

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

■ Lassen sich verschiedenlich gefundene neuronale Einflüsse von HF-Feldern auch neurochemisch nachweisen? Um dies zu klären, pflanzte man Ratten operativ Dialyse-Vorrichtungen im Gehirn ein. Damit war es möglich, den mehr oder weniger schlafenden Tieren in stündlichen Abständen Proben zu entnehmen und die Konzentration des Neurotransmitters Acetylcholin (ACh) zu bestimmen. Zwar nicht nach 3,26W/kg, jedoch nach einstündiger Befeldung mit 6,52W/kg (2,45 GHz, CW) konnte eine mehrere Stunden andauernde signifikante Verminderung der ACh-Konzentration gemessen werden (72±9%). Eine 800MHz-Befeldung (0,325W/kg, amplitudenmoduliert mit 32Hz) führte nur dann zu einem signifikanten Effekt, wenn die Befeldung nicht nur eine, sondern 14 Stunden andauerte. Auch der Effekt nach 6,52 W/kg Befeldung wird als nicht-thermisch verursacht diskutiert, da er sein Maximum erst 5 Stunden nach der Befeldung erreicht. Geht man jedoch davon aus, dass es sich um die Folgereaktion irgend eines Primäreffektes handeln könnte, so erscheint dieser Schluss nicht zwingend (Testyler, G., Tonduli, L., Malabiau, R., and Debouzy, J. C.: Effects of exposure to low

level radiofrequency fields on acetylcholine release in hippocampus of freely moving rats. *Bioelectromagnetics* 23, 249-255. 2002).

■ Kein kausaler Zusammenhang zwischen Symptomen der Hypersensitivität und der Exposition durch Handy's - steht sinngemäß über einer neuen finnischen Studie. Die Untersuchung sollte zwei Fragen beantworten: 1. Gibt es Personen, die subjektive Symptome aufweisen, verursacht durch Felder von Handy's? 2. Können Menschen solche Felder spüren, vielleicht auch ohne unangenehme Empfindungen? Die Studie basiert auf Untersuchungen an 20 Personen (13 Frauen, 7 Männer im Alter von 37-67 Jahren), die angaben, bereits nach mindestens 30 Minuten mit subjektiven Symptomen auf Felder eines selbst benutzten, oder in der Nähe aktiven Handy's zu reagieren. In einem Holzhaus, weitab von anderen Feldquellen, ohne Stromanschluss wurde eine Anlage installiert, die es im Doppelblindversuch erlaubte, Probanden, in einem bequemen Sessel sitzend, durch rechts und links 1-5 cm vom Ohr angebrachte Telefone zu testen. Es wurden sowohl analoge (900MHz) als auch digitale GSM-Telefone

(900 und 1800MHz) verwendet (Spitzenleistung 2W, mittl. Leistung 0,25W). Neben Messungen von Blutdruck, Herz- und Atemfrequenz, wurden die Probanden aufgefordert, in den jeweils 30 Minuten dauernden Sitzungen auftretende Gefühle und Symptome zu melden. Obgleich die weiblichen Probanden 20 Symptom-Kategorien auflisteten, die männlichen nur 13, konnte keinerlei Korrelation zwischen diesen Befindlichkeiten und dem Vorhandensein oder nicht-Vorhandensein des Feldes gefunden werden. Die Experimente bejahen also weder die erste, noch die zweite der oben genannte Frage. (Hietanen, M., Hamalainen, A. M., and Husman, T.: Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: No causal link. *Bioelectromagnetics* 23, 264-270. 2002).

