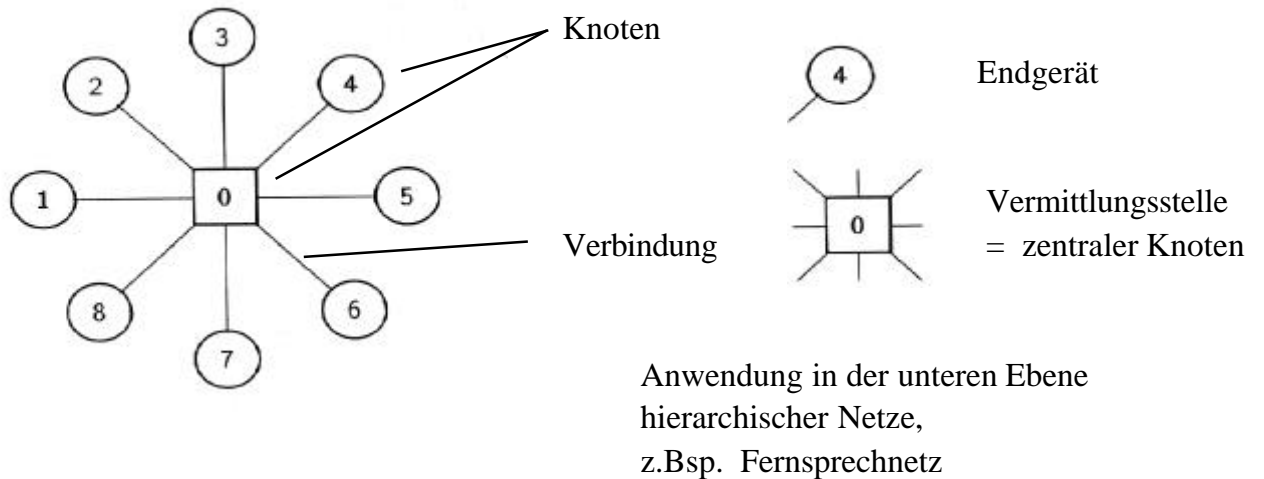


2.) Beispiele zu nachrichtentechnischen Systemen

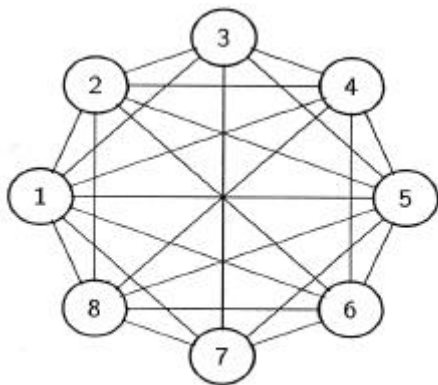
2.1) Das Fernsprechnet in Deutschland

2.1.1) Strukturen von Netzen

Sternnetz, Beispiel mit acht an den zentralen Knoten angeschlossenen Knoten /Haaß/



Maschennetz, Beispiel mit acht Knoten /Haaß/

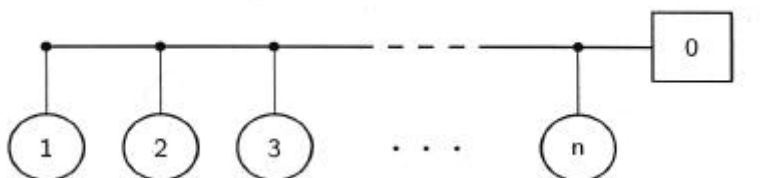


Maximale Anzahl der Verbindungen:

$$\frac{n(n-1)}{2}$$

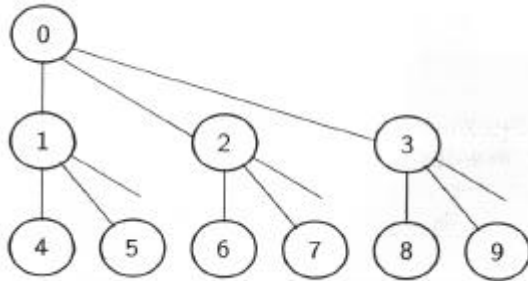
Anwendung in höheren Ebenen hierarchischer Netze, nicht immer vollständig

Liniennetz, Busnetz /Haaß/



a) mit zentraler Bussteuerung, hier der Knoten 0, z.Bsp. IEC-Bus

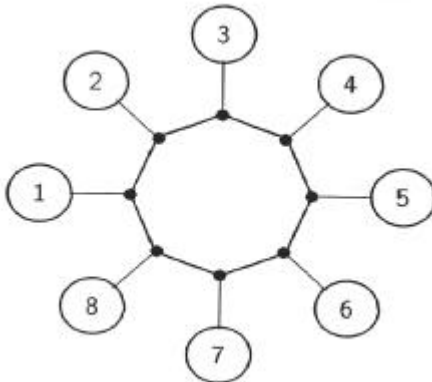
Baumstruktur /Haaß/



Knoten 0 = Wurzel
hat Sendefunktion, alle anderen Knoten haben
Empfangs- oder Regeneratorfunktion

Anwendung in Verteilnetzen,
z.Bsp. Kabelfernsehen, Rundfunk, Ansagedienste

Ringnetz /Haaß/



Bussteuerung erfolgt

- a) zentral gesteuert mit gemeinsamer Zeitbasis, die Informationen werden im vorgegebenen Zeitraster über den Bus versendet
- b) dezentral ohne gemeinsame Zeitbasis, der Buszugriff wird durch ein festgelegtes Zeichen, das Token, von einem Knoten zum nächsten weitergereicht

2.1.2) Hierarchische Struktur des Fernsprechnetzes

(A) Die ehemalige Struktur des Netzes der Deutschen Telekom AG, wie sie in der Zeit des rein analogen Betriebes entstand, war eine hierarchische Baumstruktur. Die *Verkehrslenkung* erfolgte auf dem *Kennzahlweg* von der Ortsvermittlungsstelle des rufenden Teilnehmers über Knoten- und Hauptvermittlungsebene bis hoch in die Zentralvermittlungsebene und wieder hinab in die Ortsvermittlungsebene des gerufenen Teilnehmers. Bei hohem Bedarf wurden verkürzende Querverbindungen dauerhaft eingerichtet.

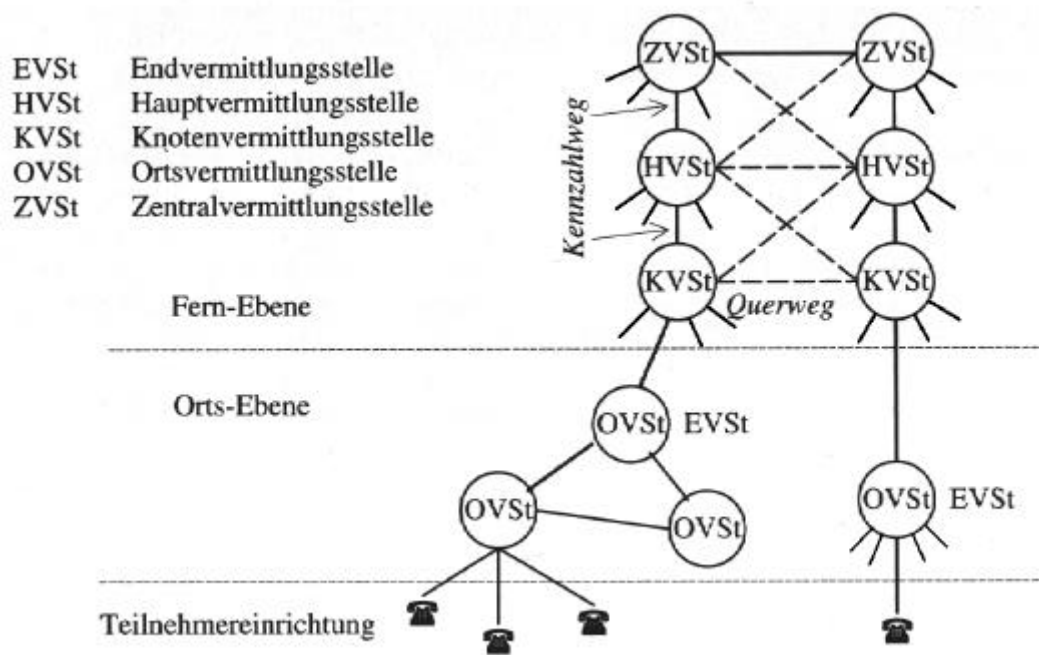


Bild 2-6 Hierarchische Struktur von Fernsprechnetzen mit Kennzahlwegen nach /Wer, Netze/

