

■ ■ ■ ■ ■

Roland Glaser

Neues aus der Wissenschaft

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

Gefährdet das Mobiltelefonieren das Auge? Zweifellos kann eine nachhaltige Erwärmung des Auges zu einem Katarakt, einer Trübung führen, die auch als grauer Star bekannt ist. Welche Intensität von Hochfrequenzfeldern ist dafür erforderlich? Gibt es bereits eine Gefährdung durch die Nutzung eines Handys? Mit Sicherheit liegen diese Schwellenwerte weit oberhalb der gesetzlichen Grenzwerte, doch ist nicht klar, ob sie tatsächlich bei 138 W/kg, wie Guy et al. im Jahre 1975 feststellte (IEEE Trans. Microw. Theory, **23**, 492, 1975), oder darunter liegen. Verschiedene Widersprüche scheinen sich durch Unterschiede zu ergeben, die auftreten, je nachdem, ob man die Versuchskaninchen bei der Bestrahlung narkotisierte oder nicht. Dieser Frage geht eine japanische Arbeitsgruppe nach, die mit sorgfältiger Dosimetrie und Thermometrie die Augen von Kaninchen 60-120 Minuten mit 2,45 GHz bestrahlt (300 mW/cm²). Dabei wurde nicht nur die Rektal-Temperatur der Tiere gemessen, sondern darüber hinaus auch die Augentemperatur an verschiedenen Stellen (inklusive eines kleinen Thermistors direkt im Inneren des Augapfels). Trübungen konnten ab einem lokalen SAR-Wert von 108 W/kg beobachtet werden, zum Teil allerdings solche, die sich nach Tagen wieder zurückbildeten. Interessant ist jedoch, dass, sowohl was die Temperaturerhöhung betraf als auch den offensichtlich thermischen Effekt, die narkotisierten Tiere wesentlich empfindlicher reagierten als die unbetäubten. Es wird diskutiert, ob dies als direkter Einfluss des Narkotikums zu betrachten ist oder auf eine durch die Narkose

bedingte Kreislaufregulation zurückgeführt werden muss. Auf alle Fälle, so zeigte sich wieder, ist mit einer Augenschädigung erst dann zu rechnen, wenn die lokale Temperatur den Wert von 41° C überschreitet. (Kojima, M.; Hata, I.; Wake, K.; Watanabe, S.; Yamanaka, Y.; Kamimura, Y.; Taki, M.; Sasaki, K.: Influence of anesthesia on ocular effects and temperature in rabbit eyes exposed to microwaves. *Bioelectromagnetics* **25**, 228-233.2004).

■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■


GSM-Signale können in gen-defizienten Embryonalzellen die Expression von Hitzeschockproteinen auslösen. Zu diesem Schluss kam eine Untersuchung aus dem Institut für Pflanzengenetik Gatersleben in Kooperation mit den Hochfrequenztechnikern der ETH Zürich. Durch diese Kooperation war eine sorgfältige HF-technische Vorarbeit gewährleistet, deren Resultate bereits zuvor publiziert wurden (Schönborn et al., *Bioelectromagnetics* **21**, 372, 2000). Die Untersuchungen erfolgten an embryonalen Stammzellen vom Wildtyp und solchen, denen gentechnisch das Tumorsuppressor-Gen p53 entfernt wurde. Die Zellen wurden 6 bis 48 Stunden GSM-Signalen ausgesetzt, die im Grundsignal im zeitlichen Mittel 1,5 bzw. 2 W/kg, im Falle des GSM-Talk-Signals (Wechsel von Sendee und Empfangs-Schaltung) mit 0,4 W/kg angegeben werden. Dabei befanden sich die Zellen in kleinen (20 Mikroliter) hängenden Tröpfchen an dem Deckel von Petrischalen, deren Boden zum Erhalt der Feuchtigkeit mit Nährlösung bedeckt war. Ausschließ-

