

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

Vor Jahren waren von einer Arbeitsgruppe der Universität Freiburg Untersuchungen publiziert worden, wonach die Nutzung von Mobiltelefonen zu einer Erhöhung des Blutdrucks führt (Braune et al., Lancet. 351, 1857.1998). Diese Arbeit wurde in der Folge methodisch kritisiert (Reid et al., Lancet. 352, 576.1998), was die Autoren veranlasste, nach vergeblichen Versuchen einer Reproduktion, die Ergebnisse zurückzuziehen (Radiat. Res. **158**, 352-356. 2002. Siehe auch: „Neues aus der Wissenschaft“ in **11 (1)**, 2003, S.: 30-33). Unter Bezug auf diese Publikationen und die trotzdem andauernden Irritationen in der Bevölkerung, wurden kürzlich im Universitäts-Hospital in Kuopio (Finnland) in Kooperation mit Physikern und Technikern aus Helsinki und Turku gründliche Untersuchungen an 32 Probanden beiderlei Geschlechts der Altersgruppe von 23-55 Jahren in dieser Richtung durchgeführt. Diese, als Doppelblind-Studie angelegte Untersuchung berücksichtigt neben Schein-Expositionen die Frequenzen von 900 und 1800 MHz, emittiert durch Mobiltelefone der Firma Nokia, die an Helmen fixiert waren. Mit Hilfe von Phantom-Messungen wurden dabei maximale SAR-Werte von 1,58 W/kg (900 MHz) bzw. 0,70 W/kg (1800 MHz) erreicht. In einem umfangreichen Testprogramm, das verschiedene Atem-Rhythmen einschloss, wurden Blutdruck und Herzfrequenz der Probanden gemessen. Es konnten mit hoher Sicherheit keinerlei Einflüsse der HF-Felder auf diese Parameter gefunden werden. (Tahvanainen,


K. Nino J. Halonen P. Kuusela T. Laitinen T. Länsimies E. Hartikainen J. Hietanen M. Lindholm H.: Cellular phone use does not acutely affect blood pressure or heart rate of humans. *Bioelectromagnetics.*; **25**, 73-83 2004).

Im Jahre 1994 berichteten Lai, Horita und Guy über Verhaltensexperimente an Ratten, wobei sie fanden, dass eine Befeldung mit 2450 MHz (2 ms Pulse, 500 pps, 1 mW/cm², mittl. Körper SAR 0.6 W/kg) zu einer Beeinflussung der Lernfähigkeit führt (Bioelectromagnetics **15**, 95-104). Eine Reihe von Studien anderer Autoren konnte dieses Ergebnis nicht bestätigen, jedoch wichen die jeweils verwendeten Frequenzen und Intensitäten von denen der Gruppe um Lai ab. Ein direkter Vergleich war somit gar nicht möglich. Nun liegt eine Publikation vor, in welcher die Versuche von Lai et al. möglichst genau wiederholt wurden. Mit gleichen Feldern und in einem Labyrinth gleicher Konstruktion mussten die Ratten nach Befeldung lernen, das Futter zu suchen. Im Gegensatz zu den Experimenten von Lai et al. konnte jedoch keine Beeinflussung durch das elektromagnetische Feld beobachtet werden. Lag dies vielleicht daran, dass im Unterschied zu Lai's Experimenten hier auf eine Holz-Konstruktion des Labyrinths zugunsten einer Kunststoff-Variante verzichtet wurde? Man hat damit den Einfluss von Duftmarken verhindert, welche die Tiere setzen könn-




chaft

ten (Cobb, B. L., Jauchem, J. R., and Adair, E. R.: Radial arm maze performance of rats following repeated low level microwave radiation exposure. *Bioelectromagnetics* **25**, 49-57. 2004).



Zwei voneinander unabhängige Experimente zur Frage möglicher Krebs-Promotion durch 900 MHz-GSM-Felder zeigen zwar keinen Effekt, werfen jedoch ein bezeichnendes Licht auf die Problematik derartiger Experimente. Bei Sprague-Dawley-Ratten wurden durch Verfütterung des Kanzerogens DMBA Mama-Karzinome erzeugt. Die bereits in verschiedenen ähnlichen Untersuchungen gestellte Frage lautete: Beeinflussen HF-Felder in Intensitäten um und über den für Menschen geltenden Grenzwert das Wachstum oder die Expression dieser Tumore? In beiden zeitlich aufeinander folgenden Experimenten wurden jeweils 64 Tiere in Gruppen zu je 16 aufgeteilt, von denen eine Gruppe als Kontrolle diente, während die anderen drei im Verlaufe von 9 Wochen täglich zwei Stunden befeldet wurden. Drei Wochen nach Ende der Befeldung, also in der 12. Woche des Experiments, wurden die Tiere getötet und histologisch untersucht. Man hatte zuvor ermittelt, dass nach dem t-Test die Gruppengröße ausreichen müsste, um mit 5 % Irrtumswahrscheinlichkeit einen Effekt nachweisen zu können, wenn er >35% Abweichung von der Kontrolle ergäbe. Prinzipiell zeigte keiner der Versuche eine derartige Abweichung, weder im Zeitablauf der Tumorentstehung, noch in deren Anzahl oder Größe. Interessant und vielleicht bezeichnend für derartige Versuche ist jedoch, dass die beiden Versuche durchaus unterschiedlich verliefen. Während das erste Experiment eine geringe Steigerung der Tumorzinzidenz bei 1,4 W/kg, weniger bei 2,2 W/kg und keinen Effekt bei 3,5 W/kg zeigte, wiederholte sich dieser Effekt im zweiten Experiment nicht. Im Gegenteil, vernachlässigt man die Statistik, könnte man sogar von einem Schutzeffekt der Befeldung sprechen. Die Au-

