

Kommunikations- und Netztechnik II
(Grundlagen der Telefon-Vermittlungstechnik)

Dozent : Dipl.-Ing. Hans Thomas

**Nachrichtentechnik
im Überblick**

	Seite
1 Nachrichtenaustausch	2
2 Elemente der Nachrichtennetze	3
3 Entwicklungsschritte der Technologien	
3.1 Übertragungsmedien	5
3.2 Übertragungstechnik	5
3.3 Vermittlungstechnik	7
3.4 Duplexbetrieb, Gabelschaltung	8
3.5 Rahmenstruktur bei PDH- und SDH-Technik	9
3.6 Sprachkodierung	10
4 Regulatorische Einflüsse	11
5 Standardisierung	16

Anhang mit 20 Bildern

1 Nachrichtenaustausch

Die Kommunikation zwischen den Menschen gilt als deren Grundbedürfnis schlechthin. Im letzten Jahrhundert haben sich aufgrund der technischen Entwicklung die Möglichkeiten zum Austausch von Nachrichten dramatisch verändert. Man spricht bereits in Anlehnung an den Begriff der Industriegesellschaft des 19. Jahrhunderts nun heute von der **Informationsgesellschaft**. Es besteht das Bedürfnis oder die wirtschaftliche Notwendigkeit, die verschiedensten **Formen von Nachrichten** und Informationen (Töne, Bilder, Daten) über große Entfernungen und möglichst schnell auszutauschen (**Bild 1-1**). Dem Anwender stellen sich die unterschiedlichen Nachrichtenformen insbesondere durch eine unterschiedliche Gestaltung der jeweils benutzten **Endgeräte** dar. Dahinter verbergen sich häufig technisch separate Netze, wobei es immer wieder das Bestreben ist, aus Kostengründen möglichst einheitliche, konvergente Netze für **alle** Formen von Nachrichten bereitzustellen.

Für die Übertragung von Informationen gilt dabei allgemein das **Grundmodell des Nachrichtenaustauschs** gemäß **Bild 1-2**. Üblicherweise kann die an der Quelle beim Teilnehmer A vorliegende **Nachricht** nicht in der Ursprungsform über größere Entfernungen übertragen werden. Vielmehr muss sie zunächst so **gewandelt** werden, dass sie über einen Übertragungskanal als **technisches Signal** optimal übertragen wird und dann beim Empfänger wieder zurückgewandelt wird. Eventuelle **Störeinflüsse** auf dem Übertragungskanal müssen dabei durch technische Vorkehrungen soweit minimiert werden, dass die Nachricht im Ziel (Senke) **möglichst unverfälscht empfangen** wird.

Über 100 Jahre lang bestand bei allen Formen der Sprachübertragung die optimale Übertragungsform darin, die an der Quelle vorliegenden **analogen Sprachsignale** in **elektrische analoge Signale** zu wandeln (**Bild 1-3**), um sie mittels geeigneter Verstärkung auch über große Strecken transportieren zu können.

Seit etwa 30 Jahren hat sich in nahezu allen technischen Bereichen der Sprach- und Tonverarbeitung nun das neue Prinzip der Wandlung in **elektrische digitale Signale** durchgesetzt. Man kann hier sogar ohne Übertreibung von einer "digitalen Revolution" sprechen. Zunehmend werden diese digitalen Signale heute jedoch nicht mehr als elektrische Wellen auf Kupferkabeln oder Funk, sondern vermehrt als **optische digitale Signale** in Glasfasern transportiert.

Die **Ausprägung des Übertragungskanals** hängt dabei neben der Nachrichtenform und der Vertraulichkeit oder Öffentlichkeit des **Nachrichteninhalts** auch stark von der Anzahl der angeschlossenen Sender / Empfänger und deren Bedürfnis auf

- **Verteilung** von Nachrichten
- **Sammlung** von Nachrichten
- **Vermittlung** von Nachrichten

ab (**Bild 1-4**). Nur als Sonderfall werden dabei stets dieselben festen Partner miteinander kommunizieren, in den meisten Fällen dagegen **wechselnde Partner**. Insbesondere bei der Nachrichtenübermittlung zwischen häufig wechselnden Partnern ist der Übertragungskanal als großes, vermaschtes Netz mit zusätzlichen **Vermittlungsfunktionen** ausgeprägt.

2 Elemente der Nachrichtennetze

Damit eine große Anzahl von Nutzern bedient werden kann, müssen diese üblicherweise über ein weitverzweigtes Netz miteinander verbunden werden. Um die Weiterentwicklung der einzelnen Netzelemente möglichst freizügig zu gestalten und dabei Wettbewerb zu ermöglichen, müssen standardisierte Schnittstellen zwischen diesen Elementen definiert werden. Dies führt zu einem allgemeingültigen

Kommunikationsmodell gemäß (**Bild 2-1**):

Zwei Benutzer wollen miteinander eine **Anwendung** durchführen und tauschen dazu bestimmte **Nachrichten** über das Kommunikations-**Netz** aus.

Die hierfür notwendigen Endeinrichtungen (**EE**) sind über eine vom Netzbetreiber oder der Aufsichtsbehörde exakt definierte **Netz-Schnittstelle** technisch in gleicher Weise an das Netz angeschlossen.

Im analogen Telefonnetz werden beispielsweise ab dieser Schnittstelle die Signale mit einer **Bandbreite von 3,1 kHz** übertragen und die Verbindungssteuerung mittels Gleichstrom-Schleifenkennzeichen durchgeführt.

Im digitalen ISDN-Netz werden stattdessen **64kbit/s-Kanäle** bereitgestellt und die Verbindungssteuerung mit dem digitalen Euro-ISDN-Protokoll durchgeführt.

