

Belastungen und Gesundheitsrisiken durch Mobilfunkanlagen

Dr.-Ing. Martin H. Virnich, Mönchengladbach

1 Einleitung

Unter **Belastung** werden objektiv messbare äußere Einflüsse - z.B. physikalischer oder chemischer Art - auf den Menschen in seinem Wohn- bzw. Arbeitsumfeld verstanden.

Die Belastung kann zu einer gesundheitlichen **Schädigung** führen; für die Anerkennung als Schädigung wird gefordert, dass sie mit wissenschaftlichen Methoden, reproduzierbar nachgewiesen werden kann. Außerdem wird der Nachweis einer quantifizierbaren Ursache-Wirkungs-Beziehung zwischen Belastung und Schädigung gefordert und möglichst ein Erklärungsmodell. Der Nachweis einer Schädigung nach wissenschaftlichen Kriterien ist üblicherweise Voraussetzung für die Orientierung von rechtlich verbindlichen Grenzwerten.

Bestehen Hinweise und Verdachtsmomente auf eine mögliche Schädigung, die noch nicht in vollem Umfang den wissenschaftlichen Kriterien genügen und häufig kontrovers diskutiert werden, so liegt das **Risiko** einer möglichen Gesundheitsschädigung vor. Dieses Risiko kann für bestimmte Personengruppen, wie Kinder, Kranke und sensibilisierte Personen höher sein als für den „Durchschnittsbürger“. Die Einschätzung des persönlichen Risikos, die Bereitschaft es zu tragen oder aber präventive Maßnahmen zur Risikominimierung zu ergreifen, ist i.d.R. dem Individuum und seiner Initiative überlassen.

Wesentliche Faktoren für die biologische Wirksamkeit hochfrequenter elektromagnetischer Wellen und damit für ihr Schädigungspotential bzw. ihre möglichen gesundheitlichen Risiken sind:

1. **Größe und anatomische Lage der exponierten Körperpartie(n)**, hier wird insbesondere unterschieden nach Ganzkörper- und Teilkörper-Exposition
2. **Frequenz** der Trägerwelle (= Sendefrequenz),
gemessen in Hertz [Hz] bzw. Vielfachen (Kilohertz [kHz] = 1.000 Hz, Megahertz [MHz] = 1000.000 Hz, Gigahertz [GHz] = 1.000.000.000 Hz)
3. **Intensität**, gemessen entweder als
 - elektrische Feldstärke in Volt pro Meter [V/m] bzw. Bruchteilen (Millivolt pro Meter [mV/m] = 1 / 1.000 V/m, Mikrovolt pro Meter [μ V/m] = 1 / 1.000.000 V/m) oder als
 - Strahlungsdichte (auch Leistungsflussdichte genannt), gemessen in Mikrowatt pro Quadratmeter [μ W/m²] oder Milliwatt pro Quadratmeter [mW/m²] (1 mW/m² = 1.000 μ W/m²).Feldstärke und Strahlungsdichte einer hochfrequenten elektromagnetischen Welle sind im sogenannten Fernfeld fest miteinander verknüpft. Im Fernfeld befindet man sich bei Abständen von der Sendeantenne, die deutlich größer als eine Wellenlänge sind, wie dies in der Praxis üblicherweise der Fall ist. Wenn eine der beiden Größen, Feldstärke oder Strahlungsdichte, z.B. aufgrund einer Messung bekannt ist, kann die andere aus diesem Wert berechnet werden
4. **Modulationsart/Zugriffsverfahren**. Diese beeinflussen den zeitlichen Verlauf der Hüllkurve des hochfrequenten Trägersignals. Die wesentlichen Grund-Modulationsarten sind AM (**A**mplituden**m**odulation), FM (**F**requenz**m**odulation) und PM (**P**hasen**m**odulation). Bei Amplitudenmodulation ist der zeitliche Verlauf der Hüllkurve nicht konstant, sondern er schwankt im Rhythmus des Modulationssignals. Bei digitalen Mobilfunksystemen kann es aufgrund des verwendeten Zugriffsverfahrens auf den Übertragungskanal mit Zeitschlitzten (TDMA, siehe Kapitel 2.4) zu einer periodischen Pulsung des Trägersignals kommen, was einer zusätzlichen, pulsartigen Amplitudenmodulation entspricht.
5. **Tageszeit und Dauer der Exposition**

2 GSM-Mobilfunk

GSM steht als Abkürzung für „**G**lobal **S**ystem for **M**obile Communications“. Zu Beginn der Entwicklung dieses digitalen Mobilfunksystems der 2. Generation bezeichnete es die Gruppe, die sich mit der Entwicklung beschäftigte und bedeutete ehemals „**G**roupe **S**péciale **M**obile“. Die GSM-Mobilfunksysteme arbeiten im D- und E-Netz.

Vorabgegangen waren die Mobilfunksysteme der 1. Generation mit analoger Sprachübertragung, bekannt als „Autotelefon“ bzw. A-, B- und C-Netz.

Seit 2004 ist mit UMTS auch das jüngste Mobilfunknetz der 3. Generation in Betrieb, das mit einem völlig anderen Übertragungsverfahren als GSM arbeitet (siehe Kapitel 3).

2.1 Größe und anatomische Lage der exponierten Körperpartie(n)

Bei der üblichen Benutzung von Handys ist die Kopfregion der Strahlung am stärksten ausgesetzt (Teilkörper-Exposition).

Die von einer Mobilfunk-Basisstation ausgehende Strahlung führt in aller Regel zu einer Gesamtkörper-Exposition.

2.2 Frequenz

Der Frequenzbereich von 9 kHz bis 300 GHz wird für technische Funkanwendungen genutzt und ist in internationalen Abkommen sowie nationalen Regelungen den einzelnen Funkdiensten zugewiesen. Im Bereich von 9 kHz bis 3 GHz sind die meisten terrestrischen Anwendungen angesiedelt. In diesem Spektrum sind den Mobilfunknetzen die folgenden Frequenzen zugewiesen:

GSM / D-Netz

- GSM 900 / D-Netz

Unterband 890-915 MHz	Oberband 935-960 MHz
Uplink (Mobilteil → Basisstation)	Downlink (Basisstation → Mobilteil)
- GSM 1800 / E-Netz

Unterband 1.710-1.785 MHz	Oberband 1.805-1.880 MHz
Uplink (Mobilteil → Basisstation)	Downlink (Basisstation → Mobilteil)

Bisher sind keine Untersuchungen bekannt, in denen ein signifikanter Einfluss der unterschiedlichen Sendefrequenzen (Trägerfrequenzen) auf die biologischen Wirkungen des Mobilfunks festgestellt wurde. Hier überwiegen die Effekte der GSM-typischen niederfrequenten periodischen Pulsung, die den hochfrequenten Trägersignalen überlagert ist (siehe Kapitel 2.4, Modulationsart/Zugriffsverfahren).

Generell sind aber unterschiedliche biologische Wirkungen in Abhängigkeit von der Frequenz bekannt. Dies wird sehr deutlich bei den hochfrequenten elektromagnetischen Wellen der optischen Spektren mit je nach Frequenz völlig verschiedenen biologischen Effekten: Infrarotstrahlung wird über die Haut als Wärme wahrgenommen; sichtbares Licht über die Augen als Farbe; UV-Strahlung führt nicht zu einer Sinneswahrnehmung, ist aber in bestimmter Dosis für den Vitamin D-Stoffwechsel und den Knochenaufbau unerlässlich (Rachitis).

