

# Charakteristika von UMTS-Signalen

*Dr.-Ing. Martin H. Virnich*

*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*

Veröffentlicht in: Tagungsband der 3. EMV-Tagung „Energieversorgung & Mobilfunk“ des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V. am 01.-02.04.2004 in Würzburg; [www.baubiologie.net](http://www.baubiologie.net)

## Einleitung

---

Die neuen UMTS-Mobilfunknetze (**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem) der 3. Generation basieren auf einer völlig anderen Technik als die seit ca. 10 Jahren bestehenden GSM-Mobilfunksysteme (**G**lobal **S**ystem for **M**obile **C**ommunications) der 2. Generation (D-Netz, E-Netz).

Dies hat Konsequenzen für die Charakteristik der abgestrahlten Signale im Frequenz- und Zeitbereich (periodisch gepulst oder ungepulst?), die räumliche Dichte der Basisstationen, die Netzplanung beim Ausbau der Systeme und die Messtechnik zur Ermittlung der von den Basisstationen verursachten Hochfrequenz-Immissionen.

## UMTS-Technik

---

UMTS erfordert generell kleinere Zellendurchmesser als GSM; sie liegen im Schnitt bei ca. 400-700 m. Dies bedeutet mehr Basisstationen und eine höhere Basisstations-Dichte (siehe Abbildung 2-1 und 2-2).

UMTS sieht als europäischer Rahmenstandard nicht nur ein, sondern zwei verschiedene Zugriffsverfahren vor, die sich erheblich in der Technik und wahrscheinlich 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 Up- und Downlink<sup>1</sup>). Verwendet als Zugriffsverfahren W-CDMA; vorzugsweise bei mobilem Einsatz mit Handover 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-Telefonie, und für „asymmetrischen“ Datenverkehr, wo in einer Richtung erheblich mehr Daten übertragen werden als in der anderen (z.B. Internet-Download).

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 (Spiele, Videos). Die Mobilfunknetze sollen sich vom „Funktelefon“ zu einem universellen Medium als Basis für „viele interessante, neue Geschäftsideen“ entwickeln.

---

<sup>1</sup> Mit „Uplink“ wird die Verbindung Mobilteil → Basisstation bezeichnet, mit „Downlink“ entsprechend die Verbindung Basisstation → Mobilteil.

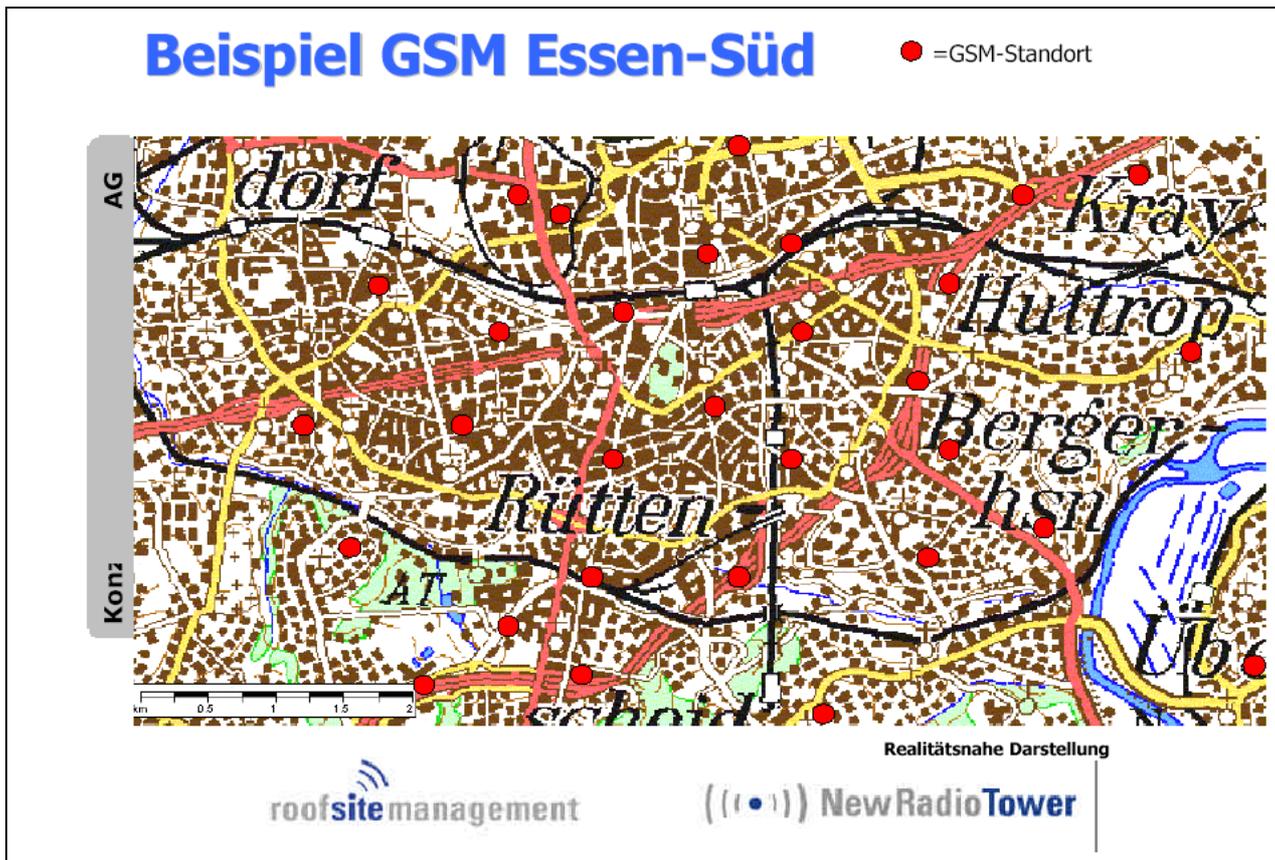


Abb. 2-1: GSM-Standorte (Quelle: [1])

