

Neues aus der Wissenschaft

Die folgenden Beiträge beziehen sich auf neuere wissenschaftliche 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.

Roland Glaser

Die Arbeitsgruppe um Tatia M. C. Lee aus Hong Kong hat bereits vor zwei Jahren eine Untersuchung zum Einfluss der Felder eines Handys auf die kognitiven Funktionen von jungen Studierenden publiziert (siehe: „Neues aus der Wissenschaft“ Heft 1, 2002). Damals wurde bei den Probanden eine statistisch nicht absicherbare leichte Verkürzung der Reaktionszeit beobachtet. Inzwischen liegt eine neue Arbeit dieser Gruppe vor, die über **Psycho-Tests (TMT- und SART-Test) an 78 Studierenden der Hong Kong Universität** unter dem Einfluss eines am Kopf befestigten Handys (Nokia 3210) im Doppel-Blind-Versuch berichtet (leider ohne nähere Dosis-Angaben). Die Versuche beinhalten eine Test-Zeit von 25 Minuten mit bzw. ohne Feld und nach 2 Minuten Pause einen neuen 25-minütigen Test ohne Feld in beiden Gruppen. In jedem Fall konnte eine Verkürzung der Reaktionszeit im zweiten Test in Relation zum ersten festgestellt werden, der sich leicht als Trainings-Effekt erklären lässt. Interessant ist jedoch, dass im Falle des SART-Tests dieser Trainings-Effekt zumindest bezüglich der verkürzten Reaktionszeit, nicht bezüglich der Anzahl richtiger Reaktionen, bei den zuvor befeldeten Probanden leicht signifikant höher ($p=0,019$) war als bei den Kontrollen. Die Autoren halten als Mechanismus eine thermisch bedingte Durchblutungs-Änderung für möglich (Lee, T. M. C.; Lam, P. K.; Yee, L. T. S., and Chan, C. C. H.: The effect of the duration of exposure to the electromag-

netic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* **14**, 1361-1364. 2003).


Ein Vorschlag von Quirino Balzano, mit Hilfe einer elektronischen Anordnung mögliche **nichtlineare Reaktionen biologischer Systeme auf Hochfrequenz-Felder**, und damit **Demodulationseffekte** nachzuweisen, hat auf ungewöhnliche Weise zu einer Diskussion in der Zeitschrift „Bioelectromagnetics“ geführt. Insgesamt erschienen 5 „Comments“ und „Comments on the Comments“ zu dieser Arbeit. Worum ging es eigentlich? Balzano sieht mit Recht das Problem einer möglichen Demodulation modulierter oder gepulster HF-Felder offen und ist der Meinung, dass prinzipiell genügend nicht-lineare Prozesse der Energieabsorption im biologischen System existieren, die dies ermöglichen könnten. Der Nachweis der aus der Demodulation resultierenden NF-Felder ist allerdings schwer, da die zu erwartenden geringen Effekte wahrscheinlich im Rauschen des Verstärkers untergehen. Er erinnert aber daran, dass im Falle einer nicht-linearen Absorption gleichzeitig ein Teil der Energie in Oberfrequenzen der eingestrahlten Felder frei wird. Eine 0,9 GHz-Einstrahlung müsste, würde sie nichtlinear absorbiert, eine schwache 1,8 GHz-Strahlung erzeugen. Diese könnte durch einen Resonator hoher Güte („high Q cavity“) berührungsfrei aufgenommen und ziemlich rauschfrei verstärkt werden. – Diese Publikation löste nun Dis-