2.3 Intensität

Die maximalen Sendeleistungen der GSM-Basisstationen sind wie folgt festgelegt:

D-Netz	50 Watt (W) pro Frequenzkanal
E-Netz	20 Watt (W) pro Frequenzkanal

Diese maximal zulässigen Leistungen werden insbesondere in Ballungsgebieten mit hoher Zelldichte der Basisstationen und kleinen Zellradien oft nicht ausgenutzt; so sind Sendeleistungen von 5 W bis 15 W pro Frequenzkanal häufig anzutreffen. Typisch sind zwei (E-Netz) bis vier (D-Netz) Frequenzkanäle pro Antenne einer Basisstation.

Es handelt sich hierbei um die Ausgangsleistung der Senderendstufe, die auf die Antenne gegeben wird. Die häufig verwendeten Sektorantennen haben eine Richtwirkung, d.h. sie strahlen die Leistung bevorzugt in eine bestimmte Richtung ab, ähnlich wie ein Scheinwerfer, in Form einer so genannten Keule. Durch diese Bündelung der Strahlung ergibt sich in der Hauptstrahlrichtung eine höhere Strahlungsdichte als bei Rundum-Abstrahlung der gleichen Leistung. Der Effekt ist vergleichbar mit einer Scheinwerfer-Lampe, die mit dem Reflektor des Scheinwerfers in der Hauptstrahlrichtung ein helleres Licht erzeugt als ohne Reflektor. Die üblicherweise eingesetzten Sektorantennen haben gegenüber dem Rundumstrahler typischerweise einen Antennengewinn von ca. 17 Dezibel in Hauptstrahlrichtung; dies entspricht für die Strahlungsdichte einer Erhöhung um den Faktor 50. Eine Basisstation mit 20 W Sendeleistung erzeugt damit in Hauptstrahlrichtung der Sektorantenne die gleiche Strahlungsdichte, wie ein Sender mit $20 \times 50 \text{ W} = 1.000 \text{ W}$ Sendeleistung und Rundum-Abstrahlung.

Die Strahlungsdichte nimmt mit zunehmender Entfernung von der Sendeantenne ab, und zwar mit dem Quadrat der Entfernung (d. h. bei doppelter Entfernung verringert sich die Strahlungsdichte auf $\frac{1}{2} \times \frac{1}{2} = \frac{1}{4}$, bei dreifacher Entfernung auf ein Neuntel und bei zehnfacher Entfernung auf ein Hundertstel. Umgekehrt bedeutet dies, dass bei Annäherung an die Sendeantenne die Strahlungsdichte mit dem Abstandsquadrat zunimmt. Der Sicherheitsabstand, den die RegTP (Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post) aufgrund der Anlagedaten berechnet, beträgt i.d.R. ca. 3 bis 10 Meter. In der Entfernung dieses Sicherheitsabstandes werden die Grenzwerte der 26. BImSchV erreicht, die sich als rein thermische Vorsorgewerte verstehen (vgl. Kapitel 2.4, Abschnitt „Gesundheitliche Risiken“).

Rundfunk- und Fernsehsender verfügen i.d.R. über eine wesentlich höhere Sendeleistung als Mobilfunk-Basisstationen; 10.000 Watt (= 10 Kilowatt) oder auch 100 Kilowatt und mehr sind hier üblich. Dafür ist die räumliche Dichte dieser Sender bei weitem nicht so groß, wie die der Basisstationen des Mobilfunks; häufig befinden sie sich außerhalb von bebauten Gebieten. In der Stadt Düsseldorf gibt es beispielsweise über 300 Standorte von GSM-Sendeanlagen mit jeweils mehreren Basisstationen, häufig innerhalb von Wohngebieten.

Da die Strahlungsdichte proportional zur Sendeleistung ist, aber umgekehrt proportional zum Quadrat der Entfernung von der Sendeantenne, fällt der Faktor Entfernung für die Strahlungsdichte stärker ins Gewicht als der Faktor Sendeleistung. Der Vergleich einer Basisstation mit 10 Watt und eines Rundfunksenders mit 100.000 Watt soll dies veranschaulichen: Ein Sender mit 100.000 W erzeugt in 10 km Entfernung die gleiche Strahlungsdichte wie ein 10 Watt-Sender in 100 m Entfernung (Leistungsunterschied = $100.000 \text{ W} / 10 \text{ W} = 10.000$, Entfernungsunterschied = $10.000 \text{ m} / 100 \text{ m} = 100 = \sqrt{10.000}$). (Der zusätzliche, o.a. Einfluss des Antennengewinns bei Sektorantennen ist hierbei nicht einmal berücksichtigt.)

In ihrer näheren Umgebung verursachen daher die GSM-Mobilfunk-Basisstationen des D- und E-Netzes in der Regel die stärksten Strahlungsdichten aller Funkdienste. Die folgenden, typischen Spektraldiagramme veranschaulichen die Verhältnisse in der „Hochfrequenzlandschaft“ (Bild 2.1). D- und auch E-Netz dominieren diese Landschaft - nicht wegen der hohen Sendeleistungen, sondern wegen ihrer geringen Entfernung.

