

EDGE – Eine neue Variante des GSM-Mobilfunks

Besonderheiten der Signalcharakteristik bei EDGE

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, www.baubiologie.net

Veröffentlicht in: Tagungsband der 6. EMV-Tagung „Energieversorgung & Mobilfunk“ des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V. am 23.-24.03.2007 in Fürth; www.baubiologie.net

Einleitung

Mobiltelefonieren ist mittlerweile zur alltäglichen Selbstverständlichkeit geworden. Statistisch gesehen verfügt heute jeder Deutsche – vom Baby bis zum Greis – über mindestens ein Mobiltelefon („Handy“). Dabei ist in weiten Teilen der Bevölkerung überraschend wenig Wissen über die technischen Zusammenhänge des Mobilfunks vorhanden. Zwar sind Abkürzungen wie „GSM¹“ und „UMTS²“ vielfach nicht ganz unbekannt, aber das Kürzel „EDGE³“ hatte in der Vergangenheit kaum größeren Bekanntheitsgrad.

Dies änderte sich im Herbst des Jahres 2006, als **EDGE** plötzlich in die Schlagzeilen geriet (siehe Abb. 1-1). Im bayerischen Passionsspielort Oberammergau hatten sich ab August Beschwerden über plötzlich aufgetretene gesundheitliche Symptome – wie extreme Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Herzrasen, Bluthochdruck und viele weitere – rapide gemehrt.

Der in Oberammergau ansässige Dipl.-Ing. (FH) Werner Funk registrierte anhand akustischer Analyse mit einem Breitbandempfänger⁴ an der Mobilfunk-Basisstation von T-Mobile: „... konnte eine zusätzliche WLAN⁵-ähnliche Modulationsfrequenz von ca. 10 Hz festgestellt werden. Die Vermutung, dass der neue ‚Handy-Komfort‘ GPRS-EDGE (schnellere Datenübertragung / Internetzugang durch Bündelung von bis zu 8 Verkehrskanälen) in Betrieb gegangen ist, bestätigte eine Nachfrage beim T-Mobile Kundenservice.“ Gleichzeitig konstatierte er nach eigenen Messungen: „Gegenüber bereits früher durchgeführten Messungen wurde keine Erhöhung der Strahlungsflussdichte festgestellt“. ([1], hier dokumentiert in Anhang 1: Brief W. Funk vom 15.11.2006).

Die plötzlich aufgetretenen Beschwerden wurden somit in Zusammenhang gebracht mit der neuen GSM-Variante EDGE, die der Netzbetreiber T-Mobile gerade in Bayern einführte. Seither steht die Aufrüstung der GSM-Basisstationen auf EDGE im Verdacht, die Ursache für die gesundheitlichen Beschwerden in der Bevölkerung zu sein, und von betroffener Seite wird dementsprechend der Stopp des EDGE-Ausbaus gefordert bzw. der Rückbau.

Die bekannteste und unumstrittene biologische Wirkung von Hochfrequenzfeldern ist die Wärmewirkung, wie sie z.B. im Mikrowellenherd genutzt wird. Entscheidend für diese thermische Wirkung ist die Stärke der Felder.

¹ GSM: Global System for Mobile Communications

² UMTS: Universal Mobile Telecommunications System

³ EDGE: Enhanced Data Rates for GSM Evolution

⁴ Breitbandempfänger: Empfänger, der nicht auf einen bestimmten Sender abgestimmt wird, sondern ein breites Band von Frequenzen empfängt und mittels Amplituden-Demodulator und Lautsprecher die Einhüllende des HF-Signals hörbar macht. Signale mit Frequenzmodulation (FM) können hiermit nicht hörbar gemacht werden.

⁵ WLAN: Wireless Local Area Network, drahtloses Computernetzwerk, das meist für den Internetzugang benutzt wird.

Entsprechende Grenzwerte, die Schutz vor Gesundheitsschäden durch Wärmeeffekte bieten, sind in Deutschland in der 26. BImSchV (Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes [2]) festgelegt. International gelten meist die Referenzwerte der ICNIRP (Internationale Strahlenschutzkommission), die identisch mit denen der 26. BImSchV sind.

Zusätzlich zu den unumstrittenen thermischen Wirkungen der Hochfrequenz bei größeren Feldstärken bzw. Leistungsflussdichten (= Strahlungsdichten) wird seit Einführung der neuen digitalen Funkdienste, die Signale mit Pulscharakteristik verwenden – wie GSM-Mobilfunk, DECT-Schnurlostelefone und WLAN – immer häufiger über vielfältige nicht-thermische Wirkungen berichtet, die bei wesentlich niedrigeren Feldstärken auftreten, als sie in der 26. BImSchV festgelegt sind. Etliche Untersuchungen stellen fest, dass periodisch gepulste Strahlung gegenüber ungepulster ein besonderes biologisches Risiko darstellt, da hier bereits bei vergleichsweise niedrigen Feldstärken biologische Effekte auftreten, die bei ungepulster Strahlung nicht beobachtet werden. Dies gilt insbesondere für niedrige Pulsfrequenzen von wenigen Hertz bis einigen hundert Hertz.

Zur vertieften Betrachtung der Signalcharakteristiken verschiedener digitaler Funkdienste und zum Thema „Pulsung“ sei hier auf [3] verwiesen.

Mobilfunkgegner erstatten Anzeige: „Das Risiko ist zu groß“

Vorwurf: Gesundheitsschäden durch Strahlung von Sendemasten

VON BIRGIT M. PÖSSINGER

Oberammergau - Der Mobilfunk-Konflikt spitzt sich zu: Zwölf Bürger haben jetzt bei der Polizei Strafanzeige wegen Körperverletzung erstattet. Diese soll von den Mobilfunksendern auf dem „Kleinen Theater“ und dem „Ammergauer Hof“ ausgehen. Die Anzeige läuft vorerst gegen Unbekannt: Denn Polizeioberkommissar Karl Unhoch konnte sich nicht vorstellen, dass die Mobilfunkbetreiber diese Verantwortung einfach auf den Grundstücks- oder Hauseigentümer abwälzen können.

Die Anzeige und der örtliche Sachverhalt samt ärztlicher Atteste werden nun die Staatsanwaltschaft zu prüfen haben. Wie es von deren Seite hieß, seien zur besseren Wirksamkeit der Aktion aber wohl mindestens 50 Anschuldigungen nötig. Eine der Anzeigenerstatterinnen, Dr. Cornelia Waldmann-Selsam vom „Ärztlichen Qualitätszirkel“ in Franken, hat an der jüngsten Murnauer Ärzte-Tagung zum Thema „Mobilfunk“ als Co-Referentin teilgenommen. Sie hatte ihren Aufenthalt im Oberland verlängert, um sich ein Bild vor Ort zu

machen: „Ich wurde auf der Tagung von vielen Betroffenen angesprochen, die nicht mehr weiter wissen“.

Die Installation der neuen GPRS-EDGE-Technik auf den Mobilfunkantennen des größten deutschen Handybetreibers (wir berichteten) scheint laut Waldmann bei elektro-sensiblen Menschen vorhandene Symptome zu verstärken. Andere würden zum ersten Mal gesundheitliche Probleme bemerken die sie auf die Technik zurückführen. Waldmann sei darüber informiert worden, dass es eine „Häufung von Krankheiten und Todesfällen“ rund um die Sender gebe: „Speziell auch bei dem auf dem ‚Kleinen Theater‘“. Ihren Worten nach schlafen Menschen seit der Installation im August zeitweise im Wald, wo die Symptome nachlassen würden.

Flucht in den Wald

Zu den Antragstellern gehört auch der evangelische Geistliche Carsten Häublein, in dessen Pfarrhaus eine hohe Strahlung gemessen wurde. Seit einem Jahr, aber besonders seit Ende August, hat er eigenen Angaben nach so starke Beschwerden, dass er einem geregelten Leben



Erstatteten jetzt Anzeige: Die Mobilfunk-Gegner Manfred Müller, Suzanne Sohmer, Helga Müller, Dr. Cornelia Waldmann-Selsam, Werner Funk (v.li.) Bis auf Waldmann-Selsam sind sie alle Mitglieder der Bürgerinitiative „Strahlenfreier Ammergau“ Foto: bmp

kaum noch nachgehen kann.

Einer, der Anzeige erstattet, namentlich aber nicht genannt werden will, hat seine Frau verloren: „Seit 1999 hat sie gemerkt, dass etwas nicht stimmt“. Kopfschmerzen und Herzrasen seien erste Symptome gewesen. „Inzwischen ist sie an einem Primärtumor gestorben, den man nicht gefunden hat. Wir lebten und arbeiteten 24 Stunden im Bereich des Senders am ‚Kleinen Theater‘“.

Josef Fux stellt wiederum Strafantrag, weil er genug hat „von der Frechheit der Mobilfunkbetreiber, die bau-

en, ohne vorher zu fragen“. Er ist selbst nicht krank, aber er sorgt sich um seine Kinder. Ihm ist „das Risiko zu groß“.

Eine Mutter beteiligt sich im Namen ihres Sohnes (8) am Ermittlungsverfahren. Sein Verhalten sei in der Dorfstraße auffällig, in anderer Umgebung „wie ausgewechselt“. Dazu Waldmann-Selsam: „Wenn das Herz rast und der Blutdruck steigt, ist eine akute Gesundheitsgefährdung gegeben. Wenn ich dies als Arzt sehe, muss ich eingreifen“. Sie fordert: Die Behörden müssen einschreiten.

Abb. 1-1: Pressebeispiel zu EDGE in Oberammergau [4]

Die Fragen, ob ein Funkdienst periodisch gepulste Signale aussendet oder nicht und wie die Charakteristik der Pulsung gestaltet ist, können daher für die Einschätzung des damit verbundenen biologischen bzw. gesundheitlichen Risikos von Bedeutung sein.

Im folgenden soll daher untersucht werden, in wie weit die GSM-Variante EDGE in ihrer Signalcharakteristik vom „klassischen“ GSM abweicht.

GSM, die 2. Generation des Mobilfunks

Grundprinzip des „klassischen“ GSM

Nach der Ablösung der analogen Mobilfunksysteme der 1. Generation (A-, B-, C-Netz), die zunächst als exklusives „Autotelefon“ im wesentlichen der geschäftlichen Nutzung vorbehalten waren, hat der digitale GSM-Mobilfunk als System der 2. Generation nahezu weltweit allgemeine Verbreitung gefunden.

Mittlerweile ist auch UMTS als Mobilfunksystem der 3. Generation in Betrieb. Zwischen GSM und UMTS gibt es als Übergangsschritte (unter Generation 2.5G oder 2+G zusammengefasst) verschiedene technische Standards, die anschließend im Kapitel „Übergangsgeneration 2.5G bzw. 2+G von GSM zu UMTS“ näher betrachtet werden.

Bei GSM-Funkdiensten arbeiten Mobilteile („Handys“) und Basisstationen mit einer systembedingt periodisch gepulsten Strahlung, da das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum nicht nur – wie in der Funktechnik allgemein üblich – in Frequenzkanäle aufgeteilt wird, sondern zusätzlich jeder Frequenzkanal noch in acht so genannte Zeitschlitz unterteilt wird. Dies bedeutet, dass einem Benutzer auf „seiner“ Frequenz nicht die gesamte Zeit zur Verfügung steht – wie dies bei den vorausgegangenen, analogen Techniken der Fall war –, sondern die Zeit „häppchenweise“ auf mehrere Benutzer verteilt wird. Die Aufteilung des Frequenzspektrums in Frequenzkanäle wird als FDMA (*Frequency Division Multiple Access* = Frequenzmultiplex) bezeichnet, die zusätzliche Aufteilung in Zeitschlitz als TDMA (*Time Division Multiple Access* = Zeitmultiplex). Durch diese Kombination von FDMA mit dem Zeitschlitzverfahren TDMA wird die spektrale Effizienz gesteigert, d.h. es können in einem begrenzten Frequenzbereich mehr Benutzer als bei reinem FDMA-Betrieb untergebracht werden, was bei der Vielzahl von Teilnehmern im Mobilfunk besonders wichtig ist. FDMA bzw. TDMA werden allgemein als Zugriffsverfahren bezeichnet, da sie die Art des Benutzerzugriffs auf einen Verkehrskanal⁶ für Nutzdaten beschreiben. Ein Verkehrskanal wird bei GSM also durch die Kombination von Frequenzkanal und Zeitschlitz definiert.

Acht Zeitschlitz bilden jeweils einen sogenannten GSM-Rahmen (TDMA-Rahmen). D.h. jeder achte Zeitschlitz steht dem gleichen Benutzer zur Verfügung; die sieben Zeitschlitz dazwischen werden anderen Benutzern zugeteilt. Die Länge eines GSM-Rahmens beträgt 4,615 ms (Millisekunden); hieraus resultiert die Pulsfrequenz eines GSM-Handys von $1 : 4,615 \text{ ms} = 216,6 \text{ Hz}$ (Hertz) oder ca. 217 Hz.

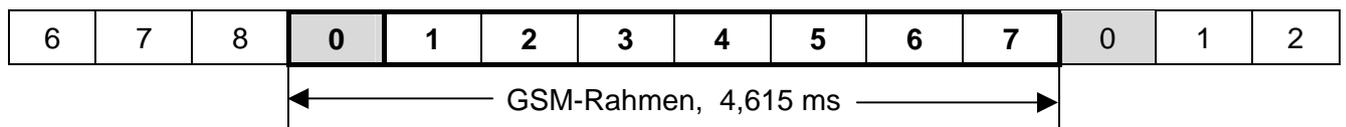


Abb. 2-1: GSM-Rahmen (TDMA-Rahmen) mit 8 Zeitschlitz; Rahmenlänge 4,615 ms; ein Zeitschlitz pro Benutzer

Jedes Mobilteil nutzt für die Abwicklung des Telefonats also nur einen der acht zur Verfügung stehenden Zeitschlitz (siehe Abbildung 2-2 unten). Dafür ist es erforderlich, dass das Sprachsignal um den Faktor 8 komprimiert und nach der Funkübertragung am Empfangsort wieder um den gleichen Faktor 8 expandiert wird. Sonst gäbe es Lücken in der Übertragung.