chaft

kussionen in zwei Richtungen aus: Gibt es überhaupt solche Reaktionen? Ist der Vorschlag messtechnisch realistisch? Andrew Marino nimmt die Arbeit zum Anlass gleich gegen zwei Standpunkte vorzugehen, zum einen gegen den „Heiligen Gral der Experimentalisten“, – nämlich die Forderung nach Reproduzierbarkeit, und zum anderen gegen den schon von H. Schwan vertretenen „antitransductionistic viewpoint“, wonach energetische Einflüsse unterhalb des thermischen Rauschens (kT) nicht wirksam sein können. Am Beispiel eines Computer-Modells nach Lorenz zeigt er, dass chaotische Systeme auf kleinste Störungen reagieren, und dies unvorhersehbar und nicht reproduzierbar. Er gibt an, dass ein millionstel Teil von kT für eine solche Störung ausreicht. – Als Dritter im Bund meldet sich nun Robert Adair zu Wort. Er argumentiert nach beiden Seiten: Sicher, sehr kleine Störungen können ein chaotisches System unvorhersehbar auslenken. Doch dann kann das natürlich das kT des thermischen Rauschens erst recht! Als Beispiel eines gut bekannten nicht-linearen Systems nennt er die spannungsabhängigen Ionenkanäle des Nervs. Es sei ja bekannt, dass diese selbst rauschen. Um sich gegen dieses Rauschen abzusichern reagiere der Nerv, indem er den Mittelwert aus vielen 100 000 solcher Kanäle verwende. Durch die große Zahl sei das Rauschen dann weitgehend eliminiert. Im Übrigen würde das von Balzano vorgeschlagene Experiment nicht funktionieren. Für die Erfassung elementarer Nicht-Linearitäten sei es viel zu unempfindlich. Die Messempfindlichkeit des von ihm vorgeschlagenen Systems liege im Bereich thermischer Effekte. - Das letzte Wort hat Balzano selbst, der meint, er hätte ja gar nicht von Effekten unterhalb von kT gesprochen. Natürlich müsse ein chaotisches System dieser Empfindlichkeit zuerst auf das thermische Rauschen reagieren und nach den Gesetzen der Thermodynamik schnell in ein thermodynamisches Gleichgewicht, – dem Ende allen Lebens – übergehen. Im Übrigen hätte Adair wohl recht mit seiner Skepsis bezüglich der erforderlichen Empfindlich-

keit. Sein vorgeschlagenes System würde aber sicher ausreichen, Effekte kohärenten Verhaltens nachzuweisen. (Balzano, Q.: Proposed test for detection of nonlinear responses in biological preparations exposed to RF energy. *Bioelectromagnetics*. **23**, 278-287.2002; Marino, A. A. and Frilot, C.: *Bioelectromagnetics*. **24**, 70-72. 2003; Balzano, Q.: *Bioelectromagnetics*. **24**, 73. 2003; Adair, R. K.: *Bioelectromagnetics*. **24**, 440-441. 2003; Marino, A. A.: *Bioelectromagnetics*. **24**, 442. 2003; Balzano, Q.: *Bioelectromagnetics*. **24**, 443. 2003).



Wieder ist eine Arbeit zur Frage erschienen, ob die Felder des Mobilfunks Einfluss nehmen könnten auf die **genetischen Vorgänge in menschlichen Lymphozyten**. Zu diesem Zweck wurden Lymphozyten-Kulturen von 20 gesunden Probanden angelegt und in einer TEM-Zelle unter Bedingungen befeldet, die denen während des Telefonierens mit einem Handy gleichen. Einmal wurden die Proben wechselweise 44 Stunden lang alle drei Stunden für 6 Minuten mit 1,6 W/kg befeldet, in anderen Experimenten erfolgte die Befeldung mit nur 0,2 W/kg 1Stunde/Tag im Verlaufe von 3 Tagen. Außer unmodulierten wurden auch nach GSM-Norm gepulste 900 MHz-Felder verwendet. Bei der intensiveren Befeldung erfolgte eine rasche Erwärmung der Proben um 0,6 Grad, die in der Pause langsam wieder abfiel. Es konnten keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der Mikrokerne oder anderer Parameter des Zell-Zyklus ermittelt werden (Zeni, O.; Chiavoni, A. S.; Sannino, A.; Antolini, A.; Forigo, D.; Bersani, F., and Scarfi, M. R.: Lack of genotoxic effects (Micronucleus induction) in human lymphocytes exposed in vitro to 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Research* **160**, 152-158.2003).



