



Neues aus der Wissenschaft

Die folgenden Beiträge beziehen sich auf neuere wissenschaftliche Originalarbeiten zur Wirkung hochfrequenter Felder des Mobilfunks. Die Auswahl der Publikationen ist vom Autor Prof. Roland Glaser selbst getroffen und durch sein subjektives Urteil der Relevanz bestimmt.

Roland Glaser

Spielt die Modulation hochfrequenter Felder eine Rolle beim biologischen Effekt? Diese wichtige und deshalb viel diskutierte Frage ist Inhalt eines ausführlichen Kommentars von zwei Wissenschaftlern, die ihre Kompetenz auf diesem Gebiet in vielen Publikationen unter Beweis gestellt haben: **Kenneth R. Foster** und **Michael H. Repacholi**.

Der Artikel ist aus Sicht der WHO geschrieben und konzentriert sich im Wesentlichen auf zwei Fragen: Müssen die Parameter von Modulationen bei der Definition von Grenzwerten berücksichtigt werden? Welche Forschungsempfehlungen sind auszusprechen, um über diesen Problembereich möglichst sicher, schnell und unter rationeller Verwendung von Forschungsmitteln Klarheit zu gewinnen? Beides in Hinblick auf die für 2006-2007 vorgesehene Risiko-Einschätzung der WHO.

Zunächst wird festgestellt, dass Mobiltelefone, außer vielleicht bei Induktion durch Ströme ihres Betriebssystems, trotz ihrer Pulsung keine niederfrequenten Felder übertragen. Eine Demodulation der mit 217

Hz variierenden Leistungs-Pulse wäre höchstens durch thermische Schwankung in diesem Frequenzbereich möglich. Auf einem solchen Mechanismus beruht bekanntlich das Mikrowellen-Hören, das bei starken Radar-Impulsen auftreten kann, nicht jedoch bei Feldern des Mobilfunks.

Die Vertreter der Auffassung, wonach modulierte HF-Felder eine spezifische nicht-thermische Wirkung haben, stützen sich im wesentlichen einerseits auf die Theorie von **H. Fröhlich** zu kohärenten Oszillationen, andererseits immer wieder auf die Publikation von S. M. Bawin et al. aus dem Jahre 1975 (Ann. N.Y. Acad. Sci. **24**,774). In dieser wird über ein sensibles 16 Hz-Fenster der Modulation von 147 MHz-Feldern berichtet, welches zu einer erhöhten Kalzium-Ausschüttung im Hirn von Hühnern führen soll. Obgleich es in dem vergangenen Viertel Jahrhundert niemandem gelungen ist, diese Befunde zu reproduzieren, obgleich niemand weiß, was dieser unspezifische Effekt, würde er denn existieren, überhaupt für eine physiologische Bedeutung haben könnte, wird diese Arbeit

immer wieder zitiert und unbeirrt als Kronzeuge für angebliche Fenstereffekte von Modulationsfrequenzen verwendet. Ähnlich ist die Situation bezüglich der Theorie kohärenter Oszillationen.

Die Arbeit von **R. K. Adair** (Biophys. J. **821**,147, 2002) welche darlegt, dass solche Resonanz-Effekte, bedingt durch die Dämpfung in wässrigen Systemen, nicht möglich sind, wird einfach negiert. Zusammenfassungen neuerer Arbeiten zu spezifischen Effekten modulierter HF-Felder des NRPB (National Radiation Protection Board) aus den Jahren 2001 und 2003 kamen zu dem Schluss, dass solche experimentell bisher nicht zweifelsfrei nachgewiesen seien.

Klarheit besteht natürlich über spezielle thermische Effekte extrem starker HF-Pulse, mit denen man in der militärischen Forschung experimentiert. Doch dies kann hier ausgeklammert werden. Trotzdem tauchen immer wieder Befunde über modulations-spezifische Effekte schwacher Felder auf, besonders in der russischen Literatur. Was ist zu tun? Was sollte die WHO empfehlen? Es ist ein Optimum zu finden zwischen der unbegrenzten Vielzahl von Variationsmöglichkeiten von Träger- und Modulations-Frequenzen (und -Arten), den begrenzten Forschungsmitteln, und letztlich den aus Gründen der Relevanz erforderlichen Replikationen experimenteller Befunde.