Die **Benutzer-Schnittstelle** ist im Gegensatz zur Netz-Schnittstelle so gut wie gar nicht reglementiert und kann durch den Hersteller des Endgerätes beliebig gestaltet werden.

Im Interesse der Netzbetreiber (Kostengründe, Wettbewerb der Systemlieferanten) selber liegt es, **auch innerhalb der Netze** zwischen den einzelnen Einrichtungen technische Schnittstellen zu definieren, um weltweit die Netze mit unterschiedlichen Geräten gestalten zu können, die dann auch fehlerfrei zusammenarbeiten.

Je nach Betrachtungsweise können **Nachrichtennetze** nach den unterschiedlichsten Gesichtspunkten (Technik, Struktur, Dienste o.ä.) gegliedert werden (**Bild 2-2**).

Der Kunde sieht dabei zunächst nur die jeweiligen **Endgeräte** und die darüber angebotenen **Dienste** mit ihren ergänzenden Dienstmerkmalen. Die Telekom unterhält für die verschiedenen Dienste mehrere Netze (**Bild 2-3**):

Aus Kostengründen wäre es grundsätzlich zwar günstiger, möglichst nur ein **Universalnetz** zu haben; jedoch waren die Anforderungen zwischen einfachem Telefonieren, schneller Datenübertragung und der Verteilung breitbandiger Fernsehbilder bisher so unterschiedlich, dass für die verschiedenen Dienste **getrennte Netze** sinnvoll waren.

Mit der Einführung des **ISDN** (= *Integrated Services Digital Network*) wird eine solche **Dienste-Integration** zumindest für schmalbandige Dienste mit einem Bitratenbedarf bis 64 kbit/s erstmals ermöglicht.

Für Dienste mit höherem Bedarf an Bandbreite oder Übertragungsgeschwindigkeit (**Multimedia-Anwendungen**) wird es mittelfristig dagegen weiterhin getrennte Netze geben.

Die weitere technische Entwicklung mit **paketerorientierten Verfahren** sowie die Erweiterung des Internet-Protokolls (**TCP / IP**) mit entsprechenden Zusatzprotokollen zur Realisierung von Qualitätsparametern, wie z. B. das **Label Switching**

(MPLS), könnte langfristig ggf. aber zu einer Gesamtintegration für alle Kommunikationsbedürfnisse führen.

Bisher wurde diese Vision einer einheitlichen Netzplattform aber stets durch zukunftssträchtige, neue Verfahren und neue Bedürfnisse konterkariert. Trotzdem laufen gerade z.Z. alle Anstrengungen und Protokoll-Erweiterungen auf eine **Konvergenz der Netze** und der Dienste hin.

Jeder Teilnehmer ist mit seiner Endeinrichtung technisch über einen Netzanschluss (Dose) an das Netz angeschlossen. Das Netz besteht insgesamt aus den Hauptelementen (**Bild 2-4**)

- **Endeinrichtungen** (EE)
- **Übertragungswege**
 - * Anschlussleitungen (Asl)
 - * Verbindungsleitungen (VI)
- **Vermittelnde Knoten** (VK)

Wegen der unterschiedlichen Anforderungen wird darüber hinaus noch unterschieden zwischen dem

- **Access – Netz** → zum Anschluss der Teilnehmer
- **Backbone – Netz** → zum Transit im Fernbereich

Die **Trennstelle zum Netz** hat in den letzten Jahren besonders aus regulatorischer Sicht eine große Bedeutung gewonnen. Zu Zeiten des absoluten Telefonmonopols gehörten alle Endeinrichtungen mit zum Netz der Bundespost und konnten auch nur von ihr gemietet werden (*schwarze oder graue Einheitstelefone*), so dass die Trennstelle (Anschlussdose) für den Kunden damals ohne Bedeutung war. Der Markt für die Endstelleneinrichtungen wurde jedoch bereits ab etwa 1980 erheblich liberalisiert und nur noch die 1.Dose, die jetzt stets als **steckbare Dose** installiert wird, ist Bestandteil des Telekom-Netzes.

Als Endgeräte können heute alle Telefone und Zusatzgeräte problemlos angesteckt werden, sofern sie von einem lizenzierten Institut entsprechend geprüft und für diese Schnittstelle zugelassen sind.

Zur Bereitstellung der verschiedenen Dienste werden die technischen **Grundelemente** des Netzes möglichst **gemeinsam genutzt** und nur um **spezielle Dienstplattformen** ergänzt.

Dies lässt sich in einem **Schichtenmodell** (**Bild 2-5**) am besten darstellen.

Bei geeigneter Festlegung der Schnittstellen zwischen den Schichten können sich die einzelnen Elemente unabhängig von einander weiterentwickeln, wobei in größeren Zeiträumen selbstverständlich ähnliche Technologietrends (z.B. Digitalisierung, Prozessor-Steuerungen usw) bzw. gegenseitige Beeinflussungen erkennbar sind.

Die aktuell existierenden Dienste nutzen nahezu alle **gemeinsam** die physikalischen **Medien** und die **diensteneutrale Transmission-Plattform**. Die 3 Schichten erfüllen dabei im Wesentlichen die Hauptfunktionen gemäß **Bild 2-6**.

3 Entwicklungsschritte der Technologien

3.1 Übertragungsmedien

Da die wesentlichen Kosten in einem Nachrichtennetz durch die Übertragungswege (**Kabel oder Funk**) sowie den darauf eingesetzten Übertragungstechniken (**Ü-technik**) verursacht werden, gingen seit jeher auch von dieser Technik die wesentlichen Impulse für die übrigen Techniken aus, um in dem Netz insgesamt die Kosten für die Erbringung der Leistung, nämlich die Herstellung von Verbindungen, zu minimieren.