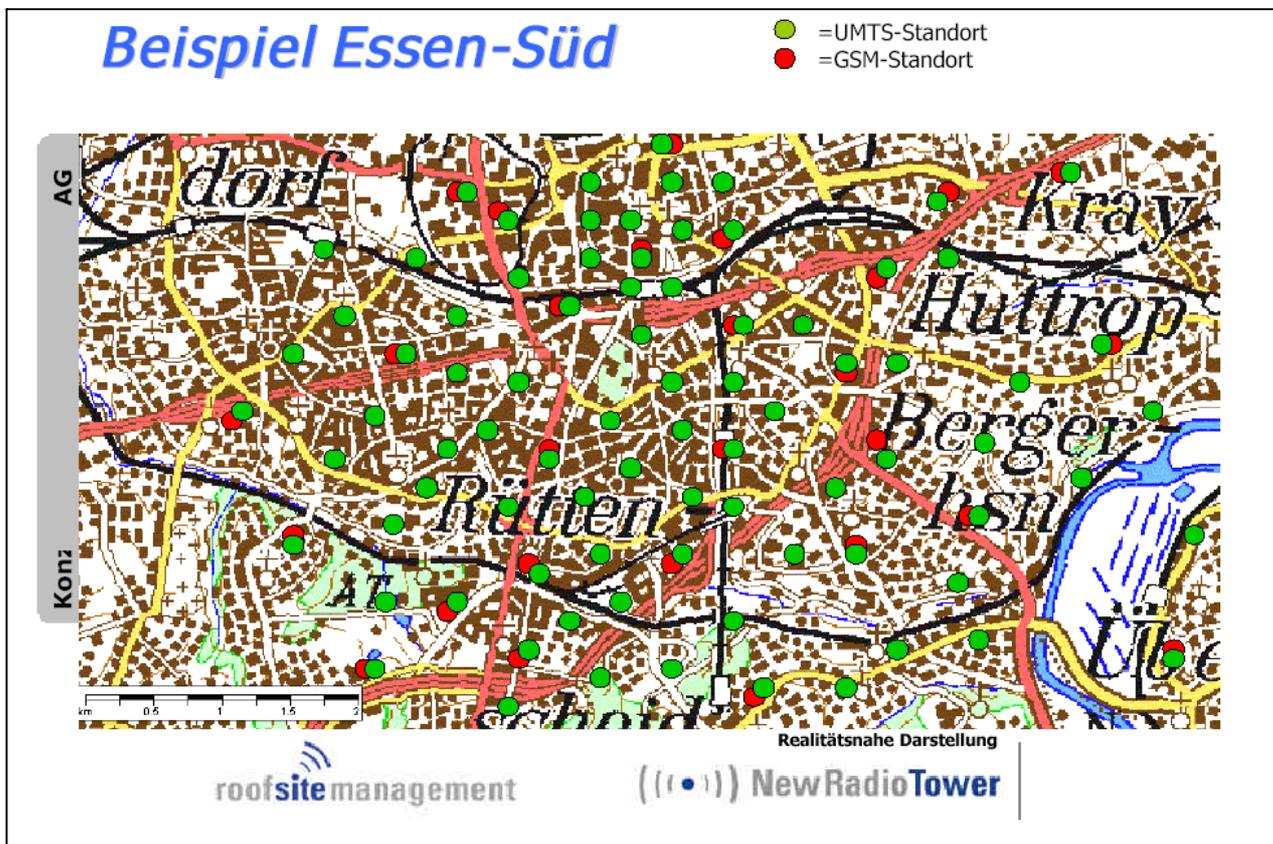


Abb. 2-2: GSM- und geplante UMTS-Standorte (Quelle: [1])

**UMTS-FDD:****Universal Mobile Telecommunications System - Frequency Division Duplex**

Dieser UMTS-Standard arbeitet mit dem Zugriffsverfahren W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access, Codemultiplex).

CDMA-Systeme arbeiten im laufenden Betrieb und vom theoretischen Prinzip her 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 Frequenzblock, der ca. 4 - 5 MHz breit ist (= Wideband). Anstelle der Zeit oder einzelner Frequenzen 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 prinzipiell einen dem Rauschen ähnlichen Charakter. Eine schnelle Leistungsregelung sorgt 1.500 mal pro Sekunde für eine exakte Anpassung an sich ändernde Situationen (d.h. alle 0,667 ms).

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. Hierbei wird das zu übertragende digitale Nutzsignal mit einem ebenfalls digitalen Codierungssignal höherer Frequenz überlagert (entsprechend einer Multiplikation der beiden Signale bei logischer 1 des Nutzsignals und zusätzlicher Invertierung des Codierungssignals bei logischer 0; vgl. Abbildung 2-3). Die Frequenz des Codierungssignals wird als „Chiprate“ bezeichnet, da die einzelnen „bits“ des Codierungssignals hier „Chips“ genannt werden. Die Chiprate beträgt bei W-CDMA 3,84 Mcps (Mega-Chips pro Sekunde). Durch die Überlagerung der beiden Signale wird die Bandbreite des kombinierten Signals vergrößert oder „gespreizt“; es ergibt sich das "Spread Spectrum" mit einer Bandbreite von 3,84 MHz, entsprechend der Chiprate. Da die Chiprate konstant ist, werden bei hohen Datenraten des Nutzsignals kürzere und bei niedrigen Datenraten längere Spreizcodes verwendet.

Mit dem "Spread Spectrum" wird der eigentliche Hochfrequenzträger moduliert (Abbildung 2-4). Es ergibt sich dann im UMTS-Band das Spektraldiagramm in Form des typischen „Tafelberges“ (Abbildung 2-5).

Zur zeitlichen Strukturierung des W-CDMA-Signals erfolgt eine Einteilung des Chip-Stromes in so genannte „radio frames“ von 10 ms Dauer. Jeder radio frame wird in 15 „time slots“ unterteilt. Hieraus resultieren die Länge eines time slots von 0,667 ms und die Frequenz der o.a. Leistungsregelung von 1.500 Hz (= 1/0,667 ms).

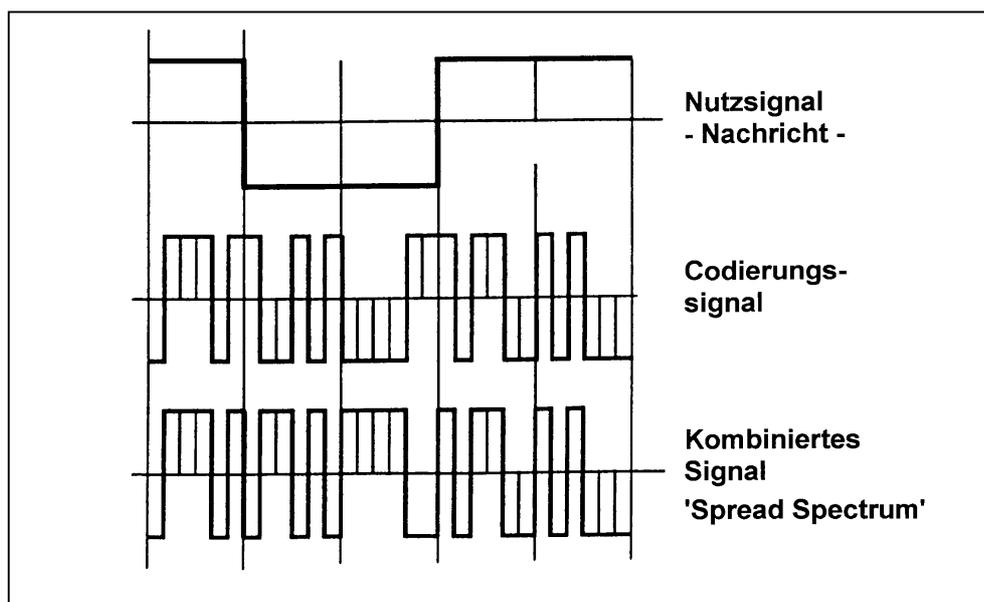


Abb. 2-3: Codierungsprinzip bei CDMA

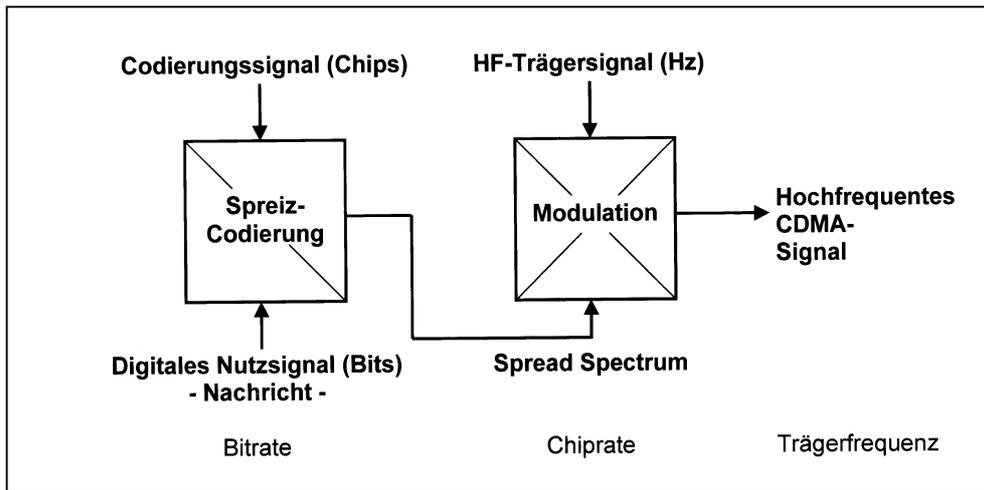
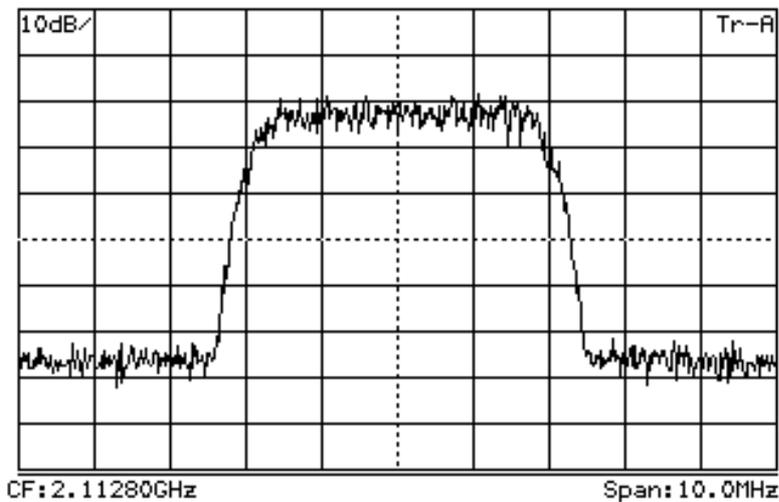