toren führen diese Unterschiede auf die hochgradige Abhängigkeit des untersuchten Prozesses von vielen biologischen Parametern zurück, die sich trotz aller Versuche zur Standardisierung nicht ausschließen lassen. Dies sollte eine Warnung sein an alle, die einer formalen Statistik zu viel Wert beimessen (abgesehen von der Frage, ob der t-Test für diesen Fall tatsächlich geeignet ist!). (Anane, R.; Dulou, P. E.; Taxile, M.; Geffard, M.; Crespeau, F. L., and Veyret, B.: Effects of GSM-900 microwaves on DMBA-induced mammary gland tumors in female Sprague-Dawley rats. *Radiation Research* **160**, 492-497.2003).



Eine mögliche Einwirkung hochfrequenter Felder auf das Immunsystem kann sowohl an Lymphozyten-Kulturen *in vitro* als auch *in vivo* im Tierversuch untersucht werden. Experimente an isolierten Lymphozyten schalten natürlich verschiedene Mechanismen möglicher Reparaturen aus, über die der Organismus als Ganzes verfügt. Aus diesen Gründen untersuchte eine italienische Gruppe von Toxikologen mögliche Veränderungen des Immunsystems von Mäusen nach 1, 2 und 4 Wochen Befeldung (900 MHz GSM, 2 Stunden/Tag, Ganzkörper SAR: 1 bzw. 2 W/kg). Weder die Anzahl der Milz-Zellen noch das Verhältnis von B- zu T-Lymphozyten änderte sich bei dieser Behandlung. Sowohl bei 1 als auch bei 2 W/kg konnte nach einer Woche Exposition eine geringe, wenn auch signifikante (t-Test: $p > 0,01$) Erhöhung der Cytokin-Produktion (Ifng) ermittelt werden, die jedoch nach 2 und 4 Wochen Befeldung nicht mehr nachweisbar war. Diese Reaktion ist vergleichbar jener, die durch einen Schock der Tiere entstehen würde; ein Verschwinden könnte auf einen Gewöhnungseffekt hindeuten. Was den Schock verursacht ist unklar, denn auch die Kontrolltiere wurden den räumlichen Zwängen einer Schein-Befeldung unterzogen (sollten vielleicht Wärme-Rezeptoren der Tiere unter Feldeinfluss aktiviert worden sein?). Die Toxikologen schätzen diesen Effekt je-

doch nicht als gesundheitsschädlich ein und kommen zu dem Schluss, dass die Befeldung insgesamt ohne klinische Relevanz sei (Gatta, L., Pinto, R., Ubaldi, V., Pace, L., Galloni, P., Lovisolo, G. A., Marino, C., and Pioli, C.: Effects of in vivo exposure to GSM-modulated 900 MHz radiation on mouse peripheral lymphocytes. *Radiation Research* **160**, 600-605. 2003).



In letzter Zeit rücken Millimeter-Wellen und ihre mögliche biologische Wirksamkeit stärker in den Blickpunkt des Interesses sowohl aus medizinischer Sicht, als auch aus Gründen des Strahlenschutzes. Eine chinesische Arbeitsgruppe widmet sich der Fragestellung, inwieweit eine Befeldung mit 30,16 GHz (1 und 3,5 mW/cm²) Einfluss auf die Zell-Zell-Kommunikation durch so genannte Gap-Junctions hat. Bekanntlich beruht die ungehemmte Vermehrung von Krebszellen u.a. auf der Störung dieses Kommunikations-Systems zwischen benachbarten Zellen. Krebserregende Substanzen, wie das TPA (Tetradecano-Phorbol-Acetat) so wird vermutet, entfalten ihre Wirkung durch die Blockierung dieses Zellkontaktes. Die Experimente an Kulturen von Hautzellen (Keratinocyten) zeigen keinen Einfluss der Felder auf die Verteilung von Fluoreszenzfarbstoff in der Kultur, scheinen jedoch die durch TPA hervorgerufene Hemmung der Zell-Zell-Kommunikation bis zu einem gewissen Grad aufheben zu können. Die Autoren sehen darin einen möglichen Einsatz der Millimeter-Wellen in der Krebstherapie (Chen, Q., Zeng, Q. L., Lu, D. Q., and Chiang, H.: Millimeter wave exposure reverses TPA suppression of gap junction intercellular communication in HaCaT human keratinocytes. *Bioelectromagnetics* **25**, 1-4. 2004).





