

# Das Mobilfunknetz

Vincent Langenfeld

3. Dezember 2007

## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Was nervt und hat 5 Buchstaben?</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Funk</b>	<b>3</b>
2.1	Signalstärke . . . . .	3
2.2	Fading . . . . .	4
2.3	Fehlerkorrektur . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Aufbau des Mobilfunknetzes</b>	<b>6</b>
3.1	Die Zellstruktur . . . . .	6
3.2	Frequenzwiederverwertung . . . . .	7
<b>4</b>	<b>Wie man die Leistung weiter erhöht</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Das Gerät im Mobilfunknetz</b>	<b>9</b>
5.1	Beim Netz anmelden . . . . .	9
5.2	Einen Anruf starten . . . . .	9
5.3	Handoff . . . . .	10
<b>6</b>	<b>Die (bisher kurze) Geschichte der Handynetze</b>	<b>10</b>
6.1	Die erste Generation . . . . .	10
6.1.1	AMPS . . . . .	10
6.1.2	Das C-Netz . . . . .	10
6.2	Die zweite Generation . . . . .	11
6.2.1	TDMA . . . . .	11
6.2.2	CDMA . . . . .	11
6.3	Die dritte Generation . . . . .	12

## 1 Was nervt und hat 5 Buchstaben?

Richtig, es ist das Handy.

Bei meiner Suche nach Informationen zum Thema Handynetze stiess ich auf folgende interessante, und für den heutigen Handynutzer fast schon lächerlich Informationen auf Wikipedia. Und was eignet sich besser für eine Einleitung als die Entstehung dessen, über was man berichten möchte. Das erste Handynetz, dass in Deutschland auf Sendung ging war der Öffentlicher beweglicher Landfunk (ÖbL) im Jahr 1958. Die Technik für ein Telefon für das ÖbL war damals gross genug um einen grossen Teil eines Kofferraums einzunehmen. Erst in den 60ern schrumpfte die Technik dank des Transistors auf Schuhkartongrösse. Gespräche in diesem ersten daher auch A-Netz genannten Funknetz wurden handvermittelt. Das heisst unter anderem, dass eine aufgebaute Verbindung beim verlassen des Einzugsbereiches einer Landfunkvermittlungsstelle getrennt wurde. 1968 waren immerhin 80% Westdeutschlandes mit dem A-Netz versorgt. Die Kapazitätsgrenze von 11.000 Teilnehmern erreichte man 1971, was die Inbetriebnahme des B-Netzes 1972 zur Folge hatte.[2]

Das B-Netz war im Gegensatz zu seinem Vorgänger schon vollautomatisch. Das heisst, dass man selber per Eingabe der Nummer einen anderen anrufen konnte, ohne Zutun einer dritten Person. Das grosse Problem dabei war, dass man auf ca. 27km genau wissen musste, wo sich der gewünschte Gesprächspartner befindet. Im B-Netz waren damals bis zu 27.000 Teilnehmer möglich.[3]

Im Jahr 1988 wird bei der Deutschen Telekom zum ersten Mal die gigantische Zahl von 10.000 Handys<sup>1</sup> bestellt. Diese waren die ein halbes Kilo schweren Gerät für das C-Netz. Aber, bevor ich nun etwas über diese erste den modernen Netzen sehr nahe C-Netz verrate, gibt es die Grundlagen.

## 2 Funk

Nun erst ein paar Worte zu Dingen, die man beim Aufbau eines Funknetzwerks beachten muss. Die Verwendung von Funkwellen als 'Übertragungsmedium' führt zu Problemen, die man mit Kabeln nicht oder bedeutend weniger hat. William Stallings nennt in seinem Buch Data and Computer Communications, auf das ich mich in der gesamten Ausarbeitung beziehe, soweit nicht anders markiert, folgende Punkte:

### 2.1 Signalstärke

Bei der Übertragung von Daten per Funk muss das Signal jederzeit stark genug sein, dass die Daten noch herauszulesen sind. Doch muss das Signal schwach genug sein, den selben Kanal in einer anderen Zelle nicht zu stören. Zudem ändert sich die Singalsärke je nach Abstand zum Empfänger. Rauschen kann das Signal zusätzlich stören, wobei sogar noch unterschieden werden muss, ob man sich auf dem Land oder in urbanem Gefilde bewegt.

