

UMTS

Universal Mobile Telecommunication System

Eine aktuelle Bestandsaufnahme

Dr.-Ing. Martin H. Virnich

1. Vom Rausch zur Ernüchterung

Zu Beginn: Die UMTS-Euphorie

Im August 2000 erfolgte als spektakuläres Medienereignis in Deutschland die Versteigerung der UMTS-Lizenzen (genauer gesagt der gepaarten UMTS-FDD-Lizenzen, s.u.). Die angetretenen UMTS-Netzbetreiber in spe überboten sich eins ums andere und trieben den Preis auf die schwindelerregende und unerwartete Rekordhöhe von 98.807.200.000 DM – ca. 50 Milliarden Euro –, eine Summe, die in keinem anderen Land auch nur annähernd erreicht wurde. Offensichtlich herrschte bei den Lizenzbewerbern in Deutschland eine Art Goldgräberstimmung: „Go UMTS“ statt „Go West“; jeder wollte sich seinen Anteil an der vermeintlichen Goldmine UMTS sichern – koste es, was es wolle.

Demgegenüber völlig unspektakulär, von Presse und Öffentlichkeit so gut wie nicht wahrgenommen, ging kurz danach die Versteigerung der ungepaarten UMTS-TDD-Lizenzen (s.u.) unter den Siegern der ersten Runde über die Bühne.

Aber dann: Die aktuellen Probleme

Schon bald folgte der Euphorie jedoch die große Ernüchterung – finanzielle Schwierigkeiten der „siegreichen“ Netzbetreiber bis hin zur wirtschaftlichen Aufgabe und technische Probleme verzögerten und verzögern den UMTS-Start mehrfach. Der Beginn des UMTS-Betriebes war ursprünglich auf Mitte und dann auf Ende des Jahres 2002 datiert. Er wurde dann allerdings bald auf Juni 2003 verschoben. Mittlerweile hat man auch hiervon Abstand genommen: Als Einführungsstermin wird nun der Herbst 2003 genannt. Ob dieser Termin dann tatsächlich gehalten wird, ist fraglich. Und wenn überhaupt, wird dies voraussichtlich nur für die beiden „Großen“ – T-Mobile und Vodafone – zutreffen. E-Plus z.B. verfügt lediglich über einige Teststationen und treibt den UMTS-Ausbau kaum voran. Stattdessen forciert E-Plus zur Zeit und in nächster Zukunft den Ausbau des GSM-Netzes für die Übergangsgeneration HSCSD/GPRS (Generation 2.5G bzw. 2+G, siehe [1]).

Laut Lizenzbedingungen sind die Betreiber – eigentlich – verpflichtet, bis zum Ende des Jahres 2003 den Ausbau so weit voranzutreiben, dass 25 % der Bevölkerung Deutschlands mit UMTS versorgt sind; dies entspricht ca. 8 % der Fläche („Versorgungsverpflichtung“). Bis zum Ende des Jahres 2005 sollen es 50 % der Bevölkerung sein. Zumindest die Marke am Ende des Jahres 2003

wird mit Sicherheit nicht erreicht werden. Es ist aber davon auszugehen, dass die RegTP hier großzügig sein wird, da man mittlerweile froh ist, wenn überhaupt jemand „an den Start“ geht.

Der Netzbetreiber Quam (Name zur Zeit der Lizenzersteigerung: „Group 3G“) besitzt zwar die Lizenz, hat sich aber wegen seiner wirtschaftlich desolaten Situation aus dem UMTS-Geschäft komplett zurückgezogen. Gebaut wurden von Quam nur wenige UMTS-Teststationen.

Anders beim Betreiber MobilCom, der ebenfalls nicht an den Start gehen wird. Hier wurden bereits ca. 1.200 Basisstationen errichtet; man versucht u.a. nun diese an die „übrig gebliebenen“ Betreiber zu verkaufen.

Damit hat sich die Zahl der sechs Lizenznehmer auf vier Betreiber reduziert, die überhaupt starten; dies mit erheblichen Verzögerungen und auch nicht alle gemeinsam, sondern „nach und nach“.

Als Ursachen für die Probleme des UMTS-Mobilfunkmarktes nennt die RegTP [2]:

- Die Finanzierung des UMTS-Netzaufbaus erfolgt hauptsächlich durch die Aufnahme von Fremdkapital auf dem Kapitalmarkt:
 - Die Entwicklung des Kapitalmarktes ist nicht vorhersehbar
 - Zusätzliche Finanzierungsrisiken entstehen durch die Veränderung der Relation von Eigenkapital und Fremdkapital (Ratings)
- Der UMTS-Netzaufbau erfordert modernste Telekommunikations-Technologien:
 - Technologien sind z.T. noch in der Entwicklung/Erprobung
- Es bestehen Zweifel am UMTS-Markterfolg:
 - Ergebnisse von Marktforschungsstudien schwanken bei der Abschätzung des Kundenpotentials
- Wettbewerbseffekte durch Substitutionstechnologien
 - In HyperLAN/WLAN wird eine Alternative zu UMTS gesehen.

Die technischen Probleme sind z.B. darin begründet, dass für UMTS eine völlig neue Kommunikationsstruktur mit Paketdiensten und leitungsvermittelten Diensten spezifiziert ist.

Außerdem müssen die UMTS-Handys aufgrund der anfangs noch dünnen Netzabdeckung Dual-Mode fähig sein; d.h. sie müssen in einem Gerät UMTS und GSM beherrschen und je nach Netzverfügbarkeit automatisch umschalten.

Unverhoffte Konkurrenz oder: Was heißt eigentlich „mobil“?

Der Preisverfall bei drahtlosen Netzwerken (WLAN), das umfangreiche Marktangebot, ihre technische Leistungsfähigkeit und die Möglichkeit der lizenzfreien Nutzung haben zu einer raschen Verbreitung dieser Systeme geführt. Um zu beurteilen, ob diese Systeme eine ernst zu nehmende Konkurrenz für das Mo-

bilfunksystem UMTS darstellen, bedarf es einer eingehenden Betrachtung des Begriffs „mobil“.

Bedeutet „mobil sein“ ein „Heute hier, morgen dort“ als temporäre Zielpunkte auf der Reise oder ein pausenloses „on the road“-Sein?

Im ersten Fall genügt es z.B. für den viel zitierten Travelling Salesman, der jeden Tag woanders seine Termine hat, wenn er dort feste „Ankerplätze“ mit den Zugriffsmöglichkeiten auf Internet und Email hat – möglichst gemütlich im Sessel sitzend (z.B. an Hot Spots in Hotels, Lounges, an Flughäfen usw.; siehe [3]). Er muss nicht mit dem Notebook bzw. Palmtop in der Hand in Fast Food-Manier und im Gehen oder Fahren „kommunizieren“. Für ihn zählen sich die finanziellen und datentechnischen Vorteile des WLAN aus.

Wer dagegen tatsächlich „auf Achse“, d.h. in Bewegung (z.B. im Kfz) die Möglichkeit der mobilen Telekommunikation braucht oder zu brauchen meint, ist auf UMTS angewiesen – zu entsprechendem Preis und mit gegenüber WLAN stark eingeschränkter Übertragungsrate.

Die heute üblicherweise eingesetzten WLANs nach dem technischen Standard IEEE 802.11b (WiFi-Standard) erlauben eine maximale Datenübertragungsrate von 11 Mbit/s bei optimaler Verbindungsqualität. Seit dem Frühjahr 2003 sind die ersten Systeme des Standards IEEE 802.11g am Markt verfügbar, die eine maximale Übertragungsrate von 54 Mbit/s ermöglichen. Demgegenüber nehmen sich die maximal möglichen 2 Mbit/s von UMTS recht schmal aus – unter vergleichbaren optimalen Bedingungen und wie WLAN nur im stationären Einsatz. Die maximale UMTS-Datenrate schrumpft noch einmal beträchtlich beim mobilen Einsatz mit bewegtem Gerät auf 380 kbit/s.