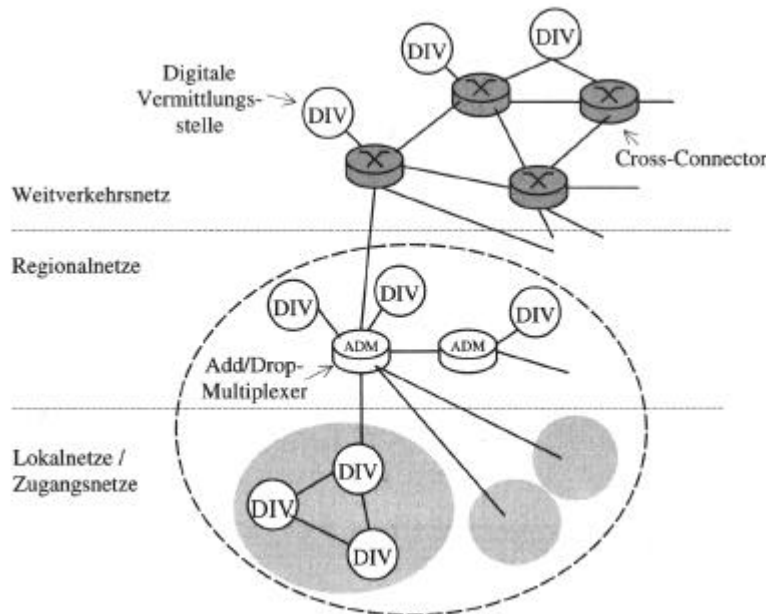
Die Zentralvermittlungsstellen in der obersten Ebene waren in einem Maschennetz verbunden. Acht davon waren für Auslandsverbindungen eingerichtet. Die erste Wählziffer führte direkt in die zugeordnete Zentralvermittlung (soweit keine Querverbindung genutzt wurde).

Kennzahl	ZVSt-Bereich	Kennzahl	ZVSt-Bereich
2	Düsseldorf	6	Frankfurt a. M.
3	Berlin	7	Stuttgart
4	Hamburg	8	München
5	Hannover	9	Nürnberg

Ehemalige Zentralvermittlungsbereiche (ZVSt) der DTAG

(B) Entwicklung des Fernsprechnetzes nach Einführung der Digitalisierung und der Verbindung mit dem Netz der Neuen Bundesländer.

Das Netz wurde erweitert und die beiden oberen Ebenen wurden zusammengeführt. Dies war erst möglich durch eine veränderte Verkehrslenkung ohne direkte Steuerung durch die Wählziffern.



Orte mit Vermittlungsstellen für den Weitverkehr

ADM: Optischer Multiplexer, um einen Einzelkanal abzunehmen oder hinzuzufügen

Bild 2-7 Hierarchische Struktur des digitalen Fernsprechnetzes der DTAG

2.1.3) Funktionsblöcke eines Übertragungsweges

Dieser Abschnitt behandelt einen Übertragungsweg von einem rufenden Teilnehmer A über das Fernsprechnet bis zum gerufenen Teilnehmer B. Dabei wird die historische Entwicklung vom rein analogen Betrieb zum fast vollständig digitalen Betrieb betrachtet.

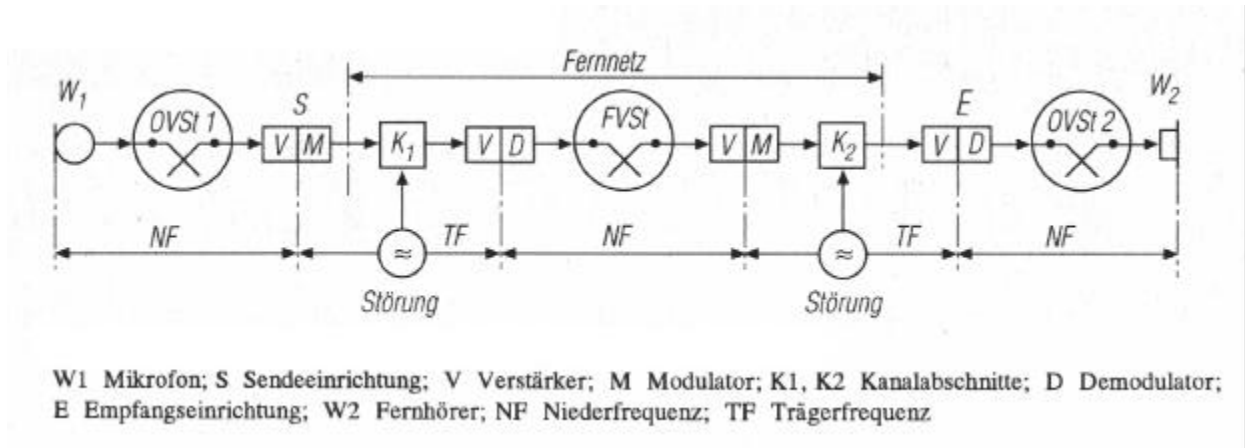


Bild 2-8 Funktionsblockschaltbild einer Fernsprechübertragung bei rein analogem Betrieb

Kennzeichen:

- NF-Verbindung (Basisband) vom Teilnehmer zur OVSt und zwischen OVStn
- raumgeteilte, i. Allg. elektromechanische Vermittlung mit Edelmetall-Motor-Drehwählern (EMD) oder Relais
- **NF-Durchschaltung** in allen Vermittlungsstellen
- TF-Übertragung (Trägerfrequenz) im Fernnetz = Frequenzvielfach zur mehrfachen Nutzung eines Kabels (FDMA) ; hoher Aufwand für Modulation/Demodulation und Filterung

Etappen der Digitalisierung im Netz der Deutschen Telekom:

Jahr	Digitales System
1968	PCM30 für Ortsverbindungsleitungen
1974	PCM120 und PCM480 TF- oder Spezialkabel regional
1977	Lichtwellenleitersysteme (LWL) mit PCM-Übertragung im Nahverkehr
1978	Lichtwellenleitersysteme regional
1978	PCM30 bis PCM480 in der Fernebene
1981	Digitales regionales Fernnetz
1982	Digitale Fernvermittlung
1984	Digitale Ortsvermittlung
1984	Digitales überregionales Fernnetz
1987	Landesweites LWL-Netz mit Monomodern-LWL
1989	Beginn des ISDN (Hannover-Messe mit 8000 Teilnehmern

PCM: Grundlegendes Verfahren zur digitalen Darstellung eines analogen Signals

Beginn der Digitalisierung: Einsatz der PCM-Technik in einem analogen Netz

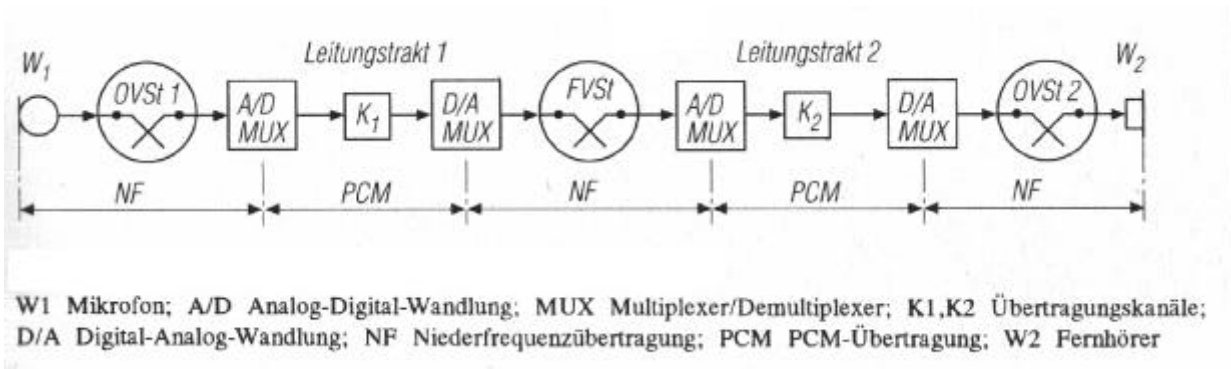


Bild 2-9 Einsatz der PCM-Technik in einem analogen Netz

Kennzeichen:

