

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.

Neues aus der Wissenschaft

Das **Lernvermögen** von Ratten wird nur dann durch **HF-Felder beeinflusst**, wenn es zu einer **deutlichen Erwärmung des Gehirns** kommt. Zu dieser Schlussfolgerung kam eine japanische Arbeitsgruppe nach Verhaltensexperimenten an 168 Sprague-Dawley-Ratten, die lernen mussten, ihr Futter im rechten oder linken Arm eines T-förmigen Labyrinthes zu finden. Die Tiere wurden täglich vor den Verhaltensexperimenten jeweils eine Stunde bei geringerer, bzw. 45 Minuten bei höherer Intensität befeldet. Die eine Versuchsserie dauerte 4 Tage eine andere 4 Wochen. Die Befeldung mit 1439 MHz Puls-Feldern entsprechend dem TDMA-Standard im Nah-Feld-Bereich erfolgte mit SAR-Werten im Gehirn von 7,5 bzw. 25 W/kg. Dies entsprach mittleren Ganzkörper-Belastungen von 1,7 bzw. 5,7 W/kg. Bei der höchsten Intensität des Feldes trat im Verlaufe der Befeldung eine Erhöhung der Körpertemperatur (peritoneal implantierter optoelektronischer Sensor) um 2 Grad auf. Nur in diesem Fall war eine signifikante Verminderung des Lern-Effektes zu verzeichnen. Die Befeldung mit der geringeren Intensität, die immer noch 4 fach über den japanischen Grenzwerten liegt, zeigte keinerlei Einwirkungen (Yamagu-

chi, H.; Tsurita, G.; Ueno, S.; Watanabe, S.; Wake, K.; Taki, M., and Nagawa, H.: 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetics* **24**, 223-230. 2003).

Als Modell für multiple Sklerose wurde das medizinisch gut untersuchte Krankheitsbild einer **experimentell induzierbaren allergischen Enzephalomyelitis** bei Ratten auf seinen möglichen Bezug zu einer **HF-Einwirkung** in zwei Versuchsserien mit je 32 weiblichen Ratten untersucht. Die Befeldung erfolgte in einem speziellen Expositions-System, welches erlaubte, das Gehirn der Tiere selektiv einem 900 MHz GSM-Signal auszusetzen (2 Stunden pro Tag im Verlaufe von 21 Tagen mit lokalem SAR-Wert im Gehirn von 1,5 bzw. 6 W/kg). In einem Versuch erfolgte die Befeldung der Tiere ohne vorherige Gewöhnung an die Expositionseinrichtung (Plexiglas-Rohr), im zweiten Versuch wurden die Tiere zuvor ohne Befeldung mehrere Tage an den Aufenthalt in dem Gerät gewöhnt. Die akute allergische Enzephalomyelitis wurde durch Injektion einer enzephalitogenen Substanz ausgelöst und der Verlauf der Erkrankung

durch tägliche Kontrollen verfolgt. Es konnte kein Einfluss der Befeldung auf die Schwere der Erkrankung oder deren zeitlichen Verlauf gefunden werden (Anane, R.; Geffard, M.; Taxile, M.; Bodet, D.; Billaudel, B.; Dulou, P. E., and Veyret, B.: Effects of GSM-900 microwaves on the experimental allergic encephalomyelitis (EAE) rat model of multiple sclerosis. *Bioelectromagnetics* **24**, 211-213. 2003).

Im Heft 1 (2002) referierten wir bereits die Publikation einer australischen Gruppe, die vergeblich nach **Wirkungen von GSM-Feldern auf die Blut-Hirn-Schranke** von Mäusen gesucht hatte. Inzwischen liegt eine weitere Publikation vor, in welcher diese Autoren über diesbezügliche Langzeit-Experimente berichten. Zu diesem Zweck befeldeten sie 138 Mäuse im Verlaufe von zwei Jahren. Fünf Tage pro Woche wurden die Tiere jeweils für eine Stunde in Plexiglas-Röhren gesetzt, die in einer Karussell-Anlage eine definierte Bestrahlung mit einem 217 Hz-modulierten 900-MHz Feld (GSM-Norm) erlaubten. Die mittleren Körper SAR-Werte lagen bei 0,25; 1,0; 2,0; bzw. 4,0 W/kg. Als Kontrollen wurden Schein-Befeldungen in der gleichen Anlage durchgeführt,

