

# **The Aftermath of UMTS**

Proseminar Technische Informatik

Wintersemester 09/10

Simon Lang

Betreuer: Georg Wittenburg

# 1. Einleitung

Im August 2000 wurden UMTS-Lizenzen im Wert von über 16 Milliarden DM pro Stück versteigert – und einige der damals auf dem Markt aktiven Mobilfunkanbieter entschieden sich für diese teure Investition in die dritte Generation des Mobilfunks. Heutzutage zeigen sich auch die Anwendungsgebiete dafür, denn immer mehr Dienste wie zum Beispiel Videotelefonie oder andere Multimedia-Anwendungen erfordern eine höhere Bandbreite als mit der vorigen Technik möglich gewesen wäre.

Wie seine Vorgänger basiert auch UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) auf der gleichen grundlegenden Technik, die eine flächendeckende Infrastruktur an Basisstationen voraussetzt, welche mit den mobilen Endgeräten kommunizieren. In dieser Ausarbeitung sollen zunächst ab Seite 3 ebendiese Grundlagen sowie eine Zusammenfassung der Entwicklung des Mobilfunks als Überblick dienen. Neben technischen Details werden die Probleme beleuchtet, die bei ersten Gehversuchen auf den damals neuen Gebieten auftauchten und wie diese letztendlich gelöst wurden.

Aufbauend darauf wird auf den Seiten 5 bis 9 detaillierter auf die Technik hinter UMTS eingegangen, welche durch ein neues Mehrfachzugriffsverfahren besseren Gebrauch von den zur Verfügung stehenden Ressourcen macht, wenn mehr als ein Benutzer aktiv ist. Nach einem Vergleich zu den bisherigen Systemen werden die Funktionsweise erläutert und die Limitierungen aufgezeigt.

Bei der erwähnten Auktion gingen nicht alle Teilnehmer als Gewinner davon, einige stiegen sogar noch vor deren Beginn aus. Ab Seite 10 soll ein Blick auf die wirtschaftliche Situation damals mit einem Vergleich zur Entwicklung bis heute zeigen, was die Auswirkungen sind. Darüber hinaus werden der Verlauf der Markteinführung und mögliche Gründe dafür behandelt.

Anschließend wird ab Seite 11 kurz auf DVB-H als Standard für mobiles Fernsehen eingegangen. Dieses wird wie DVB-T terrestrisch ausgestrahlt, richtet sich jedoch an mobile Endgeräte und tritt damit in Konkurrenz zu UMTS, das durch höhere Datenraten nun auch die Nutzung von Multimediadiensten wie Fernsehen ermöglicht. Beide Technologien werden miteinander verglichen und deren Erfolgchance auf dem Markt bewertet.

Als letzter Themenpunkt, der auf Seite 12 beginnt, soll die zukünftige Entwicklung des Mobilfunks behandelt werden. Nicht nur gehen in Stockholm und Oslo bereits die ersten LTE-Funknetze der nächsten Generation in Betrieb, auch bei der Weiterentwicklung der Vorgänger tut sich etwas. Mit der Erweiterung von EDGE, dem aktuellsten Übertragungsverfahren der zweiten Generation, wird dessen maximale Datenrate um etwa 200% erhöht. Außerdem kommt mit Mobile WiMAX eine weitere neue Technik auf, die sich ebenfalls in die 4. Generation einfügt. Hier soll ebenfalls auf die zukünftige Marktplatzierung dieser Systeme eingegangen werden.

In einer abschließenden Zusammenfassung ab Seite 13 werden noch einmal die behandelten Verfahren und deren Entwicklung verglichen. Eine kurze Bewertung soll zeigen, ob es sich gelohnt hat, auf UMTS zu setzen.

Am Ende eines jeden Abschnittes wird auf die Quellen verwiesen, die als Referenzen dienen. Diese finden sich noch einmal gesammelt im Quellenverzeichnis auf den Seite 14 bis 16 wieder. [1, 2, 3]

## 2. Grundlagen und Entwicklung des Mobilfunks

Massen von Menschen telefonieren täglich auf der Straße, in der U-Bahn oder selbst von zu Hause aus mit ihrem Mobiltelefon. Andere nutzen es als elektronische Navigationshilfe und befragen unterwegs den Online-Stadtplan ihres Vertrauens. Doch für die Details dahinter sind erst einmal einige Grundlagen und Begriffsklärungen notwendig.

Die Mobilfunknetze lassen sich in verschiedene Generationen kategorisieren: 1G bis 4G. Unter 1G werden die analogen Systeme zusammengefasst - das ist in Deutschland beispielsweise das Mitte der 80er Jahre eingeführte C-Netz und in den USA der AMPS (*Analog Mobile Phone Service*). In der zweiten Generation finden sich digitale Systeme für Sprachübertragung wieder, also hauptsächlich das weltweit verbreitete GSM (*Global System for Mobile*) und dessen Erweiterungen. Wie bereits erwähnt, gehört UMTS als digitales Breitbandssystem zur dritten Generation. Dessen Nachfolger, die mit einer sehr viel höheren Datenrate (ab bis zu 100 MBit/s) aufwarten, werden als 4G bezeichnet. Doch der Weg zu diesen modernen Systemen geschah nicht ganz problemfrei und dauerte einige Zeit.

Eines der ersten Ziele des frühen Mobilfunks war es, eine große Flächendeckung durch eine einzige leistungsstarke Sendeanlage mit einer sehr hoch angebrachten Antenne zu erreichen. Dieses Konzept, das in den 1970er Jahren durch das *Bell Mobile System* in New York City realisiert wurde, hat allerdings einen schwerwiegenden Nachteil. Da ein Sendemast auf einer Frequenz nur mit einem Teilnehmer zur selben Zeit kommunizieren kann, ist die sogenannte Frequenzwiederverwendung (*Frequency Reuse*) praktisch unmöglich. Somit war das Bell-System bei einer Fläche von mehr als 2000 Quadratkilometern auf 12 gleichzeitige Anrufe beschränkt.

Die rettende Lösung besteht darin, das Netz in mehrere Zellen aufzuteilen, die jeweils nur ein kleines Areal abdecken. Benachbarte Zellen nutzen stets verschiedene Frequenzbereiche, sodass keine gegenseitigen Störungen auftreten. Sind zwei nichtbenachbarte Zellen weit genug voneinander entfernt, dürfen sie wieder auf der gleichen Frequenz arbeiten, da sie sich gegenseitig nicht oder nur geringfügig beeinflussen. Alle Frequenzen können also nach einer gewissen Distanz wiederverwendet werden.

Auf diesem Konzept bauen die Netze aller vier erwähnten Generationen auf. Pro Zelle gibt es eine Basisstation, mit der die Mobiltelefone und andere Endgeräte kommunizieren können. Die Basisstationen sind ihrerseits mit einer Vermittlungsstelle (*Mobile Telephone Switching Office*) verbunden, die sich, wie der Name schon sagt, um die Vermittlung zwischen verschiedenen Funknetzen und in manchen Fällen dem Festnetz kümmert. Der Aufbau eines analogen Mobilfunknetzes lässt sich anhand von Abbildung 1 noch einmal verdeutlichen. Dort sind neben zwei Basisstationen und einem mobilen Endgerät die Vermittlungsstelle und ihre Verbindungen ins Festnetz und zu den Stationen zu sehen. Der Aufbau digitaler Systeme ist sehr ähnlich.