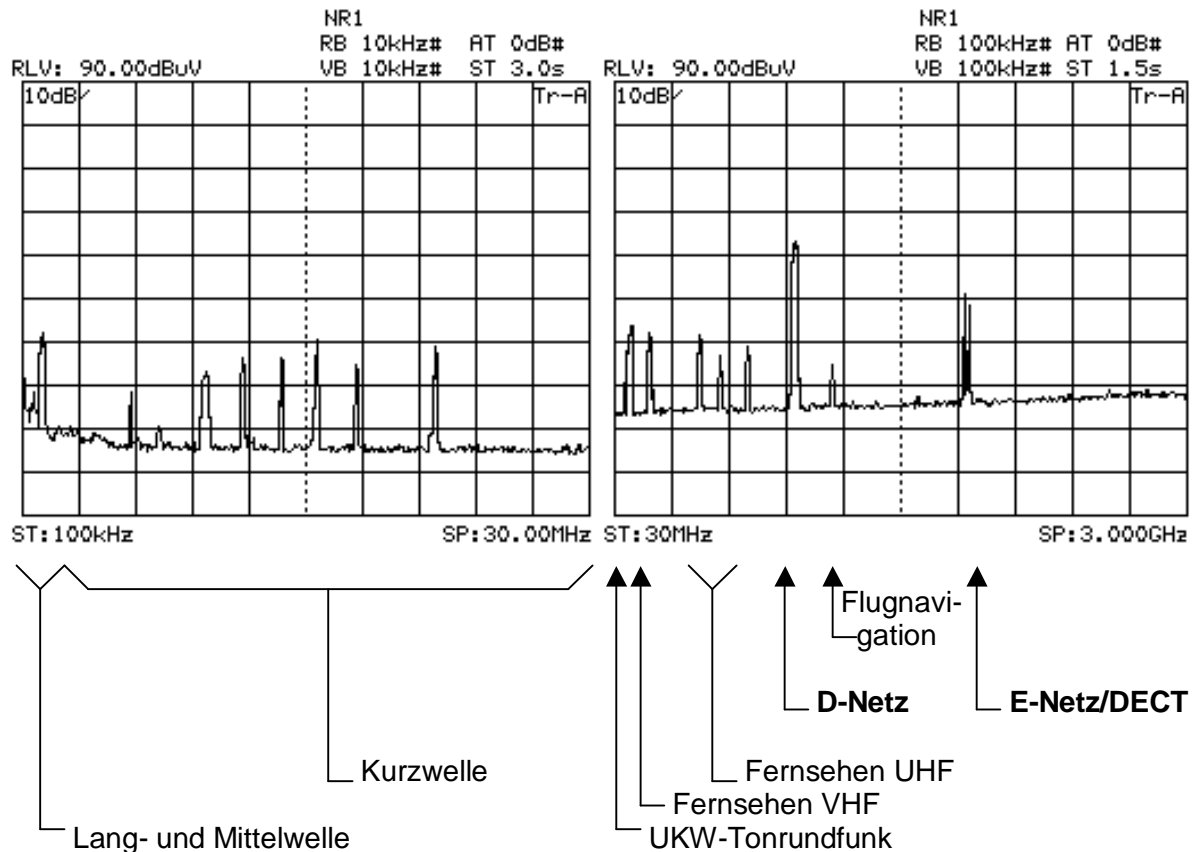


Bild 2.1: Typische „Hochfrequenzlandschaft“ in der Umgebung von GSM-Mobilfunk-Basisstationen, aufgenommen mit Spektrum-Analysator

Frequenzbereich 100 kHz - 30 MHz (links) und 30 MHz - 3 GHz (rechts)
(Antennenfaktor der verwendeten Messantenne = 47 dB)

Bezeichnungen im Spektraldiagramm

ST Start-Frequenz, niedrigste Frequenz im angezeigten Spektrum

SP Stop-Frequenz, höchste Frequenz im angezeigten Spektrum

RLV Reference Level in dB μ V/m, Obergrenze der Amplituden-Skala; für den absoluten Wert ist der Antennenfaktor der verwendeten Messantenne zu addieren

Die Frequenzachse ist linear skaliert; jede der 10 Rasterteilungen auf der Frequenzachse umfasst die gleiche Frequenzspanne; ihre Größe beträgt $(SP - ST) / 10$. Im o.a. Diagramm links entspricht jede Rasterteilung ca. 3 MHz (genau: $(30 - 0,1) \text{ MHz} / 10 = 2,99 \text{ MHz}$), im Diagramm rechts entspricht jede Rasterteilung ca. 300 MHz (genau: $(3000 - 30) \text{ MHz} / 10 = 297 \text{ MHz}$).

Die Darstellung muss in zwei Diagrammen erfolgen, da in nur einem Diagramm die Frequenzauflösung für den Lang- bis Kurzwellenbereich viel zu klein wäre.

Die Amplitudenachse ist **logarithmisch skaliert**. Jede Rasterteilung auf der Amplitudenachse entspricht **10 dB**, d.h. einer **Verzehnfachung** der Strahlungsdichte. Zwei Rasterteilungen entsprechen **20 dB**, d.h. dem **hundertfachen** Wert usw. Zur Ermittlung des absoluten Messwertes ist der Antennenfaktor der verwendeten Messantenne zu addieren.

Extrem deutlich wird der dominierende Einfluss der Entfernung bei den schnurlosen Telefonen gemäß dem digitalen DECT-Standard und den Wireless LANs. DECT-Schnurlostelefone und WLANs senden nur mit geringer Leistung, können aber im Gebäude vergleichbare Strahlungsdichten erzeugen, wie die Mobilfunk-Basisstationen, die sich außerhalb befinden. Stehen doch die DECT-Basisstation und der WLAN-Access-Point noch näher am Ruhe- oder Arbeitsplatz, in nur wenigen Metern oder gar Dezimetern Abstand. (Siehe [1], [2])

Ist innerhalb der Mobilfunk-Frequenzbereiche in ländlichen Gebieten typischerweise im wesentlichen die „Dorfstation“ vorherrschend (Bild 2.2), so ist im städtischen Bereich und insbesondere in Ballungsgebieten das gesamte zur Verfügung stehende Frequenzband fast lückenlos belegt (Bild 2.3). Dies gilt insbesondere für das D-Netz.

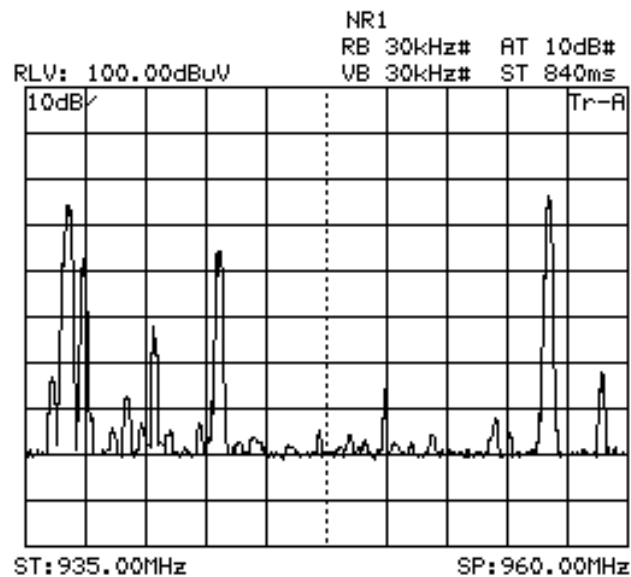


Bild 2.2: Typische Belegung des D-Netzes in ländlichen Regionen
(Antennenfaktor der verwendeten Messantenne = 23 dB)

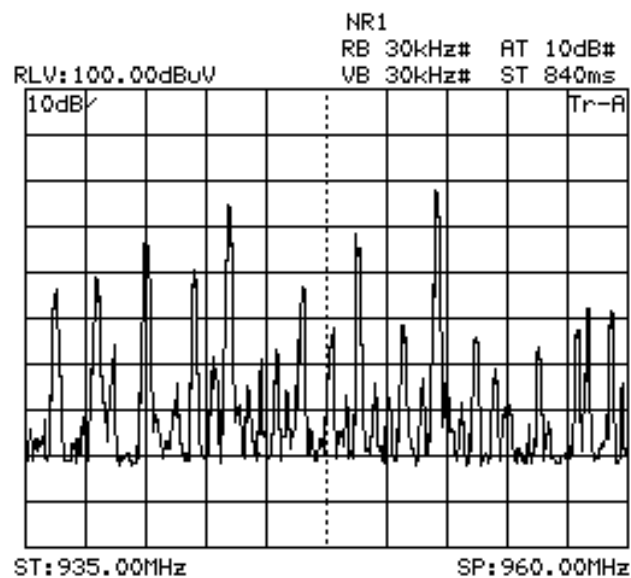


Bild 2.3: Typische Belegung des D-Netzes in städtischen und in Ballungsgebieten
(Antennenfaktor der verwendeten Messantenne = 23 dB)

So unterschiedlich die Situationen in den beiden Spektraldiagrammen (Bild 2.2 und 2.3) auf den ersten Blick - rein optisch - erscheinen, sind sie doch hinsichtlich ihrer Summen-Strahlungsdichten im D-Netz-Band durchaus ähnlich zu bewerten. Denn es gilt zu beachten, dass die Amplitudendarstellung im logarithmischen Maßstab erfolgt. Bei der linearen Addition fallen Werte, die 10 oder gar 20 Dezibel unter dem höchsten Wert liegen, für die Summenbildung kaum noch ins Gewicht. In der Praxis wird häufig die Summen-Strahlungsdichte im wesentlichen durch die drei bis fünf höchsten Einzelwerte bestimmt.

