

Strahlenbelastung durch UMTS

**Frequenz- und code-selektive Messung erfasst die Beiträge einzelner Funkzellen:
Eine Hilfe für Betreiber, Bürger und Behörden.**



Bei den heutigen Mobilfunknetzen ist die Sendeleistung der Basisstationen so gering, dass sogar in der Hauptstrahlrichtung schon in kurzer Entfernung von der Sendeantenne die zulässigen Grenzwerte für beruflich exponierte Personen nicht überschritten werden. Die Einhaltung der zivilen Personenschutzgrenzwerte im Nahbereich der Antennen kann heute durch Berechnungen zuverlässig nachgewiesen werden. Trotzdem fühlt sich ein Teil der Bevölkerung durch Mobilfunkanlagen bedroht. Vermutlich liegt dies an der Nähe und der zunehmenden Häufigkeit der Anlagen. Zwar führt gerade die Verkleinerung der Funkzellen und die entsprechend geringere Entfernung von der Antenne zu niedrigeren Immissionswerten – und nicht zuletzt zu geringeren Sendeleistungen des Handy direkt am Ohr. Doch das wird oft nicht zur Kenntnis genommen.

Selektive Messung

Um unbegründete Ängste zu vermeiden, messen deshalb Mobilfunkbetreiber, Behörden oder von ihnen beauftragte Messdienstleister die elektromagnetischen Felder in Wohngebieten oder gar in Wohnungen, und zwar selektiv, um den Einfluss der einzelnen Quellen getrennt und mit ausreichender Empfindlichkeit zu erfassen. Fast immer zeigt sich, dass die vorhandenen Immissionswerte um Größenordnungen unter den Grenzwerten für die allgemeine Bevölkerung liegen. Doch eine Simulation würde hier nicht das erhoffte Vertrauen schaffen.

Die Hochrechnung

Bei Mobilfunkbasisstationen ändert sich die Sendeleistung je nach Verkehrsaufkommen. Damit ändert sich auch die Feldstärke. Sowohl bei GSM als auch bei

UMTS gibt es jedoch pro Basisstation mindestens einen Kanal, der mit zeitlich konstanter und bekannter Leistung sendet. Bei GSM ist das der BCCH (Broadcast Control Channel), bei UMTS der P-CPICH (Primary Common Pilot Channel). Da dem Betreiber bekannt ist, um welchen Faktor die Sendeleistung dieses Referenzkanals geringer ist als die maximale Sendeleistung, kann man aus der Messung des Referenzkanals auf die Strahlungsexposition bei maximaler Sendeleistung hochrechnen.

Besonderheiten von UMTS

Ein UMTS-Frequenzkanal sendet ein Signal, das einem bandbegrenzten weißen Rauschen ähnlich ist. Die Bandbegrenzung entspricht der eines RRC-(Root Raised Cosine)-Filters. Die 3-dB-Bandbreite beträgt 3,84 MHz. Der Übergangsbereich an den beiden Flanken von voller Leistung zu gar keiner Leistung beträgt nur 22 % der 3-dB-Bandbreite. Die gesamte Sendeleistung verteilt sich nominell also auf ein Frequenzband von 4,6848 MHz.

Die 3-dB-Bandbreite von 3,84 MHz entspricht dem Wert, den die so genannte Chiprate des Systems aufweist. Durch Spreading-Techniken wird nämlich die Bitrate des Nutzsignals vervielfacht – zur Unterscheidung von der ursprünglichen Bitrate spricht man von Chiprate – und damit die Bandbreite des Signals im Frequenzbereich gespreizt.

Frequenzbereiche

In Deutschland steht für den Downlink (die Übertragungsrichtung von der UMTS-Basisstation zum UMTS-Teilnehmer) ein gesamter Frequenzbereich von 2 110,3 bis 2 169,7 MHz zur Verfügung. Er teilt sich in sechs 9,9 MHz breite Bänder, von denen zwei zur Zeit nicht vergeben sind; die vier anderen Frequenzbänder haben vier verschiedene Betreiber belegt (*Tabelle 1*). Jeder Betreiber kann also zwei UMTS-Frequenzkanäle von 4,6848 MHz in seinem Frequenzband unterbringen. Die genaue Mittenfrequenz des Kanals kann er frei wählen, er muss aber beachten, dass Nachbarkanäle nicht gestört werden und dass die Kanalfrequenz einem ganzzahligen Vielfachen von 200 kHz entspricht; in Ausnahmefällen kann auch ein Kanalraster von 100 kHz verwendet werden. In Deutschland sendet beispielsweise Vodafone auf 2 112,8 MHz und T-Mobile auf 2 167,2 MHz.