Nähere Ausführungen zu WLANs und ihren Immissionen siehe [1] und [3].

Zur Konkurrenz bzw. Koexistenz von UMTS und WLAN hat die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP) ausführlich Stellung genommen, da sie sich zur Rechtfertigung der Freigabe neuer WLAN-Frequenzen im 5 GHz-Bereich angesichts der bestehenden und nun möglicherweise weiter forcierten UMTS-Probleme genötigt sah.

Matthias Kurth (Präsident der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post, RegTP), in einer Pressekonferenz am 9. Juli 2002 [4]:

"UMTS und/oder WLAN"

Freigabe des 5 GHz-Bereichs für **Wireless Local Area Networks (WLANs)**

„**In der TK-Welt wurden Mitte 2001** WLAN-Anwendungen in Hot Spots noch als ein Eingriff in das Geschäftsmodell der UMTS-Netzbetreiber und damit als eine **Bedrohung für UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)** eingestuft.“

Die Schlagzeilen seinerzeit waren:

"Ist das teure UMTS überflüssig, bevor es an den Start geht?",
"Preiswerte Funknetze machen UMTS Konkurrenz",
"Panik im Mobilfunk",
"Ohne Limit und Lizenz".

Heute sehen die Bewertungen schon wieder ganz anders aus. Heute hören wir:

"Mobilfunkunternehmen integrieren WLAN in ihre Netze",
"Lokale Funknetze werden die Handynetze ergänzen",
"UMTS und WLAN werden einander ergänzen".

Die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (Reg TP) ist nach **eingehender technischer, marktlicher und regulatorischer Analyse** zu der Einschätzung gelangt, dass **WLANs keine Konkurrenz für UMTS** darstellen, sondern **beide Systeme sich auf sinnvolle Weise zum Wohle aller Marktbeteiligten ergänzen**. Deshalb stellt die Regulierungsbehörde neben den bisherigen Frequenzen im 2,4 GHz-Bereich weitere Frequenzen im 5 GHz-Bereich für neue WLAN-Anwendungen bereit, weil dies auch im Interesse der Förderung von UMTS-Dienstleistungen liegt.

...

Eine **frequenzökonomische Betrachtung** von WLAN und UMTS:

1. Systemmöglichkeiten von WLAN

Da WLANs **nicht** als **flächendeckende** zellulare Netze, sondern bestenfalls als **punktueller** Lösungen für sog. Hot Spots konzipiert sind, vermögen sie nur vergleichsweise kleine Gebiete funktechnisch zu versorgen. Die Reichweite von WLAN beträgt – abhängig vom technischen Standard, der maximalen Strahlungsleistung (EIRP) von **einem Watt** und der Übertragungsrate – bis zu 200/300 m. Ein Übergang von einer Versorgungszelle zur anderen ist allenfalls in Schrittgeschwindigkeit möglich. **Mobilität** – auch innerhalb einer Zelle – ist **kaum gegeben**.

WLANs sind daher eher geeignet, Bedürfnisse der Nutzer nach hoher Datenübertragung in stationärem bzw. quasi stationärem Betrieb zu befriedigen. Hervorzuheben sind hier insbesondere der funkgestützte breitbandige Internet- bzw. Intranet-Zugang sowie Bild-, Video- und Musikübertragungen. Aufgrund der vergleichsweise geringen Reichweiten werden in der Regel WLAN-Anwendungen im Wesentlichen nur in Gebieten mit hohen Teilnehmerzahlen (sog. Hot Spots) betrieben werden, in denen eine potenziell hohe Nachfrage einen ökonomischen Betrieb erlaubt (z.B. Innenstadtbereiche/Bürobereiche, Messegelände, Hotels, Bahnhöfe, Flughäfen, Universitäten).

2. Systemmöglichkeiten von UMTS

Im Gegensatz zu WLANs sind UMTS-Netze grundsätzlich als bundesweite zellulare Mobilfunknetze konzipiert. Der mittlere Zellradius einer UMTS-Funkzelle liegt bei etwa 500 m bei einer Übertragungsrate von 384 kbit/s und etwa 900 m bei Sprachübertragung bzw. niedriger Übertragungsrate. UMTS gewährleistet

somit eine hohe Mobilität (Fahrzeuggeschwindigkeit). Die Datenübertragungsraten bei UMTS stehen u.a. in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit, mit der der Nutzer sich bewegt. Systembedingt ist eine Datenübertragung von bis zu 2 Mbit/s möglich. Obwohl UMTS wie WLANs zur breitbandigen Datenübertragung geeignet sind, ist die Leistungsfähigkeit von UMTS im stationären Betrieb in diesem Punkt aber erheblich niedriger als bei WLANs. Ich betone, im stationären Betrieb.

UMTS ist aber entscheidend besser geeignet, die Bedürfnisse der Nutzer nach Übertragung relativ hoher Datenraten unter gleichzeitiger voller Mobilität in möglichst großen Versorgungsbereichen zu befriedigen.

Kommen wir zur Abschätzung der Substitutionserwartungen

Während WLAN bei der Geschwindigkeit der Datenübertragung UMTS überlegen ist, vermag WLAN das Bedürfnis nach Nutzung des Angebots in der Fläche und bei gleichzeitiger Mobilität nicht zu befriedigen. Substitutionsbeziehungen zwischen einer Datenübertragung über UMTS und einer Datenübertragung über WLAN sind folglich nur dort vorstellbar, wo der Nutzer kein Bedürfnis nach Mobilität und Verfügbarkeit in der Fläche hat. Eine solche temporäre Austauschbarkeit zwischen UMTS- und WLAN-Datenübertragung ist vorstellbar an Orten, an denen Nutzer sich vorübergehend quasi stationär aufhalten und dort ein Bedürfnis nach Kommunikation in Form breitbandiger Datenübertragung entwickeln. Dies ist für die genannten Hot Spots zutreffend. In diesem speziellen Fall hätte WLAN Vorteile gegenüber UMTS. Unter den oben genannten Prämissen ist grundsätzlich eine Substitution vorstellbar; allerdings im Hinblick auf die Vorteile bei der Datenübertragung zunächst nur einseitig von UMTS hin zu WLAN. Sollte hingegen die Mobilität und Verfügbarkeit in der Fläche für die Nutzer von vordringlicher Bedeutung sein, wäre eine Substitution von WLAN durch UMTS denkbar.

Der Blick in die nahe Frequenz-Zukunft

Eine Nutzung von WLAN-Frequenzen auch für öffentliche Anwendungen steht damit im Interesse von UMTS selbst und ist eher geeignet, den Geschäftserfolg von UMTS zu fördern als eine Unterbindung öffentlicher WLANs. Sofern es einen Markt für derartige breitbandige Datenübertragungen in Hot Spots gibt, ist es naheliegend, dass die UMTS-Netzbetreiber gerade auch ihren Kunden diese WLAN-Anwendungen zusammen mit ihren Mobilfunkdienstleistungen "aus einer Hand" anbieten. Dabei ist vorstellbar, dass die **UMTS-Netzbetreiber WLANs auf der Basis selbst betriebener Netze** wie auch **als Diensteanbieter** oder **als "Roaming Partner"** für andere lokale WLAN-Betreiber ihren Kunden und über ihre Vertriebskanäle anbieten. Gibt es einen solchen Markt für WLAN, so würde sich ein solches **"Verbundprodukt"** aus Mobilfunk- und WLAN-Dienstleistungen als nachfrageorientiert darstellen und würde letztlich im Interesse sämtlicher Marktteilnehmer (Kunden, Netzbetreiber, Diensteanbieter, Inhalteanbieter, Hersteller usw.) liegen. Nicht zuletzt dürfte von einem solchen integrativen Ansatz eine **Katalysatorwirkung** für funkgestützte breitbandige Telekommunikationsdienstleistungen ausgehen und so u.a. auch UMTS nutzen.

