werden. Einzelne Transportgruppen können in den Add-and-Drop-Multiplexern entnommen und/oder ausgetauscht. In den Cross-Connect können sogar einzelne Systeme einem Informationsstrom eines STM-1-Moduls entnommen und/oder ausgetauscht werden. Die Zuordnung der Informationsströme zu bestimmten Netzknoten kann auch "intelligent", d.h. verkehrs- oder zeitabhängig vom Netzmanagement gesteuert werden, und bei Ausfall bestimmter Bündel können sehr schnell Ersatzschaltungen vorgenommen werden. Die Steuerung der SDH-Elemente erfolgt über spezielle Signale im POH, die sog. OAM (Operations and Maintenance)-Signale. Das Netzmanagement der SDH-Elemente ist dabei in das Konzept zur Bedienung und Wartung von Telekommunikationsnetzen TMN eingegliedert. Der Verlauf von Nutzinformationsflüssen kann über dieses Konzept vom Netzbetreiber optimal gesteuert werden.

4.1 Regenerator

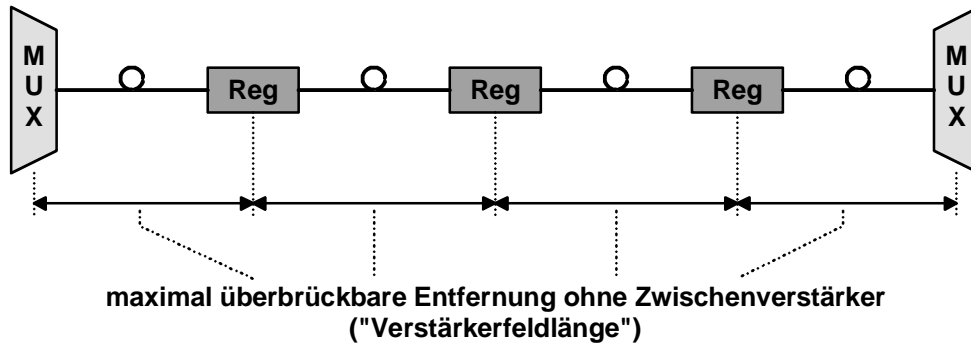


Bild 33 Regenerator-Einsatz

Der Regenerator (REG) dient, wie schon in der PDH-Technik, zur Überbrückung größerer Reichweiten. Dazu werden in die Übertragungsstrecke einer oder mehrere Regeneratoren eingefügt, die das Signal jeweils wieder auffrischen (Bild 33). Dazu gehören sowohl die Wiederherstellung der exakten Zeitbezüge der Bits als auch die Verstärkung des Signals. Der Regenerator wertet nur den RSOH aus.

4.2 Synchronous Multiplex Terminal

(21) Das Synchronous Multiplex Terminal (SMT) ist am Ende eines SDH-Busses angeordnet und besitzt mehrere PDH-Schnittstellen sowie eine SDH-Schnittstelle mit allen Zugriffsmöglichkeiten auf Container. Es dient zum Aufnehmen der plesiochronen Signale und zur Bildung höherratiger Systeme, d.h. es fasst mehrere Nutzsignale mit geringer Übertragungsrate z.B. von Vermittlungsstellen zu einem STM-System höherer Übertragungsrate zusammen. Das SMT generiert und terminiert für die Eingangssignale die entsprechenden POHs; auf der SDH-Seite wird der gesamte SOH (RSOH und MSOH) erzeugt bzw. ausgewertet. SMTs werden für Punkt-zu-Punkt Verbindungen eingesetzt aber auch als Schnittstellen zu PDH-Netzen.

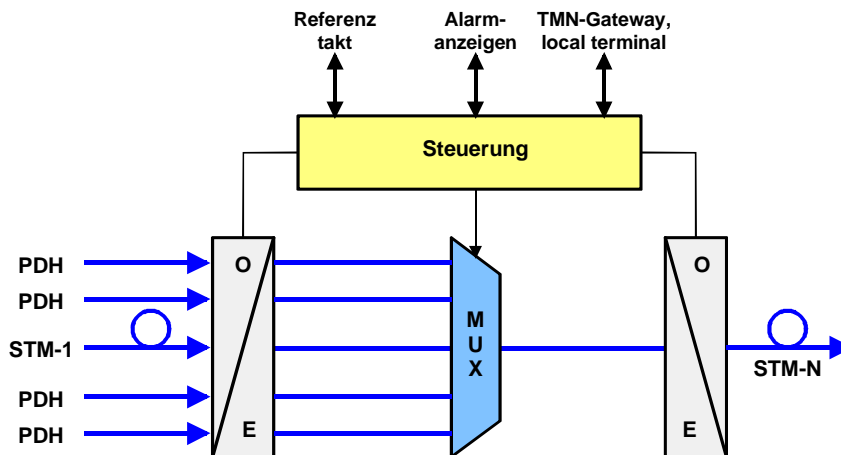


Bild 34 Terminalmultiplexer am Leitungsende

Durch die genaue Festlegung der Lage z.B. eines 2-Mbit/s-System in der SDH-Payload, muss zur Extraktion nicht wie bei den plesiochronen Systemen die ganze Multiplexer-Kette