Darüber hinaus lassen sich die Systeme in leitungsvermittelnd und paketvermittelnd unterteilen. Zu leitungsvermittelnd zählen die erwähnten analogen Netze sowie GSM, das weltweit erste digitale Netz, das in Deutschland seit 1991 genutzt wird und derzeit das weltweit gängigste Mobilfunksystem ist.

Im Gegensatz zur Leitungsvermittlung, bei der einem Nutzer ein fester Übertragungskanal zur Verfügung steht und unabhängig von dessen Nutzung bis zum Verbindungsabbau zugewiesen bleibt,

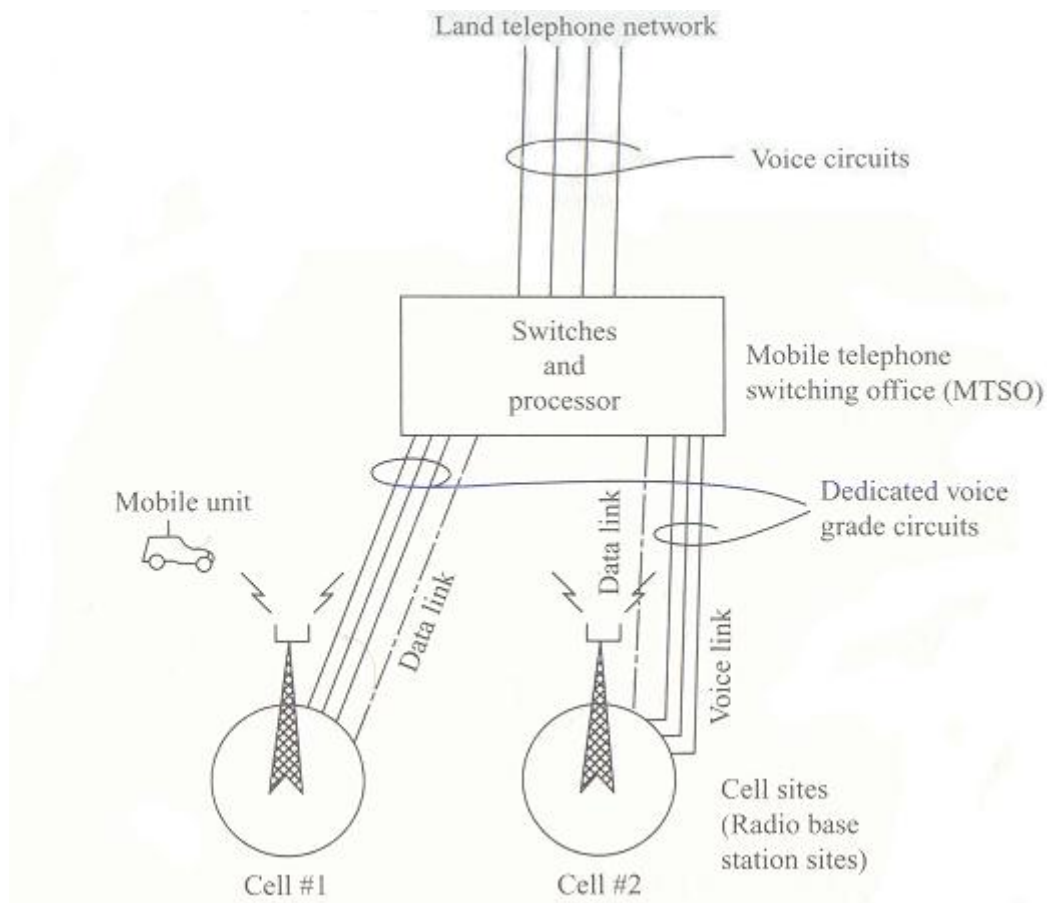


Abb. 1 – Aufbau eines analogen Mobilfunknetzes [4]

funktioniert die Paketvermittlung nach dem Prinzip der Zuweisung auf Nachfrage. Die Nutzer teilen sich also die Ressourcen und erhalten so höhere Datenraten. Ein solches System nutzen unter anderem die auf der Grundstruktur von GSM aufsetzenden GPRS (*General Packet Radio System*) sowie EDGE (*Enhanced Data rates for GSM Evolution*). Diese Netze verfügen in der Vermittlungsstelle zusätzlich über eine Schnittstelle namens GGSN (*Gateway GPRS Support Node*), die eine Anbindung an andere paketvermittelnde Netzwerke, in erster Linie beispielsweise dem Internet, schafft. Mit diesen neuen Möglichkeiten gewinnen auch die Datenübertragungsraten zunehmend an Bedeutung.

GPRS erreicht beispielsweise bei dem am häufigsten genutzten Kodierungsverfahren eine Maximalgeschwindigkeit von 13,4 KBit/s und ist damit recht langsam. Dennoch stellt es eine wichtige Entwicklung dar, da es den Weg in das mobile Internet und den ebenfalls auf GSM aufsetzenden EDGE-Standard ebnete. Dieser bietet durch eine neue Modulationstechnik bis zu 384 KBit/s. GPRS und EDGE werden oft als 2.5G bezeichnet, da sie bereits fortschrittlicher als GSM sind, sich aber ohne großen technischen Aufwand in die existierende Infrastruktur an Basisstationen integrieren lassen.

Doch auch die Geschwindigkeit von EDGE ist nur ein theoretischer Wert, der in der Praxis aufgrund von Verbindungsstörungen sehr selten erreicht wird. Für eine höhere Übertragungsrate musste auf einer tieferen Ebene ein neues System geschaffen werden, das die Schwächen von GSM beseitigt. Diese Aufgabe sollte zumindest in Europa das *Universal Mobile Telecommunications System*, kurz UMTS, übernehmen, auf das im nächsten Abschnitt näher eingegangen wird. [4, 5, 6]

### 3. Die Technik hinter UMTS

Die UMTS-Spezifikation wurde im Jahre 1998 vom ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) unter dem Namen UTRA (*UMTS Terrestrial Radio Access*) eingereicht und basiert auf dem W-CDMA-Standard (*Wideband Code Division Multiple Access*). Um die Jahrtausendwende kamen diverse weitere auf W-CDMA aufsetzende Spezifikationen auf, die sich jedoch zu einem Zusammenschluss entschieden und das heutige UMTS bilden, das hauptsächlich in Europa als auch teilweise in Asien verwendet wird. Die Technik des in den Vereinigten Staaten verbreiteten cdma2000-Standards ist ähnlich, wird in dieser Arbeit allerdings nicht berücksichtigt.

Eines der größten Probleme, mit dem Mobilfunksysteme im Allgemeinen zu kämpfen haben, ist der Mehrfachzugriff (*Multiple Access*), also die gleichzeitige Verwendung desselben Mediums durch mehrere Benutzer. Dieses Problem lässt sich auf unterschiedliche Weise angehen.

Der erste Lösungsansatz ist gleichzeitig der offensichtlichste: Die zur Verfügung stehenden Frequenzen werden in kleinere Bereiche unterteilt und jeder Nutzer erhält für die Dauer seiner Verbindung einen dieser Bereiche (solche logischen Abgrenzungen werden auch Kanäle genannt). Dieses Verfahren heißt FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) und wird vor allem in den analogen Netzen benutzt. Es hat jedoch den großen Nachteil, dass die Anzahl an Kanälen fest ist und ein Benutzer nicht mehrere Kanäle gleichzeitig belegen kann. Somit gehen bei Nichtbenutzung eines Kanals Ressourcen verloren, die theoretisch auf die übrig gebliebenen Nutzer aufgeteilt werden könnten. Die Funktionsweise ist allerdings weniger komplex als bei den folgenden Verfahren. Auf Abbildung 2 ist zu erkennen, wie die einzelnen Kanäle hier an der Frequenz-Achse aufgeteilt werden.