Ausführliche Informationen zur Ausbreitung von Mobilfunkwellen im unmittelbaren Nahbereich der Sendeantenne und in größerer Entfernung, zum Einfluss von Antennencharakteristik, Hauptkeule und Nebenzipfeln, zu Entfernungs- und Höheneinflüssen sind in [3] zu finden.

Hinweise und Praxisbeispiele zu Abschirmmaßnahmen gegen hochfrequente Immissionen sind in [4] und [5] dargestellt.

2.4 Modulationsart/Zugriffsverfahren (Zeitlicher Verlauf der Hüllkurve)

Die Mobilteile (Handys) verkehren mit einer Basisstation, die die Telefonate bzw. Daten weiterleitet. Mobilteile und Basisstationen arbeiten in eigens zugewiesenen, gepaarten Frequenzbändern im Frequenz-Duplex-Betrieb (**F**requenz **D**ivision **D**uplex = FDD). Im so genannten Uplink-Frequenzbereich senden die Mobilteile zu den Basisstationen, im Downlink-Frequenzbereich die Basisstationen zu den Mobilteilen (vgl. Kapitel 2.2, Frequenz).

Handys und Basisstationen arbeiten mit einer periodisch gepulsten Strahlung, da das zur Verfügung stehende Frequenzspektrum nicht nur – wie in der Funktechnik allgemein üblich – in Frequenzkanäle unterteilt wird, sondern zusätzlich jeder Frequenzkanal noch in acht so genannte Zeitschlitz aufgeteilt wird. Die Aufteilung des Frequenzspektrums in Frequenzkanäle wird als FDMA (**F**requenz **D**ivision **M**ultiple **A**ccess, Frequenzmultiplex) bezeichnet, die zusätzliche Aufteilung in Zeitschlitz als TDMA (**T**ime **D**ivision **M**ultiple **A**ccess, 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 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 Übertragungskanal bestimmen.

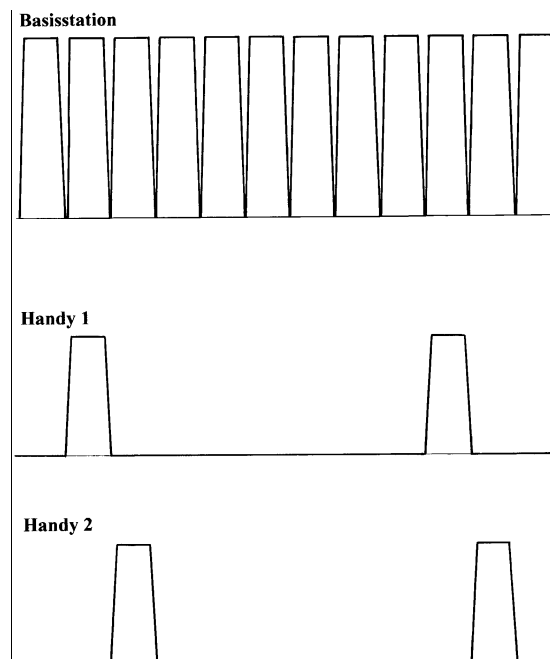


Bild 2.4: Zeitschlitz und Pulsung von Organisationskanal der GSM-Basisstation (oben) und Mobilteilen (= Handys) (unten)

Acht Zeitschlitzte bilden einen sogenannten GSM-Rahmen. D.h. jeder achte Zeitschlitz steht dem gleichen Benutzer zur Verfügung; die sieben Zeitschlitzte dazwischen werden anderen Benutzern zugeteilt. Die Länge eines GSM-Rahmens beträgt 4,616 Millisekunden [ms], die Pulsfrequenz eines GSM-Handys damit $1 / 4,616 \text{ ms} = 216,6 \text{ Hertz [Hz]}$ oder ca. 217 Hertz. Jedes Mobilteil nutzt also periodisch nur einen der acht Zeitschlitzte (siehe Bild 2.4 unten). Die Basisstation dagegen muss bis zu acht Handys pro Frequenzkanal bedienen und daher ggf. in allen acht Zeitschlitzten arbeiten (siehe Bild 2.4 oben). Die Dauer eines einzelnen Zeitschlitztes beträgt somit $4,616 / 8 \text{ ms} = 0,577 \text{ ms}$; die Pulsfrequenz eines voll ausgelasteten Frequenzkanals der Basisstation $8 \times 216,6 \text{ Hz} = 1.733,33 \text{ Hz}$.

Zur Steuerung des Datenverkehrs benötigt die Basisstation einige spezielle Kanäle; es steht nicht das gesamte Volumen allein für die Übertragung der Nutzsignale (Sprache, Daten) zur Verfügung. Außerdem muss das Handy „seine“, d.h. die lokal stärkste Basisstation jederzeit erkennen können. Dazu dient der Organisationskanal, sozusagen der Stamm-Frequenzkanal der Basisstation; er 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 Zeitschlitzten. 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 Zeitschlitzte des Organisationskanals zur Verwaltung und Steuerung des Funkverkehrs benötigt; die Inhalte der übrigen sechs können durch Teilnehmer mit Telefonaten oder Datenverkehr belegt werden.

Sind die Inhalte aller sechs Nutzsignal-Zeitschlitzte des Organisationskanals von Teilnehmern belegt, so kann die Basisstation auf einem zusätzlichen, lastabhängigen Verkehrskanal mit einer anderen Frequenz bis zu acht weitere Zeitschlitzte eröffnen. Ist auch dieser Verkehrskanal komplett belegt, so steht – je nach Konfiguration der Anlage – ggf. ein dritter oder auch vierter Frequenzkanal zur Verfügung. Alle zu einer Basisstation gehörenden Frequenzkanäle – also Organisationskanal und lastabhängige Verkehrskanäle – werden über die gleiche Antenne abgestrahlt. Pro Antenne einer Basisstation können somit bei vier Frequenzkanälen maximal bis zu $(4 \times 8) - 2 = 30$ Telefonate geführt werden. Die lastabhängigen Verkehrskanäle sind häufig leistungsgeregelt; in jedem Zeitschlitz wird individuell angepasst nur mit derjenigen Leistung gesendet, die zur Aufrechterhaltung einer stabilen Verbindung erforderlich ist (Power Control, Bild 2.5 unten).

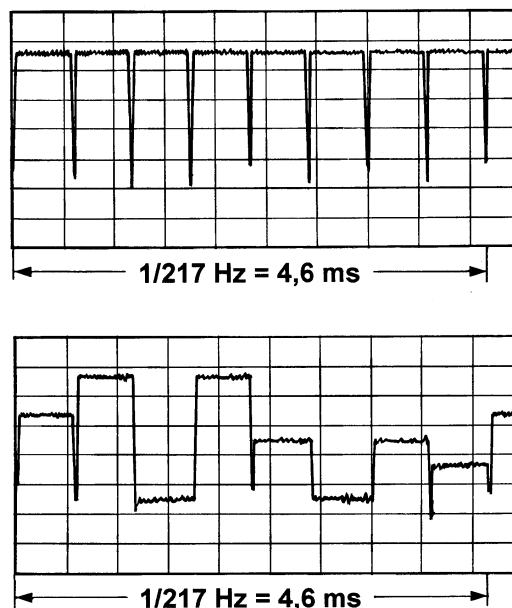


Bild 2.5: Zeitschlitzte und Pulsung einer GSM-Basisstation: Organisationskanal (oben) und lastabhängiger Verkehrskanal mit Power Control (unten)

Abschließend sei vermerkt, dass alle GSM-Ausbaustufen der sogenannten Mobilfunkgeneration 2.5G bzw. 2+G (HSCSD/HSMD, GPRS, EDGE) mit dem gleichen Zeitschlitzverfahren wie der ursprüngliche GSM-Standard arbeiten. Zur Erhöhung der Datenrate werden hier Zeitschlitz gebündelt, d.h. einem Teilnehmer steht nicht mehr nur ein Zeitschlitz zur Verfügung sondern mehrere. Am Grundprinzip der periodischen Pulsung und ihren biologischen Wirkungen ändert sich hierdurch nichts.

