

GSM

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit GSM und versucht, einen Überblick über die Technik und die Eigenschaften von GSM zu geben.

Ronald Hasenberger

1 GSM

GSM steht für Global System for Mobile Communication und ist ein Standard für Mobile Telekommunikation.

In den 80er Jahren entstand (unter anderem) in Europa der Bedarf, die Telekommunikationsmöglichkeiten, die bis zu diesem Zeitpunkt nur stationär verfügbar waren, auch mobil nutzen zu können. Dies führte innerhalb Europas zur Entstehung von mehreren, untereinander inkompatiblen analogen Systemen.

Durch das Wachstum des gemeinsamen Marktes wurde es aber immer wichtiger, daß Roaming zumindestens innerhalb der Staaten der EU möglich wurde.

Aus diesem Grund wurde 1982 von der Conference Europeenne des Postes et Telecommunications (CEPT) ein Komitee (Groupe Speciale Mobile [GSM]) gegründet, welches einen Standard für Mobile Telekommunikation in ganz Europa entwickeln sollte. Für dieses neue System wurden 2 Frequenzbänder im Bereich von 900 MHz reserviert.

Diese Maßnahme gab der europäischen Telekommunikationsindustrie einen (technisch) einheitlichen Heimmarkt von über 300 Millionen potentiellen Benutzern.

Die Einführung von GSM begann Anfang der 90er Jahre und GSM wurde zu einem weitgehend unerwarteten Erfolg. In den skandinavischen Staaten nähert sich die Marktdurchdringung mittlerweile 50%, d.h. die Anzahl der GSM Teilnehmer nähert sich der Hälfte der Gesamtbevölkerung an. In Österreich halten wir derzeit bei ca. 2,3 Millionen Teilnehmern, wobei allein im letzten Jahr (1998) mehr als

eine Million neue Teilnehmer gewonnen werden konnten.

2 Technik

2.1 Grundlagen

In diesem Abschnitt werden die allgemeinen Grundlagen für mobile Telekommunikationsnetze beschrieben. Viele der hier beschriebenen Fakten gelten für die (älteren) analogen Netze ebenso wie für digitale Netze (wie GSM und Nachfolger).

2.1.1 Problemstellung

Grundsätzlich ist mobile Telekommunikation am ehesten mit Funkverkehr zu vergleichen. Diesen gab es (vor dem "Handyzeitalter") vor allem in 2 Ausprägungen:

- Radio-, Fernsehübertragung
- Funkverkehr

Im Fall der Radio- und Fernsehübertragung erfolgt eine Einwegkommunikation, d.h. es wird Information von einer Zentrale (dem Sendemast) emittiert und (identische Information) an vielen Stellen empfangen; es gibt hier keine Möglichkeit für einen Rückkanal (d.h. eine Informationsübertragung vom Empfänger zurück zum Sender) und nur eine beschränkte Vielfalt. Dieser Problemstellung kann wirtschaftlich optimal begegnet werden, indem an wenigen ausgewählten Stellen starke und hohe Sender aufgestellt werden, die ein möglichst großes Gebiet versorgen.

Der "klassische" Funkverkehr hingegen ist eine Informationsübertragung zwischen einer eingeschränkten Anzahl von Teilnehmern, die über ein kleines Gebiet verteilt sind. Außerdem erfolgt hier im allgemeinen öffentliche Kommunikation,

d.h. die übertragene Information steht allen Teilnehmern im Empfangsbereich zur Verfügung.

Die mobile Telekommunikation verfolgt das Ziel der Abbildung der Eigenschaften eines Telefon-Festnetzanschlusses, nur eben mit dem Zusatz, dass sich die Teilnehmer innerhalb eines möglichst großen Gebietes uneingeschränkt (und ohne Unterbrechung ihrer Erreichbarkeit) bewegen können sollen. Gleichzeitig bleibt die Forderung nach privater Informationsübermittlung (d.h. nur der gewünschte Teilnehmer soll in der Lage sein, das Gespräch zu verfolgen) aufrecht.

Das führt zu folgenden Anforderungen an mobile Telekommunikationsnetze:

- Viele (2 x Anzahl gleichzeitig zu führender Gespräche) voneinander getrennte Übertragungskanäle
- Vollplexkommunikation

Gleichzeitig gibt es durch die Forderung nach möglichst kompakten MSs (Mobile Stations; meistens "das Handy", kann aber auch ein spezielles Autotelefon sein. Im Fall von GSM wird unter der MS meist die Kombination aus Handy und SIM-Card, die dem Handy erst die Identität verleiht, verstanden) massive Einschränkungen hinsichtlich der Leistung, mit der die MS sendet.

Zusammen genommen führt das dazu, daß in dem Bereich, in dem das Netz verfügbar sein will, in jeweils relativ geringer Entfernung zu allen möglichen Aufenthaltsorten von MSs eine Basisstation (die Basisstation enthält Sender und Empfänger mit deren Hilfe die Verbindung mit der MS aufrecht erhalten wird) verfügbar sein muss, mit der die MS kommunizieren kann. Diese Basisstation soll mög-

[1] Unter Roaming wird die Möglichkeit verstanden auch außerhalb des Gebietes jenes Netzbetreibers mit dem ein Vertrag besteht Telefonate geführt werden können.