Die Basisstation dagegen muss bis zu 8 Mobilteile pro Frequenzkanal bedienen und daher ggf. in allen 8 Zeitschlitz arbeiten (siehe Abbildung 2-2 oben). Die Dauer eines einzelnen Zeitschlitz beträgt $4,615 : 8 \text{ ms} = 0,577 \text{ ms}$; die Pulsfrequenz eines voll ausgelasteten Frequenzkanals der Basisstation somit $8 \times 216,6 \text{ Hz} = 1.733,33 \text{ Hz}$.

⁶ Ein Verkehrskanal wird in der GSM-Fachsprache als TCH (*Traffic Channel*) bezeichnet.

Zur Steuerung des Datenverkehrs benötigt die Basisstation spezielle Kanäle; es steht nicht das gesamte Volumen allein für die Übertragung der Nutzsignale (Sprache, Musik, Bilder, Dateien) zur Verfügung. Außerdem muss das Handy „seine“, d.h. die lokal stärkste Basisstation, bei der es eingebucht ist, jederzeit erkennen können. Dazu dient der Organisationskanal, sozusagen der Stamm-Frequenzkanal der Basisstation. Dieser sendet ständig – also auch wenn kein einziges Telefonat über die betreffende Basisstation geführt wird – „rund um die Uhr“ mit seiner maximalen Leistung in allen acht Zeitschlitz. Damit nimmt er für die Handys vergleichsweise die Funktion eines „Leuchtturms“ wahr, an dem sich die Mobilteile orientieren können. I.d.R. werden zwei der acht Zeitschlitz des Organisationskanals zur Verwaltung und Steuerung des Funkverkehrs benötigt; die übrigen sechs können durch Teilnehmer mit Telefonaten oder Datenverkehr belegt werden. Wird diese Kapazität nicht durch Benutzer nachgefragt, so werden die „leeren“ Zeitschlitz mit Zufallssignalen gefüllt. Für die Verwaltung und Steuerung des Funkverkehrs gibt es eine ganze Reihe spezieller Kontroll- und Signalisierungskanäle⁷.

Sind alle acht Zeitschlitz des Organisationskanals belegt, so kann die Basisstation auf einem zusätzlichen, lastabhängigen Verkehrskanal⁸ mit einer anderen Frequenz bis zu acht weitere Zeitschlitz eröffnen. GSM 1800-Basisstationen (E-Netz) verfügen typischerweise über diese beiden Kanäle. Bei GSM 900-Basisstationen (D-Netz) stehen zumeist noch ein dritter und ein vierter Frequenzkanal zur Verfügung, in Ballungsgebieten und Großstädten auch mehr. Alle zu einer Basisstation gehörenden Frequenzkanäle – also Organisationskanal und lastabhängige Verkehrskanäle – werden über die gleiche Antenne abgestrahlt. Pro Antenne einer Basisstation können somit im D-Netz typischerweise bis zu $(4 \cdot 8) - 2 = 30$ Telefonate gleichzeitig abgewickelt werden. Sind am Mast – wie häufig vorzufinden – drei Sektorantennen unter jeweils 120° horizontal angebracht – so können an diesem Standort maximal $3 \cdot 30 = 90$ Telefonate gleichzeitig abgewickelt werden.

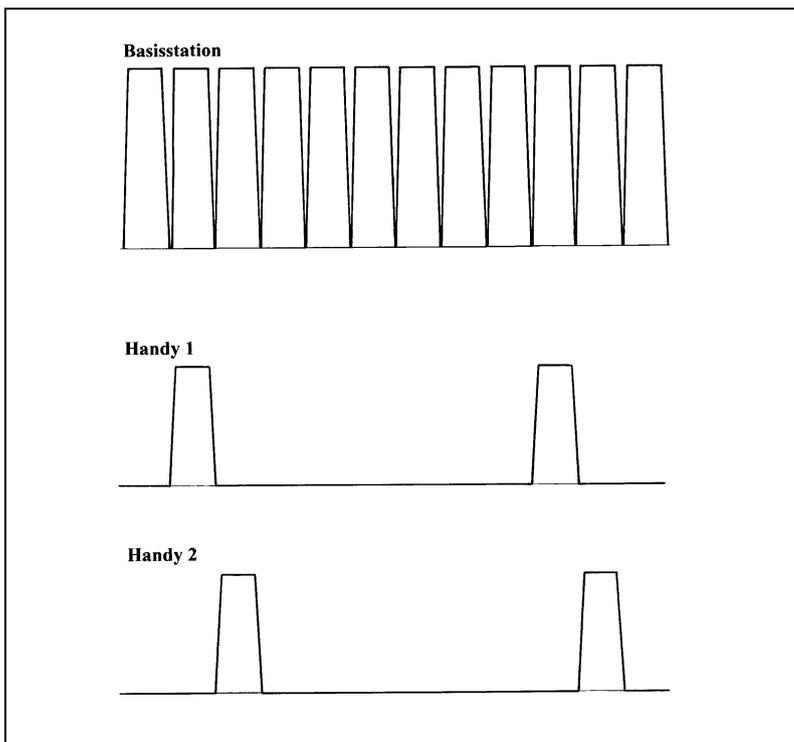


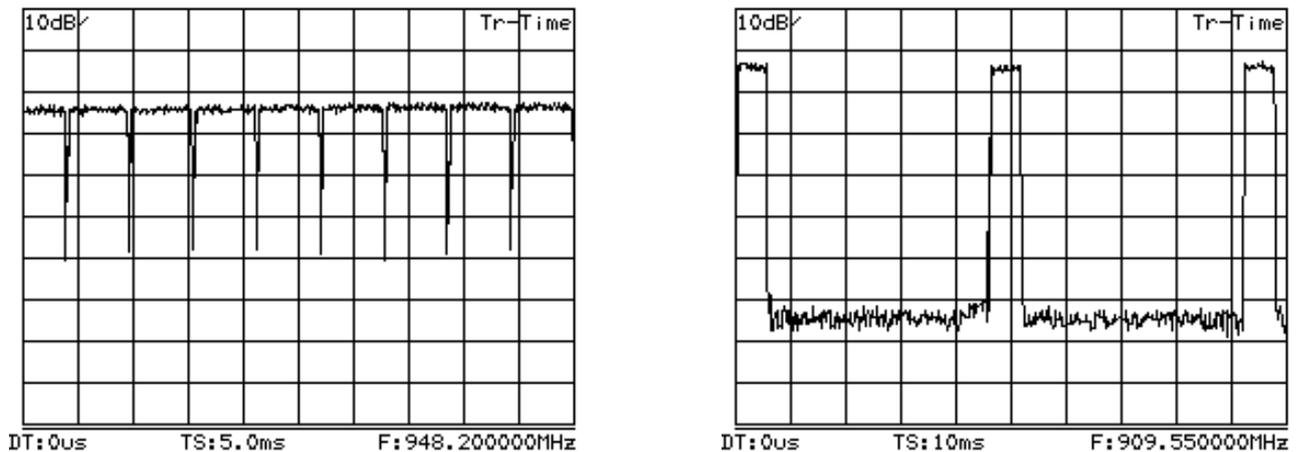
Abb. 2-2:

Prinzipdarstellung der Zeitschlitz und Pulsung des Organisationskanals einer GSM-Basisstation (oben) ...

... und von Mobilteilen (Handys) (unten); ein einzelner Zeitschlitz wird auch als „Burst“ bezeichnet.

⁷ Wichtigster Signalisierungskanal ist der BCCH (*Broadcast Control Channel*). Hierüber informiert die Basisstation die Mobilteile bezüglich lokaler technischer Randbedingungen, wie die augenblickliche Position, den Netzbetreiber (z.B. D1 oder D2), Zugriffsparameter usw. Nicht ganz korrekt, aber weit verbreitet, wird die Bezeichnung BCCH gerne nicht nur für den einzelnen Signalisierungskanal (als Kombination von Frequenzkanal und Zeitschlitz) sondern für den gesamten Organisationskanal mit allen seinen 8 TCH-Zeitschlitz verwendet.

⁸ Ebenfalls nicht ganz korrekt, aber weit verbreitet, wird die Bezeichnung TCH gerne nicht nur für einen einzelnen Verkehrskanal (als Kombination von Frequenzkanal und Zeitschlitz) sondern für einen gesamten lastabhängigen Frequenzkanal mit allen seinen 8 TCH-Zeitschlitz verwendet.



Zeitachse: 5 ms, entspr. ca. einem GSM-Rahmen

Zeitachse: 10 ms, entspr. ca. zwei GSM-Rahmen

Abb. 2-3: Mit dem Spektrumanalysator gemessene Signale des Organisationskanals einer GSM-Basisstation (links) und von einem Mobilteil (rechts); Darstellung des Zeitverlaufs in der Betriebsart „Zero Span“

Die lastabhängigen Verkehrskanäle sind häufig leistungsgeregelt, d.h. in jedem Zeitschlitz wird individuell angepasst nur mit derjenigen Leistung gesendet, die zur Aufrechterhaltung einer stabilen Verbindung erforderlich ist (so genanntes Power Control, Abbildung 2-4 unten).

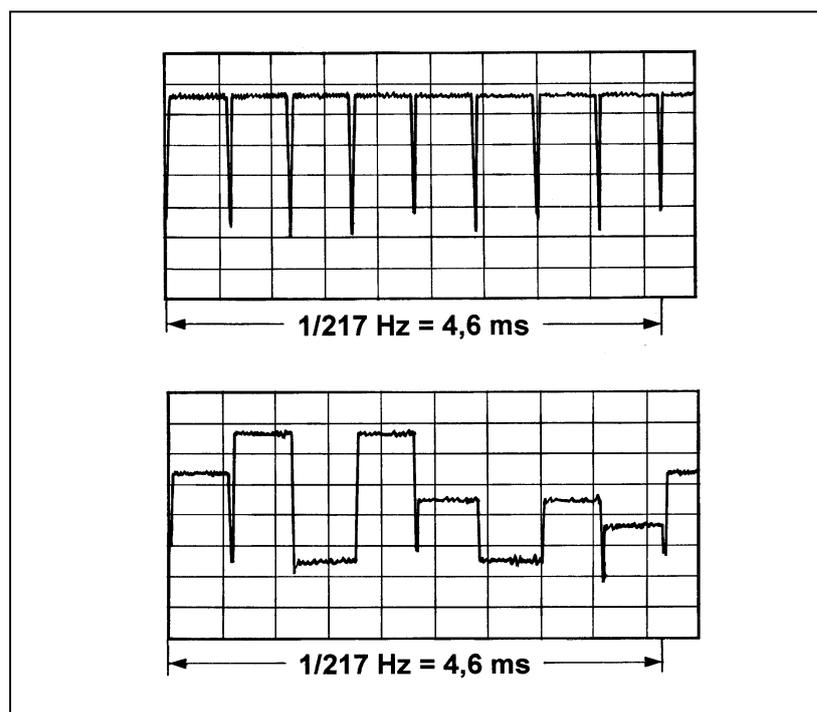


Abb. 2-4: Zeitschlitz und Pulsung von Organisationskanal (oben) und lastabhängigem Verkehrskanal mit Power Control (unten) einer GSM-Basisstation (Prinzipdarstellung)

Die Mobilteile verkehren mit einer Basisstation, die die Telefonate bzw. Daten weiterleitet. Mobilteile und Basisstationen arbeiten in getrennten, eigens zugewiesenen Frequenzbändern im Frequenz-Duplex-Betrieb (*Frequency Division Duplex* = FDD). Im so genannten Uplink-Frequenzbereich senden die Mobilteile zu den Basisstationen, im Downlink-Frequenzbereich die Basisstationen zu den Mobilteilen. Der Abstand zwischen den Up- und Downlink-Frequenzen stellt den so genannten Duplexabstand dar.

Technische Daten zu GSM

FDMA, Kanalraaster 200 kHz

TDMA, 8 Zeitschlitze zu je 0,577 ms = 4,615 ms GSM-Rahmenlänge, entsprechend 216,67 Hz

Der **Organisationskanal** einer Basisstation sendet ständig mit voller Leistung in allen acht Zeitschlitzen; er **ist periodisch gepulst mit $f = 8 \cdot 216,67 \text{ Hz} = 1.733,33 \text{ Hz}$**

Die **Mobilteile** arbeiten **periodisch gepulst mit 216,67 Hz (ca. 217 Hz)** im sogenannten **Full-Rate**-Betrieb und **108,33 Hz** im **Half-Rate**-Betrieb (s.u.). Bei der Option **DTX** (*Discontinuous Transmission*, s.u.) in den Sprachpausen mit **2,083 Hz** gepulst.

GSM 900: D-Netz-Mobilfunk (D1/T-Mobile und D2/vodafone)

Uplink (Mobilteil → Basisstation)	Downlink (Basisstation → Mobilteil)
Unterband 890-915 MHz	Oberband 935-960 MHz

Frequenzduplex mit Duplexabstand 45 MHz

E-GSM (Extended GSM: E1/E-Plus und E2/O2)

Uplink (Mobilteil → Basisstation)	Downlink (Basisstation → Mobilteil)
Unterband 880-890 MHz	Oberband 925-935 MHz

Frequenzduplex mit Duplexabstand 45 MHz

GSM 1800 / E-Netz-Mobilfunk (E1/E-Plus und E2/O2)

Uplink (Mobilteil → Basisstation)	Downlink (Basisstation → Mobilteil)
Unterband 1.710-1.785 MHz	Oberband 1.805-1880 MHz

Frequenzduplex mit Duplexabstand 95 MHz

Full Rate (FR):

Pulsfrequenz 216,67 Hz (ca. 217 Hz), allgemein übliches Verfahren.