Leider fehlt jede theoretische Basis, oder wenigstens Arbeitshypothese, welche als Leitlinie für die Empfehlung relevanter Experimente dienen könnte. Letztlich sollte man sich zunächst ausschließlich auf die technisch weltweit eingesetzten Frequenzen und Modulationen (bzw. Pulsationen) beschränken, z.B. auf das Feld des GSM-Systems. Die Wahrscheinlichkeit, solche Spezifika zu finden, ist allerdings aufgrund bisheriger Erfahrungen sehr gering. (Foster, K. R. and Repacholi, M. H.: *Biological effects of radiofrequency fields: Does modulation matter?* Radiat. Res. **162**, 219-225. 2004).

Sind Schwangere durch Handy-Strahlung gefährdet?


Könnten die HF-Felder zu Missbildungen des Fötus führen? Dieser Frage ging eine japanische Arbeitsgruppe der Tohoku-Universität nach. Sie befeldeten Mäuse vom ersten Tag der Trächtigkeit bis zur Geburt und untersuchten die somit im Mutterleib exponierte Generation im Alter von 10 Wochen. Als Test galt eine Untersuchung von Extrakten aus Milz, Leber und

Gehirn auf Mutationen mit Hilfe einer im Institut etablierten Bestimmung des lacZ-Reporter-Gens. Die Befeldung der trächtigen Tiere erfolgte täglich 16 Stunden mit 2,45 GHz. Bei kontinuierlicher Befeldung betrug der SAR-Wert 4,25 W/kg und führte nach 16 Stunden zu einer Erhöhung der Rektal-Temperatur um 1,38°. Weitere Tiere wurden pro Minute nur 20, andere nur 10 Sekunden befeldet, was entsprechend zu 1,4 W/kg bzw. 0,71 W/kg Belastung führte. Es konnten in diesen Experimenten keine genetischen Veränderungen nachgewiesen werden.

Dabei ist natürlich noch zu berücksichtigen, dass bei der Kleinheit der Tiere die Embryonen den Feldern tatsächlich voll ausgesetzt waren, was beim Menschen, bedingt durch die geringe Eindringtiefe der Felder dieser Frequenzen, nicht der Fall wäre (Ono, T.; Saito, Y.; Komura, J.; Ikehata, H.; Tarusawa, Y.; Nojima, T.; Goukon, K.; Ohba, Y.; Wang, J. Q.; Fujiwara, O., and Sato, R: *Absence of mutagenic effects of 2.45 GHz radiofrequency exposure in spleen, liver, brain, and testis of lacZ-transgenic mouse exposed in utero.* Tohoku J. Exp. Med. **202**, 93-103.2004).

Ähnlich wie die japanische Gruppe um Ono et al., interessierte sich auch eine multidisziplinär zusammengesetzte Arbeitsgruppe der Universität Thessaloniki (Griechenland) für die Frage, ob die Felder des Mobilfunks **Einfluss auf die Entwicklung von Embryonen im Mutterleib** haben könnten. Sie halten es aus Gründen unterschiedlicher Körpergröße und Resonanzfrequenz jedoch für erforderlich, im Tierversuch mit Ratten Felder höherer Frequenzen einzusetzen, um die Resultate auf den Menschen beziehen zu können. Aus diesem Grund wurden die Tiere mit gepulsten 9,4 GHz-Feldern bestrahlt (20 μ s Pulslänge, 50 Hz Pulsfrequenz). Die Käfige mit den frei beweglichen Versuchstieren darin befanden sich in geschlossenen Räumen in der Mitte zwischen zwei 10 m voneinander entfernten Horn-Antennen mit parabolischen Reflektoren. Bei einer Leistungsfluss-Dichte von 5 μ W/cm² rechnete man mit SAR-Werten von 0,5 mW/kg.


Neben 20 Kontrolltieren, wurden 25 bzw. 26 trächtige weibliche Ratten einmal vom 1.-3., zum anderen vom 4.-7. Tag *post coitum* befeldet. Sofort nach der Geburt wurden die Jungtiere getötet, makroskopisch auf Missbildungen geprüft und die Nieren immunhis-



tologisch und biochemisch untersucht. Missbildungen konnten bei den Neugeborenen in keinem Fall nachgewiesen werden.