Die nächste Möglichkeit besteht darin, alle Teilnehmer die gleiche Frequenz nutzen zu lassen, sich damit jedoch zeitlich abzuwechseln. Bei der TDMA-Methode (*Time Division Multiple Access*), die anders als FDMA ein digitales System voraussetzt und bei GSM zum Einsatz kommt, wird das Funkspektrum in  $N$  Zeitschlitze (*Time slots*) unterteilt, die je von einem Nutzer belegt werden können. Diese  $N$  Slots bilden einen *Frame* und wiederholen sich, sodass nach genau  $N$  Intervallen wieder der gleiche Nutzer an der Reihe ist.

TDMA hat im Vergleich zu FDMA einige Vorteile. Zum einen wird durch die diskontinuierliche Übertragung der Energiebedarf für Endverbraucher geringer, da der Funktransmitter ausgeschaltet werden kann, wenn gerade nichts übertragen wird. Außerdem können ungenutzte Zeitschlitze auf die verfügbaren Benutzer aufgeteilt werden, sodass diese bei geringer Auslastung des Netzes effektiv eine höhere Datenrate erhalten. Auf der anderen Seite entsteht jedoch ein enormer Overhead, da aufgrund der stoßhaften Übertragungen in jedem Zeitschlitz für Synchronisierung gesorgt werden muss. Auf Abbildung 3 lässt sich die Funktionsweise der TDMA-Methode erkennen, bei der die Aufteilung der Kanäle an der Zeit-Achse geschieht. Abbildung 4 zeigt einen einzelnen TDMA-Frame, bestehend aus den Informationen für  $N$  Zeitschlitze und benötigten Daten zu Beginn und Ende des Frames. Die einzelnen Zeitschlitze besitzen zusätzlich noch Synchronisierungsinformationen.

Wirft man einen weiteren Blick auf die Diagramme zu FDMA und TDMA, lässt sich die Aufteilung des nächsten Verfahrens, das bei UMTS genutzt wird, bereits erahnen. Es nennt sich CDMA (*Code Division Multiple Access*) und führt die Kanalaufteilung an der Code-Achse durch, wie Abbildung 5 zeigt.

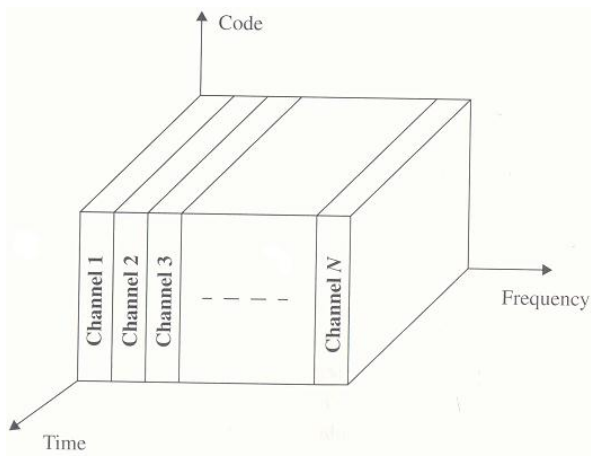


Abb. 2 – Aufteilung der Kanäle bei FDMA [6]

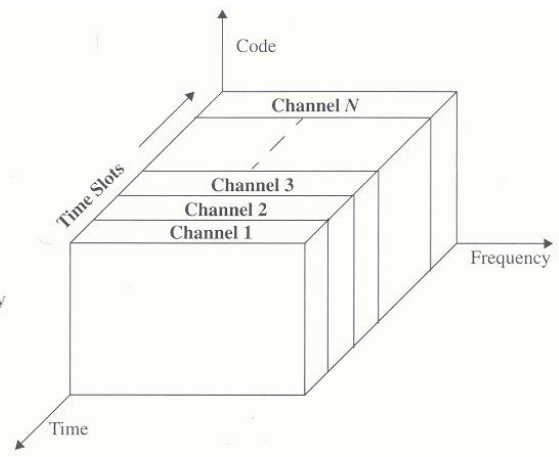


Abb. 3 – Aufteilung der Kanäle bei TDMA [6]

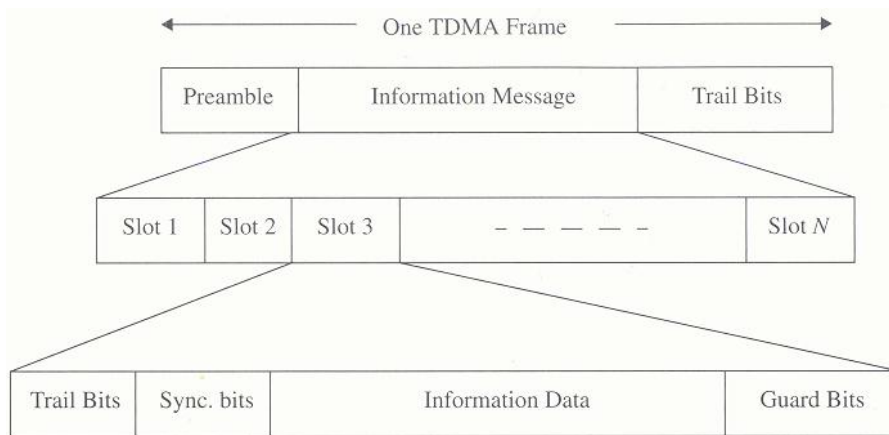


Abb. 4 – Ein TDMA-Frame [6]

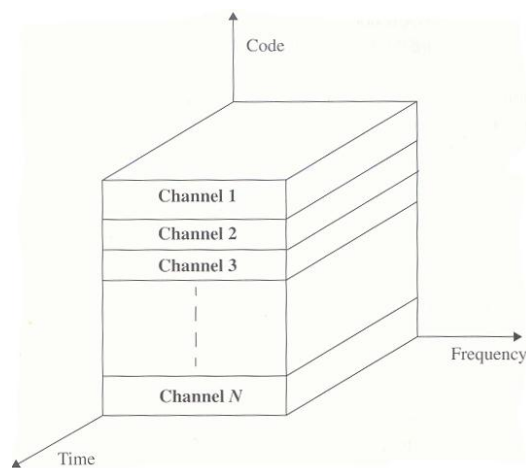


Abb. 5 – Aufteilung der Kanäle bei CDMA [6]

Hier können also alle Teilnehmer zur gleichen Zeit auf der gleichen Frequenz senden, die verschiedenen Signale werden durch den Code differenziert. Das ist durch die sogenannte *Spread-Spectrum*-Technik möglich, die nachfolgend erklärt wird. Das eigentlich zu übertragende schmalbandige Signal wird auf einen erzeugten breitbandigen Spreizcode, also ein Signal, das einen größeren Frequenzbereich nutzt, moduliert. Dadurch erhält das resultierende zu übertragende Signal ebenfalls die höhere Bandbreite. Auf Abbildung 6 lässt sich der Zustand vor und nach diesem Vorgang erkennen. Das ursprüngliche Signal hat eine hohe Leistungsdichte von  $P$  Watt/Hz und eine geringe Bandbreite  $B$ . Nach Spreizen um den Faktor  $N$  vergrößert sich die Bandbreite auf  $B \cdot N$ , während sich die Leistungsdichte auf  $P/N$  Watt/Hz verringert.