Half Rate (HR)

Pulsfrequenz $216,67 \text{ Hz} : 2 = 108,33 \text{ Hz}$. Half Rate verdoppelt die Kapazität bestehender Netze und verhindert die Gefahr der Überlastung. Dazu wird eine verstärkte Datenreduzierung der zu übertragenden Sprachsignale durchgeführt. Aufgrund dieser erhöhten Datenreduzierung ist es möglich, dass zwei Mobilstationen im Wechsel einen gemeinsamen Zeitkanal belegen, d. h. die beiden Mobilstationen senden abwechselnd im gleichen Zeitschlitz eines jeden zweiten TDMA-Rahmens. Dadurch halbiert sich die Frequenz der Pulsung von 216,67 Hz auf 108,33 Hz. Die Sprachqualität soll trotz der erhöhten Datenreduzierung nicht wesentlich schlechter als bei Full Rate sein.

Die Basisstationen müssen auf Half Rate umgerüstet werden. Mit Half Rate arbeiten nur die D-Netz-Betreiber, insbesondere in Ballungszentren.

Discontinuous Transmission (DTX):

Pulsfrequenz 2,083 Hz in Sprachpausen und 216,67 Hz bei Sprachübertragung.

Mit dem Leistungsmerkmal DTX sendet die Mobilstation in Sprachpausen (theoretisch ca. 50 % der Dauer eines Telefonats) nur alle 480 Millisekunden einen Impuls, entsprechend einer Pulsfrequenz von 2,083 Hz. Dieser Impuls dient zur Übertragung von Steuerungsdaten und zur Auffrischung des Hintergrundgeräusches.

Frequency Hopping

FHMA (*Frequency Hopping Multiple Access*, Frequenzsprungverfahren):

Viele Basisstationen der D-Netzbetreiber – aber längst nicht alle – setzen Frequency Hopping ein. Frequency Hopping basiert auf dem TDMA-Zeitschlitz-Verfahren, wobei zusätzlich noch von Zeitschlitz zu Zeitschlitz auf eine andere der zugeteilten Frequenzen gewechselt wird. Hierdurch werden Probleme mit Interferenzen verringert, die bei bestimmten Frequenzen zu Auslöschungseffekten des empfangenen Signals führen.

Der Organisationskanal einer Basisstation springt nicht, sondern behält seine Frequenz unverändert bei, da sich die Mobilstationen auf ihn aufsynchronisieren bzw. auf ihm ihre Pegelmessungen vornehmen.

Höhere GSM-Rahmenstrukturen

Wie oben ausgeführt, besteht ein GSM-Rahmen (TDMA-Rahmen) aus acht Zeitschlitzten. Die GSM-Rahmen selbst sind in Rahmenstrukturen höherer Ordnung eingebettet, die als Multirahmen, Superrahmen und Hyperrahmen bezeichnet werden.

Beim Multirahmen wird ein 26er und ein 51er Multirahmen unterschieden. Der **26er Multirahmen** umfasst 26 GSM-Rahmen zu je 8 Zeitschlitzten und strukturiert die TCHs zur **Nutzsignal**übertragung. Seine Länge beträgt $26 \cdot 4,615 \text{ ms} = 120 \text{ ms}$. Sollten Periodizitäten im 26er-Multirahmen-Takt auftreten, so haben diese eine Frequenz von $1/120 \text{ ms} = 8,33 \text{ Hz}$.

Der **51er Multirahmen** umfasst 51 GSM-Rahmen. Er strukturiert die verschiedenen **Signalisierungskanäle** und hat eine Länge von $51 \cdot 4,615 \text{ ms} = 235,4 \text{ ms}$. Sollten Periodizitäten im 51er-Multirahmen-Takt auftreten, so haben diese eine Frequenz von $1/235,4 \text{ ms} = 4,25 \text{ Hz}$. Wird ein Signalisierungskanal innerhalb des 51er Multirahmens zwei Mal im gleichen zeitlichen Abstand gesendet, so ergibt sich wiederum die Wiederholfrequenz von 8,33 Hz.

Der nächst übergeordnete Rahmen – der Superrahmen – hat eine Länge von $26 \cdot 51 = 1326$ GSM-Rahmen und damit eine Dauer von 6,1 s.

Die Periodizität von 8,33 Hz lässt sich bei vielen Basisstationen auf dem Organisationskanal finden. Dies geschieht dann, wenn im Rhythmus des 26er Multirahmens ein Zeitschlitz ausgelassen, d.h. nicht gesendet wird.

Übergangsgeneration 2.5G bzw. 2+G von GSM zu UMTS

Mit zunehmender Nachfrage nach Mobilfunk-Diensten durch die Benutzer und steigenden Ansprüchen an die Leistungsmerkmale wuchsen gleichermaßen der Kapazitätsbedarf (der durch den Aufbau zusätzlicher Basisstationen gedeckt wird) und die Ansprüche an die Übertragungsrate (nicht nur Übertragung von Sprache, sondern auch von Fotos, Musik und PC-Dateien/Datentransfer sowie Internetzugang per Handy) – dies bereits zu einer Zeit, als das UMTS-System noch nicht in Betrieb war. Infolgedessen wurden zwischen GSM (2G) und UMTS (3G) als „Übergangsgenerationen“ – entsprechend unter Generation 2.5G oder 2+G zusammengefasst – drei technische Standards entwickelt, die in Tabelle 3-1 mit ihren wesentlichen Merkmalen gegenüber gestellt sind.

Alle Standards der 2.5-Übergangsgeneration arbeiten gemeinsam in den gleichen Frequenzbereichen, wie die originären GSM-Systeme (D- und E-Netz). Beliebiger gemischter Betrieb zwischen den einzelnen 2,5 G-Standards auf einer Basisstation ist möglich.

Bereits seit mehreren Jahren sind neben dem „klassischen“ GSM auch HSCSD- und GPRS-Dienste am Markt verfügbar, wobei GPRS bei weitem dominiert.

T-Mobile hat seit dem Sommer 2006 als erster Netzbetreiber mit der Umrüstung seiner Basisstationen auf EDGE begonnen, mit dem Ziel einer flächendeckenden Versorgung. Während bei O2 zur Zeit (Frühjahr 2007) die Einführung von EDGE noch nicht geplant wird, ist dies bei E-Plus in der Planung; konkrete Einführungszeiten sind aber noch nicht festgelegt. Bei Vodafone ist im Zuge des Austauschs alter Basisstationen gegen neue Stationen mit deutlich verringertem Energiebedarf auch die Einführung von EDGE vor allem in den ländlichen Gebieten geplant – offensichtlich um in den mit UMTS versorgten städtischen und Ballungsgebieten keine Konkurrenz für diesen immer noch wenig nachgefragten Funkdienst zu schaffen.

Mobilfunk-Generation	2G	2.5G bzw. 2+G			3G	
Techn. Standard	GSM	HSCSD	GPRS	EDGE	UMTS-FDD	UMTS-TDD
Zugriffsverfahren	TDMA	TDMA	TDMA	TDMA	WCDMA	TD-CDMA
Periodische Pulsung	ja	ja	ja	ja	nein* ¹	ja
Vermittlungsart	Leitung	Leitung	Paket	Paket	Paket	Paket
Datenrate* ² [kbit/s]	9,6	57,6	62,4	384	384* ³ 1.920* ⁴	1.920* ⁴
Modulation	GMSK	GMSK	GMSK	8PSK	QPSK	QPSK
Frequenzbereich der Basisstationen	GSM 900 inkl. E-GSM* ⁵ : 925 - 960 MHz GSM 1800: 1.805 -1.880 MHz				UMTS-FDD 2.110 - 2.170 MHz	UMTS-TDD 1.900 - 2.025 MHz

*¹ Keine „klassische“ Pulsung wie bei GSM im Sinne eines Ein-/Ausschaltens, sondern ein komplexes Signalgemisch mit periodischen Komponenten von 100 Hz und Vielfachen, von 1,5 kHz und Vielfachen sowie 15 kHz.

*² Die tatsächlich erreichbare Datenrate hängt stark von der Übertragungsqualität ab

*³ Bewegliche Teilnehmer, mit Zellenwechsel (Handover)

*⁴ Stationäre Teilnehmer, kein Zellenwechsel (Handover)

*⁵ Bei E-GSM ist der „klassische“ Frequenzbereich von GSM 900 (935-960 MHz) um 10 MHz zu tieferen Frequenzen hin erweitert (925-935 MHz). Dieser Frequenzbereich wird seit 2006 von den Netzbetreibern E-Plus und O2 genutzt, die vorher nur über Frequenzen im Bereich GSM 1800 verfügten.

Tab. 3-1: Digitale Mobilfunkgenerationen von 2G bis 3G im Überblick

HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)

(wird vom Netzbetreiber E-Plus auch als HSMD (*High Speed Mobile Data*) bezeichnet)

HSCSD verwirklicht die einfachste Form zur Erhöhung der Übertragungsrate durch simple Bündelung von GSM-Zeitschlitz; d.h. ein Benutzer belegt dann nicht nur einen, sondern mehrere Zeitschlitz im TDMA-Rahmen (theoretisch wären alle acht Zeitschlitz möglich, in der Praxis zulässig sind maximal vier). Als maximale Datenübertragungsrate ergeben sich dann $4 \times 9,6 \text{ kbit/s} = 38,4 \text{ kbits/s}$; bei sehr guter Übertragungsqualität sind bis zu $4 \times 14,4 \text{ kbit/s} = 57,6 \text{ kbit/s}$ möglich.

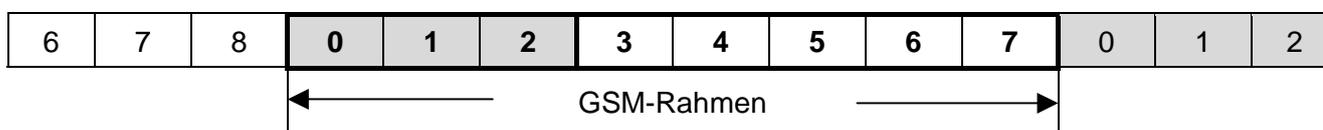


Abb. 3-1: GSM-Rahmen mit Zeitschlitz-Bündelung; hier: Ein Benutzer belegt die drei Zeitschlitz 0, 1 und 2 (grau).

Die Übertragung erfolgt klassisch leitungsvermittelt (= Switched Circuit), d.h. der Teilnehmer muss sich einwählen, um die Verbindung herzustellen, und für die Zeitdauer der Verbindung steht ihm dann „sein“ Verkehrskanal die ganze Zeit alleine zur Verfügung. Abgerechnet wird nach der Dauer der Verbindung; unabhängig davon, wie intensiv diese Zeit zur Datenübertragung genutzt wurde und wie viele Daten innerhalb dieser Zeit geflossen sind.

Ein bestehendes GSM-Netz kann ohne Hardwareänderungen an den Basisstationen, nur durch Aufspielen neuer Software, auf HSCSD aufgerüstet werden.

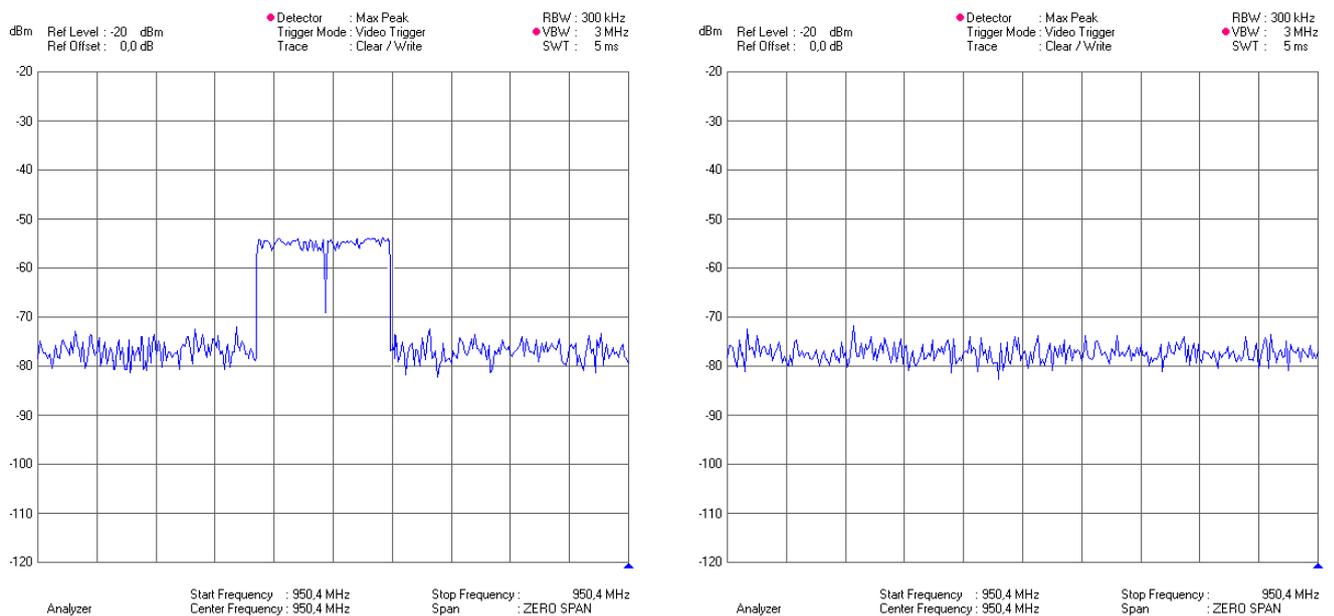
GPRS (General Packet Radio Service)

GPRS arbeitet ebenfalls mit der Bündelung von Zeitschlitzten, um eine höhere Übertragungsrate zu erzielen. Außerdem können je nach geforderter Übertragungssicherheit vier unterschiedliche Fehlerkorrekturverfahren verwendet werden, die ebenfalls Einfluss auf die Übertragungsrate haben. Je größer die geforderte Übertragungssicherheit, um so aufwendiger das Korrekturverfahren und um so niedriger die Übertragungsrate. Pro GSM-Zeitschlitz sind bei GPRS je nach verwendetem Korrekturverfahren Übertragungsraten von 9,05 / 13,4 / 15,6 oder maximal 21,4 kbit/s möglich, bei vier Zeitschlitzten dementsprechend 36,2 / 53,6 / 62,4 oder maximal 85,6 kbit/s. Bei der höchsten Übertragungsrate wird allerdings auf eine Fehlerkorrektur völlig verzichtet. Dies kann bei der Übertragung von Musik oder Bewegtbildern ggf. in Kauf genommen werden, nicht aber bei der Übertragung von z.B. PC-Daten. Die tatsächlich erreichbaren Datenraten dürften in der Praxis bei ca. 50 - 60 kbit/s liegen.