[2] Je ein Band für Up- und Downlink.

[3] Insbesondere im klassischen Funkverkehr ist üblicherweise nur Halbduplexkommunikation möglich, d.h. um die Information vom Gesprächspartner empfangen zu können, darf man selbst keine Information senden.

[4] Sowie gesundheitliche Risiken, die bei einer starken Erhöhung der Sendeleistung auftreten würden.

[5] Die theoretische Maximalentfernung MS / Basisstation im Fall von GSM liegt bei ca. 30 km; aufgrund von nicht idealen Ausbreitungsbedingungen sowie Kapazitätsüberlegungen kann diese aber praktisch nie ausgenutzt werden.

[6] Jedenfalls jenen Aufenthaltsorten, an denen entsprechend der Politik des Netzbetreibers Kommunikation möglich sein soll.

lichst mit mehreren MSs kommunizieren können, da andernfalls im Bereich dieser Basisstation nur ein Telefongespräch zu einem Zeitpunkt möglich ist.

Dies führt dazu, dass Lösungen für gleichzeitigen Zugriff mehrerer MSs auf eine Basisstation und die lückenlose Abdeckung eines geographischen Gebietes, welches wesentlich größer als der Wirkungsbereich einer Basisstation ist, gefunden werden müssen.

Im folgenden werden zunächst Verfahren zum Zugriff mehrerer MSs auf eine Basisstation und anschließend Verfahren zur Gliederung des gesamten Empfangsbereiches erläutert.

2.1.2 Zugriffsverfahren

Zugriffsverfahren legen fest, wie eine begrenzte Bandbreite für die (jedenfalls für den Anwender) gleichzeitige Übertragung von Information von/zu zahlreichen Teilnehmern genutzt werden kann. Die Forderung nach Voll duplexkommunikation kann durch Zuweisung von unterschiedlichen Kanälen für den Up- und Downlink erfolgen.

Man unterscheidet grundsätzlich die folgenden Zugriffsverfahren:

- TDMA/TDD: **T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess / **T**ime **D**ivision **D**uplex
- FDMA/FDD: **F**requency **D**ivision **M**ultiple **A**ccess / **F**requency **D**ivision **D**uplex
- CDMA/CDD: **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess / **C**ode **D**ivision **D**uplex

Diese Verfahren werden im folgenden etwas genauer beschrieben. Ein "Kanal" ist hierbei eine dezitierte Verbindung von oder zu einer MS. Damit werden für die bidirektionale Kommunikation mit einer MS 2 Kanäle benötigt.

2.1.2.1 TDMA/TDD: Time Division Multiple Access / Time Division Duplex

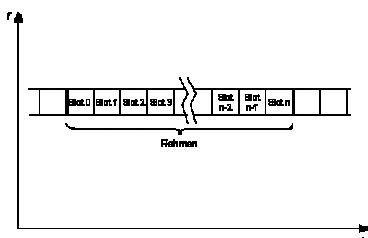


Bild 1: TDMA / TDD

Diese Gruppe von Verfahren trennt die einzelnen Kanäle durch Zuordnung von unterschiedlichen Zeitscheiben (siehe **Bild 1**). Das bedeutet, dass es einen Übertragungsraster von z.B. 4,6 ms gibt, in dem die Daten für jeweils 8 Kanäle übertragen werden. Die Übertragung des 1. Kanals erfolgt immer im 1. Timeslot des Übertragungsrasters, die Übertragung des 2. Kanals immer im 2. Timeslot,

TDMA/TDD wird zum Beispiel beim DECT-Standard für digitale Drahtlostelephone verwendet.

2.1.2.2 FDMA/FDD: Frequency Division Multiple Access / Frequency Division Duplex

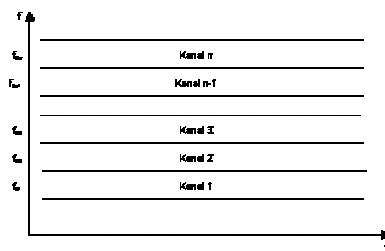


Bild 2: FDMA / FDD

Bei dieser Verfahrensgruppe werden die einzelnen Kanäle in unterschiedlichen Frequenzbereichen übertragen. Dies ist das wohl am besten bekannte Verfahren, da die Kanaltrennung bei Radio und Fernsehen auf diese Art funktioniert.

FDMA/FDD wurde bei den meisten analogen Mobilfunknetzen verwendet.