---

<sup>1</sup>Erstaunlicherweise lässt sich heute nicht mehr sagen woher der Begriff Handy gekommen ist.[6]

## 2.2 Fading

Schwund<sup>2</sup> entsteht durch die Steuung und Reflektion der Funkwellen. Bei der Einteilung und Konfiguration der Basissationen des Mobilfunknetzwerkes muss diesem Effekt Beachtung geschenkt werden. Es gibt zwei Arten von Fading:

**fast fading** Durch die Bewegung des mobilen Geräts ändert sich die Stärke des Signals, bedingt durch eine veränderte Position des Senders, schnell. Zum Beispiel wenn man sich telefonierend durch eine Stadt bewegt, und sich Häuser und Häuserschluchten abwechseln. Wobei die Verbindung einmal über die direkte Sichtlinie zwischen Sender und Empfänger geht, und kurz darauf nurnoch über Fadingeffekte gewährleistet ist.

**slow fading** wird das langsame schwächer werden des Signals genannt, wenn man sich von der Basisstation entfernt.

Diese beiden Typen von Fading lassen sich noch aufteilen in Flat fading, was lediglich meint, dass alle Frequenzen davon betroffen sind, und selective fading, was heisst, dass nur bestimmte Teile des Frequenzspektrums betroffen sind.

Leider sind Fadingeffekte schwierig vorhersagbar, da selbst eine Strassenlaterne, Regen oder dergleichen zu einer Veränderung führen können. Zur Berechnung kann das Modell von Hata zur Hand genommen werden, auf das ich hier nicht weiter eingehen möchte. Hingegen sind die Effekte ansich sehr interessant, nicht zuletzt deswegen, weil Reflektion und Streuung der einzige Grund sind, wieso man selbst in Häuserschluchten Empfang hat, wo sonst eigentlich keine direkte Verbindung zu einer Antenne herrscht.

**Reflexionen** gibt es, wenn eine Radiowelle auf eine Oberfläche trifft, die im Vergleich zur Wellenlänge gross ist. Das Signal hat nach der Reflexion eine Phasenverschiebung von  $180^\circ$ . Je nach dem wie viel Zeit mehr die reflektierte Welle für ihren Weg braucht kann sie das direkte Signal mit ihr versärken oder sogar auslöschen. Da die Antenne des mobilen Gerätes meistens niedriger liegt, als drumherum stehende Häuser und andere Hindernisse, können etliche reflektionen des Signals entstehen.

**Beugung**<sup>3</sup> gibt es, wenn die Radiowellen auf eine Kante eines, im Vergleich zur Wellenlänge grossen Objektes treffen. Werden Wellen gebeugt, so breiten sie sich hinter der Ecke des Hindernisses aus, auch dort wo sie eigentlich schon Schatten sein sollte.

**Streuung**<sup>4</sup> entsteht, wenn die Radiowellen auf ein, im Vergleich zu ihrer Wellenlänge kleines Hindernis treffen. Das Signal wird dabei in einige schwächere Signale geteilt, die sich in andere Richtungen fortsetzen.

Treten Reflexion, Beugung und Streuung gemeinsam auf, kann das dazu führen, dass mehrere Kopien des Originalsignals zeitverzögert beim Empfänger ankommen (Siehe Abbildung 2).