durchlaufen werden, sondern man kann direkt auf diesen Teil zugreifen. Dieses Prinzip wird besonders bei den neuen Geräten der SDH-Technik, den „Cross Connects“ und den „Add-und-Drop-Multiplexern“, genutzt.

4.3 Add-and-Drop-Multiplexer

(22) Der Add-and-Drop-Multiplexer (ADM) gestattet es, Teile des Multiplexsignals direkt zu entnehmen und einzufügen.

Add-and-Drop-Multiplexer haben Zugriff auf SDH-Container wodurch sie Container entnehmen oder einfügen können. Sie haben eine kommende und eine gehende SDH-Schnittstelle zu Lichtwellenleitern und Schnittstellen zu einfachen Multiplexern, Vermittlungsstellen oder ähnliches Tributaries (=PDH-Systeme, z.B. PCM-30), von denen sie Daten bekommen und/oder an die sie diese weitergeben.

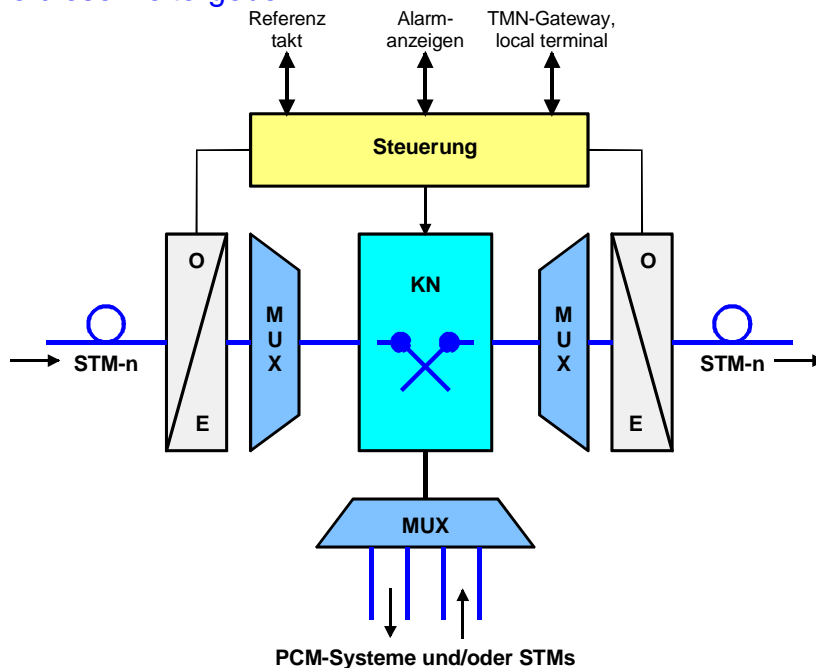


Bild 35 Blockdiagramm eines Add-and-Drop-Multiplexers

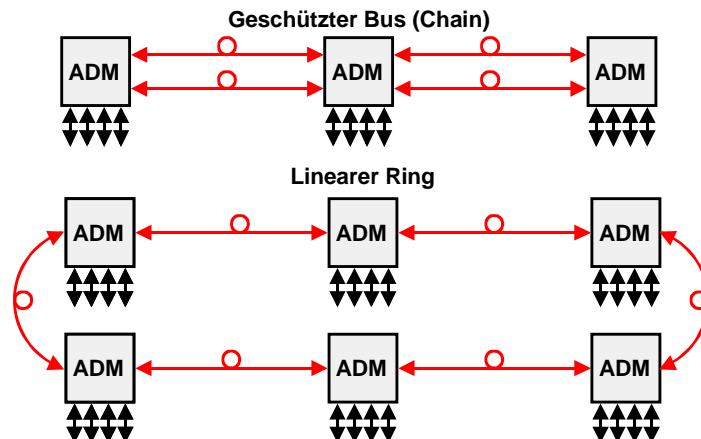


Bild 36 Einsatzmöglichkeiten von Add-and-Drop-Multiplexern im Netz

4.4 Cross Connect

(23) Der Digital Cross Connect (DXC) erlaubt ein Umsortieren der Virtuellen Container innerhalb eines STM- 1 und zwischen verschiedenen STM- 1. So können 2 Mbit/s-Systeme (in VC- 12) von unterschiedlichen Eingängen auf einen Ausgang zusammengefasst werden. Man spricht dabei von „grooming“. Damit lassen sich auch mehrere teilgefüllte STM- 1 so zusammenfassen, dass weniger Übertragungskapazität benötigt wird.