2.1.2.3 CDMA/CDD: Code Division Multiplex Access / Code Division Duplex

Bei den oben (**Abschnitte 2.1.2.1** und **2.1.2.2**) beschriebenen Verfahren han-

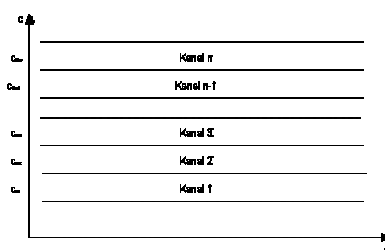


Bild 3: CDMA / CDD

delt es sich im wesentlichen um Schmalband-Verfahren, die jeweils nur einen relativ kleinen Teil der verfügbaren Band-

breite für einen Kanal verwenden. Im Gegensatz dazu gibt es auch *spread spectrum* Systeme, die für jeden Kanal die gesamte verfügbare Bandbreite verwenden. Die Kanaltrennung erfolgt hierbei dadurch, dass jedem der Kanäle ein unterschiedlicher Code für "0" und "1" zugewiesen wird. Beispiele für derartige Codes wären 10000000 für "1" und 01000000 für "0". Jedes der Bits der letztendlich übertragenen Bitfolge wird als "chip" bezeichnet, d.h. obige Beispiele setzen jedes zu übertragende Bit in 9 Chips um.

Auf Empfängerseite werden nur die Codes der gewünschten Kanäle empfangen und alle anderen "ausgefiltert". Da hierbei für jede binäre "0" oder "1", die übertragen werden, eine Vielzahl von Chips übertragen werden, ist das auf der Luftstrecke übertragene Signal wesentlich breitbandiger, als es das ursprüngliche Signal gewesen wäre.

Diese Verfahren haben Vorteile beim Auftreten von schmalbandigen Störungen, da diese immer nur einen kleinen Teil der übertragenen Bandbreite betreffen und damit geringere Auswirkungen als bei einem Schmalbandsystem haben.

CDMA/CDD wird in IS-95 (ein US-Mobiltelefonstandard) verwendet.

2.1.3 Zellulare Netze

Wie bereits in **Abschnitt 2.1.2** ausgeführt, besteht bei Mobilfunknetzen nicht die Möglichkeit mit einem (starken) Sender ein großes Gebiet zu bedienen, da diese Vorgangsweise mit der Leistungsbeschränkung beim Rückkanal (MS als Sender) kollidiert. Außerdem hätte ein derartiges Netzwerk nur eine relativ geringe Kapazität zur Folge (siehe auch **Abschnitt 5**).

Aus diesem Grund wird der gesamte Servicebereich eines Mobilfunknetzes in einzelne Zellen eingeteilt, die jeweils von einer Basisstation (einem Sender/Empfänger) bedient werden. Damit sich benachbarte Basisstationen nicht stören, müssen sie entweder unterschiedliche Frequenz- oder Codebereiche innerhalb des verfügbaren Spektrums verwenden. Unter der Annahme eines idealen Geländes (identische Ausbreitungsbedingungen in allen Richtungen) kommt man damit zu einer hexagonalen Struktur (siehe **Bild 4**). Je nach Auslegung des Mobilfunknetzes können die selben Frequenzen in einer bestimmten Entfernung von der betrachteten Zelle (n in **Bild 4**) wieder verwendet werden.

[7] Die Wahl dieser Zeit im Beispiel ist kein Zufall sondern 4,6 ms sind genau jene Zeit, die in GSM verwendet wird.

[8] Das hier beschriebene Verfahren ist nur eines von mehreren möglichen spread spectrum-Verfahren und wird als "Direct Sequence" Spread Spectrum bezeichnet.

[9] Die Verwendung von unterschiedlichen Zeitschlitzen ist nicht erfolversprechend, da sich die Lage des Signals im zeitlichen Raster durch die Ausbreitung ändert.

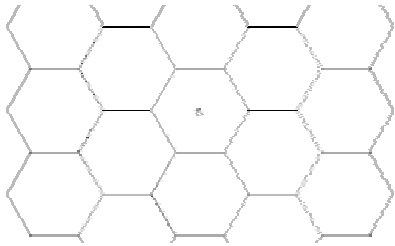


Bild 4: Zellenstruktur

Bedingt dadurch, dass eine Basisstation nur ein begrenztes Gebiet versorgt, der Benutzer aber die Möglichkeit zur Bewegung in einem erheblich größeren Gebiet haben soll (und das auch während eines Telefonates) besteht die Notwendigkeit, dass eine MS von einer Basisstation zu einer anderen weitergereicht werden können muss (Handover; siehe auch **Abschnitt 2.2.2**).

2.2 GSM

GSM verwendet FDD, d.h. getrennte Frequenzbereiche für Up- und Downlink (siehe auch **2.2.1**), und eine Kombination aus FDMA und TDMA (siehe **Bild 5**).

Das gesamte GSM zugeordnete Spektrum wird in 200 kHz-Bereiche aufgeteilt. Innerhalb dieser 200 kHz-Bänder wird TDMA verwendet, um jeweils 8 Kanäle übertragen zu können. Jeder Kanal kann entweder zur Übertragung von Steuerinformation oder aber als Traffic Channel, d.h. zur Übertragung der eigentlichen Nutzinformation (Sprache oder Daten) verwendet werden.