Abb. 2-4: Erzeugung eines W-CDMA-Signals



CF = Center Frequency = Mittenfrequenz der Anzeige

Span = Spanne = Breite des angezeigten Frequenzausschnitts

Abb. 2-5: Hochfrequenzspektrum eines UMTS-Signals (W-CDMA) in Form des typischen „Tafelbergs“

Der Empfänger filtert „sein“ Signal aus dem Signalgemisch verschiedener Teilnehmer, 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 oder anderen Signalen bis zu einer gewissen Grenze überdeckt ist. Je länger der verwendete Spreizcode ist, um so besser kann das Signal auch in hohen Störpegeln detektiert werden.

Dieses „Erkennen“ wird allerdings durch Mehrwegeausbreitung erschwert und dadurch, dass bei W-CDMA – im Gegensatz zu bisher üblichen Funksystemen – alle Basisstationen eines Netzbetreibers auf der gleichen Frequenz senden, bzw. – da jeder Netzbetreiber mit seiner Lizenz zwei Frequenzen zur Nutzung erworben hat – maximal auf zwei benachbarten Frequenzen. Das an einem Ort auf einer Frequenz anstehende Signal kann also aus den Beiträgen verschiedener Basisstationen bestehen, je nachdem wie stark diese dort einfallen (Abb. 2-6).

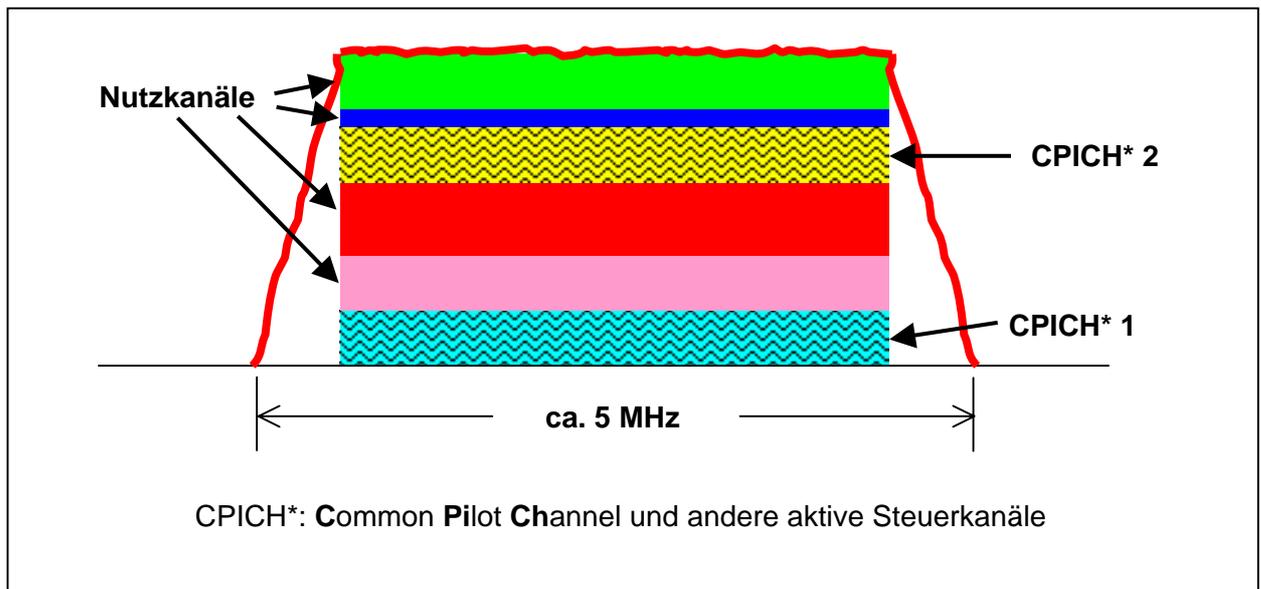


Abb. 2-6: Zusammensetzung eines UMTS-Empfangssignals, hier mit Beiträgen zweier Basisstationen

Jede Basisstation verfügt über ein Paket von vier dominanten Steuerkanälen, die benötigt werden, um eine Verbindung mit einem Mobilteil aufzubauen und die daher permanent aktiv sind, also auch dann, wenn aktuell keine Nutzsignale (Telefonate, Daten) übertragen werden:

- CPICH            Common **P**ilot **C**hannel
- P-CCPCH        Primary Common Control **P**hysical **C**hannel
- P-SCH            Primary **S**ynchronization **C**hannel
- S-SCH            Secondary **S**ynchronization **C**hannel

Außerdem sind noch einige wenige andere Steuerkanäle permanent aktiv; ihr Leistungsanteil liegt aber wesentlich niedriger als der der o.a. vier dominanten Kanäle. Die Steuerkanäle weisen eine feste Datenrate auf. Ihre gemeinsame Sendeleistung beträgt mit ca. 3 - 4 Watt immerhin etwa 15 - 20 % der Maximalleistung der Basisstation von ca. 20 W. Da der CPICH der dominierende Steuerkanal ist, wird die gesamte Gruppe der permanent aktiven Steuerkanäle auch häufig abgekürzt gemeinsam als „CPICH“ bezeichnet. Darüber hinaus gibt es weitere Steuerkanäle, die aber erst unter Nutzlast hinzu geschaltet werden. Damit verschlechtert sich die Bilanz der effektiv für Verkehrskanäle zur Verfügung stehenden Leistung weiter.

Die Leistungsanteile der Nutz- oder Verkehrskanäle (DPCH: **D**edicated **P**hysical **C**hannel) sind u.a. abhängig von der benötigten Datenrate des jeweiligen Dienstes (Übertragung von Sprache, Musik, Bildern oder Computerdaten), der Dämpfung der Übertragungsstrecke zwischen Basisstation und Mobilteil und der Anzahl Teilnehmer. In dem Maße, wie sich neue Teilnehmer an einer Basisstation an- oder abmelden bzw. sich in Relation zur Basisstation bewegen, ändert sich die Höhe des „Tafelberges“ gemäß Abbildung 2-6, indem zusätzliche Leistungs-„Schichten“ der Nutzkanäle hinzukommen oder wegfallen bzw. sich in ihrer „Dicke“ ändern. Von den ca. 20 W Sendeleistung einer Basisstation bleiben nach Abzug der 2 W für die Steuerkanäle maximal noch etwa 18 W für die Nutzkanäle.

Anders als bei GSM können bei UMTS die einzelnen Kanäle nicht auf den physikalischen Ebenen von Frequenz und Zeit unterschieden werden. Die in den Dimensionen Frequenz und Zeit physikalisch hochgradig strukturierten GSM-Systeme wickeln den Zugriff auf die Benutzerkanäle gerade in dieser Struktur ab. Daher ist der in allen acht Zeitschlitzen permanent mit voller Leistung sendende Organisationskanal einer GSM-Basisstation leicht zu identifizieren. Bei einer UMTS-Basisstation „sieht“ man dem „Tafelberg“, den die Intensitäten aller Kanäle eines Frequenzblocks gemeinsam bilden, dagegen nicht an, ob er nur Steuerkanäle enthält oder auch Verkehrskanäle und wie viele. Um dies festzustellen, muss man auf der logischen Ebene die Codes der einzelnen Kanäle analysieren. Dies ist mit einem herkömmlichen Spektrum-Analysator nicht möglich; hierfür sind spezielle Messgeräte erforderlich.