Die Reg TP hat auf der Grundlage der dargestellten Einschätzung den **Entwurf einer Allgemeinzuteilung für WLAN im Bereich 5 GHz-Bereich** vorbereitet.“ (Quelle: [4])

Die Allgemeinzuteilung wurde mit Verfügung 35/2002 der RegTP vom 13.11.2002 durchgeführt [5]. Die Anregung der RegTP, die Mobilfunk-Netzbetreiber sollten selbst als WLAN-Betreiber und WLAN-Diensteanbieter auftreten, wurde inzwischen von einigen Betreibern aufgegriffen.

2. UMTS-Technik

UMTS sieht als europäischer Rahmenstandard nicht nur ein, sondern zwei verschiedene Zugriffsverfahren vor, die sich erheblich in der Technik und mit großer Wahrscheinlichkeit auch in den biologischen Wirkungen auf den Menschen unterscheiden:

1. **UMTS-FDD**

Für Systeme mit Frequenzduplex (FDD, **F**requency **D**ivision **D**uplex; gepaarte Frequenzbereiche für Uplink (Verbindung Mobilteil → Basisstation) und Downlink (Verbindung Basisstation → Mobilteil). Verwendet als Zugriffsverfahren W-CDMA. Vorzugsweise bei mobilem Einsatz mit Handover zwischen verschiedenen Zellen bzw. bei „symmetrischen“ Verbindungen, wie Sprachübertragung und 2-Wege-Datenübertragung. Das W-CDMA-Verfahren arbeitet vom technischen Grundprinzip her ungepulst.

2. **UMTS-TDD**

Für Systeme mit Zeitduplex (TDD, **T**ime **D**ivision **D**uplex; ungepaarte Frequenzbereiche). Verwendet als Zugriffsverfahren TD-CDMA, eine Kombination von TDMA und CDMA, die ein **gepulstes Signal** zur Folge hat. Vorzugsweiser Einsatz für stationäre Anwendungen innerhalb einer Zelle, bei denen kein Handover erforderlich ist, wie Schnurlos-Telefone und für „asymmetrischen“ Datenverkehr, wo in einer Richtung erheblich mehr Daten übertragen werden als in der anderen (z.B. Internet).

Die Entwicklungstrends gehen neben globaler Vernetzung und Kompatibilität in Richtung Breitband-Multimedia-Kommunikation. Dies bedeutet die mobile Übertragung von Sprache, Musik, Daten, Text, Graphik und Video mit hoher Geschwindigkeit und anspruchsvoller Qualität. In letzter Zeit wird immer deutlicher, dass von den Netzbetreibern ein wesentlicher Umsatzschwerpunkt bei „Fun“-Angeboten, insbesondere auch für Jugendliche, gesehen und forciert wird (z.B. Spiele, Videos). Die Mobilfunknetze sollen sich vom „Funktelefon“ zu einem universellen Medium als Basis für „viele interessante, neue Geschäftsideen“ entwickeln.

UMTS-FDD:

Universal Mobile Telecommunications System - Frequency Division Duplex

Dieser UMTS-Standard arbeitet mit dem Zugriffsverfahren W-CDMA (**W**ideband **C**ode **D**ivision **M**ultiple **A**ccess, Codemultiplex).

CDMA-Systeme arbeiten vom theoretischen Prinzip her im laufenden Betrieb ungepulst; der Zugriff auf die Benutzerkanäle erfolgt über eine spezielle Codierung (Code Division). Alle Teilnehmer einer Basisstation – bei UMTS wird diese als „Node-B“ bezeichnet – arbeiten „wild gemischt“ im gleichen Frequenzkanal (= Frequenzblock), der in 200 kHz-Stufen 4,4 bis 5,0 MHz breit sein kann (= Wideband). Anstelle einzelner Frequenzen oder der Zeit (in Form von „Zeitschlitzten“) teilen sich die Teilnehmer hier die zur Verfügung stehende Sendeleistung. D.h. wenn nur wenige Verbindungen über eine Basisstation laufen, steht für jeden Teilnehmer eine größere Maximalleistung zur Verfügung, als wenn viele Teilnehmer aktiv sind. Damit ist die Reichweite der Basisstation u.a. von der Anzahl aktiver Teilnehmer abhängig. Dieser Effekt wird als „Cell Breathing“ bezeichnet; die Zellengröße „atmet“ mit der Anzahl aktiver Teilnehmer. Durch die Überlagerung der Signale vieler Teilnehmer im selben Frequenzbereich hat das resultierende Gesamtsignal einen dem Rauschen ähnlichen Charakter. Eine schnelle Leistungsregelung sorgt 1.500 mal pro Sekunde für eine exakte Anpassung an sich ändernde Situationen.

Die für UMTS eingesetzten Basisstations-Antennen ähneln sehr stark den Antennen, die für GSM 1800 (E-Netz) verwendet werden, bzw. sind mit ihnen identisch. Es gibt auch Antennen, die gleichzeitig sowohl für GSM als auch für UMTS eingesetzt werden können.

UMTS erfordert kleinere Zellradien als GSM; sie liegen bei geringem Kapazitätsbedarf unterhalb von 1.200 bis 1.000 Metern und bei höherem Kapazitätsbedarf im Schnitt bei ca. 400 bis 500 Metern. Dies bedeutet deutlich mehr Basisstationen und eine höhere Basisstations-Dichte als bei GSM. Außerdem baut jeder UMTS-Netzbetreiber wiederum sein eigenes, unabhängiges Netz mit von ihm festgelegten Standorten der Basisstationen auf. Aufgrund der kleineren Zellradien und der stärkeren Dämpfung der UMTS-Frequenzen ist der lokale Spielraum für Standortalternativen und damit die Möglichkeit kommunaler Einflussnahme wesentlich geringer als bei GSM.

Der Zugriff auf die Übertragungskanäle erfolgt bei W-CDMA völlig anders als bei den herkömmlichen Telekommunikationssystemen. Damit die Signale der einzelnen Teilnehmer voneinander unterschieden werden können, werden sie mit einem speziellen Erkennungsmerkmal in Form einer Codierung versehen. Dazu wird das Nutzsignal mit dem Codierungssignal überlagert (entsprechend einer Multiplikation der Signale bei logischer 1 des Nutzsignals und zusätzlicher Invertierung des Codierungssignals bei logischer 0; siehe Abbildung 2-1). Die Elemente des Codierungssignals werden nicht als Bits, sondern als „Chips“ bezeichnet; die Datenrate des Codierungssignals dementsprechend als „Chiprate“. Das Codierungssignal hat eine höhere Frequenz als das Nutzsignal; etliche Chips „passen“ in ein Bit des Nutzsignals und ermöglichen so seine Codierung. Das Nutzsignal wird durch die Codierung in der Frequenz breiter „gespreizt“; das resultierende Signal wird daher als „Spread Spectrum“ bezeichnet. Es hat bei W-CDMA eine Bandbreite von 4,4 - 5,0 MHz und wird seinerseits auf einen Hochfrequenzträger im UMTS-Band aufmoduliert (Abbildung 2-2).

Die maximale Sendeleistung einer Basisstation beträgt 20 Watt; die maximale Anzahl gleichzeitig aktiver Teilnehmer wird bei Sprachübertragung (Telefonie) mit ca. 40-50 erwartet. Bei Datenübertragung mit höherem Bandbreitebedarf verringert sich die Zahl der möglichen Teilnehmer.

Der Empfänger filtert „sein“ Signal aus dem Signalgemisch, indem er genau die Anteile mit „seiner“ Codierung erkennt; alle anderen Codes sind für ihn wie Rauschen. Hierzu werden so genannte Korrelationsempfänger verwendet. Diese sind in der Lage, ein ihnen bekanntes Signalmuster – nämlich das Codierungssignal – selbst dann noch zu erkennen, wenn es von Rauschen überdeckt ist.

