

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

# Neues aus der Wissenschaft

**Die Epiphyse** (Pineal-Organ) als neurosekretorisches Organ, das durch seine **Melatonin**-Produktion als Zeitgeber fungiert, steht immer noch im Zentrum der Diskussionen um Feldwirkungen auf den Menschen, sei es im Niederfrequenz-, sei es im Hochfrequenzbereich. Seit langem ist bekannt, dass sich bei Mensch und Tier in diesem Organ **Kalzium-Ablagerungen** bilden, wobei man Hunderte von Mikrometer große maubbeerförmige Strukturen findet und kleine, nur 10-20 Mikrometer messende Kristalle ganz anderen Aussehens. Letztere wurden nun erstmalig intensiv kristallographisch untersucht und als oktagonale Einkristalle identifiziert, denen piezoelektrische Eigenschaften zugeschrieben werden können. Obgleich nicht vergleichbar mit den von Krischvink beschriebenen Magnetiten, wird in Bezug auf dessen Vorstellungen erwogen, **ob sich hier ein nichtthermischer Mechanismus der Wirkung hochfrequenter Felder verbergen könnte**. Diese Vorstellung scheint weit hergeholt, zumal es viele andere piezoelektrische Strukturen überall im Körper gibt und außerdem der Einfluss schwacher HF-Felder auf die Melatoninproduktion selbst noch sehr unwahrscheinlich ist. (Baconnier, S.; Lang, S. B.; Polomska, M.; Hilczer, B.;

Berkovic, G.; Meshulam, G.: Calcite microcrystals in the pineal gland of the human brain. First physical and chemical studies. *Bioelectromagnetics.*; 23, 488-495. 2002).

Hängt die Wahrscheinlichkeit an **Hautkrebs** (Melanom) zu erkranken von der Intensität der umgebenden UKW Sender ab? Örjan Hallberg und Olle Johansson, Dermatologen des Karolinska Instituts in Stockholm glauben einen solchen Bezug gefunden zu haben. **Sie korrelieren den Anstieg dieser Hautkrebs-Erkrankungen mit der Anzahl der umgebenden Sendemasten und sogar mit der Sendefrequenz**, wobei sie schließen, dass die früheren Ostblock-Länder mit niedrigeren UKW-Frequenzen (um 70 MHz) weniger Probleme hatten, da sie weiter ab von der Resonanzfrequenz des menschlichen Körpers lagen als in den Ländern, die mit 87-108 MHz senden. Allerdings verwundert, dass man als Antennen-Maß Arm-, Bein- und Rumpf-, nicht aber die gesamte Körper-Länge einsetzt, dann würde die Schlussfolgerung nämlich nicht stimmen. Da die meisten Sender horizontal polarisiert sind, sei die gefährlichste Position des Menschen die horizontale und die gefähr-

lichste Zeit die Nacht. Man empfiehlt dementsprechend sein Bett in Richtung geringster Feldstärke zu drehen. Der Abschnitt über Confounders ist sehr kurz gehalten und beinhaltet nur die Beachtung steigender Verkehrsdichte oder erhöhte Aufmerksamkeit bei der Diagnose von Melanomen in letzter Zeit. Der UV-Einfluss wird nur am Rande vermerkt. Auf die veränderten Urlaubs- und Reisegegewohnheiten, die sich bei den Nordländern sicher besonders nachhaltig auswirken, oder gar auf die steigende Anzahl der Solarien-Besuche wird nicht eingegangen. (Hallberg, O. and Johansson, O.: Melanoma incidence and frequency modulation (FM) broadcasting. *Arch. Environm. Health* 57, 32-40. 2002).