Auch die schnurlosen digitalen Telefone nach dem DECT-Standard arbeiten mit periodisch gepulster Strahlung; ihre Pulsfrequenz beträgt 100 Hertz. Die DECT-Basisstationen senden, ebenso wie die Organisationskanäle der GSM-Basisstationen, nonstop 24 Stunden am Tag. Bei DECT-Systemen ist daher im Nahbereich von vergleichbaren gesundheitlichen Risiken wie beim GSM-Mobilfunk auszugehen.

2.5 Tageszeit und Dauer der Exposition

Wie bereits bei der Beschreibung der Modulationsart ausgeführt (vgl. Kapitel 2.4), sendet der Organisationskanal der Basisstation permanent, d.h. 24 Stunden am Tag und in der Nacht, mit seiner vollen Leistung in allen acht Zeitschlitzten.

Bis zu maximal drei lastabhängige Verkehrskanäle auf anderen Frequenzen können je nach Größe der Anlage bedarfsweise hinzugeschaltet werden; sie sind häufig leistungsgeregelt (Power Control). Dies bedeutet, dass in Zeiten schwacher Auslastung der Basisstation, wenn nur der Organisationskanal sendet, (z.B. nachts) die abgestrahlte Leistung am geringsten ist.

Andererseits ist die periodische Pulsung auch am regelmäßigsten ausgeprägt, wenn der Organisationskanal alleine sendet und seine Strahlung nicht von den ständig schwankenden Emissionen der lastabhängigen Verkehrskanäle überlagert wird, was zu einem ebenfalls ständig schwankenden Summsignal der Strahlungsdichte führt.

Wie Bewohner in der Nähe von Basisstationen immer wieder berichten, treten ihre Schlafstörungen insbesondere nach Mitternacht bis in die frühen Morgenstunden auf. Hier kann ein Zusammenhang mit dem o.a. Effekt vermutet werden.

Generell lässt sich sagen, dass alle Stressfaktoren i.d.R. nachts intensiver wirken, wenn der Organismus auf Ruhe und Regeneration eingestellt ist, als tagsüber, wenn er auf Leistung und Stressbewältigung ausgerichtet ist.

2.6 Gesundheitliche Risiken

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 bzw. der Strahlungsdichte. Entsprechende Grenzwerte, die Schutz vor akuten Gesundheitsschädigungen durch Wärmeeffekte bieten (thermische Vorsorgewerte), sind in Deutschland in der 26. BImSchV (Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes / Verordnung über elektromagnetische Felder vom 16. Dezember 1996) festgelegt. International gelten hier die Grenzwerte von IRPA/ICNIRP (Internationale Strahlenschutzkommission), die identisch mit denen der 26. BImSchV sind.

Zusätzlich zu den thermischen Effekten wird über vielfältige nichtthermische Wirkungen berichtet, die bei wesentlich niedrigeren Feldstärken bzw. Strahlungsdichten auftreten, als sie in der 26. BImSchV festgelegt sind (zum Teil bei einem Zehntausendstel oder weniger der gemäß 26. BImSchV zulässigen Strahlungsdichte). Dabei hat sich auch herausgestellt, dass

periodisch gepulste Strahlung gegenüber ungepulster ein besonderes biologisches Risiko darstellt, da hier spezifische biologische Effekte auftreten, die bei ungepulster Strahlung nicht beobachtet werden.

Untersuchungen von Dr. Lebrecht von Klitzing an der Universitätsklinik Lübeck ergaben z.B., dass periodisch gepulste elektromagnetische Wellen die im EEG (Elektroenzephalogramm) messbaren Hirnströme bei einer Strahlungsdichte von $1.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ($= 1 \text{ mW}/\text{m}^2$) nachhaltig verändern können, d.h. die Wirkungen bleiben noch mehrere Stunden nach dem Abschalten des Feldes erhalten.

[von Klitzing 1992 und 1995]

Diese Wirkungen wurden in einer umfangreichen Untersuchung der Berliner Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAUA) bestätigt. Die Studie belegt auch, dass die EEG-Veränderungen nicht an beliebigen Punkten des Gehirns, sondern in speziellen Arealen auftreten, insbesondere im rechten Scheitel- und Hinterhauptbereich.

[Freude G., Ullsperger P., Eggert S., Ruppe I. : Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials; Bioelectromagnetics 19 (1998) S. 384-387 und Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials; European Journal of Applied Physiology 81 (2000) S. 18-27.]

Einflüsse periodisch gepulster Hochfrequenz auf die Schlaf- und Traumphasen des Menschen wurden an der Universitätsklinik Mainz festgestellt.

[Mann K., Röschke J.: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep; Neurophysiology 33 (1996) S. 41-47]

Im Tierversuch mit Mäusen wurde ein erhöhtes Krebswachstum beobachtet. Das Experiment fand im Auftrag der australischen Telekom statt, die eigentlich die Wirkungslosigkeit der gepulsten Strahlung hatte demonstrieren wollen.

[Repacholi M.H., Basten A., Gebiski V., Noonan D., Finnie J., Harris A.W.: Lymphomas in E μ -Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields; Radiation Research 147 (1997) S. 631-640]

Die Universität Wien, Institut für Umwelthygiene und das Amt der Kärntner Landesregierung, UA Umweltmedizin, Klagenfurt haben jüngst eine Studie über Auswirkungen von Mobilfunk-Basisstationen auf Gesundheit und Wohlbefinden durchgeführt, deren erste Ergebnisse jetzt bekannt gegeben wurden:

- „Die vorliegende Untersuchung ist die erste, die die Frage der Auswirkungen von Mobilfunk-Basisstationen empirisch behandelt.
- Im ländlichen Raum ist zumindest im näheren Umkreis von Basisstationen die Immission durch die Handy-Masten der dominierende Anteil an allen hochfrequenten Feldern.
- Die hochfrequenten Felder haben in den Wohnungen sehr niedrige Werte, die um mindestens den Faktor 600 unter den empfohlenen Grenzwerten der Internationalen Kommission zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung liegen.
- Der von der Salzburger Landessanitätsdirektion vorgeschlagene Vorsorgewert von $1 \text{ mW}/\text{m}^2$ wird allerdings in etwa einem Viertel der Haushalte im Nahbereich der Antennen gelegentlich überschritten.
- Die Wohnbevölkerung hat keine übertrieben hohen Befürchtungen, dass von Handy-Masten nachteilige gesundheitliche Auswirkungen ausgingen. 40% meinen zwar, dass es solche Auswirkungen gäbe, aber nur 6% befürchten starke Auswirkungen.