■ Der Nuklear-Faktor-kappa-B (NF- $\kappa$ B) könnte ein neuer Indikator für Feld-induzierte Signalketten in der Zelle sein. Dieser Transkriptionsfaktor liegt normalerweise im Zytoplasma der Zelle an einen Inhibitor (I- $\kappa$ B) gebunden vor. Ausgelöst durch verschiedene Stress-Faktoren dissoziiert diese Bindung, NF- $\kappa$ B wird frei,

gerät in den Kern und führt zu sequenzspezifischen Genaktivierungen. Vor einigen Jahren haben Mohan et al. bereits nachgewiesen, dass auch Gamma-Strahlen diese Aktivierung auslösen können (Radiat. Res. 140, 97-104. 1994). Goswami et al. (Radiat. Res. 151, 300-309. 1999) konnten diese Reaktion jedoch bei HF-Befeldung von Fibroblasten (847,74 MHz, 0,6 W/kg) nicht finden. Nun demonstriert die o.g. genannte Gruppe erstmalig eine dreifache Erhöhung der NF-6B-Aktivität als Folge von Mikrowellen-Pulsen. Zu diesem Zweck wurden Kulturen menschlicher Monozyten intensiven Pulsen von 8,2 GHz-Feldern ausgesetzt (50 W/m<sup>2</sup>, Pulsdauer 2,2 s, 1000 Pulse/s, mittlerer SAR-Wert - 10,8 ± 7,1 W/kg). Die Autoren halten dieses Ergebnis nicht für einen thermischen Effekt, denn Temperaturerhöhung führt zu einer Verminderung, nicht zu einer Erhöhung der NF-6B-Aktivität. Andererseits verweisen sie auf die hohe Energiedichte im Puls und schließen die Wirkung von Thermogradienten nicht aus. Im Hinblick auf die o.g. Arbeit mit Gamma-Strahlen könnten auch Sauerstoff-Radikale im Spiel sein (Natarajan, M., Vijayalaxmi, Szilagyi, M., Roldan, F. N., and Meltz, M. L.: NF-kappa B DNA-binding activity after high peak power pulsed microwave (8.2 GHz) exposure of normal human monocytes. *Bioelectromagnetics* 23, 271-277. 2002).

Nach Untersuchungen zu möglicher Expression von Hitzeschock-Proteinen (HSP) durch niederfrequente Magnetfelder (Miyakoshi et al.: *Life Sciences* 66, 1187-1196. 2000) widmete sich diese Gruppe in einer neuen Arbeit dem Hf-Bereich. In einer speziellen temperierten Hohlleiter-Anlage wurden stehende Wellen von 2,45 GHz (unmoduliert) erzeugt, die in Petrischalen von 14 cm Durchmesser zu radial unterschiedlichen Feld-Intensitäten führten. Die Expression von HSP-70 wurde in Kulturen menschlicher Glioma-Zellen (M054) gemessen. Eine Exposition von 5 W/kg ergab noch keine Resulta-

te. Erst ab SAR-Werten von über 20 W/kg (Expositionszeit 2 Stunden) war eine signifikante Erhöhung der Konzentration von Hitzeschockprotein in den Zellen nachweisbar. Die Expression wurde intensiver mit steigender Expositions-Zeit und -Intensität. Aus dem Umstand, dass eine Erhöhung der Thermostat-Temperatur auf 39°C einen geringeren Effekt hatte als die gleiche Erwärmung durch das HF-Feld schließen die Autoren auf einen nicht-thermischen Effekt, eine Schlussfolgerung, der sich der Rezensent wegen der Unterschiede im Erwärmungs-Mechanismus allerdings nicht anschließen kann (Tian, F., Nakahara, T., Wake, K., Taki, M., and Miyakoshi, J.: Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields induces hsp70 at a high SAR of more than 20 W/kg but not at 5 W/kg in human glioma M054 cells. *Intern. J. Radiat. Biol.* 78, 433-440. 2002).

