4. GSM - Netz

GSM (Global System for Mobile Communications) ist im Wesentlichen nur eine Spezifikation (quasi Standard) von Funktionsentscheidungen eines kompletten Mobilfunksystems und dessen Schnittstellen nach außen. Das System wurde seit Anfang der 80er Jahre von der CEPT (Conferenz Eutopean des Administrations des Postes et des Telecommunications), später ETSI, entwickelt, und sollte folgende Aufgaben umfassen:

- Beweglichkeit über Landesgrenzen
- Ökonomisches ausnutzen der Frequenzressourcen
- Kompatibilität mit ISDN
- Informationssicherheit
- Zusätzliche Daten- und Servicedienste.

Durch die gute Ausarbeitung des Standards fand es nach dem offiziellen Start 1992 in Europa und der ganzen Welt große Anerkennung.
Durch die sehr gute Standardisierung können die Komponenten der verschiedenen Hersteller ohne Probleme miteinander kombiniert werden, wobei dennoch genug Spielraum für eigenen Ideen und Verbesserungen bleibt. Die MS (Mobil Stationen), die in einem GSM-Netz zugelassen wurden, sind überall auf der Welt einsetzbar. Im GSM-Netz werden vier Hauptarten von Diensten angeboten:
Bearer Service (Trägerdienste): sind reine Transportdiemste und sind in den Schichten 1-3 des OSI-Models angesiedelt. Folgende Dienste sind enthalten:

- Leitungsvermittelte Datenübertragung, duplex, asynchron, bis 9600 bit/s,
- Zugang zu PAD (Paketier-/Depaketierung) eines paketvermittelten Datennetzes (Datex-P); bis 9600 bit/s,
- Leitungsvermittelte Datenübertragung, duplex, synchron, bis 9600 bit/s,
- Sprache auch gefolgt von Daten,
- 12 kbit/s digitale Datenübertragung.

Teleservices üben Einfluß auf die Benutzerschnittstelle aus und umfassen die Schichten 4-7 des OSI-Models und basieren auf den Bearer Service. Die Dienste werden noch in essential (E1, E2, E3), additional (A), und further study (FS) unterteilt. Es sind:

- Telefondienste (E1),
- Telefondienst mit Notruf (E1) (europaweit 112), funktioniert ohne SIM-Karte, Verbindungsaufbau erfolgt automatisch und mit sehr hoher Priorität,
- Kurznachrichtendienste (E1, A, FS) (SMS - Short Message Service), max. 160 alphanumerische Zeichen,
- Telefax Gruppe 3 (E2), etc.

verfügbar.
Supplementary Services oder Zusatzdienste setzen auf den beiden vorherigen Diensten auf. Es sind viele ISDN-Merkmale eingebunden, die folgenden Umfang haben: Anrufanzeige, Rufumleitung/Rufweiterleitung, Makeln (Hin- und Herschalten zwischen 2 Verbindungen) / Konferenzschaltung, geschlossene Benutzergruppe, gebührenbezogene Zusatzdienste, Sperren von abgehenden und ankommenden Verbindungen, Signalanzeige u.a.
Als letztes können die Betreiber noch eine Reihe von Value Added Services (Mehrwertdiensten) anbieten: kostenlose Hotline, Verkehrsinformationen, Mailbox, Infoservice u.a.

Die GSM-Betreiber bieten auf Grund der Kompatibilität ein internationales Roaming ihrer Teilnehmer an, d.h. jeder Teilnehmer ist mit seiner Landes-, Netz- und Teilnehmerkennzahl (Rufnummer) überall auf der Welt erreichbar.

