

Vorwort:

SDH: Synchronous Digital Hierarchy. Zu Deutsch heißt es Synchrone Digitale Hierarchie.

SDH ist eine Transport-Technologie, die auf der Schicht 1 (Bitübertragungsebene) des OSI-ISO Modells liegt. Jedoch werden manche Prozesse auch auf Schicht 2 und 3 verrichtet. Die SDH ist bei CCITT, ETSI und die ITU-T standardisiert ist. Die CCITT ist die Französische Telefongesellschaft. Danach wurde die ETSI gegründet, die für ganz Europa Regeln aufstellen sollte. Die ITU (*International Telecommunication Union*) entstand viel später und regelte die SDH welche aber von der ANSI übernommen wurde. Nur die Standardübertragung wurde STM-1 mit 155 Mbit/s bezeichnet. STM steht für Synchronous Transport Module.

Folie 3: Entstehungsgeschichte von der SDH

- Erfindung des Telefons

Im 19. Jahrhundert hat ein Wissenschaftler namens **Johann Philipp Reis** (Geb. 7. Januar 1834 in Gelnhausen) das Telephone erfunden (vom griechischen: tele= weit,fern; phone=Stimme) . Beim Testen des Apparates sprach er sein berühmtes Satz „Die Sonne ist aus Kupfer“. Seine Erfindung vom 1861 war aber kein handliches Gerät. Erst 1876 erfunden durch Alexander Graham Bell war das Ding näher an einem Telefon, was wir kennen. Aber trotzdem lachte man damals darüber, hielt es für ein Spielzeug. Doch es gab mehrere Konkurrenten, die das Telefon neu erfinden wollten. Dadurch wurde die Entwicklung eines Telefons zur Erfindung zu einem ganzen Telefonnetz, sowohl in den USA und auch in Europa. 1878 gab es in Deutschland bereits Vermittlungsstellen die von ledigen und jungen Frauen erledigt wurden. Warum die „Fräulein vom Amt“ bevorzugt? Wegen der hohen Stimme, die verständlicher im Telefonnetz war als wie die Männer. Nach einer gewissen Zeit wurden aber die Telefonistinnen durch automatische Netze ersetzt.

Folie 4: Entstehungsgeschichte von der SDH

- Von der Trägerfrequenz bis zum PDH

In den 20'ern wurde die die Trägerfrequenz erfunden. Dadurch werden über die Kupferleitung mehrere Teilnehmer (je 300-3400 Hz) übertragen (1980 waren es bis zu 10800 Gespräche).

17 Jahre später erfand der Brite Alec Reeves die PCM (Pulse Code Modulation). Seine Idee war es das Rauschen zu unterbinden. Nehmen wir an, das analoge Signal enthält ein störendes Signal (Damals war das Rauschen ein alltägliches Problem). Dieses würde dann bei den Verstärkern dazu führen, dass die Störung auch mit verstärkt würde ja sogar noch mehr unerwünschtes Signal dazu kommen könnte. Der Vorteil seines Verfahrens liegt darin, dass das digitalisierte Gespräch, die aus Impulsen besteht, so verstärkt wird wie es ist, weil nur die Impulse verstärkt werden. Dadurch kann das Ursprungssignal zurückgewonnen werden.

Aber um dies umzusetzen bedarf es noch mehr Erfindungen, wie z.B des Transistors von Hrn. Shorttky oder das Abtasttheorem von Hrn. Claude Elwood Shannon und das Verfahren **Time Division Multiplexing**.

Hr. Shannon hat herausgefunden, mit welchem Frequenzband (300-3400 Hz) das Gespräch eindeutig zu verstehen ist. Und wenn man ein analoges Signal digitalisieren will, laut Hr. Shannon, muss es mit

doppelt so schneller Frequenz, aber von der höchsten Frequenz des Signals, abgetastet werden. In Europa hat man sich zu seiner Zeit für 8 kHz entschieden. Daraus folgt: $8000 \text{ Hz} \cdot 8 \text{ Bit Kodierung} = 64 \text{ kbit/s}$ Datenrate.

Bei TDM handelt es sich auch um die Digitalisierung. Hierbei werden die Abtastimpulse zeitversetzt (zeitlich hintereinander) übertragen. Den Vorteil kann man erst bei mehreren Signalen erkennen. Darauf wird später näher eingegangen.