Eine große Langzeit-Studie zur Krebsproblematik der Washington University St. Louis ist zum Abschluss

gekommen, und ihre Resultate liegen vor. Im Verlaufe von zwei Jahren wurden insgesamt 344 Ratten von der 6. Lebenswoche an beobachtet. Neben der Kontroll- und der scheinbefeldeten Gruppe gab es zwei Gruppen, die jeweils 4 Stunden/Tag an 5 Tagen der Woche Feldern von 835,62 MHz (FDMA), bzw. 847,74 MHz (CDMA) ausgesetzt wurden. Zur Exposition verwendete man Karussell-Anordnungen, bei denen sich die Tiere, gut belüftet, in röhrenförmigen Behältern befanden. Dadurch konnte die jeweilige Intensität der Strahlung mit $0,85 \pm 0,34$ W/kg im Gehirn gut bestimmt werden. Der mittlere SAR-Wert im Körper veränderte sich im Verlaufe der zwei Jahre etwas mit dem Wachstum der Tiere. Im Doppel-Blind-Verfahren wurden die Tiere regelmäßig gewogen und untersucht. In jeder der drei Gruppen mussten zwischen 9 und 12 Tieren wegen Krankheit vorzeitig getötet werden. Nach Ablauf des Experiments wurden alle Tiere getötet und sämtliche Organe umfangreichen anatomischen und histologischen Untersuchungen zugeführt. Ausführliche Tabellen in der Publikation geben über die Resultate Auskunft. Es konnten jedenfalls keinerlei statistische Abweichungen bei den befeldeten im Vergleich zu den scheinbefeldeten Tieren gefunden werden. Auch die Gesamtzahl der Tumore, die für die scheinbefeldeten Ratten 163, für die FDMA-Tiere 162 und für die CDMA-Tiere 148 betrug, zeigte keinen signifikanten Feldeffekt. Die Autoren fügen damit zu den in der Einführung genannten 21 Tier-Studien mit negativem Resultat eine weitere hinzu und erwähnen, dass die einzige Untersuchung mit positivem Ergebnis, die Repacholi-Studie, an genetisch veränderten Tieren durchgeführt wurde und deshalb mit den vorliegenden Untersuchungen an normalen Ratten nicht vergleichbar sei. Zudem konnte sie bekanntlich durch Wiederholung nicht bestätigt werden. Weiter unterstreichen die Autoren, dass die vorliegende Studie in ihrer Anlage den Normen entspricht, die vom „National Toxicology Program“ der USA zum Nachweis möglicher kanzerogener Wirkungen chemischer, biologischer und physikalischer Agenzien vorgeschrieben sind (LaRegina, M.; Moros, E. G.; Pickard, W. F.; Straube, W. L.; Baty, J., and Roti, J. L. R.: The effect of chronic exposure to 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA radiofrequency radiation on the incidence of spontaneous tumors in rats. *Radiation Research* **160**, 143-151. 2003).