Der entscheidende technische Fortschritt von GPRS ist allerdings in der Art der Vermittlung zu sehen. Statt einer permanenten, leitungsvermittelten Verbindung (= Switched Circuit) funkt der Teilnehmer hier nach Bedarf Datenpakete (paketvermittelte Übertragung = Packet Service). Die GSM-Kanäle werden nur nach Bedarf kurzzeitig für die Übertragung der Datenpakete verwendet, im gleichen Kanal nacheinander für unterschiedliche Teilnehmer, und doch ist jeder dauernd datenverbunden. Dieser „Always On“-Betrieb erlaubt die sofortige Signalisierung von E-Mails, SMS usw. Abgerechnet wird nach der Menge der übertragenen Daten. Aufgrund des Packet Service müssen bei GPRS häufiger Verbindungen zur Basisstation auf- und abgebaut werden als beim „klassischen“ GSM; dies sollte daher möglichst schnell geschehen können.

Da zur Steuerung des Datenverkehrs das Internet-Protokoll (IP) verwendet wird, ist GPRS besonders für Anwendungen im Internet geeignet. Dabei entfallen die Beschränkungen der WAP-Handys (Wireless Application Protocol), die nur auf Webseiten in der eigens für WAP geschaffenen Internetsprache WML (Wireless-Markup-Language) zugreifen können. GPRS ermöglicht den Zugriff auf die üblichen HTML-Seiten.

Zur Umrüstung eines Netzes auf GPRS sind auf Betreiberseite Investitionen in Hard- und Software erforderlich.



- a) Ein Teilnehmer benutzt einen GPRS-Dienst, er belegt in diesem Fall zwei Zeitschlitzte. b) Kein Teilnehmer auf dem lastabhängigen Verkehrskanal.

Abb. 3-2: Mit dem Spektrumanalysator gemessene Signale eines lastabhängigen Verkehrskanals einer GPRS-fähigen Basisstation, mit Aktivität eines GPRS-Dienstes (links) und ohne aktuelle Aktivität des Kanals (rechts).

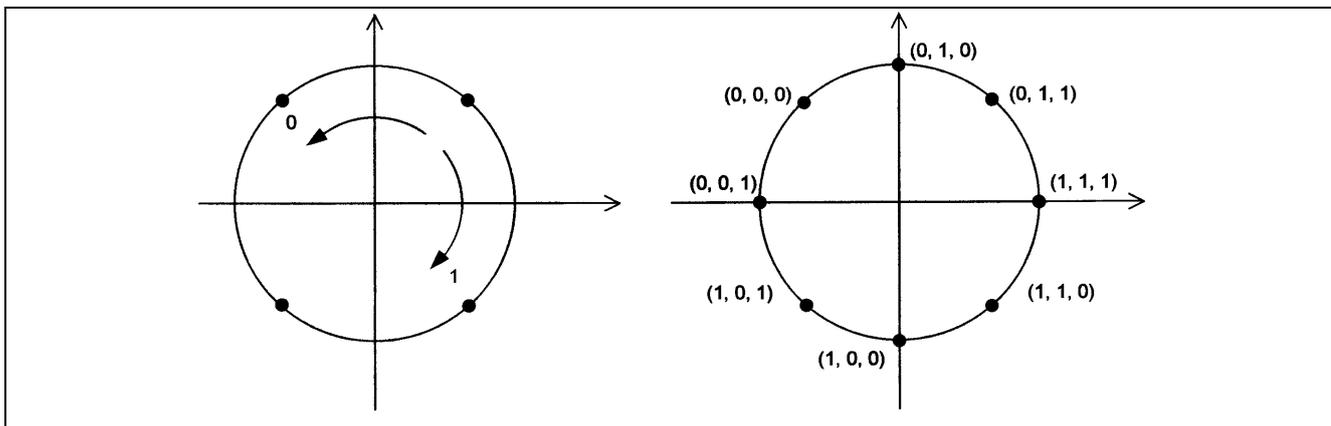
EDGE (Enhanced Data Rates for GSM Evolution)

Bei EDGE wird eine höhere spektrale Effizienz erreicht, indem zusätzlich zur Bündelung von Zeitschlitzten die bei GSM, HSCSD und GPRS übliche 2-stufige GMSK-Modulation (Gaussian Minimum Shift Keying) durch eine 8PSK-basierte Phasenmodulation abgelöst wird (8-stufiges Phase Shift Keying). Anstatt nur ein Bit pro Zeichen lassen sich hiermit gleich drei Bit pro Zeichen übertragen (Abbildung 3-2). Dadurch wird pro Zeitschlitz eine Datenrate von 48 kbit/s erreicht, maximal bei Bündelung aller acht Zeitschlitzte somit 384 kbit/s. Damit ist EDGE in vielen Fällen durchaus eine Alternative zu UMTS.

Aufgrund der feiner abgestuften 8PSK-Modulation ist EDGE allerdings nicht so „robust“ wie die übrigen Standards mit GMSK-Modulation und stärker anfällig gegenüber Störungen. Zum Betrieb ist eine hohe Güte der Übertragungsstrecke erforderlich. Ist diese nicht gegeben, so wird automatisch auf GMSK-Modulation – mit ihrer geringeren Datenrate – „zurückgeschaltet“. EDGE-Signale werden außerdem nur gesendet, wenn vom Benutzer ein EDGE-Dienst angefordert wird, z.B. für Dateitransfer. Dazu benötigt er natürlich ein EDGE-fähiges Mobilteil. Wird kein EDGE-Dienst angefordert, so verhält sich die Basisstation wie eine „ganz normale“ GSM- bzw. HSCSD- oder GPRS-Basisstation.

EDGE stellt somit eine Erweiterung von HSCSD oder GPRS mit einem effizienteren Modulationsverfahren dar. EDGE wird teilweise auch als „Evolved GSM“ bezeichnet. Die EDGE-Technik, verbunden mit HSCSD, wird als ECSD (Enhanced Circuit Switched Data) bezeichnet; verbunden mit GPRS als EGPRS (Enhanced GPRS).

Für EDGE sind Investitionen in die Netz-Infrastruktur erforderlich, allerdings bei weitem nicht so umfangreich wie für UMTS.



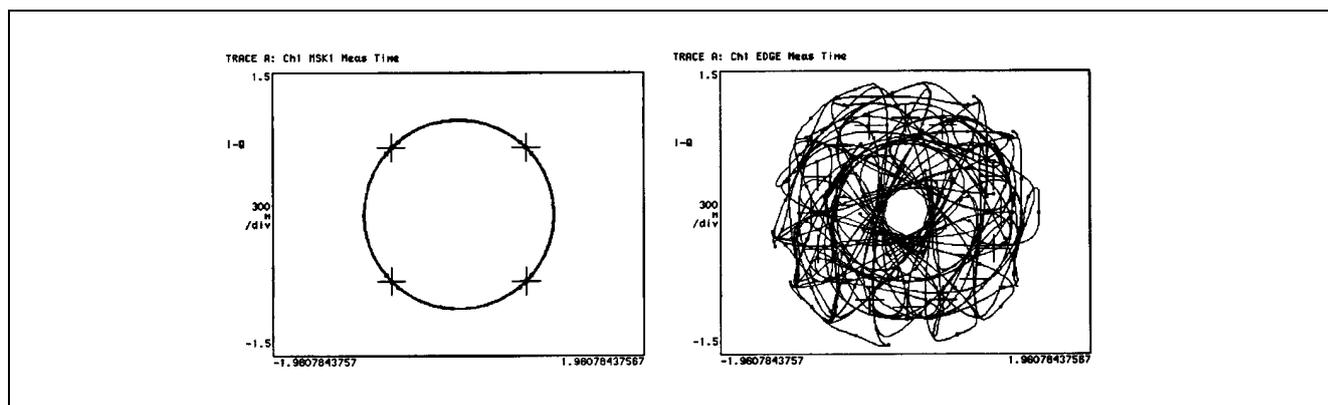
a) 2-stufige GMSK-Modulation (1 bit/Zeichen)

b) 8PSK-Modulation (3 bit/Zeichen)

Abb. 3-3: Vektor-/Phasendiagramm mit den möglichen Phasenzuständen pro Zeichen bei GMSK- und 8PSK-Modulation (aus [5])

Die bei „klassischem“ GSM, HSCSD und GPRS verwendete „grobe“ GMSK-Modulation kennt nur zwei Zustände: Logisch „0“ und „1“ (zweistufig). Damit kann ein Bit pro Zeichen übertragen werden. Das so genannte Vektor- oder Phasendiagramm in Abbildung 3-3 a (links) zeigt die Lage der beiden Zustände in einer gemeinsamen Amplituden- und Phasendarstellung (Amplitude als Radius des Kreises, Phase als Winkel auf dem Kreisumfang). Demgegenüber ist bei der feiner abgestuften 8PSK-Modulation in Abbildung 3-3 b (rechts) die Übertragung von drei Bit pro Zeichen möglich, von (0, 0, 0) bis (1, 1, 1). Jede Wertekombination von drei Bits (= 1 Zeichen) entspricht dabei ihrer eigenen Position im Phasendiagramm. Es ist zu erkennen, dass die „Störabstände“ zwischen den einzelnen Zuständen nun deutlich kleiner geworden sind. Deshalb ist für diese Modulationsart eine höhere Übertragungsqualität (= geringe Störeinflüsse) erforderlich.

Betrachten wir nun das Verhalten der Signale beim Übergang von einem Zeichen zum anderen – dies entspricht im Phasendiagramm dem Wechsel von einem Punkt auf *den* (GMSK) bzw. *einen* (8PSK) anderen. Der Wechsel zwischen den beiden Zuständen erfolgt bei der 2-stufigen GMSK-Modulation prinzipbedingt immer so, dass er auf dem Kreisumfang vollzogen wird, d.h. die Signalamplitude bleibt konstant (Abbildung 3-4 a, links). Dagegen kommt es bei der 8PSK-Modulation zu einer zusätzlichen Amplitudenmodulation im Zeitschlitz, da nun alle möglichen Übergänge von einem der acht Phasenzustände zu einem anderen auftreten können (Abb. 3-4 b).



a) 2-stufige GMSK-Modulation (1 bit/Zeichen)

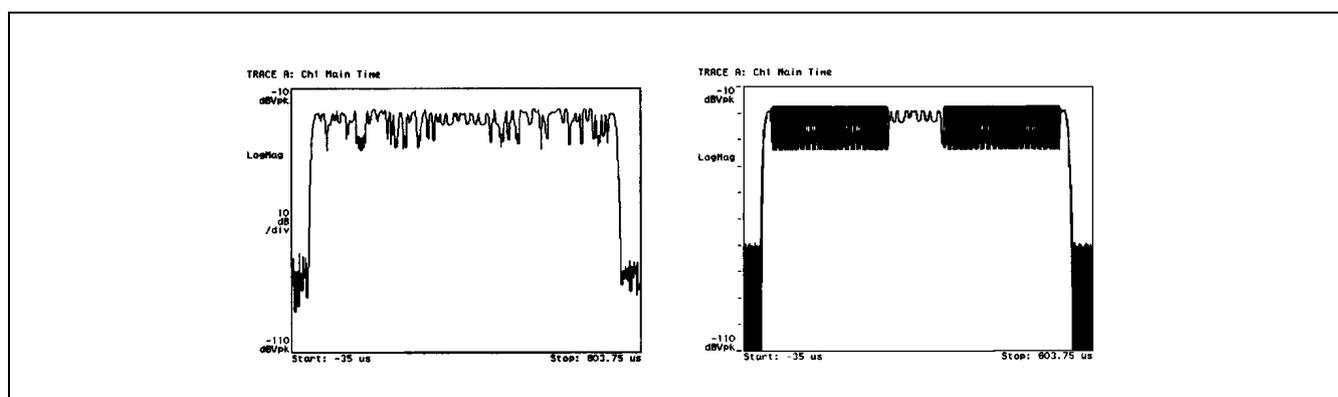
b) 8PSK-Modulation (3 bit/Zeichen)

Abb. 3-4: Übergänge im Vektor-/Phasendiagramm von einem Zeichen zum anderen (aus [5])

Das GSM-Signal (a, links) hat eine konstante Leistung, im Gegensatz zum EDGE-Signal (b, rechts). Die Bilder repräsentieren die Amplitude und die Phase des Hochfrequenzträgers zu jedem möglichen Zeitpunkt mit allen möglichen Übergängen zwischen den verschiedenen Phasenzuständen. Da die Amplitude des GSM-Signals konstant ist, ergibt die Darstellung einen Kreis.

Der Amplitudenverlauf eines EDGE-Zeitschlitzes über der Zeit ist in Abbildung 3-5 a (links) dargestellt. Man erkennt deutlich die aufgrund der 8PSK-Modulation schwankende Amplitude. Die Amplitudenmodulation besteht aus einem unregelmäßigen Anteil, der vom Inhalt der übertragenen Daten abhängt und aus einem stets gleich wiederkehrenden Anteil in der Mitte des Zeitschlitzes, der zur Organisation der Datenübertragung dient.

Denn der Signalinhalt innerhalb des Zeitschlitzes setzt sich zusammen aus Nutzdaten und Steuerungsinformationen. Für eine bestehende Verbindung stets gleiche Steuerungsdaten sind in der Mitte des Zeitschlitzes als so genannte Trainings-Sequenz angeordnet. Überlagert man eine Vielzahl von Zeitschlitzes mit einem entsprechenden Messgerät, so ergibt sich ein Verlauf wie in Abbildung 3-5 b. Da die Nutzdaten in jedem Zeitschlitz anders sind, ergibt sich in der Überlagerung ein der möglichen Schwankungsbreite der Amplitudenmodulation entsprechend breites Band. Da die Trainings-Sequenz aber stets die gleiche ist, ergibt sich in der Mitte des Zeitschlitzes ein stabiler, stets gleicher Amplitudenverlauf.