Die PCM wurde aus diesen Erfindungen vervollständigt. Leider ist die Entwicklung auseinander gegangen. Deshalb spricht man hier von PCM-24 für den ANSI-Bereich (American National Standards Institute ANSI), welche für USA, Canada und Japan gilt. Aber in der EU und den Rest der Welt wird PCM-30 verwendet, das dem ETSI-Bereich (*European Telecommunications Standards Institute*) entspricht. Diese Technik wurde in ehemals BRD (alte Bundesländer) ziemlich spät eingesetzt (ca. 1971).

In den Sechzigern hat man wieder mit den Glasfaserkabeln angefangen zu experimentieren. Die ersten Testverbindungen waren 1966 erfolgreich durchgeführt worden.

Durch die zwei vorherigen Technologien wurde PDH eingeführt, welche Anfang der 70'er stattfand. Dieses möchte ich gleich näher erklären, weil SDH die Weiterentwicklung von PDH ist. Ach ja, die SDH wurde 1988 zum Weltweiten Standard erklärt, welches beide Märkte in der ITU-T Standard zueinander kompatibel gemacht hat.

Folie 5: Entstehungsgeschichte von der SDH

- PDH baut auf die PCM-30 Technik auf

PDH heißt plesiochrone (beinahe) digitale Hierarchie:

Es macht nichts anderes als die PCM-30 Strecke nochmals zu multiplexen.

Deswegen erkläre ich erst die PCM-30:

Die besteht aus 4 wichtigen schritten:

1. Schritt – Sampling (Abtastung): Es wird nach dem Abtasttheorem vollzogen. Und zwar wird unsere analoges Gespräch 8000 mal Abgetastet. Das Ergebnis ist zu jedem Abtastpunkt eine Amplitude.
2. Schritt – Quantising (Quantisierung): Nachdem die Amplituden gemessen wurden, werden sie in die durch die 8 Bit aufgeteilten Bereiche zugeordnet. 8 Bit kommt auch vom Abtasttheorem und ermöglicht damit 256 Abstufungen.
3. Schritt – Encoding (Kodierung): Die 256 Stufen werden binär betrachtet und deshalb wird die eingestufte Amplitude einfach kodiert.
4. Schritt – TDM (Zeitliches Multiplexen): Bei PCM-30, wie der Name schon sagt, werden 30 Teilnehmergespräche gemultiplext. Es wird zuerst der 1. Abtastpunkt von jedem Teilnehmer in das Netz gemultiplext. D.h. jeder 1. Abtastpunkt wird Byteweise nacheinander durch den Multiplexer gelesen und gesendet. In der nächsten Folie wird es genauer betrachtet.

Folie 6: Entstehungsgeschichte von der SDH

- Warum hat PCM-30 Rahmen 32 Zeitschlitze?

Bei dieser Folie möchte ich euch erklären, warum nur 30 Teilnehmer pro Frame anstatt 32 sind. Von den 32 Kanälen werden zwei Zeitschlitze für das System verwendet. Mit dem Zeitschlitz 0 (timeslot

zero) OAM durchgeführt. Die OAM ist Operation (z.B. Synchronisation), Administration (z.B. einzelne Kanäle bearbeiten) und Maintenance (z.B. Fehlersignalisierung) zugleich. Zeitschlitz 16 ist zur Identifizierung der 30 Teilnehmer eingeführt worden. Jeder Rahmen beträgt 125 μ s, welches 8 kHz ist. Davon beträgt jeder Kanal 3,90 μ s. Und bei jedem Rahmen ist nur jeweils 1 Abtastpunkt von den Teilnehmern. Aber Hr. Shannon hat ja gesagt, dass diese 8 kHz nur für ein Teilnehmer ist. Na gut, um dies zu gewährleisten muss der Multiplexer eben noch schneller sein. D.h. er muss sich noch schneller drehen bzw. das Signal abtasten. Genauer gesagt, $32 \times 8 \text{ kHz} = 256 \text{ kHz}$. Und weil es mit 8 Bit kodiert wird, $256 \text{ kHz} \times 8 \text{ Bit} = 2,048 \text{ Mbit/s}$. Das ist die berühmte Geschwindigkeit von E1.