Grundsätzlich sollte zwar es vermieden werden, eine unnötig hohe Bandbreite zu verwenden und dadurch zusätzlich Leistungsdichte einzubüßen. Auf diesem Anwendungsgebiet hat ein solches Verfahren aber einige Vorteile. Zunächst sieht das Signal während der Übertragung wie ein Hintergrundrauschen aus, das jedoch durch Entspreizen (*Despreading*) beim Ziel problemlos wieder in die ursprünglichen Daten zurückgewandelt wird. Dieser Vorgang ist in den Abbildungen 7 und 8 zu sehen. Abbildung 7 zeigt oben das ursprüngliche Datensignal und in der Mitte den Spreizcode, auf den es moduliert wird. Das dabei entstehende Signal (unten) wird gesendet. In Abbildung 8 ist oben das empfangene Signal zu sehen, das dem gesendeten Signal aus der vorigen Abbildung gleicht. In der Mitte findet sich der identische Spreizcode wieder und darunter die ursprünglichen Daten, die durch das Entspreizen wiederhergestellt werden. Dafür ist es selbstverständlich erforderlich, dass Empfänger und Sender sich auf einen Spreizcode einigen.

Finden sich zusätzlich schmalbandige Übertragungs- oder Störsignale (Interferenzen) auf der gleichen Frequenz wieder, so lässt sich das Breitbandsignal in der Regel mit geringer Fehlinterpretation rekonstruieren, während es bei dem Empfänger des Schmalbandsignals nur als Hintergrundrauschen erscheint. Das Diagramm auf Abbildung 9 verdeutlicht, wie das empfangene Signal vor und nach dem Entspreizen aussieht. Links sind das empfangene Breitbandsignal mit geringer und eine schmalbandige Interferenz mit höherer Leistungsdichte zu sehen. Nach dem Entspreizen (rechts) erhält das übertragene Signal seine ursprüngliche Bandbreite mit hoher Leistungsdichte, während das Störsignal gespreizt worden ist und damit an Leistungsdichte verloren hat.

Kommen nun mehrere Teilnehmer ins Spiel, müssen diese unterschiedliche Spreizcodes verwenden, die orthogonal zueinander sind, also jeweils nur diejenigen Signale in die ursprünglichen Daten zurückwandeln, die auf den entsprechenden Code moduliert wurden. Dadurch werden die restlichen Signale, die überlagert wurden, nur geringfügig fehlinterpretiert und insgesamt kommt ein hoher Datendurchsatz bei vielen Benutzern zustande.

Eine weitere Schwierigkeit, mit der CDMA zu kämpfen hat, ist das *near-far*-Problem. Befindet sich ein Teilnehmer A sehr nahe an einer Basisstation, wird dessen Signal viel stärker empfangen als das eines anderen, weit entfernten Teilnehmers B. Dadurch kommt es zu größeren Störungen und die Wahrscheinlichkeit, dass von B brauchbare Daten empfangen werden, sinkt, da diese im Rauschen des Signals von A untergehen. Damit dieses Phänomen nicht auftritt, implementieren die Basisstationen ein System, das die Sendestärke aller Teilnehmer kontrolliert und bei Bedarf erhöhen oder verringern kann, sodass alle Signale in etwa gleicher Stärke ankommen.

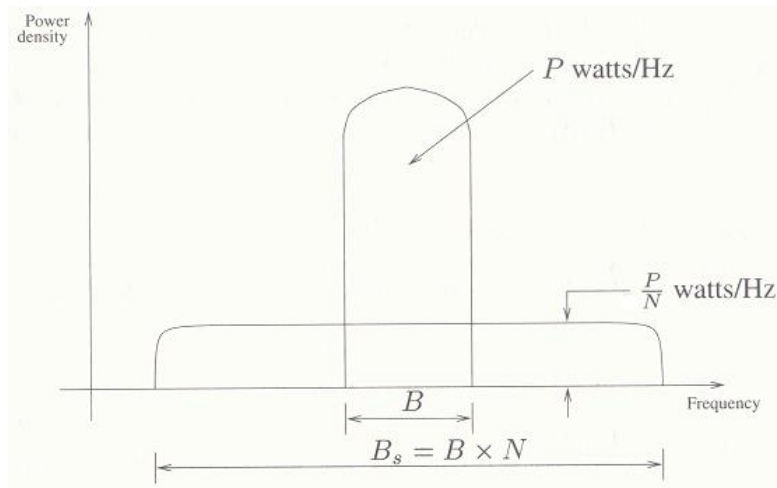


Abb. 6 – Leistungsdichte und Bandbreite vor und nach dem Spreizen [8]

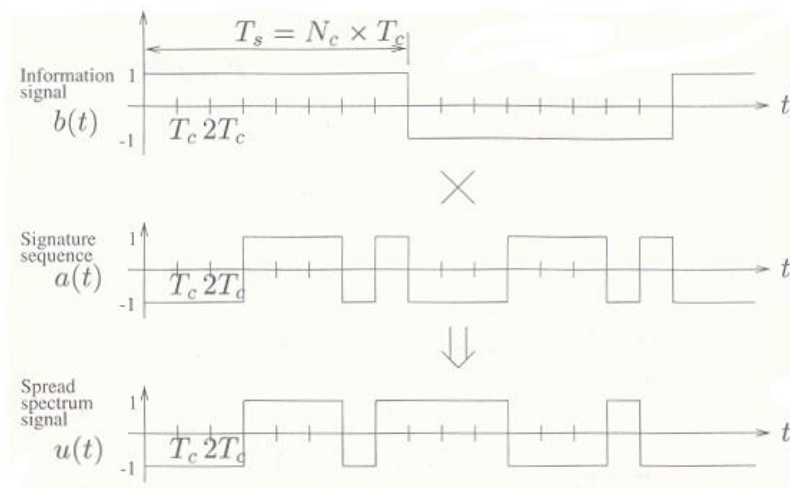


Abb. 7 – Spreizen eines Signals [8]

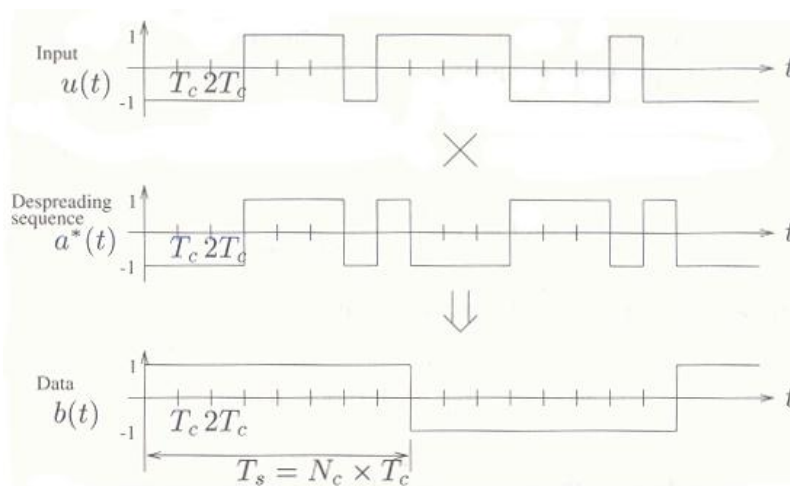


Abb. 8 – Entspreizen eines Signals [8]