lich in den p53-Mangel-Zellen, und nur bei der Befeldung mit dem GSM-Grund-Signal konnte eine signifikante Erhöhung des mRNA-Gehaltes nachgewiesen werden, welcher für die Expression des Hitzeschock-Proteins hsp-70 verantwortlich ist. Dabei zeigten diese Zellen auch einen geringen und reversiblen Anstieg der Expression dreier anderer Proteine (c-jun, c-myc, p21). Die Autoren schließen thermische Effekte aus, läge die verwendete Intensität der Befeldung doch unterhalb des ICNIRP Grenzwertes, und würden die Versuchsbedingungen doch eine präzise Temperatur-Kontrolle garantieren. Hier erlaubt sich der Referent jedoch Zweifel: Die tatsächliche Temperatur in den Tröpfchen ist nicht messbar, noch weniger die darin eventuell zeitlich und örtlich auftretenden Gradienten. Dies geben die Autoren in der oben zitierten vorausgegangenen technischen Publikation auch zu (S. 383). Offenbar sind die p53-defizienten Zellen temperaturempfindlicher als die Zellen des Wildtyps. Auffallend ist, dass sie eben auch nur bei den stärkeren GSM-Basis Signalen reagieren und nicht bei dem schwächeren GSM-Talk-Signal. Auch bei den in dieser Publikation zitierten Resultaten von de Pomerai et al. (Nature, **405**, 417, 2000) erwies sich inzwischen, dass der Effekt trotz größter Sorgfalt der Autoren ein thermischer Artefakt war. Die Publikation von Utteridge et al. (Radiation Res. **185**, 2002), welche die Repacholi-Versuche (Radiation Res. **147**, 631, 1998) nach Verbesserung der Applikationseinrichtung nicht reproduzieren konnte, sind leider nicht zitiert (Cyz, J.; Guan, K.; Zeng, Q.; Nikolaova, T.; Meister, A.; Schönborn, F.; Schuderer, J.; Kuster, N.; Wobus, A.M.: High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53-deficient embryonic stem cells. Bioelectromagnetics **25**, 296-307.2004).

Geographische Epidemiologie – Probleme und Perspektiven dieser Disziplin werden in einer Übersicht von kompetenter Seite dargestellt. Immer häufiger fühlen sich die Behörden veranlasst Vermutungen der Bürger nachzugehen, wonach eine Industrieanlage, eine Autostraße, eine Hochspannungsleitung oder eben auch ein Sendemast Ursache für ein gehäuftes Auftreten bestimmter Erkrankungen und Beschwerden ist. Dann werden die Epidemiologen gerufen, um diesen Befürchtungen zu überprüfen. Welche Voraussetzungen müssen aber eigentlich erfüllt sein, um letztlich zu einer aussagekräftigen Entscheidung zu

kommen? In dieser Übersicht werden diese Erfordernisse aufgelistet, und den zumeist begrenzten Möglichkeiten gegenübergestellt, welche diese Situationen letztlich bieten. Besonders bei Entscheidungen über Besorgnisse kleiner Gemeinden ist die Fall-Zahl zumeist für eine aussagekräftige Statistik zu klein. Da hilft das Hinzuziehen von möglichst vielen vergleichbaren Situationen. Doch welche Regionen sind miteinander vergleichbar, bedenkt man die Variation anderer Faktoren? Es wird auch die Frage gestellt: wie kann eine epidemiologische Untersuchung möglichst schnell und preiswert durchgeführt werden? Wie aussagekräftig sind Einwohnerverzeichnisse oder Wahllisten? Kann man auf solche Daten zurückgreifen? Die in vielen Ländern geplante Datenerfassung von individuellen Erkrankungen und Gesundheitsparametern könnte epidemiologische Erhebungen zwar sehr fördern, doch verbieten die Datenschutzgesetze weitgehend die Nutzung dieser Werte. Entscheidend für eine sinnvolle epidemiologische Studie ist immer eine möglichst konkrete Formulierung der eigentlichen Fragestellung. Dazu gehört auch eine Definition des Parameters, welcher der Inzidenz einer Krankheit gegenübergestellt werden soll; also letztlich: was ist eigentlich der entscheidende Dosis-Parameter? Dies ist zumeist unklar, ebenso wie die Inkubationszeit der Krankheit. Letzteres erfordert auch eine zurückgreifende Erfassung der Lebensdaten der Personen, ein zumeist nicht berücksichtigter Faktor. – Die Lektüre dieser Arbeit ist jedem zu empfehlen, der in die Lage versetzt wird, auf epidemiologische Befunde zu reagieren (Elliott, P. and Wartenberg, D.: Spatial epidemiology: Current approaches and future challenges. Environmental Health Perspectives **112**, 998-1006. 2004).