4.1. Allgemeiner Aufbau

Die Kommunikation im GSM-Netz erfolgt über Funkkanäle in bestimmten Frequenzbändern. Durch die eng begrenzten Frequenzressourcen, werden die Frequenzbereiche in bestimmten räumlichen Abständen wiederholt. Die Bereiche werden Zellen genannt, deren Form im idealisierten Fall hexagonal ist. Jede Zelle bekommt eine bestimmte Anzahl von Frequenzen zugeordnet, benachbarte Zellen erhalten andere Frequenzen, danit es nicht zu Interferenzen kommen kann. Die räumliche Wiederholung von Frequenzen führt zu einer Clusterbildung, wobei eine Gruppe von Zellen, die den ganzen Frequenzbereich abdecken, einen Cluster bilden. Die Größe des Clusters hängt von der Systemkonfiguration ab. Bei GSM-Netzen bilden sieben Zellen einen Cluster (Clustergröße 7). In der Realität ist die Form der Zellen nicht hexagonal. Durch die Bevölkerungsdichte, Bebauung, Landschaftsbeschaffenheit und technische Parameter ergibt sich eine sehr unregelmäßige Form, die eine von der Idealverteilung abweichende Aufteilung der Sendestationen erfordert.
Zwischen der MS (Endgerät des Teilnehmers) und der BS (Base Station), die sich aus BTS (Base Transiver Station) und BSC (Base Statin Contoler) zusammensetzt, besteht eine Funkverbindung. Mehrere BS werden in einer oder mehreren MSC (Mobile Switching Centre) zusammengefaßt, die auch die Vermittlungsfunktionen übernehmen. Den MSC`s sind mehrere Register zugeordnet (HLR, VLR, AC, EIR). Die MSC steht mit dem Festnetz und dem Betriebs- und Wartungszentrum (OMC - Operatin Maintenance Centre) in Verbindung. Die drei definierten Luftschnittstellen sind das A-Interface, das A_{bis}-Interface und das U_m-Interface. Das auf einer 2 Mbit/s basierte A-Interface zwsichen MSC und BSC besteht in der Regel aus 30 mal 64 kbit/s Kanälen, einem 64 kbit/s Signalisierungskanal und einem 64 kbit/s Synchronisationskanal. Das A_{bis}-Interface zwischen BSC und BTS benutzt 64 kbit/s Verbindungen und stellt 16 kbit/s Submultiplexkanäle zur Verfügung. Für die Übertragung benutzt es das ISDN-LAPD-Protokoll. Die eigentliche Luftschnittstelle, das U_m-Interface zwischen BTS und MS wird Kapitel 4.2 näher beschrieben.
Die MSC führt für eine Gruppe von BS die Vermittlungsfunktionen aus, wobei nur 64 kbit/s Verbindungen geschaltet werden. Für den Aufbau und das Betreiben einer Telefonverbindung sind folgende Funktionen notwendig: Prozeduren zur Kommunikation mit anderen Netzen (z.B. PSTN, ISDN) (IWF - Inter Working Function), Prozeduren für das Management der MS (Paging, Registerverwaltung, Steuerung von Handover) und der Zugang über die GMSC (Gateway MSC).
Die MSC`s können auf das HLR (Home Location Register) zugreifen, welches aus mehreren räumlich getrennten Registern bestehen kann. Das HLR enthält statische und temporäre Basisdaten zum verwalten der MS`s. Statische Parameter sind die International Mobile Subscriber Identity (IMSI) Nummer zum Ermitteln der Berechtigung über sein Authentication Centre (AC), die Rufnummer (MSISDN - Mobile Station ISDN Nummer), vereinbarte Dienste, Authentikationsschlüssel, Prioritäten, etc. Als temporäre Daten bezeichnet man u.a. die Parameter des VLR (Vistor Location Register). Jede Chipkarte eines Teilnehmers ist im HLR registriert und man kann mittels der ISMI oder die MSISDN auf die Daten zugreifen.
Im VLR werden die Daten der MS, die sich im Bereich aufhält, temporär gespeichert. Dadurch wird der nicht verbindungsgebundene Datenverkehr und die Zugriffszeit

verringert. Gespeichert werden die MSRN (Mobile Station Roaming Number), die TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity), Daten bzgl. des Dienstprofils und das LA (Location Area) in dem sich die MS aufhält. Die Schnittstelle zwischen den Register wird als Mobile Application Part (MAP) bezeichnet.
Das AC enthält die Algorithmen (A3, A8) für die Zugangssicherung und den Abhörschutz, sowie den Authentikationsschlüssel für jeden Teilnehmer.
Die Endgeräte sind anhand einer IMEI (International Mobile Equipment Identity) identifizierbar. Die Daten hierzu stehen im EIR (Equipment Identity Register) und können so zum Erkennen von gestohlenen und fehlerhaften Geräten benutzt werden. Alle Daten über die Endgeräte, werden für alle GSM-Betreiber zugänglich, in Dublin im CEIR (Central EIR) gespeichert.
Die BS, auch BSS (Base Station System), setzt sich aus der BTS und BSC zusammen. In der BTS befindet sich der Sender, der Empfänger und die Signalisierungstechnik der Funkschnittstelle. Wichtige Aufgaben der BTS sind die Berechnung des Timing-Advance zur Synchronisation, die Sprachcodierung/Dekodierung und die Ratenadaption für Datendienste. Die beiden letzteren Aufgaben befinden sich in der TRAU (Transcoder/Rate Adapter Unit), die auch für die Ratenumwandlung von 16 kbit/s nach 64 kbit/s zuständig ist.
Die BSC ist eine Minivermittlungsstelle, die die Kontrolle für eine oder mehrere BTS`s, das Handover und das Funkverbindungsmanagement hat.
Die MS besteht aus dem Endgerät und der für den Betrieb notwendigen SIM-Karte (Subscriber Identity Module). Alle Daten für die Verschlüsselung, das Teilnehmermanagement und die Zugangskontrolle sind auf der SIM gespeichert.
Die Unterschiede zwischen OSI- und GSM-Schichtenmodel beschränken sich auf die untersten 3 Schichten.

OSI-Schicht	GSM-Funktonen
3 Network	Call Management, Mobilitäts-Managment, Radio-Management
2 Data Link	Verwaltung der Signalisierungsverbindungen
1 Physical	Übertragung von Verkehrs- und Signalisierungsdaten, Kanalcodierung, Modulation, usw.