Eine Cross-Connect Komponente besteht aus drei Teilen. Einem blockierungsfreien Koppel-feld, einer Steuerung, sehr viele SDH/PDH-Schnittstellen. In Cross-Connect-Systemen werden STM-Systeme, oder Teile davon, von beliebigen Eingängen zu beliebigen Ausgängen geschaltet. Die kleinsten Einheiten die geschaltet werden können sind Transporteinheiten (=Container). Sie werden an zentralen Knoten eines komplexen Backbone-Netzes eingesetzt.

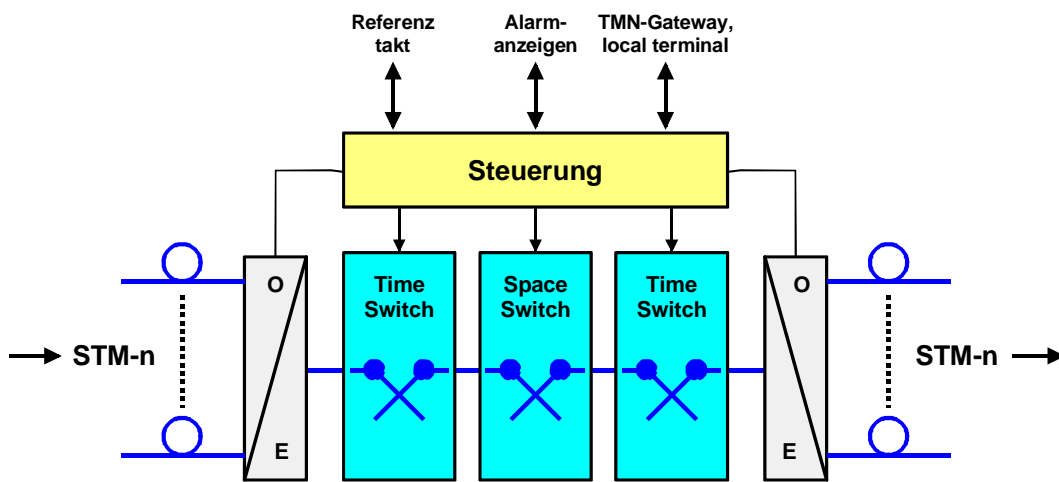


Bild 37 Blockdiagramm eines Cross-Connects

Die Struktur eines Cross-Connects ähnelt der einer Vermittlungsstelle, nur kommt die Verbindung auf eine andere Art zustande. Es wird nicht auf Grund von Signalisierungsinformationen der Teilnehmer, sondern wegen spezieller OAM-Steuerinformationen, die vom Netzbetreiber eingegeben werden, Verbindungen hergestellt. Diese Steuerinformationen können auch "intelligent", das heißt verkehrs- und zeitabhängig gesteuert werden, um die Nutzinformationen optimal durch das Netz zu führen.

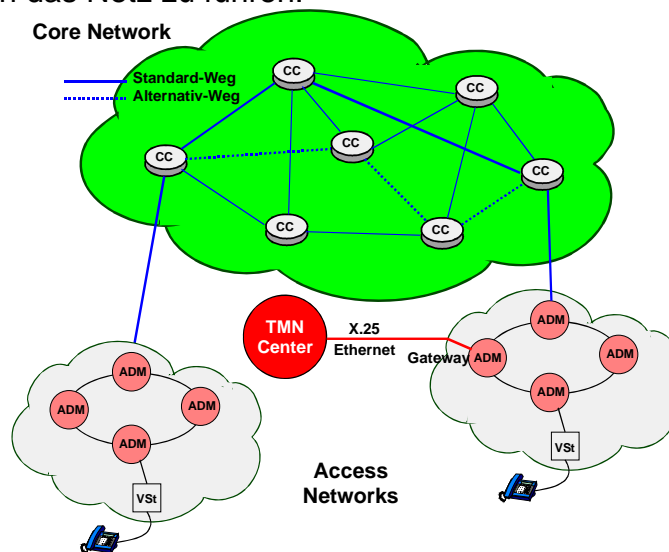


Bild 38 Einsatz von Cross-Connects

Am Cross-Connect wird auch deutlich, dass mit der SDH-Technik eine Trennung zwischen dem physikalischen Netz und dem logischen Netz möglich wird. Waren in der klassischen Übertragungstechnik die Leitungen fest zwischen den Kunden geschaltet, also z.B. zwischen zwei Vermittlungsstellen, so wird in SDH ein eigenes Übertragungsnetz mit Übertragungstechnischen Knoten, z.B. aus Cross-Connects, aufgebaut. Der Weg, den die Daten durch das Netz nehmen, kann dann von vielen Faktoren abhängig gemacht werden. In obigem Bild sind zwei mögliche Wege durch das Netz zwischen zwei Vermittlungsstellen gezeigt.