Können Felder des Mobilfunks zu DNA-Strangbrüchen führen? Immer wieder werden die Publikationen von Lai und Singh (LuS) zitiert, die von DNA-Veränderungen in Hirnzellen von Ratten berichten, welche zwei Stunden dem Einfluss von 2,45 GHz-ausgesetzt waren (1-2 W/kg), wobei aus völlig unverständlichen Gründen die Effekte erst 4 Stunden nach der Befeldung auftraten (Bioelectromagnetics **16**, 207, 1995; Int. J. Radiat. Biol. **69**, 513,1996). Natürlich wurde damals sofort versucht, diese Befunde zu reproduzieren. Dies ist jedoch bisher niemandem gelungen. Liegt das an Unterschieden der verwendeten Methoden?




Dieser Frage gehen neuerdings drei Untersuchungen der Arbeitsgruppe um Roti Roti von der Washington University nach. Liegt es vielleicht daran, dass im Gegensatz zu LuS in den folgenden Reproduktionsversuchen von Malyapa et al. (Radiat. Res. **149**, 637, 1998) mögliche Defekte von solchen DNA-Molekülen nicht erfasst wurden, die an Proteine gebunden waren? Hat man sich an die Original-Vorschrift von Olive gehalten und im Gegensatz zu LuS die alkalische Präparation der Zellen für den Komet-Assay bei pH 12,5 statt bei pH 13,0 durchgeführt? Zunächst verwendeten Lagroye et al. im Tierexperiment gleicher Art wie LuS beide methodischen Varianten. Als Positivkontrolle befeldeten sie die Tiere zusätzlich noch mit 1Gy-Gamma-Strahlen. Die Unterschiede im Komet-Assay durch Präparation der Hirnzellen bei den verschiedenen pH-Werten erwiesen sich als gering. Auch eine Maskierung des Effekts durch gebundene DNA ist offenbar nicht geeignet, die Befunde von LuS zu erklären. Wenn man die Proben zuvor mit Proteinase K behandelt um einige DNA-Moleküle aus der Protein-Bindung zu befreien, tritt zwar eine Erhöhung der Menge von DNA-Spaltprodukten auf, doch ist dieser Effekt gering und bei den Kontrollen wie bei den befeldeten Proben gleichermaßen nachweisbar. In jedem Fall konnten deutliche DNA-Läsionen in den Hirnzellen der Versuchstiere durch den Einfluss der Gamma-Strahlung nachgewiesen werden, in keinem Fall jedoch durch Hochfrequenzfelder. In einer weiteren Arbeit versuchten Lagroye et al. eine Reproduktion der LuS-Experimente durch Untersuchungen an Kulturen von Fibroblasten (C3H 10T1/2). Auch hier wurde Proteinase K eingesetzt um auch eventuell gebundene DNA zu erfassen. Zusätzlich zu den Positiv-Kontrollen mit Gamma-Strahlen (Dosis-Effekt-Kurve von 25 cGy bis 4 Gy) verwendete man hier noch die künstliche DNA-DNA und DNA-Protein-Verknüpfung durch cis-Platin (CDDP). Man fand zwar eine gute Übereinstimmung mit der in der Literatur mehrfach gemessenen Dosis-Effekt-Kurve für Gamma-Strahlung, konnte jedoch den von LuS gefundenen Einfluss der HF-Felder nicht bestätigen. Auch wurde kein additiver Effekt von Gamma- und Hochfrequenz-Strahlung gefunden. Schließlich ging die Gruppe in einer Arbeit von Hook et al. auch noch auf recht unsichere Befunde von Phillips et al. ein, die von einer extrem hohen Empfindlichkeit einer Molt-4-Zell-Linie berichtet hatten (Bioelectrochem. Bioenerg. **45**, 103, 1998). Sollte es, wie mitunter behauptet, Wirkungen nur in Bereichen ge-