4.1.1. Sicherheitsfunktionen

Die Sicherheitsmerkmale in einem Funknetz unterscheiden sich wesentlich von denen im Festnetz. Da keine feste, im voraus bekannte, Verbindung zum Teilnehmer besteht, ist eine Authentifikation zum Routing des Benutzers erforderlich (Gebührenerfassung, Rufsignalisierung). Eine Verschlüsselung der Aufenthaltsdaten, der Sprach-, Signalisierungs- und Datenverbindungen ist ebenfalls eine Voraussetzung für die Übertragung.
Die SIM-Karte ist nicht an ein bestimmtes Gerät gebunden, was die Flexibilität und den Austausch von Geräten unkomplizierter gestaltet. Zur Aktivierung ist eine PIN (Personal Identifikation Number) notwendig, mit der sich der Teilnehmer gegenüber der SIM-Karte identifiziert. Die Karte ist ein kleiner Mikrokontroller, der einen RAM, für die Schlüsselberechnung max. 256 Byte, einen ROM, max. 16 kByte und einen NVM (None Volatile Memory), max. 8 kByte, enthält. Das NVM enthält alle wichtigen Daten des Teilnehmers: Ki (Identifizierungsschlüssel), IMSI, TMSI, LAI (Location Area

Identification), PIN, persönliches Rufnummernverzeichnis, eine Liste ausländischer Mobilfunknetze und SMS-Nachrichten. Das Interface der Karte benutzt 5-6 Kontakte für die Übertragung von max. 9600 bit/s im Halbduplex-Betrieb. Die Übertragungsrate sinkt auf effektiv 3,2 kbit/s, weil zum Datenbyte noch 1 Startbit, 1 Paitätsbit und 2 Stopbits kommen.
Der für die Authentikation benutzte Algorithmus A3 wird vom Netzbetreiber bestimmt und basiert auf einem Challenge-Response-Verfahren. Das Netz generiert eine 128 Bit lange Zufallszahl RAND, die zur MS übertragen wird. Im Netz und in der MS wird mit ihrer Hilfe und dem Ki eine 32 Bit lange Antwort SRES (Signed Response) berechnet. Stimmen SRES vom Netz und Teilnehmer überein, dann ist der Teilnehmer identifiziert. Der Schlüssel Ki wird nie über die Luft übertragen und der A3-Algorithmus ist in der Hardware integriert, dadurch ist ein Knacken des Systems fast unmöglich.

4.2. Luftschnittstelle

Die Luftschnittstelle wird auch als RSS (Radio Sub System) bezeichnet und ist für die Übertragung über den Funkkanal zuständig. Folgende Aufgaben sind definiert: Verkehrs- und Signalisierungskanäle, Vielfachzugriff, Zeitschlitz-/Burstdefinition, Synchronisation, Multiplexen, Leistungsregelung, Handover (HO), Frequenzspringen (FH) und Kanalcodierung. Für das GSM-Netz wurde eine Kombination aus FDMA und TDMA mit 8 Zeitschlitzen pro Träger verwendet. Up- und Down-Link sind zeitlich um 3 Zeitschlitze versetzt, was einfachere Endgeräte ermöglicht. Der Up-Link liegt wegen der geringeren Dämpfung auf dem tieferen Frequenzband. Der Kanalabstand hat einen großen Einfluß auf die Übertragungskapazität. Die Tabelle zeigt Parameter für die Luftschnittstelle.

Frequenzbereich	Up-Link (MS->BS): 890-915 MHz Down-Link (BS->MS): 935-960 MHz -> 124 FDMA-Kanäle oder 992 Sprachkanäle
HF-Kanalabstand	200 kHz
Duplexabstand	45 MHz und 1,73 ms (3 Zeitschlitze)
TDMA-Rahmen	8 Zeitschlitze pro Träger, ein Zeitschlitz = 0,577 ms = 156,25 Bitperioden bei Halfrate 16 Verbindungen pro Träger
Zugriffsverfahren	FDAM/TDMA
Übertragungs-verfahren	GMSK-Modulation, Übertragungsrate 270,8 kbit/s, Bruttorate 22,8 kbit/s pro Zeitschlitz
Equalizer	bis 16 µs Delay Spread zu verarbeiten
Frequenzspringen	optional: SFH (Slow Frequency Hopping) mit 217 Sprüngen/s

4.2.1. Bursts und logische Kanäle

Sprache oder Signalisierungen werden in Paketen mit einer fest vorgegebenen Struktur, sog. Bursts, während der Zeitschlitze übertragen Die Länge ist immer gleich und beträgt 156,25 Bit. Es werden 5 Typen von Bursts unterschieden: normal Burst, frequency correction burst, synchronisation burst, dummy burst und access burst. Laufende Verbindungen werden im normal Burst abgewickelt. Die Sendeleistung wird dabei innerhalb von 28 µs in einer genau festgelegten Zeitmaske um bis zu 70 dB geregelt. Dies

gilt in allen Bursts mit Ausnahme vom Access Burst. Die Zeitmaske muß eingehalten werden, da sonst die Nachbarkanäle gestört werden.