Ornithin-Decarboxylase (ODC) ist ein Schlüsselenzym bei der Synthese von Proteinen (Sperminen), die für die DNA-Synthese und Zellteilung von Bedeutung sind. Deshalb kommt diesem Enzym und seiner möglichen Beeinflussung durch Hochfrequenzfelder eine besondere Bedeutung zu. Die Arbeitsgruppe um T.A. Litovitz hat in der Vergangenheit dazu Experimente durchgeführt (u.a.: Penafiel et al., *Bioelectromagnetics* **18**, 132-141. 1997) und Theorien entwickelt, deren Haltlosigkeit der Referent allerdings bereits vor Jahren dargestellt hat (Glaser, R., *Bioelectrochem. Bioenerg.*; **46**, 301-302. 1998). Nun liegt von einer Arbeitsgruppe der U.S. Food and Drug Administration die Publikation über Experimente vor, in welchen sie die von Penafiel et al. publizierten Daten überprüfen. Penafiel et al. hatten von einer Erhöhung der ODC Produktion in Mäuse-Fibroblasten (L929-Zellen) nach 8 Stunden Exposition mit einem typischen TDMA-Signal bereits bei 2,5 W/kg berichtet, einen Effekt, den sie als nicht-thermisch bezeichneten. Die Autoren der Wiederholungs-Arbeit haben sich bemüht, die experimentellen Bedingungen der Penafiel-Arbeit möglichst genau zu reproduzieren, allerdings offensichtliche Fehler, wie z. B. Feld-Inhomogenitäten zu vermeiden. Sie verwendeten den gleichen Zell-Stamm, die gleiche Expositionszeit, die gleichen Felder, variierten allerdings die Intensität zwischen <1 W/kg und 15 W/kg. Außerdem wurden Temperaturen variiert, um in den Kontrollen ähnliche Verhältnisse wie in den befeldeten Proben zu erzeugen. Die Ergebnisse von Penafiel et al. konnten in keinem Fall bestätigt werden. Erst ab 5 W/kg ließen sich Veränderungen erkennen, die allerdings nicht in einer Erhöhung, sondern in einer Verminderung der ODC-Produktion bestanden und eindeutig als Temperatur-Effekte identifiziert werden konnten (Desta, A. B.; Owen, R. D., and Cress, L. W.: Non-thermal exposure to radiofrequency energy from digital wireless phones does not affect ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Radiation Research.* ; **160**, 488-491.2003).

Ende des vergangenen Jahres erschien ein bemerkenswerter Supplement-Band der Zeitschrift „Bioelectromagnetics“. Anlass dafür war das **Jubiläum von**

Frau Eleanor Reed Adair - 50 Jahre im Dienst der Wissenschaft.

M. R. Murphy fasst den wissenschaftlichen Werdegang und die Verdienste von Frau Adair auf dem Gebiet der Thermoregulation und der thermischen Wirkungen von Hochfrequenzfeldern zusammen. Als Psycho-Physiologin begann sie 1960 im Labor von James T. Hardy, der die ersten Versuche zum Vergleich der Wärmeempfindung von Infrarot- und Hochfrequenz-Strahlung an Probanden durchführte. Dieses Arbeitsgebiet prägte die fernere wissenschaftliche Tätigkeit von Frau Adair, die diese Forschung seit 1996 im Dienste des Air Force Research Laboratory's (AFRL) durchführte. Das AFRL hat übrigens auch den vorliegenden Supplement-Band gesponsert. Frau Adair hat dieses Forschungsgebiet durch viele fundamentale wissenschaftliche Beiträge bereichert und diese Ergebnisse in jenen nationalen und internationalen Gremien zur Geltung gebracht, welche Verantwortung für die Festlegung von Grenzwerten tragen. Dies betrifft insbesondere das IEEE-Committee on Man and Radiation (COMAR), dessen langjähriges Mitglied Frau Adair ist. So war es auch dieses Komitee, welches den Anstoß und die wissenschaftliche Betreuung dieses Bandes übernahm. Ben Greenbaum, der Chef-Editor der Bioelectromagnetics schildert in einem einführenden Artikel den Entstehungs-Modus dieser Beiträge. Die Autoren, vorwiegend Mitglieder des Komitees, waren aufgefordert, die Literatur ihres Spezialgebietes gründlich und kritisch zu sichten (es sind Publikationen bis Anfang 2003 erfasst). Nach Diskussion in der Gruppe wurden die Beiträge zusätzlich dem üblichen Peer-Review-Verfahren der Zeitschrift unterworfen und entsprechend überarbeitet. Der Herausgeber wünscht sich eine anregende Diskussion und betont, dass seine Zeitschrift offen ist, diese in Form von „Comments“, „Brief Communications“, „Letters to the Editor“ oder auch Artikeln zu publizieren. Nach einem historischen Überblick über die Entwicklung von Grenzwerten und die Arbeit des International Committee on Electromagnetic Safety (ICES) von J. M. Osepchuk und R. C. Petersen folgen 10 Reviews zu verschiedenen Aspekten der Forschung über mögliche Einwirkungen von HF-Feldern. Der Band ist somit in hervorragender Weise geeignet, sich in diese Materie einzuarbeiten bzw. über den Stand der Forschung auf diesem Gebiet zu informieren (Murphy, M. R.: Dedication Eleanor Reed

Adair. Bioelectromagnetics. Suppl.6, S1-S2.2003; Greenbaum, B.: Editor's note Reviews of the effects of RF fields on various aspects of human health. ebenda: S3-S4).