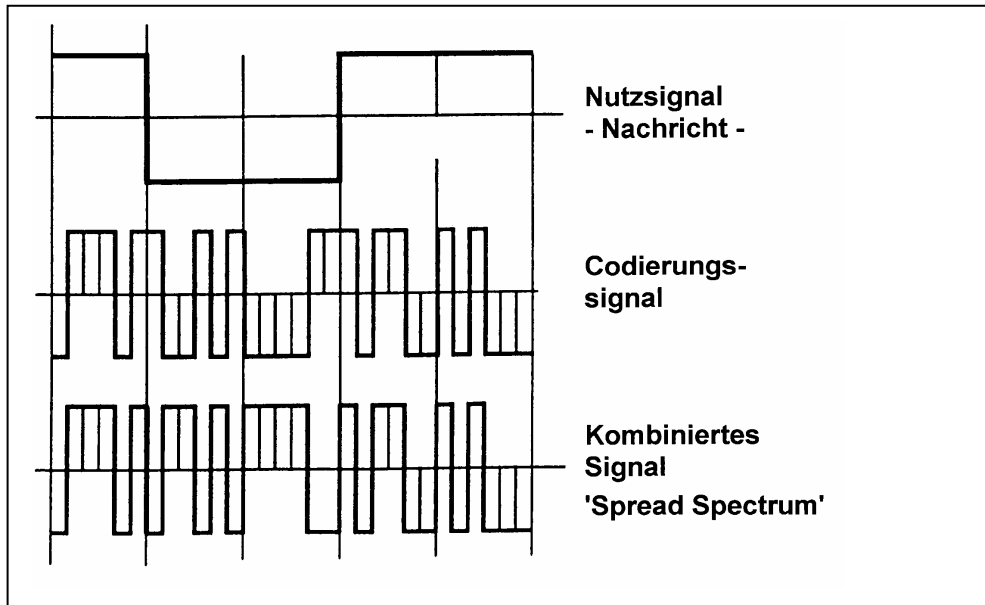


Abb. 2-1: Codierungsprinzip bei CDMA („Spreizcodierung“)

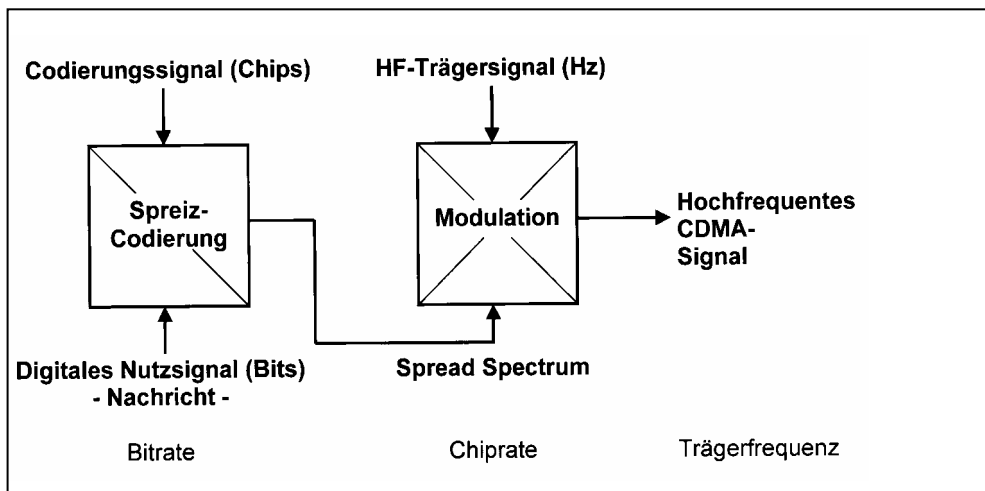


Abb. 2-2: Erzeugung eines CDMA-Signals durch Spreizcodierung und Modulation

Frequenzbereiche und Betreiber für UMTS-FDD

MHz

1.920,1 - 1.980,0 Uplink (Mobilteile → Basisstation) / Unterband

1.920,1 - 1.920,3 Schutzband

1.920,3 - 1.979,7 6 FDD-Doppel-Frequenzblöcke á 9,9 MHz

1.979,7 - 1.980,0 Schutzband

2.110,0 - 2.170 Downlink (Basisstation → Mobilteile) / Oberband

2.110,0 - 2.110,3 Schutzband

2.110,3 - 2.169,7 6 FDD-Doppel-Frequenzblöcke á 9,9 MHz

2.169,7 - 2.170,0 Schutzband

Die jeweils sechs Doppel-Frequenzblöcke sind wie folgt den UMTS-Netzbetreibern zugeteilt (Abbildung 2-3):

Uplink UMTS FDD-Frequenzblöcke

1920,3	1930,2	1940,1	1950,0	1959,9	1969,8	1979,7	MHz
FDD 1	FDD 2	FDD 3	FDD 4	FDD 5	FDD 6		
Vodafone	Quam	E-Plus	MobilCom	VIAG O2	T-Mobile		
9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz		

Downlink UMTS FDD-Frequenzblöcke

2110,3	2120,2	2130,1	2140,0	2149,9	2159,8	2169,7	MHz
FDD 1	FDD 2	FDD 3	FDD 4	FDD 5	FDD 6		
Vodafone	Quam	E-Plus	MobilCom	VIAG O2	T-Mobile		
9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz	9,9 MHz		

Abb. 2-3: Zuordnung der UMTS FDD-Frequenzblöcke zu den Netzbetreibern
 Grau hinterlegte Betreiber: Treten nicht an

UMTS-TDD:

Universal Mobile Telecommunications System - Time Division Duplex

Dieser UMTS-Standard arbeitet mit dem Zugriffsverfahren TD-CDMA (Time Division - Code Division Multiple Access, kombinierter Zeit- und Codemultiplex). Die TD-CDMA-Kombination basiert auf einer TDMA-Grundstruktur mit 15 Zeitschlitz innerhalb eines Rahmens von 10 ms Dauer. Ein Zeitschlitz hat damit eine Dauer von $10 \text{ ms} / 15 = 0,667 \text{ ms}$. Pro Zeitschlitz (Zeitkanal) werden zu-

sätzlich mehrere Codes definiert (Codekanäle). Im Time Division Duplex teilen sich Basisstation und Mobilteil die zur Verfügung stehenden 15 Zeitschlitz eines Rahmens, wobei im Uplink und im Downlink jeweils mindestens ein Zeitschlitz belegt wird; maximal können es 14 sein. Die Summe aus Up- und Downlink-Zeitschlitz beträgt 15. Hieraus resultiert **eine maximale Pulsfrequenz von $1 / (2 \cdot 0,667 \text{ ms}) = 750 \text{ Hz}$ im Uplink und im Downlink** (symmetrische Verbindung im Verhältnis 1 : 1 mit Wechsel von Up- und Downlink in jedem Zeitschlitz) **und eine – theoretische – minimale Pulsfrequenz von $1 / (15 \cdot 0,667 \text{ ms}) = 100 \text{ Hz}$** (extrem asymmetrische Verbindung im Verhältnis 1 : 14). Die Bandbreite eines Frequenzblocks kann in 200 kHz-Stufen zwischen 4,4 MHz und 5,0 MHz festgelegt werden.