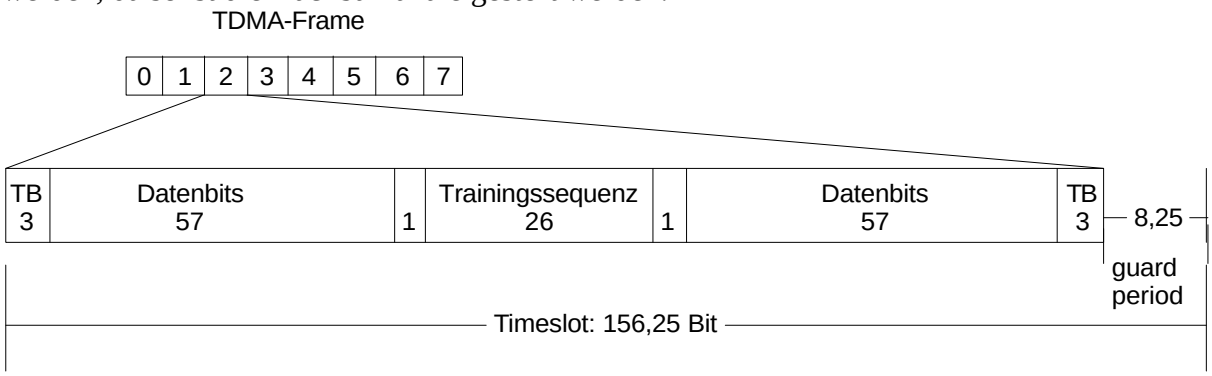

Abbildung 4.2-1 Normal Burst mit TDMA-Frame

Durch Codierung, Schutzabstände und Trainingssequenzen stehen nur rund 37% (57 Bit) der 156,25 Bit für Nutzdaten zur Verfügung. Die Trainingssequenz (TS) und die beiden Tail Bits (TB) dienen zur bitgenauen Synchronisation der Bursts und zum Abschätzen der Kanalimpulsantwort. Das Flag Bit vor und hinter der TS gibt an ob es sich um Nutz- oder Signalisierungsbits handelt. Die guard period wird für den Ausgleich bei einem ungenauen Burst-Sendezeitpunkt, der Laufzeitschwankungen von bewegten MS und das Einhalten der Zeitmasken benötigt.
Neben der Aufteilung in Verkehrskanäle TCH (Traffic Channel) und Signalisierungskanäle CCH (Control Channel), werden die CCH noch in BCCH (Broadcast Control Channel), CCCH (Common Control Channel) und DCCH (Dedicated Control Channel) aufgeteilt.
Der BCCH vermittlet der MS folgende Informationen: Konfiguration der CCH, Frequenzzuweisungen an der BS, Lage des BCCH in Nachbarzellen, Funkkriterien zur Zellenauswahl und optiomale Informationen über Frequenzspringen, Sprachaktivitätsauswertung und Leistungsregelung. Der BCCH besteht aus 51 TDMA-Rahmen (Multirahmen) und wird in dem nullten Zeitschlitz eines Trägers ohne Leistungsregelung und Frequenzspringen übertragen, dadurch haben die MS die Möglichkeit, den Träger in Nachbar BS abzuhören und z.B. bei zu kleinem Empfangspegel ein HO zu veranlassen. Der CCCH wird für den Verbindungsaufbau benötigt und der DCCH erfüllt Funktionen der Signalisierung und der Übertragung von Meßwerten.
Die Übertragung der vielen logischen Kanäle (TCH, CCH) erfolgt über die Burst im Zeitschlitz alle 4,615 ms. Die logischen Kanäle werden in einer von 5 Varianten auf die Zeitschlitze gemultiplext.
Die Bursts werden zur logischen Strukturierung der Übertragung in Frames organisiert. Zur Sprach- und Datenübertragung werden 26 TDMA-Frames zu einem „26 Multiframe“ von 120 ms Länge zusammengefaßt. Der TDMA-Frame beinhaltet keine Nutzdaten sondern den SACCH (Slow Associated Control Channel). Der „51 Multiframe“ bestehend aus 51 TDMA-Frames (235 ms Länge) und dient ausschließlich der Signalisierung. Er besteht nur aus CCH-Kanälen. Ein Superframe besteht aus 51 „26 Mulitframes“ oder 26 „51 Multiframes“ von einer Länge von 6,12s. Die gebildeten Superframes werden zu Hyperframes zusammengefaßt, wobei 2048 Superframes 1 Hyperframe bilden, der eine Länge von 3h28min53,76s hat. Im Laufe einer Verbindung kann zwischen TCH und CCH hin und her geschaltet werden.