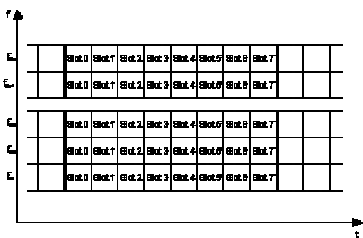


Bild 5: GSM Kanalaufteilung

Um frequenzselektiven Störungen begegnen zu können, ist in GSM ein sogenanntes "langsameres Frequency Hopping" möglich. Dabei wird jeder Zeitschlitz eines Kanals auf einer anderen Frequenz übertragen, was gemeinsam mit der Unempfindlichkeit gegen Blockfehler während der Übertragung (siehe auch **Abschnitt 7.1**) zu einer recht guten Unempfindlichkeit gegen schmalbandige Störungen führt.

2.2.1 Frequenzbereiche

Die ursprüngliche GSM-Spezifikation definiert 2 Frequenzbereiche in der Umge-

bung von 900 MHz zur Kommunikation zwischen Basisstation und MS. Die in der Zwischenzeit erfolgte Ausbreitung des Systems in andere Bereiche der Welt sowie steigender Kapazitätsbedarf führte zur Spezifikation von GSM-Varianten im Bereich von 1800 und 1900 MHz. Die 1900 MHz-Variante ist in Europa nicht im Einsatz und wird deshalb in diesem Artikel nicht weiter behandelt.

Name	MS -> BS	BS -> MS
GSM 900	890 – 915 MHz	935 – 960 MHz
GSM 1800 (DCS 1800)	1710 – 1785 MHz	1805 – 1880 MHz

Tabelle 1: Frequenzbereiche verschiedener GSM-Varianten

Diese insgesamt verfügbaren Frequenzbereiche werden in den einzelnen Ländern noch weiter aufgeteilt, um mehreren Netzbetreibern den Betrieb zu ermöglichen (siehe auch **Abschnitt 8**). Jeder dieser Netzbetreiber seinerseits muss wiederum eine Zuordnung von Frequenzen auf Basisstationen durchführen.

2.2.2 Mobility Management

Da davon ausgegangen werden muss, dass sich der Benutzer mit seiner MS im möglichen Empfangsgebiet bewegt, müssen Vorkehrungen getroffen werden, die es ermöglichen, dass die Kommunikation von einer zu einer anderen Basisstation umgeschaltet wird sowie die MS am jeweiligen Aufenthaltsort angerufen werden kann.

Solange kein Gespräch geführt wird, überwacht die MS die Feldstärke von allen empfangbaren Basisstationen und wählt von diesen jene, die mit der höchsten Feldstärke empfangen wird. Diese Basisstation wird gegebenenfalls bei einem Verbindungsaufbau verwendet.

Andererseits wird auch überprüft, ob die neue Basisstation zu einer anderen "Location Area" (LA) gehört. Wenn das der Fall ist, registriert sich die MS bei der neuen LA um die Lokalisierung der MS im Fall eines Anrufes zu ermöglichen. Wenn eine MS angerufen wird, muss das Netzwerk die MS zunächst einmal exakt orten. Das erfolgt mit Hilfe eines Paging Calls. Der Paging Call muss auf allen Basisstationen abgesetzt werden, in deren Sendebereich sich die MS befinden könnte. Um zu verhindern, dass der Paging Call im gesamten Netzwerk abgesetzt werden muss, wird das Netzwerk in LAs eingeteilt. Dem Netzwerk ist immer bekannt, in welcher LA sich die MS gerade befindet,

und setzt den Paging Call auf den zu dieser LA gehörenden Basisstationen ab.

Wenn ein Gespräch geführt wird, entscheidet ebenfalls die MS über die Notwendigkeit für ein Handover auf Basis von Vergleichsmessungen der Empfangsfeldstärke von der aktuellen und benachbarten Basisstationen. Wenn die Notwendigkeit für ein Handover erkannt wird, sendet die MS einen Handover Request an die (aktuelle) Basisstation womit der eigentliche Handover-Prozess (bei dem die Verbindung aufrecht bleiben muss/soll) eingeleitet wird.



Bild 6: Systemaufbau (vereinfacht)

3 Systemaufbau

Das GSM-System ist ein hierarchisches System, welches aus den folgenden Komponenten besteht (siehe auch **Bild 6**):

- **MSC: Mobile Service Switching Center**
Die Vermittlungszentrale des mobilen Systems.
- **HLR: Home Location Register**
Das HLR ist eine Datenbank, welche die Daten von allen Benutzern enthält, die einen Vertrag mit dem Netzbetreiber direkt abgeschlossen haben. Die hier gespeicherten Daten enthalten auch eine Information darüber, wo der Benutzer sich derzeit aufhält.
- **VLR: Visitor Location Register**
Das VLR ist eine Datenbank, in der die Daten von allen Benutzern, die derzeit am Netz angemeldet sind, gespeichert werden. Das sind einerseits jene Benutzer, die mit dem Netzbetreiber direkt einen Vertrag abgeschlossen haben aber auch jene Benutzer, welche einen Vertrag mit einem Netzbetreiber in einem anderen Land abgeschlossen haben und im Netz dieses Betreibers roamen.
- **EIR: Equipment Identification Register**
Datenbank, in der die Daten von MSs gespeichert sind. Diese Datenbank enthält insbesondere die graue und schwarze Liste, die zur Identifikation von gestohlenen bzw. veralteten MSs verwendet wird.
- **BSS: Base Station Subsystem**
Das Base Station Subsystem umfaßt die Einrichtungen, welche dem Aufbau und der Aufrechterhaltung der eigentlichen Funkstrecke zugerechnet werden. Damit enthält eine BSS folgende Komponenten:
- **BSC: Base Station Controller**
Die BSC steuert die Kommunikation mit

[10] Dies ist, wie zahlreiche andere Features in GSM auch, optional, d.h. es muß vom Netzbetreiber nicht verwendet werden.

allen MSs im Gebiet der BSS und führt alle Aktionen aus, die zur Aufrechterhaltung der Kommunikation erforderlich sind (Handover).