Folie 7: Entstehungsgeschichte von der SDH - Nachteile des PDH

Die Nachfrage damals für Telefonie wurde immer größer. Deshalb hat man die PCM-30 Strecken immer mehr aufmoduliert. Dies hat ein Nachteil mit sich gebracht. Die PDH-Technik musste, um ein Tln. auf eine andere Strecke umzuleiten, die ganzen gemultiplexten Signale demultiplexen, den Tln. herausfiltern um dann die anderen Tln. wieder zu multiplexen. Außerdem brachte die PDH, wie bei der Entstehungsgeschichte erwähnt, Probleme bei der direkten Übertragung von z.B. Europa nach USA und umgekehrt. Weil schon die PCM-Technik der beiden Märkte (ANSI, ETSI) verschieden ist, mussten die Signale bis zur Basisrate demultiplext werden. Dann begann das Multiplexing wieder von vorne um im anderen System die Frames weiter zu transportieren. Warum wurde die PDH so genannt? Plesiochron bedeutet quasi-synchron. Das kommt daher, weil jedes Gerät sein eigenen Takt hat. Zwar haben alle den gleichen Takt, aber durch die Toleranzen der einzelnen Bauteile (z.B. Kapazität, Spule, Widerstände, usw.) entstehen deswegen geringe Abweichung, was bei höher Übertragungsrate zu Fehlern führen kann.

Folie 8: Vorteile von SDH über PDH

Das wohl wichtigste bei der SDH ist, dass das Problem mit den Taktraten durch einen zentralen und atomaren Taktgeber, welches Master Clock heißt, gelöst wurde. Dabei ist die Frequenzgenauigkeit 1 Nanosekunde (1×10^{-11} s). Die Sekundären Taktgeber greifen auf diesen Atomzeitgeber zu und verteilen diesen Takt synchronisiert weiter. Am Ende der Kette wird damit der Takt von den Geräten, egal welcher Hersteller, synchron. Weitere Einzelheiten dazu gibt es bei der ITU unter ITU-T G.811. Durch diese Synchronisierung entfällt auch die Bitfüllung bei höheren Übertragungsgeschwindigkeiten.

Durch die Synchronie wird auch ein großer Vorteil namens Add- und Drop- Verfahren ermöglicht. Dies bedeutet folgendes: Jedes Teilsignal ist in einem Rahmen (z.B. PCM-Rahmen oder 2 Mbit/s Rahmen) greifbar. Deshalb kann z.B. ein DSL-Teilnehmer aus einer höheren Hierarchiestufe, ohne es auf die Basisrate demultiplexen zu müssen, herausgefiltert und auch dann weitergeleitet werden. Dies funktioniert auch umgekehrt.

Durch sparen der Bitfüllung und anderen Optimierungen für das OAM Management (**O**peration, **A**dministration and **M**aintenance) ist Reservierung für den Bereich bei der Übertragung deutlich geringer wie bei Plesiochronous Digital Hierarchy.

Wie die PDH kann auch die SDH verschiedene Kommunikationstechniken übertragen. Durch die zusätzliche Technik wie die Contiguous Concatenation können mehrere PDH-Container zu einem SDH-System zusammengefasst werden. Ein Beispiel wäre 4 x STM-1 zu einer verketteten Einheit worüber ATM-Technik mit ca. 622 Mbit/s übertragen wird.

Wie vorhin erwähnt, kann es verschiedene Dienste (z.B. Analog Telefon, ISDN, DSL, ATM, IP, usw.) übertragen. Um diese Dienste zu übertragen wird die geeignete Multiplex-Ebene (nächste Folie) ausgewählt um somit möglichst die Bandbreite (Container) auszunutzen.

Nun, dies alles hat eigentlich die USA in seiner SONET-Technik schon erfunden. Da hat die ITU einfach die SONET-Technik übernommen, jedoch modifiziert. Es wurde gewährleistet, dass trotzdem überall

auf Welt mit der SDH-Geschwindigkeit übertragen werden kann. Dennoch wird in Amerika, Canada und Japan die SONET-Technik benutzt und dem Rest der Welt die SDH-Technik. Die SDH-Technik wird allgemein für Übertragungen im Festnetzbereich sowie Richtfunk und im Satelliten bereich eingesetzt.

Folie 9: SDH Multiplexebenen und Geschwindigkeiten

Im unteren Bereich der Folie sieht man die Multiplexebenen von PDH-Technik vom ETSI und ANSI Telekommunikationsmarkt. Dies wurde in die SDH- Multiplexebenen übernommen wobei aber die 8 Mbit/s von der ITU-T nicht definiert worden ist, d.h. nicht standardisiert worden ist. Auf den Multiplex-level 4 werden noch Informationen draufgepackt. Daraus entsteht die STM-1 (Synchronous Transport Module). Im ANSI-Markt (SONET-Technik) wird die STM-1 als OC-3 (Optical Cable) oder STS-3 (Synchronous Transport Signal) bezeichnet. Als Standard hat sich die STM- 4ⁿ entwickelt. Das heißt jetzt aber nicht, dass es Stufen wie STM-2 oder STM-3 gibt. Diese können auch Übertragen werden (http://de.wikipedia.org/wiki/Synchrone_Digitale_Hierarchie). Ab der STM-4 wird die Übertragung meist mit LWL-Kabel ermöglicht.