ringster Intensitäten geben? Es wurden entsprechend diesen Experimenten SAR-Werte von 2,4 bzw. 24 mW/kg getestet (847,74 MHz, sowie CDMA, FDMA, TDMA-Codes) und die gleiche Art von Zellen bestrahlt, die Phillips verwendete. Die Ergebnisse waren ebenfalls negativ. Was könnten die Gründe der doch offenbar fehlerhaften Ergebnisse von LuS sein? Neben der methodischen Kritik, die G. M. Williams bereits nach Erscheinen der ersten Arbeit von LuS publizierte (Bioelectromagnetics **17**, 165, 1996), werden jetzt zwei weitere Möglichkeiten genannt, die zu der Fehleinschätzung haben führen können: die Spuren des Komet-Assay müssen voll-automatisch ausgewertet werden und nicht, wie bei LuS geschehen, manuell und damit subjektiv. Außerdem ist nicht die absolute Länge der Spuren als sicheres Maß anzusehen, sondern das Komet-Moment, eine Messgröße, welche die Länge der Spur auf die Gesamtmenge der bewegten DNA bezieht. Unnötig zu betonen, dass natürlich Positiv-Kontrollen und Objektivität durch Doppel-Blind-Auswertung zu fordern ist. Sollte man nicht nach diesen und den anderen negativ ausgefallenen Versuchen einer Reproduktion die Experimente von Lai und Singh *ad acta* legen?

(Lagroye, I.; Anane, R.; Wettring, B. A.; Moros, E. G.; Straube, W. L.; Laregina, M.; Niehoff, M.; Pickard, W. F.; Baty, J., and Roti, J. L. R.: Measurement of DNA damage after acute exposure to pulsed-wave 2450 MHz microwaves in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. Intern. J. Radiat. Biol. **80**, 11-20. 2004

Lagroye, I.; Hook, G. J.; Wettring, B. A.; Baty, J. D.; Moros, E. G.; Straube, W. L., and Roti, J. L. R.: Measurements of alkali-labile DNA damage and protein-DNA crosslinks after 2450 MHz microwave and low-dose gamma irradiation in vitro. Radiation Research. **161**, 201-214. 2004.

Hook, G. J.; Zhang, P.; Lagroye, I.; Li, L.; Higashikubo, R.; Moros, E. G.; Straube, W. L.; Pickard, W. F.; Baty, J. D., and Roti, J. L. R.: Measurement of DNA damage and apoptosis in Molt-4 cells after in vitro exposure to radiofrequency radiation. Radiation Research. **161**, 193-200. 2004.).



Führt eine chronische Exposition mit Feldern des Mobilfunks zu Gesundheitsschäden? Dieser mehrfach gestellten Frage wurde in einer umfangreichen Langzeitstudie an Ratten nachgegangen. Speziell un-