- Die meisten erhobenen Symptome und Beschwerden zeigen zwar einen Zusammenhang mit dem Ausmaß der Befürchtungen negativer gesundheitlicher Auswirkungen der Basisstation, nicht aber mit den erhobenen Feldstärken der hochfrequenten elektromagnetischen Felder.
- Davon weichen allerdings die Herz-Kreislauf-Beschwerden ab: Diese zeigen ausschließlich einen Zusammenhang mit den gemessenen Feldstärken und können nicht auf die Befürchtungen zurückgeführt werden.

Wir ziehen aus den bisher vorliegenden Befunden den Schluss, dass nachteilige gesundheitliche Auswirkungen einer langandauernden auch sehr niedrigen Exposition in der Größenordnung von einigen mW/m^2 nicht ausgeschlossen werden können und dass daher erstens größere Umsicht bei der Situierung der Antennenanlagen notwendig ist und dass zur weiteren Abklärung ähnliche Untersuchungen in größerem Maßstab durchgeführt werden sollten.“

[Universität Wien, Institut für Umwelthygiene und Amt der Kärntner Landesregierung, UA Umweltmedizin, Klagenfurt: Erste Ergebnisse der Studie über Auswirkungen von Mobilfunk-Basisstationen auf Gesundheit und Wohlbefinden, August 2001]

„Das ECOLOG-Institut, Hannover, hat im Auftrag der T-Mobil den derzeitigen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu möglichen Auswirkungen der Felder des Mobilfunks auf die Gesundheit ausgewertet und unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes bewertet. Die Ergebnisse der umfassenden Studie, an der Physiker, Mediziner und Biologen mitgearbeitet haben, liegen jetzt vor.

Ergebnisse

Es gibt mittlerweile eine Reihe sehr ernst zu nehmender Befunde aus Untersuchungen an stärker belasteten Bevölkerungsgruppen und aus Tierexperimenten, die auf eine krebserregende Wirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder, wie sie beim Mobilfunk benutzt werden, hindeuten. Experimente an Zellkulturen ergaben zudem deutliche Hinweise auf eine direkte genotoxische Wirkung dieser Felder, wie DNS-Brüche und Schäden an den Chromosomen, so dass auch eine krebserregende Wirkung nicht mehr ausgeschlossen werden kann. Auf ein kanzerogenes Potential der Mobilfunkfelder deuten auch die Befunde zur Beeinflussung der Zelltransformation, der Zellvermehrung und der Zellkommunikation. Nachgewiesen wurden ferner Störungen weiterer zellulärer Prozesse, z.B. der Protein-Synthese und der Steuerung der Enzyme.

In zahlreichen Versuchen an Menschen wie an Tieren wurden Beeinflussungen des Zentralen Nervensystems nachgewiesen, die von neurochemischen Effekten bis zu Veränderungen der Hirnpotentiale und Beeinträchtigungen bestimmter Gehirnfunktionen reichen. Letztere zeigen sich im Tierexperiment u.a. an Defiziten im Lernvermögen. Bei Versuchspersonen, die den Feldern von Mobiltelefonen ausgesetzt waren, wurden Beeinflussungen bestimmter kognitiver Funktionen nachgewiesen. Mögliche Risiken für das Gehirn ergeben sich auch durch die Erhöhung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Fremd- und potentielle Schadstoffe, die in mehreren Experimenten bei Tieren nachgewiesen wurden, die Mobilfunkfeldern ausgesetzt waren.

Die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler am ECOLOG-Institut fanden bei ihrer Recherche auch zahlreiche Hinweise auf Wirkungen der Felder des Mobilfunks auf das Hormon- und Immunsystem. So lösten diese Felder bei Versuchstieren eindeutige Stressreaktionen aus, die sich z.B. an einer erhöhten Ausschüttung von Stresshormonen zeigte. Im Tierexperiment konnte auch eine deutliche Verminderung der Konzentration des Hormons Melatonin im Blut exponierter Tiere festgestellt werden. Diese Befunde sind deshalb bedeutsam, weil Melatonin eine zentrale Steuerfunktion für das Hormonsystem und die biologischen Tagesrhythmen hat und es die Entwicklung bestimmter Tumoren hemmt.

Kommentar

Dr. Peter Neitzke, Koordinator der Arbeitsgruppe am ECOLOG-Institut:

„Im Mittelpunkt unserer Untersuchungen standen Wirkungen der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks auf Mensch und Tier, die bei so geringen Intensitäten auftreten, dass ein thermischer Effekt ausgeschlossen werden kann. Wir haben die entsprechenden Studien einer strengen Prüfung hinsichtlich der angewandten Methodik, der Vollständigkeit der Dokumentation und der Aussagekraft der Ergebnisse unterzogen. Dabei zeigte es sich, dass rund 80 Prozent der in wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlichten Untersuchungsergebnisse für die Beurteilung möglicher gesundheitlicher Risiken durch den Mobilfunk wenig hergeben. Der Rest, auf den sich unsere Bewertung stützt, ist jedoch so gut gemacht und in sich konsistent, dass wir die deutlichen Hinweise auf Gesundheitsrisiken ernst nehmen müssen. Um den Schutz der Bevölkerung vor den Auswirkungen der Felder des Mobilfunks zu verbessern, brauchen wir in Deutschland deutlich niedrigere Vorsorgewerte, wie sie bereits in einigen europäischen Nachbarländern gelten. ...“

[ECOLOG-Institut Pressemitteilung 3 vom 27. April 2001: Mobilfunk und Gesundheit - Studie im Auftrag der T-Mobil weist auf gesundheitliche Risiken hin.
www.ecolog-institut.de/pr03.htm]

[Unter <http://www.ecolog-institut.de/grenzwert.htm> erhalten Sie eine ausführliche Zusammenfassung der Studie: Hennies Kerstin, Neitzke H.-Peter, Voigt Hartmut: Mobilfunk und Gesundheit – Bewertung des wissenschaftlichen Erkenntnisstandes unter dem Gesichtspunkt des vorsorgenden Gesundheitsschutzes. Im Auftrag der T-Mobil. Hannover, April 2000.]

Die Diskussion um die biologischen Risiken der periodisch gepulsten Mobilfunkstrahlung hat mittlerweile zu einer Reihe von Reaktionen durch Regierungen und Behörden geführt. So erhielt z.B. jede Schule in Großbritannien von der Britischen Regierung die schriftliche Empfehlung, Schülern unter 16 Jahren vom Mobiltelefonieren mit dem Handy abzuraten. Außerdem sollten sich Schulen in der Nähe zu einer Mobilfunk-Basisstation mit dem verantwortlichen Betreiber in Verbindung setzen, um sicher zu stellen, dass die Hauptstrahlrichtung der Antennen nicht auf das Schulgelände fällt. [David Charter, The Times, 27 July 2000]

Die Anwendung des Vorsorgeprinzips ist auch zentraler Bestandteil der europäischen Umweltpolitik und im Grundlagenvvertrag der Europäischen Gemeinschaft von 1992 festgelegt. Im Vertrag von Amsterdam, in den die einschlägigen Bestimmungen des Vertrages von Maastricht 1992 übernommen wurden, heißt es (Artikel 174):

„(2) Die Umweltpolitik der Gemeinschaft zielt unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Gegebenheiten in den einzelnen Regionen der Gemeinschaft auf ein hohes Schutzniveau ab. Sie beruht auf den Grundsätzen der Vorsorge und Vorbeugung, auf dem Grundsatz, Umweltbeeinträchtigungen mit Vorrang an ihrem Ursprung zu bekämpfen, sowie auf dem Verursacherprinzip ...“

In der „Empfehlung des Rates vom 12. Juli 1999 zur Begrenzung der Exposition der Bevölkerung gegenüber elektromagnetischen Feldern“ wird explizit der Vorsorgegedanke hervorgehoben:

„Die Mitgliedstaaten sollten den Fortschritt der wissenschaftlichen Kenntnisse und der Technologie in bezug auf den Schutz vor nichtionisierender Strahlung unter Berücksichtigung des Vorsorgeaspekts beachten.“ [Der Rat der Europäischen Union 1999]

Die Umweltkommission der Deutschen Akademie für Kinderheilkunde und Jugendmedizin e.V. erklärt in einer Stellungnahme zum Betrieb von Basisstationen:

„Bei der Belastung durch Ausstrahlungen von Sendemasten ist zu bedenken:

- Es handelt sich um unfreiwillig eingegangene Risiken.
- Es handelt sich um dauerhafte Belastungen.
- Es sind sehr viele Menschen betroffen. Der Multiplikator ist entsprechend groß, so dass auch kleine Risiken stärker gewichtet werden müssen.