## 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**

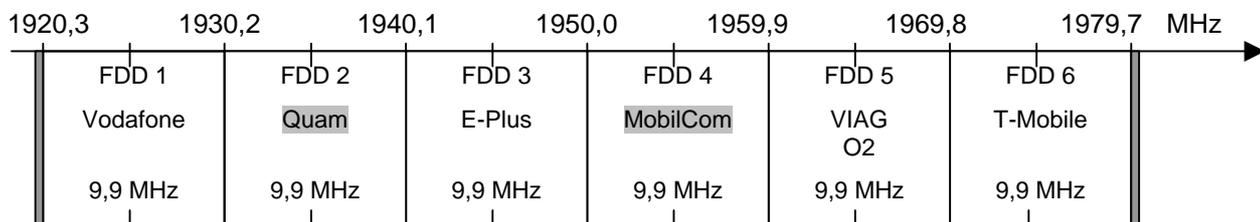
2.110,0 - 2.110,3 Schutzband

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

2.169,7 - 2.170,0 Schutzband

Die jeweils sechs gepaarten Doppel-Frequenzblöcke sind wie folgt den UMTS-Netzbetreibern zugeteilt (Abbildung 2-7):

### Uplink UMTS FDD-Frequenzblöcke



### Downlink UMTS FDD-Frequenzblöcke

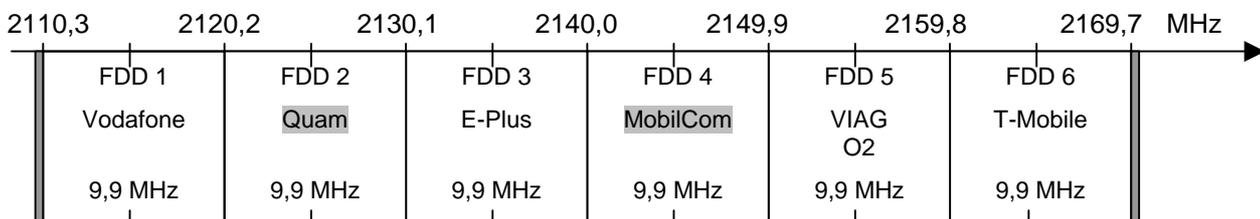


Abb. 2-7: Zuordnung der UMTS FDD-Frequenzblöcke zu den Netzbetreibern  
Grau hinterlegte Betreiber: Treten nicht an

## 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 zusätzlich mehrere Codes definiert (Codekanäle). Im Time Division Duplex teilen sich Basisstation und Mobilteil auf der gleichen Frequenz die zur Verfügung stehenden 15 Zeitschlitz eines Rahmens, wobei im Uplink und im Downlink jeweils mindestens einer der Zeitschlitz belegt wird; maximal können es 14 sein. Die Summe aus Up- und Downlink-Zeitschlitz beträgt immer 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).

## Frequenzbereiche und Betreiber für UMTS-TDD

MHz

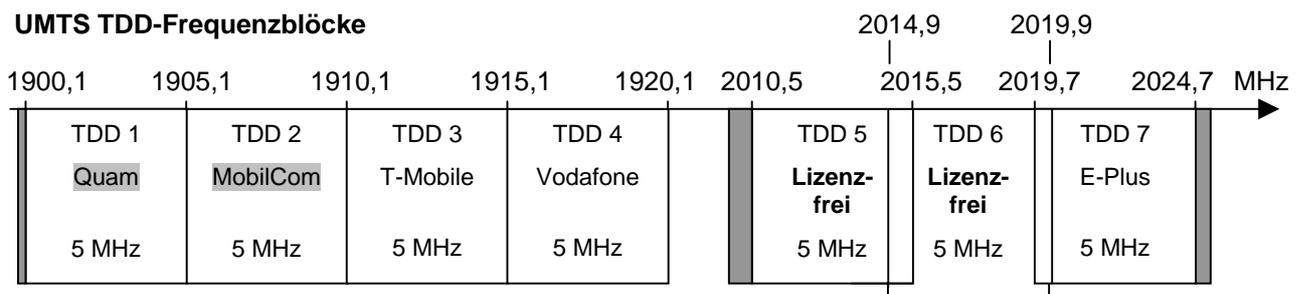
### 1.900,0-1.920,1

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 ungepaarten TDD-Frequenzblöcke sind wie folgt den UMTS-Netzbetreibern zugeteilt bzw. lizenzfrei (Abbildung 2-8):



**Abb. 2-8:** 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 Schnurlostelefonen (DECT-Nachfolger) genutzt werden.

## Messungen an UMTS-(FDD-)Basisstationen im Testbetrieb

Die folgenden Darstellungen basieren auf Messungen, die an UMTS-Basisstationen im Testbetrieb durchgeführt wurden.

Es ist nichts über den Betriebszustand der Anlagen bekannt, ob z.B. nur die Steuerkanäle aktiv waren oder ob ggf. auch – simulierter – Nutzverkehr über die Anlage abgewickelt wurde, was allerdings 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.

Trotz dieser „Unbekannten“ 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 mit Echtbetrieb zeigen.

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

## Spektrum

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 (TV UHF) sowie der GSM-Basisstationen des D- und E-Netzes zwei deutliche Peaks im UMTS-Bereich.

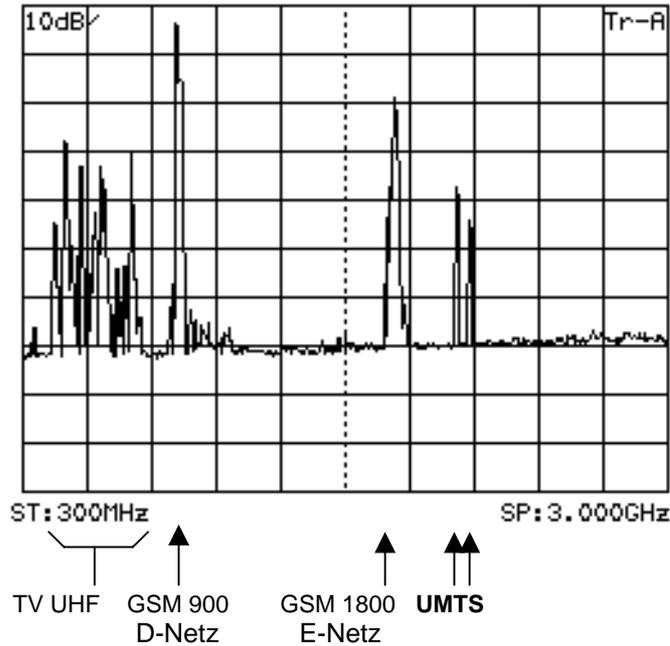


Abb. 3-1: Orientierendes Übersichtsspektrum von 300 MHz bis 3 GHz

Bei feinerer Frequenzauflösung und alleiniger Betrachtung des Frequenzbereichs der UMTS-Basisstationen (Downlink 2,110 - 2,170 GHz) ergibt sich das Spektraldiagramm gemäß Abbildung 3-2.