Frequenzbereiche und Betreiber für UMTS-TDD

MHz

1.900,0-1.920,1

1.900,0-1.900,1 Schutzband

1.900,1-1.920,1 vier lizenzierte TDD-Frequenzblöcke á 5 MHz

2.010-2.025

2.010,0-2.010,5 Schutzband

2.010,5-2.015,5 erster TDD-Frequenzblock á 5 MHz für lizenzfreie Anwendungen, überlappend mit dem zweiten

2.014,9-2.019,9 zweiter TDD-Frequenzblock á 5 MHz für lizenzfreie Anwendungen, überlappend mit dem ersten und mit dem folgenden, lizenzierten TDD-Frequenzblock

2.019,7-2.024,7 ein lizenzierter TDD-Frequenzblock á 5 MHz, überlappend mit dem zweiten lizenzfreien TDD-Frequenzblock

2.024,7-2.025,0 Schutzband

Die TDD-Frequenzblöcke sind wie folgt den UMTS-Netzbetreibern zugeteilt bzw. lizenzfrei (Abbildung 2-4):

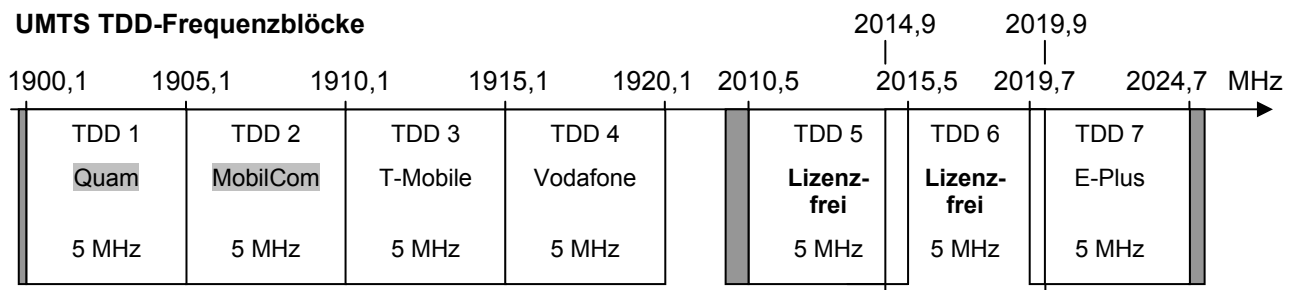


Abb. 2-4: Zuordnung der UMTS TDD-Frequenzblöcke zu den Netzbetreibern
Grau hinterlegte Betreiber: Treten nicht an

Die lizenzfreien Blöcke könnten z.B. für die nächste Generation von Schnurlos-telefonen (DECT-Nachfolger) genutzt werden.

3. Erste Messungen an UMTS-(FDD-)Basisstationen im Testbetrieb und Vergleich mit GSM

Vorbemerkung

Die folgenden Darstellungen basieren auf Messungen, die an UMTS-Basisstationen im Testbetrieb durchgeführt wurden. Über die Basisstationen lagen keinerlei Informationen vor, also weder über die Sendeleistung, noch über die genaue Platzierung und Hauptstrahlrichtung der Antennen, da diese gemischt mit GSM-Antennen am gleichen Standort montiert sind. Bei allen Aussagen über gemessene Strahlungsdichten muss also berücksichtigt werden, dass nicht bekannt ist, ob diese in Hauptstrahlrichtung erfolgten oder nicht. Außerdem ist unsicher, ob die Zellenbildung der Testanlagen z.B. hinsichtlich ihrer Größe und Antennenkonfiguration (z.B. Downtilt) den Bedingungen des zukünftigen praktischen Einsatzes entspricht oder eher „Laborbedingungen“.

Des weiteren ist nichts über den Betriebszustand der Anlagen bekannt, ob z.B. nur der Steuerkanal aktiv war oder ob ggf. auch – simulierter – Nutzverkehr über die Anlage abgewickelt wurde – was allerdings zum Zeitpunkt der Messungen im März 2003 eher unwahrscheinlich ist. Sollte tatsächlich Nutzverkehr abgewickelt worden sein, so ist nicht bekannt, wie viele Teilnehmer im Netz aktiv waren, ob es sich um eine konstante oder um eine schwankende Last handelte usw.

Diese Fülle von Unbekannten ist typisch für die derzeitige Situation bei allen, die sich mit UMTS-Messtechnik „in der freien Wildbahn“ befassen und dies nicht direkt im Auftrag eines Netzbetreibers tun. Trotz der oben genannten Unsicherheiten wird hier der Versuch einer Ergebnisdarstellung gewagt, um wenigstens einen ersten Eindruck von den Immissionen einer UMTS-Anlage zu erhalten. Ob die Ergebnisse repräsentativ sind oder nur Aussagekraft als Einzelfall-Darstellungen behalten, müssen weitere Untersuchungen in der Zukunft zeigen.

Wenn im Folgenden von „UMTS“ die Rede ist, so ist immer „UMTS-FDD“ gemeint.

Spektrum

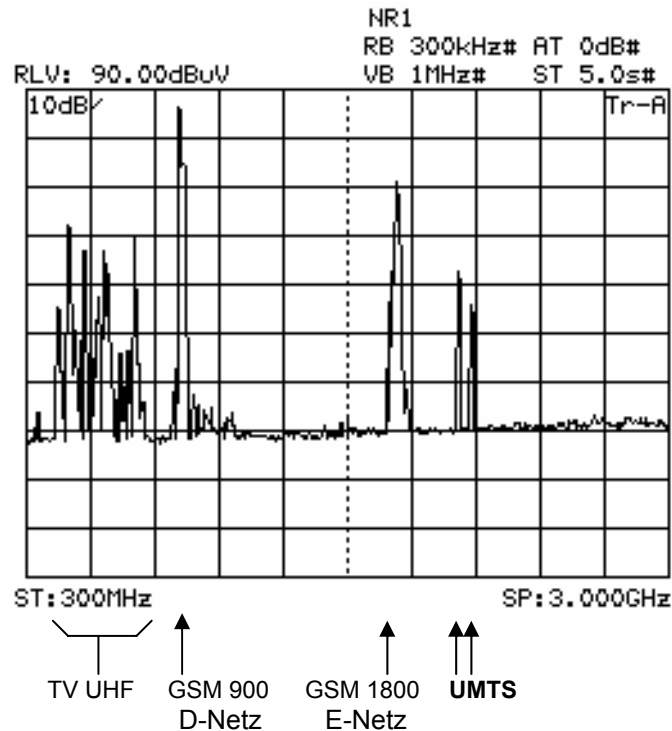


Abb. 3-1: Orientierendes Übersichtsspektrum von 300 MHz bis 3 GHz

Das UMTS-Spektrum liegt oberhalb des GSM 1800-Spektrums (E-Netz). Abbildung 3-1 zeigt im Übersichtsspektrum von 300 MHz bis 3 GHz neben dem typischen Bild der UHF-Fernsehsender sowie der GSM-Basisstationen des D- und E-Netzes zwei Peaks im UMTS-Bereich. Bei feinerer Frequenzauflösung und alleiniger Betrachtung des Frequenzbereichs der UMTS-Basisstationen (Downlink) ergibt sich das Spektraldiagramm gemäß Abbildung 3-2.

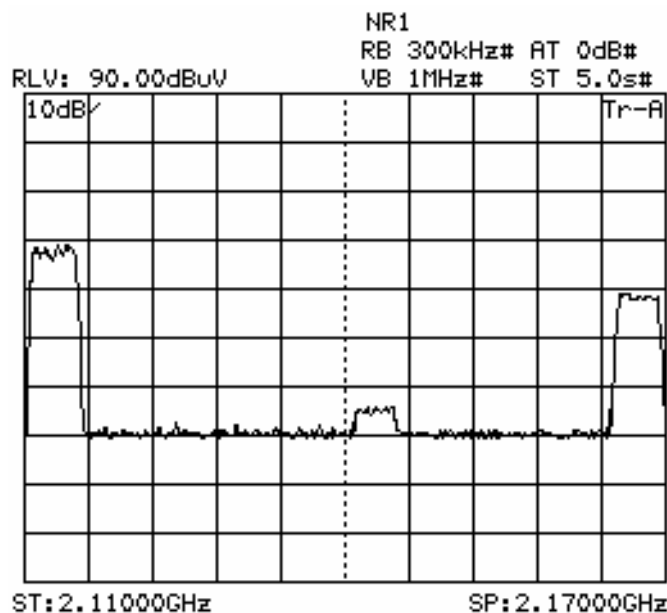


Abb. 3-2: Spektraldiagramm des UMTS-Downlink mit drei Basisstationen

Mit deutlichen Signalen belegt sind hier der erste und der letzte Frequenzblock im gesamten UMTS-FDD-Downlink; also der erste der beiden Vodafone-Blöcke und der zweite der beiden T-Mobile-Blöcke (vgl. Frequenzzuweisung in Abb. 2-3). Ein dazu vergleichsweise schwaches Signal ist etwa in der Mitte des Spektrums im ersten Frequenzblock von MobilCom zu erkennen. Obwohl dieser Netzbetreiber nicht auf dem UMTS-Markt antritt, hat er offensichtlich – noch – Teststationen in Betrieb.