sowie Tiere verwendet, die während der gesamten Zeit im normalen Käfig verblieben. Als Positiv-Kontrolle setzte man wieder das Clostridium-Toxin ein, das als Öffner der Blut-Hirn-Schranke bekannt ist. Wie bereits in den ersten Versuchen, so konnten auch in diesem Langzeitexperiment in histologischen Gehirn-Schnitten nur ganz vereinzelt Gefäße gefunden werden, bei denen ein geringer Albumin-Durchtritt auftrat; bei den Kontrollen nicht anders als bei den befeldeten Tieren. Die Autoren kommen also zu dem Schluss, dass auch eine längere Exposition durch HF-Felder zu keiner signifikanten Änderung der Eigenschaften der Blut-Hirn-Schranke führt (Finnie, J. W.; Blumbergs, P. C.; Manavis, J.; Utteridge, T. D.; Gebiski, V.; Davies, R. A.; VernonRoberts, B., and Kuchel, T. R.: Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* **34**, 344-347. 2002).

In letzter Zeit sind mehrere Publikationen einer Arbeitsgruppe aus der Türkei zu **möglichen biologischen Wirkungen von HF-Feldern** erschienen. Nachdem in einer ersten Arbeit berichtet wurde, dass die Felder eines unter dem Glaskäfig angebrachten Handys keinen signifikanten Einfluss auf die Anzahl und Aktivität der Spermien von Mäusen hatten (Dasdag et al., *Urol. Res.* **27**, 219. 1999), wurden diese Versuche in einer ausführlicheren Studie wiederholt. Auch diesmal war allerdings die Anzahl der Tiere gering (8 Befeldungen, 8 Kontrollen) und auch die Expositionsbedingungen nicht exakter als zuvor. Die unter den Behältern liegenden Handys waren auf Sende-Betrieb eingestellt, ohne genaue Kenntnisse der tatsächlichen Sendeleistung. Man geht von einer mittleren Leistung von 250 mW aus und errechnete eine Ganzkörper-SAR von 0,52 W/kg, gibt aber zu, dass dies grobe Schätzungen sind. Der Versuch dauerte einen Monat mit täglich 20Minuten Befeldung. Es konnten keine statistisch absicherbaren Veränderun-

gen der morphologischen und physiologischen Parameter von Hoden und Spermien der Versuchstiere gemessen werden (Dasdag, S.; Akdag, M. Z.; Aksen, F.; Yilmaz, F.; Bashan, M.; Dasdag, M. M., and Celik, M. S.: Whole body exposure of rats to microwaves emitted from cell phone does not affect the testes. *Bioelectromagnetics* **24**,182-188. 2003).

Technisch ist es jetzt möglich, **Mikrowellen-Pulse** von bis zu **Nano-Sekunden Kürze** und mit Leistungen zu erzeugen, die maximale SAR-Werte bis GW/kg erbringen können. Über **biologische Wirkungen solcher Strahlungen** berichteten verschiedene russische Autoren. In den USA befasst sich u.a. die Gruppe um Pakhomov mit derartigen Untersuchungen (siehe auch „Neues aus der Wissenschaft“ im Heft 1, 2002). Als Modell-Objekt zur Erfassung möglicher Einflüsse auf Speicherprozesse im Gehirn werden in einer neueren Arbeit aus diesem Labor elektrophysiologische Messungen an überlebenden Hirnschnitten von Ratten vorgestellt. In drei Versuchsserien setzten die Autoren insgesamt 160 solcher Schnittpräparate jeweils im Verlaufe von 2 Minuten einem gepulsten 9,3 GHz-Feld aus. Die Puls-Länge variierte zwischen 0,5 und 2 Mikrosekunden, die Puls-Häufigkeit betrug 0,5 bis 10 Hz. Dadurch konnten maximale SAR-Werte im Gewebe von 500 MW/kg erzeugt werden. Die Temperaturerhöhung erreichte bei dieser Befeldung maximal 5,8 Grad. Vor, während oder nach der Befeldung wurden die Schnitte elektrisch gereizt und zwei elektrische Antworten gemessen: einmal der „population spike“ (PS), eine kurzzeitige Impulsantwort mehrerer Neuronen, wenige Millisekunden nach dem Reiz, und zum anderen eine darauf folgende „long term population“- Antwort (LTP), ein mehrere Millisekunden andauerndes Signal, das mit Speicherprozessen im Gehirn verknüpft sein soll. Lediglich PS wurde reversibel durch die Befeldung verändert, auf die LTP, also quasi auf Pro-