Nach ersten Untersuchungen zum **Einfluss hochfrequenter Felder des Mobilfunks auf EEG und Schlafverhalten** (Borbély et al. *Neurosci. Lett.* 1999, 275, 207; Huber et al. *Neuroreport* 2000, 11, 3321) präsentiert diese Schweizer Gruppe nun Untersuchungen, die auch Messungen der regionalen Gehirndurchblutung unter Einsatz der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) einschließt. Mit guter Signifikanz konnte gezeigt werden, dass

eine halbstündige linksseitige Exposition von Probanden mit GSM-ähnlichen gepulsten Feldern (900 MHz, 1W/kg), 10 Minuten danach eine Erhöhung der lokalen Durchblutung in der exponierten Gehirnhälfte erkennen lässt. Bei ungepulsten Feldern gleicher Intensität konnte dieser Effekt nicht gefunden werden. Daraus schließen die Autoren, dass der Effekt nicht auf eine Erwärmung zurückzuführen ist. (Ist der raum-zeitliche Temperaturgradient in beiden Befeldungsmoden tatsächlich gleich?) In einem weiteren Experiment wurden das Schlafverhalten bei gleichartiger Exposition untersucht. Eine Frequenzanalyse des EEG vor dem Einschlafen zeigte eine Erhöhung der Intensität im Alpha-Spektralbereich, der auch nur nach Exposition mit gepulsten Feldern auftrat. Obgleich die Schlaf-Phasen selbst durch die Befeldung nicht signifikant beeinflusst wurden, konnte bei gepulsten Feldern eine ähnliche EEG-Änderung auch im NREM-Schlaf gemessen werden, die sich sogar im Verlaufe der Nacht verstärkte. Die Autoren unterstreichen zwar, dass die gemessenen Effekte gering seien und keine Rückschlüsse auf gesundheitliche Folgen zuließen, doch dürften sie nicht unbeachtet bleiben. (Huber, R.; Treyer, V.; Borbely, A. A.; Schuderer, J.; Gottselig, J. M.; Landolt, H. P.; Werth, E.; Berthold, T.; Kuster, N.; Buck, A., and Achermann, P.: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J. Sleep Research*. 11, 289-295. 2002).

■ D.L. Hamblin und A.W. Wood aus der Swinburne University of Technology in Melbourne (Australien) analysierten in einer umfangreichen und sorgfältigen Arbeit den Stand der Forschung über den **Einfluss von Mobiltelefonen auf Hirnaktivität und Schlafparameter**. Im wesentlichen waren es nur 18 Publikationen, die zu diesem Thema seit 1995 bis zum Abschluss des Manuskriptes im Januar 2002 vorlagen. Niederfrequenz-Ef-

ekte wurden schon früher untersucht und solche Publikationen sind häufiger, doch es wird zu Recht betont, dass diese Resultate höchstens bezüglich derjenigen Magnetfelder relevant sind, die dem Betriebsstrom des Handys entstammen. Der Überblick über die Arbeiten zeigt wenig Konsistenz der Ergebnisse. Mitunter kann sogar von den gleichen Autoren in einer zweiten Versuchsserie das Ergebnis der ersten nicht reproduziert werden. Woran kann das liegen? Eine Reihe methodischer Begrenzungen wird diskutiert: Unterschiede in Frequenz und Intensität, sowie in der Antennen-Konfiguration; Unterschiede im Zeitschema der Messungen und der Exposition; Unterschiede in der statistischen Aufarbeitung der Resultate. Während einige Autoren Veränderung **während** der Exposition untersuchten, registrierten andere nur solche zu verschiedenen Zeiten **nach** der Exposition. Nicht immer erlaubt der Umfang der untersuchten Gruppe zuverlässige statistische Aussagen. Generell wird bemängelt, dass alle Messungen an jungen, gesunden Probanden durchgeführt wurden, und damit Aussagen über Kinder, Alte, Kranke nicht unmittelbar möglich sind. Immerhin scheint es, als ob Felder im maximalen Intensitätsbereich eines am Kopf gehaltenen Handy's vorübergehende Einflüsse insbesondere auf die Alpha-Wellen des EEG haben könnten. Wie ist das zu erklären? Sind es doch geringfügige Wärmeeffekte, welche durchblutungsfördernd wirken, oder müssen zelluläre Mechanismen, wie z.B. der immer wieder diskutierte (aber nie bestätigte!) Kalzium-Efflux dafür verantwortlich gemacht werden? Sind die Effekte vielleicht gar nicht auf die HF-Felder, sondern vielmehr auf die ca. 7.5 Mikrottesla, 8Hz Magnetfelder des Betriebsstromes des Handys zurückzuführen? (Die Autoren sehen hier Forschungsbedarf!) Auch weitere Methoden zum Nachweis der Hirnaktivität sollten hinzugezogen werden, wie z.B. die Positronen-Emissions-Tomographie (PET), welche Auskunft über Durchblutungsänderungen geben könnte