Über die Arbeiten der japanischen Gruppe um Imaida wurde bereits im vorausgegangenen NEWS-Letter berichtet (Jg. 10, No. 1, S. 25). Inzwischen publizierten die Autoren Resultate ihrer Untersuchungen über mögliche Einwirkungen der HF-Felder japanischer PDC-1500 - Telefone auf die Entstehung von Hirntumoren. Zu diesem Zweck wurden transgene Mäuse verwendet die sich durch ihr Marker-Gen lacZ bereits bei anderen Untersuchungen als empfindliches Mutagenese-Assay erwiesen hatten. Die Tiere wurden im Verlaufe von 4 Wochen, 5 Tage pro Woche jeweils 90 Minuten lang mit einem 2,5 GHz TDM-Signal befeldet. Zu diesem Zweck befanden sich die Mäuse in einer Halterung, die einen Antennenabstand von 4 mm zum Kopf garantierte. Um überflüssige Erwärmung zu vermeiden, wurde der übrige Körper weitgehend von der Strahlung abgeschirmt. Man erzielte dabei einen mittleren SAR-Wert im Kopf von 2 W/kg, während sich für die Ganzkörper-Exposition nur 0,27 W/kg ergab. Es wurden Sequenzanalysen von DNA und immun-

histologische Untersuchungen des Gehirns durchgeführt, sowie das Körper und Hirngewicht registriert. Die Versuche ergaben keine signifikanten Veränderungen in der Mutationshäufigkeit des Indikator-Gens. Es trat eine geringfügige Erhöhung der Anzahl von Deletionen auf, die bereits bei einer Befeldung von 0,67 W/kg im Unterschied zu den Kontrollen beobachtet werden konnte. Dieser Effekt war jedoch nicht signifikant. Die Autoren glauben, dass angesichts dieses empfindlichen Früh-Diagnose-Systems, die 4 Wochen Exposition für die Schlussfolgerung ausreicht, dass unter den verwendeten Expositionsbedingungen keine Gefahr für die Entstehung von Hirntumoren vorliegt (Takahashi, S., Inaguma, S., Cho, Y. M., Imaida, K., Wang, J. Q., Fujiwara, O., and Shirai, T.: Lack of mutation induction with exposure to 1.5 GHz electromagnetic near fields used for cellular phones in brains of big blue mice. *Cancer Research* 62, 1956-1960. 2002).

Können HF-Felder des Mobilfunks Krebs erzeugen? Dieses viel diskutierte Thema wird von einer australischen Gruppe diskutiert. Kanzerogenese durch hochfrequente Felder sei nicht unbedingt nachgewiesen, jedoch auch nicht auszuschließen. Dieses Postulat gründen die Autoren auf der bekanntlich unsicheren epidemiologischen Studie von Stang et al. (*Epidemiology*, 12, 7-12. 2001) zur Korrelation zwischen Handy-Nutzung und einem seltenen Melanom. Als Hinweis auf nicht-thermische Effekte an Zellen zitieren die Autoren eigene Experimente (French et al.: *Bioelectrochem. Bioenerget.* 43, 13-18. 1997), deren Dosimetrie sie jedoch selbst ein Jahr später (French et al. *Bioelectrochem. Bioenerget.*: 46, 311. 1998) dahingehend korrigieren mußten diese nicht bei niedrigem SAR, sondern bei 9 bis 50 W/kg durchgeführt zu haben (ist das dann noch „athermisch“?). Immerhin ist die Arbeit von De Pomerei et al. (*Nature*, 2000, 405, 417) zu beachten, die

bereits bei 1mW/kg Einflüsse auf die Bildung von Hitzeschockproteinen (Hsp) gefunden hatten, wenngleich es sich dabei um Experimente an einem speziellen Fadenwurm handelte. Postuliert man diesen Effekt auch in menschlichen Zellen, dann lässt sich eine Brücke zu einer möglichen Krebsgefahr bauen. Die Autoren zitieren in diesem Zusammenhang mehrere Arbeiten, die ohne Zusammenhang mit der EMF-Problematik schließen lassen, dass eine chronische Überproduktion von Hsp letztlich zu einer Hemmung der Zell-Apoptose und zur Krebsentstehung führen könnte. Unabhängig von der schwachen Basis, auf der diese Arbeit fußt, ist diese Schlussfolgerung beachtenswert (French, P. W.; Penny, R.; Laurence, J. A.; and McKenzie, D. R.: Mobile phones, heat shock proteins and cancer. *Differentiation* 67, 93-97. 2001).