4.5 Netzstruktur

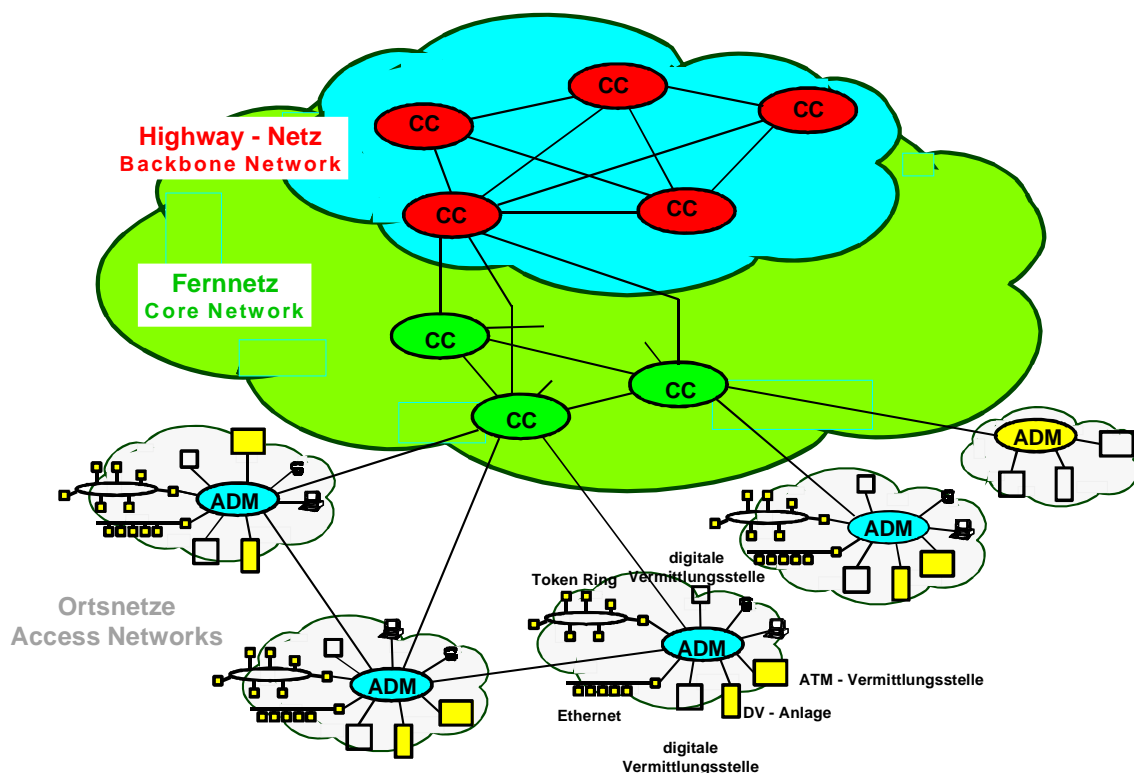


Bild 39 Beispiel eines SDH-Netztes

5 Qualität und Zuverlässigkeit

(24) In der Übertragungstechnik werden heute Qualitätskriterien immer anhand von „Blöcken“ definiert. Dabei stellt ein Block eine bestimmte Anzahl von Bits dar. Ein Block ist dann fehlerhaft („errored block“ — EB), wenn mindestens ein Bit innerhalb des Blocks fehlerhaft ist. Für die Beurteilung wird die Qualität entweder auf eine Sekunde bezogen in der ein oder mehrere Ereignisse aufgetreten sind, oder es wird als Parameter ein Verhältnis angegeben. Damit ergibt ein Bitfehler auch einen fehlerhaften Block und die Sekunde, in der ein Fehler auftritt, wird „errored second“ (ES) genannt. Werden diese Sekunden mit Störungen auf einen Zeitraum (Gesamtzahl der Sekunden) bezogen, so ergibt das den Qualitätsparameter „errored second ratio“ (ESR).

Eine Sekunde gilt natürlich auch dann als fehlerhaft, wenn mehrere Blöcke in dieser Sekunde fehlerhaft sind. Aus Qualitätsbeurteilungs-Sicht hat eine solche Häufung von Fehlern aber einen anderen Stellenwert als ein Einzelfehler. Daher wird als weiteres Kriterium eine Schwelle für die Anzahl fehlerhafter Blöcke in einer Sekunde eingeführt, ab der diese Sekunde als stark fehlerhaft bezeichnet wird — „severely errored second“ (SES). Analog zu vorher wird wieder ein Verhältnis zur Gesamtzahl der Sekunden gebildet, was dann zum Qualitätsparameter „severely errored second ratio“ (SESR) führt.