Die Entwicklung bzw. Erschließung völlig **neuer Übertragungsmedien** geschieht naturgemäß nur in ganz großen zeitlichen Sprüngen. Gemäß **Bild 3-1** sind nach dem Einsatz von **symmetrischen Kabeln** (*seit 1880*) und **Koaxial-Kabeln** (*ab 1960*) die **Glasfaser-Kabeln** (*seit 1990*) der letzte große innovative Schritt. Dies hat inzwischen die Struktur der bisherigen Netze gravierend verändert.

So sind die Weitverkehrsnetze heute bereits fast ausschließlich in Glasfaser-Technik und mit flacher Hierarchie realisiert, während im Anschlussbereich und teils im Ortsbereich die vorhandenen Kupferadern noch im großen Umfang weiter genutzt werden. Unter den Stichworten "Fibre to the Cabinet" (FTTC) und "Fibre to the Home" (FTTH) dringt aber auch im Access-Bereich, zumindest in den Ballungsgebieten und bei Großkunden, die Glasfaser-Technik bis zum Endkunden vor, um insbesondere hochbitratige Systeme für schnelle Daten- und Multimedia-Anwendungen zu ermöglichen.

Ebenso wurde im Funkbereich die Nutzung des **Frequenzspektrums** schrittweise in immer höhere Bereiche bis zu 30 GHz ausgeweitet. Heute deckt der Funkbereich bei den Weitverkehrsnetzen jedoch nur noch Nischenmärkte und Sonderbereiche ab. Lediglich im Access-Bereich erfolgt auf Grund des Booms beim Mobilfunk hier noch eine ständige Weiterentwicklung zu breitbandigen Funksystemen (z.B. UTMS).

3.2 Übertragungstechnik

Die auf diesen Medien eingesetzte Ü-technik hat als wesentlichen Entwicklungsschritt in den 50er Jahren die **Verstärkertechnik** hervorgebracht, mit der die Leitungsverluste (Dämpfung) kompensiert werden konnten, so dass praktisch unbegrenzt weltumspannende Netze möglich wurden. Da ein Verstärker nur 1 Verstärkungsrichtung haben kann, mussten alle Weitverkehrs-Übertragungswege (für Sprache und Signale) getrennt für die Hin- und Rückrichtung als sogenannte **4-Draht-Führung** ausgelegt werden (**Bild 3-2**).

Der zweite große Entwicklungsschritt war die Anwendung von **Multiplexverfahren**, um die teuren Medien optimal bis an ihre technischen Grenzen ausnutzen zu können. Diese **Mehrfachausnutzung** erfolgt

- bei analogen Systemen durch ein
Frequenz - Multiplex (**FDM = Frequency Division Multiplexing**)
- bei den heute üblichen digitalen Systemen durch ein
Zeit - Multiplex (**TDM = Time Division Multiplexing**)
- bei den optischen Systemen zusätzlich durch ein
Wellenlängen - Multiplex (**WDM = Wavelength Division Multiplexing**)
(*entspricht technisch einem Frequenz-Multiplex*)

Die **zeitliche Verschachtelung der Nachrichtenteile** beim TDM-Verfahren kann dabei, so wie in der PCM-Technik, exakt regelmäßig (**synchron**) sein oder aber wie bei dem neueren ATM-Verfahren unregelmäßig (**asynchron**) erfolgen.

Die ebenfalls der Mehrfachausnutzung dienenden Systeme mit **Sprachpausen-Ausnutzung** sind technisch sehr aufwendig und werden nur **in Sonderfällen** und auf besonders langen und teuren, zumeist internationalen Leitungen eingesetzt. Sie erreichen statt dem Wert 2:1 beim historisch ältesten TASI-Verfahren heute bei Einsatz von digitaler Technik (**DCME**) einen Leitungsgewinn von bis zu **8:1** und ggf. noch mehr.

Zusatzmaßnahmen bzgl. der **Entzerrung von Laufzeiten** sind ebenfalls auf Sonderfälle beschränkt, und zwar bei besonders breitbandiger Ausnutzung der Medien, insbesondere bei der Datenübertragung.

Das gleiche gilt für die Verhinderung von eventuell störenden **Echos** auf Grund von Gabelschaltungen, deren Nachbildungen üblicherweise ungenau sind. Hier muss die Gesamtlaufzeit einer Verbindung schon **größer als 50 ms** sein, um ein entstandenes Echo beim Sprachverkehr **als störend** zu empfinden.

Es wurden deshalb **bisher** nur Maßnahmen bei besonders langen Verbindungen ($>> 1\,000\text{ km}$) , und somit zumeist nur im interkontinentalen Verkehr, nötig sowie selbstverständlich bei Satellitenverbindungen.

Aufgrund spezieller Gegebenheiten bei der Codierung in den neuen digitalen Funknetzen muss wegen der daraus resultierenden üblichen Laufzeit von bis zu 90 ms ebenfalls stets eine **Echokompensation** erfolgen.

Ein weiterer Grund für eine regelmäßige Echokompensation ist inzwischen, dass dies in Form von 1-Chip-Prozessoren sehr billig bereitgestellt werden kann und deshalb auch bei kurzen Entfernungen (z.B. ISDN-Anschlussleitung) prophylaktisch eingesetzt wird.

Die Möglichkeiten der **Multiplexbildung** führten sowohl bei der analogen als dann auch bei der digitalen Ü-technik zu entsprechend **genormten Hierarchiestufen** (*in Europa und USA z.T. unterschiedlich*), welche die Medien, abhängig von den technologischen Möglichkeiten und der Schnelligkeit neuer Bauelemente, bis zu den maximal möglichen Frequenz- und Zeitbereichen ausnutzen (**Bild 3-3**).