Für den Uplink gibt es korrespondierende Lizenzen, die jeweils genau um 190 MHz niedriger liegen. Außer diesen so genannten FDD-(Frequency Division Duplex)-Lizenzen gibt es generell auch TDD-(Time Division Duplex)-Lizenzen. Dort wird bei Up- und Downlink das gleiche Spektrum mit zeitlicher Trennung benutzt. Diese Technik ist gedacht für Anwendungen mit unsymmetrischer Auslastung in Up- und Downlink-Richtung, hat aber momentan noch keine praktische Bedeutung.

Betreiber	FDD Mode, Downlink
Vodafone	2 110,3 ... 2 120,2 MHz
–	2 120,2 ... 2 130,1 MHz
E-Plus	2 130,1 ... 2 140,0 MHz
–	2 140,0 ... 2 149,9 MHz
O ₂	2 149,9 ... 2 159,8 MHz
T-Mobile	2 159,8 ... 2 169,7 MHz

Tabelle 1: Frequenzbänder für UMTS FDD Downlink in Deutschland

Sektoren (Funkzellen) und Scrambling Codes

An einem FDD-Standort sind in der Regel sechs Antennen paarweise auf drei Masten angebracht. Die drei Masten bilden ein Dreieck von einigen Metern Seitenlänge. Die Abstrahlung erfolgt in drei etwa 120° breite Sektoren (Funkzellen). Pro Sektor können zwei Antennen auf unterschiedlichen Masten verwendet werden, um durch „Diversity“ bessere Empfangs- oder Sendeeigenschaften zu erreichen.

In einem UMTS-Frequenzkanal werden sowohl die Signale von verschiedenen Standorten als auch von verschiedenen Sektoren übertragen. Damit ein UMTS-Mobiltelefon die Signale der Sektoren voneinander unterscheiden kann, sind sie mit verschiedenen Codes (Scrambling Codes) verwürfelt. Jeder Sektor (jede Zelle) benutzt genau einen Scrambling Code.

In unmittelbarer Nähe eines Antennenstandorts wird man also Signale mit bis zu drei verschiedenen Scrambling Codes empfangen, die die drei Zellen des Standorts kennzeichnen. In größerer Entfernung können es deutlich mehr sein, wenn man Signale von mehreren Antennenstandorten empfängt.

Damit eine Synchronisation möglich ist und Informationen über die verwendete Codegruppe empfangen werden können, werden immer auch nicht verwürfelte Signale gesendet. Der P-SCH (Primary Synchronisation Channel) sendet immer das gleiche unverwürfelte Signal. Der S-SCH (Secondary Synchronisation Channel) sendet eine unverwürfelte Sequenz, aus welcher der Rahmenbeginn und die verwendete Codegruppe bestimmt werden können. Beide Synchronisationskanäle werden in 256 Chip langen Pulsen gleichzeitig gesendet. Dann folgt eine Pause von 2304 Chips. Zusammen ergibt das die Länge eines Zeitschlitzes (Slot) mit 2560 Chips. Ein Rahmen (Radio Frame) besteht aus 15 Slots und dauert damit genau 10 ms.

Das verwürfelte Signal besteht aus bis zu 512 verschiedenen Kanälen. Sie unterscheiden sich untereinander durch die Channelisation Codes, die zugleich die Spreizung (Spreading) der Bandbreite bewirken. Der für die Messung interessierende P-CPICH (Primary Common Pilot Channel) ist einer dieser Kanäle. Er sendet immer das gleiche Symbol und ist leicht zu decodieren, sobald die Synchronisation und die Entwürfelung gelungen sind.