Aus der Universität Turku (Finland) kam im Jahre 2000 die Mitteilung, dass die Hochfrequenzfelder eines Handys während der Erfüllung von Aufgaben im Psychotest von Probanden die EEG-Signale im Alpha-Frequenzbereich signifikant verändern (Krause et al.: *Neuroreport* **11**, 761, Intern. J. Rad. Biol. **76**, 1659). Diese Resultate versuchten die Autoren in einer neuen Studie zu replizieren, wobei sie im Unterschied zu den früheren Untersuchungen doppel-blind Experimente durchführten. Die Probanden (24 Personen beiderlei Geschlechts, mittleres Alter: 24,3 ± 8,1 Jahre)


wurden durch ein am Kopf befestigtes Mobiltelefon mit 902 MHz befeldet (Nokia 6110, 217Hz gepulst, 0,25W, SAR 0,878 W/kg auf 1 g bezogen). Ihnen wurden im Verlaufe von 1,5 Sekunden 4 finnische Verben genannt. Nach einer Pause von 2 s folgte ein weiteres Verb. Sie mussten entscheiden, ob das später genannte Verb in der Liste der vier zuvor genannten enthalten war. Während der etwa einstündigen Testzeit mussten die Probanden 192 dieser Proben über sich ergehen lassen, wobei jeweils die Hälfte der Zeit das Feld eingeschaltet war. Generell konnte eine Erhöhung der Fehl-Antworten unter Feld-Einfluss festgestellt werden (19,1 ± 4,2 gegen 6,3 ± 3,1, p<0,001), im Gegensatz zu den früheren Versuchen, in denen eine Erhöhung der Vigilanz unter Feldeinfluss ermittelt wurde. Auch die EEG-Einflüsse konnten nicht reproduziert werden. Lediglich im Theta-Band wurde eine leichte Veränderung festgestellt. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass der Einfluss hochfrequenter Felder auf das EEG und Psychotests variabel und aus unbekanntem Gründen nicht leicht zu reproduzieren sei (Krause, C. M., Haarala, C., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Alanko, K., Revonsuo, A., Laine, M., and Hamalainen, H.: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task. A double blind replication study. *Bioelectromagnetics* **25**, 33-40. 2004).



Wird durch Exposition mit GSM-modulierten 900 MHz bzw. 1800 MHz-Feldern die Hormonproduktion in der Hypophyse beeinflusst? Ändert sich die Melatonin-Produktion im Pineal-Organ? Dieser viel diskutierten Frage ging erneut eine Gruppe ungarischer Kollegen nach, indem sie in mehreren Wiederholungen Experimente mit Ratten durchführten, die im Verlaufe von zwei Wochen jeweils 2 Stunden am Tag befeldet wurden. Als Intensitäten wurden die in Ungarn gültigen Grenzwerte verwendet (0,1 mW/cm² für 900 MHz und 0,02 mW/cm² für 1800 MHz). Abgesehen von einem deutlichen Anstieg der Melatonin-Konzentration im Urin nach dem ersten Versuchs-Tag, gleichermaßen bei exponierten und schein-exponierten Tieren, wahrscheinlich stressbedingt, konnten keine Unterschiede gefunden werden (Bakos, J.; Kubinyi, G.; Sinay, H., and Thuroczy, G: GSM modulated radiofrequency radiation does not affect 6-sulfatoxymelatonin excretion of rats. *Bioelectromagnetics* **24**, 531-534. 2003).





Ginkgo-Blatt Extrakte gegen Handy-Schäden? Eine türkische Arbeitsgruppe glaubt dies aus Experimenten an 9-11 Ratten pro Gruppe, befeldet durch Handys (900 MHz, geschätzter SAR am Kopf 2 W/kg, 1 Stunde/Tag, 7 Tage) zu schließen. Verschiedene in den Ginkgo-Blättern enthaltene Substanzen sollen die durch die Felder entstehenden reaktiven Sauerstoff-Radikale (ROS) binden (Ilhan, A.; Gurel, A.; Armutcu, F.; Kamisli, S.; Iraz, M.; Akyol, O., and Ozen, S.: Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain. *Clinica Chimica Acta.* **340**, 153-162. 2004).