Durch immer schnellere und leistungsfähigere Bauelemente können mittlerweile bis zu 256 solcher STM 1 in ein 40 Gbit/s-Signal, welches erst nach mehreren 100 km einen optischen Verstärker benötigt, gemultiplext werden. Im Bedarfsfalle können über die Pointer die STM1-Übertragungskapazitäten allerdings auch zu größeren Breitbandsignalen verkettet werden (*concatenated*).

Diese Übertragungstechniken können auf den heute verwendeten Kabel- und Funksystemen bis zu den in **Bild 3-4** angegebenen Grenzwerten eingesetzt werden.

Insgesamt ist die in allen Technikbereichen seit Jahren feststellbare Abkehr von der Analogtechnik hin zur **Digitaltechnik** auch bei der Telekommunikationstechnik vollzogen worden. In Deutschland ist inzwischen das gesamte Netz (*Ausnahme sind einzig die Anschlussleitungen Analoger Teilnehmer*) vollständig digitalisiert. Dieser Trend hat erhebliche Auswirkungen hinsichtlich einer verbesserten Qualität, höherer Geschwindigkeiten sowie der Bereitstellung **neuer Dienstmerkmale** für die Kunden und die Netzbetreiber.

3.3 Vermittlungstechnik

Bei der **Vermittlungstechnik** führten die **technologischen Weiterentwicklungen** von der Handvermittlung des Jahres 1888 über die direkt gesteuerten Systeme mit analog durchschaltenden Wählern bis zu den heutigen rechnergesteuerten Vermittlungssystemen mit digital durchschaltenden Koppelnetzen (**Bild 3-5**).

An der Schnittstelle zwischen Übertragungs- und Vermittlungstechnik wird ein **Kostenminimum** dann erreicht, wenn möglichst **wenig Anpassungsaufwand** erforderlich ist. Aus diesem Grunde hat sich die Vermittlungstechnik während der letzten Jahrzehnte stets den Neuerungen bei der Übertragungstechnik angepasst, um z.B. 4-drähtig ankommende Leitungen **ohne Umsetzung** auch gleich über 4-Draht-Wähler durchzuschalten. Das gleiche gilt auch für die heute üblichen digitalen PCM-Leitungen mit 2 Mbit/s, die an die neuen digitalen Vermittlungssysteme (DIV) ohne jede Umsetzung **direkt angeschlossen** werden können. Die Trennung in die einzelnen 64 kbit/s-Nutzkanäle erfolgt erst in den Eingangs-Baugruppen der DIV-Technik. Für den Vermittlungsvorgang besitzt diese ein entsprechendes Zeitvielfach-Koppelnetz, um die einzelnen 64 kbit/s Zeitkanäle blockierungsfrei durchzuschalten.

Auf Grund der technologischen Entwicklung der Einzelelemente haben sich die **Vermittlungssysteme in Deutschland** in den letzten 100 Jahren insgesamt gemäß **Bild 3-6** weiterentwickelt.

Mit dem Einsatz von elektronischen Bauelementen, insbesondere aber von zentralen Rechnern sowie von Mikroprozessoren, können **für die Kunden** eine große Zahl **zusätzlicher Leistungsmerkmale** integriert werden.

Für den Netzbetreiber konnten die Möglichkeiten der alternativen Verkehrslenkung und vor allem der **Administrierung der Netzelemente** erheblich verbessert werden, was zu einer besseren Qualität und zu höheren Auslastung des Netzes führt und die Preise für Telekommunikations-Dienstleistungen senkt.

3.4 Duplexbetrieb, Gabelschaltung

Zum besseren Grundverständnis sollen einige **übertragungstechnische Grundbegriffe**, die auf die Gestaltung der Vermittlungstechnik wegen der unmittelbaren Schnittstellen einen großen Einfluss haben, besonders erläutert werden:

- Simplex- / Duplexbetrieb
- 2-Draht-Übertragung
- 4-Draht-Übertragung
- Gabelschaltung

Es erscheint heute jedem selbstverständlich, dass er ein Telefongespräch **duplex** führt, das bedeutet, dass der Teilnehmer A (TIn A) und der Teilnehmer B (TIn B) **zu jeder Zeit** sowohl sprechen als auch hören kann, und damit ein **Gegensprechen** möglich ist.

Dies erfordert gemäß **Bild 3-7** jedoch eine durchgehende **4-Draht-Verbindung** , also getrennte elektrische Wege für die **Vorwärts- und Rückwärtsrichtung** der Sprechwege und der Steuerungsinformationen. Aus Kostengründen wäre dies aber gerade im Bereich der millionenfach notwendigen Anschlussleitungen sehr teuer.

Die aus der Funktechnik (Walkie-Talkie) bekannte **manuelle Umschaltung** zwischen **2 Simplexverbindungen** kommt zwar mit einer **2-Draht-Verbindung** aus, ist jedoch äußerst unkomfortabel und für Massendienste ungeeignet.

Um diesen " Umschaltvorgang " zu automatisieren, wird in allen Telefonapparaten und im früheren analogen Telefonnetz beim Übergang vom Access-Bereich (Ortsnetz) zum Backbone-Bereich (Fernnetz) eine **Gabelschaltung** eingefügt, um zumindest im Ortsnetzbereich mit einer 2-Draht-Verbindung auszukommen. Auch bei ISDN-Teilnehmern bleibt die Anschlussleitung weiterhin zweidrahtig und erfordert eine Gabelschaltung.

Eine solche Gabel erlaubt auf einer 2-Draht-Leitung **gegenläufige Signalflüsse** gemäß **Bild 3-8** und "simuliert" somit praktisch eine 4-drahtige Verbindung. Die Vor- und Rückwärtsrichtung wird in der Gabel in Form eines Differential-Übertragers (Vierpoltheorie) entsprechend aufgeteilt.

Bei **exakter Nachbildung** der Leitung ist die Gabel auch exakt im Gleichgewicht und es entsteht keinerlei Rückfluss zur Senderichtung sondern lediglich ein Verlust von je 3,5 dB.