---

<sup>2</sup>Schwund

<sup>3</sup>diffraction

<sup>4</sup>scattering

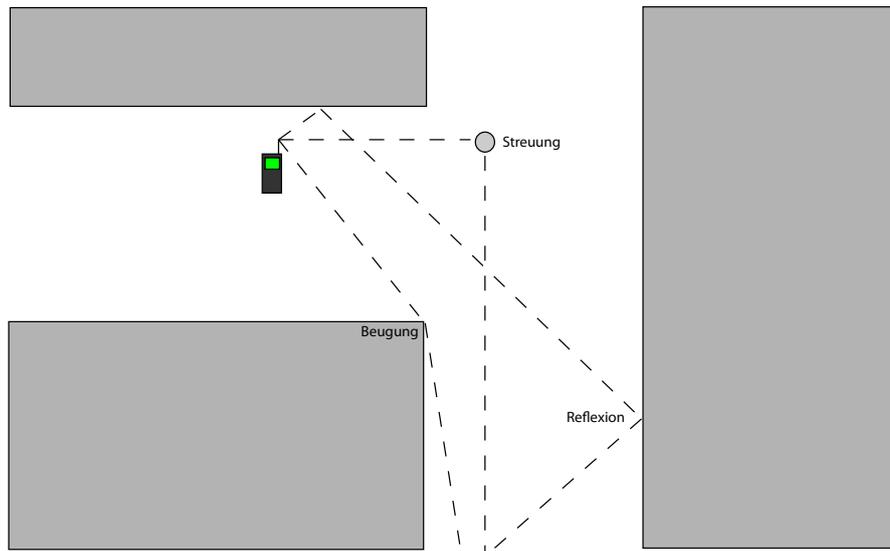


Abbildung 1: Signalschwund in einer Häuserschlucht

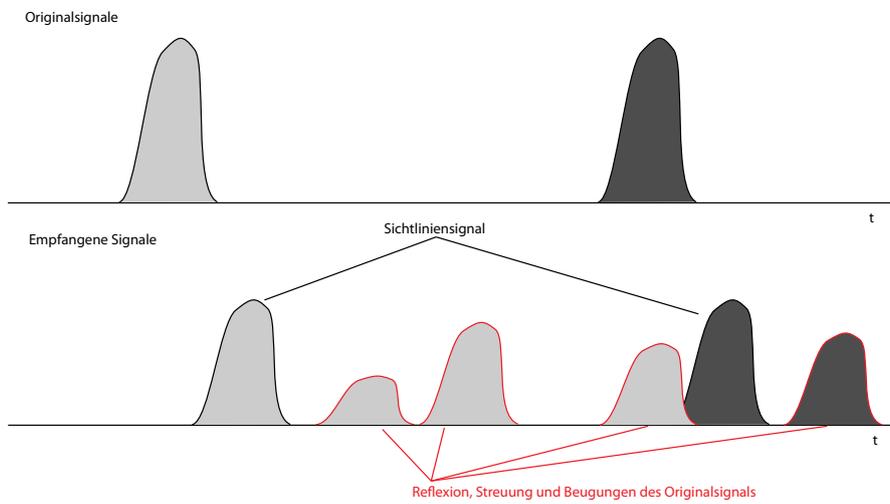


Abbildung 2: Empfang vom Originalsignal und dessen Reflexionen, Streuungen und Beugungen

## 2.3 Fehlerkorrektur

Um aus den empfangenen Signalen wieder verständliche Daten zu machen, mit möglichst wenigen Fehlern stehen nun noch einige Fehlerkorrekturverfahren zu Verfügung. In der Praxis werden all diese Möglichkeiten kombiniert, um gegen die hohe Fehleranfälligkeit einer Funkverbindung anzukommen.

**Vorwärtsfehlerkorrektur** Ein digitales Signal kann zur Übertragung aufgeblasen werden. So werden für ein echtes Datenbit zwei oder drei Bit mit der selben information gesendet. Dies halbiert beziehungsweise senkt die letztlich zur Verfügung stehende Übertragungsleistung auf ein Drittel. Das mag nach reinem Luxus klingen. Bei einer Funkübertragung ist diese Menge an Redundanz aber dringend nötig.