- weiterhin NF-Übertragung vom Teilnehmer zur Vermittlungsstelle
- raumgeteilte NF-Vermittlung, also weiterhin NF-Durchschaltung in den VStn
- PCM-Übertragung zwischen den VStn in größeren Ortsnetzen mit Mehrfachnutzung (TDMA) vorhandener NF-Kabel und zunehmend im Fernnetz → PCM-Übertragung verdrängt TF-Übertragung
- weiterhin TF-Übertragung in den oberen Ebenen des Fernnetzes

Vollständig digitalisiertes Netz mit analogen Anschlußleitungen zu den Teilnehmern:

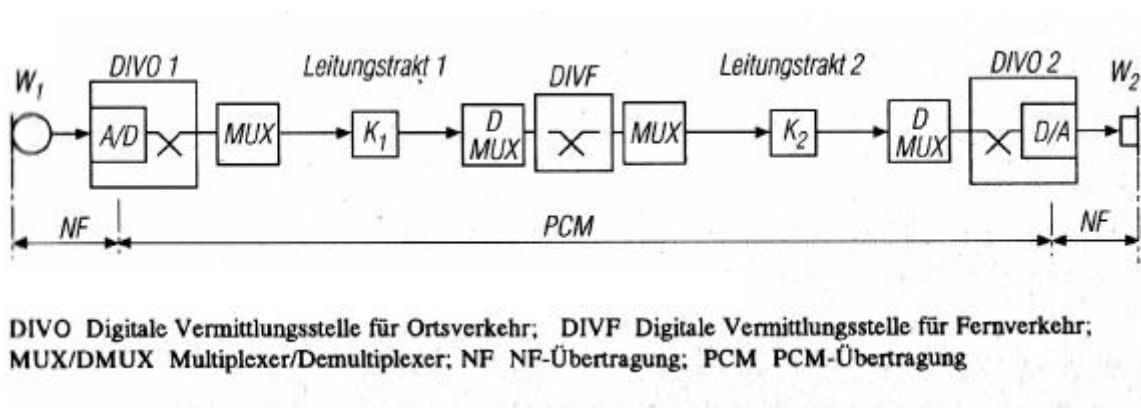


Bild 2-10 Einsatz der PCM-Technik in einem digitalen Netz

Kennzeichen:

- Alle Übertragungswege innerhalb des Netzes sind digital.
- Analoge NF-Übertragung nur noch zu den Teilnehmern, A/D-Umsetzung in den OVStn
- Durchschaltung des digitalen PCM-Signals in allen Vermittlungsstellen

Das zuletzt dargestellte System ist eine Übergangslösung zu einem europaweiten ISDN unter Einbeziehung des Mobilfunks.

Die Realisierung der digitalen Übertragung vom Teilnehmer zur Ortsvermittlungsstelle ist nicht trivial, wenn sie wirtschaftlich, allgemein anwendbar und kompatibel sein soll: in den Ortsnetzen einschließlich Teilnehmeranschlußleitungen stecken 47% des Wertes des Fernsprechnetzes. Problem: Nutzung der Zweidrahtleitungen für Vollduplexverkehr.

2.1.4) Vermittlungstechnik

Die Vermittlungsstellen bilden die Netzknoten in einem Nachrichtenvermittlungsnetz. An ihnen sind die Endeinrichtungen und/oder die Verbindungsleitungen zu anderen Netzknoten angeschlossen.

Eine Vermittlungsstelle tauscht mit den Endeinrichtungen und anderen Vermittlungsstellen Signalisierungsinformationen aus, um Verbindungen zwischen den Teilnehmern oder zwischen Vermittlungsstellen zu steuern.

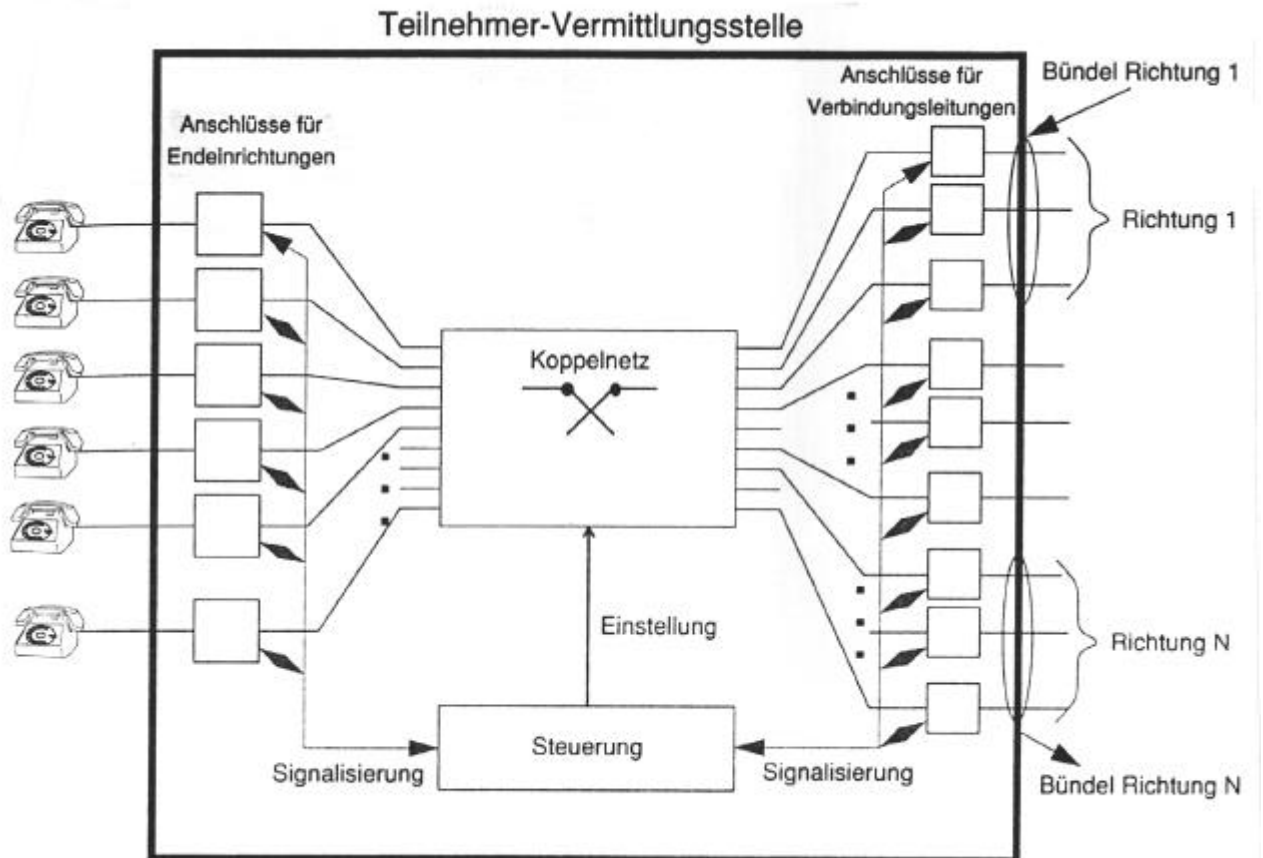


Bild 2-11 Grundsätzlicher Aufbau einer Teilnehmer-Vermittlungsstelle /Siegmund/

In Bild 2-11 ist als Beispiel eine Teilnehmer-Vermittlungsstelle dargestellt, an der die Endeinrichtungen angeschlossen sind (links). Teilnehmer-Vermittlungsstelle hat zusätzlich Verbindungsleitungen (auf der rechten Seite) für den Anschluß an andere Vermittlungsstellen in der Ortsebene und in höheren Netzebenen. Gesteuert durch die Signalisierungsinformationen muß die Vermittlungsstelle die Nutzkanäle zusammenschalten (= vermitteln).