Bei einer **ungenauen Nachbildung** (*nicht exakt an Wellenwiderstand der Leitung angepasst*) wird dagegen ein kleiner Teil des ankommenden Signals in die Rückwärtsrichtung zurückgegeben und ist im Ursprung (*abhängig von der Dämpfung des Echos*) ggf. als **störendes Echo** zu hören. Aus Aufwandsgründen wurde bisher immer nur eine **Kompromiss-Nachbildung** (*ganz früher ein 600 Ω Widerstand, später ein 620 Ω Widerstand parallel zu 33μF Kondensator*) eingesetzt.

In der Praxis stört ein Echo allerdings nur bei **Signal-Laufzeiten > 50 ms** und somit in Deutschland nur bei langen, interkontinentalen Verbindungen über mehr als 1 000 km. Ein solches Echo wurde deshalb üblicherweise nur im internationalen Telefonverkehr bekämpft.

Anfangs wurden hierzu einfache **Echosperren** (*jeweils nur 1 Richtung, und zwar die lauteste, wird geöffnet*) eingesetzt. Wesentlich besser wird seit Jahren je-

doch eine adaptiv arbeitende **Echokompensation** (*gegenphasige Einspeisung des erkannten Echosignals*) vorgenommen.

Nach der vollständigen Digitalisierung des Telefonnetzes wird heute bereits **ab der Teilnehmer-Vermittlungsstelle** (TVSt), und nicht wie früher erst ab der Knoten-Vermittlungsstelle (KVSt) des Fernnetzes, **generell 4-drähtig** im Netz **übertragen** und in den VSt auch **4-drähtig durchgeschaltet**.

Lediglich auf der weiterhin benutzten 2-drähtigen Anschlussleitung muss daher an beiden Enden (*analoger Telefonapparat bzw. NT bei ISDN-Anschlüssen sowie in der Teilnehmer-Vermittlungsstelle*) weiterhin eine Gabelschaltung eingesetzt werden. Inzwischen können diese Gabeln jedoch auch elektronisch (IC-Baustein) realisiert werden und werden dann anstatt einer Kompromiss-Nachbildung mit einem Echokompensations-Verfahren (vgl. Kapitel "Schmalband ISDN") ausgestattet.

3.5 Rahmenstruktur bei PDH- und SDH-Technik

In den **übertragungstechnischen Knoten** konnten die Verbindungsleitungen bis Anfang der 90er Jahre ausschließlich hardwaremäßig an Verteilern fest zusammengeschaltet werden (gelötet oder gewrappt) oder es mussten im Rahmen der sogenannten

Plesiochronen Digitalen Hierarchie (PDH)

die in einer bitweisen, **festen Rahmen-Struktur** ankommenden Multiplexströme stufenweise demultiplext werden, sofern einzelne Teile von ihnen in anderer Zusammensetzung zu **neuen** Multiplexströmen zusammengefasst werden sollten. Dies ergab praktisch ein **starres Übertragungsnetz**, bei dem einzelne Kanäle oder Kanalgruppen aus dem Übertragungsstrom nur durch vollständiges Demultiplexen aller Hierarchiestufen (*und damit nur zu hohen Kosten*) herausgelöst werden konnten.

Die kleinste Transporteinheit bei der PDH-Technik ist ein **2 Mbit/s-Signal**. Hierbei werden die 8-bit breiten Worte aus 31 Nutzkanälen gemäß ITU-T G.703 mit dem zusätzlichen Kanal 0, der der Synchronisation und Rahmenerkennung dient, zu **32 Kanälen** verschachtelt (**Bild 3-9**). Nach **125 µs** wiederholt sich jeweils der Rahmen der Rahmen, so dass pro Sekunde 8 000 Abtastwerte übertragen werden. Trotz der verwirrenden Namensgebung ist der Bitstrom auch bei der PDH-Technik **exakt synchron**, um die jeweils zugehörigen Zeitschlitze auch exakt zuordnen zu können.

Erst seit Anfang der 90er Jahre gibt es eine neue Technik, die sogenannte

Synchrone Digitale Hierarchie (SDH)

die deutlich erweiterte Leistungsmerkmale aufweist, indem die starre Rahmenstruktur durch eine **adressierbare Container-Struktur** ersetzt wurde.

Die kleinste standardisierte Transporteinheit bei SDH stellt ein **STM 1** (*Synchronous Transport Modul 1*) mit **155 Mbit/s** dar. In dessen Container 4 (C 4) können bei Bedarf auch andere, kleinere Übertragungsströme, wie sie aus den Hierarchiestufen des PDH-Technik bekannt sind, unter Ergänzung von Stopfbits als payload hinein "**gemappt**" werden.

Neben dem Transport der Nutzlasten in den (virtuellen) Containern stellt die SDH-Technik auch zusätzliche Übertragungskapazitäten (9x9 Byte Overhead je STM 1-Rahmen) für allgemeine **Management-Aufgaben** bereit (**Bild 3-9**).

Mit den neuen Netzelementen **Crossconnector**, die über ferngesteuerte, schaltbare Koppelfelder verfügen, lassen sich auch die aus der PDH-Technik bekannten Digitalsignalverbindungen (2Mbit/s und höher) direkt und, abhängig von der "Koppelnetzgröße", herausnehmen oder einfügen. Damit lässt sich erstmals auch in den Übertragungstechnischen Knoten, so wie bei der Vermittlungstechnik schon immer, eine Art "Vermittlungsvorgang" für einzelnen Kanäle oder ganze Kanalgruppen durchführen. Eine vereinfachte Form der Crossconnectoren stellen die **Add-Drop-Multiplexer** (ADM) dar, die nur größere Übertragungspakete, nämlich vollständige Container, ein- und auskoppeln können.