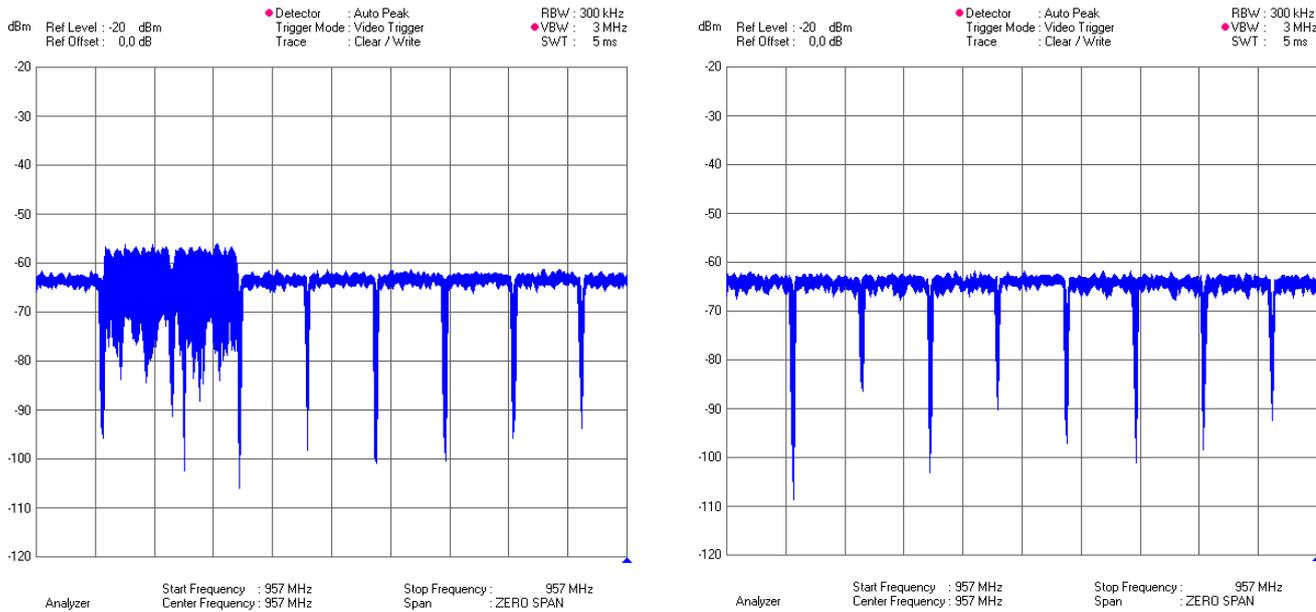


a) „Blitzlicht“ eines Zeitschlitzes

b) Überlagerung mehrerer hundert Signale

Abb. 3-5: Amplitudenverlauf eines EDGE-Zeitschlitzes über der Zeit (aus [5])

Bei Messungen mit dem Spektrumanalysator ist zu beachten, dass sich aufgrund der Amplitudenmodulation bei EDGE – anders als beim „klassischen“ GSM – die Messwerte mit dem Spitzenwert-Detektor (Max. Peak oder Pos. Peak) von denen mit dem Effektivwert-Detektor (RMS: Root Mean Square) unterscheiden. Der Spitzenwert bei EDGE liegt zwar höher als beim „klassischen“ GSM, der Effektivwert liegt jedoch in der gleichen Höhe bzw. sogar noch etwas niedriger, um die Senderendstufen durch die Amplitudenspitzen des EDGE-Signals nicht zu übersteuern.



a) Ein Teilnehmer benutzt einen EDGE-Dienst, er belegt in diesem Fall zwei Zeitschlitz; die Amplitudenmodulation der betreffenden Zeitschlitz und der erhöhte Spitzenwert sind deutlich zu erkennen.

b) Kein Teilnehmer benutzt einen EDGE-Dienst; es wird kein EDGE-Signal ausgesendet.

Abb. 3-6: Mit dem Spektrumanalysator gemessene Signale des Organisationskanals einer EDGE-fähigen Basisstation, mit (links) und ohne (rechts) aktuelle Aktivität eines EDGE-Dienstes.

Aus den hier gemachten Ausführungen zur Technik von EDGE lässt sich kein Hinweis auf Signalperiodizitäten von ca. 10 Hz ableiten. Wenn solche Periodizitäten beim Umrüsten einer Basisstation auf EDGE beobachtet werden, so muss die Ursache eine andere, von EDGE unabhängige sein.

Messungen in Oberammergau

Am 26.12.2006 führten der Umweltmediziner des Landes Salzburg, Dr. Gerd Oberfeld, und der Ingenieur Manfred Haider gemeinsame Messungen in Oberammergau durch, die von Dr. Oberfeld in seinem Gutachten „Mobilfunk: Signalanalyse im Frequenzbereich GSM 900“ vom 15.1.2007 protokolliert wurden (siehe [6], hier dokumentiert in Anhang 2: Gutachten Dr. G. Oberfeld, Landessanitätsdirektion Salzburg, 15.01.2007). Ziel der Messungen war es explizit nicht, die Höhe der GSM-Immissionen zu ermitteln, sondern die Ursache für die von W. Funk in [1] beschriebene „zusätzliche WLAN-ähnliche Modulationsfrequenz von 10 Hz“ zu ergründen.

Bei den Messungen mit dem Spektrumanalysator wurde zwar kein 10 Hz-Signal vorgefunden, wohl aber eine Periodizität von 8,3 Hz, die akustisch nur schwer von 10 Hz zu unterscheiden ist. Überraschend war, dass diese Periodizität nicht etwa auf dem Organisationskanal gefunden wurde, sondern auf den lastabhängigen Verkehrskanälen – die „paradoxaerweise“ dann besonders deutlich zu erkennen war, wenn **kein** Verkehr über die Basisstation abgewickelt wurde. Dann sollten nämlich „klassischerweise“ die lastabhängigen Verkehrskanäle eigentlich gar nicht aktiv sein, sondern nur der Organisationskanal.

Dr. Oberfeld stellte darüber hinaus fest, dass bei der Messung eines **einzelnen** „lastabhängigen“ Verkehrskanals (der nun gar nicht mehr lastabhängig war) das Signal nicht in rein periodischer Folge vorlag, sondern nur unregelmäßig und „unvollständig“. Erst die **gemeinsame** Messung **aller** zur Basisstation gehörigen „lastabhängigen“ Verkehrskanäle führte zur lückenlosen periodischen Pulswiedergabe. Dies bedeutet, dass das Pulssignal mittels Frequency Hopping (s. o.) nacheinander auf die einzelnen „lastabhängigen“ Verkehrskanäle verteilt wird.

Die Frequenz von 8,3 Hz passt exakt in die GSM-Rahmenstruktur und entspricht entweder einem belegten Zeitschlitz im 26er Multirahmen für Verkehrskanäle (Länge 120 ms = 1/8,3 Hz) oder zwei äquidistant belegten Zeitschlitz im 51er Multirahmen für Signalisierungskanäle. Da das betreffende Signal auch nachweisbar war,

wenn die Basisstation ohne Nutzlast war, muss es sich um Signalisierungskanäle handeln. Diese werden aber „normalerweise“ auf einem lastabhängigen Verkehrskanal nur dann ausgestrahlt, wenn für diesen Verkehrskanal auch Nutzlast vorliegt.

Die von Dr. Oberfeld und M. Haider festgestellten Untersuchungsergebnisse wurden vom Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) bei eigenen, vom LfU am 1. Februar 2007 durchgeführten Messungen bestätigt: „Das vom LfU aufgenommene Signal reproduziert die Daten und Aussagen von Dr. Oberfeld (Salzburg), der dieses Signal bereits zuvor am 26. Dezember 2006 untersuchen konnte. Auch er kommt zu dem Schluss, dass ein Verkehrskanal permanent aktiv sein muss, der das Tackern erzeugt.“ ([7], S. 3, hier dokumentiert in Anhang 3: LfU „Elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen in Oberammergau; Zusammenfassung von Untersuchungen des LfU“, 12.02.2007 [7]). Weiter führt das LfU aus: „Bei diesem Messtermin wurde auch die Zeitabhängigkeit der Verkehrskanäle ... untersucht. **Es hat sich gezeigt, dass eine Periodizität von 8 1/3 Hz vorhanden ist.** (Hervorhebung durch den Autor) Sie kann aus messtechnischen Gründen nur dann beobachtet werden, wenn kein anderweitiger Verkehr (Gespräche und insbesondere Daten) über die Verkehrskanäle abgewickelt wird. Diese Situation scheint zwar ungewöhnlich, da Gesprächskanäle meist vollständig abgeschaltet sind, solange keine Gespräche oder Daten übertragen werden, aber keineswegs ausgeschlossen, da der GSM-Standard eine derartige Konfiguration durchaus erlaubt und ermöglicht. Das niederfrequente Signal wird zwar nicht von EDGE selbst erzeugt, tritt aber wohl (nach Angabe der Oberammergauer Bürger) seit der Umrüstung der T-Mobile-Station auf. Vermutlich wurde bei dieser Umstellung auch die GPRS-Konfiguration neu festgelegt. GPRS kennt (wie GSM zuvor auch schon) einen ‚Timing Advance‘, der den Abstand zwischen Basisstation und Mobilgerät bestimmen kann. Das Tackern resultiert daher, dass dieser Kontrollkanal als ‚Continuous Packet Timing Advance Channel‘ mit eben 8 1/3 Hz kontinuierlich gesendet wird.“ ([7], S. 2)

Dass die niederfrequente Pulsung mit 8 1/3 Hz nicht vom EDGE-Betrieb herrührt, bestätigte ein Test: „Auf Bitten des LfU schaltete T-Mobile am 18. Dezember 2006 die EDGE-Funktion kurzzeitig ab. Das Tackern war – wie zu erwarten – weiterhin wahrzunehmen. Per Mikrofon und Soundkarte wurde das Audiosignal eines ‚Elektrosmog-Spions‘ aufgezeichnet und die ‚Tackerfrequenz‘ zu 8 1/3 Hz bestimmt.“ ([7], S. 1)

In weiteren Untersuchungen hat das LfU die Immissionen im Umfeld der betreffenden T-Mobile-Basisstation gemessen ([8], [9]) und dabei „eine in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen typische Feldsituation vorgefunden“. ([7], S. 1)

Damit ist es äußerst unwahrscheinlich, dass die Höhe der Immissionen als primäre Ursache für die gesundheitlichen Beschwerden der Oberammergauer Bürger anzusehen ist. Vielmehr wird durch die Untersuchungsergebnisse die These gestützt, dass die Signalcharakteristik – hier die periodische Pulsung mit 8,3 Hz – einen wesentlichen Einflussfaktor darstellt. Diese Pulsung ist aber unabhängig von EDGE.

Ein Signalisierungskanal wird unter die Lupe genommen: PTCCH

Wie in Kapitel ‚Grundprinzip des „klassischen“ GSM‘ ausgeführt, werden von der Basisstation (und im Gegenzug auch vom Mobilteil) sowohl Nutzdaten als auch Steuerungs- und Kontrolldaten gesendet. Während für die Nutzdaten die „Traffic Channels“ (TCH) benutzt werden, erfolgt die Übertragung der Steuerungs- und Kontrolldaten in den Signalisierungskanälen.

Einer der Signalisierungskanäle, welche die Basisstation individuell an das Mobilteil sendet, hat die Aufgabe des „Timing Advance“. Ohne diesen Kanal kann ein GSM-System nicht funktionieren. Grund dafür ist die zwar sehr große, aber doch endliche Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle (300.000 km/s).

Das Signal eines Mobilteils, welches sich nahe an einer Basisstation befindet, kommt dort früher an als das Signal eines weiter entfernten. Damit die ankommenden Signale exakt in die Zeitschlitzstruktur auf der Empfangsseite der Basisstation passen und sich nicht gegenseitig stören, muss ein weiter entferntes Mobilteil entsprechend früher mit der Aussendung beginnen als ein nahes. Durch die Timing Advance-Information teilt die Basisstation dem Mobilteil mit, um wie viel früher es senden muss. Dazu erhält das Mobilteil eine Anweisung über den zeitlichen Versatz, der zwischen empfangener Information (Downlink-Zeitschlitz) und abzusendender Information (Uplink-Zeitschlitz) eingehalten werden muss.

Diese Timing Advance (TA)-Information wird üblicherweise im Rahmen einer aktiven Verkehrsverbindung über einen zugeordneten Kontrollkanal (SACCH, Slow Associated Control Channel) übertragen. „Zugeordnet

(Associated)“ bedeutet, dass der Kontrollkanal nicht autark existiert, sondern anderen Kanälen, also einem Nutzkanal oder Signalisierungskanal zugeordnet ist. Existiert keine aktive Verkehrsverbindung, so existiert auch kein SACCH mit TA-Informationen – diese werden dann aber auch gar nicht benötigt bzw. es gibt sie gar nicht.

Beim Auf- und Abbau einer Verkehrsverbindung muss jedes Mal die Zuordnung zum SACCH neu geschaffen bzw. wieder aufgelöst werden. Dies ist mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden, der beim Aufbau von leitungsvermittelten Verbindungen nicht ins Gewicht fällt. Bei paketvermittelten Verbindungen jedoch, die viel häufiger auf- und abgebaut werden, ist dies ein unliebsamer Faktor. Hiervon ist GPRS betroffen.

Nun lässt der GPRS-Standard wahlweise eine zweite Möglichkeit zur Übertragung der TA-Informationen zu. Hierzu bedient man sich eines eigenen „Packet Timing Advance Control Channel“ (PTCCH), der in jedem 26. GSM-Rahmen gesendet wird (zwei Mal pro 51er Multirahmen, entsprechend einer Frequenz von 8,3 Hz) und permanent aktiv ist – damit ist er schneller als ein SACCH, der jedes Mal neu zugeordnet werden muss. Je nach Parametrierung der Basisstation kann der PTCCH wahlweise auf dem Organisationskanal oder auf einem lastabhängigen Verkehrskanal realisiert werden. *„Befindet er sich auf einem Gesprächskanal (= lastabhängiger Verkehrskanal, Anm. des Verfassers) und werden zu einem Zeitpunkt gerade keine GPRS-Daten gesendet, dann lässt er sich isoliert wahrnehmen – wiederum ergibt sich eine Frequenz von 8 1/3 Hz. Während aktiver Datenverbindungen ist er ebenfalls vorhanden, wird aber von den durch Daten gefüllten Zeitschlitten ‚überdeckt‘.“* ([10], S. 9)

Fazit

Das in Oberammergau untersuchte – und mittlerweile in weiten Gegenden Bayerns bei GSM-Basisstationen von T-Mobile festzustellende – niederfrequente Pulssignal mit einer Pulsfrequenz von 8,3 Hz hat nichts mit der GSM-Variante EDGE zu tun.