Im oben genannten Supplementband befasst sich ein umfangreicher Artikel mit dem eigentlichen Arbeitsgebiet von Frau Adair, dem **thermoregulatorischen Verhalten des Menschen bei Exposition mit Hochfrequenzfeldern**. Zunächst wird die Thermoregulation selbst dargestellt, die Wärmebalance des Körpers, d.h. die Wärmeproduktion versus Wärmeübertragung und Wärmeableitung unter Berücksichtigung verschiedener Umweltfaktoren und pathologischer Situationen, wie z. B. Fieber. Untersuchungen zum Wärmeempfinden bei Hochfrequenz-Bestrahlung (HF) im Vergleich zur Infrarot-Strahlung (IR) wurden sowohl an menschlichen Probanden als auch im Tierversuch bereits seit etwa 50 Jahren durchgeführt. Vergleicht man die Wärmeempfindung als Funktion der Flächenleistungsdichte, auch Leistungs-Flussdichte genannt (in W/m^2) dieser beiden Strahlenarten, dann muss die Effektivität der absorbierten Energie, d.h. der lokale SAR-Wert (W/kg) im Bereich der Thermorezeptoren in Rechnung gestellt werden. Bezüglich der Hautsensoren nähert sich die Effektivität von HF-Feldern derjenigen der IR-Bestrahlung umso mehr an, je höher ihre Frequenz, und je stärker folglich ihre Absorption in den oberflächenschichten des Körpers erfolgt. Bei Experimenten mit Aktivierung von Thermorezeptoren im Körperinneren, eventuell sogar im Zentrum der körpereigenen Thermoregulation, dem Hypothalamus, hingegen sind solche HF-Felder effektiver, welche, besonders bei kleinen Versuchstieren, diesen Hirnbereich erreichen. Diese Aspekte werden in dem vorliegenden Review im Detail und mit Bezug auf viele Experimente diskutiert. Die Autoren stellen fest, dass bisher nur wenige Arbeiten die Wirkung kontinuierlicher Felder mit derjenigen gepulster auf die Thermoregulation systematisch verglichen haben. Diese wenigen Publikationen konnten allerdings keine Unterschiede feststellen. Gefahren könnten durch kurze Pulse hoher Leistungsdichte entstehen, hier ist noch Forschungsbedarf anzumelden. Ansonsten betrachten die Autoren die geltenden Grenzwerte für ausreichend, halten sogar in einem gewissen Bereich

darüber thermische Effekte für unwahrscheinlich (Adair, E. R. and Black, D. R.: Thermoregulatory responses to RF energy absorption. *Bioelectromagnetics Suppl. 6*, S17-S38. 2003).

Wie wirken hochfrequente Felder auf das Verhalten von Tieren, und sind kognitive Einflüsse auf den Menschen zu erwarten?