3.6 Sprachkodierung

Ein **analoges Sprachsignal** kann grundsätzlich nach unterschiedlichen Verfahren **digitalisiert und codiert** werden. Üblich ist es, jeweils 8-bit-breite Worte zu verwenden. Heute können selbst aufwendige Codier-Algorithmen in speziellen Digitalsignalprozessoren (**DSP**) realisiert werden und erbringen entweder eine verbesserte Qualität oder bei gleicher Qualität geringere Datenraten. Die bekanntesten Codec-Empfehlungen zur **digitalen Darstellung von Sprachfrequenzen** sind im **Bild 3-10** zusammengestellt.

Die älteste und üblichste Codierung benötigt 64 kbit/s und wird fast ohne Codec-Delay realisiert. Je komplizierter die Codiervorgänge sind, desto längere Delays entstehen (*auf Grund der Rechenzeiten für die Codier-Algorithmen*), die dann zwingend eine Echokompensation erfordern, wenn das Gesamt-Codierungs-Delay > 50 ms wird.

Der sogenannte **MOS-Faktor** (*Mean Option Score*) als **subjektives Maß** der **Sprachqualität** (*gemäß ITU-T P.800*), sinkt von seinem Bestwert 5 (*codierte Nachricht und Originalnachricht sind exakt gleich gut*) in Abhängigkeit der Komplexität des Codiervorganges erheblich ab.

4 Regulatorische Einflüsse

Neben den rein technischen Aspekten bei der **Weiterentwicklung der Netze**, wie zum Beispiel:

Folie 4-0

- Digitalisierung der Übertragungsstrecken
- Nutzung von Glasfasern mit hochbitratigen Übertragungs-Systemen
- Digitalisierung der Vermittlungssysteme und der Zeichengabe
- Einsatz von Betriebsrechnern für Netzmanagement-Aufgaben

kommen seit mehreren Jahren auch viele Einflüsse aus dem politischen Umfeld hinzu. Diese stehen **weltweit** unter den Stichworten:

Folie 4-1

- **Verzicht auf bisherige Monopole** der Postverwaltungen
- Abkehr von dem früheren Gedanken der staatlichen Daseinsvorsorge (**Infrastrukturauftrag**) mit
 - * Anschlusszwang
 - * Flächendeckung
 - * einheitlichen Tarifen
- **Einführung von Wettbewerb**
 - * bei den **Endgeräten**
 - * bei **Service-Dienstleistungen** (Mehrwertdienste, Mobilfunk, Auskunft usw)
 - * Zulassung neuer Verbindungsnetz-Betreiber für **Ferngespräche**
 - * Zulassung neuer Teilnehmernetz-Betreiber für **Anschlüsse und Ortsgespräche**
 - * durch Auflagen an den marktbeherrschenden Carrier, den Wettbewerbern **kostengünstige Vorleistungen** bereitzustellen

Im Vergleich zu anderen Ländern hat diese Entwicklung in Deutschland sehr spät eingesetzt. Erst im Rahmen der sogenannten **Postreform I** (Juni 1989) und der **Postreform II** (Februar 1994) haben sich die gesetzlichen Rahmenbedingungen erheblich verändert. Die offensichtlichste Veränderung war die Dreiteilung der früheren Deutschen Bundespost. Für den Teil der Telekommunikation ist die Umwandlung der Telekom von einer Behörde (Mitspracherecht der Regierung und der Legislative und der Parteien, öffentliches Dienstrecht usw.) in eine **Aktiengesellschaft** der notwendige Schritt, um gegen die internationale Konkurrenz auf diesem Markt bestehen zu können.

Dieser Umgestaltungsprozess wird insbesondere auch durch progressive Vorstellungen der EU-Kommission vorangetrieben, die schon 1990 zur Öffnung des europäischen Binnenmarktes die Richtlinie 90/387/EWG erließ, nach der ein offener Netzzugang (**ONP = Open Network Provision**) angestrebt wurde.

Bereits in den 80er Jahren wurden die Bereiche der Endgeräte sowie die Daten- und Mehrwertdienste zunehmend **dereguliert** und in den freien Wettbewerb überführt. Zusätzlich wurden die bisherigen Gesetze

Folie 4-2

FAG = Fernmeldeanlagen-Gesetz von 1928

TWG = Telegraphenwege-Gesetz von 1899

die vor allem ein **Monopol des Staates** bei den

- Netzen
- Telefondiensten
- Funkdiensten

beinhalteten, vollständig aufgegeben. Grundlage des neuen ordnungspolitischen Rahmens ist nun das

TKG = **Telekommunikations-Gesetz** vom 1.8.1996.

Folie 4-3

Im TKG sind insbesondere die Grundsätze bei der **Vergabe von Lizenzen** sowie die **Grundprinzipien der Entgelt-Regelungen** für marktbeherrschende und für fremde Dienstleistungen festgelegt.

Aus dem früheren TWG ist lediglich noch die kostenlose Verlegung von Kabeln in öffentlichen Wegen (§ 50 TKG) erhalten geblieben. Hier gibt es die bekannten Einwände der Gemeinden, die sich hier eine neue Einnahmequelle erschließen wollen.