In Abbildung 3-3 ist die Vollbelegung des Spektrums durch alle vier aktiven Netzbetreiber simuliert, wie sie zukünftig einmal aussehen könnte.

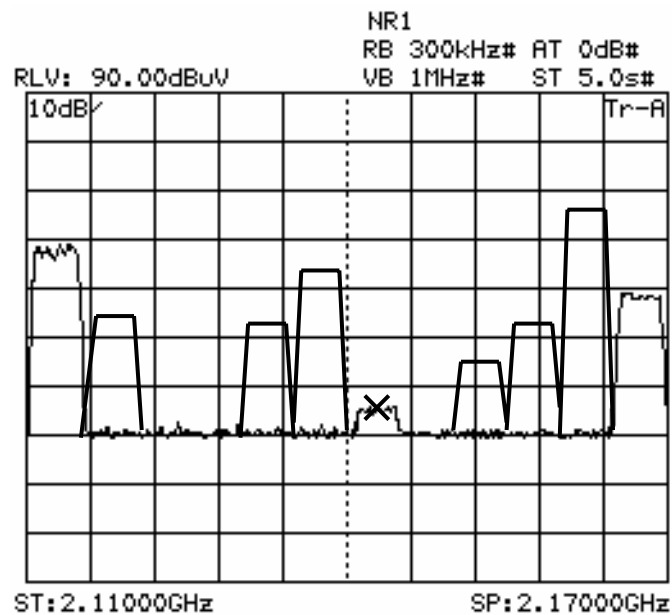


Abb. 3-3: Spektraldiagramm des UMTS-Downlink (Basisstationen) bei – hier virtueller – Vollbelegung aller vier aktiven Netzbetreiber (ohne Quam und MobilCom)

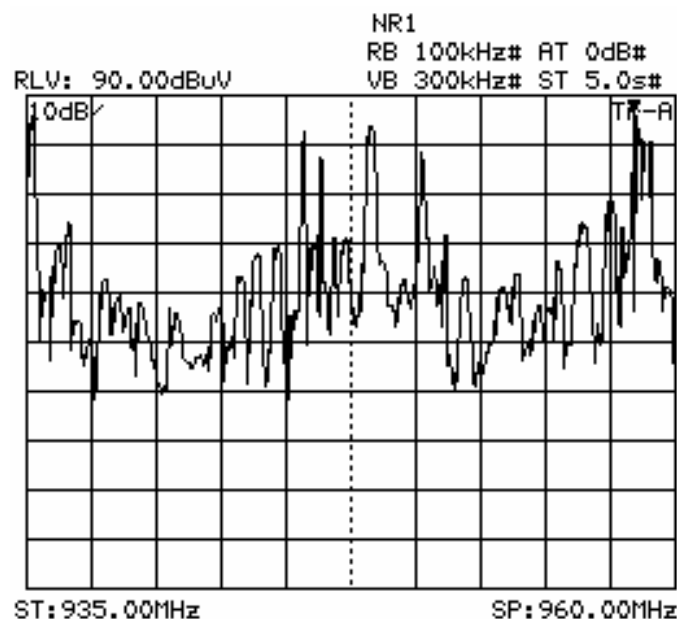


Abb. 3-4: Spektraldiagramm des GSM D-Netzes in einem Ballungsgebiet

Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 3-4 ein Spektrum von D-Netz-Basisstationen in einem Ballungsgebiet. Jeder Peak entspricht einem gerade aktiven Basisstations-Frequenzkanal mit einer Breite von 200 kHz. Gegenüber den – bei vier Betreibern – maximal acht, jeweils 5 MHz breiten UMTS-„Tafelbergen“ ergibt sich hier ein völlig anderes Bild, das dazu wegen der je nach Verkehrsaufkommen und Kapazitätsbedarf aktuell zu- und abgeschalteten lastabhängigen Verkehrskanäle ständig in Bewegung ist. (Das D-Netz verfügt über insgesamt 124 Frequenzkanäle von je 200 kHz Breite, das E-Netz über 374).

Bei Einstellung des Spektrumanalyzers auf den ersten UMTS-Frequenzblock ergibt sich die Darstellung gemäß Abbildung 3-5. Der ca. 5 MHz breite „Tafelberg“ ist typisch für ein W-CDMA-Signal. Um die Signalstärke zu quantifizieren, muss die Messung bei einem solchen Signal in der Betriebsart „Channel Power“ (ChPwr) durchgeführt werden. Der Messwert beträgt hier – 26,02 dBm.

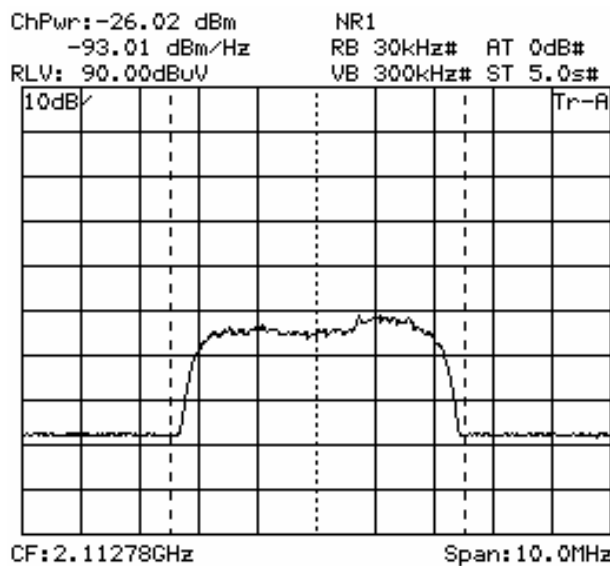


Abb. 3-5: Spektraldiagramm einer UMTS-Basisstation (Detektor: Peak);
 ChPwr = - 26,02 dBm

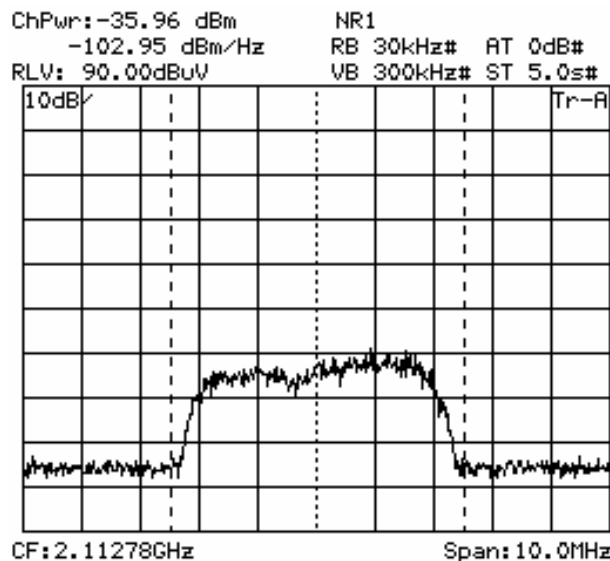


Abb. 3-6: Spektraldiagramm einer UMTS-Basisstation (Detektor: RMS);
 ChPwr = - 35,96 dBm

Die Messung gemäß Abbildung 3-5 erfolgte mit einem Spitzenwert-Detektor (Peak-Detektor). Schaltet man stattdessen einen Mittelwert-Detektor ein (RMS-Detektor = **R**oot **M**ean **S**quare-Detektor) so erhält man das Ergebnis gemäß Abbildung 3-6.