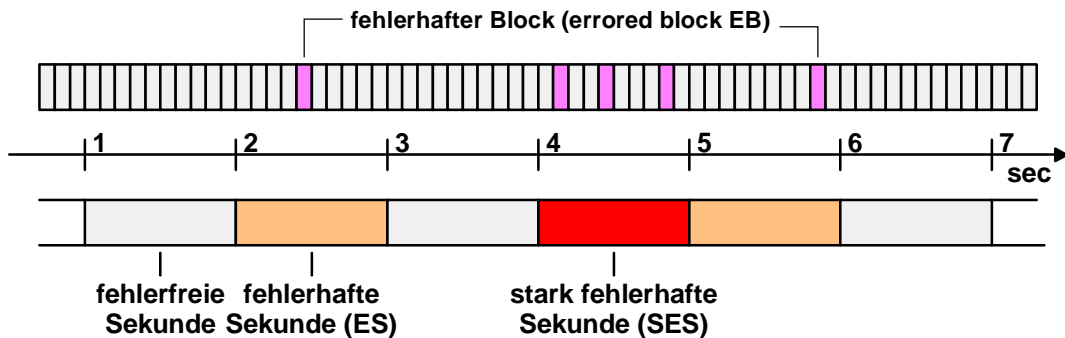


Bild 40 Bezug von fehlerhaften Sekunden zu fehlerhaften Blöcken.

Es können noch andere Ereignisse zu einer SESR führen, nämlich Ausfälle („defects“). Auslöser dafür sind u.a. das Alarm Indication Signal (AIS) oder Fehler in der Pointer-Operation.

Die unten angeführten Richtwerte nehmen Bezug auf die in der Telekommunikation übliche hypothetische Referenzverbindung über 27500 km. Für einen VC-4 ergeben sich:

- Bits/Block 8000
- ESR 0,04
- SESR 0,002

Sicherheitsmaßnahmen in SDH-Netzen

Da bei einem Ausfall eines SDH-Knotens große Datenmengen betroffen sein können, wurde auf Ersatzschaltungsstrategien schon in den ITU-T/ETSI-Empfehlungen Rücksicht genommen.

(25) Bei einer Busstruktur gibt es die Möglichkeit zwischen zwei Multiplexer Sections vier Glasfasern zu führen, von denen je zwei von den anderen geographisch getrennt geführt sein müssen. Im Falle eines Unterbruches eines Glasfasernpaares, wird auf das andere geschaltet. Meistens ist jedoch eine geographische Zweibegeführung in einer Busstruktur nicht vorgesehen. Bei einem Geräteausfall ist das gesamte Bussystem unterbrochen. Für ein Bussystem besteht die Möglichkeit, sich gegen Geräteausfall zu sichern.

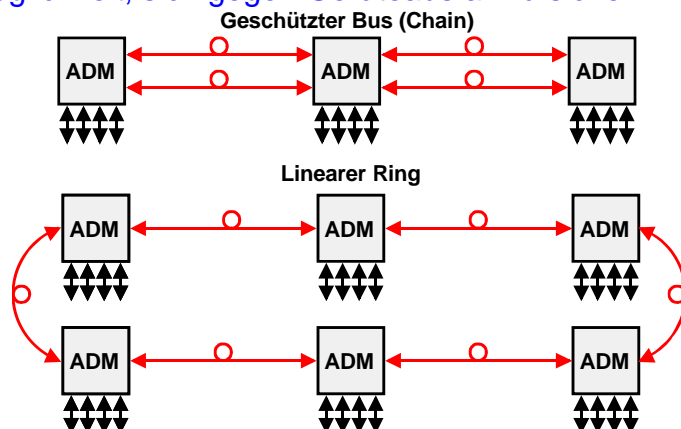


Bild 41 SDH Busstrukturen

Man kann den Bus an den beiden Terminalpunkten schließen und erzeugt dadurch einen "linearen Ring". Um die lange Distanz des Retourweges zu vermeiden, kann man einzelne Knoten auf dem Retourweg anordnen, wobei die maximale Reichweite zwischen zwei Knoten nirgendwo überschritten werden darf. Logisch handelt es sich dann um eine Ringstruktur, welche allerdings nur gegen einen Geräteausfall sichert, da bei einem Unterbruch meistens das gesamte Kabel geschädigt wird. Fällt ein Knoten aus, dann kann der Verkehr zu den übrigen Knoten, wie bei einem Ring, aufrechterhalten werden.