Eine semi-quantitative Kontrolle der Nieren-Schnitte auf einen speziellen Wachstumsfaktor BMP-4 (BMP = „bone morphogenic protein“) zeigte eine Erhöhung bei beiden Expositions-Bedingungen im Vergleich zur Kontrolle. Der gleiche Faktor konnte auch elektrophoretisch als signifikant erhöht gefunden werden. Die Autoren lassen offen, ob diese Änderung eine gesundheitsschädliche Relevanz hat und enthalten sich auch einer Theorie zu möglichen physiologischen Wirkungsmechanismen bzw. Angriffsorten der Felder.

Da bei diesen Frequenz nur mit eine Eindringtiefe von weniger als 5 mm zu rechnen ist, könne eine indirekte Wirkung der Felder durch eine neuro-humorale Aktivierung des befeldeten Gehirns nicht ausgeschlossen werden. Nur an einer Stelle der Publikation und nur im Zusammenhang mit den elektrophoretischen Untersuchungen ist von Blind-Analysen die Rede. Gerade im Falle „semi-quantitativer“ histologischer Untersuchungen wäre jedoch eine Doppel-Blind-Version sehr wichtig, davon ist jedoch leider nichts erwähnt. Auch mag man darüber streiten, ob lediglich aus Gründen unterschiedlicher Resonanzfrequenzen zwischen Mensch und Ratte aus 9,4 GHz-Versuchen auf Wirkungen im Frequenzbereich des Mobilfunks geschlossen werden kann (Pyrpasopoulou, A.; Kotoula, V.; Cheva, A.; Hytiogiou, P.; Nikolakaki, E.; Magras, I. N.; Xenos, T. D.; Tsioukakis, T. D., and Karkavelas, G.: *Bone morphogenetic protein expression in newborn rat kidneys after prenatal exposure to radiofrequency radiation. Bioelectromagnetics* **25**, 216-227. 2004).



Eine russische Arbeitsgruppe untersuchte **mögliche genetische Wirkungen ultrakurzer Mikrowellenpulse (8,8 GHz, 180 ns, 50 Hz-Pulsfolge)**. Als Testobjekt verwendeten sie die kernhaltigen roten Blutzellen des Krallenfrosches und als Methode den Nachweis von DNA-Bruchstücken mit Hilfe des alkalischen Comet-assay. Da es noch keine Vergleichsdaten in der Literatur über die Empfindlichkeit dieses Systems gibt, wurden Positiv-Kontrollen mit Gamma-Strahlen (bis 200 cGy) und chemischen Mutagenen (Ethylmethan-Sulfonat = EMS, 5 mM) durchgeführt. Auch erfolgten Temperaturkontrollen bei 20°, 25° und 30° C. Sowohl die ionisierende Strahlung (ab 50 cGy), als

auch EMS zeigten deutliche Effekte. Selbst die Temperaturerhöhung führte zu signifikanten Veränderungen im Comet-assay. Die Veränderungen, die in den Zellen durch 40-minütige Exposition mit den MW-Pulsen festgestellt werden konnten, waren jedoch gering und glichen den Kontrollen bei entsprechend erhöhten Temperaturen. Es konnte aus den gemessenen Temperatur-Veränderungen ein mittlerer SAR-Wert von 1,6 kW/kg errechnet werden, was einem SAR-Wert während der 180 ns selbst, von 300 MW/kg entsprach (Chemeris, N. K. Gapeyev, A. B.; Sirota, N. P. et al.: *DNA damage in frog erythrocytes after in vitro exposure to a high peak-power pulsed electromagnetic field. Mutation Res., Genetic Toxicol. Environ. Mutagen.* **558**, 27-34. 2004).



Die Gesundheitsbehörde der Niederlande sieht keinen Grund für die Annahme, Kinder seien einer erhöhten Gefahr durch Felder des Mobilfunks ausgesetzt.