Eine Gruppe von Immunologen, Genetikern, Zellphysiologen und Molekularbiologen aus Instituten von Bologna, Pisa und Rom haben einen ersten Bericht über Experimente vorgelegt, die, durch mehrere Projekte gesponsert, noch im Gang sind. Dabei geht es um die Wirkung schwacher kontinuierlicher 900 MHz-Felder auf Wachstum, Proliferation und Apoptose kultivierter Leukämie-Zellen (CCRF-CEM). Diese wurden in einer TEM-Zelle einem Feld von 24 mW/m² ausgesetzt, was zu einem SAR-Wert innerhalb der Kulturen von <1 mW/kg führte. Temperaturmessungen sowie Kontrollexperimente mit Vergleichen außerhalb und innerhalb der nicht eingeschalteten TEM-Zelle sicherten die Ergebnisse gegen Wärme- und andere Fehl-Effekte ab. Nach 24 Stunden Kulturzeit im Feld zeigte sich eine signifikante Verminderung der Proliferation bzw. der Überlebensfähigkeit (eine Unklarheit, die sich leider aus dem Widerspruch zwischen der Koordinaten-Beschriftung „Cell Viability“ und der Legende „Proliferation index“ der Abb. 3 ergibt). Genauere Analysen zeigen, dass bereits nach 2 Stunden Exposition ein Anstieg der Apoptose-Aktivität einsetzt, der zu einem DNA-Abbau führt. Das dadurch verursachte Auftreten von DNA-Fragmenten wiederum scheint das Signal für eine Wachstumshemmung und die Aktivierung von pro-Apoptose-Genen zu sein. Die Arbeit beinhaltet somit eine interessante Einsicht in den Ablauf von Prozessen der Zell-Regulation unter dem Einfluss relativ schwacher HF-Felder. Man darf gespannt sein auf die weiteren Resultate dieses Projektes und insbesondere auf sicher dadurch angeregte Versuche, die Ergebnisse von unabhängiger Seite zu reproduzieren (Marinelli, F.; LaSala, D.; Ciccotti, G.; Cattini, L.; Trimarchi, C.; Putti, S.; Zamparelli, A.; Giuliani,

L.; Tomassetti, G., and Cinti, C.: Exposure to 900 MHz electromagnetic field induces an unbalance between pro-apoptotic and pro-survival signals in T-lymphoblastoid leukemia CCRF-CEM cells. *J. Cell. Physiol.*; **198**, 324-332. 2004; Korrektur einer Seite im gleichen Heft, Seite 479).



Es liegen vorläufige Ergebnisse einer australischen Studie über EEG-Messungen bei Handy-Nutzung vor. In einer Pilotstudie an 12 Probanden wurde untersucht, inwieweit nach 30-60 Minuten Exposition durch das Feld eines an der rechten Seite am Kopf befestigten Nokia 6110-Telefons Änderungen von akustisch evozierten Potentialen im EEG messbar sind (geschätzter SAR-Wert im Kopf 0,87 W/kg). Gleichzeitig wurde die Reaktionsgeschwindigkeit auf akustische Signale gemessen. Den Versuchspersonen nannte man stochastisch gewürfelt in schneller Folge die Zahlen von 0 bis 9. Bei „sechs“ mussten sie auf einen Knopf drücken. Die durch den Stimulus evozierten Potentiale, abgeleitet an verschiedenen Stellen des Kopfes, wurden hinsichtlich Amplitude und Zeit nach erfolgtem Stimulus ausgewertet. Es zeigte sich eine Beschleunigung der Reizaufnahme (entsprechend dem 100 ms-Signal), aber eine offenbar verlangsamte Verarbeitung des Reizes (300 ms-Signal). Diese Änderungen traten jedoch nur bei Ableitungen an derjenigen Seite des Schädels auf, an der das Handy befestigt war, und abgeschwächt noch in den Ableitungen in der Mitte des Kopfes. Die Autoren werten diese Reaktionen nicht als Gefahr für den normalen Handy-Nutzer, lagen doch Befeldungs-Dauer und -Intensität in dieser Studie über den Durchschnittswerten. Sie diskutieren ausführlich, weshalb ihre Daten denen anderer Autoren (Hladký, Freude, Jech, Koivisto) offensichtlich widersprechen. Einmal glauben sie, dass in den meisten Experimenten ihrer Kollegen die Expositionszeit zu gering war, eventuell auch die Intensität, zum anderen könnte die biologische Variabilität die Ursache für diese Differenzen sein. In diesem Zusammenhang verweisen sie auf die Fortsetzung ihrer Untersuchungen (Hamblin, D. L.; Wood, A. W.; Croft, R. J., and Stough, C.: Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clinical Neurophysiology* **115**,171-178. 2004).