Bei Ringstrukturen kann wie folgt unterschieden werden:

- unidirektionaler Ring mit einer Glasfaser,
- bidirektionaler Ring mit zwei Glasfasern,
- unidirektionaler, selbst heilender Ring mit zwei Glasfasern und
- bidirektionaler, selbst heilender Ring mit vier Glasfasern.

Fehlerüberwachung und Fehlermeldung

(26) Bitfehlerüberwachung

- Für die Überwachung eines STM - N Signals wird das "Bit Interleaved Parity" (BIP) - Verfahren angewendet.
- B1 (BIP8) dient zur Überwachung des gesamten STM - N Signals auf Regeneratorabschnitten
- B2 (BIP N x 24) dient zur Überwachung eines jeden STM - 1 Signals in einem STM - N auf Multiplexabschnitten
- B3 (BIP 8) dient zur Überwachung eines VC-4 auf Pfadabschnitten

Fehlerrückmeldung FEBE (Far End Block Error)

Man unterscheidet:

- SECTION FEBE wird in die Gegenrichtung des STM-N Signals gesendet, wenn ein Codefehler mittels der B2 Bytes erkannt wurde.
- PATH FEBE wird in die Gegenrichtung des Pfades gesendet, wenn ein Codefehler mittels des B3 Bytes erkannt wurde.
- **Ausfallrückmeldung FERF (Far End Receive Faillure)**
- Man unterscheidet:
- SECTION FERF wird in die Gegenrichtung des jeweiligen STM-N gesendet, wenn:
 - Section AIS empfangen
 - kein Signal (Verlust des STM-N)
 - Verlust der Rahmensynchronität.
- PATH FERF wird in die Gegenrichtung des jeweiligen STM-N gesendet, wenn:
 - Path AIS im VC
 - kein Signal im VC
 - falsche Pfadkennung im VC POH.

Network Management

SDH-Netze sind aus sind aus TMN-fähigen Netzelementen (Hardware und Software) aufgebaut und daher TMN fähig.

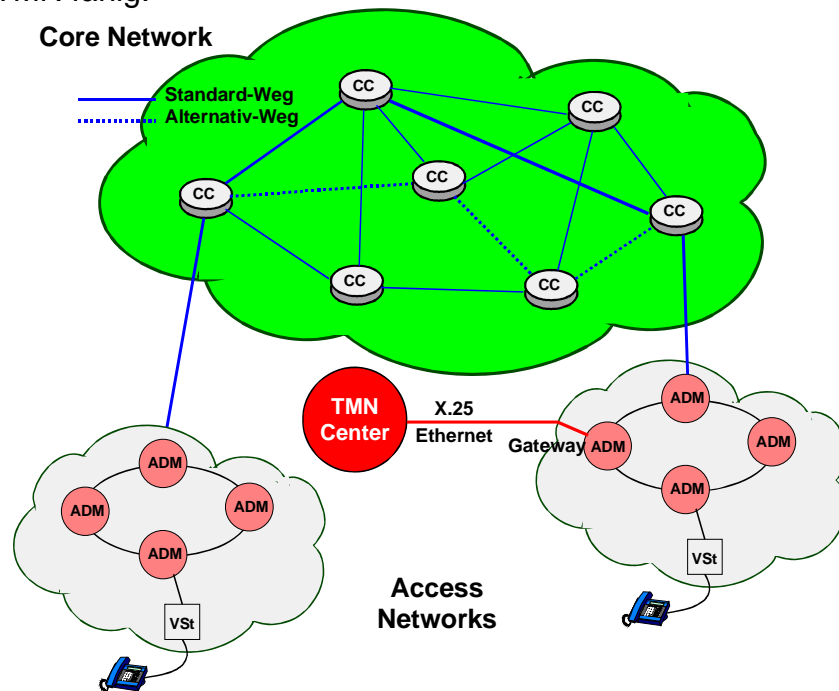


Bild 42 Prinzip eines TMN

(27) Ein TMN besteht aus: - TMN Operations System TMN-OS und den Informationswegen für den Transport der TMN Nachrichten.

In der Regel wird das TMN-OS über X.25 oder Ethernet an das Gateway NE angeschlossen, während die TMN Anbindung der übrigen Netzelemente über den SOH des STM-N Signals erfolgt, d.h. SDH - Übertragungsstrecken werden zum Transportieren von TMN - Informationen zwischen den SDH Netzelementen verwendet.

Das TMN übernimmt die:

- **Netzüberwachung:** Das SDH Netz wird permanent auf Fehler und Zustandsänderungen überwacht. Bei Erkennen werden diese vom Netzelement an das TMN - OS gemeldet.
- **Verbindungssuche:** Die wesentliche Servicefunktion des TMN ist das Schalten von Festverbindungen. Bei einer gewünschten Festverbindung von A nach B sucht das TMN einen verfügbaren Weg. Akzeptiert der Betreiber den vorgeschlagenen Weg, wird die Verbindung geschaltet.