- **BTS: Base Transceiver Station**, Basisstation
Die BTS ist das eigentliche Funkteil des Netzes. Hier befinden sich die Sender und Empfänger über welche die Kommunikation mit den MS durchgeführt wird.

4 Dienste

GSM basiert auf einem Übertragungskanal, der eine Datenrate von 270,833 kBit/s zur Verfügung stellt. Dieser Übertragungskanal wird auf 8 Kanäle aufgeteilt, die wiederum über eine hohe Redundanz zur Erzielung einer ausreichenden Datensicherheit verfügen.

4.1 Sprachdienste

Die "konventionelle" Art der Sprachkodierung, PCM (Pulse Code Modulation, d.h. die Abtastung/Digitalisierung des Sprachsignals zu äquidistanten Zeitpunkten; evtl. in Verbindung mit einem Kompanier [A- oder μ -law]), wie sie bei der digitalen Festnetztelefonie eingesetzt wird, erfordert eine Datenrate von 64 kBit/s, die auf der GSM-Funkstrecke nicht zur Verfügung steht.

Aus diesem Grund wird für GSM ein Vocoder eingesetzt, der Wissen über die Art der Erzeugung der (menschlichen) Töne mit berücksichtigt. Der Vocoder besteht aus einem Modell für den Spracherzeugungstrakt des Menschen und konstruiert aus Sprachsegmenten von 20 ms Länge einen Satz von Parametern (insgesamt 260 Bit), welche die Rekonstruktion der Sprache erlauben. Diese Vorgangsweise führt aber auch dazu, dass in einem GSM-System letztendlich nur Signale übertragen werden können, die auch ein Mensch zu erzeugen in der Lage wäre. Im Fall eines auf Datenkomprimierung optimierten Vocoders wäre eine Sprechererkennung nicht mehr möglich (da alle Sprecher auf das selbe Modell normiert werden), weshalb im Fall des GSM-Vocoders einige Bits zusätzlich spendiert werden, die eine Sprechererkennung ermöglichen. Das führt aber zu einer unterschiedlichen Bedeutung der Bits innerhalb eines Parametersatzes, was bei der Kanalkodierung ausgenutzt wird.

Insbesondere bedeutet die Festlegung auf ein Modell des menschlichen Spracherzeugungstraktes, dass Signale eines konventionellen Modems auf der

GSM-Funkstrecke nicht übertragen werden können.

4.2 Datendienste

Wie im letzten Abschnitt angesprochen, ist es nicht möglich das bandbegrenzte Signal eines konventionellen Modems über die GSM-Funkstrecke zu übertragen. Aus diesem Grund muss für die Datenübertragung eine "Rohdatenübertragung" über die Funkstrecke gewählt werden. Wenn die Daten in ein "konventionelles" Leitungsnetz eingespeist werden, muss dafür eine vom Netzbetreiber zur Verfügung gestellte Modembatterie (bzw. eine entsprechende Funktionalität des MSC) verwendet werden.

In GSM werden derzeit Datendienste mit bis zu 14,4 kBit/s angeboten, wobei die GSM-Spezifikation bereits die Möglichkeit der Bündelung von bis zu 4 Kanälen mit dementsprechender höherer Kapazität vorsieht.

5 Kapazität

Die Kapazität einer Basisstation wird durch die Anzahl der zugeteilten Frequenzbänder bestimmt. In jedem dieser Frequenzbänder können maximal 8

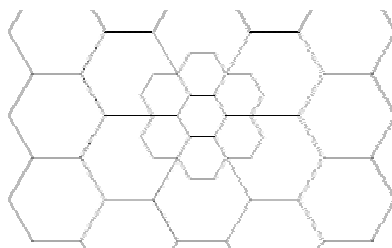


Bild 7: Aufteilung einer Einzelzelle

Nutzkanäle (d.h. gleichzeitige Verbindungen) übertragen werden.

Wie im **Abschnitt 2.1.3** beschrieben, muss jeder Netzbetreiber die ihm zur Verfügung stehende Bandbreite derart aufteilen, dass sich die einzelnen Basisstationen nicht gegenseitig stören.

Damit ergibt sich, dass im Wirkungsbereich einer Basisstation eine maximale Anzahl von Verbindungen gleichzeitig aktiv sein kann, die sich aus den Frequenzbändern, die der Basisstation zugeteilt sind, ergibt. Wenn in dem von dieser Basisstation bedienten Gebiet eine größere Anzahl von Gesprächswünschen entsteht, als dieser Kapazität entspricht, kann nicht allen Gesprächswünschen

entsprochen werden. Eine mögliche Abhilfe gegen diese Situation ist die Verkleinerung der Zellen, da sich in einer kleineren Zelle weniger Menschen aufhalten und daher auch weniger Gesprächswünsche entstehen.