Die technische Realisierung der Zusammenschaltung hängt von der Art der Nutzkanäle ab: einfache NF-Leitung oder mehrfach genutzte Leitung mit Frequenz- oder Zeitmultiplex (PCM-Kanal).

Eine weitere Unterscheidung der Vermittlungsart ergibt sich nach der Art und Weise des Datentransportes: Leitungsvermittlung mit einer ständig durchgeschalteten Verbindung oder Paketvermittlung mit einem virtuellen Kanal, der nur dann in Anspruch genommen wird, wenn Daten tatsächlich transportiert werden sollen, siehe Abschn. Vermittlungsprinzipien.

Die digitale Vermittlung erfordert einen gemeinsamen Takt. Von einer Taktzentrale werden die Taktsignale an alle Baugruppen der Vermittlungsstelle verteilt. Die Taktzentrale wird extern synchronisiert durch Bezugstaktgeber des nationalen Netzes, Frequenzabweichung $< 10^{-11}$.

Die eigentliche Hauptaufgabe einer Vermittlungsstelle erfüllt das Koppelnetz .

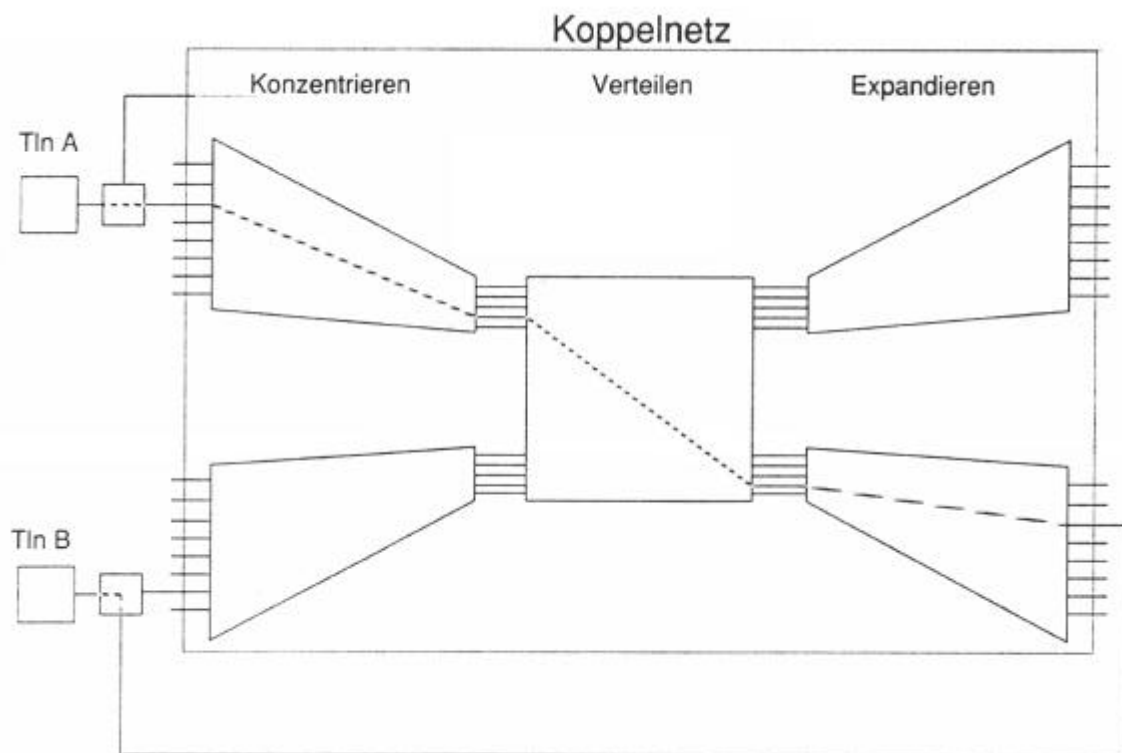


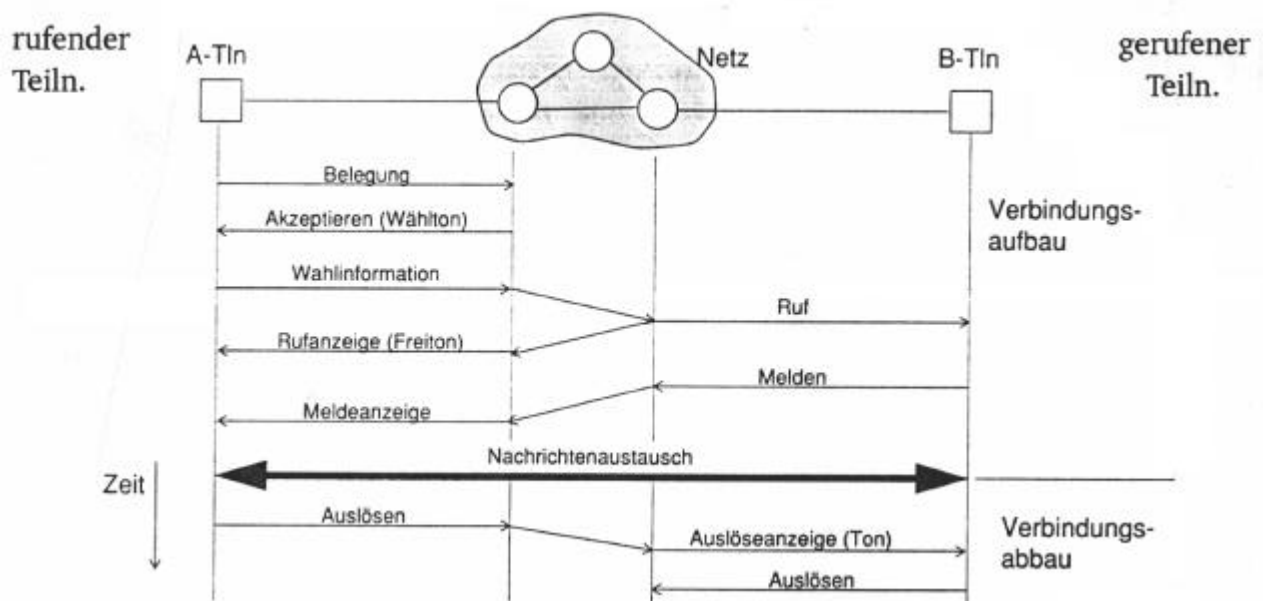
Bild 2-12 Funktionsblöcke des Koppelnetzes

Durch das Koppelnetz werden die Anschlüsse der Endeinrichtungen oder der Verbindungsleitungen für die Dauer der Nachrichtenübertragung miteinander verbunden. Das Koppelnetz wird durch eine Steuerung in der Vermittlungsstelle eingestellt. Die Steuerung reagiert ihrerseits auf die Signalisierung, d.h. auf die Angabe des Zieles oder Teilzieles einer Verbindung.

Art der Steuerung

- a) Direkte Wahl
 - 1.) Der Einstellvorgang beginnt, bevor das Ziel endgültig bekannt ist, z.Bsp. durch synchrones Einstellen mit der einlaufenden Zielinformation (Ziffern der Rufnummer).
 - 2.) Die Zielinformation wird in der ursprünglichen (elektrischen) Form verarbeitet (z.Bsp. die Stromschleifenunterbrechungen der Impulswahl steuern direkt den Wähler).
- b) Indirekte Steuerung
 - 1.) Die Einstellung beginnt erst dann, wenn die Zielinformation ganz oder teilweise bekannt ist.
 - 2.) Die Zielinformation wird ganz oder teilweise zwischengespeichert und evtl. umgewertet (Verarbeitungsvorgang im Steuerrechner).