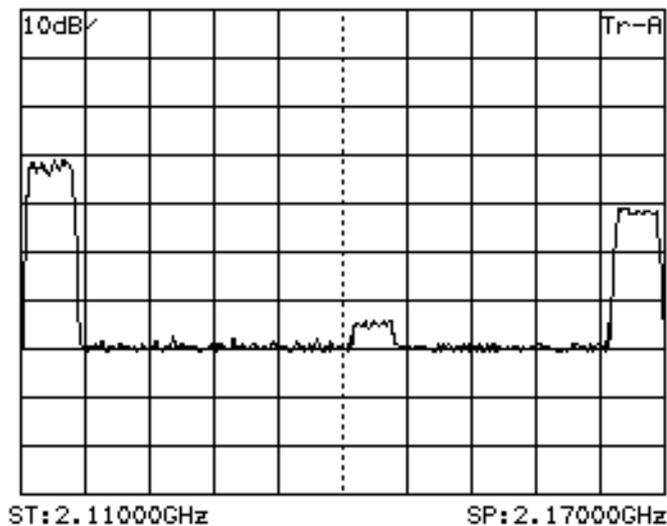
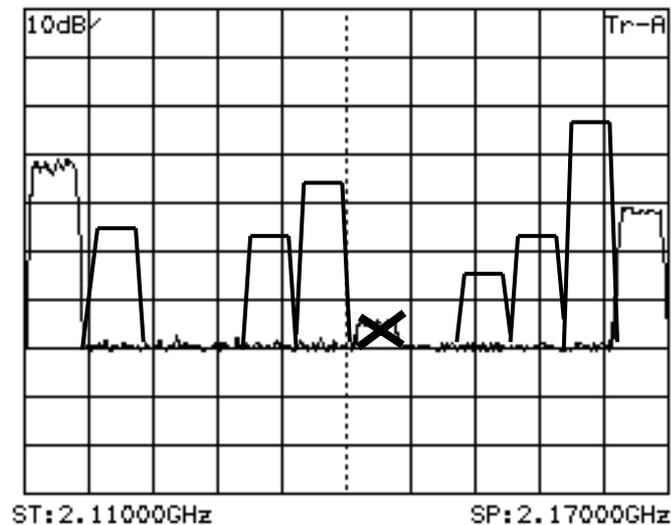


Abb. 3-2: Spektraldiagramm des UMTS-Downlink mit drei Basisstationen unterschiedlicher Intensität

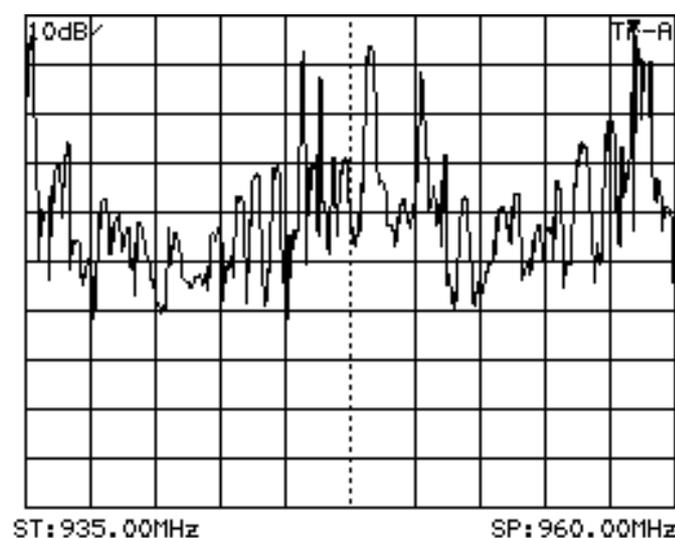
Mit deutlichen Signalen belegt sind hier der erste und der letzte Frequenzblock im gesamten UMTS-FDD-Downlink; also der erste der beiden Vodafone-Blöcke und der zweite der beiden T-Mobile-Blöcke (vgl. Frequenzzuweisung in Abb. 2-7). Ein dazu vergleichsweise schwaches Signal ist etwa in der Mitte des Spektrums im ersten Frequenzblock von MobilCom zu erkennen. Obwohl dieser Netzbetreiber nicht auf dem UMTS-Markt antritt, hatte er zum Messzeitpunkt 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)

Im Vergleich dazu zeigt Abbildung 3-4 ein Spektrum von D-Netz-Basisstationen in einem Ballungsgebiet. Jeder Peak entspricht einem gerade aktiven Basisstations-Frequenzkanal von 200 kHz Breite. Gegenüber den 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).



**Abb. 3-4:** Spektraldiagramm des GSM D-Netzes in einem Ballungsgebiet (Basisstationen)

Bei Einstellung des Spektrum-Analysators 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.

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.

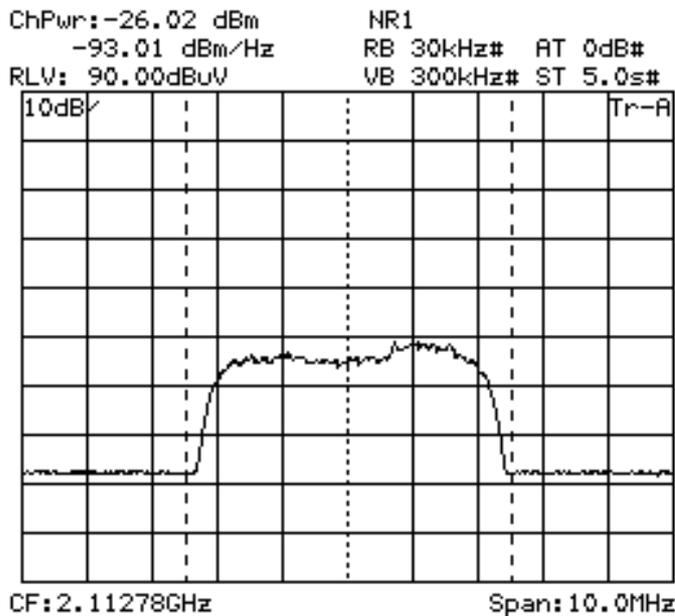


Abb. 3-5: Spektraldiagramm einer UMTS-Basisstation (Detektor: Peak); Channel Power =  $-26,02$  dBm

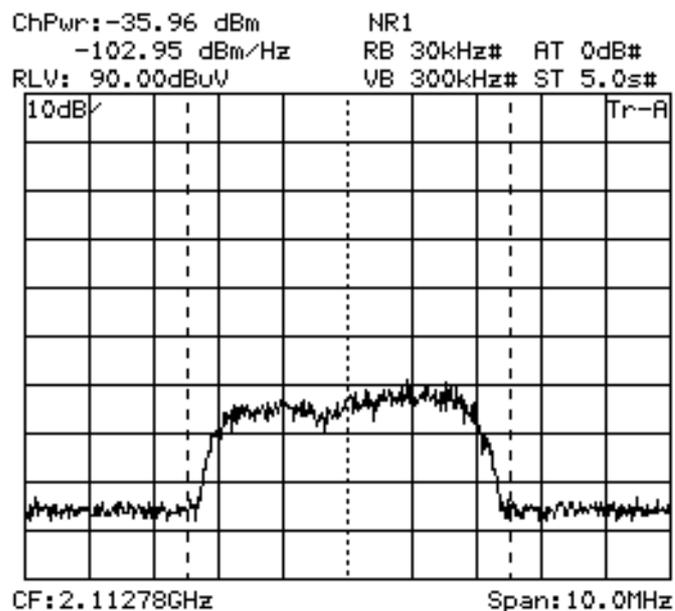


Abb. 3-6: Spektraldiagramm einer UMTS-Basisstation (Detektor: RMS); Channel Power =  $-35,96$  dBm

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.