4.2.2. Handover

Handover (HO) nennt man die Übergabe der Verbindung, wenn sich eine MS in eine Nachbarzelle bewegt, die Interferenzen minimiert werden, die Teilnehmerkapazität besser gesteuert oder die Verbindungsqualität erhöht werden kann. Ein HO kann von einer MS angefordert oder von einer BSC angeordnet werden. Man kann grundsätzlich zwei HO unterscheiden. Ein Intrazell-HO, z.B. zur Minimierung der Interferenzen in Nachbarzellen, unterscheidet sich nur auf der Luftschnittstelle innerhalb einer Zelle.
Muß ein Interzell-HO eingeleitet werden, dann wird nochmals zwischen drei Fällen unterscheiden:

- Die neue Zelle gehört zur gleichen BSC. (Interzell-HO).
- Die neue Zelle befindet sich an einer anderen BSC (Inter-BSC-HO), dann muß die MSC eingebunden und von ihr aus ein neuer Verbindungsweg aufgebaut werden.
- Die neue Zelle gehört zu einer neuen MSC (Inter-MSC-HO). Dies ist der aufwendigste Fall, der auftreten kann, denn jetzt muß eine Festnetzverbindung, über ein möglicherweise nicht dem Netz-Betreiber gehörendes Netz, aufgebaut werden.

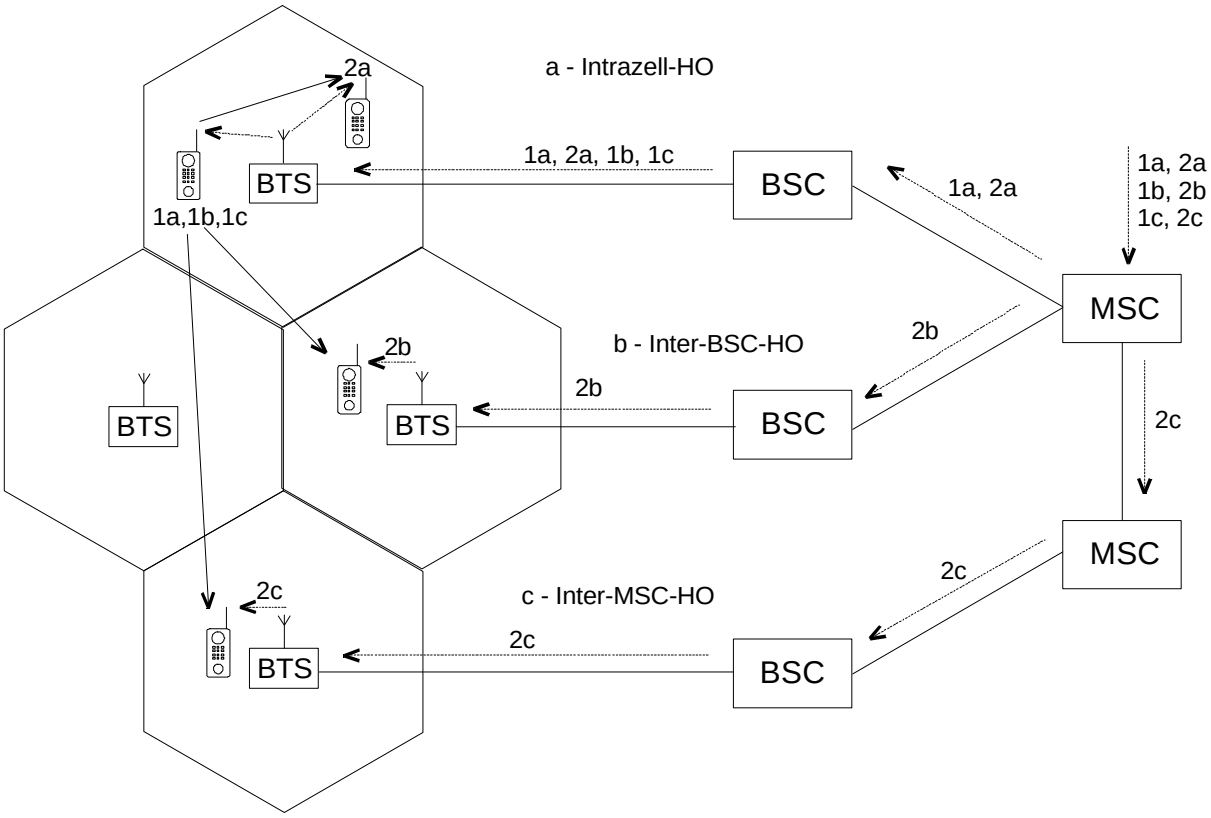

Abbildung 4.2-2 Verbindungswege beim Handover

In allen Fällen bleibt aber der alte Weg so lange bestehen, bis der Neue richtig aufgebaut ist und die Verbindung übernommen hat.
Um eine Handoverentscheidung zu fällen, benötigen die beteiligten Geräte verschiedene Meßwerte (Uplink: RXLEV_U, RXQUAL_U; Downlink: RXLEV_D, RXQUAL_D). Beim GSM erhält man auch Auskunft über die Entfernung (DISTANCE). Die MS mißt ständig die Empfangsfeldstärke der BCCH`s und überträgt die Meßwerte alle 480 ms mittels des SACCH an die BS. Dazu erfolgen von der BTS Interferenzmessungen freier Zeitschlitze innerhalb der Zelle und in den zukünftigen Zellen. Über das Q&M (Quality & Management) Center liegen Angaben über die Verkehrsdichte vor. Ein HO-Prozeß kann

von der MS oder dem Netz initiiert werden. Für das HO sind nur grundlegende Anforderungen spezifiziert:

- HO muß innerhalb einer Sekunde abgeschlossen sein
- bei einem Fehler erfolgt ein HO zurück zur alten BS oder in der BS mit dem stärksten BCCH wird innerhalb von 4-8 Sekunden eine Verbindungsreaktivierung durchgeführt.