zesse, die mit dem Gedächtnis verbunden sein könnten, hatten die Felder keinen Einfluss. Diese Befunde stehen im Widerspruch zu russischen Daten, die in der Arbeit ausführlich diskutiert werden. Die Autoren sehen den Grund für diese Unterschiede möglicherweise darin, dass dort kürzere Pulse höherer Intensität verwendet wurden (Pakhomov, A. G.; Doyle, J.; Stuck, B. E., and Murphy, M. R.: Effects of high power microwave pulses on synaptic transmission and long term potentiation in hippocampus. *Bioelectromagnetics* **24**,174-181. 2003).

Gibt es **nicht-thermische Effekte beim therapeutischen Einsatz von Millimeterwellen**? Die Gruppe um Szabo et al. hatte bereits in einer vorausgegangenen Arbeit Messungen an Kulturen menschlicher Hautzellen (Keratinocyten) durchgeführt, ohne einen deutlichen Effekt zu finden (vergleiche: „Neues aus der Wissenschaft“ im Heft 1, 2002). Diese Untersuchungen wurden nun vertieft und auf andere Parameter ausgedehnt. Weder ein 61,2 GHz Feld (0,77 kW/kg) noch ein stärkeres Feld der Frequenz von 42,25 GHz (37 kW/kg) zeigten nach 30 Minuten Bestrahlung einen nicht-thermischen Einfluss, weder auf die Produktion eines die Chemotaxis der Zellen beeinflussenden Proteins (RANTES), noch auf die Expression des Hitzeschock-Proteins Hsp70 oder des Interferons IP10. Auch die Überlebensrate der Zellen, sowie deren Kommunikation untereinander durch Gap-junctions war nicht beeinflusst. Erst bei einer Erhöhung der Temperatur auf 43°C, konnten geringe Effekte gefunden werden. Leider wurde die nicht-signifikante Steigerung der Produktion von Interleukin IL-8 nicht noch einmal überprüft, von der in der vorausgegangene Publikation berichtet wurde. Die Autoren kommen also zu dem Schluss, dass die klinische Anwendung dieser Strahlung unbedenklich sei. Umgekehrt erklären sie allerdings auch nicht die immer wieder behaupteten therapeutischen Wirkungen derartiger Behandlungen (Szabo,

I.; Manning, M. R.; Radzlevsky, A. A.; Wetzel, M. A.; Rogers, T. J., and Ziskin, M. C.: Low power millimeter wave irradiation exerts no harmful effect on human keratinocytes in vitro. *Bioelectromagnetics* **24**, 165-173. 2003).