P-CPICH-Demodulation in einem tragbaren Messgerät

Bei GSM kann die Leistung des BCCH mit einem frequenzselektiven Empfänger oder Spektrumanalysator getrennt von der Leistung der Verkehrskanäle gemessen werden. Da sich bei UMTS mit seinem CDMA-(Code Domain Multiplex Access)-

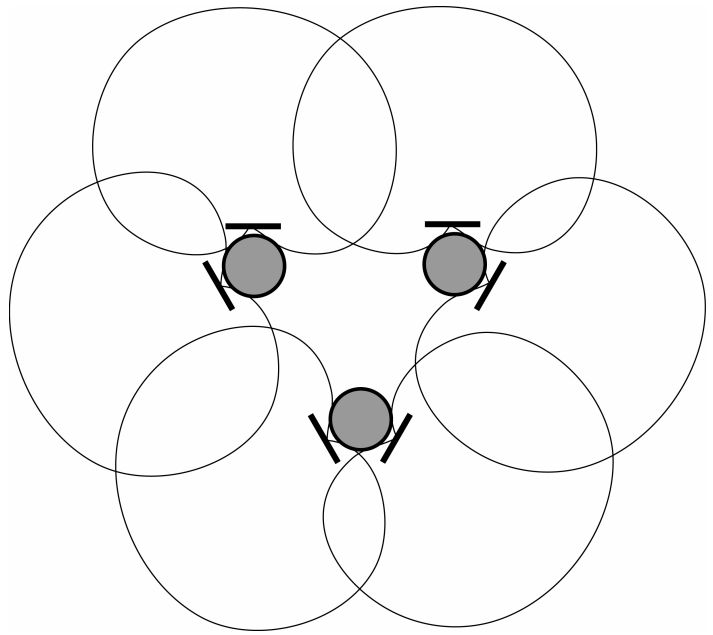


Bild 1: Typische Anordnung von UMTS-Antennen

Verfahren der P-CPICH und alle anderen Kanäle denselben Frequenzkanal teilen, lassen sie sich nur auf der Code-Ebene unterscheiden. Ein Messgerät, das die Strahlung einer einzelnen UMTS-Funkzelle bestimmen soll, muss also den UMTS-Frequenzkanal selektieren und zusätzlich den im Signal enthaltenen P-CPICH decodieren. Die Realisierung dieser Funktion im in einem tragbaren Messgerät soll hier näher beschrieben werden.

Zur Vorselektion im Frequenzbereich benutzt das Gerät einen analogen Überlagerungsempfänger. Die letzte ZF liegt bei 36 MHz; das ZF-Filter hat eine Bandbreite von mehr als 6,4 MHz – breit genug, um einen UMTS-Frequenzkanal vollständig zu erfassen. Ein 12-Bit-ADC wandelt das ZF-Signal mit einer Abtastrate von 48 MHz. Theoretisch könnte man diese Daten schon speichern und mit ihnen die Demodulation durchführen. Die Hardware-Struktur des Geräts bietet aber die Möglichkeit einer digitalen Nullumsetzung mit frei programmierbaren Filtern. Deshalb wird die Nullumsetzung mit dem UMTS-Kanalfilter (dem gleichen RRC-Filter wie im Sendepfad) noch von der digitalen Hardware in Echtzeit realisiert. Die Abtastrate der komplexen Ausgangswerte beträgt die doppelte Chiprate, entspricht also einer Frequenz von 7,68 MHz. Von diesen Abtastwerten wird jeweils etwas mehr als ein Rahmen (Radio Frame) in einem internen Transientenrecorder gespeichert. Der Microcontroller des SRM-3000 liest den Speicher aus und führt den Rest der Demodulation durch. Hier zählt es sich aus, dass der verwendete Microcontroller eine hochleistungsfähige Fließkomma-Recheneinheit besitzt.