(siehe hierzu den Bericht über die Arbeit von Borbely et al. in der gleichen Wissenschafts-Übersicht!). Zusammenfassend kommen die Autoren zu dem Schluss, dass es zwar Hinweise auf Effekte gibt, die wissenschaftlich aufgeklärt werden müssten, die jedoch keinerlei Anlass zur Sorge über gesundheitliche Gefahren beinhalten würden. Die derzeit geltenden Grenzwerte seien vollkommen ausreichend, um die Bevölkerung vor möglichen Schäden zu schützen, zumal die derzeit publizierten epidemiologischen Befunde keinen Hinweis auf derartige Schäden ergäben. (Hamblin, D. L. ; Wood, A. W.: Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int. J. Radiat. Biol.* 78, 659-669. 2002).

■ Die Arbeitsgruppe um Roti Roti (Division of Radiation and Cancer Biology, Univ. St. Louis, USA) hat die Resultate einer umfangreichen Untersuchung publiziert über die **Wirkung von modulierten HF-Feldern des FDMA- und des CDMA-Systems auf die Entstehung von Mikrokernen in einer Zell-Linie aus Fibroblasten der Maus**. Im Gegensatz zu der als Positivkontrolle durchgeführten Exposition durch Gamma-Strahlen, bei welcher zwischen 0,3 und 1,2 Gy eine deutliche Dosis-Wirkungskurve ermittelt werden konnte, war durch die HF-Felder auch im Extremfall (5 W/kg, 24 Stunden) bei drei unabhängigen Versuchen weder in der exponentiellen Phase des Wachstums, noch in der Plateauphase ein signifikanter Einfluss zu finden. Die Autoren diskutieren die Divergenz dieses Ergebnisses mit den Befunden von Tice et al. (*Bioelectromagnetics*. 23,113-126.2002, vergl. „Neues aus der Wissenschaft“, im Heft 1, 2002 dieser Zeitschrift) die über eine 4-fache Erhöhung der Anzahl von Mikrokernen, allerdings bei doppeltem SAR-Wert berichteten. Vielleicht sind es Differenzen in der Empfindlichkeit der Zellen (Tice hatte Kulturen menschl. Lymphozyten verwendet), die sich auch in der Anzahl der Mikrokerne in

den Kontrollexperimenten ergaben, vielleicht treten bei erhöhten Feldstärken auch mikrothermische Effekte im Versuchsgefäß auf? In jedem Fall sollten diese Resultate weiter kritisch überprüft werden. (Bisht, K. S., Moros, E. G., Straube, W. L., Baty, J. D., and Roti, J. L. R.: The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T1/2 cells. *Radiat. Res.* 157, 506-515. 2002).

Eine finnische Arbeitsgruppe berichtet über eine **erhöhte Protein-Phosphorylierung und eine Expression von Hitzeschockproteinen (HSP) in Kulturen von menschlichen Endothel-Zellen, die mit 900 MHz GSM-Signalen in vitro befeldet wurden**. Die SAR-Werte in den zwei gleichzeitig exponierten Petrischalen liegen, so die thermischen Messungen des inhomogenen Feldes, zwischen 1,8 und 2,5 W/kg. Da die Petrischalen von unten durch ein Durchfluss-System gekühlt wurden und die Temperatur, entsprechend den Messungen vor und nach der Befeldung, in den Grenzen von 0,3 Grad blieb, halten die Autoren dies für nicht-thermischen Wirkungen. Leider werden die Ergebnisse, so die 3-fache Erhöhung der Gesamt-Phosphorylierung der Proteine, aber auch der Grad der verstärkten HSP-Bildung ohne statistische Wertung angegeben. (Die angezeigten Fehlerbalken in den Abbildungen 2D und 5 sprechen nicht für Signifikanz!) Qualitativ scheint das hsp27 in zwei verschiedenen Konformationen aufzutreten. In einem umfangreichen Schema wird in der Arbeit der Weg von diesen Veränderungen bis zur Krebsentstehung aufgezeichnet und dies als Folge diskutiert. Da nun aber die HSP-Bildung ein physiologisch normaler Schutzmechanismus ist, der bei verschiedenen Stress-Bedingungen der Zellen häufig auftritt, wundert man sich, warum Krebserkrankungen nicht häufiger sind (Leszczynski, D., Joenvaara, S., Reivinen, J., and Kuokka, R.: Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human en-