Der Messwert beträgt hier – 35,96 dBm; er liegt somit ca. 10 dB niedriger als bei der Spitzenwert-Messung (10 dB entsprechen dem Faktor zehn, bezogen auf die Leistungsflussdichte). Dieser hohe Unterschied zwischen den beiden Messmethoden, der sich im Crest-Faktor äußert (= Verhältnis Spitzenwert / Mittelwert), ist ein Hinweis darauf, dass es sich um ein Signal mit stark schwankender Amplitude bzw. mit ausgeprägten Amplitudenspitzen handelt. Näheren Aufschluss hierüber gibt die folgende Betrachtung im Zeitbereich.

Weitere Messergebnisse im Spektralbereich sind in [6] dargestellt.

Hüllkurve / zeitlicher Verlauf des UMTS-Signals

In der Betriebsart „Zero Span“ (Nullhub) kann mit dem Spektrumanalyzer, der auf die Mittenfrequenz des zu untersuchenden Signals abgestimmt ist, der zeitliche Verlauf der Signal-Hüllkurve wie auf einem Oszilloskop betrachtet werden. In Abbildung 3-7 ist der Zeitverlauf des UMTS-Signals mit Variation der zeitlichen Auflösung (Sweep Time) von 50 ms bis 0,5 ms dargestellt.

Die Kurvenverläufe können so interpretiert werden, dass es sich um ein in der Intensität stark schwankendes Signal handelt, mit einer Schwankungsbreite bis ca. 35 dB (entsprechend dem Faktor 4.000, bezogen auf die Leistungsflussdichte). Das Signal hat durchaus Ähnlichkeit mit einem Rauschsignal, vor allem bei der gröberen zeitlichen Auflösung. Die feinere zeitliche Auflösung legt allerdings die Vermutung nahe, dass doch periodische Anteile enthalten sein könnten, hier mit einer Periodendauer von etwa 0,06 ms. Ob diese Periodendauer eine Systemkonstante ist, oder ggf. von der Art des übertragenen Nachrichteninhalts (Sprache, Bilder, Daten) mit seinen unterschiedlichen Datenraten abhängt, kann (noch) nicht gesagt werden.

Das Gehör ist wesentlich besser als das Auge in der Lage, periodische Anteile in einem Signal zu erkennen. Unterzieht man die Hüllkurve des UMTS-Signals einer akustischen Diagnose, so ist ein prägnanter kontinuierlicher, „sägender“ und leicht „pumpender“ Klang zu hören.

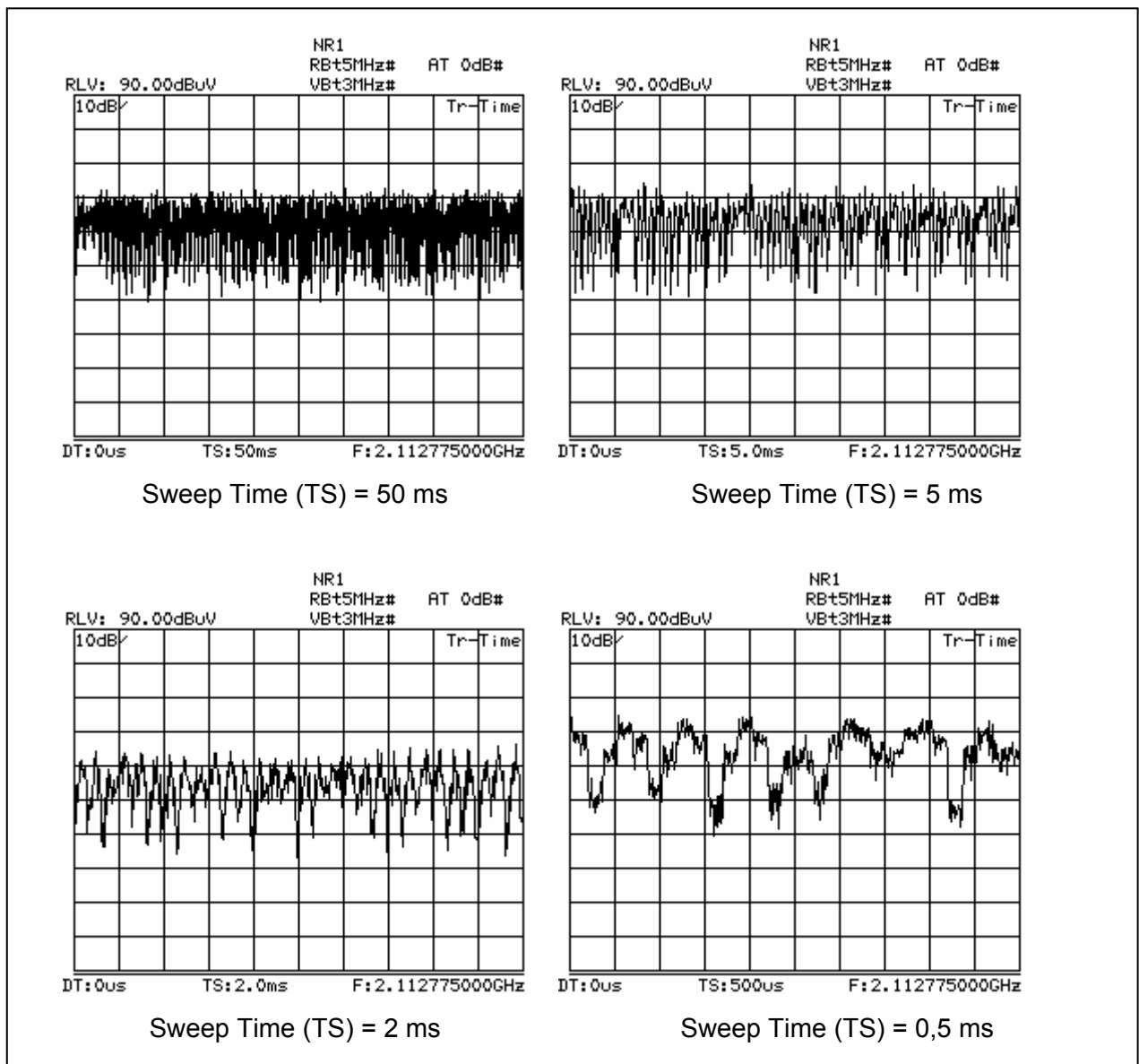


Abb. 3-7: Zeitlicher Verlauf der Hüllkurve des UMTS-Signals bei Variation der Zeitbasis (Sweep Time 50 ms - 0,5 ms), Betriebsart Zero Span

In Abbildung 3-8 ist der zeitliche Verlauf der UMTS-Hüllkurve einigen anderen, in der Telekommunikation „etablierten“ Signalen zum Vergleich gegenüber gestellt.

Das amplitudenmodulierte Signal (AM) des Mittelwellensenders schwankt im Rhythmus der aufmodulierten Sprache bzw. Musik mit einem Frequenzgemisch von einigen zehn Hertz bis zu wenigen Kilohertz. Der Hüllkurvenverlauf ist damit vom Nachrichteninhalt abhängig.

Das frequenzmodulierte Signal (FM) des UKW-Hörfunksenders ist in der Amplitude konstant. Der Nachrichteninhalt wird in Frequenzänderungen und nicht in Amplitudenänderungen des Trägersignals abgebildet.