Es handelt sich vielmehr um eine Änderung der Basisstations-Parametrierung für GPRS, bei der für das „Timing Advance“ der Mobilteile von der Basisstation ständig ein „Packet Timing Advance Control Channel“ (PTCCH-Signalisierungskanal) ausgesendet wird, und zwar nicht auf dem sowieso ständig aktiven Organisationskanal, sondern auf den „lastabhängigen“ Verkehrskanälen, die hierdurch auch ständig aktiv sind. Offensichtlich wird diese Änderung der GPRS-Parameter von T-Mobile gleichzeitig mit der Aufrüstung der Basisstationen auf EDGE vorgenommen.

Die in Oberammergau zeitgleich zur Umrüstung der T-Mobile-Basisstation aufgetretenen, massiven gesundheitlichen Beschwerden in der Bevölkerung sollten offiziellen Stellen dringender Anlass sein, den Verdacht eines kausalen Zusammenhangs intensiv und mit wissenschaftlicher Begleitung ergebnisoffen zu untersuchen – unabhängig von einem Hinweis auf die Unterschreitung gesetzlich geltender Grenzwerte. Einen konkreten Vorschlag hierzu hat Dr. Oberfeld in seinem Oberammergauer Gutachten vom 15.01.2007 ([6], S. 7) ausgearbeitet.

So lange Hochfrequenzsignale mit Pulsstrukturen – insbesondere mit niedrigen Pulsfrequenzen – im Verdacht stehen, besondere biologische Wirkungen auslösen zu können, die bei ungepulsten Signalen so nicht auftreten, sollte die – insbesondere flächendeckende – Verwendung solcher Signale von der Betreiberseite aus Vorsorgegründen vermieden werden – zumal wenn es gleichwertige oder nahezu gleichwertige Alternativen gibt. Diese sind für GPRS vorhanden; sie wurden und werden bisher üblicherweise eingesetzt, wie viele seit langem in Betrieb befindliche GPRS-Basisstationen zeigen, die das in Oberammergau anzutreffende 8,3 Hz-Pulssignal nicht abstrahlen.

Für den Fall GPRS bedeutet dies:

- entweder auf die Verwendung des PTCCH-Signalisierungskanals ganz zu verzichten und das Timing Advance (TA) weiterhin mit einem zugeordneten Kontrollkanal (SACCH) abzuwickeln. Dann wird die TA-Information nur so lange gesendet, wie sie auch gebraucht wird, nämlich während der Dauer der Verbindung;
- oder aber, wenn der PTCCH-Signalisierungskanal doch verwendet wird, ihn über den Organisationskanal abzuwickeln und nicht über die lastabhängigen Verkehrskanäle. Dann wird der für die TA-Information zuständige Signalisierungskanal zwar ständig ausgesendet, aber er führt zu keiner Veränderung auf der physikalischen Ebene, da er die Zeitschlitz des ohnehin ständig aktiven Organisationskanals mitnutzt.

Anhang

Anhang 1: Brief W. Funk vom 15.11.2006 [1]

INGENIEURBÜRO WERNER FUNK

Elektronikentwicklungen, Elektromogmessung und Beratung

Ing. Büro Werner Funk Welfengasse 10 D-82487 Oberammergau

Welfengasse 10
82487 Oberammergau
Telefon 08822/94160
Telefax 08822/94125
werner.funk.o-gau@t-online.de

Datum:
15. November 2006

Messung der hochfrequenten elektromagnetischen Belastung im Ammertal

Nachdem bei mir gehäuft telefonisch Klagen über Schlafprobleme und Befindlichkeitsstörungen, besonders von Personen, die aus dem Urlaub zurückgekehrt sind, aus dem ganzen Ammertal und Staffelseegebiet eingegangen sind, führte ich Mitte September Messungen der elektromagnetischen Strahlenbelastungen durch.

Verwendete Messgeräte:

R&S Spektrumanalysator FSH 6 mit Messantenne R&S HE 200, Lambda-Fox RFA3, Antenne SBA 80330 (Merkel Messtechnik) mit Hochfrequenz-Filter MFF-1 (ROM-Elektronik GmbH) und Esmog Spion (Endotronic).

Gegenüber bereits früher durchgeführten Messungen wurde keine Erhöhung der Strahlungsflussdichte festgestellt. Allerdings konnte eine zusätzliche WLAN-ähnliche Modulationsfrequenz von ca. 10 Hz festgestellt werden. Die Vermutung, dass der neue "Handy-Komfort" GPRS-EDGE (schnellere Datenübertragung / Internetzugang durch Bündelung von bis zu 8 Verkehrskanälen) in Betrieb gegangen ist, bestätigte eine Nachfrage beim T-Mobile Kundenservice.

Es wurde also eine Aufrüstung der bestehenden GSM-Infrastruktur durchgeführt. Dies wurde nur an T-Mobile betriebenen Anlagen festgestellt. In Oberammergau am Kleinen Theater und am Ammergauer Hof, in Ettal Hotel Post, in Linderhof am Forsthaus, in Unterammergau am Stadel an der B 23, Altenau am Stadel an der B 23, in Saulgrub am Bayrischen Paradies und in Uffing im Gewerbegebiet.

T-Mobile informierte die Gemeinden im Ammertal, dass zur Modernisierung der GSM-Netztechnologie die Notwendigkeit bestehe, vorhandene Systemtechnik auszutauschen. Die Arbeiten an den Anlagen wurden ca. Mitte bis Ende August vorgenommen.

Es ist noch zu bemerken, dass sich diese Modulationsfrequenz kaum abschirmen lässt und im letzten Kellerwinkel nachweisbar ist.

Werner Funk

Dipl.-Ing. (FH) für
Nachrichten- und Hochfrequenztechnik

Anhang 2: Gutachten Dr. G. Oberfeld, Landessanitätsdirektion Salzburg, 15.01.2007 [6]

Gemeinde Oberammergau
 zH Herrn 1. Bürgermeister Rolf Zigon
 Schnitzlergasse 5
 82487 Oberammergau
 DEUTSCHLAND



Für unser Land!

GESUNDHEIT, HYGIENE

UND

UMWELTMEDIZIN



ZAHL
 9/11-62603/833-2007

DATUM
 15.1.2007

SEBASTIAN-STIEF-GASSE 2
 ☒ POSTFACH 527, 5010 SALZBURG
 TEL (0662) 8042 -2969
 FAX (0662) 8042 - 3056
 gerd.oberfeld@salzburg.gv.at
 Dr. Gerd Oberfeld

BETREFF

Mobilfunk: Signalanalyse im Frequenzbereich GSM 900
 (Downlink) 26.12.2006, Standort Kleines Theater, Oberammergau

Sehr geehrter Herr Bürgermeister!

Veranlassung

Der Unterzeichnende war einer der vom Bayerischen Landtag eingeladenen Experten zum Expertenhearing Mobilfunk am 7.12.2006. Zu Beginn des Hearings wurde vom Vorsitzenden des Ausschusses für Landesentwicklung und Umweltfragen des Bayerischen Landtages, Herrn Abgeordneten Dipl. Ing. Henning Kaul das von Ihnen und weiteren Persönlichkeiten aus Oberammergau gezeichnete Schreiben vom 6.12.2006 betreffend "Akute Gesundheitsgefährdung in Oberammergau und weiteren Orten nach Veränderungen an T-Mobile-Sendern" verlesen. Aus meiner Sicht skizziert dieses Schreiben die Ausgangssituation in knappen Worten, sodass ich mir erlaube, dieses Schreiben im Wortlaut wiederzugeben.

Dieses Schreiben und ein im Anschluss an die Veranstaltung geführtes Gespräch mit Herrn Pfarrer Häublein sowie Herrn Dipl. Ing. Funk haben mich veranlasst am 26.12.2006 in Oberammergau orientierende Messungen mit dem Zweck durchzuführen, die bis dato unklare Ursache des als "niederfrequentes Signal" bezeichneten Phänomens zu untersuchen. Dies insbesondere da ein ähnliches "niederfrequentes Signal" im Jahr 2001 auch bei einer GSM 900 Mobilfunksendeanlage in der Stadt Salzburg aufgetreten war und aus Sicht der öffentlichen Gesundheit ein substanzielles Interesse an der Abklärung der Frage besteht ob, bzw. welche Faktoren neben der reinen Amplitudenstärke eines HF-Signals Auswirkungen auf die Gesundheit haben. Diese Klärung ist eine der Grundlagen zur Entwicklung von Funkanwendungen, die eine verringerte Interaktion mit biologischen Systemen aufweisen.

DAS LAND IM INTERNET: www.salzburg.gv.at

AMT DER SALZBURGER LANDESREGIERUNG • ABTEILUNG 9: GESUNDHEITSWESEN UND LANDESANSTALTEN
 ☒ POSTFACH 527, 5010 SALZBURG • TEL (0662) 8042-0* • FAX (0662) 8042-2160 • MAIL post@salzburg.gv.at • DVR 0078182

Das Schreiben vom 6.12.2006 im Wortlaut:

An die Landtagsabgeordneten von Bayern

R. Zigon, 1.Bürgermeister Oberammergau

Oberammergau, den 6.12.06

Dipl. Ing.(FH) W. Funk, Oberammergau

Pfarrer C. Häublein, Oberammergau

Dr. med. Laubert, Oberammergau

Kontakt: W. Funk, Welfengasse 10, 82487 Oberammergau

Tel.: 08822-94160 Fax: 08822-94125,

Email: werner.funk.o-gau@t-online.de

Akute Gesundheitsgefährdung in Oberammergau und weiteren Orten nach Veränderungen an T-Mobile-Sendern

Sehr geehrte Frau Landtagsabgeordnete, sehr geehrter Herr Landtagsabgeordneter,

gestatten Sie, dass wir uns wegen ernster Gesundheitsprobleme bei vielen Bürgern von Oberammergau an Sie wenden.

Seit Ende August 2006 sind bei vielen Einwohnern unerklärliche und unerträgliche Symptome aufgetreten: Extreme Schlafstörungen, Herzrasen, Blutdruckanstieg, Kopfschmerzen, Vibrieren, Zittern, Schwitzen, Brennen, Unruhe, Orientierungslosigkeit, Denkfähigkeit, Erschöpfung, Hörverlust, Ohrendruck, Sehstörungen, Augenentzündungen, Nervenschmerzen, Kribbeln, Taubheit und hartnäckige Infekte u.a.. Mehrere Menschen können sich nicht mehr in ihren Wohnungen aufhalten und müssen funkarme Stellen aufsuchen. Kinder sind schlaflos und hyperaktiv geworden.

Die ortsansässigen Ärzte konnten bei den Betroffenen keine organische Ursache für die Symptomatik finden.

Betroffene aus Oberammergau und anderen Orten hatten sich seit Ende August hilfeschend an die Gemeinde und Dipl. Ing. (FH) W. Funk, der seit mehreren Jahren Messungen durchführt, gewendet.

Er konnte keine Erhöhung der Leistungsflussdichte feststellen, aber ein vorher nicht vorhandenes niederfrequentes Signal auf der 900 MHz-Frequenz erfassen. Dieses Signal ist nur an den umgerüsteten T-Mobil-Sendern neu aufgetreten.

Hieraus ergibt sich der Verdacht, dass die gehäuften Krankheitsbilder, die nach Aufsuchen von strahlungsarmen Gebieten eindeutig wieder verschwinden, durch die Veränderungen an den T-Mobile- Standorten verursacht wurden. Die Arbeiten an den Anlagen wurden ca. Mitte bis Ende August vorgenommen.

Die Symptome sind so massiv, dass bereits seit 14.11.06 mehr als 20 Bürger Anzeige wegen Körperverletzung erstattet haben.

Am 16.11.06 erhielten das Gesundheitsamt, Minister Dr. W. Schnappauf, die Regierung von Oberbayern und der Landrat eine ärztliche Stellungnahme über Erkrankungen in Oberammergau und eine Mitteilung über Messungen des Ingenieurbitros Funk.

Aus ganz Deutschland erreichen Oberammergau Anfragen wegen ähnlicher Krankheitsbilder.

Auch aus München und Bamberg werden die unerträglichen Symptome und das Neuauftreten eines niederfrequenten Signals mitgeteilt. Vielleicht leiden auch in Ihrem Wahlbezirk Menschen unter ähnlichen Symptomen, ohne die Ursache zu kennen.

Bitte helfen Sie uns in unserer verzweifelten Lage.

Es muss doch möglich sein, dass die Gesundheitsprobleme vor Ort untersucht werden. Man kann die besonders stark Betroffenen doch nicht im Wald überwintern lassen.

R. Zigon 1.Bürgermeister

Dipl. Ing.(FH) W. Funk

Pfarrer C. Häublein

Dr.med.Laubert

Messergebnisse

Am 26.12.2006 wurden vom Unterzeichnenden gemeinsam mit dem Fachmann für elektromagnetische Verträglichkeit Herrn Ing. Manfred Haider, EMV vor Ort, 83125 Eggstätt, in der Wohnung der Familie Müller, Schnitzlergasse 3, 82487 Oberammergau, im 2. Stock, Wohnzimmer, Bereich Erker in der Zeit zwischen 13:39 Uhr und 17:00 Uhr diverse Messungen durchgeführt. Herr Müller war einverstanden, dass der Ort der Messung namentlich beschrieben wird. Messziel war das als "niederfrequentes Signal" bezeichnete Phänomen näher zu untersuchen.