dothelial cells: Molecular mechanism for cancer- and blood-brain barrier-related effects. *Differentiation* 70, 120-129. 2002).

Im Jahre 1998 hatte eine Arbeitsgruppe der Universität Freiburg Untersuchungen publiziert, wonach **das Feld eines Handys bei Versuchspersonen zu einer Erhöhung des Blutdrucks** führen würde (Braune et al., *Lancet*.351, 1857.1998) und war wegen mangelnder Statistik kritisiert wurden (Reid et al., *Lancet*. 352, 576.1998). Inzwischen haben die Autoren die Untersuchungen unter strengeren Versuchsbedingungen wiederholt. So wurden im Einfach-Blind-Versuch bei 40 Probanden zwischen 20 und 34 Jahren Blutdruck, Herzfrequenz und kapillarer Blutfluss im Finger gemessen. Es konnte im Unterschied zu den früheren Experimenten kein Einfluss der Exposition durch die Felder eines am Kopf angebrachten Handys (GSM 900MHz, 0,5-0,84 W/kg) gefunden werden (Braune, S.; Riedel, A.; SchulteMonting, J., and Raczek, J.: Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiat. Res.* 158, 352-356. 2002).

Wird durch die **elektromagnetischen Felder eines Handys das Gehör beeinflusst?** Dieser Frage ging eine Arbeitsgruppe der medizinischen Fakultät der Inonu-Universität (Türkei) nach. Dabei wurden bei 30 Probanden mögliche Veränderungen der otoakustischen Emission nach 10 Minuten Telefonieren mit einem Panasonic GD 600 - Gerät gemessen, welches am rechten Ohr gehalten wurde. Es konnten keine Effekte gefunden werden. Leider ist keine Dosimetrie in der Arbeit enthalten, es wird lediglich vermerkt, dass diese Geräte 900 MHz im GSM-Modus arbeiten und Leistungen von 0,02 und 2 Watt besitzen (Ozturan, O., Erdem, T., Miman, M. C., Kalcioğlu, M. T., and Oncel, S.: Effects of the electromagnetic field of mobile telephones on hearing. *Acta Oto Laryngologica* 122, 289-293. 2002)