Die Warnung vor Exposition von Kindern stammt aus einer Studie der englischen „Unabhängigen Expertengruppe zu Mobil-Telefonen“ (Independent Expert Group on Mobile Phones = IEGMP) aus dem Jahre 2000 und führte im Jahre 2002 zu einer entsprechenden Empfehlung des UK Department of Health. Dies löste weltweit Diskussionen aus sowie Forderungen nach staatlichen Maßnahmen. Worauf gründet sich eigentlich diese Feststellung? In dem entsprechenden Papier wird einmal postuliert, eine frühzeitige Exposition würde zu einer verlängerten Speicherung möglicher Effekte im Verlaufe des Lebens führen. Unabhängig davon, dass eine solche Speicherung bisher nicht nachgewiesen wurde, ist das Argument auch insignifikant, betrachtet man die zeitliche Relation der entsprechenden Periode zum gesamten Lebensalter. Zum anderen, so wird argumentiert, hätte das kindliche Gewebe, besonders das Gehirn, eine bis zu zweifach erhöhte Absorptionsfähigkeit für hochfrequente Felder. Sieht man genau hin, dann wird zur Fundierung dieses Postulats lediglich eine Publikation von C. Gabriel aus dem Jahre 2000 angegeben in welcher entsprechende Impedanzunterschiede aufgelistet sind. Obgleich sowohl eine erhöhte Leitfähigkeit des Gewebes im Gehirn in den ersten Lebensjahren als auch ein Anwachsen der Knochen-Dicke in den ersten 12 Lebensjahren eines Kindes unbestreitbar sind, so sind die in der Studie angeführten Zahlen („A

1 year old could absorb around double, a 5 year old around 60 %, more than an adult“) im einzelnen jedoch nicht nachvollziehbar. Im Grunde, so das „Electromagnetic Fields Committee“ der Niederlande, gibt es keinerlei wissenschaftliche Basis, welche die o.g. Empfehlung aus dem Jahre 2002 rechtfertigen würde (vanRongen, E.; Roubos, E. W.; vanAernsbergen, L. M. et al.: Mobile phones and childrens precaution warranted ? Bioelectromagnetics **25**, 142-144. 2004).


Zu dieser Publikation gibt es einen „Letter to the Editor“ vom Vorsitzenden des Russischen Nationalen Komitees für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung, Yuri Grigoriev, sowie eine Erwiderung darauf durch Eric van Rongen (Bioelectromagnetics **25**, 322-323, 2004).

Grigoriev wirft den Autoren der Publikation vor, sie seien rein physikalisch vorgegangen und hätten die weltweiten Erfahrungen von Physiologen, Psychologen, Morphologen und Pädiatern nicht berücksichtigt. Er verweist in diesem Zusammenhang auf eine Verlautbarung der WHO aus dem Jahre 2003: „Kinder haben eine besondere Verwundbarkeit. Im Verlaufe ihres Wachstums und ihrer Entwicklung gibt es ‘Empfindlichkeitsfenster’: Perioden, in denen ihre Organe und Systeme eine spezielle Empfindlichkeit gegenüber Einflüssen einiger Umweltbelastungen aufweisen“. Viele Jahre Erfahrungen mit chemischen Toxinen und ionisierender Strahlung würden diese Feststellung unterstreichen. Das Russische National-Komitee für den Schutz vor nichtionisierender Strahlung hätte deshalb im September 2001 eine Beschränkung der Nutzung von Mobiltelefonen durch Kinder empfohlen. Daraufhin sei eine entsprechende Regelung in die entsprechenden Standards des Gesundheitsministeriums der Russischen Föderation aufgenommen worden. Er wirft dem Komitee der Niederlande vor, mit ihrer Abweichung von diesem Prinzip den Weg für die Tendenz: „Jedem Kind ein Handy“ Vorschub zu leisten.


In seiner Erwiderung weist van Rongen diese Kritik zurück. Die angesprochenen physiologisch-medizinischen Aspekte seien in ihrer Empfehlung sehr wohl berücksichtigt worden, auch die zitierte Empfehlung der WHO. Es gäbe jedoch eben keinerlei wissenschaftliche Grundlage für die Annahme, dass sich nach dem zweiten Lebensjahr eines Kindes die Empfindlichkeit gegenüber hochfrequenter Strahlung noch irgendwie ändern könnte. Die Empfehlung des Steward Komitees folge lediglich einer allgemeinen Vorsorge-Über-

legung und basiere nicht auf wissenschaftlichen Daten. „Man kann sich eine ganze Anzahl von Argumenten ausdenken, weshalb Kinder weniger Gebrauch von Handys machen sollten als sie es jetzt tun, aber die Befürchtung eines Gesundheitseffektes entbehrt jeder vernünftigen wissenschaftlichen Grundlage“.