Vor wenigen Jahren erschien eine Arbeit von de Pomerai et al. (*Nature*. 2000; 405, 417-418) in welcher nachgewiesen wurde, dass bei einem transgenen Wurm (Nematode: *Caenorhabditis elegans*) bereits ein SAR-Wert von 1mW/kg (750 MHz) zu einer signifikanten Produktion eines Hitzeschockproteins (HSP) führt. Diese Expression wird normalerweise in der Zelle ausgelöst, wenn so genannte Hitzeschock-Trankriptions-Faktoren (HSF), die sich immer im Zytoplasma befinden aggregieren und in den Kern gelangen. Die Autoren führten deshalb Modell-Experimente durch, in welchen sie die Hitzeaggregation von Proteinen (Rinderserum-Albumin) als Funktion der Zeit und der Temperatur mit und ohne Befeldung (1 GHz, 0,5W) untersuchten. Dabei befand sich die Proteinlösung in Mikrowell-Platten im gleichen Brutschrank, einmal abgeschirmt, einmal in einer TEM-Zelle dem Feld ausgesetzt. tatsächlich konnte in kritischen Situationen (Exposition über längere Zeit bzw. bei höheren Temperaturen) eine signifikant stärkere Protein-Aggregation der befeldeten Proben gemessen werden. Untersuchungen an Rinder-Insulin, das zur Bildung von Fibrillen neigt, zeigt entsprechende Resultate. Die Autoren schätzen den SAR-Wert in den Proben mit 15-20 mW/kg im Mittel und 50 mW/kg im Maximum ab und betrachten die Resultate, unterstützt durch Temperaturmessungen als nicht-thermisch. Leider sind die genauen Daten zu Dosimetrie nicht in der Publikation enthalten. (de Pomerai, D. I.; Smith, B.; Dawe, A.; North, K.; Smith, T.; Archer, D. B.; Duce, I. R.; Jones, D., and Candido, P. M.: Microwave radiation can alter protein conformation without bulk heating. *FEBS Letters* **543**, 93-97. 2003).

Nachdem bereits im Frühjahr die Arbeitsgruppe um **Leif G. Salford** Resultate über **mögliche Wirkungen von Feldern des Mobilfunks auf die Bluthirnschranke** von Ratten in einem quasi Vorabdruck in die Debatte warf, sind die Ergebnisse jetzt offiziell publiziert. Die Autoren befeldeten einmalig für zwei Stunden jeweils 8 Ratten in einem GSM-Feld, wobei sie Intensitäten von 0.24, 2.4 und 24 W/m² und entsprechend einen mittleren SAR-Wert von 2, 20 und 200 mW/kg angeben. Nach 50 Tagen wurden die Tiere präpariert und die Gehirne qualitativ histologisch untersucht. Dosisabhängig, mit einer Sättigung ab 20 W/kg wurden signifikante neuronale Veränderungen im Cortex, Hippocampus und in Basalganglien festgestellt. Die Autoren sehen dies als Konsequenz der von ihnen früher publizierten Arbeit über angebliche Albumin-Durchlässigkeit der Bluthirnschranke nach Befeldung. Die bereits nach dem Vorabdruck von verschiedenen Seiten laut gewordene Kritik an dieser Arbeit ist in der vorliegenden Form nicht berücksichtigt. Diese Kritik beginnt bei der unklaren Dosimetrie (es wird zur näheren Erläuterung auf Publikationen von Martens et al. 1993 und eine Promotionsarbeit von Malmgren von 1998 verwiesen, die sich jedoch beide auf einen völlig anderen Frequenzbereich beziehen!) und Thermostatierung (lediglich thermostatisierter Raum und Löcher in den Kästen. Keine Temperaturkontrolle während der Befeldung), und endet bei der Auswertung. Warum wurde ein einmaliges Befeldungsereignis von zwei Stunden erst nach 50 Tagen untersucht? Falls es wirklich einen Effekt gegeben hätte, wäre er nach neurobiologischen Kenntnissen nach 50 Tagen repariert. Andererseits sind nach 50 Tagen eine Reihe anderer Einflüsse möglich, inklusive Infektionen, die nachweislich zu Veränderungen der Bluthirnschranke führen. Die Aussage „highly significant“ ist zwar durch ein $p < 0.002$ formal gestützt, doch abgesehen von der ge-

ringen Anzahl der Tiere pro Gruppe, beruht der Wert nicht auf objektiven Messparametern, sondern auf einem qualitativen Punktsystem histologischer Auswertung. Auch fehlt eine Positiv-Kontrolle, welche zeigen würde, wie stark im Vergleich dazu Veränderungen wären, die von Faktoren verursacht wurden, die nachweislich auf die Blut-Hirn-Schranke wirken (Kälteschock, Toxine etc.). Sowohl in der Einführung der Publikation, als auch in der Diskussion wird ein überzeugender Eindruck der Resultate dadurch vermittelt, dass nur den Autoren genehme Publikationen genannt werden. Die Arbeiten, welche bereits vergeblich versucht hatten, die ersten Salford-Resultate zu bestätigen, werden verschwiegen. Angeblich haben Töre et al. 2001 die Ergebnisse bestätigt, sieht man genauer hin, ist diese Mitteilung auf der Helsinki-Tagung der EBES, eher vorsichtig formuliert, die Autoren verzichteten anschließend auch auf eine Publikation dieser Resultate in einer wissenschaftlichen Zeitschrift. Er wäre gut, würde sich die Gruppe einmal einer Diskussion auf einer internationalen Konferenz stellen. (Salford, L. G.; Brun, A. E.; Eberhardt, J. L.; Malmgren, L., and Persson, B. R. R.: Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environ. Health Persp.*; **111**, 881-883. 2003).