**Diversity** Dadurch dass verschiedene Frequenzen verschiedenenes Fading erleiden, ist es sinnvoll die Daten nicht über eine Frequenz zu senden. Die Daten werden dann aufgeteilt und Stückchenweise auf verschiedenen Frequenzen verschickt. Dies senkt zwar die Errorrate nicht direkt, verhindert aber negative Extremfälle. Dieses Verfahren wird genauer Frequency Diversity genannt. Als Space Diversity wird es bezeichnet, wenn man hingegen mehrer Antennen benutzt um das Signal zu empfangen, um aus der Zusammenstellung aller so gewonnenen Daten das Ursprungssignal zu errechnen.

## 3 Aufbau des Mobilfunknetzes

Der letzte Abschnitt beschäftigte sich noch hauptsächlich mit einigen grundlegenden Dingen, auf die beim Aufbau eines Funknetzes geachtet werden muss und schon einige Strategien die verwendet werden können um die Unzulänglichkeiten der Datenübertragung ohne Kabel wieder gut zu machen. Nun wird es Zeit sich mit der Struktur des Mobilfunknetzes zu beschäftigen.

### 3.1 Die Zellstruktur

Grundsätzlich bauen sich Mobilfunknetzte aus kleinen Zellen auf, in deren Mitte je eine Basisstation steht. Diese bedient alle mobilen Geräte in ihrer Reichweite, was im Optimalfall der Grösse einer Zelle entspricht. Eine Basisstation besitzt eine Antenne, einen Controller und genug Transceiver für die Kommunikation auf allen der Zelle zugewiesenen Kanälen. Der Sender verfügt hierbei über eine nur geringe Sendeleistung von 1W-10W, was (mit Absicht) eine geringe Reichweite von bis zu 20km zur Folge hat. Warum dieser Effekt erwünscht ist, werde ich im nächsten Abschnitt erklären. Nun stellt sich als aller Erstes die Frage, wie die Antennen angeordnet werden sollten. Das geometrisch gesehen einfachste Muster wären Quadrate, jeweils mit der Antenne als Mittelpunkt (Abbildung 3). Die Verwaltung einer solchen Struktur würde sich jedoch relativ schwer gestalten, da nicht jede Antenne von jeder anderen den selben Abstand hätte. Zudem würde sich eine quadratische Form gegen die Physik stämmen, da sich ein Funksignal nunmal kreisförmig ausbreiten und sich die Zellen weit überlappen würden, müssten sie auch die Ecken

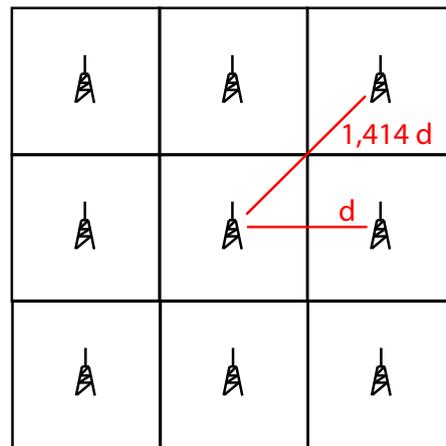


Abbildung 3: Quadratische Zellstruktur

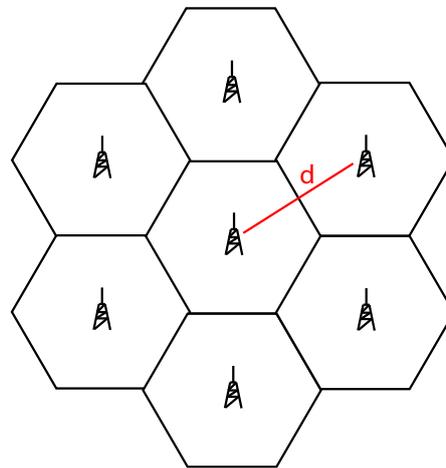


Abbildung 4: Wabenstruktur

zufriedenstellend befeuern. Letztenendes entschied man sich für eine Wabenstruktur (Abbildung 4) aus Sechsecken. Diese bietet den Vorteil, dass alle Sender den selben Abstand von einander haben und ein Sechseck schon eine gute Annäherung an die kreisförmige Ausbreitung des Signals gibt.