Das Signal wurde dazu im ersten Schritt, wie zuvor von Herrn Dipl. Ing. Funk bzw. dem Wohnungseigentümer Herrn Manfred Müller praktiziert, mittels des Breitbanddetektors HF-Digitmeter, Fa. Endotronic im HF-Bereich amplitudendemoduliert und akustisch wiedergegeben. Das sich aufgrund der Demodulation ergebende "niederfrequente Signal" hob sich deutlich von den übrigen Demodulationsgeräuschen wie etwa dem bekannten Pfeifton bei 1,7 kHz der GSM 900 / 1800 Organisationskanäle ab. Das in der Signalintensität konstante Geräusch ließ sich in etwa mit "TOCK" ... "TOCK" ... "TOCK" ... und einer regelmäßigen Frequenz von rund 10 Pulsen pro Sekunde beschreiben.

Der Messort Schnitzlergasse 3 befindet sich direkt gegenüber dem Standort "Kleines Theater" der mit drei Sektorantennen von der Firma T-Mobile als Dachstandort betrieben wird (Abbildung 1). Nach Angaben von Herrn Müller ist diese Anlage seit Dezember 1999 mit dem System GSM 900 in Betrieb. Die direkte Distanz zwischen dem Antennenstandort und der Außenfassade des Wohnzimmers soll rund 31 m betragen. Der Messort im Wohnzimmer liegt horizontal etwa zwischen zwei der drei Hauptstrahlrichtungen und vertikal einige Meter tiefer und aufgrund der gemessenen Pegel mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht im vertikalen Hauptstrahlbereich. Es besteht eine direkte Sichtbeziehung zwischen den Antennen und der Fassade des Wohnzimmers. Von den Bewohnern wurden im Wohnzimmer Maßnahmen zur Reduktion der hochfrequenten elektromagnetischen Immissionen der gegenständlichen Mobilfunksendeanlage getroffen. So wurden etwa alle Fenster mit einem feinmaschigen Aluminiumfliegengitter versehen und die Wohnzimmerwände mit einer speziellen kohlenstoffhaltigen (leitfähigen) Tapete ausgekleidet.



Abbildung 1: GSM-900 Standort "Kleines Theater", Oberammergau aus Richtung, Schnitzlergasse 3, 2. Stock, Wohnzimmer, Balkon

Das untersuchte Messvolumen befand sich im Bereich des Wohnzimmererkers direkt über dem Holztisch und umfasste ein Volumen von rund einem Kubikmeter in einer Höhe von 1,40 m bis 2,40 m und wurde durch Schwenken und Drehen der bikonischen Antenne abgetastet. Für Messungen im Zerospan wurde die bikonische Antenne SBA 9113, Schwarzbeck vertikal polarisiert in ca. 1,50 m Höhe an einem Holzstativ links vom Holztisch im Erker so situiert, dass die Bikonuselemente im Bereich eines zuvor mittels Breitbanddektor ermittelten Maximums des "niederfrequenten Signals" lagen.

Für die Signalanalyse wurden folgende Geräte eingesetzt:
 Spektrumanalysator FSP 40, Rhode & Schwarz (20 Hz bis 40 GHz), Seriennummer 100181; Werkskalibrierung 5.8.2005; Antenne SBA 9113, Schwarzbeck (450 MHz bis 3200 MHz), Seriennummer 9113-214; Werkskalibrierung 21.3.2005; Antennenkabel: AK9513, Schwarzbeck, 5 m, Seriennummer 95192, Eigenüberprüfung der Kabeldämpfung vor und nach der Messung im Dezember 2006.

Die im Messvolumen dominanten Signale waren zum Zeitpunkt der Messung Signale aus dem GSM 900 Downlink-Band. Die nachfolgenden Grafiken zeigen die Pegel in der Einheit dB μ V wobei die Transducerfaktoren der verwendeten Antenne hinterlegt wurden und nur noch der Kabelfaktor von 1,0 dB (im Bereich 950 MHz) zu berücksichtigen ist. Anmerkung: Primäres Ziel der Messung war nicht die Bestimmung des Absolutpegels im Messvolumen sondern die Eruierung der Herkunft des "niederfrequenten Signals".



Date: 26.DEC.2006 14:50:27

Abbildung 2: Frequenzbereich 920 bis 961 MHz. Die linke Frequenzgruppe beinhaltet die Organisationskanäle, die rechte Frequenzgruppe die als Ursache des "niederfrequenten Signals" identifizierten Verkehrskanäle.

Im Folgenden wurde versucht herauszufinden ob bzw. welche Anteile im GSM 900 Downlink-Band das "niederfrequente Signal" enthielten. Dazu wurde der Frequenzbereich von 935 bis 960 MHz mit unterschiedlichen Auflösungsbandbreiten im Zerospan (Zetbereich) untersucht. Dabei wurde der jeweilige Bereich amplitudendemoduliert und über den Lautsprecher des Spektrumanalysators akustisch wiedergegeben. Dabei wurden sowohl Frequenzbereiche der Organisationskanäle (BCCH) als auch der Verkehrskanäle (TCH) untersucht.

Es zeigte sich, dass das gesuchte "niederfrequente Signal" durch 4 Verkehrskanäle (TCH) der Frequenzen

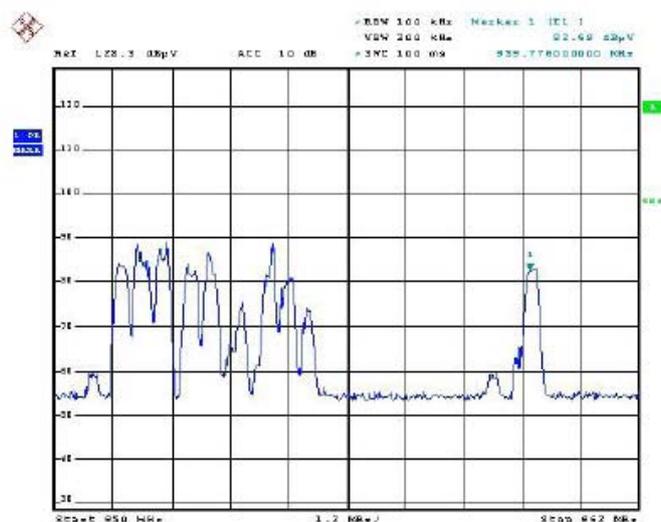
951,8 MHz

952,2 MHz

954,4 MHz

954,8 MHz

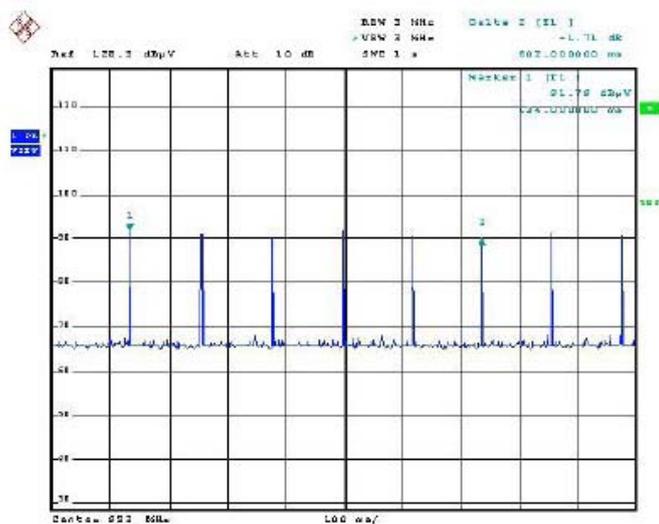
bestimmt wurde.



Date: 26.DEC.2006 15:10:15

Abbildung 3: Frequenzbereich 950 bis 962 MHz. Die links stehende Frequenzgruppe beinhaltet die als Ursache des "niederfrequenten Signals" identifizierten Verkehrskanäle.

Eine "vollständige/regelmäßige" akustische Wiedergabe des "niederfrequenten Signals" wurde im Zerospan durch Einstellung der Mittenfrequenz auf 953 MHz und Wahl einer Auflösungsbandbreite / Videobandbreite von jeweils 3 MHz erreicht. Bei dieser Auflösungsbandbreite wurden die vier oben bezeichneten Frequenzen selektiv und annähernd vollständig erfasst. Zur Bestimmung der Frequenz des "niederfrequenten Signals" wurde bei einer Sweeptime von einer Sekunde der Trace als View abgespeichert. Die Auswertung über fünf Intervalle ergab eine Zeitspanne von 602 Millisekunden entsprechend 120,4 Millisekunden je Intervall. Dies entspricht einer Frequenz von 8,3 Hz (siehe Abbildung 4).



Date: 26.DEC.2006 15:42:14

Abbildung 4: Zerospan, Mittenfrequenz 953 MHz; Darstellung des "niederfrequenten Signals". Frequenz etwa 8,3 Hz; Zustand ohne weiteren Traffic.

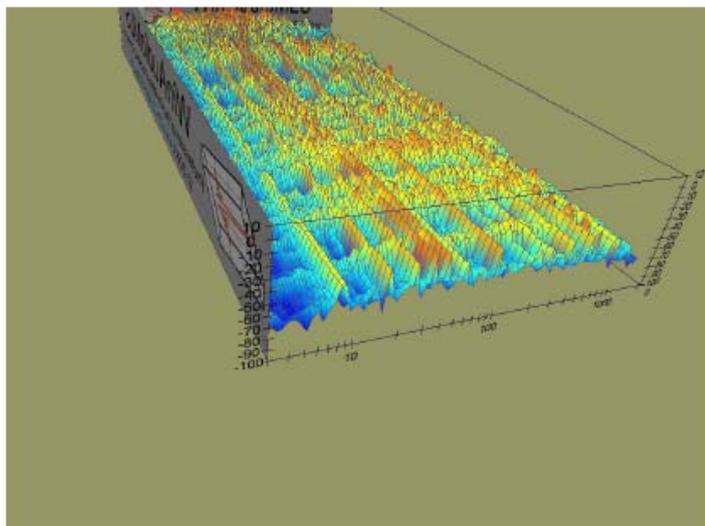


Abbildung 5: Zerospan, Mittenfrequenz 953 MHz; Darstellung des sich aus der Amplitudendemodulation ergebenden Frequenzspektrums in dreidimensionaler Form (Zeit/Frequenz/Amplitude). Anmerkung: Die amplitudenmäßige Unterrepräsentation des 8,3 Hz Anteils liegt am Frequenzgang des Audioverstärkers. Der hier interessierende Frequenzbereich um 10 Hz wird nicht linear verstärkt.

Interessant erscheint in diesem Zusammenhang, dass dieses "niederfrequente Signal" während der Untersuchungen ständig vorhanden war. Üblicherweise zeichnen sich Verkehrskanäle (TCH) dadurch aus, dass sie nur bei Nutzung aktiviert werden und in der übrigen Zeit nicht "on air" sind.

Weiters ist bemerkenswert, dass die Untersuchung der vier oben angeführten Einzelfrequenzen mit entsprechend verringerter Auflösungsbandbreite / Videobandbreite von 100 kHz / 300 kHz ebenfalls eine niederfrequente Signalabfolge zeigte, die jedoch als "unvollständig" zu bezeichnen war. Erst bei gemeinsamer Betrachtung aller 4 Frequenzen ergab sich das regelmäßige und "bekannte" Signalmuster von etwa 8,3 Hz.

Empfehlungen zur weiteren Vorgangsweise:

Es wird empfohlen, den Anlagenbetreiber (T-Mobile) zu ersuchen, die Signalabfolge der Verkehrskanäle so zu ändern, dass das derzeit vorhandene "niederfrequente Signal" bzw. ähnliche Signale vermieden werden. Im Vorfeld dieser Änderung wird empfohlen über einen Zeitraum von etwa einer Woche von zumindest 20 bis 40 Personen ein tägliches Symptomtagebuch (morgens und abends) zu führen. Dieses Symptomtagebuch sollte jedenfalls jene Beschwerden umfassen, die verstärkt seit etwa August 2006 in Oberammergau und Unterammergau berichtet werden. Eine idente Tagebucherhebung sollte über einen Zeitraum von ebenfalls einer Woche nach Umstellung des Signals (Entfall des "niederfrequenten Signalanteils") erfolgen sowie in einem Abstand von etwa 4 Wochen von dieser ersten Umstellung. Es wird empfohlen parallel zu den Erhebungen, laufende Messungen der Signalamplituden und der Zusammensetzung der GSM Down-Link-Signale (Zerospan, Amplitudendemodulation) im Untersuchungsgebiet durchzuführen.

Im konkreten wird empfohlen an Hand der Situation in Oberammergau und Unterammergau und ev. weiterer Standorte eine interdisziplinäre Arbeitsgruppe mit der Abklärung und der Entwicklung von für den Menschen verträglichen Mobilfunktechniken zu beauftragen. Einer derartigen Arbeitsgruppe sollten idealerweise alle Stakeholder angehören wie z.B. Betroffene, Mediziner, Epidemiologen, Messtechniker, Hersteller und Entwickler der Systemtechnik (Stichwort - niederfrequente Signalmuster), Netzbetreiber und Verwaltung.

Mit freundlichen Grüßen
Für die Landesregierung:

Dr. Gerd Oberfeld

Kopie (auch per e-mail als PDF):

Bayerisches Staatsministerium für Landesentwicklung und Umweltfragen, zH Herrn Ministerialrat Peter Weigl, Rosenkavalierplatz 2, 81901 München, DEUTSCHLAND
Landeshauptmannstellvertreter Dr. Othmar Raus
Leiter 9/1 Landessanitätsdirektor HRDr. Christoph König
Leiter 9 HR Dr. Alois Grüner

Anhang 3: LfU „Elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen in Oberammergau; Zusammenfassung von Untersuchungen des LfU“, 12.02.2007 [7]

Bayerisches Landesamt für Umwelt



LfU-28

Augsburg, den 12.02.2007

Elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen in Oberammergau; Zusammenfassung von Untersuchungen des LfU

Ausgangssituation

Am 20. November 2006 titelte die tz "Mobilfunk macht die Oberammergauer krank". Eine Reihe unspezifischer Krankheitssymptome, wie Kopfschmerzen, Druck in den Augen, Bluthochdruck, Orientierungslosigkeit, Schlaflosigkeit etc., stehe in Zusammenhang mit der "Umrüstung" der T-Mobile-MBS (Mobilfunkbasisstation) am 'Kleinen Theater' in Oberammergau. Ein neuartiges "Tackern" in Elektromog-Analysern sei selbst in den hintersten Kellerwinkeln nachweisbar. Das sei durch EDGE ausgelöst – einer GSM-Erweiterung, die höhere Datenraten ermöglicht und bei der "Umrüstung" der MBS neu hinzugekommen war. Gemeinde und Presse baten um Messungen.