Demzufolge ist es im Sinne eines vorbeugenden Gesundheitsschutzes für die Bevölkerung unumgänglich, sich an dem Minimierungsprinzip bzw. dem ALARA-Prinzip (as low as reasonable achievable) zu orientieren.

Der bislang gültige Grenzwert (Verordnung über elektromagnetische Felder 26. BImSchV, gültig seit 1.1.97) orientiert sich an den thermischen Effekten von elektromagnetischen Feldern. Die bei viel niedrigeren Energiedichten auftretenden biologischen Effekte werden dabei nicht berücksichtigt. ...

Von der Installation von Basisstationen in der Nachbarschaft von Kindergärten, Schulen und Krankenhäusern ist dringend abzuraten, einerseits wegen der Ungewissheiten hinsichtlich der Gefährdung der Kinder und Jugendlichen, andererseits - und insbesondere - wegen der vorhersehbar entstehenden Befürchtungen und Diskussionen mit den Anrainern.

Für bestehende und künftige Mobilfunksendeanlagen sind alle technischen Möglichkeiten auszunutzen, um eine möglichst niedrige Exposition von Anrainern zu gewährleisten.“

[Stellungnahme der Umweltkommission der Deutschen Akademie für Kinderheilkunde und Jugendmedizin e.V. zu den Themen Mobilfunk und Elektromagnetische Felder; Umweltmed Forsch Prax 6 (1) S. 55-56]

3 UMTS, die 3. Generation des Mobilfunks

UMTS steht als Abkürzung für „**U**niversal **M**obile **T**elecommunications **S**ystem“, das europäische Mobilfunksystem der 3. Generation und Nachfolgesystem von GSM. Für eine längere Übergangszeit werden GSM bzw. seine Ausbaustufen der 2.5G/2+G Generation und UMTS nebeneinander existieren.

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

1. UMTS-FDD

Für Systeme mit Frequenzduplex (FDD = **F**requency **D**ivision **D**uplex), gepaarte Frequenzbereiche für Uplink und Downlink. Verwendet als Zugriffsverfahren W-CDMA; vorzugsweise bei mobilem Einsatz mit Zellenwechsel (Handover) bzw. "symmetrischen" Verbindungen, wie Sprachübertragung und 2-Wege-Datenübertragung. Das W-CDMA-Verfahren arbeitet vom Grundprinzip her un gepulst. Ob dies dann auch in der Praxis so ist, muss sich noch erweisen.

2. UMTS-TDD

Für Systeme mit Zeitduplex (TDD = **T**ime **D**ivision **D**uplex), ungepaarte Frequenzbereiche. Uplink und Downlink sind in unterschiedlichen Zeitschlitzten des gleichen Frequenzkanals realisiert. Verwendet als Zugriffsverfahren TD-CDMA, eine Kombination von TDMA und CDMA. Pro Frequenzkanal arbeitet **UMTS-TDD** – wie GSM – mit Zeitschlitzten und daher wie GSM periodisch gepulst. In jedem Zeitschlitz sind noch einmal mehrere Code-Kanäle untergebracht. Vorzugsweiser Einsatz für stationäre Anwendungen innerhalb einer Zelle, bei denen kein Handover erforderlich ist, wie Schnurlos-Telefonie bzw. für "asymmetrischen" Datenverkehr, wo in einer Richtung erheblich mehr Daten übertragen werden als in der anderen (z.B. Internet).

Die Entwicklungstrends gehen neben globaler Vernetzung und Kompatibilität in Richtung Breitband-Multimedia-Kommunikation. Dies bedeutet die mobile Übertragung von Sprache, Musik, Daten, Text, Graphik und Video mit hoher Geschwindigkeit und anspruchsvoller Qualität.

3.1 UMTS-FDD (Universal Mobile Telecommunications System - Frequency Division Duplex)

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

CDMA-Systeme arbeiten im laufenden Betrieb vom Grundprinzip her ungepulst. Es gibt hier keine Zeitslitze, wie bei TDMA-Systemen, sondern der Zugriff auf die Benutzerkanäle erfolgt auf Basis einer speziellen Codierung. Alle Teilnehmer einer Basisstation arbeiten „wild gemischt“ im gleichen, hier 5 Megahertz breiten Frequenzkanal (= Wideband), siehe Bild 3.1.

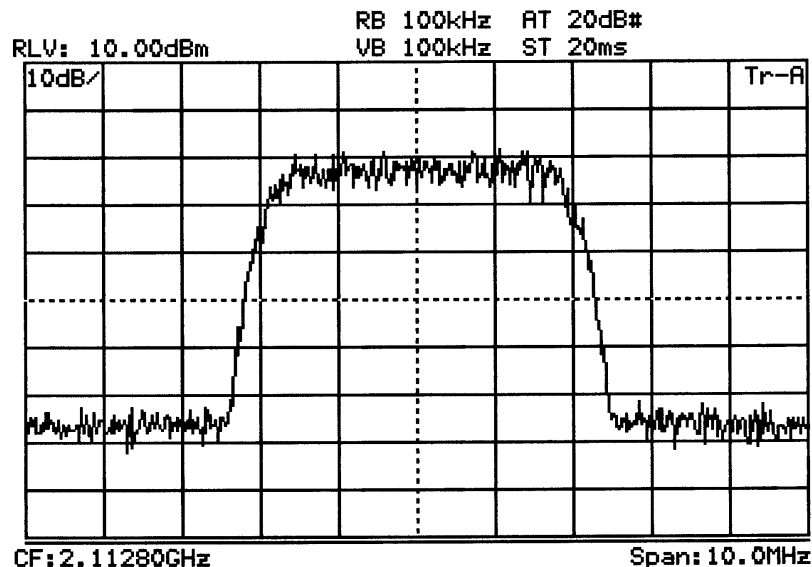


Bild 3.1: Spektrum des 5 MHz breiten W-CDMA-Signals

Span = Im Display dargestellte Frequenzspanne = 10,0 MHz

CF = Center Frequency = Frequenz in der Mitte des Displays

Der Empfänger filtert „sein“ Signal aus dem Signalgemisch, indem er genau die Anteile mit „seiner“ Codierung erkennt; alle anderen Codes sind für ihn wie Rauschen. Hierzu werden sogenannte Korrelationsempfänger verwendet.