Ermittlung der Scrambling Codes durch Korrelation

Zunächst werden die Abtastwerte auf die vierfache Chiprate interpoliert, damit in den nachfolgenden Schritten nennenswerte Pegelfehler durch zeitlichen Versatz ausgeschlossen werden können. Damit die genaue Lage der P-SCH-Impulse ermittelt werden kann, wird eine Korrelation der Aufnahme mit der bekannten Sendesequenz durchgeführt. Lokale Maxima in der Korrelationsfunktion geben mögliche Zeitpunkte an. Je höher das Maximum, desto wahrscheinlicher ist das Vorhandensein eines P-SCH zu diesem Zeitpunkt. Es werden bis zu zwölf dieser lokalen Maxima weiterverfolgt. Jedes dieser Maxima könnte von einem eigenen Sender herrühren; es könnte sich aber auch um Mehrwegeempfang ein und desselben Senders handeln. Für jedes verfolgte lokale Maximum muss nun die Codegruppe und die Position des ersten Slots im Rahmen ermittelt werden. Es werden alle Möglichkeiten durchgespielt, und von denen, die am besten passen, werden bis zu drei Varianten weiterverfolgt. Denn es kann vorkommen, dass sich die Synchronisationsmuster mehrerer Sender zeitlich decken. Für jede weiterverfolgte Codegruppen- und Positionsvariante bleiben noch acht mögliche primäre Scrambling Codes zur Auswahl. Es werden jeweils alle acht Möglichkeiten durchlaufen und die Leistung des jeweiligen P-CPICH bestimmt. Unter Umständen werden nicht einer, sondern zwei P-CPICH aus einer Codegruppen- und Positionsvariante ausgewählt. Auch hier liegt der Grund darin, dass sich die Synchronisationsmuster mehrerer Sender zeitlich decken können. In jeder Verarbeitungsstufe sind allerdings Mechanismen eingebaut, die verhindern, dass das Gerät aussichtslose Pfade weiterverfolgt oder irrtümlich P-CPICH erkennt, die gar nicht vorhanden sind.

Der verwendete Algorithmus ist also in der Lage, alle Reflexionen eines Senders getrennt zu erfassen, wenn sie mehr als eine Chipbreite auseinander liegen. Wird der gleiche Pilotkanal mehrmals gefunden, werden alle Teilleistungen zu einer Gesamt-

leistung dieses Kanals addiert. Liegen Reflexionen näher beieinander, ist eine Trennung weder möglich noch nötig. In diesem Fall wird schon systembedingt die Gesamtleistung der zeitlich nicht trennbaren Reflexionen gebildet. Auch zwei sich in ihrer Zeitstruktur zufällig deckende Sender können voneinander unterschieden und detektiert werden. Dieser „Luxus“ kostet natürlich Rechenzeit. Damit auch möglichst schnelle Messungen möglich sind, kann man umschalten zwischen zwei Parametersätzen, die den Algorithmus steuern. In der Stellung „Fast“ detektiert das Gerät zuverlässig Pilotkanäle, deren Leistung bis zu 10 dB unterhalb der Gesamtleistung im Frequenzkanal liegt. In der Stellung „Sensitive“ detektiert das Gerät zuverlässig auch Pilotkanäle mit Leistungen bis zu 15 dB unterhalb der Gesamtleistung im Frequenzkanal.

AFC für hohe Messgenauigkeit

Die Frequenzgenauigkeit des SRM-3000 berechnet sich aus drei Teilmessunsicherheiten – Justageabweichung, Temperaturgang und Alterung – zu insgesamt 2,6 ppm. Bei der höchsten UMTS-Downlink-Frequenz von 2170 MHz entspricht das einem maximalen Frequenzversatz von 5,6 kHz. Der oben beschriebene Demodulationsalgorithmus funktioniert bis zu einem Frequenzversatz von etwas mehr als 6 kHz noch zuverlässig. Allerdings ist bei größer werdendem Frequenzversatz die ermittelte Leistung kleiner als die tatsächliche. Der Unterschied könnte deutlich mehr als 1 dB betragen. Um diese Fehlerquelle zu vermeiden, wird der Frequenzversatz aus dem Phasenverlauf des stärksten P-CPICH ermittelt. Das SRM-3000 korrigiert die Abstimmfrequenz beim nächsten Durchlauf entsprechend. Durch diese automatische Frequenzkorrektur (AFC) wird das SRM-3000 an die Sendefrequenz der stärksten Basisstation (weniger als 0,1 ppm Abweichung von der Nominalfrequenz sind im UMTS-System für die Basisstationen vorgeschrieben) auf einige Hertz genau angebunden. Das reduziert die durch Frequenzversatz möglichen Pegelfehler auf vernachlässigbare Werte. Voraussetzung für die AFC ist allerdings die schon sehr gute Frequenzgenauigkeit des SRM selbst. Andernfalls wäre eine P-CPICH-Demodulation unter Umständen erst gar nicht möglich, und in Folge könnte dann auch der Frequenzversatz nicht ermittelt werden.