Eine umfangreiche epidemiologische Fall-Kontroll-Studie, basierend auf dem Dänischen Krebsregister, ging der Frage nach, ob eine **Korrelation besteht zwischen einem speziellen Krebs am Hörnerven und der Nutzung von Mobiltelefonen**. Diese langsam wachsende Krebsgeschwulst äußert sich vorwiegend durch einseitige Schwerhörigkeit, zumeist begleitet von Tinnitus-Beschwerden und tritt vorwiegend bei Personen ab dem 50. Lebensjahr auf, dreimal häufiger bei Frauen als bei Männern. Es ist eine relativ seltene Erkrankung, an der in einer Population von einer Million Menschen durchschnittlich 1-20 Personen pro Jahr erkranken. 141 Patienten wurden in der Studie erfasst, bei denen diese Krankheit zwischen dem 1. September 2000 und dem 31. August 2002 diagnostiziert wurde. Ihnen stellte man eine etwas größere Anzahl von Kontrollpersonen gegenüber, ausgewählt nach einem statistischen Verfahren aus dem Dänischen Zentralregister derart, dass Alter und Geschlecht der Population etwa gleichermaßen repräsentiert waren wie in dem Kreis der erkrankten Personen. Nach schriftlicher Korrespondenz wurden durch geschultes Personal die Gewohnheiten des Telefonierens (insbesondere: Dauer, Häufigkeit, Geräte-Typ) und andere relevante Umstände erfragt. Außerdem erfasste man umfangreiche sozio-ökonomische Daten. Kurz gesagt: es konnten weder Korrelationen des Auftretens noch der Größe oder der Rechts-Links-Verteilung dieser Krebsgeschwulst mit der Nutzung von Mobiltelefonen gefunden werden. Die Odds-Ratio des Auftretens dieser Erkrankung lag bei 0,90. Man könnte daraus schließen: Telefonieren schützt vor Krebs (!), aber die 95 % Grenze dieses Wertes liegt zwischen 0,51 und 1,57. Entsprechend dem begrenzten Umfang der in der Studie erfassten Anzahl von Fällen lässt sich berechnen, dass die Wahrscheinlichkeit des Nachweises einer möglichen positiven Korrelation zwischen Handy-Gebrauch und dem Auftreten dieser Art von Krebs bei 75 % liegt. Die Studie besticht durch Sorgfalt und Umfang der Auswertung (*Christen-*



sen, H. C.; Schuz, J.; Kosteljanetz, M.; Poulsen, H. S.; Thomsen, J., and Johansen, C.: *Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. Am. J. Epidemiol.* **159**, 277-283. 2004).




Können sich Wirkungen einer UV-Strahlung durch nicht-thermische Einflüsse der Felder eines Handys steigern?

Die Gruppe um Markkanen hatte bereits vor einigen Jahren berichtet, dass 50 Hz-Felder einer Flussdichte von 0,12 mT ausreichen, um UV-induzierte Effekte bei Hefe-Zellen zu verstärken (*Bioelectromagnetics* **22**, 345-350. 2001).

Jetzt ging es um kontinuierliche und amplitudenmodulierte (eigentlich mit 217 Hz gepulste) Felder mit SAR-Werten von 0,4 (872 MHz) und 3W/kg (872 MHz). Neben einem Wildtyp-Stamm der Hefen (*Saccharomyces cerevisiae*) wurde eine speziell temperatursensible Mutante verwendet, die ab 37° C spontan einen programmierten Zell-Abbau (Apoptose) einleitet. Zwei Fluoreszenz-Marker wurden eingesetzt, um Apoptose (Markierung von invertiertem Phosphatidylserin in der Membran) und unkontrollierten Zell-Tod (Nekrose – Eindringen von Propidium-Jodid in die Zelle) nachzuweisen. Die Bestrahlung der Zellen mit UV (2 Stunden, 250 J/m², 280-320 nm) erzeugte in jedem Fall eine Erhöhung der Anzahl apoptotischer Zellen. Bei einer nachfolgenden einstündigen Befeldung konnte dieser Effekt lediglich im Falle gepulster Felder bei der Intensitäten und nur bei der wärmeempfindlichen Mutante verstärkt werden. Die Autoren sehen darin einen „nicht-thermischen“ Effekt speziell der gepulsten Felder.