6 Identifikation der Mobile Station

In einem GSM-Netz muss die Möglichkeit bestehen, die MS unabhängig vom aktuellen Aufenthaltsort zu identifizieren. Außerdem soll das Routing der Information zum aktuellen Aufenthaltsort des Teilnehmers möglichst einfach sein. Eine zusätzliche Forderung ist die Geheimhaltung des Aufenthaltsorts des Teilnehmers nach außen hin.

Damit ergeben sich folgende Identifikationsteile:

- **IMSI (International Mobile Subscriber Identity)**
Die IMSI ist die eigentliche Identifikation der MS / des Teilnehmers. Diese Nummer wird einmal im Zuge der Aktivierung der SIM-Card vergeben.
- **TMSI (Temporary Mobile Subscriber Identity)**
TMSI ist eine temporäre Version der IMSI. Normalerweise wird auf der Funkstrecke nur die TMSI verwendet, wodurch das Verfolgen des Aufenthaltsorts des Teilnehmers für einen Außenstehenden (d.h. alle ungleich dem Netzbetreiber und dem Teilnehmer) jedenfalls sehr schwer gemacht wird.
- **MSISDN (Mobile Station ISDN Number)**
MSISDN ist die "Telefonnummer" mit der die MS erreichbar ist.
- **MSRN (Mobile Station Roaming Number)**
MSRN ist eine Telefonnummer (im Prinzip wiederum eine ISDN-Nummer), die den Verbindungsaufbau zu roamenden Teilnehmern erleichtert, da diese Nummer auch die Information über den aktuellen Aufenthaltsort enthält.
- **IMEI (International Mobile Equipment Identifier)**
Der equipment identifier erlaubt die eindeutige Identifizierung der MS und damit für den Netzbetreiber das Sperren von als gestohlen gemeldeten MSs ("schwarze Liste") sowie die Kennzeichnung von MSs, welche nicht alle Dienste unterstützen ("graue Liste").

7 Sicherheit

Sicherheit, wie es in GSM verstanden wird, besteht aus 2 unterschiedlichen Teilen.

[11] Voice Coder

[12] Von einem der österreichischen Netzbetreiber wurden Datendienste mit bis zu 57,6 kBit/s (d.h. 4 x 14,4 kBit/s für 1999 bereits angekündigt.

[13] Unter Vernachlässigung der jedenfalls erforderlichen Übertragung von Netzwerk-Kontroll- und Steuerinformation.

Einerseits die eigentliche Datensicherheit (siehe **Abschnitt 7.1**), die gewährleisten soll, dass Daten, die an einer Stelle abgeseendet werden, auch tatsächlich in dieser Form beim Empfänger ankommen.

Andererseits ist es gerade bei Funkdiensten aber auch relevant, dass nur der gewünschte Teilnehmer die Daten erhält, d.h. dass vor allem die Funkstrecke abhörsicher ist (wenn einer der beteiligten Betreiber nicht zuverlässig ist, wäre es klüger keine vertraulichen Daten über sein Netz zu senden oder aber diese an anderer Stelle zu verschlüsseln; siehe **Abschnitt 7.2**).

7.1 Datensicherheit

Datensicherheit in GSM muss auf die speziellen Bedürfnisse eines Funkkanals Rücksicht nehmen, weshalb hier zunächst auf den Funkkanal kurz eingegangen wird.

Auf einem Funkkanal kann es durch Reflexionen des Signals an Gebäuden, Felswänden, Fahrzeugen, ... zu einem Mehrfachempfang des Signals kommen (siehe). Hierbei werden zeitlich verschobene Kopien des Signals (die zeitliche Verschiebung entsteht durch den unterschiedlichen Weg, den das Signal auf den unterschiedlichen Wegen zurücklegen muss und die dadurch unterschiedliche Laufzeit) überlagert empfangen. Durch die zeitliche Verschiebung kann es zu konstruktiver aber auch zu destruktiver

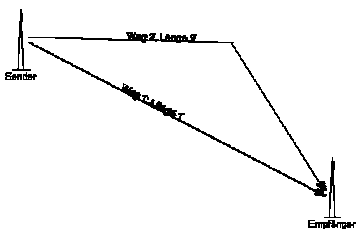


Bild 8: Mehrfachempfang

Interferenz (siehe **Bild 9**) kommen.

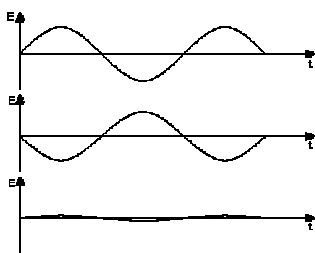


Bild 9: destruktive Interferenz

Diese Interferenzen können zu einem schnellen Fading, d.h. sehr kurzen Einbrüchen in der Empfangsfeldstärke, führen, wodurch für kurze Zeitintervalle die Datenübertragung unmöglich wird. Jedenfalls bedeutet das aber, dass im Falle eines fehlerhaft übertragenen Bits die Wahrscheinlichkeit hoch ist, dass das darauffolgende Bit wiederum fehlerhaft übertragen wird (Bündelfehler). Ohne spezielle Abhilfemaßnahmen sind die meisten Fehlersicherungsmaßnahmen gegen Bündelfehler wesentlich empfindlicher als gegen zufällig innerhalb eines geschützten Blockes verteilte Fehler.