Seit den Arbeiten der Gruppen um Bawin (1975) und Blackman (1979) wird das Problem des Einflusses nieder- und hochfrequenter Felder auf das Kalzium (Ca)-Signalsystem der Zelle immer wieder bearbeitet und diskutiert. Obgleich diese Befunde nie reproduziert werden konnten und viele Folge-Studien auf methodische Fehler verwiesen, dienen sie doch immer noch als Argument für potentielle Feldeffekte. Grund dafür ist u.a. die 1981 von Adey geäußerte Hypothese einer auf solchen Änderungen basierenden weitreichenden Reaktionskette. In Zusammenarbeit von Biophysikern und Ingenieuren publizierte jetzt eine Arbeitsgruppe der University of Technology in Melbourne (Australien) Untersuchungen, in welchen der Frage nachgegangen wird, ob GSM-Signale (915GHz, 2W/kg) in menschlichen Leukämie-Zellen (Jurkat-Zellen) Änderungen der zellinneren Ca-Konzentration hervorrufen können. Die Arbeit zeichnet sich durch eine hohe Qualität der Applikationseinrichtung, der Dosimetrie, der Temperierung und der Auswerteverfahren aus. Um den inzwischen bekannten UV-Effekt

zu vermeiden der methodisch durch die Fluoreszenz-Spektroskopie mit Fura-2 hervorgerufen wird, verwendete man als Ca-Indikator Fluo-3, das mit dem UV-fernen Licht eines Argon-Lasers angeregt werden kann. Bei jedem Versuch, der eine Vorlaufphase (600s), eine Befeldungs- bzw. Schein-Befeldungsphase (600s), und eine abschließende Ca-Einström-Phase (nach Zugabe des Ca-Ionophors A23187) enthielt, wurden im mikroskopischen Bild ca. 20 Zellen individuell ausgemessen. Wie üblich, zeigten sich im Verlaufe der Experimente spontane Peaks der Ca-Konzentration unterschiedlicher Form und Häufigkeit. Weder der Mittelwert, der Ca-Konzentration, noch die Häufigkeit der Peaks, noch deren Steilheit oder Höhe weisen signifikante Unterschiede während der Befeldung auf. Das gemittelte Power-Spektrum der Fourier-Analyse der Verläufe zeigte lediglich bei Puls-modulierter Befeldung von Zellen, die mit Phytohämagglutinin aktiviert waren einen geringen Effekt. Die Autoren betrachten dies jedoch als statistische Anomalie ohne biologische Relevanz. (Cranfield, C. G.; Wood, A. W.; Anderson, V., and Menezes, K. G.: Effects of mobile phone type signals on calcium levels within human leukaemic T-cells (Jurkat cells). *Intern. J. Radiat. Biol.* 77,1207-17. 2001)

Über den Einfluss eines am Ohr gehaltenen Handy's auf psychische Leistungen von Probanden berichten Psychologen der Universität Keel (UK). Die Experimente wurden an 38 Psychologie-Studenten (Alter 20-22 Jahre) durchgeführt, die aufgefordert waren, ein Telefon ( 900MHz, 1,19W/kg, angeschaltet oder nicht) für 30 Minuten mit der linken Hand an das linke Ohr zu halten. 15 Minuten vor, 15 Minuten nach Beginn und 30 Minuten nach Ende des Versuches wurde jeweils ein 8-Minuten währender Aufmerksamkeitstest durchgeführt. Dieser bestand im vorwärts- bzw. rückwärts-Repetieren einer Zahlenreihe bzw. Sequenzen der Be-

rührung von 9 Würfeln. Es konnte eine deutliche Erhöhung der Aufmerksamkeit in Fällen aktiver Handy's nachgewiesen werden. Der Effekt wird auf Änderung der Durchblutung in bestimmten Hirn-Arealen zurückgeführt (Edelstyn, N. and Oldershaw, A.: The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 13, 119-121. 2002).