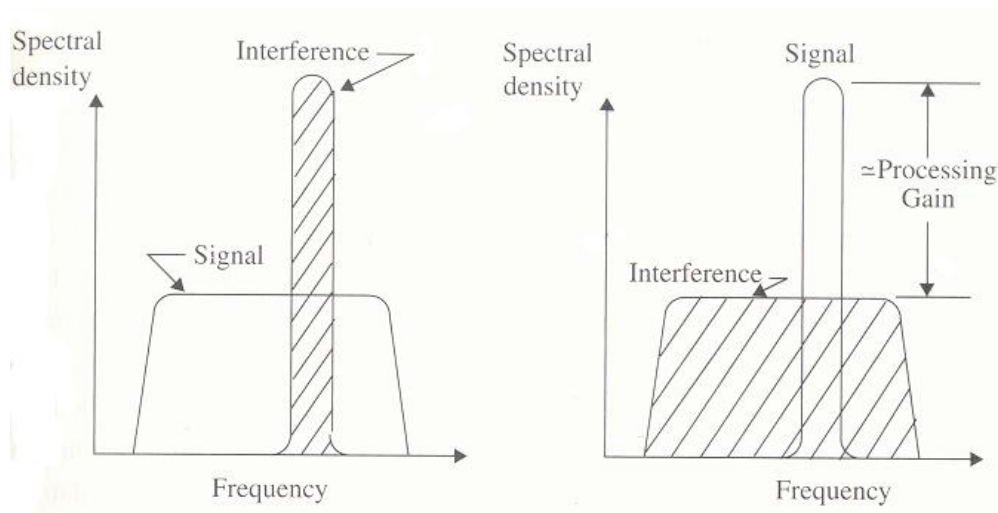


Abb. 9 – Leistungsdichte und Bandbreite vor und nach dem Entspreizen [6]

Zusammenfassend lässt sich über CDMA sagen, dass es von den zur Verfügung stehenden Ressourcen vor allem bei mehreren Teilnehmern effizienter Gebrauch macht. Der Overhead zur Synchronisation bei TDMA fällt weg, da alle Benutzer zur selben Zeit im gleichen Frequenzbereich übertragen und ihre Signale durch die Modulierung auf verschiedene Spreizcodes fehlerarm zu den eigentlichen zurückgeführt werden können. Hier fällt ein weiterer Vorteil gegenüber FDMA und TDMA auf: Bei steigender Nutzerzahl wird lediglich das Hintergrundrauschen erhöht und somit der Empfang verschlechtert, aber nicht unmöglich gemacht. Bei TDMA beispielsweise kann kein weiterer Benutzer Daten übertragen, wenn alle Zeitschlitze belegt sind.

Eine ähnliche Unterteilung wie beim Mehrfachzugriff findet sich beim *Duplexing*, also dem gleichzeitigen Senden und Empfangen von Daten. Die beiden bei UMTS genutzten Verfahren nennen sich FDD und TDD (*Frequency Division Duplexing* und *Time Division Duplexing*, respektive). Das Prinzip ist gleich: Bei FDD gibt es gesonderte Frequenzen für Uplink und Downlink, innerhalb derer eine beliebige Methode des Mehrfachzugriffs verwendet werden kann. Wie bei FDMA gibt es hier den Nachteil, dass freie Ressourcen für den Datenverkehr in eine Richtung nicht dem Datenverkehr in die andere Richtung zugeteilt werden können, sondern ungenutzt bleiben. TDD hingegen lässt Datenströme in beide Richtungen auf der gleichen Frequenz zu, unterteilt diese aber in Zeitschlitze, was wiederum in Synchronisationsoverhead resultiert. Allgemein wird zwischen UTRA-FDD und UTRA-TDD entschieden, von denen zur Zeit hauptsächlich ersteres zum Einsatz kommt.

Hier zeigen sich bereits erste Schwächen von UMTS. Trotz vorhandener TDD-Spezifikationen wird FDD genutzt. Neben dieser Tatsache existieren weitere Mehrfachzugriffsverfahren wie SDMA (*Space Division Multiple Access*) und OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), die auf anderen Techniken basieren und den Datenfluss bei mehreren Teilnehmern effizienter gestalten können. Nichtsdestotrotz können im Vergleich zu 2G-Systemen dank der neuen Architektur von UMTS wesentlich bessere Datenraten erzielt werden. Dennoch dauerte es einige Zeit, bis es überhaupt an den Endkunden gelangte – und bis dieser auch bereit war, umzusteigen. [4, 6, 7, 8]

## 4. Die Markteinführung in Deutschland

Damit UMTS überhaupt eingeführt werden konnte, mussten die deutschen Mobilfunkanbieter zunächst Lizenzen zur Nutzung bestimmter Frequenzbereiche erwerben. Anders als bei GSM, für das die Bundesrepublik Deutschland die Frequenzen an ausgewählte Anbieter ohne Weiteres herausgab, geschah dies in der anfangs erwähnten Auktion im Jahre 2000, in der Lizenzen für sechs Frequenzbereiche versteigert wurden.

Da sich keiner der Anbieter das neue Netz der dritten Generation entgehen lassen wollte, traten zunächst 11 zugelassene Bewerber an, von denen sich später 3 zurückzogen und 2 andere, namentlich E-Plus und Hutchison, zusammenschlossen. Die sieben übrig gebliebenen Teilnehmer waren *T-Mobil (DeTeMobil Deutsche Telekom Mobil-Net GmbH)*, *Mannesmann (Mannesmann Mobilfunk GmbH, später Vodafone D2 GmbH)*, *E-Plus Hutchison*, *Viag Interkom (später Telefónica O<sub>2</sub> Germany GmbH & Co. OHG)*, *Mobilcom*, *Debitel* und die *Group 3G*. Vor allem für T-Mobil und Mannesmann als größte Mobilfunkanbieter Deutschlands war der Erhalt einer Lizenz unabdingbar. Ein Misserfolg bei der Auktion hätte nicht nur einen eigenen Anteil am aufkommenden UMTS-Markt unmöglich gemacht, sondern sehr wahrscheinlich auch einen großen Verlust am jeweils 40 prozentigen GSM-Marktanteil mit sich gezogen, sobald die anderen Teilnehmer UMTS angeboten hätten. Für E-Plus und Viag Interkom war ein Lizenzerwerb mit 15 respektive rund 5% GSM-Marktanteil ebenfalls sehr wichtig, um den bestehenden Kundenanteil zu halten. Ihre GSM-Lizenzen liefen zu dem Zeitpunkt aber länger als die der anderen Anbieter, weswegen als Alternativlösung ein Überspringen der dritten Generation möglich, wenn auch sicher nicht wünschenswert, gewesen wäre. Die Mobilcom und Debitel standen als Service-Provider, also für das Vermarkten eigener Tarife mit bezahlter Nutzung der Netze anderer Anbieter bekannt, vor dem potenziellen Markteinstieg. Lediglich Hutchison und die Group 3G waren komplette Neueinsteiger.

Bis auf Teilnehmer Debitel, der zusammen mit der Mobilcom heutzutage als Service-Provider tätig ist, ersteigerten alle Teilnehmer eine Lizenz im Wert von jeweils über 16 Milliarden DM. Die Mobilcom war zwar unter den Gewinnern, scheiterte allerdings am Aufbau der UMTS-Infrastruktur. Bedingung der Lizenzausgabe war es nämlich, bis Ende des Jahres 2003 mindestens 25% der Bevölkerung mit entsprechenden Diensten zu erreichen. Da der Mobilcom dies nicht gelang, verkaufte sie die bereits aufgestellten Basisstationen später an E-Plus und gab die Lizenz zurück. Ein ähnliches Schicksal widerfuhr der Group 3G, die ebenfalls ihre Lizenz zurückgeben musste.