Folie 4-4

Als Aufgaben für den Staat im Rahmen einer neu eingerichtete **Regulierungsbehörde (Reg TP)** verbleiben jetzt nur noch:

- die **Überwachung** des Wettbewerbs
- die **Zuteilung** von Lizenzen (4 verschiedene Lizenz-Klassen)()
- die Überwachung der Lizenzauflagen
- die Überwachung von Qualitätsparametern
- die **Verwaltung** des Rufnummernraumes
- die Verwaltung von Frequenzen
- die **Genehmigung** von Preisen für
 - Universaldienstleistungen
 - marktbeherrschende Dienstesegmente
 - Vorleistungen der marktbeherrschenden Carrier
- Entscheidungen in " **Beschlusskammern** "

Durch die Wettbewerbssituation sind nun plötzlich die **Rufnummern** und die **Frequenzen** zu einer knappen Ressource geworden, die bedarfsgerecht zwischen den Netzbetreibern aufgeteilt werden müssen, und zwar so, dass die bisherige Nutzung möglichst ohne große Änderungen und Kosten weiter erfolgen kann, neue Wettbewerber nicht beeinträchtigt werden und die Regulierungsbehörde noch Einnahmen erzielt (z.T. neuartiges Verfahren mittels Versteigerung).

Folie 4-5

Um den Wettbewerb wirkungsvoll zu fördern, wird von der Regulierungsbehörde eine sogenannte "**asymmetrische Regulierung**" vorgenommen, die je Dienstesegment den jeweils **marktbeherrschenden Anbieter** erheblich einschränkt. Dies geschieht insbesondere durch Preisregulierungen in Form von "**Price-Cap-Vorgaben**" oder

dem Zwang, Tarifänderungen bei der Reg TP als "**Tarifanträge mit Kostennachweisen**" genehmigen zu lassen.

In Ergänzung und Präzisierung des übergeordneten Telekommunikations-Gesetzes (TKG) gibt es entsprechend weitere, technisch zum Teil schwierig und kostenintensiv zu erfüllende Vorschriften. Es sind dies vor allem die:

Folie 4-6

- NZV** = **Netzzugangs** - Verordnung
TKV = Telekommunikations – **Kundenschutz** - Verordnung
 (von 01.1998)
TDSV = Telekommunikations – **Datenschutz** - Verordnung
 (von 1996 und 12.2000)

Speziell für die Telekom als Nachfolger der bisherigen Monopol-Post gibt es die Zusatzverpflichtung, gemäß der

TUDLV = Telekommunikations – **Universaldienst** - Verordnung

weiterhin flächendeckend eine Art "Grundversorgung" mit einem definierten Bündel von einfachen TK-Leistungen bereitzustellen.

Im Rahmen der **NZV** haben die **Wettbewerber** von öffentlichen TK-Dienstleistungen untereinander eine Verpflichtung bzw. einen Anspruch auf:

Folie 4-7

- Gegenseitige **Netz-Zusammenschaltung** (**Interconnection**)
 (*Pflicht aller Carrier*)
- Netzzugang zu allen Telekommunikations-**Dienstleistungen**
 (*nur Pflicht des marktbeherrschenden Carriers gegenüber seinen Mitbewerbern*)
 - realisiert durch allgemeine Anschlüsse
 - realisiert durch besondere Netzanschlüsse für lizenzierte Carrier
 - * ggf. sogar durch **Kollokation** (Zugang zu den Betriebsräumen)
 - * Vorleistung muss **entbündelt** sein (z.B. „nackte“ Anschlussleitung)

Der "entbündelte Teilnehmerzugang" (LLU = *Local Loop Unbundling*) erlaubt es dem Konkurrenz-Carrier, auf der vorhandenen und der Telekom gehörenden Kupferader dennoch eigenständige Technik zu installieren und damit ggf. höherwertige Dienste anzubieten.

Von besonderer Schwierigkeit und z.T. umstritten sind dabei die Festlegungen und Überprüfungsverfahren bzgl. der Höhe der "**diskriminierungsfreien Entgelte**" für die Nutzung solcher **Vorleistungen** und Netzanschlüsse durch den jeweiligen Konkurrenz-Carrier. Hier kommt es häufig zu Widersprüchen oder gar Gerichtsprozessen. Letzt endlich legt dann der Regulierer diese Entgelte fest.

Dies sind aktuell z.B.

*47,57 € für die Nutzung einer **Telefon-Anschlussleitung** oder 2,43 €/Monat für **Line Sharing** auf einer Anschlussleitung*

1,66 bis 2,4 Cent/min Einzugsbereichs abhängig am Tage (nachts jeweils um 33% reduziert) für die Durchleitung von Telefongesprächen im **Fernverkehr** zu anderen Festnetzen

1,7 | 1,3 Cent/min (tags | nachts) als Vorleistung bei **Ortsgesprächen** im Carrier Selection-Verfahren

14,9 bis 20 Cent/min für die Durchleitung **zu Mobilfunknetzen**.

Die vom Wettbewerbs-Carrier zu zahlenden Preise für die Vorleistung bzw. die Durchleitung oder Interconnection sollen dabei die von dem anderen Carrier erbrachten Netzkosten abdecken. Denn im Fall eines Ortsgesprächs erbringt beispielsweise der Wettbewerbs-Carrier lediglich den Durchlauf durch seine eigene Vermittlungsstelle zum Zwecke der Tarifierung. Er hat dagegen zumeist keinerlei eigene Leitungskosten.

Folie 4-8

Im Rahmen des TKG bzw. der **TKV** haben die **Kunden** einen Anspruch auf:

- freie Wahl des Verbindungsnetz-Betreibers für **Ferngespräche**
 - durch dauernde Voreinstellung in der TVSt (**Preselection**)
 - durch zusätzliche Wahl der Carrierkennzahl (**Call-by-Call** , CbC)
- freie Wahl des Teilnehmernetz-Betreibers für den **Telefonanschluss**
- freie Wahl des Netzbetreibers für **Ortsgespräche**
(seit Juli 2003 neben Call by Call auch als Preselection)
- **Rufnummern-Portabilität** (= Netzbetreiber-Portabilität)
(Beibehalten der Rufnummer beim Wechsel zu einem anderen Teilnehmernetz-Betreiber, seit 10.2002 auch für Mobilfunknetze)
- **Geografische Portabilität**
(bisher nur innerhalb von Ortsnetzen realisiert)
- **Zugang** zu Auskunfts- und Unterstützungsdiensten
- Telefonabrechnung mit EVN (= **Einzelverbindungs nachweis**), auch mit Entgelten für andere Anbieter
- vorgebbares maximales Monatsentgelt (*geplant*)
- Messung und Bekanntgabe von **Qualitätskennwerten**
- Eintrag in einem **Telefonbuch** (Verzicht möglich)
- Anspruch auf 1 regionales Telefonbuch