Die Empfangsschwellen (RXLEV_MIN) können verschoben und so die Zellengröße variiert werden, z.B. um Verkehrslasten besser abzufangen. Die Empfangsschwellen zum Abgeben oder Übernehmen einer Verbindung in den benachbarten Zellen müssen eine Hysterese aufweisen, da es ansonsten zu einem Ping-Pong-Effekt kommen kann. Dabei wird ständig ein HO durchgeführt, was zu einer hohen Verkehrslast und einer Verschlechterung der Verbindung führen würde. Die Synchronisation hat ein wesentliche Einfluß auf die Geschwindigkeit des HO. Daher ist es günstig, wenn das Timing Advance der nächsten BS schon vor dem HO bekannt ist. In diesem Fall muß nicht erst wieder die Synchronisation durch einen Access Burst wieder hergestellt werden.

4.3. Beispiel einer GSM-Einbindung

Die Entwicklung in der Datenübertragungstechnik ist so rasant, daß viele Anwender mittles GSM-Handy oder Mobilmodem plus Laptop Zugriff auf die Firmendaten haben

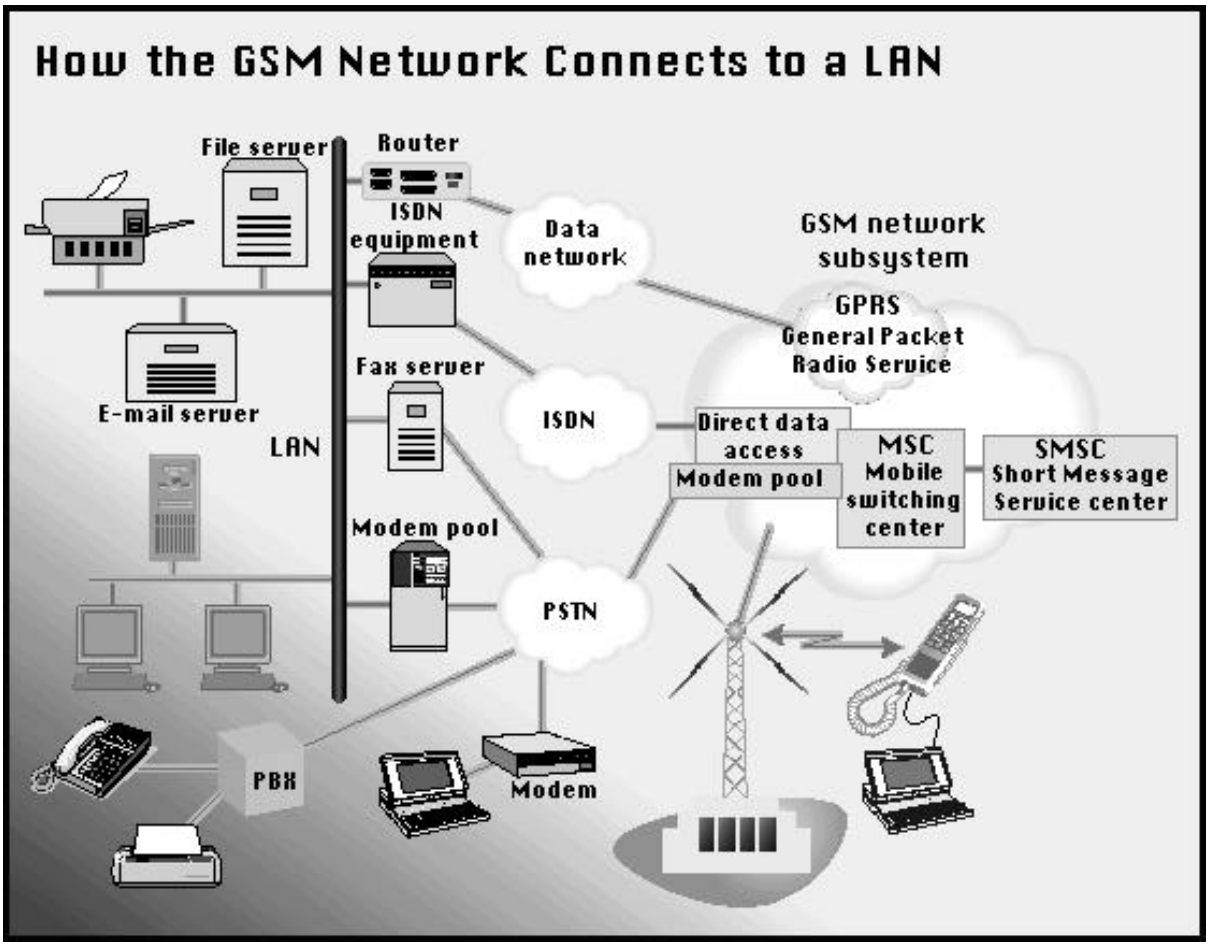

Abbildung 4.3-1 GSM-Einbindung

möchten. Die MSC eines GSM-Netzes ist direkt an die PSTN (Public Switch Telephone Network) angeschlossen und der Modempool des GSM-Netzes überträgt die Daten über das Telephone-Netz zum Modempool des Daten-Netzes der Firma. Diese Art der