tersuchte man den Einfluss des Iridium-Signals eines Satelliten-Telefons, welches bei 1,6 GHz liegt und somit in der Mitte zwischen den beiden Frequenzbereichen des Mobilfunks. Zunächst wurden 36 zeitgleich trüchtige Ratten in den vier letzten Tagen der Trächtigkeit einem Fernfeld derart ausgesetzt, dass der SAR-Wert im Gehirn der Föten bei 0,16 W/kg lag. Vergleichsgruppen wurden Schein-befeldet bzw. als Käfig-Kontrollen untersucht. Nach Vermessung und Erfassung verschiedener physiologischer Parameter der insgesamt 700 Neugeborenen wurden diese in entsprechende Gruppen unterteilt und, abgesehen von den Gruppen der Schein-befeldeten Tiere und der Käfig-Kontrollen, 2 Stunden pro Tag, 5 Tage pro Woche einem Nahfeld von 0,16 bzw. 1,6 W/kg ausgesetzt. Man verwendete in diesem Fall ein Nahfeld um eine Situation nachzustellen, die derjenigen des Telefonierens ähnelt. Während und nach dem zwei Jahre andauernden Experiment wurden die Tiere vermessen und auf Erkrankungen oder Fehlentwicklungen verschiedenster Art hin untersucht. Die Haltungsbedingungen während dieser Zeit erfolgten unter strengsten hygienischen Vorschriften. Obgleich man verschiedene Unterschiede zwischen den Käfig-Kontrollen und denjenigen Tieren finden konnte, die täglich in die Befeldungs-Apparatur eingebracht wurden, gleichgültig ob befeldet oder schein-befeldet, so waren doch weder im Wachstumsprozess noch im Auftreten von Krebs oder anderen Erkrankungen signifikante Unterschiede nachweisbar, die auf einem Feldeffekt beruhen könnten, weder bei Ganzkörper-SAR-Werten von 0,16, noch bei der Exposition mit 1,6 W/kg (Anderson, L. E.; Sheen, D. M.; Wilson, B. W.; Grumbein, S. L.; Creim, J. A.; Sasser, L. B.: Two-year chronic bioassay study of rats exposed to a 1.6 GHz radiofrequency signal. *Radiation Research* **162**, 201-210. 2004).

Wo könnte der Angriffspunkt hochfrequenter Felder im biologischen System liegen? Dieser Frage geht eine italienische Arbeitsgruppe nach, die bereits vor einiger Zeit das Enzym Ascorbat Oxidase eingebaut in künstliche Lipid-Vesikel untersucht hatte (Ramundo-Orlando et al.: *J. Liposome Res.* **3**,717, 1993). Die Ascorbat Oxidase ist ein so genanntes Glyko-Enzym, d. h. ein Protein, welches eine Zuckerkette enthält. Es lässt sich gut in die Membran künstlicher Lipid-Vesikel einbauen. Die Membran dieser so genannten Liposomen besteht aus einer einfachen Doppelschicht

von Lipidmolekülen, in diesem Falle Dipalmityl-Phosphatidyl-Cholin (DPPC). Ein Teil der Enzym-Moleküle befindet sich auch im Inneren dieser Bläschen, doch diese haben keinen Zugang zu dem in der Außenlösung befindlichen Substrat, werden also in den Untersuchungen nicht erfasst. Gemessen wird photometrisch die Kinetik des Abbaus von Natrium-Ascorbat, also Vitamin-C in der Lösung, als Indikator für die Funktionstüchtigkeit des Enzyms. Man stellte fest, dass ein SAR-Wert von 5,6 W/kg erforderlich ist, um signifikante Einflüsse des hochfrequenten Feldes (2,45 GHz, un gepulst) auf das System zu finden. Geringere Intensitäten (1,4; 2,8; 4,2 W/kg) zeigten keinen Effekt. Wird vor dem Experiment die Zuckerkette von dem Protein-Molekül abgespalten (deglykosiliertes Enzym), so ist die Enzymkinetik generell langsamer und selbst durch maximale Befeldung nicht weiter zu reduzieren. Die Autoren glauben in den Resultaten einen direkten Einfluss des Feldes auf die Konformation der Lipid-Phase der Vesikel-Membran zu sehen, in denen die Enzyme eingebettet sind. Man sollte die Experimente einmal mit Vesikeln aus Lipiden anderer Phasenübergangs-Temperaturen wiederholen! (RamundoOrlando, A.; Liberti, M.; Mossa, G., and Inzo, G.: Effects of 2.45 GHz microwave fields on liposomes entrapping glycoenzyme ascorbate oxidase. Evidence for oligosaccharide side chain involvement. *Bioelectromagnetics* **25**, 338-345. 2004).


Wirken hochfrequente Felder über Sauerstoff-Radikale („reactive oxygen species“ = ROS) auf zelluläre Funktionen?