Verbindungsaufbau und -abbau mit Signalisierungsvorgängen



Belegung = Verbindungswunsch wird dem Netz mitgeteilt

Akzeptieren (Wählton) = Das Netz akzeptiert den Belegungswunsch, wenn es dazu in der Lage ist, und sendet als Belegungsquittung den Wählton

Bild 2-13 Zeitlicher Ablauf einer Verbindung über das Fernsprechnetz

Vermittlungsprinzipien

Grundsätzlich können zwei Vermittlungsprinzipien unterschieden werden:

- die Durchschalte- oder Leitungsvermittlung = Circuit Switching
- die Speicher- oder Paketvermittlung = Store And Forward Switching oder Packet Switching

a) Durchschalte- oder Leitungsvermittlung

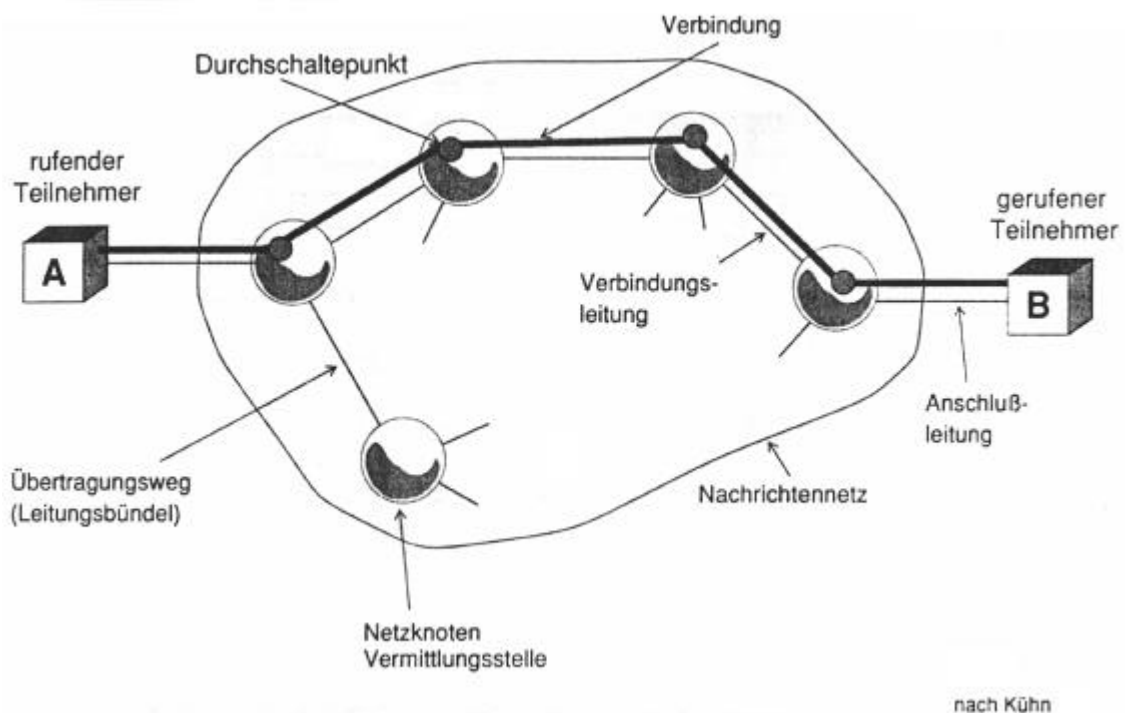


Bild 2-14 Netz mit Durchschalte- oder Leitungsvermittlung

Der A-Teilnehmer gibt Vermittlungswunsch und Ziel (B-Teiln.) an, die Anschlußleitungen des A- und des B-Teilnehmers und die Verbindungsleitungen eines Bündels, die jeweils von den Steuerungen der Vermittlungsstellen festgelegt werden, werden durch das Durchschalten der Koppelnetze zu einer physikalischen Nachrichtenverbindung zusammengeschaltet. Das Netz verbindet die Nutzkanäle beider Teilnehmer fest miteinander, d.h. der Übertragungsweg steht den beiden Kommunikationspartnern für die Dauer der *zur exklusiven Nutzung* zur Verfügung.

Durchschaltung im Raum- oder Wegemultiplex:

Schließen von Schaltern zwischen ankommender und abgehender Leitung

Durchschaltung im Zeitmultiplex:

Ein Abschnitt des ankommenden Signals wird in der Koppereinrichtung eingespeichert und auf den abgehenden Kanal zu einem dem Ziel entsprechenden Zeitpunkt ausgelesen. Der Ablauf ist für die Dauer der Verbindung fest einstellt

b) Speicher- oder Paketvermittlung

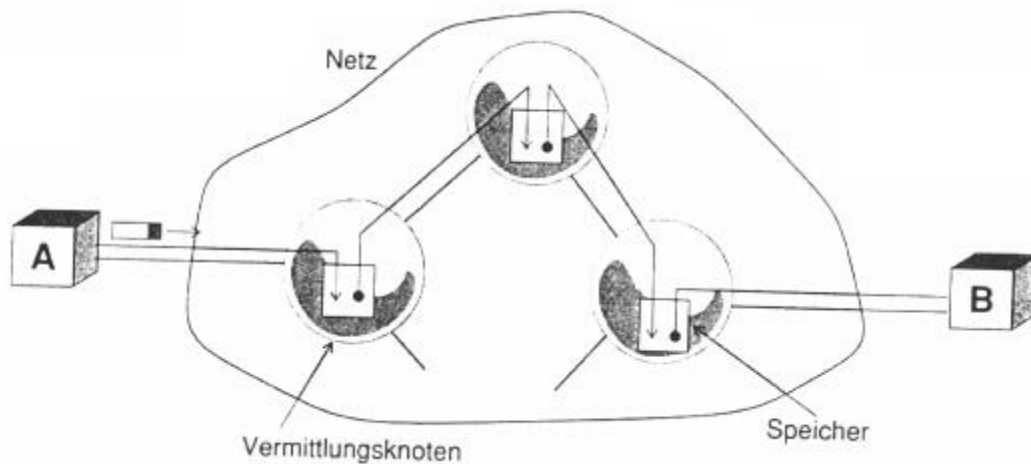


Bild 2-15 Prinzip der Speicher-Vermittlung

Eigentliche Paketvermittlung (Packet Switching)

Die zu übertragende Nachricht wird in der Nachrichtenquelle in Blöcke mit einer festgelegten maximalen Länge von 128kByte aufgeteilt. Jedem Block wird eine zusätzliche Steuerinformation vorangestellt; die Nutzinformation und die Steuerinformation bilden ein „Paket“. Jedes Paket beginnt mit dem Paketkopf, der die Steuerinformation enthält. Die Steuerinformation besteht aus:

- einer Paketnummer
- der logischen Kanalnummer = Kennzeichnung der zugehörigen Verbindung

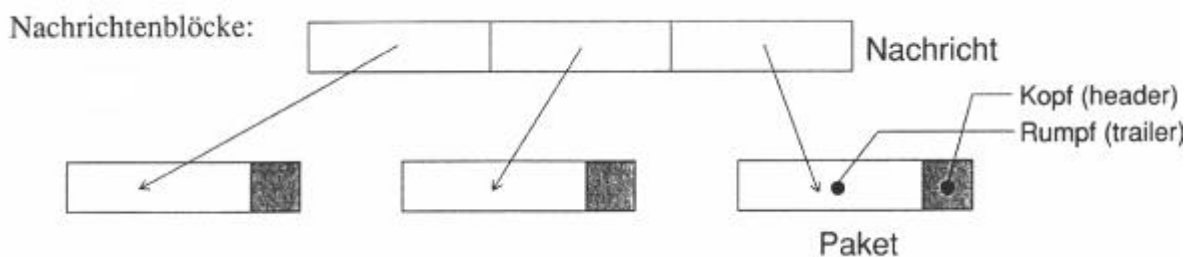


Bild 2-16 Aufteilung der Nachricht in Blöcke zu 128kByte bei der Paketvermittlung

Ein physikalischer Übertragungsweg kann bei diesem Vermittlungsprinzip mehrfach genutzt werden: in den Pausen zwischen den Paketübertragungen einer Verbindung können Pakete anderer Verbindungen über den gleichen Weg übertragen werden. Hierfür ist die Kennzeichnung der Verbindung durch die logische Kanalnummer notwendig.