Anstelle der Zeit oder einzelner Frequenzen teilen sich die Teilnehmer beim Zugriffsverfahren CDMA die zur Verfügung stehende Sendeleistung. D.h. wenn nur wenige Verbindungen über eine Basisstation laufen, steht für jeden Teilnehmer eine größere Maximalleistung zur Verfügung, als wenn viele Teilnehmer aktiv sind. Damit ist die Reichweite der Basisstation u.a. von der Anzahl aktiver Teilnehmer abhängig. Dieser Effekt wird als „Cell Breathing“ bezeichnet; die Zellengröße „atmet“ mit der Anzahl aktiver Teilnehmer. Für den flächendeckenden Ausbau des UMTS-Mobilfunksystems sind einige Zehntausend zusätzliche Basisstationen erforderlich; das Ausmaß der flächendeckenden Bestrahlung wächst weiter.

Durch die Überlagerung der Signale vieler Teilnehmer im selben Frequenzbereich hat das resultierende Gesamtsignal einen dem Rauschen ähnlichen Charakter. Detaillierte Analysen des Spektrums haben aber gezeigt, dass es hier deutliche periodische Strukturen mit 100 Hertz, 1,5 Kilohertz, 15 Kilohertz und ihren Oberwellen (ganzzahlige Vielfache) gibt.

Die maximale Sendeleistung der UMTS-Basisstationen beträgt ca. 20 Watt; die maximale Anzahl gleichzeitig aktiver Teilnehmer wird bei Sprachübertragung (Telefonie) mit ca. 40-50

erwartet. Bei Datenübertragung mit höherem Bandbreitebedarf verringert sich die Zahl der möglichen Teilnehmer.

Vorgesehene gepaarte Frequenzbereiche für UMTS-FDD, nur für lizenzierte Anwendungen des Mobilfunks:

1.920 - 1.980 MHz	Unterband
2.110 - 2.170 MHz	Oberband

Weiterführende Informationen zu UMTS sind in [6] zu finden.

3.2 UMTS-TDD (Universal Mobile Telecommunications System - Time Division Duplex)

Dieser UMTS-Standard arbeitet mit dem Zugriffsverfahren TD-CDMA (Time Division - Code Division Multiple Access, kombinierter Zeit- und Codemultiplex).

Bei TD-CDMA handelt es sich um eine Kombination von TDMA und CDMA. Ausgehend von einer TDMA-Grundstruktur werden pro Zeitschlitz zusätzliche Codes definiert (Bild 3.2), dafür erhalten die Frequenzkanäle eine höhere Bandbreite im Vergleich zu GSM.

TD-CDMA wurde somit aus einer Kreuzung des gepulsten TDMA-Verfahrens mit dem ungepulsten CDMA geboren und hat dabei die Eigenschaft der periodischen Pulsung vom TDMA-Elternteil übernommen. Diese Kreuzung vereinigt technisch gesehen Vorteile beider Verfahren; bio-logisch gesehen schlägt die "riskante" Eigenschaft der periodischen Pulsung von TDMA durch und macht das prinzipiell pulsfreie Funktionieren von CDMA zunichte.

Die biologischen Effekte der periodischen Pulsung mit ihren gesundheitlichen Risiken bleiben damit die gleichen wie bei GSM, lediglich die Bandbreite der Frequenzkanäle ist größer.

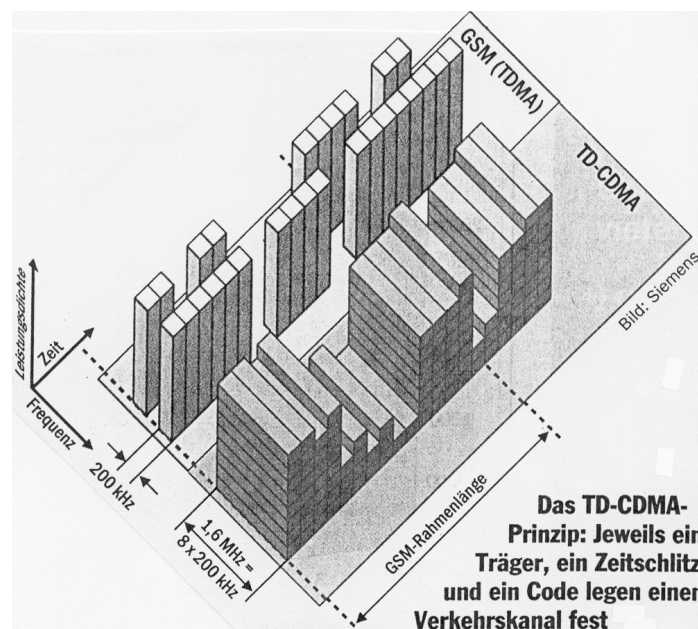


Bild 3.2: Grundprinzip von TD-CDMA (Bild: Siemens)

Vorgesehene ungepaarte Frequenzbereiche für UMTS-FDD:

1.900 - 1.920 MHz	Lizenzierte Anwendungen
2.010 - 2.025 MHz	Lizenzfreie (z.B. Schnurlostelefone) und lizenzierte Anwendungen

4 Literatur

- [1] Virnich, Martin H.: Schnurlos, aber nicht risikolos: Telefonieren mit dem „Home-Handy“; in: Baubiologie 1/1999; S. 25-28, www.baubiologie.net
- [2] Virnich, Martin H.: WLAN-Anwendungen für „HotSpots“, www.baubiologie.net
- [3] Virnich, Martin H.: Einflussfaktoren auf die Ausbreitung von Mobilfunkwellen; in: Energieversorgung & Mobilfunk, Tagungsband der 2. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 03.-04. April 2003 in München; Im Verlag des AnBUS e.V. Fürth; S. 107-126
- [4] Virnich, Martin H.; Moldan, Dietrich: Möglichkeiten und Vorgehensweise zur fachgerechten Hochfrequenz-Abschirmung; in: Energieversorgung & Mobilfunk, Tagungsband der 3. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 01.-02. April 2004 in Würzburg; Im Verlag des AnBUS e.V. Fürth; S. 95-114
- [5] Moldan, Dietrich; Virnich, Martin H.: Praktische Beispiele der Hochfrequenz-Abschirmung von Gebäuden; in: Energieversorgung & Mobilfunk, Tagungsband der 3. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 01.-02. April 2004 in Würzburg; Im Verlag des AnBUS e.V. Fürth; S. 115-137
- [6] Virnich, Martin H.: Charakteristika von UMTS-Signalen; in: Energieversorgung & Mobilfunk, Tagungsband der 3. EMV-Tagung des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen VDB e.V., 01.-02. April 2004 in Würzburg; Im Verlag des AnBUS e.V. Fürth; S. 43-59

5 Hinweise

Auf der Internetseite **www.baubiologie.net** des Berufsverbandes Deutscher Baubiologen (VDB e.V.) können weitere Informationen zum Thema Mobilfunk abgerufen werden.

Das Gesünder-Wohnen-Telefon, die kostenlose Hotline des VDB, steht bei Fragen unter der Nummer **0800 2001 007** montags bis freitags von 9 bis 18 Uhr zur Verfügung.

Copyright © Dr.-Ing. Martin H. Virnich
Ingenieurbüro für Baubiologie und Umweltmesstechnik
Dürerstraße 36
41063 Mönchengladbach

Tel.: 02161 - 89 65 74 · Fax: 02161 - 89 87 53
eMail: virnich.martin@t-online.de

Baubiologe IBN
Baubiologischer Messtechniker IBN
Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V.