Dieser vielfach geäußerten Hypothese geht eine polnische Arbeitsgruppe an Hand von Experimenten mit Ratten-Lymphozyten nach. Unter der Bezeichnung ROS werden Radikale unterschiedlicher Zusammensetzung, inklusive stickstoffhaltige Verbindungen zusammengefasst. Sie treten im Prozess der Zellatmung auf und werden durch verschiedene Enzyme unschädlich gemacht. Eine Verschiebung des Fließgleichgewichtes ihrer Konzentration durch Hemmung des Abbau-Prozesses oder durch eine verstärkte Produktion könnte negative Folgen haben. Fluoreszenzphotometrisch lässt sich die Konzentration der ROS in der Zelle nachweisen. Die Autoren fanden einen Anstieg der Fluoreszenz bei exponierten Lymphozyten (930 MHz, 5 W/m², theoretisch errechnet: 1,5 W/kg) nach 15 Minuten Exposition im Vergleich zu den 5 Minuten exponierten Proben – allerdings ohne Unter-




schied zwischen tatsächlicher und Schein-Exposition. Ein Zusatz von Eisen-2-chlorid ($10\mu\text{g}/\text{ml}$) erhöhte den Wert deutlich. In diesen Fällen konnte eine geringe, mit $p < 0,01$ signifikante Erhöhung des Fluoreszenz-Signals bereits nach 5 Minuten festgestellt werden, die sich nach 15 Minuten nicht veränderte. Die Autoren haben bisher keine Erklärung für diesen Effekt. Er könnte biologisch, aber auch methodisch bedingt sein. Leider sind nur zwei Versuchsserien durchgeführt und die Ergebnisse statistisch gepoolt, so dass systematische Streuungen nicht ablesbar sind. Wer Messungen dieser Art kennt, weiß, wie störanfällig die Methode ist (Zmyñlony, M., Poltanski, P., Rajkowska, E., Szymczak, W., and Jajte, J.: Acute exposure to 930 MHz CW electromagnetic radiation in vitro affects reactive oxygen species level in rat lymphocytes treated by iron ions. *Bioelectromagnetics* **25**, 324-328. 2004).


parameter und der vereinfachten theoretischen Ansätze mit Vorsicht zu betrachten sind, ist natürlich nach den Konsequenzen zu fragen. Wegen der Kleinheit der Strukturen, und damit der hohen Geschwindigkeit des Temperatursausgleichs, sind trotz dieser Unterschiede keine Temperaturgradienten zu erwarten. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass die Wärmeproduktion aus dem physiologischen Grundumsatz des Energie-Stoffwechsels nicht wie hier im Kern, sondern an anderen Stellen der Zelle erfolgt. Physiologisch treten also andere Energieströme auf, als durch die Absorption von Hochfrequenzfeldern. Die Autoren lassen offen, ob die Resultate ihrer Berechnungen biologisch von Bedeutung sein könnten (Vanderstraeten, J. and Vorst, A. V.: Theoretical evaluation of dielectric absorption of microwave energy at the scale of nucleic acids. *Bioelectromagnetics* **25**, 380-389. 2004).



Wie werden HF-Felder in der DNA und dem hochkonzentrierten Kernplasma absorbiert? Im wesentlichen ist es die Absorption in der ca 0,3 nm dicken Schicht aus gebundenen Gegenionen und Wasser, welche die ca. 2 nm dicke Doppelhelix der DNA umgibt, sowie die Absorption im DNA-Molekül selbst. Die Dispersionsgebiete dieser Prozesse befinden sich in sehr unterschiedlichen Frequenzbereichen. Während das Dispersionsgebiet der DNA als makromolekularem Dipol noch unter 10 MHz liegt, für den Frequenz-Bereich des Mobilfunks folglich unbedeutend ist, sind die beiden anderen Prozesse durchaus noch im GHz-Bereich wirksam. Hinzu kommt noch die gemessene Delta-Dispersion der DNA, die zwischen 0,3 und 3 GHz liegt und deren molekulare Entsprechung bisher nicht genau bekannt ist. In einer theoretisch orientierten Publikation werden Messdaten zusammengestellt, wo nötig extrapoliert und auf dieser Basis die Relation zwischen dem SAR des Zellplasmas zum Kernplasma und zwischen dem DNA-Bereich im Kern zu den Regionen freier Elektrolytlösung abgeschätzt. Für 0,3; 1,0 und 2,3 GHz liegen die Quotienten der erst genannten Beziehung bei entsprechend 1,5; 2,5 und 2,3. Es wird also im Kern etwa die doppelte HF-Energie absorbiert als im Zell-Plasma. Noch drastischer sind die Unterschiede zwischen der HF-Absorption von DNA und Elektrolytbereich im Kern selbst. Für diese werden für die gleichen Frequenzen die Quotienten 13; 22 und 20 errechnet. Obgleich diese Werte angesichts der unsicheren Ausgangspa-