### 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.

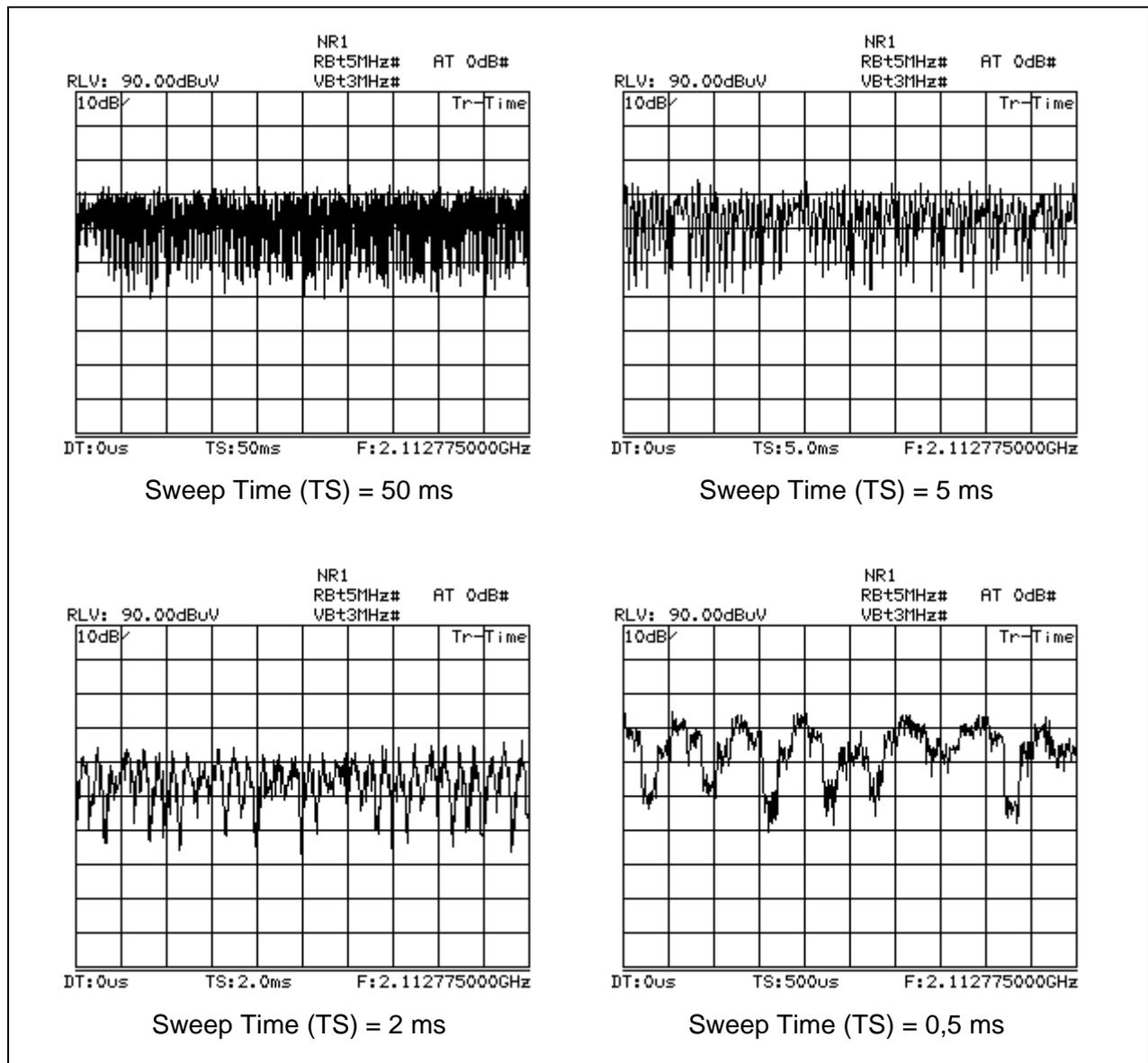


Abb. 3-7: Zeitlicher Verlauf der Hüllkurve des UMTS-Signals bei Variation der Zeitbasis (Sweep Time 50 ms - 0,5 ms), Betriebsart Zero Span

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 größeren 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 bis 0,07 ms (entsprechend einer Pulsfrequenz von ca. 15 kHz). Ob diese Periodendauer eine Systemkonstante ist, oder ggf. von der Art des übertragenen Nachrichteninhalts (Sprache, Bilder, Daten) mit seinen unterschiedlichen Datenraten abhängt, kann anhand der Messungen (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“ (d.h. oberwellenhaltiger) und leicht „pumpender“ Klang zu hören. Dem „Ohrenschein“ nach könnten als dominierende Frequenz die 100 Hz der „radio frame“-Struktur in Frage kommen. Dieser Annahme konnte bisher leider noch nicht durch entsprechende Spektrum-Analysen des AM-demodulierten W-CDMA-Signals nachgegangen werden; dies bleibt eine Aufgabe für die Zukunft. In der optischen Darstellung des zeitlichen Hüllkurvenverlaufs gemäß Abbildung 3-7 (Sweep Time = 50 ms) bleibt eine Frequenz dieser Größenordnung dem Auge verborgen. Andererseits ist die mittels Spektrumanalyse (Zero Span) ermittelte Frequenz der periodischen Pulsstruktur mit ca. 15 kHz so hoch, dass sie mit dem im Spektrum-Analysator eingebauten, recht einfachen Audio-Verstärker und Lautsprecher nicht hörbar ist.

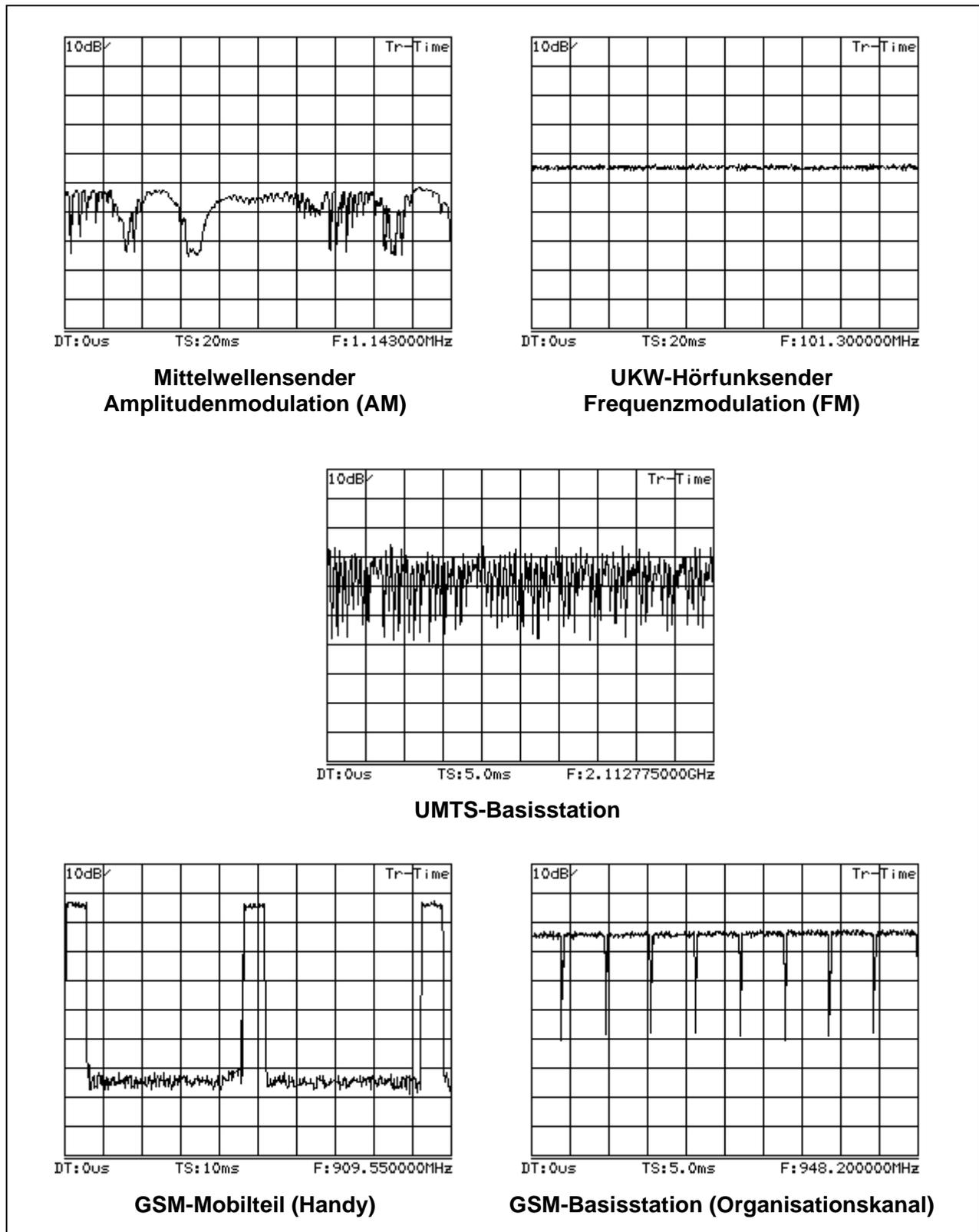
In Abbildung 3-8 ist der zeitliche Verlauf der UMTS-Hüllkurve einigen anderen, in der Telekommunikation „etablierten“ Signalen zum Vergleich gegenüber gestellt.

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

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 (Time Division Multiple Access) mit seinen Zeitschlitzen. 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, wohl insbesondere verursacht durch die mit fester Datenrate arbeitenden Steuerkanäle (CPICH etc.).