Diese Frage bildet den Inhalt einer weiteren Arbeit in dem Supplementband Nr.6 der „Bioelectromagnetics“. Geprägt durch die Interessenlage der Autoren steht auch hier das Problem der Thermoregulation im Vordergrund. Tatsächlich lassen sich die meisten Ergebnisse, die in Verhaltensexperimenten an Tieren gewonnen wurden, auf thermische Effekte zurückführen. Die Befindungen bei diesen Experimenten liegen zumeist im SAR-Bereich von 1-4 W/kg, einer Absorptions-Rate, die nachweislich zu, wenn auch geringen, Temperaturänderungen im Körper führt. Selbst diese Änderungen, so die Schlussfolgerung der Autoren, sind reversibel, stellen also keine gesundheitliche Beeinträchtigung der Versuchstiere dar. Auf die Beobachtungen an Probanden zur Beeinflussung von Schlaf, EEG etc. bei geringen Feldstärken wird in diesem Review leider nicht eingegangen. Die Befunde an Versuchen zur kognitiven Beeinflussung von Probanden durch Felder innerhalb der Grenzwerte werden wohl mit Recht als „very weak“ bezeichnet. Hier werden weitere Studien empfohlen, wobei allerdings auf die Einhaltung genauer Versuchsbedingungen zu achten ist (D'Andrea, J. A.; Adair, E. R., and deLorge, J. O.: Behavioral and cognitive effects of microwave exposure. *Bioelectromagnetics Suppl. 6*, S39-S62. 2003).

Mark J. Elwood fasst die Ergebnisse **epidemiologischer Untersuchungen über mögliche Krebserkrankungen durch hochfrequente Felder** zusammen. Dabei berücksichtigt er Studien über Anwohner in der Nähe von Sendetürmen, berufsmäßige Expositionen, insbesondere im militärischen Bereich, Erfassung von Erkrankungen der Kinder von berufsexponierten Personen sowie mögliche Einwirkungen von Nutzern von Mobiltelefonen. Die Literaturliste dieser Zusammenfassung umfasst mehr als 50 Arbeiten. In einer Graphik werden die Odds-Ratios von 17 Studien und ihre

95% Konfidenzintervalle dargestellt. Signifikante Änderung zeigt nur die polnische Militär Studie von Szmigielski (1996), deren methodische Probleme allerdings bereits mehrfach kritisiert wurden. Elwood kommt zu dem Schluss, dass die bisher vorliegenden Studien keine klaren Hinweise auf eine Krebsgefahr durch HF-Felder ergeben. Andererseits kann damit natürlich auch kein Beweis für die diesbezügliche Unbedenklichkeit geliefert werden. Weitere Untersuchungen sind abzuwarten, wobei die Leukämie bei Erwachsenen und Kindern sowie Hirntumoren besondere Beachtung verdienen (Elwood, J. M.: Epidemiological studies of radio frequency exposures and human cancer. *Bioelectromagnetics Suppl. 6*, S63-S73. 2003).

Drei Autoren wenden sich in diesem Supplement-Band dem Problemkreis: **Hochfrequente Felder: Krebs, Mutagenese und Genotoxizität** zu, wobei sie sowohl epidemiologische Erhebungen als auch Tierexperimente in die Betrachtungen einbeziehen. 130 Publikationen werden zitiert, die meisten davon bis ins technische Detail hinein analysiert und kritisch bewertet. Keine der epidemiologischen Arbeiten, so wird geschlossen, bietet eine zuverlässige statistische Wahrscheinlichkeit dafür, dass Hochfrequenzfelder irgend eine Form von Krebs im Menschen initiieren oder auch nur fördern könnten. Diese Feststellung würde für die untersuchten beruflich exponierten Personen ebenso gelten wie für Nutzer von Mobiltelefonen. Sollten weitere epidemiologische Studien in Angriff genommen werden, so ist eine vorherige Absicherung darüber erforderlich, ob das Material für eine statistisch relevante Aussage ausreicht. Im Anschluss an diese Feststellung werden die vielen Tierexperimente und schließlich auch die Untersuchungen an in-vitro Gewebe und Einzelzellen ausführlich diskutiert und kritisch evaluiert. Als besonders kritikwürdig erscheinen in den meisten Experimenten die verwendete Expositionsanlage und die entsprechende Dosimetrie. Genau betrachtet bilden auch diese Experimente keine Basis für die Annahme einer Krebsgefahr durch HF-Felder im Rahmen der gültigen Grenzwerte (Heynick, L. N.; Johnston, S. A., and Mason, P. A.: Radio frequency electromagnetic fields Cancer, mutagenesis, and genotoxicity. *Bioelectromagnetics Suppl. 6*, S74-S100. 2003).