Eine außerordentlich gründliche finnische Studie geht der Frage nach, ob eine **Exposition durch Felder des Mobilfunks** einen Einfluss auf die Entwicklung verschiedener Arten von **Hautkrebs** haben könnte, die durch **UV-Bestrahlung** entstehen. Diese Versuche wurden an Mäusen durchgeführt, deren Rücken man rasierte, um die UV-Wirkung zu erhöhen. Neben normalen Tieren verwendete man auch transgene Mäuse, denen man zusätzlich menschliche Gene eingebaut hatte, die zu einer 10-20-fachen Produktion von Ornithin-Decarboxylase (ODC) führten. Dieses Enzym wurde schon mehrfach mit Feld-

wirkungen in Zusammenhang gebracht. Es ist ein Schlüsselenzym bei der Biosynthese verschiedener Polyamine, deren Konzentration man in diesem Experiment ebenfalls ermittelte. Es wurden vier Gruppen zu jeweils 45-49 Tieren gebildet, etwa zur Hälfte aus normalen, zur Hälfte aus transgenen Mäusen bestehend. Neben einer Käfig-Kontrolle gab es eine scheinbefeldete Gruppe und zwei exponierte Gruppen, von denen die eine Feldern der amerikanischen DAMPS-Norm (849 MHz, 50 Hz-Pulse), die andere solchen der GSM-Norm (902,4 MHz, 217 Hz-Pulse) ausgesetzt wurden. Die Versuche dauerten 50 Wochen, wobei man die Tiere an 5 Tagen pro Woche jeweils für 1,5 Stunden pro Tag einem Ganzkörper SAR-Wert aussetzte, der im Zeitmittel 0,5 W/kg betrug, während der Puls-Dauer jedoch 1,5 W/kg (DAMPS) bzw. 4,0 W/kg (GSM). Die UV-Bestrahlung erfolgte an drei Tagen der Woche mit einem simulierten Sonnenspektrum und betrug das 1,2-fache der minimalen Erythem-Dosis des Menschen (240 J/m²). Während der Befeldung in einem rechtwinkligen Wellenleiter befanden sich die Tiere in einem länglichen Acryl-Käfig, der ihnen eine gewisse Beweglichkeit erlaubte, jedoch die Ausrichtung parallel zu den elektrischen Feldlinien garantierte. Gewichtskontrolle, biochemische Urin-Untersuchungen und Beobachtungen der bestrahlten Haut wurden täglich durchgeführt, eine genaue histologische Kontrolle erfolgte nach Abschluss des Experimentes. Lediglich die Differenz des Körpergewichtes aller anderen Tiere (auch der scheinbefeldeten) gegenüber den Käfig-Kontrollen war unterschiedlich und erklärt sich natürlich aus dem Stress-Verhalten der Mäuse im Expositions-Gefäß. Die biochemischen Tests zeigten keine Unterschiede der befeldeten Tiere, obgleich die transgenen Mäuse natürlich einen höheren ODC-Wert aufwiesen. Es konnte auch kein signifikanter Unterschied in der Kinetik des Krebswachstums zwischen befeldeten und unbefeldeten Tieren ermittelt werden. Ein

geringer Anstieg bei den befeldeten Mäusen ist entweder auf eine statistische Schwankung zurückzuführen, oder auf einen Effekt, der vernachlässigbar gering ist. Dieser Test entspricht dem üblichen Vorgehen zur Kontrolle kanzerogener Wirkungen verschiedener Chemikalien, wo er sich als sehr empfindlich erweist (Heikkinen, P., Kosma, V. M., Alhonen, L., Huuskonen, H., Komulainen, H., Kumlin, T., Laitinen, J. T., Lang, S., Puranen, L., and Juutilainen, J.: Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumourigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice. Intern. J. Radiat. Biol. **79**, 221-233. 2003).