Ein Verbindungsweg wird nur dann für die Übertragung genutzt, wenn auch Nachrichtenpakete vorhanden sind. Für den Benutzer existiert die Verbindung scheinbar immer, in Wirklichkeit wird sie aber nicht durchgeschaltet, sondern sie existiert nur während der Laufzeit der Pakete. Man spricht daher von einer *virtuellen Verbindung*.

Sendungsvermittlung (Message Switching)

Bei dieser Variante der Paketvermittlung wird nur ein Paket übertragen, das die gesamte Nachricht enthält. Der Paketkopf enthält auch die Verbindungsaufbau- und -abbauinformation.



Werden nach diesem Verfahren mehrere Pakete ausgetauscht, so wird für jedes Paket der Weg durch Netz neu festgelegt. Die korrekte Reihenfolge muß dabei durch die Endgeräte sichergestellt werden.

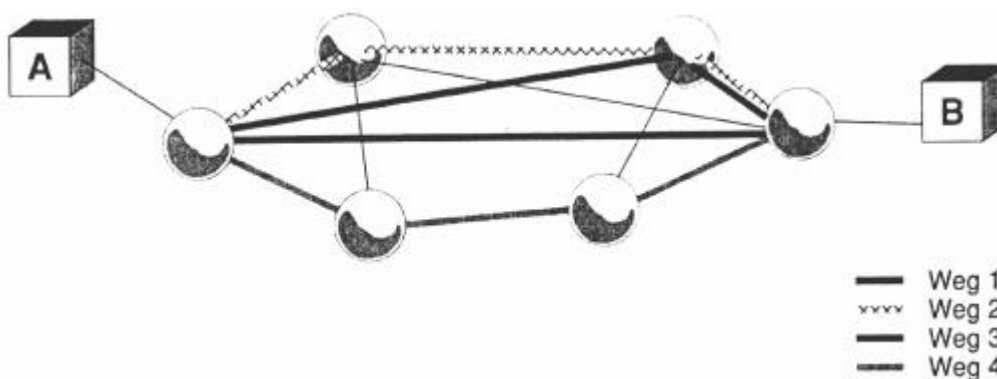


Bild 2-17 Sendungsvermittlung mit variablen Übertragungswegen

In Paketvermittlungsnetzen wird dieser spezielle Dienst als „Datagramm“-Dienst bezeichnet.

Cell-Switching

Cell-Switching arbeitet ähnlich wie die Paketvermittlung, außer daß die übertragene Blocklänge nicht mit der Paketlänge übereinstimmt, es können kleinere Zellen (Paketeile) gebildet werden. Dies ist ideal für eine integrierte Umgebung wie ISDN und man findet es in Zellen basierten Netzen wie das ATM-Netz. Cell-Switching kann sowohl mit digitalen Sprachsignalen (VoIP) als auch mit Datensignalen umgehen.

2.2) Mobilfunknetze (GSM-Standard)

Dieser Abschnitt soll eine kurze Einführung in Mobilfunknetze für den allgemeinen privaten Anwender geben. Sie werden in der Verwaltungssprache auch als „öffentlicher beweglicher Landfunk“ (öbL) bezeichnet. Mit öffentlich ist gemeint, dass jedermann ein entsprechendes Gerät benutzen darf, ohne dafür einen Bedarf nachweisen zu müssen, beweglich steht für Mobilfunk, und die Bezeichnung Landfunk unterscheidet diese Netze vom See- und Flugfunk sowie von Satellitendiensten.

Ein Mobilfunknetz kann man als Erweiterung des digitalen Festnetzes betrachten durch die Fähigkeit, nicht ortsfeste, also mobile Endgeräte einzubinden. Die mobilen Endgeräte können nur durch eine drahtlose Verbindung eingebunden werden und das ist für Entfernungen bis zu einigen Kilometern nur über eine Funkverbindung möglich. Die Funkverbindung hat bestimmte technische Eigenschaften und Probleme, deren Erklärung Grundkenntnisse über Signale, Antennen und Wellenausbreitung erfordern, die hier noch nicht vorausgesetzt werden können. Daher beschränkt sich die folgende Darstellung auch auf eine sehr allgemeine Darstellung eines Mobilfunknetzes mit Hinweisen auf die erwähnten speziellen Eigenschaften und Probleme, ohne auf technische Lösungen einzugehen.

2.2.1) Allgemeines über GSM = Global Standard For Mobile Communication

In Deutschland wurden GSM-Mobilfunknetze ab 1992 als Nachfolger des am 31.12.2000 nach 15 Jahren Betrieb abgeschalteten C-Netzes eingeführt. Sie sind seit 1995 halbwegs flächendeckend verfügbar. Im Gegensatz zu früheren nationalen analogen Netzen sind GSM-Geräte auch in vielen anderen Ländern benutzbar.

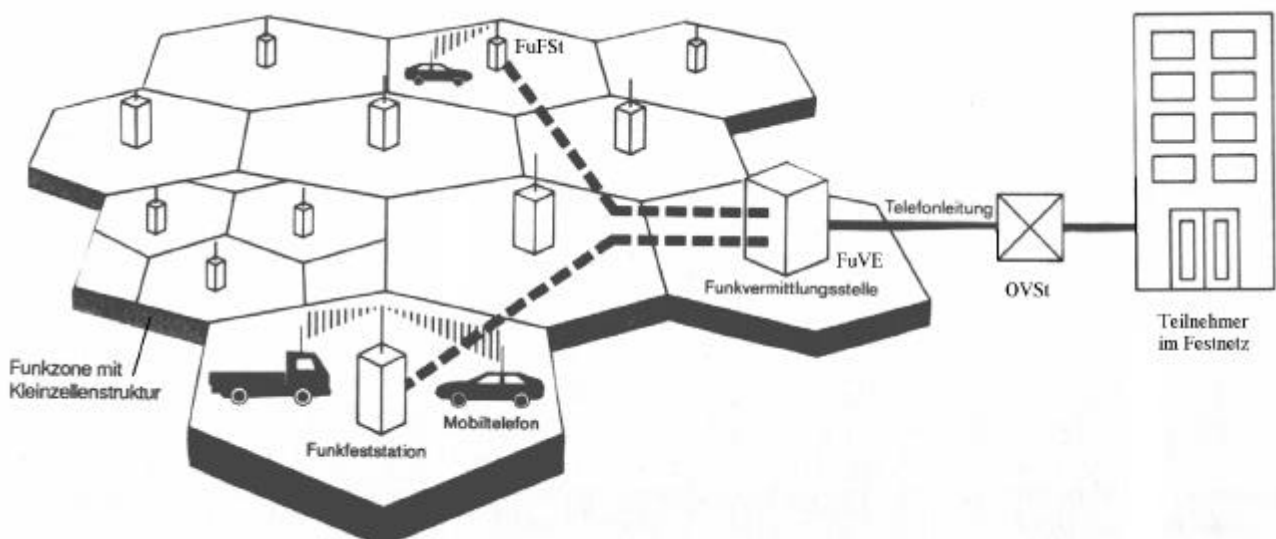


Bild 2-18 Zellenstruktur eines Funknetzes

Das Mobilfunknetz besteht aus zwei Teilnetzen:

- dem eigentlichen Funknetz und
- dem Funkvermittlungsnetz

Das eigentliche Funknetz bilden

- die mobilen Telefone (engl.: MS = Mobile Station) und
- die FuFSt = Funkfeststationen (engl.: BTS = Base Transceiver Station)
Zu den FuFSt gehört jeweils eine Basissteuerungszentrale (engl.: BSC = Base Station Controller).