Eine finnischen Arbeitsgruppe (11 Autoren aus 5 kooperierenden Institutionen) widmete eine umfangreiche und gründliche Studie der Frage nach einer möglichen krebsfördernden Wirkung von Handy-Strahlen. Im Gegensatz zu Publikationen, die sich auf jeweils nur eine einzige chemisch induzierte, oder genetisch determinierte Krebsart beschränkten, führte man hier an insgesamt 200 weiblichen CBA/S-Mäusen eine außerordentlich breite Analyse unterschiedlicher, durch Gamma-Strahlen (4 Gy) induzierter Tumoren durch. Im Verlaufe von 78 Wochen wurden zuvor Gamma-bestrahlte Tiere an 5 Tagen pro Woche jeweils 1,5 Stunden in einer Hohlleiter-Anordnung befeldet (902,5 MHz FM, 1,5 W/kg, bzw.: 902,4MHz- 217Hz gepulst, 0,35W/kg). Spezielle Kunststoff-Halterungen fixierten die Tiere im Hohlleiter (Längsachse der Tiere parallel zu Feldlinien) und gewährleisteten dadurch eine kontrollierte und genau dosierbare Exposition. Parallel zu den HF-Befeldungen wurden sowohl Scheinbefeldung in gleichen Halterungen aber ohne Feld, sowie Kontrollen in normaler Käfighalterung ohne und mit Gamma-Bestrahlung durchgeführt. Unabhängig von der HF-Befeldung, überlebten 66-68% der Tiere die Gamma-Bestrahlung nach den 78 Wochen. Neben der kontinuierlichen Registrierung von Gewicht, sowie Nahrungs- und Wasseraufnahme, wurden an allen Tieren umfangreiche hämatologische und histopathologische Untersuchungen durchgeführt. Während eindeutig die

Gamma-Bestrahlung zu einer Erhöhung von Lymphomen und primären malignen Neoplasmen, sowie verschiedenen hyperplastischen Läsionen führte, konnten zusätzliche Effekte durch die HF-Befeldung in keiner Weise festgestellt werden (Heikinen, P., Kosma, V. M., Hongisto, T., Huskonen, H., Hyysalo, P., Komulainen, H., Kumlin, T., Lahtinen, T., Lang, S., Puranen, L., and Juutilainen, J.: Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiation Research* 156, 775-785. 2001).

Verschiedene Gruppen, angefangen von Peters et al. (1979) bis hin zu mehreren Publikationen der Gruppe um Cleary (1990- 1996) hatten Einflüsse hochfrequenter Felder auf die Proliferation von Zellen gefunden und daraus Schlüsse auf mögliche Mechanismen der Krebsentstehung und des Krebswachstums gezogen. Inzwischen haben sich die Methoden verfeinert und an Stelle des Nachweises von Radio-Thymidin-Einbau sind Fluoreszenz-Methoden möglich, die detailliertere und quantifizierende Einsichten in den Zellzyklus erlauben. Eine solche Arbeit wurde an zwei unterschiedlichen Zell-Linien, nämlich embryonalen Fibroblasten (C3H 10T1/2) und menschlichen Glioblastoma-Zellen (U87MG) unter außerordentlich genau kontrollierten experimentellen Bedingungen durchgeführt (Dosimetrie, Temperatur-, Begasungs-Kontrolle etc.). Dabei wurden sowohl FMCW- (835,62MHz) als auch CDMA- Felder (847,74MHz) eingesetzt, wobei der mittlere SAR-Wert mit 0,6W/kg bestimmt wurde. Als Expositionseinrichtung wurde eine „Radial Transmition Line“ eingesetzt, ein System, mit welchem parallel gleichzeitig mehrere Proben befeldet werden können (Moros et al.: *Bioelectromagnetics* 1999;