Haben Felder des Mobilfunks Einfluss auf die Schwangerschaft?

Eine japanische Arbeitsgruppe untersuchte die Physiologie von Ratten am 10.-11. Tag der Trächtigkeit unter dem Einfluss von HF-Feldern (915 MHz), die zu einer geringen (0,6 mW/cm², entsprechend 0,4 W/kg, ca. 1° C) oder stärkeren (3 mW/cm², entsprechend 2 W/kg, ca. 3,5°C) Erhöhung der Körpertemperatur führten, und verglich diese mit Veränderungen bei Tieren, die sich in einem Wasserbad von 38° oder 40°C befanden und die gleichen Erwärmungen erfuhren. Die Durchblutung des Uterus, sowie die hormonale und immunologischen Veränderungen wurden gemessen. Nach 90 Minuten Exposition zeigten zwar die erwärmten Ratten, gleich ob im HF-Feld oder im Wärmebad, gewisse Veränderungen dieser Parameter, es konnten aber keine spezifischen Feldefekte gemessen werden. (Nakamura, H., Matsuzaki, I., Hatta, K., Nobukuni, Y., Kambayashi, Y., and Ogino, K.: Nonthermal effects of mobile-phone frequency microwaves on uteroplacental functions in pregnant rats. Reproductive Toxicology **17**, 321-326. 2003).

Untersuchungen über den Einfluss von Feldern des Mobiltelefons auf das EEG zeigten bisher, wenn überhaupt,

dann zumeist kaum signifikante und reproduzierbare Ergebnisse. Nach Meinung von Andrew Marino liegt das daran, dass die zumeist verwendete Fourier-Analyse der Messkurven mögliche dynamische Änderungen, die durch das Feld erzeugt sein könnten, herauswirft. Um in diesem nicht-linearen chaotischen System der EEG-Entstehung im Gehirn Einflüsse mit einer hohen Empfindlichkeit zu erfassen, müsse man vielmehr ein adäquates Auswertesystem verwenden, zum Beispiel die speziell für nicht-lineare Systeme entwickelte Zeitreihen-Analyse RQA (Recurrence Quantification Analysis). Diese nutzten die Autoren für die Untersuchung des EEG von Kaninchen, wobei die Befeldung wechselweise durch zwei, von einem Mobiltelefon (SPUT, Model SW203, 824-849 MHz, 600 mW) gesteuerte Antennen erfolgte, von denen die eine dicht über dem Kopf des Tieres, die andere in 3 m Entfernung dahinter angebracht war (leider fehlt eine genaue Dosimetrie!). Die in einer Plexiglas-Box fixierten Tiere wurden nach 5 Minuten Eingewöhnung, mit 5 Sekunden feldfreier Pause dazwischen, 60 mal jeweils 2 Sekunden lang befeldet, wechselweise mit der Nah- bzw. der Fern-Antenne. Als Positiv-Kontrolle diente eine rote Leuchtdiode. 100 ms nach Einschaltung des Feldes und bis 300 ms danach konnte bei 9 von 10 untersuchten Tieren bei Befeldung mit der kopfnahen Antenne eine mit p<0,05 signifikante Verminderung eines Messparameters ermittelt werden, der ein Maß für die chaotische Zufälligkeit der EEG-Signale ist. Die Felder aus der entfernteren Antenne hatten keinen Einfluss. Um eventuelle Artefakte auszuschließen wurde gezeigt, dass kein Einfluss des Feldes am Gehirn getöteter Tiere nachweisbar war. Auch spricht die Zeitverzögerung des Effektes gegen einen passiven Mechanismus (Marino, A. A., Nilssen, E., and Frilot, C.: Nonlinear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation. Bioelectromagnetics **24**, 39-346. 2003).