Folie 10: Multiplexstruktur von SDH

Bevor wir Multiplexen, müssen wir die Multiplex-Ebenen umbenennen. Sie heißen jetzt Multiplex-Ebenen oder auch Container. Es gibt die Container C11,C12,C2,C3,C4. C für Container und die erste Zahl für die Ebenen. Bei C11 ist 1,544 Mbit/s und C12 ist 2,048 Mbit/s gemeint. Dies sind die unteren Multiplex-Ebenen (lower multiplex-level). Diese werden mit dem **Path OverHead** gekennzeichnet. Der POH wiederum wird für C11,C12 anders gesetzt als wie beim C3 und C4. Nachdem der Container mit dem Overhead gemappt wurde, heißt es jetzt Virtual Container (z.B. VC 4).

Dieser Abschnitt gilt für die Container C1x,C2 und C3:

Nach dem Virtual Container kommt ein Tributary Unit(TU). Es entsteht, in dem man dem Virtual Container einen Pointer vergibt. Diese Einheit ist für die von außen kommenden VC's gedacht. Um seine unterschiedliche Phasenlage zu der des Rahmens zu korrigieren, gibt man der TU genug Raum, damit es nicht den Zeitschlitzrahmen überschreitet. Danach werden diese zu einer Gruppe gemultiplext, welches sich dann Tributary Unit Group (TUG) nennt. Z.B. besteht eine TUG-2 aus 3 x TU-12 (von Container mit 2,048 Mbit/s). 7 solcher Zubringer Gruppen der Stufe 2 werden zum TUG-Stufe 3 gemultiplext. Und schließlich werden aus 3 TUG-3 eine VC-4.

Es lässt sich erkennen, dass viele Container-Wege nach VC-4 führen. Und zu aller letzt wird dem Virtual Container, Stufe 4, auch ein Pointer gesetzt. Diese heißt jetzt aber nicht mehr Tributary Unit, sondern Administrative Unit (AU). Dieser Pointer ist der Schlüssel-Kennzeichner eines STM-1 Rahmens.

Folie 11: Aufbau eines STM-1 Rahmens

Und so sieht nun ein STM-1 Rahmen aus. Pro STM-1 Rahmen gibt es ein Administrativ Unit. Und der ist sehr wichtig für den Payload. Aber dazu später mehr.

In dieser Folie kann man den eigentlichen Overhead (blaue Farbe) eines STM-Frames erkennen. Er besteht aus der AU, den wir kennen, dem Regenerator- und dem Multiplex- Section Overhead. Auf die einzelnen Overhead-Bereiche werde nicht eingehen, weil es dann ziemlich tief ins Detail eingeht. Dies wollte ich nur präsentieren, damit man ungefähr eine Ahnung hat welcher Bereich wofür steht. Die **Übertragung** geschieht **Zeile für Zeile** und nicht wie man sich vorgestellt hätte, dass zuerst die Overhead's + Pointer und dann der Payload übertragen wird.

Folie 12: Pointer: wozu man es braucht

In dieser Folie kann man erkennen, warum der AU-Pointer eine Schlüsselposition hat. Man betrachtet die Frames als ein Fluss der nach STM-1 Geschwindigkeit fließt. Jetzt kommen die Payload's als Boote in den Fluss. Wo die Boote in den Fluss gelassen wurden notiert sich der Navigator des Flusses die Boote um zu wissen wo Sie sich die Boote befinden.

Folie 13: Verschachtelte STM-N Signale

Hier sieht man wie man mehrere STM-1 Signale und STM-4 Signale in eine nächst höhere Stufe verschachtelt. Dies wird in der Fachsprache Contiguous Concatenation genannt. Dabei wird nur der erste Pointer behandelt und die nachfolgenden Pointer dem ersten gleichgesetzt bis die „Verkettung“ zu ende ist.

Hervorzuheben ist dass die Zeilenanzahl gleich bleiben und die Spaltenzahl sich ändert. Das obere Beispiel: Die vier Balken repräsentieren die 4 STM-1 Signale die Blockweise nacheinander folgen. Vorsicht!! Dies sind nur die Payload's. Einigen ist es vielleicht aufgefallen: Wenn man die Spaltenzahl durch die Übertragungsgeschwindigkeit teilt, dann kommt beiden Beispielen das gleiche Verhältnis heraus.

Das ist auf die Abtastfrequenz von Hr. Shannon und die PCM-Technik zurückzuführen.