20:65-80), und welches sich in einem thermostatierbaren Raum befand. Der Nachweis wurde nach Immun-Fluoreszenz-Markierung mit Hilfe eines Flow-Cytometers durchgeführt. In Kurz-Zeit-Experimenten (13 Stunden) wurden die Durchgänge durch die verschiedenen Stadien der Zellproliferation verfolgt, in Lang-Zeit-Versuchen (100 Stunden) sollten mögliche kumulativen Effekte nachgewiesen werden. In keinem der Experimente konnte jedoch ein Einfluss der Felder auf den Zellzyklus gefunden werden. Die Empfindlichkeit der Methode wurde an deutlichen Änderungen nachgewiesen, die bereits bei geringsten Temperaturverschiebungen auftraten. Die Autoren diskutieren ausführlich die o.g. Vorgängerarbeiten und markieren methodische Fehler, die hauptsächlich in der Tritium-Thymidin-Methode und im Mangel lokaler Temperaturkontrolle liegen würden (Higashikubo, R., Ragouzis, M., Moros, E. G., Straube, W. L., and Roti, J. L. R.: Radio-frequency electromagnetic fields do not alter the cell cycle progression of C3H 10T1/2 and U87MG cells. *Radiat. Res.* 156, 786-795. 2001).

Untersuchungen zu möglichen Verhaltensbeeinflussungen von Tieren durch Hochfrequenzfelder wurden bisher unter Bedingungen der Ganzkörper-Bestrahlung durchgeführt. Erstmalig gibt es jetzt eine Verhaltensstudie an Ratten (48 Sprague-Dawley Ratten), die täglich vor den Experimenten für 45 Minuten einer gezielten Befeldung des Kopfes ausgesetzt waren, mit weitgehender Abschirmung des übrigen Körpers (900MHz, GSM-gepulst, 1 W/kg bzw. 3,5W/kg mittlerer Kopf-SAR). Der Vergleich erfolgte mit scheinbefeldeten Tieren, welche die gleiche Zeit in der entsprechenden Halterung

zugebracht hatten. In 14 aufeinander folgenden Tagen wurde die Fähigkeit der Tiere gemessen, zu lernen: a - die in den Enden eines 8-armigen Labyrinths befindlichen Schokoladenplätzchen möglichst schnell zu finden, ohne einen bereits leergefressenen Arm noch einmal aufzusuchen, bzw: b - 13, auf einer 120cm großen Scheibe befestigte, jeweils mit einem weißen Deckel verschlossene Kästchen gezielt zu öffnen und leer zu fressen. Die Ratten hatten dabei optische Orientierungshilfen im Raum. Die Lernkurven, d.h. die Abnahme der Fehlerhäufigkeit verliefen bei befeldeten und unbefeldeten Tieren ohne Unterschied. Auch eine ANOVA-Auswertung zeigte keine Feldeffekte. Die Autoren diskutieren die von Lai, Wang und anderen (*Bioelectromagnetics* 15,95-104.1994 ; *Bioelectromagnetics* 21, 52-56. 2000) durchgeführten Experimente mit positivem Resultat. Diese Experimente seien realitätsfern, da es sich um Ganzkörper-Befeldungen handele. Offenbar beruhten die Befunde eher auf physiologischen Ganzkörper- denn auf spezifischen Gehirn-Reaktionen, wie übrigens auch der von den gleichen Autoren publizierte cholinerge Einfluß zeige (*Pharmacology, Biochem. Behav.* 33,131-138. 1989). Die Autoren halten die Kopf-Befeldung als wesentlichen methodischen Fortschritt hin, zu einem realistischen Mensch-Handy-Modell, verschweigen aber auch nicht die noch bestehenden Unzulänglichkeiten (nur 14-tägige Beobachtung, gleichmäßige Beeinflussung des gesamten Rattengehirnes) und verweisen außerdem darauf, dass dem sich entwickelnden Gehirn mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden müsse (Dubreuil, D., Jay, T., and Edeline, J. M.: Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks? *Behavioural Brain Research* 129, 203-210. 2002).