Messungen zur Bestandsaufnahme

Am 21. November 2006 erfasste das LfU die Immissionen im GSM900-Band (zwischen 935 MHz und 960 MHz) sowie mit einem speziellen Niederfrequenz-Messgerät auch den Bereich zwischen 5 Hz und 2 kHz. Da klar war, dass es sich bei der niedrigen Frequenz keinesfalls um eine Trägerfrequenz handeln kann, sondern bestenfalls um periodische Unterbrechungen des 900-MHz-Trägers, war es nicht überraschend, keine Immission unterhalb von 16 Hz (Bahnstrom) gefunden zu haben. Im GSM900-Band lagen die Immissionswerte bei etwa 5 % des Grenzwerts für die elektrische Feldstärke. Die Messung fand dabei im Freien in Hauptstrahlrichtung ca. 120 m von der Sendeanlage entfernt statt (siehe Bericht "Elektromagnetische Felder (EMF) in Oberammergau, Ergebnis der Messungen vom 21.11.2006").

Messungen mit einem Personendosimeter

Am 01.12.2006 machte ein Mitarbeiter des LfU einen Rundgang mit einem Personendosimeter in Oberammergau, der interessierende Immissionsorte einschloss. Dabei wurde eine in der Umgebung von Mobilfunkbasisstationen typische Feldsituation vorgefunden (siehe Bericht "Überprüfung der Mobilfunkexposition bei einem Rundgang durch Oberammergau").

Untersuchung eines Elektromog-Spions

Auf Bitten des LfU schaltete T-Mobile am 18. Dezember 2006 die EDGE-Funktion kurzzeitig ab. Das Tackern war – wie zu erwarten – weiterhin wahrzunehmen. Per Mikrofon und Soundkarte wurde das Audiosignal eines "Elektromog-Spions" aufgezeichnet und die "Tackerfrequenz" zu $8 \frac{1}{3}$ Hz bestimmt.

Seite 2/4

Das LfU untersuchte daraufhin am 02. Januar 2007 die Funktionsweise eines Elektromog-Spions. Vereinfacht ausgedrückt handelt es sich bei dem Gerät um ein einfaches Radio ohne Funktion zur Senderwahl, d.h. es empfängt breitbandig die jeweils stärksten Signale, die es amplitudendemoduliert wiedergibt. Daher äußern sich die verschiedenen Taktungen, die im GSM-Standard verwendet werden, in Tönen verschiedener Frequenzen und Dauern. Die 3 Fälle, in denen bei GSM Taktungen von $8 \frac{1}{3}$ Hz auftreten können (Sprechpause während eines Gesprächs, aktives Gespräch, das nicht über den Signalisierungskanal, sondern einen Verkehrskanal abgewickelt wird, sowie Steuerinformationen einer Datenverbindung), wurden untersucht und das Tackern des Geräts reproduziert. Dabei zeigte sich ferner, dass das Gerät ab einer elektrischen Feldstärke im Promillebereich des Grenzwerts bedrohlich klingende Geräusche von sich gibt. (Man bedenke, dass GSM eine "digitale Modulation" verwendet, die nie dazu gedacht war, angenehm zu klingen, wenn sie amplitudendemoduliert wiedergegeben wird.)

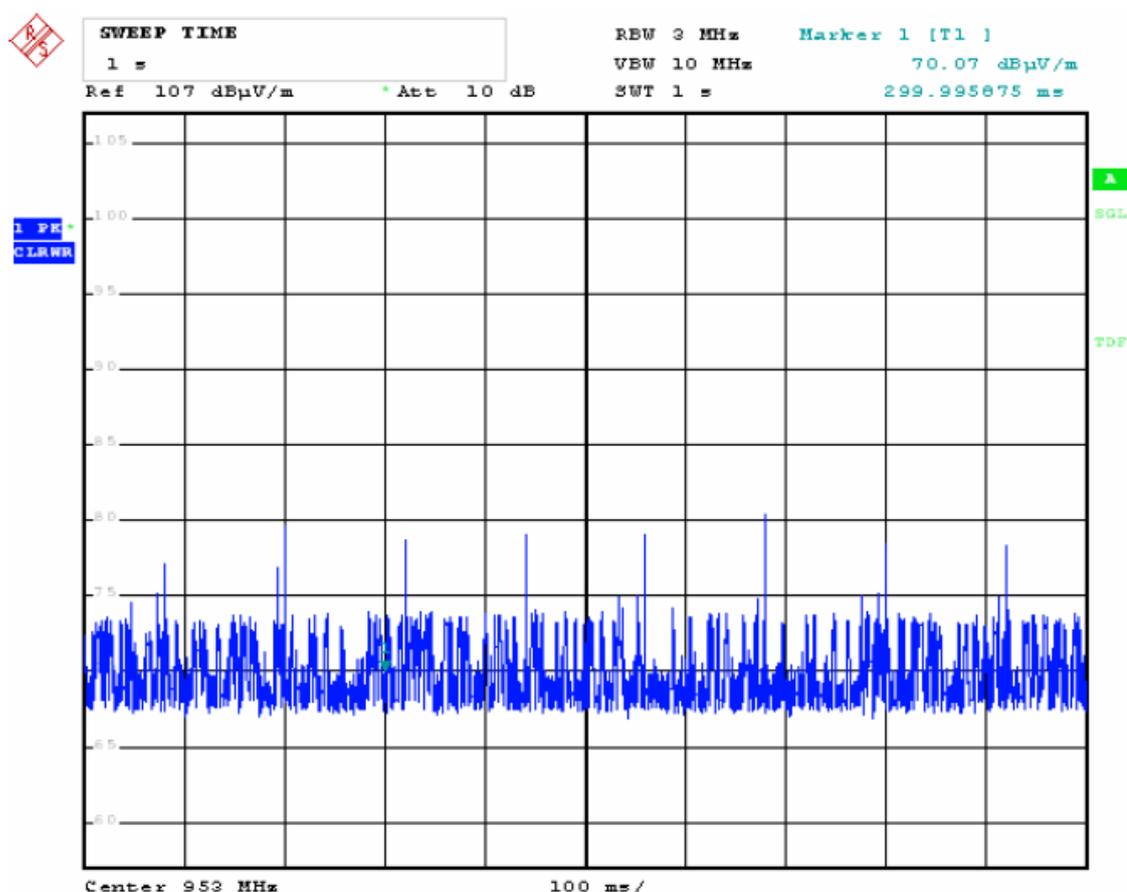
Desweiteren hat die Intensität der Mobilfunkstrahlung kaum Auswirkungen auf die Wiedergabelautstärke. Sie wird vielmehr fast ausschließlich vom Lautstärkeregler am Gerät bestimmt.

Messungen zur Reichweite des "niederfrequenten Anteils"

Am 01. Februar 2007 hat das LfU insbesondere in Kellern gemessen. In einem tiefgelegenen Teil der Kirche lag die elektrische Feldstärke unterhalb der Empfindlichkeitsschwelle des Messequipments von 0.02 % des Grenzwerts für die elektrische Feldstärke. Im Keller eines Wohnhauses gegenüber der MBS lagen die Werte unter 0.04 % und im Keller eines Gasthauses bei etwa 0.11 %. Insbesondere im Keller der Kirche war vom Elektromog-Spion kaum mehr das Tackern wahrzunehmen. Es verschwindet, wenn der hochfrequente 900-MHz-Träger nicht mehr empfangen werden kann, da es ja an diesen gebunden ist. Die Meinung, durch Verwendung "einer neuartigen, niederfrequenten Modulation" sei eine enorme Reichweite verbunden, lässt sich also nicht bestätigen. Die Reichweite der MBS am "Kleinen Theater" unterscheidet sich nicht von anderen GSM-MBS.

Bei diesem Messtermin wurde auch die Zeitabhängigkeit der Verkehrskanäle (auf einem GSM-Signalisierungskanal ist eine andere Periodizität als ca. 1.7 kHz prinzipbedingt nicht möglich) untersucht. Es hat sich gezeigt, dass eine Periodizität von $8 \frac{1}{3}$ Hz vorhanden ist. Sie kann aus messtechnischen Gründen nur dann beobachtet werden, wenn kein anderweitiger Verkehr (Gespräche und insbesondere Daten) über die Verkehrskanäle abgewickelt wird. Diese Situation scheint zwar ungewöhnlich, da Gesprächskanäle meist vollständig abgeschaltet sind, solange keine Gespräche oder Daten übertragen werden, aber keineswegs ausgeschlossen, da der GSM-Standard eine derartige Konfiguration durchaus erlaubt und ermöglicht. Das niederfrequente Signal wird zwar nicht von EDGE selbst erzeugt, tritt aber wohl (nach Angabe der Oberammergauer Bürger) seit der Umrüstung der T-Mobile-Station auf. Vermutlich wurde bei dieser Umstellung auch die GPRS-Konfiguration neu festgelegt. GPRS kennt (wie GSM zuvor auch schon) einen "Timing Advance", der den Abstand zwischen Basisstation und Mobilgerät bestimmen kann. Das Tackern resultiert daher, dass dieser Kontrollkanal als "Continuous Packet Timing Advance Channel" mit eben $8 \frac{1}{3}$ Hz kontinuierlich gesendet wird.

Seite 3/4



Date: 1.FEB.2007 17:34:30

Abb.: Beispiel der Zeitauflösung des betreffenden Signals. Man erkennt acht Pulse – bei größerer Auflösung Wellenpakete (auch Bursts genannt) – innerhalb des einsekundigen Spektrums. Bei dem schwächeren Signal um 73 dBµV/m handelt es sich um Gesprächsdaten eines anderen Sektors.

Sonstige Messungen

Das vom LfU aufgenommene Signal reproduziert die Daten und Aussagen von Dr. Oberfeld (Salzburg), der dieses Signal bereits zuvor am 26. Dezember 2006 untersuchen konnte. Auch er kommt zu dem Schluss, dass ein Verkehrskanal permanent aktiv sein muss, der das Tackern erzeugt.

Desweiteren existiert ein Messbericht von Prof. Käs (Pfaffenhofen/Ilm), in dem allerdings nur Untersuchungen der Signalisierungskanäle erfolgten. Über das 8 1/3-Hz-Signal lassen sich daraus keine neuen Erkenntnisse gewinnen.

Abschließende Zusammenfassung

Im August 2006 hat die T-Mobile im Ort Oberammergau ihre zwei Mobilfunkbasisstationen mit EDGE "aufgerüstet". Dabei wurden die Taktungen im GSM-Standard geändert und eine zweite Phasenmodulation (EDGE) hinzugefügt. Mit den Messgeräten (Elektrosmog-Spion und LfU-Messgeräten) lassen sich Wellenpakete, insbesondere mit einer Taktungsfrequenz von

Seite 4/4

8 1/3 Hz, feststellen. Daneben gab und gibt es weiterhin verschiedene Periodizitäten (z.B. 217 Hz und 433 Hz).

Die Messungen im Freien (Hauptstrahlung und ca. 120 m Entfernung) ergaben Werte unterhalb 5 % des Grenzwertes; höhere Werte wurden auch mit dem Personendosimeter nicht gefunden. Die lokale Reichweite des Mobilfunkstandards GSM mit EDGE unterscheidet sich nicht von dem ohne.

Der Elektromog-Spion ist ein Empfänger von Funkwellen, ähnlich wie ein einfaches Radio, das periodische Unterbrechungen der Mobilfunkwellen, insbesondere mit 8 1/3 Hz, bei Feldstärken ab etwa einem Promille des Grenzwertes hörbar machen kann.

Literatur

- [1] Funk, Werner: Messung der hochfrequenten elektromagnetischen Belastung im Ammertal; Brief vom 15.11.2006
- [2] 26. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV) vom 16.12.1996; in: VDB-Richtlinien Band 1 – Physikalische Untersuchungen, 2. Auflage 2006; Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V. (Hrsg.); Im Verlag des AnBUS e.V. Fürth, 2006; ISBN 3-3808428-6-X
- [3] Virnich, Martin H.: Wann ist Hochfrequenzstrahlung gepulst? Untersuchung von Pulseffekten im Zeit- und im Frequenzbereich; in: „Energieversorgung & Mobilfunk“, Tagungsband der 5. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 22.-23. März 2006 in Stuttgart; Im Verlag des AnBUS e.V. Fürth, 2006, ISBN 3-9810359-1-7; S. 171-189
- [4] Garmisch-Partenkirchner Tagblatt vom 15.11.2006, Lokalteil Ammertal
- [5] Agilent Technologies: Measuring EDGE-Signals – New and Modified Techniques and Measurement Requirements, Application Note 1361
- [6] Oberfeld, Gerd (Landessanitätsdirektion Salzburg): Gutachten „Mobilfunk: Signalanalyse im Frequenzbereich GSM 900“ vom 15.1.2007
- [7] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen in Oberammergau; Zusammenfassung von Untersuchungen des LfU; Augsburg, 12.02.2007; www.bayern.de/lfu/laerm/emv/oberammergau/index.html (Dateiname: summary)
- [8] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Elektromagnetische Felder (EMF) in Oberammergau, Ergebnis der Messungen vom 21.11.2006; www.bayern.de/lfu/laerm/emv/oberammergau/index.html (Dateiname: report1)
- [9] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Überprüfung der Mobilfunkexposition bei einem Rundgang durch Oberammergau (01.12.2006); www.bayern.de/lfu/laerm/emv/oberammergau/index.html (Dateiname: report2)
- [10] Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU): Elektromog-Analyzer – Akustische Wiedergabe hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung; Stand: 02.2007; www.bayern.de/lfu/laerm/emv/oberammergau/index.html (Dateiname: report3)