Gibt es „**nichtthermische**“ **Effekte hochfrequenter elektromagnetischer Felder**, Effekte also, die unterhalb eines Intensitäts-Niveaus auftreten welches nachweisbar zu einer **Erwärmung** führt? Robert K. Adair zitiert zwei Arbeiten aus den Jahren 1996, die feststellten, dass solche vermeintlichen Effekte sich als Messfehler erwiesen hätten, da nicht reproduzierbar. Soweit die Experimente. Sind aus biophysikalische Sicht solche Effekte überhaupt zu erwarten? Robert Adair, der sich bereits wiederholt kritisch mit Publikationen verschiedener Autoren zu diesem Thema auseinandergesetzt hat, analysiert dieses Problem systematisch. Im Mittelpunkt steht dabei natürlich das thermische Rauschen. Nur wenn ein spezieller Mechanismus gefunden wird, bei welchem die absorbierte Energie die thermische übertrifft, ist eine physiologische Primärreaktion möglich. Dabei ist im Bereich der HF-Felder die Wirkung des magnetischen Feldvektors, z.B. durch den Mechanismus der Radikal-Paar-Rekombination auszuschließen. Selbst bei einer Leistungsflussdichte von 10 mW/cm<sup>2</sup> ist das Magnetfeld noch um vier Zehnerpotenzen kleiner, als für diesen Mechanismus mindestens erforderlich. Der Autor kategorisiert denkbare elektrische Mechanismen in drei Klassen: A - Bewegung einer Ladung, B - Triggern von Dipolbewegungen, C- elektrostriktive Einwirkungen. Zur Kategorie A berechnet er Ladungs-Verschiebungen und molekulare Rotationen. Selbst unter Beachtung kohärenten Verhaltens würden die möglichen Energien viele Zehnerpotenzen unter dem des thermischen Rauschens liegen. Dabei wird jeweils eine Leistungsflussdichte von 10 mW/cm<sup>2</sup> vorausgesetzt, welchem ein E-Feld von 200 V/m entspricht. Der Kategorie B wird die Vorstellung zugeordnet, ein Feld könne den Dipol eines Transportproteins beeinflussen und somit auf Erregungsprozesse der Membran einwirken. Hiergegen sprechen nicht nur die Zeitkonstanten dieses Prozesses, sondern ebenfalls die fehlende Energie. Bei der Elektrostriktion, etwa einer Zelle (Klasse C) könnten bei Feldern dieser Dimension

zwar Effekte auftreten, diese würden jedoch wiederum durch die thermischen Membranschwingungen überdeckt. Resonanz-Effekte sind wegen der Viskositätseigenschaften der Zelle auszuschließen. Auch die Fröhlich-Theorie der kohärenten Erregung wird diskutiert und festgestellt, dass selbst ohne Berücksichtigung der viskosen Dämpfung dieser, zur Klasse B zählende Mechanismus, nicht funktionieren kann. Zum Schluss scheinen Experiment und Theorie dahingehend einig, dass es nichtthermische Reaktionen dieser Art nicht gibt und nicht geben kann. Allerdings verweist der Autor auf die Elektrostriktion als einzige Möglichkeit, die zumindestens energetisch nicht ganz auszuschließen sei. Es lohnt sich (trotz einiger Druckfehler in Formeln und Text), diese Gedankengänge nachzuvollziehen (Adair, R. K.: Biophysical limits on athermal effects of RF and microwave radiation. *Bioelectromagnetics*. 24, 39-48. 2003).

Durch direkte Ableitung von Nervenimpulsen mit Hilfe von Mikroelektroden konnte bei Zebra-Finken eine **Reaktion von Zellen des Groß- und Kleinhirns auf schwache GSM-Signale** gefunden werden (900 MHz, 217 Hz-Pulse, 0,1 mW/cm<sup>2</sup>, 0,05 W/kg). Zu diesem Zweck wurden die Vögel narkotisiert und in einem abgestimmten Wellenleiter exponiert. Die Mikroelektrode wurde durch ein 4 mm großes Loch in der Schädeldecke eingeführt. Von den 133 untersuchten Zellen zeigten unter Feldeinwirkung 52% eine Erhöhung der spontanen Impulsrate um das ca. 3,5-fache; 17% zeigten eine geringfügige Verminderung. Die Effekte folgten der Einschaltung des Feldes mit einer Latenzzeit von  $104 \pm 197$  Sekunden und klangen mit einer Zeitkonstante von  $308 \pm 68$ s nach Abschalten des Feldes wieder ab. Ungepulste Felder lösten keine Reaktion aus. Die Autoren sind sich der Möglichkeit von Artefakten bewusst, die u.a. dadurch auftreten könnten, dass die Messelektrode unter dem Einfluss des Feldes zu einer Reizelektrode werden könnte. Dies versucht man durch entsprechende Orien-

tierung im Feld zu verhindern. Eine Reproduktion der Ergebnisse mit unabhängigen Methoden erscheint erforderlich. (Beason, R. C. and Semm, P.: Responses of neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. *Neuroscience Letters*; 333, 175-178. 2002).