Ein Teil dieser kundenfreundlichen Vorgaben widersprechen sich jedoch im Einzelfall. So geht für die Kunden die **bisherige Preistransparenz** (Teilnehmerverhältnis und Preise gekoppelt an jeweilige Carrier-Kennzahl) natürlich verloren, wenn auf Grund der Rufnummernportabilität nicht mehr im Vorhinein erkennbar ist, an welchem Netz der Angerufene tatsächlich angeschlossen ist.

Beginnend bei den Mobilfunknetzen (*als nicht regulierte Mehrwertdienste eingestuft*) hatten sich in den 90er Jahren bereits 3 Netzbetreiber neben der Telekom etabliert. Mit der Aufhebung der letzten Monopole zum 1.1.1998 (sowohl bei den Übertragungswegen als auch bei der Vermittlung von einfacher Sprache) werden auch im

Festnetzbereich neue Netzbetreiber oder zumindest Dienste-Anbieter das Marktangebot vergrößern.

Folie 4-9

Die Unverletzlichkeit der Privatsphäre und damit auch die gesamte Telekommunikation gehört im Rahmen einer freiheitlichen Grundordnung zu den besonders geschützten Gütern. Entsprechend ist dieses Recht auch im Grundgesetz in Artikel 10 als **Post- und Fernmeldegeheimnis** verankert. Dies kollidiert jedoch mit den berechtigten Interessen des Staates zur Abwehr oder Aufdeckung von Verbrechen. Aus diesem Grunde ist die Möglichkeit zur **Überwachung des Telekommunikationsverkehrs** (*Legal Interception*) auch gesetzlich streng geregelt (in Deutschland: G10, StPO § 100 und TKG § 88 ; in USA: CALEA-Gesetz) und kann nur durch einen Richter angeordnet werden.

Zur praktischen Durchführung müssen die Netzbetreiber an ihren Teilnehmer-Vermittlungsstellen den autorisierten Personen der Sicherheitsbehörden die technischen Möglichkeiten zum Abhören von Gesprächen (nach Inhalt) bzw. die technischen Daten einer Verbindung bereitstellen. Die Anforderungen hierfür sind in der

TKÜV = Telekommunikations – **Überwachungs** – Verordnung

präzisiert. Für digitale Techniken ist die Realisierung technisch zum Teil recht schwierig und kompliziert. Sie kollidiert zudem mit den individuellen Bedürfnissen und Möglichkeiten, für besonders schützenswerten Informationsaustausch auf User-to-User-Basis eigene Verschlüsselungsverfahren zu verwenden oder bei offenen Funk-schnittstellen (schnurlose Handgeräte, Mobilfunk-Handys, Wireless LAN u.ä.) bereits vom Netz her generell einen Abhörschutz zu implementieren.

5 Standardisierung

Die technische Voraussetzung für die Liberalisierung und für mehr Wettbewerb ist eine konsequente **internationale Standardisierung**, die Offenlegung der **Schnittstellen** und der **gegenseitige offene Netzzugang** im Rahmen der Vereinbarungen von Open Network Provision (**ONP**).

Diese Vorarbeiten werden insbesondere in den Standardisierungsgremien

Folie 5-1

- **ITU-T** = International Telecommunications Union - Telecommunication Standardisation Sector (*früherer Name CCITT*)
- **ETSI** = European Telecommunications Standards Institute (*Vorläufer CEPT*)
- **ANSI** = American National Standards Institute

erbracht. Hier arbeiten nicht nur die bisherigen Fernmeldeverwaltungen mit, sondern auch die großen Hersteller, so dass über die Normungsarbeit naturgemäß zum Teil auch Industriepolitik betrieben wird.

Die Empfehlungen (**Rec** = *Recomondation*) der ITU-T werden innerhalb von 4-jährigen Studienperioden erarbeitet und veröffentlicht. Die einzelnen Serien werden mit Buchstaben und durchlaufender Nummerierung gekennzeichnet.

Neben diesen seit langem etablierten Gremien werden neuerdings auch Produkt und Hersteller getrieben sogenannte **Foren** eingerichtet, um über gemeinsame Absprachen (je nach Erfolg dann ggf. "Quasi-Standard") kurzfristig Neues am Markt durchzusetzen.

Trotz dieser Bemühungen um frühzeitige Standardisierung kommt es immer wieder vor, dass gerade die frühzeitigen, marktgetriebenen Festlegungen von ANSI von den späteren internationalen ITU-T Empfehlungen abweichen und wegen der faktischen Marktverhältnisse teure **Konvertierungen und Anpassungen** erforderlich sind (*PCM 24 statt PCM 30, SONET statt SDH, PCS statt GSM-Mobilfunkstandard*).

Im Bereich des Internet wird, anders als bei der klassischen Technik, eine sehr schnelle und flexible und häufig firmengetriebene Weiterentwicklung im Rahmen der

- **IETF** = Internet Engineering Task Force

erreicht, indem hier Dokumente mit neuen Vorschlägen eingereicht und veröffentlicht werden und jedermann zu einem zeitlich begrenzten **RFC** = *Request for Comment* aufgefordert wird. Der so entstandene und ggf. modifizierte Vorschlag wird dann kurzfristig als RFC-Dokument zu einem Quasi-Standard führen, sofern sich viele Hersteller und Produkte daran halten.