Wirken UHF-Signale auf die spontane Aktivität von Neuronen der Hirnrinde? Untersuchungen wurden an Kaninchen durchgeführt, denen Mikroelektroden in die sensomotorische Region des Cortex implantiert wurden. Man exponierte die Tiere im Verlaufe von einer Minute in einem UHF-Feld von 37,5 cm Wellenlänge (799 MHz). Leider gibt es keine genauen Angaben über die Expositionseinrichtung. Es wird lediglich die Leistungsflussdichte von 0,2-0,3; 0,4; 0,5 und 40,0 angegeben. Ausgewertet wird der mittlere Abstand der spontanen Aktivitäts-Peaks der Neuronen während und nach der Exposition. Es konnten geringe, aber mit der Expositionsintensität nicht korrelierbare Veränderungen gefunden werden (Chizhenkova, R. A.: Pulse activity of populations of cortical neurons under microwave exposures of different intensity. *Bioelectrochemistry* **63**, 343-346. 2004).



Welchen Einfluss haben schwache GSM-Felder auf menschliche Lymphozyten? Dieser Frage ist die Publikation einer großen multidisziplinär zusammengesetzten Arbeitsgruppe aus Bologna gewidmet. Lymphozyten aus dem Blut gesunder menschlicher Spender wurden zwei- bis drei Tage kultiviert und dabei jeweils eine Stunde pro Tag befeldet. Die Befeldung erfolgte in einer TEM-Zelle in einem thermostatierten Raum mit 900 MHz kontinuierlichen bzw. GSM-artig pulsierten Feldern. Die Berechnungen ergaben SAR-Werte in den Proben von 70-76 mW/kg. Trotz genau-

er Thermostatierung geben die Autoren an, dass zwischen den befeldeten und den Schein-befeldeten Proben eine Temperaturdifferenz in der Größenordnung von 0,3° C aufgetreten sein könnte. Während keine Unterschiede bei der Befeldung mit ungepulsten Feldern nachweisbar waren, traten bei GSM-befeldeten Zellen bei manchen Messparametern gering signifikante Änderungen auf. So zeigte sich eine um 8,5 % verminderte Zellteilung gegenüber den Kontrollen (23700 ± 2600 gegenüber 21700 ± 2300 ^3H -Pulse des Thymidin-Einbaues, $p=0,04$), die allerdings nur nach Stimulation mit der niedrigsten Dosis des Teilungs-Stimulans PHA (Phytohemagglutinin $0,1\mu\text{g/ml}$) auftrat. Bei erhöhter PHA-Konzentration konnte diese Differenz nicht gefunden werden. Die Autoren halten es für möglich, dass die Bindung des PHA an die Membran durch das Feld beeinflusst sein könnte. Ebenfalls trat in einem Falle nach der GSM-Befeldung ein signifikanter Unterschied in einem Parameter auf, der den Beginn der Apoptose signalisiert ($24,3 \pm 3,4$ gegenüber $26,9 \pm 3,4$ % Annexin-Bindung, $p=0,0172$). Allerdings auch hier nur nach Behandlung mit 10 mM des Apoptose-Stimulators dRib, nicht in den Versuchen mit 1 und 5 mM dieser Substanz. Auffällig ist, dass in keinem Fall feldinduzierte Veränderungen späterer Apoptose-Merkmale gefunden werden konnten, d.h. Veränderungen der Membranpotentiale der Mitochondrien. Die Autoren glauben, dass ihre Resultate die Hypothese zu stützen scheinen, wonach GSM-modulierte Felder effektiver sind als unmodulierte, halten jedoch eine Verifikation ihrer Befunde durch weitere Untersuchungen für erforderlich (Capri, M., Scarcella, E., Fumelli, C., Bianchi, E., Salvioli, S., Mesirca, P., Agostini, C., Antolini, A., Schiavoni, A., Castellani, G., Bersani, F., and Franceschi, C.: In vitro exposure of human lymphocytes to 900 MHz cw and GSM modulated radiofrequency. Studies of proliferation, apoptosis and mitochondrial membrane potential. *Radiat. Res.* **162**, 211-218. 2004)