K.A. Hossmann und D.M. Hermann vom MPI für neurologische Forschung publizierten eine **Literaturübersicht über mögliche Wirkungen der Felder des Mobilfunks auf das Zentralnervensystem**. Es werden Ergebnisse von in-vitro-Ver suchen, von Tier-Experimenten, von Untersuchungen an Probanden und von epidemiologischen Erhebungen referiert und kritisch abgewogen. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass zwar manches noch näher untersucht werden sollte, manchen Phänomenen, wie z.B. den gefundenen, aber schwer reproduzierbaren Effekten der HF-Felder auf Schlaf und kognitive Funktionen sollte man weiter nachgehen, doch insgesamt gäbe es bisher nur eine geringe Wahrscheinlichkeit dafür, dass gepulste oder kontinuierliche Felder des Mobilfunks die funktionale und strukturelle Integrität des menschlichen Gehirnes beeinflussen könnten. Lediglich im Falle einer Erwärmung seien Effekte konsistent, dies jedoch läge außerhalb der normalen Exposition durch das Handy. Anders hingegen verhalte es sich mit den indirekten Effekten, so z.B. mit der steigenden Anzahl von Verkehrsunfällen, verursacht durch Telefonieren im Straßenverkehr. Dies sei weiter zu beachten und Möglichkeiten der Vermeidung solcher Unfälle intensiver zu erörtern (Hossmann, K. A. and Hermann, D. M.: Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 24, 49-62. 2003).

Nachdem die Gruppe um Lennard Hardell bereits vor drei Jahren aus dem schwedischen Krebsregister von 1994-1996 Fälle von **Hirntumoren der Dauer des Mobil-Telefonierens** gegenübergestellt hatte (Hardell, L. et al.: Intern. J.

*Oncology*, 15, 113-116. 1999) liegt jetzt eine neue Erhebung vor, welche die **Jahre 1997 bis 2000** überstreicht, ohne die alten Werte wieder zu verwenden. Es handelt sich um Daten von noch lebenden Patienten (insges. 588 im Alter zwischen 20 und 80 Jahren), die solchen einer gleichen Anzahl von Kontrollpersonen gegenübergestellt werden. In Fragebögen und teilweise nach telefonischer Rücksprache wurden berufliche und private Expositionen, Rauchergewohnheiten etc., aber auch Arten des Telefonierens (z.B. mittl. Dauer pro Tag, rechts- oder linkshändig, Geräteart) erfasst. Dabei ging es um analoge (18,7%), digitale (34,7%) und schnurlose Telefone (30,4%). In diesen drei Kategorien gemittelt, konnten, wie auch schon in der vorigen Erhebung, keine signifikanten Risiko-Erhöhungen gefunden werden. Anders allerdings, wenn die Korrelation zwischen der Seite beachtet wurde, an denen Krebskranke das Telefon gewöhnlich hielten, und dem Auftreten des Hirntumors. Beim Analog-Telefon ergab sich eine OR von 1,85 (95% Konfidenzintervall: 1,16-2,96), beim Digital-Telefon 1,59 (1,05-2,41) und beim schnurlosen Telefon 1,46 (0,96-2,23). Diese Werte sind nicht hoch und statistisch nicht sehr sicher, verdienen aber Beachtung. Allerdings ist zu bedenken, dass die absolute Anzahl der Fälle bei dieser Differenzierung drastisch sinkt (analog: 50/27, digital: 59/37, schnurlos: 55/37). Ob die Autoren mit Recht davon ausgehen können, dass die Patienten auch nach Diagnose und Therapie nicht wissen, in welchem Teil des Gehirns sich ihr Tumor befindet, sei dahingestellt. Jedenfalls erscheint die Objektivität der Aussage darüber, ob rechts oder links telefoniert wurde, nicht gesichert. Die Autoren sind der Meinung, dass statistische Fehler natürlich nicht auszuschließen seien, es scheine jedoch, als ob man die Ergebnisse dadurch nicht erklären könne. (Hardell, L.; Mild, K. H., and Carlberg, M.: Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int. J. Radiat. Biol.* 78, 931-936. 2002).