Einige Fragen bleiben allerdings offen: Warum verwendet man ausgerechnet einen thermosensiblen Stamm um „nicht-thermische“ Effekte nachzuweisen? Wie erklären sich die sehr unterschiedlichen Werte der UV-Beeinflussung in den verschiedenen Experimenten (die Mittelwerte schwanken zwischen etwa 6 - 10 %). Der Unterschied zwischen gepulsten und kontinuierlichen Feldern in Abb. 3 ergibt sich allein dadurch, dass im ersten Fall der Vergleichswert (UV) wesentlich geringer ist als im zweiten (wussten die Zellen, was ihnen bevorsteht?). Auch ist fraglich, ob eine Wasserkühlung unter der exponierten Petrischale eine lokale Erwärmung der Proben völlig ausschließt. Messungen dazu sind nicht angegeben. Leider werden diese Aspekte in der Arbeit nicht diskutiert (Mark-

kanen, A.; Penttinen, P.; Naarala, J.; Pelkonen, J.; Sihvonen, A. P., and Juutilainen, J.: *Apoptosis induced by ultraviolet radiation is enhanced by amplitude modulated radiofrequency radiation in mutant yeast cells. Bioelectromagnetics* **25**, 127-133.2004).



Können die Felder des Mobilfunks zur Trübung der Augenlinse führen?

Diese bereits mehrfach untersuchte Problematik wurde erneut von einer chinesischen Arbeitsgruppe aufgegriffen. Sie präparierten Epithelzellen aus dem Auge von Kaninchen, kultivierten diese und exponierten sie nach zwei Passagen im Verlaufe von 8 Stunden mit ungepulsten 2,45 GHz-Feldern bei Leistungsflussdichten von 0,1 bis 2 mW/cm². Ab 0,5 mW/cm² konnten signifikante Veränderungen der Zellproliferation und Protein-Expression festgestellt werden. Die biochemischen und zytologischen Methoden der Arbeit werden gründlich dargestellt, leider fehlen genaue Angaben über die Expositionsbedingungen. Auch werden die SAR-Werte nicht angegeben, sicherlich, weil deren Ermittlung schwierig war. Zumindestens einige Proben wurden in Wellplatten exponiert, Kunststoffplatten mit 96 zylindrischen Vertiefungen. Obgleich im Methoden-Teil von einer Temperatur-Kontrolle bei 25° und einer Temperatur-Erhöhung durch die Bestrahlung von weniger als 0,6° gesprochen wird, geben die Autoren in der Diskussion zu, dass die lokale Temperatur in den Proben während und nach der Befeldung im Grunde genommen nicht genau messbar war und die Effekte folglich auch thermisch erklärt werden könnten.

Leider haben die Autoren in den Abschnitten „Einleitung“ und „Diskussion“ nur Publikationen zitiert, in welchen Hochfrequenz-Effekte auf Zellen gefunden wurden. Untersuchungen mit gegenteiligen Ergebnissen wurden ignoriert. Auch wurde nicht erwähnt, dass bereits Steward-De Haan et al 1980 (IEEE MTT-S Int. Symp.341) und später Lu et al. (*Bioelectromagnetics*; **21**, 439. 2000) sowie Elder (*Bioelectromagnetics*; S148, 2003) nachgewiesen hatten, dass nur durch deutliche Erwärmung, weit über dem zugelassenen Grenzwert, das Linsenepithel des Auges geschädigt werden kann (Yao, K.; Wang, K. J.; Sun, Z. H.; Tan, J.; Xu, W.; Zhu, L. J., and Lu, D. Q.: *Low power microwave radiation inhibits the proliferation of rabbit lens epithelial cells by upregulating P27(Kip1) expression. Molecular Vision* **10**, 138-143. 2004).