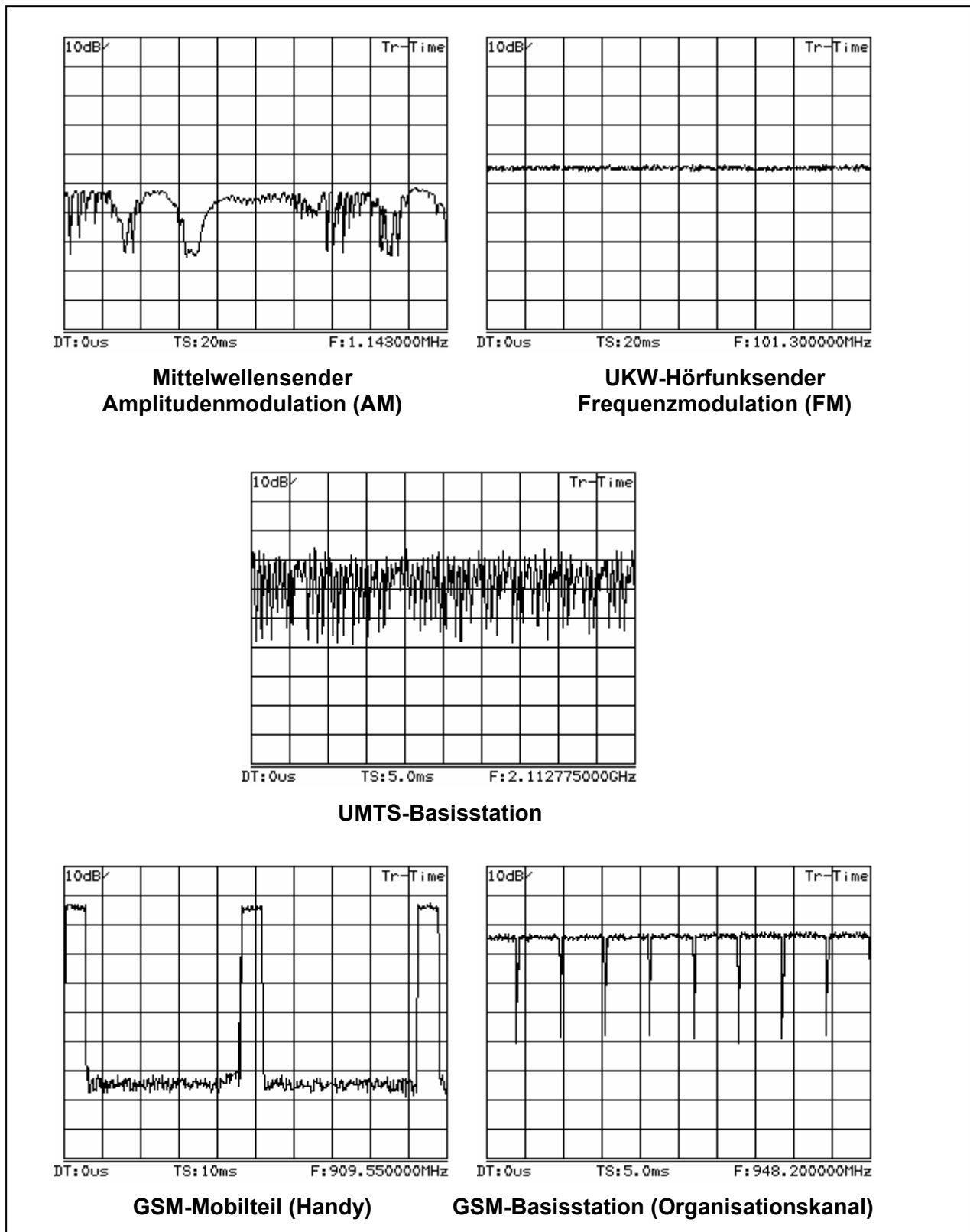


Abb. 3-8: Zeitlicher Verlauf der Hüllkurven verschiedener Signale im Vergleich (Zero Span)

Man beachte, dass die Zeitbasen (TS, Sweep Time) der einzelnen Signale unterschiedlich gewählt wurden, damit der jeweilige individuelle Charakter des Kurvenverlaufs besser zur Geltung kommt

Die Signale des GSM-Mobilteils und der GSM-Basisstation sind geprägt durch die streng periodische Pulsung des Hüllkurvenverlaufs. Diese Pulsung ist bedingt durch das verwendete Zugriffsverfahren TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess) mit seinen Zeitschlitzten (siehe [1]). Die Pulsfrequenzen von ca. 217 Hz beim Mobilteil und 1.733 Hz beim Organisationskanal der Basisstation sind konstant und unabhängig vom Nachrichteninhalt des Signals. Es gibt eine Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen, die darauf hinweisen, dass diese periodische Pulsung besondere biologische Effekte im menschlichen Organismus hervorrufen kann, weswegen sie als besonders kritisch zu bewerten ist.

Das gemessene UMTS-Signal hat eine Qualität, die keinem Signal der o.a. bekannten Funkdienste entspricht. Einerseits ergeben sich gewisse Ähnlichkeiten mit dem klassischen amplitudenmodulierten Signal, dessen Hüllkurve bei UMTS aber nicht direkt mit dem Nachrichteninhalt selbst assoziiert ist und einen stochastisch schwankenden, rauschähnlichen Charakter mit hohen Signalspitzen im Vergleich zum Mittelwert aufweist. Dies entspricht einem hohen Crest-Faktor (Verhältnis Spitzenwert / Mittelwert). Andererseits lässt das gemessene Signal bei feiner zeitlicher Auflösung durchaus sich periodisch wiederholende Strukturen vermuten.

Insbesondere die Frage nach einer möglichen, besonderen biologischen Relevanz des UMTS-Signals, wie sie z.B. bei den GSM-Signalen gegeben ist, lässt sich aus dem Hüllkurvencharakter (noch) nicht beantworten.

4. Literatur

- [1] Virnich, M. (Hrsg.: VDB e.V.): Zukünftige Funksysteme – Gepulst oder nicht?; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 1. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen – VDB e.V., 19.-20. April 2002 im Öko-Zentrum NRW, Hamm; Im Verlag der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF) e.V., Springe-Eldagsen 2002, ISBN 3-930576-04-3; S. 69-105
- [2] www.regtp.de/reg_tele/start/fs_05.html
- [3] Haumann, Th. (Hrsg.: VDB e.V.): Drahtlose Inhouse-Kommunikation – DECT und WLAN; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 2. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen – VDB e.V., 03.-04. April 2003 in München; Im Verlag des AnBUS e.V., Fürth 2003, ISBN 3-9808428-2-7; S. 45-56
- [4] Kurth, M.: UMTS und/oder WLAN, Pressekonferenz am 9. Juli 2002; Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP); www.regtp.de/aktuelles/02600/01/index.html
- [5] Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (RegTP): Allgemeinzuteilung von Frequenzen in den Bereichen 5150 MHz - 5350 MHz und 5470 MHz - 5725 MHz für die Nutzung durch die Allgemeinheit in lokalen Netzwerken; Wireless Local Area Networks (WLAN-Funkanwendungen); Verfügung 35/2002 vom 13.11.2002

- [6] Virnich, M.; Münzenberg U. (Hrsg.: VDB e.V.): Erste Erfahrungen mit UMTS; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 2. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen – VDB e.V., 03.-04. April 2003 in München; Im Verlag des AnBUS e.V., Fürth 2003, ISBN 3-9808428-2-7; S. 57-77

© Dr.-Ing. Martin H. Virnich, 2003

Ingenieurbüro für Baubiologie und Umweltmesstechnik

Berufsverband Deutscher Baubiologen – VDB e.V.

Dürerstraße 36, 41063 Mönchengladbach

Tel: 02161 - 89 65 74

Fax: 02161 - 89 87 53

virnich.martin@t-online.de