Zum Funkvermittlungsnetz zählen

- die Funkvermittlungsstelle (FuVE, engl.: MSC = Mobil Switching Centre) mit den zugeordneten Datenbanken
- HLR = Heimatregister (Home Location Register) mit Informationen über den Kunden
- VLR = Besucherregister (Visiting Location Register) für den aktuellen Aufenthaltsort eines Kunden innerhalb einer Funkzelle
- AuC = Autorisierungszentrale (Authentication Centre)
- EIR = Geräteidentitätsregister (Equipment Identity Register)

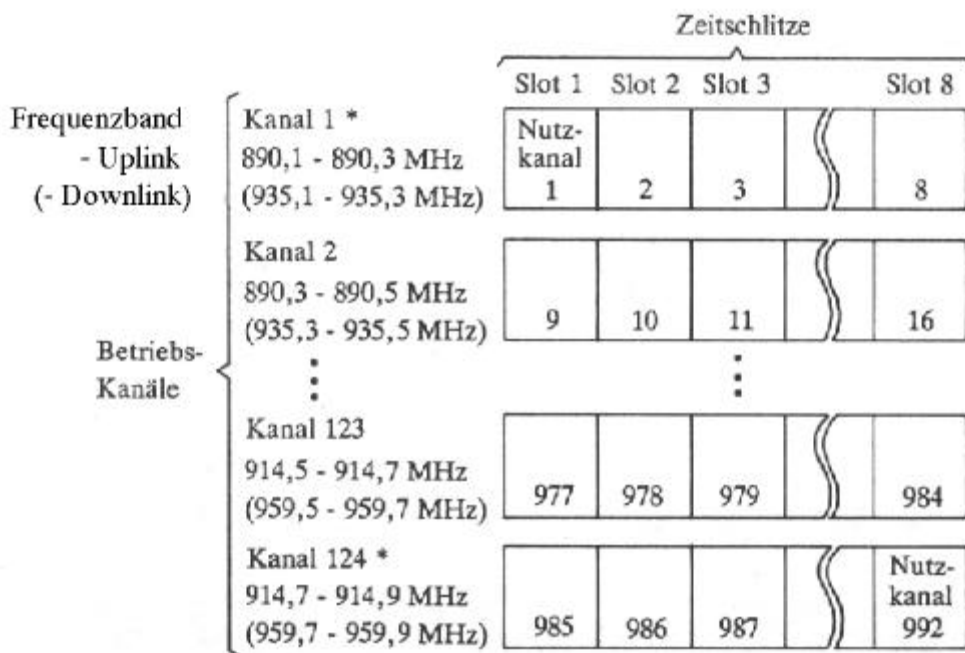
Nur zwischen dem Mobiltelefon (MS) und der Basisstation (FuFSt) existiert die Funkverbindung. GSM-Telefone benutzen den Frequenzbereich um 900 MHz (D1, D2) oder 1800 MHz (E+, E2) mit einem Kanalabstand von 200 kHz, um Sprache und Daten digital in GMSK-Modulation (Gaussian Minimum Shift Keying) mit der nächsten Basisstation auszutauschen.

Wegen der relativ geringen Reichweite von nur wenigen km bis zu max. 35km sind für jedes einzelne Netz in Deutschland mehrere tausend Basisstationen erforderlich. Obwohl eine gemeinsame Nutzung technisch möglich ist, arbeiten die deutschen Netzbetreiber meist getrennt ausschließlich mit ihren eigenen Basisstationen. Die folgende Tabelle nennt die benutzten Frequenzbereiche von GSM-Netzen in Deutschland:

Uplink (MHz)	Downlink (MHz)	Netz
876-880	921-925	GSM-R (Eisenbahn-Betriebsfunk)
890,1-914,9	935,1-959,9	D1 (T-Mobil), D2 (Vodafone)
1730-1752,5	1825-1847,5	E2-Netz (O2)
1758-1780,5	1853-1875,5	E1-Netz (E-Plus)

Zur Versorgung schwieriger Gebiete benutzt man sogenannte Repeater, beispielsweise für Alpentäler, in S-Bahn-Tunneln oder in ICE-Zügen. Repeater verstärken lediglich die Funksignale und leiten sie von oder zur nächsten Basisstation weiter. Eine Kabelanbindung erfolgt nur zur Stromversorgung, falls diese nicht über Solarzellen realisiert ist.

Basisstation und Handy (ein deutsches Kunstwort; englisch cellular phone, cellphone oder handset) benutzen jeweils zwei Kanäle im Abstand von 45MHz (um 900MHz) oder 95 MHz (um 1800MHz); das Handy sendet auf dem tieferen (Uplink) und empfängt auf dem höheren (Downlink). Jeweils ein Funkkanal-Paar kann im Zeitmultiplex-Verfahren, d.h. durch zeitliche Verschachtelung, für bis zu acht Sprach- oder Datenverbindungen gleichzeitig genutzt werden. Die Gesamt-Rohdatenrate auf einem Funkkanal beträgt 270,83 kBit/s, wovon ein erheblicher Teil allerdings der Fehlererkennung und -korrektur dient.



* Die Kanäle 1 und 124 werden zur Vermeidung von Kollisionen mit benachbarten Diensten nicht für den regulären Betrieb benutzt.

890 ... 915MHz: von Mobiltelefon zu FuFSt, 935 ... 960MHz: von FuFSt zu Mobiltelefon

Bild 2-19 Up- und Down-Link mit Duplex-Abstand in Zeit und Frequenz /Du-Pern/

Die GSM-Rufnummern beginnen in Deutschland mit 016 oder 017 und sind 11- oder 12stellig; zusätzlich können von GSM-Netzbetreibern, die über eine UMTS-Lizenz verfügen, auch 12stellige Nummern des 015-Blocks benutzt werden..

2.2.2 Anforderungen und Probleme

Die Nutzer des Mobiltelefons verlangen eine möglichst einfache Handhabung und geringe Kosten. Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an die Technik:

- Kleine Abmessungen und geringes Gewicht des Handgerätes (Handy)
- Geringer Stromverbrauch, d.h. möglichst lange Betriebsdauer. Geringe Kosten für Akkus oder Batterien.
- Gute Übertragungsqualität
- Hohe Verfügbarkeit des Netzes
- Betriebssicherheit → kein Ausfall der Verbindung, auch wenn der Teilnehmer sich schnell bewegt und während der Verbindung größere Strecken zurücklegt
- Abhören nicht möglich
- Kompatibilität mit dem vorhandenen Fernsprechnet
- Keine Gefährdung durch Funkwellen

Auf der Grundlage dieser Forderungen wurde bei der Entwicklung der Funknetze versucht, ein optimales Verhältnis von Nutzungskapazität, Versorgungsbereich und Frequenzbedarf zu erzielen. Diese drei Parameter sind miteinander verknüpft, sie lassen sich nicht unabhängig optimieren. Am Ende der Entwicklung stand das zellulare Funkssystem. Im folgenden sollen einige Probleme im Zusammenhang mit diesen drei Parametern besprochen werden.

Frequenzbedarf

Die Frage nach dem in Frage kommenden Frequenzbereich läßt sich sehr schnell beantworten. Hohe Frequenzen haben die Vorteile:

- Nur bei Frequenzen oberhalb von UHF ab ca. 800MHz waren noch Bereiche mit ausreichender Bandbreite vorhanden.
- Will man kleine Antennen verwenden, kommen nur höhere Frequenzen, d.h. kleine Wellenlängen in Frage, Antennen müssen für ein effektives Arbeiten an die Wellenlänge angepaßt sein.
- Die Wellenausbreitung bei hohen Frequenzen ist quasi optisch, es gibt keine Bodenwelle, hinter dem (Radio-)Horizont ist sehr schnell kein Empfang mehr möglich. Durch diese Eigenschaft der räumlich begrenzten Ausbreitung kann eine bestimmte Betriebsfrequenz in einem Abstand von 60 bis 70km wieder verwendet werden. Wählt man eine entsprechend geringe Sendeleistung, so kann dieser Abstand noch deutlich geringer sein.