6 Kontrollfragen

1. Beschreiben Sie die Merkmale und Eigenschaften der PDH-Systeme.
2. Beschreiben Sie Merkmale und Eigenschaften von SONET und SDH.
3. Nennen Sie die Grundstruktur eines Synchronen Transfer Moduls 1.
4. Wie werden Systeme höherer Geschwindigkeit gebildet?
5. Nennen Sie die Komponenten eines STM-1 und ihre Aufgaben.
6. Beschreiben Sie die Wirkbereiche der Overhead-Bestandteile.
7. Beschreiben Sie die Aufgaben des RSOH.
8. Beschreiben Sie die Aufgaben des MSOH.
9. Beschreiben Sie Aufgaben und Wirkungen der Pointer.
10. Beschreiben Sie den Aufbau des AU-4 Pointers.
11. Nennen sie die TU-Pointer und ihre Aufgaben.
12. Wie erfolgt der Transport von ATM-Zellen auf der SDH basierten Schnittstelle?
13. Wie erfolgt der Transport von ATM-Zellen auf der Zellen basierten Schnittstelle?
14. Wie erfolgt der Transport von ATM-Zellen auf der PDH basierten Schnittstelle?
15. Beschreiben Sie die Multiplex-Struktur nach ETSI und die zur Bildung eines STM-N erforderlichen Aktivitäten.
16. Beschreiben Sie den VC-4.
17. Beschreiben Sie die TUG-3.
18. Beschreiben Sie die TUG-2.
19. Beschreiben Sie die Zusammensetzung der Path-Overheads.
20. Nennen Sie die SDH-Netzelemente.
21. Beschreiben Sie Aufgaben und Eigenschaften des Synchronen Multiplex Terminals.
22. Beschreiben Sie Aufgaben und Eigenschaften des Add and Drop Multiplexers.
23. Beschreiben Sie Aufgaben und Eigenschaften des Cross-Connects.
24. Beschreiben Sie ESR und SESR.
25. Welche Sicherheitsmaßnahmen werden in SDH-Netzen getroffen?
26. Beschreiben Sie die vorgesehenen Fehlerüberwachungen und Fehlermeldungen.
27. Nach welchen Gesichtspunkten erfolgt das NW-Management von SDH-Netzen?

7 Bilder und Tabellen

Bild 1	Aufbau der PDH Multiplex Hierarchie	4
Bild 2	Synchronous Digital Hierarchy und SONET	5
Bild 3	Basissystem - Grundstruktur.....	7
Bild 4	Bilden eines STM-4.....	8
Bild 5	STM-1-Rahmenstruktur	9
Bild 6	STM-1 Overhead	10
Bild 7	Wirkbereiche der Overheads	11
Bild 8	AU-Pointer	12
Bild 9	Einfügen eines VC-4	13
Bild 10	Adressierungsmöglichkeit des AU-4-Pointers	13
Bild 11	Aufbau des AU-4 Pointers	13
Bild 12	Aufbau der AU-3 Pointer.....	14
Bild 13	Negative Justification – $f_{IN} > f_{OUT}$	14
Bild 14	Positive Justification $f_{IN} < f_{OUT}$	15
Bild 15	Multiplexen eines VC-3 in eine TUG-3.....	15
Bild 16	ATM Zellentransport in STM-1	16
Bild 17	ATM Zellentransport in STM-4	17
Bild 18	Kontinuierlicher Zellenstrom.....	17
Bild 19	Zellen-Mapping bei 34 Mbit/s	18
Bild 20	Multiplex-Struktur (nach ETSI vereinfacht)	18
Bild 21	Administrative Unit Group	20
Bild 22	Virtueller Container VC-4	20
Bild 23	Tributary Unit Group	21
Bild 24	TUG-3 bestehend aus 7 TUG-2	21
Bild 25	Virtueller Container VC-3 und TUG-2	22
Bild 26	Tributary Unit Group TUG-2.....	22
Bild 27	Multiplexen dreier TU-2 in eine TUG-2	22
Bild 28	Virtueller Container VC-12	23
Bild 29	VC-12 Multiframe	23
Bild 30	Higher-Order-Path	24
Bild 31	Lower-Order Path	24
Bild 32	Digitalsignalabschnitte in der SDH.....	24
Bild 33	Regenerator-Einsatz	26
Bild 34	Terminalmultiplexer am Leitungsende	26
Bild 35	Blockdiagramm eines Add-and-Drop-Multiplexers	27
Bild 36	Einsatzmöglichkeiten von Add-and-Drop-Multiplexern im Netz	27
Bild 37	Blockdiagramm eines Cross-Connects	28
Bild 38	Einsatz von Cross-Connects.....	28
Bild 39	Beispiel eines SDH-Netzes	29
Bild 40	Bezug von fehlerhaften Sekunden zu fehlerhaften Blöcken.....	30
Bild 41	SDH Busstrukturen	30
Bild 42	Prinzip eines TMN.....	32
Tabelle 1	Vergleich SDH – PDH.....	6
Tabelle 2	SDH Systeme höherer Ordnung	8