### 3.2 Frequenzwiederverwertung

Jeder Zelle wird eine Menge von Frequenzen zugewiesen, auf denen sie senden darf (normalerweise zwischen 10 und 50 Frequenzen). Um überhaupt genug Frequenzen für die Abdeckung eines ganzen Landes zur Verfügung zu haben, wird jede Frequenz etlichen Zellen zugewiesen. Zellen, die die selben Frequenzen verwenden, müssen so weit auseinander liegen, dass sie sich gegenseitig nicht mehr stören. In „Data and Computer Communi-

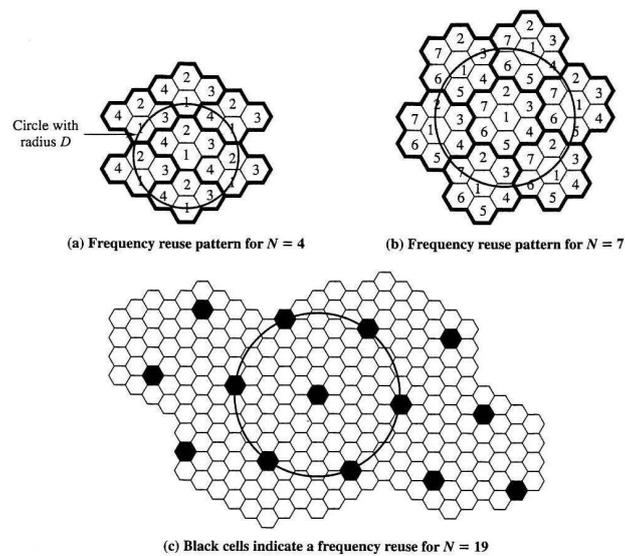


Figure 14.2 Frequency Reuse Patterns

Abbildung 5: verschiedene Gruppengrößen

cations“ werden die Zellen in Gruppen von 7,9,12,13,16... Zellen zusammengefasst was anhand der Formel  $N = I^2 + J^2 + (I * J)$   $I, J = 0, 1, 2, 3, \dots$  berechnet wurde. In einer Gruppe hat keine BS die selbe Frequenz wie eine andere. 1,3,4 wäre zwar geometrisch möglich, doch ist noch nicht garantiert, dass Zellen mit gleichen Frequenzen auch weit genug voneinander entfernt liegen. Bei allen Formen mit mehr als 7 Zellen ist die Distanz zwischen den Zellen grossgenug (Siehe Abbildung 5). Die Menge der verfügbaren Frequenzen teilt sich auf alle Zellen auf. So hat bei 395 verfügbaren Frequenzen und 7 Zellen in einer Gruppe jede Zelle im Durchschnitt 57 Frequenzen zur Verfügung[7].

## 4 Wie man die Leistung weiter erhöht

Aber was tun, wenn die einer Zelle zugewiesenen Frequenzen nicht mehr ausreichen, um alle mobilen Geräte die gerade Daten verschicken wollen, zu bedienen. Oder wenn die Natur oder eine seltsame Bebauung die Wabenstruktur des Netzes unbrauchbar machen.

**Kanäle freischalten** Noch ungenutzte Kanäle können im Nachhinein, bei steigender Netzlast freigeschaltet werden. Das geht, weil man beim Installieren einer Basisstation oft Kanäle noch unbenutzt lässt, als Reserver.

**Ausleihen von Frequenzen (Frequenz borrowing)** Eine Zelle, in der viel Verkehr herrscht leiht sich Frequenzen von einer anliegenden Zelle aus. Ist die Netzlast wieder auf ein Normalmass gesunken, wird die Frequenz zurückgegeben. Dies funktioniert leider nur, wenn die Überbelastung auf eine Zelle beschränkt ist.

**Cellsplitting** Zellen, die in topographisch schwierigen Gebieten liegen können ein weiteres Mal in kleinere Zellen unterteilt werden, welche ebenfalls noch einmal unterteilt werden können. Bei einer Grösse von 1,5km ist eine untere Grenze erreicht weil die Zahl der handoffs zu sehr steigt. Ein Handoff findet statt, wenn ein Gerät von einer Zelle zur nächsten wandert, und von der Ursprungszelle zur nächsten 'herübergereicht' wird.