Verbindung ist allgegenwärtig, aber die Modulation/Demodulation ist nicht die beste Methode. Um die Modulation zu umgehen, nutzen alle digitalen Entwicklungen die GSM/ISDN-Schnittstelle. In näherer Zunkunft werden einige Internet-Service-Provider mit GSM-Providern kooperieren, um den Kunden einen direkten Internetzugang mit ISDN-Raten über das GSM-Netz anzubieten.
Die GPRS (General Packet Radio Service) Daten-Paket-Technologie, die sehr geeignet ist den explodierenden Datenmengen zu bewältigen, benötig noch ca. zwei Jahre für ihre Einsatzreife. In der Zwischenzeit werden GSM-Kunden mit PCA (Personal Communication Application) ähnlicher Funktionalität über das SMS vorlieb nehmen müssen. SMS ermöglicht das maximale Übertragen von 160 Zeichen pro Sendung in einer sehr niedrigen Datenrate und mit sehr niedriger Priorität im Netz. Die niedrige Priorität kann zu größeren Verzögerungen bei einer hohen Verkehrslast führen. Die Abbildung 4.3-1 zeigt, wie heutzutage das GSM-Netz in das firmeninterne Telefon- und Datennetz einbezogen werden kann.

4.4. GSM-Anwendung in der Schienenverkehrssicherung

Zugbeeinflussungssysteme (ZBS) sind heutzutage in der Eisenbahnsicherungstechnik fest eingebunden und besonders für Hochgeschwindigkeitsverkehr eine unabdingbare Voraussetzung. Es werden bisher zwei Arten von ZBS. Bei der punktförmigen Zugbeeinflussung (PZB) können Daten an bestimmten Punkten (Signalmaste, Weichen, usw.) dem Fahrzeug übermittelt werden. Mit der linienförmigen Zugbeeinflussung (LZB) besteht die Möglichkeit einer kontinuierlichen Übertragung zwischen Strecke und Fahrzeug. Diese Technik wird meist nur auf den Strecken für Hochgeschwindigkeitszüge eingesetzt, da sie wesentlich teurer und aufwendiger ist. Einen Nachteil haben die bisherigen ZBS, sie wurden von den einzelnen europäischen Ländern eigenständig entwickelt und sind deshalb nicht kompatibel zueinander. In Zügen für den grenzüberschreitenden Verkehr müssen meistens alle Systeme der durchfahrenen Länder integriert sein. Für die Vereinfachung des grenzüberschreitenden Verkehrs wurden von der Industrie (Eurosig) und der Users group der Bahnen verschiedene Standardiesierungen durchgeführt. In den Spezifikationen wird das künftige europaweit einsetzbare ZBS beschrieben, das auch einen einheitlichen Standard zur Funkzugbeeinflussung (FZB), auf Basis eines GSM-Netzes, bietet. Dadurch können Signale und Verkabellungen weitgehend eingesparrt werden. Derzeit arbeitet ein Konsortium aus der Siemens Verkehrstechnik und der Fa. Alcatel am Projekt ETCS 2000. Die Entwicklung begann Mitte 1997 auf der Basis der Systemanforderungen SRS 4a und ist die erste Version eines eurpäischen ZBS. Als erstes sollen zwei Versuchsstrecken (Jüterborg-Halle/Leipzig und Köln-Rhein/Main) mit dem FZB ausgerüstet. Dazu wird jetzt an einem Pflichtenheft gearbeitet, daß die erforderlichen Aufgaben festlegt.
Besondere Aufgaben der Zugsicherung sind das Überwachen der Höchstgeschwindigkeit in jedem Abschnitt, die Regelung der Signale und Schranken. Wird die Höchstgeschwindigkeit überschritten, ein Signal übersehen oder funktioniert eine Schranke nicht, wird eine Zwangsbremsung eingeleitet und die entsprechenden Streckeneinrichtungen verständigt.

Funktionsweise

Die FZB arbeitet als Overlay über dem Stellwerk, d.h. das Stellwerk sichert die Schienenstrecke und stellt der FZB diese Informationen zur Verfügung. Die

streckenseitigen Komponenten bestehen aus den Funksicherungszentralen (FSZ) und den Balisen im Gleisbett, die als Ortungsreferenzpunkte dienen. Die Fahrzeugeinrichtungen führen auf der Grundlage der Daten der FSZ und der Zugeigenschaftsdaten die Zugüberwachung durch und übermitteln die erfolgten Berechnungen zur FSZ, wo sie wiederum ausgewertet werden. Der Lokführer wird über optische und akustische Elemente informiert, die von der LZB übernommen wurden und er hat seinerseits Möglichkeiten Informationen in das System einzugeben.