Von den übrig gebliebenen Gewinnern starteten die ersten ihre UMTS-Netze im Jahre 2004. Jedoch war der Durchbruch in den ersten Jahren eher schleppend, wie die in Abbildung 10 dargestellte Statistik über die von 2005 bis 2008 wachsende Anzahl der Mobilfunknutzer allgemein und derer, die UMTS nutzen, zeigt. Offenbar waren die Kunden damals nicht sofort bereit, die angebotenen UMTS-Datentarife hinzubuchen. Neben der Tatsache, dass Basisstationen zu dieser Zeit weniger flächendeckend vorhanden waren, lässt ein Vergleich zweier Vodafone-Tarife aus den Jahren 2005 und 2009 immerhin bei dem preislichen Unterschied einen kausalen Zusammenhang hierfür vermuten. Beispielsweise kostete die Hinzubuchung eines 5MB-Volumens damals 5 Euro monatlich, während man heute für zusätzliche 10 Euro monatlich ein 300MB-

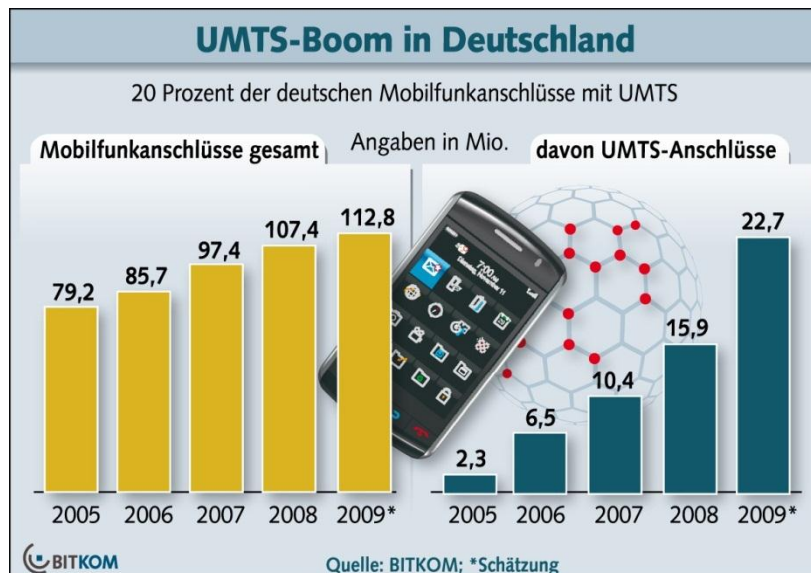


Abb. 10 – Statistik über die Mobilfunkanschlüsse [14]

Volumen erhält. Dies ist allerdings nur als sehr grobe Richtlinie zu verstehen, die außerdem den Preisverfall über die Jahre skizzieren soll. Zusätzlich lässt sich auch die geringere Anzahl technisch fortgeschrittener Geräte zum massenkompatiblen Preis, welche die durch UMTS gegebenen Fähigkeiten auch ausnutzen können, zu den Gründen hinzunehmen. Deren Verbreitung dauerte ebenfalls einige Zeit – und wenn sich das mobile Internet nun nicht mehr auf das Nachrichtenlesen und ähnliche Dienste beschränkt, werden auch leistungsfähigere Handys benötigt, die von den neuen Möglichkeiten Gebrauch machen.

Abschließend lässt sich sagen, dass die Anbieter viel Geld in den Erhalt einer Lizenz und damit der Möglichkeit, die breite Masse an Nutzern in die nächste Generation zu befördern, investierten. Dies geschah allerdings über einige Hindernisse und das Interesse der Kunden an schnellem Internet für unterwegs musste erst einmal geweckt werden. UMTS ist nicht einfach GPRS/EDGE in schnellerer Ausführung, es schafft auch einen neuen Markt für den Mobilfunk. [1, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 29, 30]

## 5. DVB-H als Konkurrenz

Der DVB-H-Standard (*H* für *Handheld*) wurde 2004 fertiggestellt und dient dazu, Fernsehen auf mobile Endgeräte zu bringen. DVB-H basiert auf DVB-T und wird ebenfalls terrestrisch ausgestrahlt, bietet aber im Vergleich neben einer geringeren Auflösung, die auf Mobiltelefonen keine Rolle spielt, einige Optimierungen, welche den Empfang energieeffizienter gestalten.

Da sich das prinzipiell erfolgversprechend anhört, sollte zur Fußball-EM 2008 das umgangssprachlich genannte "Handy-TV" in Deutschland starten, stieß allerdings auf Schwierigkeiten. Nachdem dies nämlich flächendeckend aufgrund des Fehlens von Lizenzen für Sendefrequenzen in einigen Bundesländern unmöglich wurde, wurde ein Erfolg immer unwahrscheinlicher. Trotz des erhöhten Energiebedarfs von DVB-T-Empfängern in Mobiltelefonen brachten einige Hersteller solche auf den Markt, wodurch es nun möglich war, das Fernsehen unterwegs auch kostenlos zu empfangen. Anders als das

"Überallfernsehen" DVB-T war für die Handheld-Variante ein Bezahlmodell vorgesehen, das bei den Kunden aber offenbar nicht auf großen Zuspruch stieß. Schließlich gab das Konsortium hinter DVB-H auch die Lizenzen für die entsprechenden Sendebereiche zurück. Somit ist die Zukunft für diesen Standard in Deutschland ungewiss.

Das Scheitern von DVB-H hat demnach offenbar nicht die UMTS-Konkurrenz zu verschulden, auch wenn diese schon seit längerer Zeit entsprechende Fernsehangebote bereitstellt. Diese sind allerdings ebenfalls kostenpflichtig und auf einige Sender beschränkt. Dennoch zählen sie als Alternative zu den nicht mehr vorhandenen DVB-H-Angeboten.

Allgemein stehen zwar im direkten Vergleich aus technischer Sicht die Chancen für DVB-H besser, da es das Signal effizient und wie DVB-T unabhängig von der Anzahl der Nutzer verteilt und sich nicht die Frequenzen mit den restlichen UMTS-Verbindungen teilen muss. Allerdings führte eine Reihe von Faktoren zu dessen Scheitern, weswegen die Positionierung auf dem Markt im Endeffekt zugunsten UMTS ausfällt. Die Technik des 3G-Standards ist außerdem schon in einer Großzahl an Endgeräten verbaut, sodass keine zusätzlichen Hardwarekosten für den Kunden entstehen.

Auch auf diesem Gebiet hat UMTS nun die Möglichkeit, sich zu entwickeln und zu verbessern, da die Konkurrenz mit eigenen Problemen zu kämpfen hat. Doch nicht nur UMTS entwickelt sich, auch bei seinen Nachfolgern und sogar Vorgängern tut sich etwas, wie im folgenden Abschnitt verdeutlicht wird.

[18, 19, 20, 21, 22, 23]

## 6. Zukünftige Entwicklung

In der zweiten Mobilfunkgeneration findet sich in erster Linie GSM wieder, das für heutige Datenverbindungen unzureichend ist. Deshalb folgten auf dem Weg in die dritte Generation dessen Weiterentwicklungen GPRS und EDGE. Die dritte Generation selbst stellt wiederum eine Revolution hinsichtlich neuer Dienste und Internetnutzung unterwegs dar. Eine ähnliche Entwicklung lässt sich bei dem Schritt von 3G zu 4G beobachten.