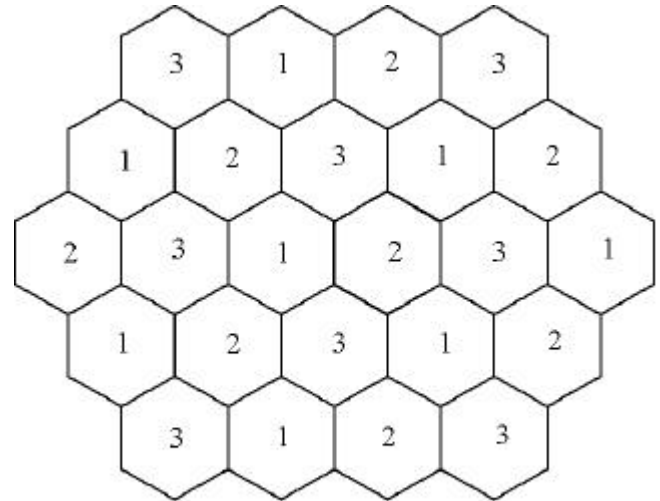
Die Anzahl der Funkkanäle, die eingerichtet werden können, ist technisch begrenzt durch die Bandbreite, die im Empfänger realisiert werden kann. Für die D-Netze mit einer Kanalbandbreite von 0,2MHz ergaben sich innerhalb der Gesamtbandbreite für Up- oder Downlink von 25MHz gerade 124 Funkkanäle. Da die Bandbreite von 0,2MHz für eine Sprechverbindung viel zu groß ist, können mittels des Zeitvielfachverfahrens (TDMA = Time Division Multiple Access) acht Sprechverbindungen (= Nutzkanäle) auf einem Funkkanal untergebracht werden, siehe Bild 2-19. Die maximale Anzahl der Sprechkanäle in einer Funkzelle ist damit 992

Zellengröße

Wenn eine wabenförmige Zelle sechs Nachbarzellen hat und in den Nachbarzellen nicht die gleichen Funkfrequenzen wieder benutzt werden dürfen, so sind pro Zelle $992:3 \Rightarrow 330$ Nutzkanäle möglich.

Diese Anzahl kann in dicht besiedeltem Gebiet aber leicht erreicht werden, wenn der Radius z.Bsp. 10km beträgt. Daher darf die Zelle nicht zu groß sein. Eventuell muß bei zu hoher Nutzerdichte eine Zelle in kleinere Teilzellen zerlegt werden.

Die Zahl der Mobiltelefone in Deutschland liegt z.Zt. (2006) bei über 40Millionen; sie ist damit höher als die der Festnetzanschlüsse.



Verteilung von Frequenzgruppen 1, 2 und 3

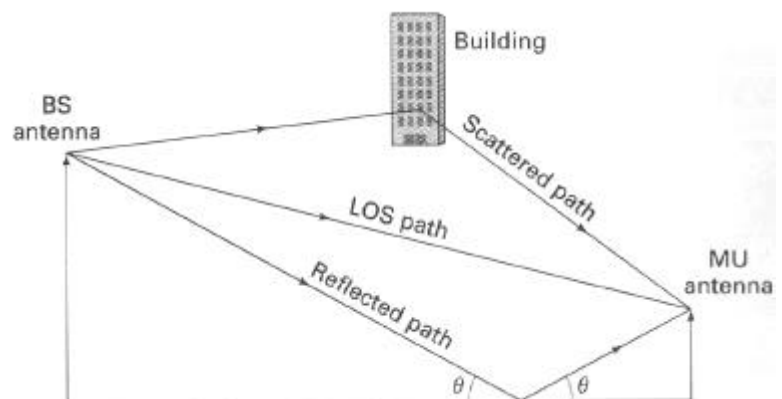
Handover (Wechsel der Funkzelle)

Aufgrund der Mobilität innerhalb der zellularen Struktur des Funknetzes muß das Mobiltelefon häufig die Funkfeststation (FuFSt) wechseln. Die reibungslose Gesprächsweitergabe von einer Funkfeststation zu einer benachbarten ist mit einem beträchtlichen Signalisierungsaufwand verbunden. Deshalb muß sichergestellt werden, daß die Anzahl der Handover nicht zu hoch wird, aber immer erfolgen kann, wenn es für die Fortführung eines Gespräches notwendig ist.

Störungen durch Mehrwegeausbreitung

Durch die Überlagerung des direkten Funkweges mit Umwegen infolge von Reflexionen kommt es leicht zu Verzerrungen der empfangenen Signale. Damit die Gesprächsqualität nicht leidet, müssen besondere Maßnahmen vorgesehen werden:

Adaptive Entzerrer und Schutzintervalle im Empfänger,
spezielle Kanalcodierung zur Fehlererkennung und Frequenzsprungverfahren beim Sender.



Anhang zu 2

Zum Prinzip der Puls-Code-Modulation (PCM)
als grundlegendes Verfahren zur digitalen Darstellung von Signalen nach Analog/Digital-Wandlung

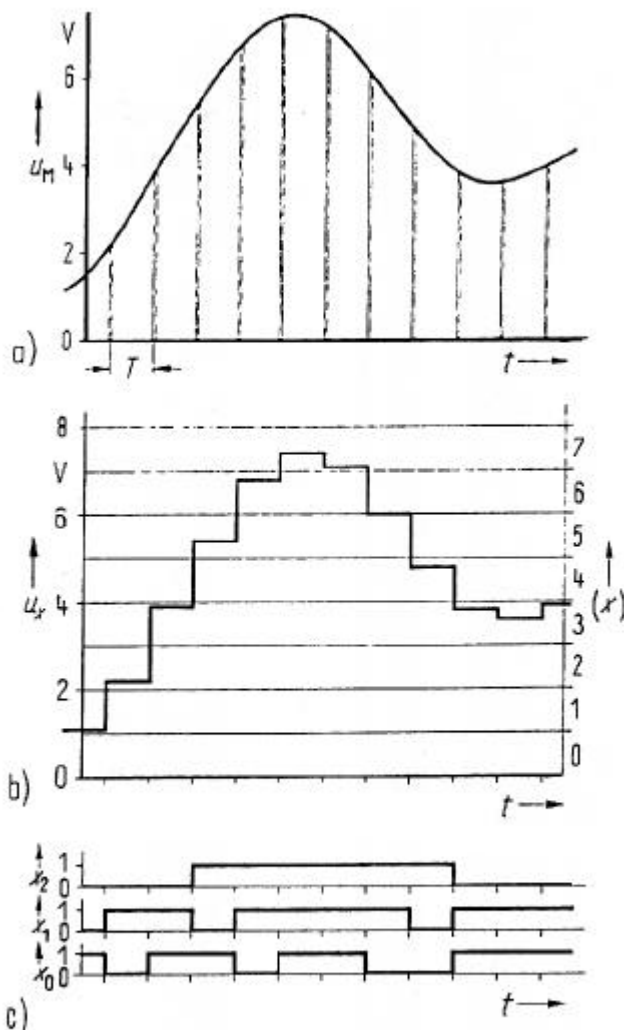


Bild 2.6-8. Quantisierung und Codierung
a) Analoge Spannung u_M und abgetastete Werte
b) Treppenspannung u_x und Stufen (x)
c) x im Dualcode

Eine Abtast- und Halteschaltung (Sample & Hold) erzeugt aus dem kontinuierlichen Signal einen abgestuften, impulsartigen Verlauf.

Der „gehaltene“ Signalwert wird einem Intervall zugeordnet (Quantisierung), die Intervallnummer wird binär codiert.

Beispiel: Sprachübertragung
Abtastung mit 8kHz,
Binärdarstellung mit 8Bit
—> Datenrate 64kBit/s