**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.

## Messungen an UMTS-Signalgeneratoren

### TNO-Studie

Das in der niederländischen TNO-Studie [2] verwendete, aus einem Signalgenerator stammende UMTS-Signal weist ebenfalls eine deutliche Pulsstruktur auf; die Periodendauer liegt hier mit ca. 0,066 ms in der gleichen Größenordnung, wie sie an der o.a. Basisstation im Testbetrieb gemessen wurde (Abbildung 4-1).

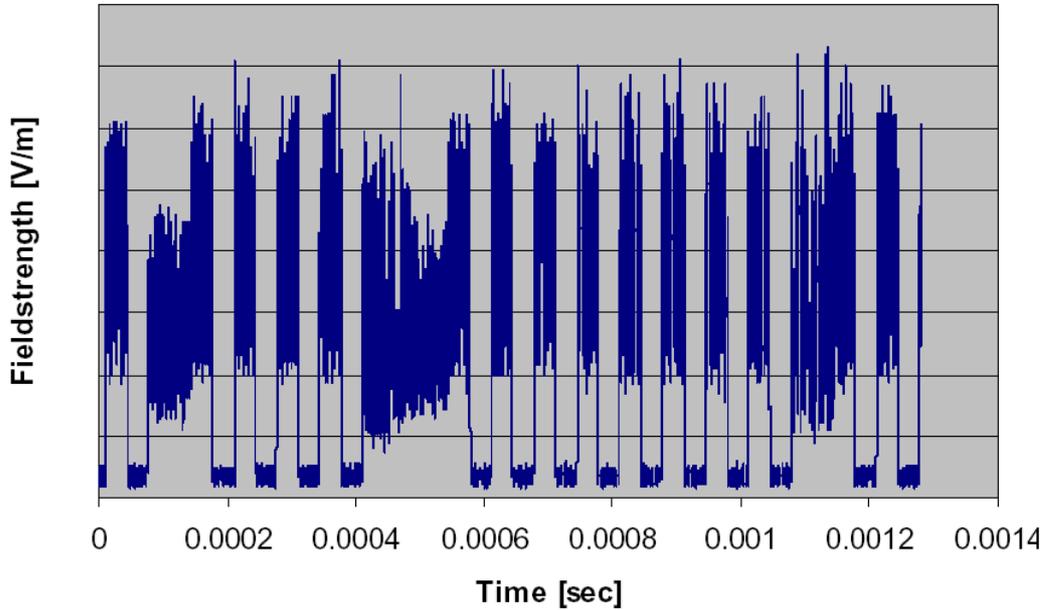


Abb. 4-1: In der niederländischen TNO-Studie verwendetes UMTS-Signal (Quelle: [2], S. 18)

Signalgenerator: Agilent E4437 B		
Aktive Kanäle	Anteil des Kanals an der Gesamtleistung	Kanal-Bezeichnung
CPICH	- 3,3 dB	Common Pilot Channel
P-CCPCH	- 5,3 dB	Primary Common Control Physical Channel
P-SCH	- 8,3 dB	Primary Synchronization Channel
S-SCH	- 8,3 dB	Secondary Synchronization Channel

Tab. 4-1: Bei der TNO-Studie verwendete UMTS-Kanaleinstellungen

Das in der TNO-Studie verwendete Signal besteht nur aus Steuerkanälen; es enthält keine Nutz-/Verkehrskanäle. Dies ist auch bei Basisstationen im Testbetrieb der Fall. Der CPICH und die übrigen permanenten Steuerkanäle sind bei diesen Signalen leistungsmäßig dominant, haben eine feste Datenrate und könnten also durchaus für die festgestellte Pulsstruktur ursächlich sein.

Hinweis: Im TNO-Bericht wird angegeben, man habe für die Definition des UMTS-Signals die Richtlinien ETSI TS 125 102 / 105 herangezogen ([2], S. 16). Diese beziehen sich jedoch auf UMTS-TDD. Bei dem Signal gemäß Abb. 4-1 handelt es sich aber nicht um ein TD-CDMA-, sondern eindeutig um ein W-CDMA-Signal.

### Eigene Messungen

Die folgenden Messungen wurden vom Autor an einem Vector-Signalgenerator Rohde & Schwarz SMU200A durchgeführt.

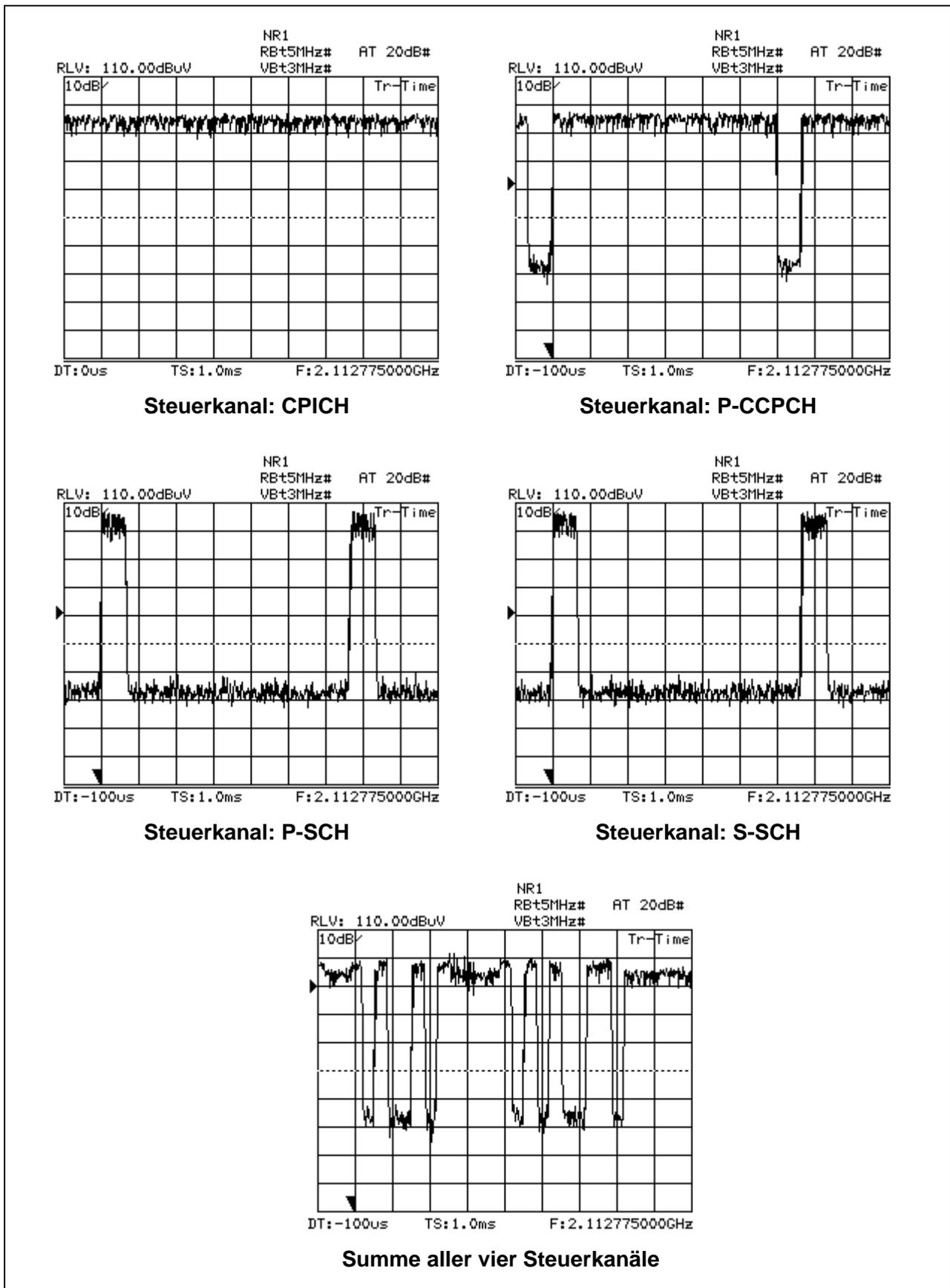


Abb. 4-2: Zeitlicher Verlauf der Hüllkurven der permanent aktiven Steuerkanäle einer UMTS-Basisstation, einzeln (nicht synchronisierte Darstellung, gleiche Pegel) und in Summe (gemäß Tabelle 4-2); Zeitbasis aller Diagramme: 1 ms