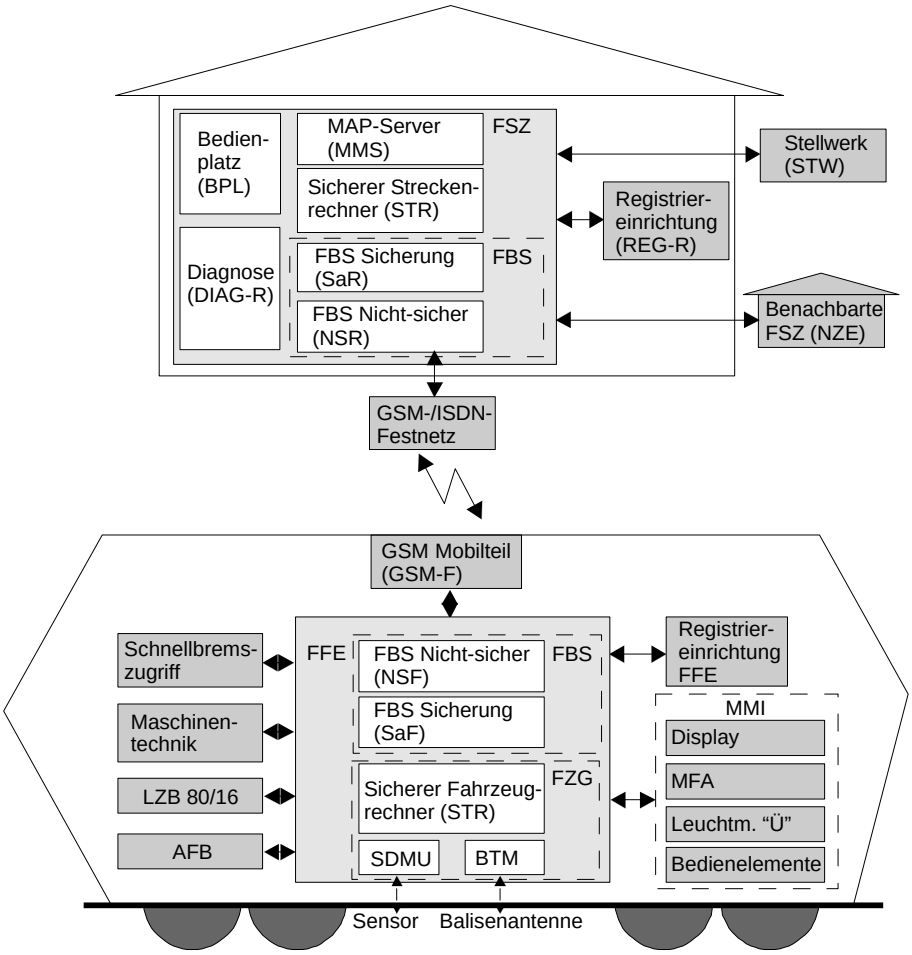

Abbildung 4.4-1 Prinzip der Funkzugbeeinflussung

Die Streckeneigenschaften (Signale, Neigungen, Geschwindigkeiten, usw.) sind im Zentralrechner der FSZ in einer Route-Map hinterlegt und können ständig ergänzt werden (Streckenbauarbeiten, Signalwartungen, usw.). Für jeden Zug wird ein aus vielen einzelinformationen das individuelle Fahrwegprofil erarbeitet und an Fahrzeugeinrichtungen übertragen. Im Fahrzeug werden dann diese Daten mit den Zugeigenschaften verechnt und das Fahrprofil inform von Überwachungskurven erstellt. Während der Fahrt werden die Kurven ständig mit dem tatsächlichen Zustand des Zuges verglichen und wenn nötig müssen Sicherheitsfunktionen ausgelöst werden.
Die Verbindung zwischen Streckenzentrale und Fahrzeugeinrichtung wird über das GSM-F-Element im Zug und den Sendeantennen des GSM-Netzes. Als Übertragungsmedium wird ein mit einer besonderen Sicherungschicht ausgestattetes GSM-R-Netz genutzt. Dadurch ist die Integrietät und Authentifizierung der übertragenen Daten ständig gewährleistet, zusätzlich werden vor der Übertragung noch kryptologische Verschlüsselungen eingesetzt, damit keine unbefigte Datenübertragung erfolgen kann und die Fehlersicherung noch exakter ist. Die Mobilteile des Zuges authentifizieren sich

genauso wie eine normales Handy im Netz. Dabei werden u.a. Informationen über die zuständige FSZ ausgetauscht. Verläßt ein Zug einen FSZ-Bereich, dann erfolgt ein Handover. Die Art, der Zeitpunkt, die Führungsverantwortung während des HO und der Verbindungsabbau zur alten Zentrale wird zwischen den beiden FZSs ausgehandelt. Wie die ganzen Funktionen sicher ausgeführt werden können und wie groß das Gebiet einer FSZ sein darf wird in den Pilotprojekten momentan erarbeitet.