Um diesem Problem zu begegnen, werden die Daten in GSM interleaved übertragen (siehe **Bild 10**). In **Bild 10** ist dabei der gesamte Weg von den PCM-Sprachdaten bis zum am Funkweg übertragenen Signal dargestellt. Aus-

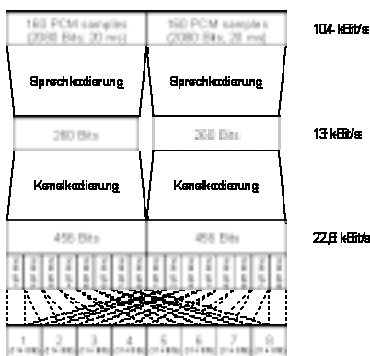


Bild 10: Übertragung der Sprachdaten

gangspunkt ist ein konventionelles PCM-Signal mit 13 Bit Auflösung und einer Abtastrate von 8 kBit/s. Abschnitte von 20 ms Länge werden von der Sprachkodierung in 260 Bits dargestellt (siehe auch **Abschnitt 4.1**). Da dieses Signal ausgesprochen empfindlich gegen Datenfehler ist, erfolgt anschließend die Kanalkodierung, welche die Redundanz und damit die Datenmenge auf 456 Bits erhöht. Bitfehler in dieser Bitfolge sind zu einem großen Teil korrigierbar. Diese Bitfolge wird in 8 Segmente aufgeteilt und die Bitfolgen von 2 aufeinanderfolgenden Abschnitten werden verschachtelt übertragen (d.h. das erste Segment der ersten Bitfolge wird mit dem ersten Segment der zweiten Bitfolge kombiniert, das zweite Segment der ersten Bitfolge mit dem 2. Segment der zweiten Bitfolge...). Jeweils eine derartige Kombination aus 2 Abschnitten (114 Bits) wird in einem Zeitschlitz übertragen. Wenn damit ein Zeitschlitz derart gestört wird,

dass alle Bits fehlerhaft rekonstruiert werden, sind zwar zwei Sprachabschnitte betroffen, durch die hohe Redundanz ist aber in der Regel die Wiederherstellung der Information möglich. Würde kein Interleaving verwendet, wären in diesem Fall doppelt so viele Bits aus einer Bitfolge betroffen, was eine Wiederherstellung der Daten entsprechend schwieriger oder unmöglich machen würde. Die andere Bitfolge würde dann zwar ungestört übertragen werden (unter der Annahme, dass genau ein Zeitschlitz verloren geht), was aber letztendlich keinen Vorteil gegenüber vollständiger Wiederherstellung der Daten darstellt.

Im Fall der Übertragung von Sprachdaten (was die Hauptanwendung von GSM ist) erfolgt zusätzlich eine Einteilung der ein Sprachpaket beschreibenden Bits nach ihrer Wichtigkeit wobei die wichtigsten Bits besser geschützt werden.

Wenn ein reines Datensignal übertragen wird, entfällt der Sprachkodierungsteil und die zu übertragenden Daten werden direkt der Kanalkodierung zugeführt.

7.2 Vertraulichkeit

Zur Vertraulichkeit gehört vor allem eine Verschlüsselung der Daten auf der Funkstrecke um das Abhören von Gesprächen zu verhindern und das Vermeiden der Übertragung der IMSI, um die Lokalisierung der Teilnehmer durch Außenstehende zu verhindern.

Bei jedem Verbindungsaufbau werden zwischen Netz und MS neue Verschlüsselungsparameter vereinbart, wodurch das "Knacken" des Codes für eine Verbindung keine Information für die nächste Verbindung enthält.

Anstelle der IMSI wird im Regelfall die TMSI verwendet, die ebenfalls periodisch gewechselt wird, wobei die Zuordnung IMSI - TMSI nur innerhalb des Vermittlungsnetzes bekannt ist. Damit wird es für einen Außenstehenden deutlich erschwert, den Aufenthaltsort des Teilnehmers zu verfolgen.

8 Unterschiede 900/1800 MHz

Grundsätzlich gilt in beiden Frequenzbändern im Prinzip der selbe Standard, weshalb auch keine grundsätzlichen Unterschiede in den Eigenschaften bestehen.

Durch den Standard erzeugte Unterschiede existieren aber zum einen aufgrund der im 1800 MHz Netz verfügbaren größeren Bandbreite sowie durch die

[14] Die Dauer derartiger Signaleinbrüche liegt im ms-Bereich, da durch die hohe Frequenz (900 bzw. 1800 MHz) und die damit verbundenen kurze Wellenlänge (ca. 33 bzw. 17 cm) bereits eine kleine Variation des Aufenthaltsortes des Empfängers oder aber der Ausbreitungsbedingungen ausreicht, um von destruktiver zu konstruktiver Interferenz zu kommen.

im Standard vorgesehene kleinere Sendeleistung (und damit geringere Reichweite) von Basisstationen und MSs im 1800 MHz-Netz.