Gemessen wurden die Einzel- und Summensignale der permanent aktiven Steuerkanäle mit folgenden Einstellungen (Presets im Signalgenerator):

Signalgenerator: Rohde & Schwarz SMU200A Vector Signal Generator		
Aktive Kanäle	Anteil des Kanals an der Gesamtleistung	Kanal-Bezeichnung
CPICH	- 10 dB	Common Pilot Channel
P-CCPCH	- 10 dB	Primary Common Control Physical Channel
P-SCH	- 13 dB	Primary Synchronization Channel
S-SCH	- 13 dB	Secondary Synchronization Channel

Tab. 4-2: Bei den eigenen Messungen verwendete UMTS-Kanaleinstellungen

Die Leistungsanteile der einzelnen Steuerkanäle waren gemäß Tabelle 4-2 eingestellt. Bemerkenswert an den Zeitverläufen der einzelnen Steuerkanal-Signale gemäß Abbildung 4-2 ist die sehr unterschiedliche Zeitstruktur. Während der CPICH keine periodischen Merkmale zeigt, weisen die übrigen drei Steuerkanäle (P-CCPCH, P-SCH und S-SCH) klare periodische Pulsstrukturen auf. P-SCH und S-SCH sind in ihrem Zeitverhalten identisch; der P-CCPCH zeigt sich als zu diesen beiden invers. Als Wiederholdauer der Periodizität misst man bei allen drei Steuerkanälen 667  $\mu$ s. Dies entspricht genau der Länge eines „time slot“ des W-CDMA-Signals.

Die Pulsstrukturen der Steuerkanäle schlagen sich mit ihrer vollen Amplitude, aber einer anderen Periodizität im Summensignal aller vier Steuerkanäle nieder. Hier liegen die kleinsten Periodenlängen bei 0,06 - 0,07 ms (= 60 - 70  $\mu$ s). Sie decken sich gut mit den Werten des UMTS-Signals der TNO-Studie und der Messungen an der UMTS-Basisstation im Testbetrieb (s.o.). Hierbei handelt es sich um ein Zehntel der Dauer eines W-CDMA-„time slot“ (exakte Dauer: 66,7  $\mu$ s). Obwohl bei der TNO-Studie und bei den eigenen Messungen unterschiedliche Leistungsanteile der einzelnen Steuerkanäle eingestellt waren, ist das Ergebnis der Summensignalförmungen als gleich zu betrachten.

Schaltet man zusätzlich zu den vier Steuerkanälen einen oder mehrere Last-/Verkehrskanäle (DPCH: **D**edicated **P**hysical **C**hannel) hinzu, so verschwindet die Pulsstruktur in einem rauschähnlichen Signal (Abb. 4-3). Der DPCH selbst weist keine erkennbaren Pulsstrukturen auf.

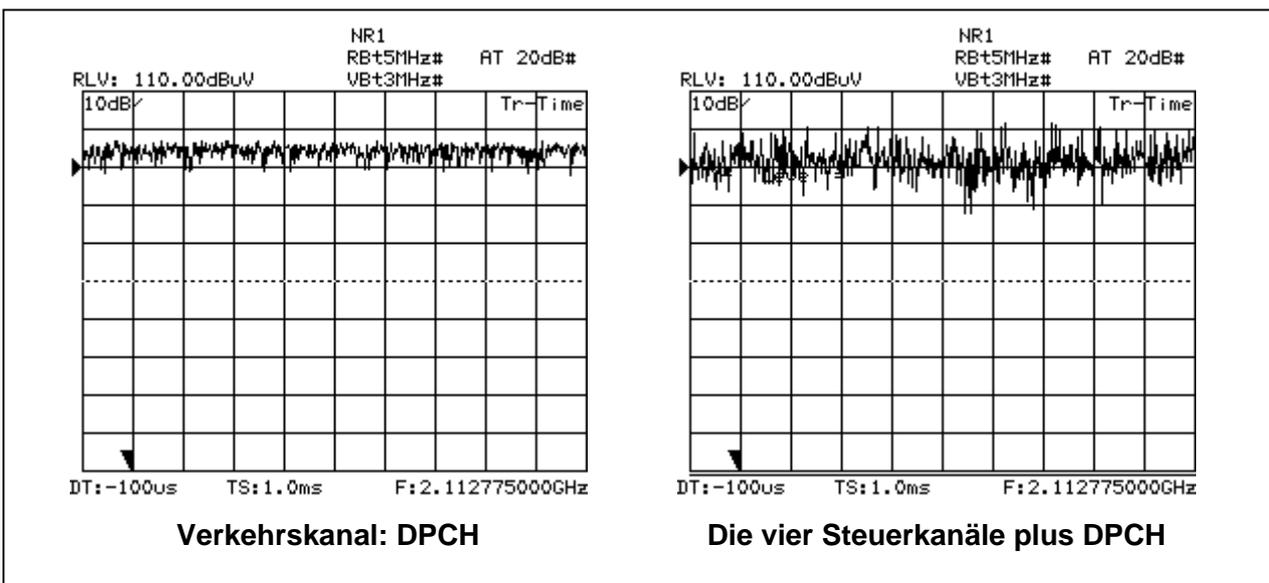


Abb. 4-3: Die vier permanent aktiven Steuerkanäle einer UMTS-Basisstation im Zusammenwirken mit Verkehrskanälen (zeitlicher Verlauf)

## Fazit

---

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

Es zeigt sich ein deutlicher Unterschied des zeitlichen Verlaufs der Hüllkurve in Abhängigkeit von der Auslastung einer UMTS-Basisstation. Ohne Last sind nur die permanenten Steuerkanäle (dominant CPICH, P-CCPCH, P-SCH, S-SCH) mit ca. 15 - 20 % der Maximalleistung der Anlage aktiv. Ihr Summsignal weist deutliche periodische Strukturen über die gesamte Amplitudenspanne des Signals auf; die minimal auftretende Periodendauer liegt in der Größenordnung von 60 - 70  $\mu$ s. Unter Last, wenn Verkehrskanäle zu den permanent aktiven Steuerkanälen hinzugeschaltet werden, verschwindet die Pulstruktur in der optischen Darstellung und weicht einem rauschähnlichen Signal.

Gerade bei Studien zu biologischen Wirkungen von UMTS-Signalen ist daher zu beachten, dass es „das“ einheitliche UMTS-Signal nicht gibt und man bei der Erzeugung solcher Signale über viele Freiheitsgrade und Einstellparameter verfügt, die zu sehr unterschiedlichen Strukturen im Zeitverlauf führen. Hier sollte man zu möglichst einheitlich definierten Signalen kommen, damit Untersuchungsergebnisse verschiedener Studien überhaupt miteinander vergleichbar sind.

Abschließend danke ich der Fa. Rohde & Schwarz für die freundliche Unterstützung der Arbeiten durch die leihweise Überlassung eines UMTS-Signalgenerators.

## Literatur

---

- [1] Biermann, N.: UMTS Antennenstandorte bei Wohnungsunternehmen – Anforderungen und Vermarktungsmöglichkeiten; ImmoCom 2001, CD-ROM zur Veranstaltung am 17.-18. September 2001, BBA – Berlin-Brandenburgische Akademie der Wohnungswirtschaft e.V., Berlin
- [2] Zwamborn, A.P.M.; Vossen, S.H.J.A.; van Leersum, B.J.A.M.; Ouwens, M.A.; Mäkel, W.N.(TNO Physics and Electronics Laboratory): Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints; TNO-report FEL-03-C148, September 2003;  
[www.ez.nl/beleid/home\\_ond/gsm/docs/TNO-FEL\\_REPORT\\_03148\\_Definitief.pdf](http://www.ez.nl/beleid/home_ond/gsm/docs/TNO-FEL_REPORT_03148_Definitief.pdf)
- [3] 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