Sind Millimeter-Wellen genotoxisch? Dieses Problem interessiert nicht nur aus Gründen zunehmender technischer Anwendungen dieses Frequenzbereiches, sondern auch im Zusammenhang mit mehrfach empfohlenen medizinischen Anwendung dieser Strahlung zur Therapie verschiedenster Erkrankungen. Bisher liegen dazu kontroverse Daten vor, die allerdings vorwiegend aus Versuchen an Mikroorganismen (Hefen,

Bakterien) und Insekten (Mücken) stammen. In der vorliegenden Publikation wird untersucht, ob eine Bestrahlung der Nase von Mäusen mit 42 GHz ($31,5 \text{ mW/cm}^2$, 622 W/kg , 30 min/Tag, 3 Tage) zu genetischen Veränderungen im Blut der Tiere führt. Die Nase als Ort der Befeldung wurde verwendet, da diese Strahlung innerhalb des ersten Millimeters in der Haut absorbiert wird und nur an dieser Stelle der behaarten Maus oberflächliche Blutkapillaren, aber auch Nervenendigungen und Sinneszellen erreichbar sind. Getestet wurden Zellen des Blutes und des Knochenmarks hinsichtlich des Auftretens von Mikrokernen, die sich infolge von Chromosomen-Anomalien bei der Zellteilung bilden. Als Positiv-Kontrolle dienten Tiere, die mit Cyclophosphamid behandelt wurden, einem Präparat, das in der Krebstherapie verwendet wird und dessen mutagene Wirkung bekannt ist. Die Auswertung erfolgte blind und nach Methoden, die als Routinetest zum Nachweis pharmakologisch bedingter Mutationen gebräuchlich sind. Im Gegensatz zu den mit Cyclophosphamid behandelten Mäusen konnten jedoch keine Veränderungen an den bestrahlten Mäusen im Vergleich zu den Kontrollen nachgewiesen werden. Auch ließ sich keine Beeinflussung des Cyclophosphamid-Effektes durch zusätzliche Befeldung erkennen (Vijayalaxmi; Logani, M. K.; Bhanushali, A.; Ziskin, M. C.; Prihoda, T. J.: Micronuclei in peripheral blood and bone marrow cells of mice exposed to 42 GHz electromagnetic millimeter waves. *Radiation Research* **161**, 341-345. 2004).



Schützt Melatonin vor Brustkrebs? Dem oftmals behaupteten Zusammenhang zwischen der Melatonin-Produktion im Körper und Krebsentstehung gingen Epidemiologen in einer Fall-Kontroll-Studie an 127 Frauen mit positiver Diagnose auf Brustkrebs im Vergleich zu 353 Kontroll Personen in Großbritannien nach. Diese Untersuchung hat keine Beziehung zum Problemkreis elektromagnetischer Felder. Es wurde lediglich nach einer möglichen Korrelation zwischen dem Gehalt an 6-Sulfafoxymelatonin im Urin der Frauen zu bestimmten Zeitpunkten des Menstruationszyklus und dem Auftreten von Brustkrebs gefragt. Die Schlussfolgerung: „Wir fanden keinen Beleg dafür, dass der Melatonin-Pegel streng mit dem Risiko für Brustkrebs verbunden ist“. (Travis, R. C.; Allen, D. S.; Fentiman, I. S.; Key, T. J.: Melatonin and breast cancer A prospective study. *J. National Cancer Inst.* **96**, 475-482. 2004).