**Cell sectoring** Zellen können auch in keilförmige Sektoren unterteilt werden, wobei jeder der drei bis sechs Sektoren seine eigene Untermenge von Frequenzen bekommt. Richtantennen an der Basisstation konzentrieren sich auf die einzelnen Sektoren.

**Microzellen** kommen in grossen öffentlichen Gebäuden, in Städten und an Autobahnen zum Einsatz. Sie sind die kleinsten Zellen und haben eine Reichweite von maximal einem Kilometer. Praktischerweise geht mit der Nähe von Basisstation und mobilem Gerät auch die Strahlenbelastung herunter.

Eine Übersicht über die Werte von normalen Zellen und Mikrozellen, gibt die folgende Tabelle:

	Zelle	Microcell
Radius	1-20km	0,1-1km
Sendeleistung	1-10W	0,1-1W
Maximale Übertragungsrate	0,3Mbps	1Mbps

## 5 Das Gerät im Mobilfunknetz

Jede Basisstation ist mit einem mobile telecommunications switching office (MTSO) verbunden. Das MTSO verbindet alle mobilen Geräte miteinander, und stellt auch die Verbindung ins Festnetz. Desweiteren ist das MTSO für die Kontrolle der Handoffs und die Aufzeichnung der Gespräche für die Abrechnung zuständig.

Im Mobilfunknetz gibt es zwei Arten von Kanälen. Die control channels zur Verwaltung des Netzwerks und die traffic channels, die für die Übertragung der Daten benutzt werden.

### 5.1 Beim Netz anmelden

Wenn ein mobiles Gerät eingeschaltet wird sucht es automatisch nach dem stärksten Setupkanal. Dieser gehört dann auch automatisch zu der Zelle in der sich das Gerät gerade befindet. Via handshake meldet sich dann das Gerät bei der Basisstation an, und identifiziert sich. Diesen Vorgang wird periodisch wiederholt, um festzustellen, ob es ein neues stärkeres Signal gibt, was einen Zellenwechsel bedeuten würde. Das Handy beobachtet zudem im Kontrollkanal ob es Pagingnachrichten für es gibt. Eine Pagingnachricht mit der eigenen Nummer würde bedeuten, dass es einen Anruf an das Gerät gibt.

### 5.2 Einen Anruf starten

Um einen Anruf zu starten, wird vom Handy zuerst geprüft ob der Setupkanal frei ist. Danach wird der Basisstation und somit dem MTSO mitgeteilt, dass jemand angerufen

werden soll. Das MTSO versucht nun eine Verbindung zu gewünschten Gesprächspartner herzustellen, indem im Falle eines anderen mobilen Gerätes, das MTSO eine Pagingnachricht an dieses Gerät schickt, oder bei einem Festnetzanschluss, diesen anruft. Erst wenn der gewünschte Gesprächspartner angenommen hat wählt das MTSO einen freien Datenkanal und baut eine Verbindung zwischen beiden Gesprächsteilnehmern auf.

### 5.3 Handoff

Wird während eines Anrufes die Zelle gewechselt, so ermittelt das MTSO einen freien Datenkanal in der neuen Zelle und gibt den Anruf unterbrechungsfrei an die neue Zelle weiter.

Wird ein Anruf beendet, so gibt das MTSO die Datenkanäle an der Basisstation wieder frei.

## 6 Die (bisher kurze) Geschichte der Handynetze

### 6.1 Die erste Generation

In Nordamerika installierte man in den 80ern das AMPS (Advanced Mobile Phone Service). Nach einigen Worten zum AMPS möchte ich dann auch noch auf das Deutsche C-Netz eingehen, das zur selben Zeit aufgebaut wurde[4], und einige der grossen Schwächen mit AMPS teilt. Beide Netze unterstützen schon das verbindungsabbruchfreie Wechseln der Zelle (Handover).