Bedienoberfläche

UMTS P-CPICH Demodulation ist eine eigenständige Betriebsart, welche als Firmware-Option für das SRM-3000 erhältlich ist. Wird ein entsprechender Freischaltcode in das Gerät eingegeben, steht die zusätzliche Funktionalität zur Verfügung.

Das SRM-3000 listet alle gefundenen Pilotkanäle auf. Die Nummer des verwendeten Scrambling



Battery:  Ant.: PCD 8250					Fcent
Mode: UMTS P-CPICH Dem. Cbl.: CFG-WA12					
Meas. Range: 100 % Std.: ICNIRP GP					
Index	Scr. Code	Value	Max. Value	Cell Name	Table Reset
1	132	< 0.000 000 1 %	0.000 000 5 %	Pfullingen Ost1	
2	223	7.8 %	8.56 %	Pfullingen Ost3	
3	353	0.12 %	0.323 %	Eringen Mitte1	
Total					Max. Reset
Analog		7.92 %	8.61 %		
		41.56 %	57.23 %		Meas. Range
Result Type					Result Type
Fcent: 2.167 2 GHz					
T-Mobile UMTS No. of Runs: 11 234					
Result: AVERAGE AVG: 64 					

Bild 2: Bedienoberfläche mit Tabellendarstellung

Code, die aktuelle Leistung, die maximale Leistung und der Name des Sektors (Cell Name) werden in getrennten Spalten dargestellt. Der „Cell Name“ ist ein String, der in auswahl- und editierbaren Listen einem Scrambling Code zugeordnet ist. Arbeitet man mit regional spezifischen Listen, kann man leicht die gefundenen Scrambling Codes einem bestimmten Sektor (einer Funkzelle) im Klartext zuordnen. Diese „Cell Name Tables“ können vom Benutzer selbst auf dem PC über die kostenlos mitgelieferte Konfigurations-Software erstellt und auf das Messgerät geladen werden.

Die Summenleistung aller gefundenen Pilotkanäle zeigt das SRM-3000 in der Zeile „Total“, die Gesamtleistung im Frequenzkanal in der Zeile „Analog“.

Alle Messwerte können in den verschiedenen Einheiten dargestellt werden. Insbesondere sind bei Messungen über Antennen die verschiedenen Feldstärke- und Leistungsdichteinheiten sowie eine Bewertung nach Personenschutznormen verfügbar. Die Antennenfaktoren werden bei Narda-Antennen automatisch aus einem EEPROM gelesen. Antennen von Fremdherstellern können über auswahl- und editierbare Kalibriertabellen ebenfalls relativ bequem verwendet werden.

Die Kanalfrequenz wird als F_{CENT} eingegeben. Auch die Eingabe der Kanalnummer ist möglich. Ist die genaue Kanalfrequenz noch nicht bekannt, kann sie einfach in der Betriebsart Spektrumanalyse ermittelt werden. Man verwendet dazu ein F_{SPAN} von 5 MHz und eine RBW von 2 kHz und wählt F_{CENT} grob vor. Dann verstellt man F_{CENT} so lange in 100-kHz-Schritten, bis das Spektrum zentriert auf dem Bildschirm erscheint. Die so gefundene F_{CENT} ist die Kanalfrequenz des untersuchten UMTS-Kanals.

Mit dem Softkey „Table Reset“ kann die dargestellte Tabelle zurückgesetzt werden. Nach dem Rücksetzen werden bei jedem Messdurchlauf die gerade gefundenen Pilotkanäle in die Liste eingetragen. Einmal gefundene Pilotkanäle bleiben erhalten, auch wenn sie im aktuellen Durchlauf gar nicht vorhanden sind. Für ihre Leistung wird für diesen Durchlauf dann der Wert Null unterstellt. Der ehemals aufgetretene Maximalwert bleibt jedoch gespeichert und wird weiterhin dargestellt. Die Liste kann anwachsen, bis 16 Pilotkanäle gefunden worden sind; ab dann werden keine neuen Pilotkanäle mehr angenommen.

Soll eine neue Maximalwertsuche gestartet werden, kann die Anzeige der Maximalwerte mit dem Softkey „Max. Reset“ zurückgesetzt werden. Die Messbereichseinstellung des Geräts ist über den Softkey „Meas. Range“ jederzeit zugänglich. Eine Leistungsmittelung lässt sich über den Softkey „Result Type“ zuschalten.