8 Abkürzungen

ADM.....	Add-/Dropmultiplexer
ANSI	American National Standards Institute
ATM.....	Asynchronous Transfer Module
AU.....	Administrative Unit
CEPT	Conference Européene des Administrations des Postes et des Telecommu- nications
ETSI.....	European Telecommunication Standards Institute
FEBE	Far End Block Error
FERF	Far End Receive Faillure
FMUX.....	Terminalmultiplexer oder flexibler Multiplexer
ITU-T.....	Internationale Telegraphen Union, Abteilung Telekommunikation
OAM	Operations and Maintenance
OS	Operating System
PCM.....	Pulse Code Modulation
PDH.....	Plesiochrone Digitale Hierarchie
PLL	Phase Locked Loop
POH.....	Path Overhead
SDH.....	Synchrone Digitale Hierarchie
SOH.....	Section Overhead
SONET	Synchronous Optical Network
STM.....	Synchronous Transfer Module
TMN.....	Telecommunication Management Network
TUG.....	Transport Unit Group
VC.....	Virtual Container
VC.....	Virtual Channel

9 Literatur

- [1] Ulrich Freyer, Nachrichtenübertragungstechnik, 3. Auflage, Carl Hanser Verlag, 1994, ISBN 3-446-17724-8
- [2] Telekommunikationstechnik, 6. Auflage, Verlag Europa Lehrmittel, 1995, ISBN 3-8085-3346-3
- [3] Gerd Siegmund, Technik der Netze, 3. Auflage, R.v.Decker´s Verlag, 1996, ISBN 3-7685-2495-7
- [4] Gerd Siegmund, ATM – Die Technik des Breitband-ISDN, R.v.Decker´s Verlag, 1993, ISBN 3-7685-0793-9
- [5] Taschenbuch der Telekommunikation 1999, Fachbuchverlag Leipzig
- [6] SIEMENS, CBT „Einführung SDH“, 1996

ITU-T Empfehlungen für SDH

G.702	Digital Hierarchy Bit Rates
G.703	Physical/Electrical Characteristics of Hierarchical Digital Interfaces
G.704	Synchronous Frame Structures used at Primary and Secondary Hierarchical Levels
G.707	Synchronous Digital Hierarchy Bit Rates
G.708	Network Node Interface for the Synchronous Digital Hierarchy
G.709	Synchronous Multiplexing Structure
G.773	Protocol Suites for Q Interfaces for Management of Transmission Systems
G.781	Structure of Recommendations on Multiplexing Equipment for the SDH
G.782	Types and General Characteristics of SDH Multiplexing Equipment
G.783	Characteristics of Synchronous Digital Hierarchy Multiplexing Equipment Functional Blocks
G.784	Synchronous Digital Hierarchy Management
G.955	Digital Line Systems based on the 1.544 kbit/s Hierarchy on optical Fibre Cables
G.956	Digital Line Systems based on the 2.048 kbit/s Hierarchy on optical Fibre Cables
G.957	(ex G.opt) optical Interfaces for Equipments and Systems relating to the SDH
G.958	Digital Line Systems based on the SDH for Use on optical Fibre Cables
G.652	Characteristics of a Single Mode optical Fibre Cable
G.653	Characteristics of a Dispersion Shifted Single Mode optical Fibre Cable
G.654	Characteristics of a 1 500 nm Wavelength Loss minimized Single Mode Fibre Cable
G.803	Architecture of Transport Networks based on SDH (Parts of former G.sna 1)
G.810	Considerations on Timing and Synchronisation Issues
G.811	Timing Requirements at the outputs of Primary Reference Clocks, suitable for Plesiochronous Operation of Digital Links
G.812	Timing Requirements at the outputs of Slave Clocks suitable for Plesiochronous Operation of Digital Links
G.823	The Control of Jitter and Wander within Digital Networks based on the 2048kbit/s Hierarchy
G.825	The Control of Jitter and Wander within Networks based on SDH
G.831	Management Capabilities of Transport Networks based on SDH (Parts of former G.sna.2)
G.tna	Generic Functional Architecture of Transport Networks (Draft)
M.3010	Telecommunications Management Network