D.h. Jeder STM-N Rahmen wird in 125 μ s abgearbeitet. Dem entsprechend muss bei so viel Informationsdichte auch viel schneller abgetastet werden.

Folie 14: Netzelemente der SDH

Netzelemente sind Geräte die im Netz verschiedene Aufgaben erfüllen.

Das einfachste unter Ihnen ist der Regenerator. Es ist der Verstärker bzw. Regenierer, der die Signale wieder auffrischt, welche über Lange strecken schwächer werden. Sei es jetzt Kupfer oder LWL. Der Unterschied von Kupfer zu LWL besteht darin, dass man über die Strecke gesehen, viel mehr Regeneratoren braucht als wie bei LWL.

Dann folgt der Terminal Multiplexer. Er ist eigentlich das einzige Netzelement, dass Signale auf eine höhere Multiplexe-Ebene multiplext. Natürlich geht es auch in die andere Richtung.

Dann folgt die „Cross Connect“-Maschine. Auch Digitaler Cross Connect genannt. Er übersetzt die Signale von SDH nach SONET und umgekehrt, wobei die Unterschiede gering sind.

Der wohl wichtigste ist der ADM. Der Add- und Drop- Multiplexer kann quasi als Autobahn- Auffahrt sowie Abfahrt betrachtet werden. Die kommenden Signale werden in den Doppelring eingespeist. Der nächste ADM schaut ob aus dem STM-N Rahmen ein Signal herausgenommen werden muss. Wenn nicht lässt er den Frame passieren. Andernfalls wird aus dem Rahmen das gewünschte Signal herausgefiltert und ein anderes Signal füllt den noch zu verbleibenden Platz. Danach geht der STM-N Rahmen zum nächsten ADM usw.

Das waren die Netzelemente. Jedoch stellt sich die Frage, warum die Netzelemente immer mit zwei Leitungen angeschlossen sind (Doppelring). Noch dazu bleibt es im Standby! Ist das nicht rausgeschmissenes Geld? Nein! Die Antwort ist simple. Der zweite Ring oder auch Protection Line genannt, ist eine Ersatzstrecke die gegenläufig ist. Sie wird erst dann aktiv wenn der primärer Ring ein Defekt haben sollte. Um den Defekt aber melden zu können, muss der Empfänger dem Sender mitteilen können, dass er in die Protection Line umschalten soll. Das sind eines der Gründe warum die gegenläufige Richtung ein Vorteil mit sich bringt.

Und die Verwaltung der ganzen Elemente? Dies ist auch genormt. Aber nicht so detailliert wie die anderen Dinge in der SDH. Lediglich die Schnittstelle vom Bediener PC (Terminal) zum Zentraleinheit des Gerätes ist die wichtigste Normung. Diese Normungen für Telecommunication Network Management System (Telekommunikations-Netzwerk Kontroll-system) ändern sich jedoch durch die Weiterentwicklung neuer Techniken für die SDH.

Folie 15: Next Generation SDH (NG-SDH)

Bei dieser Folie möchte ich darauf hinweisen, dass Virtual Container mit Virtual Concatenation verwechselt werden kann. Deshalb kurz erwähnt: Virtual Container ist z.B. VC12 und Virtual Concatenation ist die Verkettung mehrerer Virtual Container.

In der Next Generation SDH ist jetzt möglich, dass man die LAN-Geschwindigkeiten wie 10 Mbit/s durch Virtual Concatenation transportiert. Der wesentliche Unterschied zu Contiguous Concatenation ist der, dass bei Virt. Concat. die zusammengruppierten Virtual Container parallel, d.h. jeder Container der Virtuellen Gruppe kann über verschiedene Wege durch das Netz übertragen werden. Dabei muss man wie bei der IP-Welt aufpassen und Puffern damit die zu verschiedenen Zeiten angekommenen Virtual Containern keine Verzerrung ergeben. Das ist nicht nur mit Virtual Containern machbar, sondern auch mit STM-1 oder STM-N Signalen möglich.

Wie in der Folie erwähnt kann jetzt auch DVB gesendet werden.

FAZIT:

Allgemein über SDH sind verschiedene Meinungen vorhanden. Die einen sagen, dass SDH weiter bestehen bleibt. Und andere wiederum behaupten, dass DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) ablöst. Wieder andere meinen, dass SDH auf der OSI-Schicht 2 arbeiten wird. Wie dem auch sei, solange es noch mit Analog- bzw. ISDN-Verbindungen gesprochen wird, ist die SDH die Beste Lösung dafür.