Das auf UMTS aufsetzende HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) schafft es, durch eine neue Modulationstechnik und diverse andere Verbesserungen auf eine theoretische Übertragungsgeschwindigkeit von 14,4 MBit/s im Downlink zu kommen. Dafür sind zwar Modifikationen in den existierenden UMTS-Basisstationen sowie neue Endgeräte notwendig. Es kommen jedoch keine enorm hohen Kosten durch den Aufbau völlig neuer Basisstationen zustande. HSDPA wird in Deutschland derzeit mit 3 von 4 Netzanbietern von allen außer E-Plus unterstützt und deckt damit einen großen Teil der Bevölkerung ab.

LTE (*Long Term Evolution*) und Mobile WiMAX hingegen fügen sich mit Datenraten von jeweils bis zu 100 MBit/s im Downlink und sogar bis zu 1 GBit/s im Falle von stationär genutztem WiMAX in die vierte Generation ein. Hinter LTE, das die 3G-Standards in Richtung höhere Geschwindigkeit weiterentwickeln soll, steht das für die UMTS-Spezifikation zuständige 3GPP-Konsortium. Mobile WiMAX hingegen wurde durch das IEEE definiert und stellt die Entwicklung von stationären zu mobilen Systemen dar. Was beide

jedoch gemeinsam haben, ist das neue Mehrfachzugriffsverfahren OFDMA (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access*), das im Gegensatz zu CDMA durch Aufteilen eines Hochgeschwindigkeitsdatenstroms in mehrere Datenströme niedrigerer Geschwindigkeit, welche dann wieder zusammengefügt werden können, auch auf Bandbreite skaliert. Erste kommerzielle Mobilfunknetze mit LTE sind bereits in Schweden und Norwegen verfügbar.

Doch nicht nur in der aktuellen und nächsten Generation tut sich etwas, auch der 2.5G-Standard EDGE wird besser. *Evolved EDGE* bzw. *EDGE Evolution* soll Datenraten von bis zu 1 MBit/s bieten und damit auf etwa 300% der EDGE-Geschwindigkeit kommen. Besonders günstig wird diese Technologie für die Netzanbieter, da sie lediglich aus einem Softwareupdate besteht. Für Kunden werden jedoch neue Endgeräte benötigt.

Allgemein ist ein langfristiger Wechsel zu Systemen wie LTE und Mobile WiMAX abzusehen, die je nach Preisgestaltung der Anbieter auch für den Haushalt attraktiv werden können, da sie mit ihren Geschwindigkeiten selbst die der derzeit verbreiteten Festnetzanschlüsse übertreffen. Welches der Systeme sich allerdings durchsetzt, ist noch unklar. Für den Festnetz-Ersatz ist besonders WiMAX durch die höheren Datenraten bei ortsfesten Systemen interessant. Darüber hinaus befassen sich T-Mobile und Vodafone bereits mit LTE und führen Tests durch oder demonstrieren das neue System auf Messen. Bis diese Tests sich allerdings zu einem Massenbetrieb entwickeln und auch sobald dieser startet, stellt UMTS mit HSDPA einen sehr guten Kompromiss aus Geschwindigkeit und Verbreitung dar. Da Endgeräte hierfür außerdem schon seit längerer Zeit vorhanden sind, ist es wahrscheinlich, dass viele Kunden vorerst bei der 3G-Technik bleiben. In den weniger dicht besiedelten Gebieten hingegen, in denen nicht einmal UMTS verfügbar ist, kann sich Evolved EDGE zu einer sehr guten und preisgünstigen Alternative entwickeln. Es ist also zu erwarten, dass in Deutschland zukünftig für das mobile Internet in verschiedenen Regionen alle drei Generationen anzutreffen sind. [2, 3, 24, 25, 26, 27, 28]

## **7. Zusammenfassung und Fazit**

Um bis zur heutigen Technik zu kommen, ist der Mobilfunk einen weiten Weg gegangen. Von den analogen Anfängen, deren Grenzen schnell erreicht wurden, ging es weiter zum ersten Digitalsystem GSM, mit dem letztendlich der Durchbruch der mobilen Kommunikation gelang und das auch heute noch am weitesten verbreitet ist. Es steigerte die Kapazitäten und die Effizienz der Netze enorm und ebnete mit den paketvermittelnden Erweiterungen auch den Weg ins mobile Internet. Dessen Anfänge jedoch waren von negativen Erfahrungen wie langsamen Geschwindigkeiten geprägt und beschränkten sich mit textbasierten Diensten daher hauptsächlich auf das Wesentliche.

Abhilfe wurde mit dem UMTS-Standard geschaffen, dessen Spezifikation von 1998 einige grundlegende Änderungen gegenüber GSM aufweist. Durch das neue Mehrfachzugriffsverfahren CDMA kann im Vergleich zu den Vorgängern mit FDMA und TDMA eine sehr viel höhere Effizienz vor allem bei vielen Teilnehmern erzielt werden. Ein gewünschter Nebeneffekt dieser Methode ist außerdem eine höhere Resistenz gegen Störsignale. Beim Duplexing allerdings setzt UMTS weiterhin auf die Frequenzaufteilung

und auch die Tatsache, dass CDMA nicht gut auf Bandbreite skaliert, zeigt bereits einige Schwächen dieses Standards.

Dennoch stellte es einen großen Sprung nach vorne dar und sollte sich für das mobile Internet etablieren. So wurden im Jahre 2000 sechs Frequenzbereiche zur Nutzung von UMTS für über 16 Milliarden DM pro Stück versteigert. Von den 7 Teilnehmern an der Auktion konnten nur 6 eine Lizenz erstehen, von denen wiederum 2 sie später zurückgeben mussten und vom deutschen Markt verschwanden beziehungsweise sich auf andere Dienste konzentrierten. Im Endeffekt gingen nur diejenigen Teilnehmer als Gewinner davon, die bereits über ausgebaute GSM-Netze und somit auch einen Kundenstamm verfügten. Nach dem kommerziellen Start 2004 dauerte die Verbreitung allerdings einige Zeit. Die Preise der ersten UMTS-Tarife waren sehr hoch oder ließen eine sinnvolle Nutzung kaum zu und auch neue Endgeräte wurden benötigt. So kam der Durchbruch erst einige Jahre später, als auch neue Dienste angeboten wurden und die Endgeräte weiter entwickelt waren und im Preis fielen.

Zu diesen Diensten gehört beispielsweise das mobile Fernsehen, das auch der Konkurrenzstandard DVB-H verbreiten sollte. Das Konsortium dahinter scheiterte jedoch trotz zugeschnittener Technik am Start des Massenbetriebs, da die nötigen Lizenzen von einigen Bundesländern nicht ausgehändigt wurden und das Bezahlmodell bei den Kunden nicht auf Zuspruch stieß. So konnte sich UMTS auch auf diesem Markt durchsetzen.

Neben dem Ausbau der existierenden UMTS-Netze zu HSDPA mit höheren Datenraten starten auf der Welt bereits erste kommerzielle Mobilfunksysteme der vierten Generation. Die dazu gehörenden Standards LTE und Mobile WiMAX übertreffen mit ihrer Geschwindigkeit sogar oft die des Festnetzes und haben hier das Potenzial, sich als Alternative zu entwickeln. Doch auch die zweite Generation schreitet voran und hebt ihre Datenrate mit Evolved EDGE auf das rund Dreifache an, wodurch sie gerade wegen der größeren Flächendeckung als UMTS noch länger anzutreffen sein wird.