#### 6.1.1 AMPS

AMPS stellte das letzte der analogen Handynetze dar. Die Kontrollkanäle benutzen zwar schon digitale Datenübertragung, doch auf den Datenkanälen wurden die Anrufe simpel via Frequenzmodulation verschickt. Jedes AMPS Telefon verfügte über einen ROM-Baustein, der die Seriennummer des Telefons und die Rufnummer kannte. Die Seriennummer wurde benutzt, um das Telefon im Netz zu identifizieren und um es sperren zu können, sollte das Telefon als gestohlen gemeldet sein. Manche Telefonanbieter ermöglichten ihren Kunden die heute wohlbekanntere PIN Eingabe, um den Diebstahl eines Telefons zu erschweren.

#### 6.1.2 Das C-Netz

Auf der Suche nach einem Deutschen Äquivalent für AMPS, fand ich auf Wikipedia folgende Informationen über das C-Netz. Das C-Netz war das letzte in Deutschland benutzte analoge Mobilfunknetz, was bis in die 90er Jahre Verwendung fand. Es benutzte genau wie AMPS ein analoges Signal zur Übertragung der Daten, was das Netz sehr leicht abhörbar machte. Zudem konnte das C-Netz maximal 850.000 Benutzer auf einmal verwalten, was heutzutage nicht mehr reichen würde. Das C-Netz wurde bis 2000 abgeschaltet, die Frequenzen werden nun für die Internetanbindung des WLANs in ICEs verwendet.[4]

## 6.2 Die zweite Generation

Die zweite Generation von Mobilfunknetzen brachte digitale Datenkanäle. Über sie konnte nun nicht mehr nur Sprache übertragen werden, sondern auch problemlos jede andere Art von Daten. Aufgrund der digitalen Datenübertragung konnten die Daten nun im Gegensatz zu Systemen der ersten Generation auch einfach verschlüsselt werden. Die Sprachqualität wurde ebenfalls erhöht, schlicht dadurch, dass auf den digitalen Daten recht simpel eine Fehlerkorrektur vorgenommen werden konnte, wie sie im Abschnitt Fehlerkorrektur besprochen wurde. Laut Wikipedia ist GSM (und für Datenübertragungen GPRS), auf das momentan noch so ziemlich jedes Handy verbindet, der Mobilfunkstandard passen zu den Netzen der 2ten Generation[4]. Eine zusätzliche Neuerung war, dass jeder Kanal nun von mehreren Benutzern gleichzeitig benutzt werden konnte, was TDMA oder CDMA möglich machten.

### 6.2.1 TDMA

Time division multiple access ist nichts anderes als simples zeitliches Multiplexing. Jeder bekommt einen Zeitslot in dem er selbst senden darf, danach ist der Nächste dran. Sind die Zeitslots klein genug und schnell genug hintereinander, so lässt sich so auch Sprache übertragen. Das Problem an diesem System ist, dass Handys dazu neigen, sich zu bewegen, was es extrem schwierig macht immer den richtigen Zeitslot genau zu treffen.[1]

### 6.2.2 CDMA

Code division multiple access bedeutet, dass der einer Zelle zugewiesene Frequenzbereich zur Kommunikation mit mobilen Geräten in Kanäle unterteilt wird. Auf den Kanälen wird auf das zu sendende Signal direct-sequence spread spectrum angewendet. Das heißt, das ursprüngliche Signal wird mit einem pseudozufallszahlencode (in diesem Falle mit dem sogenannten Chippingcode) mit XOR verbunden. Dabei entsteht ein Signal das im Hintergrundrauschen verschwindet und so nur schwer überhaupt als Signal erkennbar, und somit schwerer abzuhören ist. Weist man nun den Sendern orthogonale Chippingcodes zu, so kann man selbst wenn mehrere Sender gleichzeitig auf der selben Frequenz senden noch die gesendeten Daten rekonstruieren.