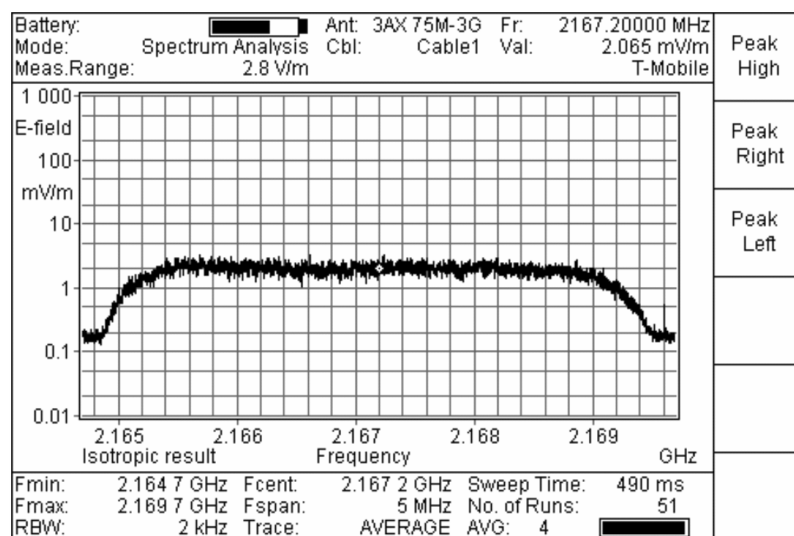


Bild 3: Typisches Spektrum eines UMTS-Kanals

Handhabung

Das SRM-3000 mit aufgesteckter isotroper Antenne wiegt nur etwa 2,3 kg, und seine Abmessungen sind so gestaltet, dass Messungen mit dem Gerät in der Hand bequem möglich sind. Ein spezieller Umhängegurt mit vier Befestigungspunkten am Gerät ermöglicht sogar die Bedienung mit nur einer Hand. Isotrope Messungen oder die UMTS-P-CPICH-Demodulation erledigt das Gerät ohne externe Hardware.



LITERATUR

- [1] Schweizer Bundesamt für Umwelt Wald und Landwirtschaft (BUWAL): „Mobilfunk-Basisstationen (UMTS - FDD), Messempfehlung“, Bern, Entwurf vom 17.09.2003
www.umwelt-schweiz.ch/buwal/de/fachgebiete/fg_nis/vorschriften
- [2] Die Normen des 3 GPP (Third Generation Partnership Projekt),
www.3gpp.org/ftp/Specs
- [3] R. Krüger, H. Mellein: „UMTS: Einführung und Messtechnik“, Franzis' Verlag, Poing 2003
- [4] M. Wuschek: „Feldstärkemessung in der Umgebung von UMTS Mobilfunk-basisstationen“
HF-Report 3/2004, Seite 28-33, Baltz Verlag, München
- [5] S. Schaufelberger et al.: „Strahlenspürnase mit Richtungssinn“
Elektronik 22/2004, Seite 74-79, WEKA Fachzeitschriften-Verlag, Poing
- [6] F. Placidet: „Frequenzselektives Handmessgerät für elektromagnetische Strahlung“
HF-Report 2/2004, Seite 28-32, Baltz Verlag, München
- [7] F. Placidet, B. Braach: „Frequenzselektiv und richtungsunabhängig – Ein neues Handgerät misst, bewertet und dokumentiert elektromagnetische Felder von UKW bis UMTS direkt vor Ort“,
Sicherheit + Management 8/2004, Seite 101f, GIT Verlag, Darmstadt

Die Autoren:

Dipl.-Ing. Helmut Keller ist Entwicklungsingenieur bei Narda Safety Test Solutions GmbH in Pfullingen.

Dipl.-Ing. Burkhard Braach ist freier Fachjournalist in Reutlingen.

April 2006

Änderungen vorbehalten

© Narda Safety Test Solutions GmbH

Sandwiesenstr. 7

72793 Pfullingen

Deutschland

Tel. +49 7121 9732-777

Fax +49 7121 9732-790

E-mail support@narda-sts.de

www.narda-sts.de