Zum Schluss stellt sich die Frage, ob sich die Investition in UMTS gelohnt hat. Gerade anfangs erweckte dies nicht den Anschein, da eine große Verbreitung auf sich warten ließ und das mobile Internet noch in den Kinderschuhen steckte. Doch auch dessen Evolution musste erst stattfinden, neue Dienste mussten sich etablieren und die Endgeräte einen gewissen Funktionsumfang aufweisen. Statt eines textbasierten Interneterlebnisses werden nun auch Videotelefonie, Fernsehen und andere multimediate Anwendungen genutzt. Hätte dieser Wechsel nicht mit UMTS stattgefunden, wäre dies bei den Nachfolgern mit vermutlich ähnlichen Auswirkungen passiert. So jedoch konnte nach anfänglichen Schwierigkeiten eine breite, steigende Nutzerbasis entstehen, die ihren Weg nun voraussichtlich einfacher in die nächste Generation finden wird. Die derzeitigen UMTS-Anbieter stehen somit als Gewinner da und werden ihren Kundenstamm erneut zum Wechsel bringen können, wenn die neuen Systeme auf den Markt kommen.

## 8. Quellen

[1] - Artikel auf heise.de vom 17.8.2000, "Hintergrund: Die Gewinner der sechs UMTS-Lizenzen", <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Hintergrund-Die-Gewinner-der-sechs-UMTS-Lizenzen-28081.html>

- [2] - Artikel auf golem.de vom 14.12.2009, "Erste 4G-Mobilfunknetze in Stockholm und Oslo in Betrieb", <http://www.golem.de/0912/71848.html>
- [3] - Artikel auf golem.de vom 19.11.2009, "Ericsson bringt EDGE-Erweiterung für 1 MBit/s auf den Markt", <http://www.golem.de/0911/71327.html>
- [4] - William C. Y. Lee, "Wireless & Cellular Telecommunications", Third Edition, The McGraw-Hill Companies, 2005
- [5] - Veronica Saß, "Regulierung im Mobilfunk", Dissertation der Universität Konstanz, LIT-Verlag Dr. W. Hopf, Berlin 2009
- [6] - Theodore S. Rappaport, "Wireless Communications, Principles And Practice", Second Edition, Prentice Hall PTR, 2002
- [7] - Bernhard Walke, Peter Seidenberg, Marc Peter Althoff, "UMTS: the fundamentals", Wiley, 2003
- [8] - J. S. Blogh, L. Hanzo, "Third Generation Systems And Intelligent Wireless Networking", Wiley, 2002
- [9] - Stefan Niemeier, "Die deutsche UMTS-Auktion", Deutscher Universitäts-Verlag, Dissertation Handelshochschule Leipzig, 2002
- [10] - Artikel auf heise.de vom 23.12.2003, "Mobilcom gibt UMTS-Lizenz zurück", <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Mobilcom-gibt-UMTS-Lizenz-zurueck-90761.html>
- [11] - Artikel auf heise.de vom 13.5.2003, "Mobilcom verkauft UMTS-Standorte an E-Plus", <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Mobilcom-verkauft-UMTS-Standorte-an-E-Plus-79055.html>
- [12] - Artikel auf heise.de vom 30.6.2009, "Gericht: Widerruf von Quams UMTS-Lizenz rechtmäßig", <http://www.heise.de/mobil/meldung/Gericht-Widerruf-von-Quams-UMTS-Lizenz-rechtmaessig-188068.html>
- [13] - Mobilcom-Debitel-Webseite der debitel AG, <http://www.debitel.de>, Stand: 12.1.2010
- [14] - Statistik des Bundesverbandes Informationswirtschaft, Telekommunikation und neue Medien e.V., [http://www.bitkom.org/de/presse/62013\\_57785.aspx](http://www.bitkom.org/de/presse/62013_57785.aspx)
- [15] - Artikel auf heise.de vom 12.2.2004, "Vodafone startet Vermarktung von UMTS", <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Vodafone-startet-Vermarktung-von-UMTS-93363.html>
- [16] - Artikel auf teltarif.de vom 4.5.2004, "Pressemitteilung: Vodafone-UMTS-Angebot klar besser", [http://www.teltarif.de/presse/2004/pm\\_040504.html](http://www.teltarif.de/presse/2004/pm_040504.html)
- [17] - Vergleich der Tarife der Vodafone D2 GmbH auf <http://www.vodafone.de>, Stand: 29.12.2009
- [18] - M. Kornfeld, G. May, "DVB-H und IP-Datacast - Ein Überblick" als Beitrag in "Elektronische Medien: Vorträge des 11. Dortmunder Fernsehseminars vom 26. bis 28. September 2005 in Dortmund", VDE-Verlag, Berlin und Offenbach, 2005
- [19] - Artikel auf golem.de vom 8.5.2008, "Handy-TV: Zur Fußball-EM kein flächendeckendes DVB-H", <http://www.golem.de/0805/59560.html>
- [20] - Artikel auf heise.de vom 19.4.2008, "Vodafone bringt DVB-T-Handys", <http://www.heise.de/mobil/meldung/Vodafone-bringt-DVB-T-Handys-201156.html>
- [21] - Artikel auf heise.de vom 20.6.2008, "Handy-Fernsehen über DVB-H geht langsam die Luft aus", <http://www.heise.de/mobil/meldung/Handy-Fernsehen-ueber-DVB-H-geht-langsam-die-Luft-aus-215403.html>

- [22] - Artikel auf heise.de vom 30.10.2008, "Mobile 3.0 gibt Sendelizenzen für DVB-H-Fernsehen zurück", <http://www.heise.de/mobil/meldung/Mobile-3-0-gibt-Sendelizenzen-fuer-DVB-H-Fernsehen-zurueck-214499.html>"
- [23] - Pressemitteilung von T-Mobile vom 13.12.2005, "T-Mobile weitet Handy TV aus und startet zwei neue TV Programme", <http://www.telekom.com/dtag/cms/content/dt/de/522516?archivArticleID=592238>
- [24] - Clint Smith, Daniel Collins, "3G wireless networks", The McGraw-Hill Companies, 2007
- [25] - Webseiten der T-Mobile Deutschland GmbH, der Vodafone D2 GmbH, der Telefónica O<sub>2</sub> Germany GmbH & Co. OHG und der E-Plus Service GmbH & Co KG,  
<http://www.t-mobile.de/funkversorgung/inland/>  
<http://netmap.vodafone.de/cover4internet/index.jsp?appprofile=UMTS-Maps>  
<http://www.o2online.de/nw/support/mobilfunk/netz/index.html>  
<http://eis03sn1.eplus-online.de/evportal/portal/umts>
- [26] - Mustafa Ergen, "Mobile Broadband: Including WiMAX and LTE", Springer, 2009
- [27] - Artikel auf golem.de vom 17.2.2009, "T-Mobile testet potenziellen UMTS-Nachfolger LTE", <http://www.golem.de/0902/65318.html>
- [28] - Pressemitteilung von Vodafone vom 2.3.2009, "Vodafone stellt im Futureparc auf der CeBIT mit LTE die nächste Mobilfunk-Generation vor", [http://www.vodafone.de/unternehmen/presse/140351\\_142772.html](http://www.vodafone.de/unternehmen/presse/140351_142772.html)
- [29] - Artikel auf heise.de vom 13.3.2003, "O2 bietet für das UMTS-Netz von MobilCom", <http://www.heise.de/newsticker/meldung/O2-bietet-fuer-das-UMTS-Netz-von-MobilCom-76109.html>
- [30] - Bernhard Walke, "Mobilfunknetze und ihre Protokolle. 1. Grundlagen, GSM, UMTS und andere zellulare Mobilfunknetze", 3. Auflage, Teubner, 2001