Das CDMA Verfahren bringt noch einige weitere positive Effekte für die Übertragung mit sich: Dadurch, dass das die Übertragung mit dem Chippingcode gespreizt wird, haben kurzes starkes Rauschen und selective Fading einen kleineren Einfluss auf das Signal. Zudem werden die Chippingcodes so gestaltet, dass ein Signal das durch Reflexion um mehr als eine Länge des Chippingcodes verzögert wurde, nicht mehr so stark mit dem Originalsignal interferiert. Zudem können nun nicht mehr nur so wenige Geräte gleichzeitig verbunden sein, wie Frequenzen zur Verfügung stehen, sondern es können so viel Geräte verbinden wie es denn wollen, solange die Fehlerrate vertretbar bleibt. Durch den steigenden Rauschpegel driftet das System aber nur langsam in den inakzeptablen Bereich. Leider gibt es auch Probleme mit CDMA. Zum Beispiel wenn beide Chippingcodes nicht absolut synchron sind, verlieren sie teilweise ihre Orthogonalität. Auch die Entfernung von der Basistation spielt eine Rolle, denn wer näher ist hat ein stärkeres Signal.

Auch hier ist durch die Signalstärken die Orthogonalität gefährdet.

### 6.3 Die dritte Generation

Ist heute für jedermann bekannt als UMTS. Bei der Entwicklung des neuen Standards standen zwei Ziele im Vordergrund. Eine Person sollte mit nur einem einzigen Account überall auf der Welt erreichbar sein. Zudem sollte sich nun das mobile Gerät die Schnittstelle zur virtuellen Welt werden und somit überall und mit grosser Datenübertragungsrates funktionieren. So war zum Beispiel eine Anforderung, dass selbst ein Auto bei hoher Geschwindigkeit auf der Autobahn noch eine konstante Datenrate von 144kbps bekommen sollte, trotz der vielen Probleme, die ein sich schnell bewegendes Sender macht. 384kbps waren für jeden Fussgänger geplant und bis zu 2048Mbps für den Büroanschluss. In Anlehnung an die Übertragungsrates beim Spaziergang im Internet, sollte das System nun auch asynchrone Datenübertragungen unterstützen. Das Netz sollte nun auch zukunftssicherer werden, in Hinblick auf neue Dienstleistungen und Technologien.

Das Netz der dritten Generation beruht vollständig auf CDMA in verschiedenen Weiterentwicklungen. Besonders ist nun auch, dass ein mobiles Gerät mehrere Datenströme gleichzeitig in das Funknetz einspeisen oder auslesen kann. Dies wird erreicht indem man in einem Kanal die einzelnen Anwendungen per TDMA Bandbreite zuweist.

## Literatur

- [1] Time division multiple access. [http://en.wikipedia.org/wiki/Time\\_division\\_multiple\\_access](http://en.wikipedia.org/wiki/Time_division_multiple_access), Zugriff:01.012.2007.
- [2] A-netz. <http://de.wikipedia.org/wiki/A-Netz>, Zugriff:03.12.2007.
- [3] A-netz. <http://de.wikipedia.org/wiki/B-Netz>, Zugriff:03.12.2007.
- [4] C-netz. <http://de.wikipedia.org/wiki/C-Netz>, Zugriff:28.11.2007.
- [5] Fading (elektrotechnik). [http://de.wikipedia.org/wiki/Fading\\_Elektrotechnik](http://de.wikipedia.org/wiki/Fading_Elektrotechnik), Zugriff:29.11.2007.
- [6] Dietmar Pieper. Woher kommt das handy? <http://www.spiegel.de/kultur/gesellschaft/0,1518,491413,00.html>, Zugriff:28.11.2007.
- [7] William Stallings. *Data and Computer Communications*. Prentice Hall, 8th edition edition, 2007.

## Abbildungsverzeichnis

1	Signalschwund in einer Häuserschlucht . . . . .	5
2	Empfang vom Originalsignal und dessen Reflexionen, Streuungen und Beugungen . . . . .	5
3	Quadratische Zellstruktur . . . . .	7
4	Wabenstruktur . . . . .	7
5	verschiedene Gruppengrößen . . . . .	8