Die größere verfügbare Bandbreite (siehe **Tabelle 2**) erlaubt es Betreibern in diesem Band (so sie auch entsprechend mehr Bandbreite zugeteilt bekommen haben, was aber zumindest in Österreich der Fall ist) Dienste mit höherem Bandbreitenbedarf anzubieten, als dies (bei vergleichbarer Basisstationsdichte) für einen Betreiber im 900 MHz-Netz möglich wäre.

Aufgrund der im Standard vorgesehenen geringeren Sendeleistung im 1800 MHz-Netz ist in diesem Netzwerk jedenfalls eine höhere Anzahl von Basisstation zur Abdeckung des selben Gebietes erforderlich. Dies ist im 1. Schritt ein Nachteil führt aber gleichzeitig zum Vorteil, dass das Netz (auch bei Verfügbarkeit der selben Bandbreite für den Betreiber) automatisch über eine höhere Kapazität verfügt und Funkschatten besser "ausleuchtet".

Grundsätzlich ist aber festzuhalten, dass die meisten Unterschiede zwischen den Betreibern vor allem in unterschiedlicher Implementierung von optionalen Bestandteilen des Standards (wie z.B. die Enhanced Full Rate (EFR)-Sprachkodierung), die aber sowohl für 900 als auch für 1800 MHz gelten und unterschiedlichen angebotenen Diensten (wie SMS-eMail Gateways) bestehen.

9 Literatur

- Principles & Applications of GSM
Vijay K. Garg
Joseph E. Wilkes
Prentice Hall, 1999
ISBN: 0-13-949124-4
- GSM Global System for Mobile Telecommunication
J. Eberspächer
H.-J. Vogel
B.G. Teubner, 1997
ISBN 3-519-06192-9
- Digital Communication
Edward A. Lee
David G. Messerschmitt
Kluwer Academic Publishers, 1988
ISBN 0-89838-274-2
- GSM Standard
(verfügbar unter <http://www.etsi.fr>)

Mobilfunknetze & Protokolle

Friedrich Pexa

Autor Walke, B.

Band 1 198 Bilder, 71 Tabellen, 468 S., öS 715.-

Band 2 257 Bilder, 76 Tabellen, 456 S., öS 715, beide Bände zus. öS 1234.-

Verlag B.G.Teubner, Stuttgart, 1998

Auf dieses Werk hat man schon lange gewartet. Das Buch, in welchem zahlreiche Spezialisten ihre jeweiligen Beiträge klar und gut aufbereitet einbringen, ist hervorragend geeignet, sich sowohl rasch einen Überblick über den derzeitigen Stand der Mobilfunktechnik zu verschaffen als auch zur profunden Einarbeitung in konkrete Details - etwa der Classmark Information Type im Zusammenhang mit Handoverproblemen beim GSM.

Band 1

Nach einer Einführung in grundsätzliche Systemaspekte (Ausbreitung, Funkfeldberechnung, Sektorisierung etc.) werden im 1. Band GSM, TFTS, UMTS und FPLMTS beschrieben.

Band 2

Band 2 befasst sich mit Bündelfunk, Paging, DECT, WLL, Wireless ATM, HIPERLAN, Satellitenkommunikation, UPT und Intelligenten Netzen.

Zahlreiche Tabellen und vor allem Informationen über Standards und internationale Arbeitsgruppen sowie ein umfangreicher, aktueller Literaturindex mit Internetadressen werden Studenten genauso wie Ingenieure in Praxis und Lehre immer wieder zu diesem Buch greifen lassen.

Es ist nicht der Unternehmer, der die Löhne zahlt - er übergibt nur das Geld. Es ist das Produkt, das die Löhne zahlt.

HENRY FORD

Wenn man erfolgreich ist, dann überschlagen sich die Freunde, aber erst wenn man einen Misserfolg hat, freuen sie sich wirklich.

HARRY S. TRUMANN

Betreiber	Verfügbare Bandbreite		Reservierte Bandbreite ¹⁵	
	B	f	B	f
	[MHz]	[MHz]	[MHz]	[MHz]
Mobilkom (A1)	8,0	900	5,0	1800
max.mobil	8,0	900	5,0	1800
Connect Austria (ONE)	16,8	1800	5,7	1800

Tabelle 2: Verfügbare Bandbreiten

[15] Diese Bandbreite ist jeweils 2x verfügbar, 1x für die Verbindung von der Basistation zur MS und ein zweites mal in der Gegenrichtung.

[16] Diese reservierte Bandbreite steht den Betreibern unter bestimmten Bedingungen wie z.B. nachgewiesener Überlastung der bisher zugewiesenen Frequenzen oder Erreichen einer bestimmten Teilnehmerzahl zur Verfügung.

[17] Die Mobilkom verfügt zusätzlich über 2x11 MHz bei 900 Mhz für das D-Netz.