

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 selbst getroffen und durch sein subjektives Urteil der Relevanz bestimmt.

Roland Glaser

Genotoxische Effekte durch Felder des Mobilfunks?

Bis 10 W/kg kein genotoxischer Einfluss von TDMA- oder GSM-modulierten Feldern auf menschliche Lymphozyten. Zwei Laboratorien, eines in Neapel, das andere in Rom, haben im Auftrag der U. S. Food and Drug Administration und der Cellular Telecommunications & Internet Association (CTIA) den Einfluss dieser Felder (900 MHz) auf Lymphozyten von insgesamt 10 Spendern untersucht. Die Präparate aus diesen Proben wurden bei SAR-Werten von 0, 1, 5 und 10 W/kg 24 Stunden lang exponiert. Gleichzeitig setzte man eine Positiv-Kontrolle dem Einfluss des Mutagens Mitomycin C aus. Nach der Befeldung wurden die Zellen durch Zugabe von Phytohemagglutinin zum Teil stimuliert und nach 44 Stunden im Doppelblindverfahren von Wissenschaftlern in beiden Laboratorien unabhängig voneinander mikroskopisch ausgewertet. Man bestimmte die Anzahl der Mikrokerne, was allgemein als Störung einer normalen Teilung gilt, ausgelöst durch genetische Defekte. In keiner der 10 Blutproben und bei keiner der angewandten Feldintensitäten oder Modulationsarten konnten zytotoxische oder genotoxische Effekte gefunden werden (Scarfi et al. 2006).

*Scarfi, M. R.; Fresegna, A. M.; Villani, P.; Pinto, R.; Marino, C.; Sarti, M.; Altavista, P.; Sannino, A. and Lovisolo, G. A.: Exposure to Radio-frequency radiation (900 MHz, GSM signal) does not affect micronucleus frequency and cell proliferation in human peripheral blood lymphocytes: An interlaboratory study. Radiat. Res. **165** (2006) 655-663.*

Kein genotoxischer Einfluss bei Langzeitexperimenten an Ratten mit zusätzlichem Kanzerogen. Da verschiedentlich eine Verstärkung der Effekte krebs-erregender Substanzen durch HF-Felder vermutet wurde, untersuchte ein finnisch-belgisches Kollektiv die Wirkung von 900 MHz GSM-Strahlung (0,3 und 0,9 W/kg, 5 Tage pro Woche) auf 72 Ratten je Gruppe im Verlaufe von zwei Jahren. Dabei wurden vor Ende des Versuches zu verschiedenen Zeitpunkten Blutproben entnommen und auf genotoxische Effekte (Mikrokerne, Komet-Assay) analysiert. Am Ende des Versuches testete man die Gewebe von Hirn und Leber der Tiere. Verwunderlich, auch für die Autoren, war der Umstand, dass allein das verwendete Kanzerogen im Trinkwasser [MX = 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-furanone] im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen die Messparameter kaum beeinflusste. Die Blut-Messdaten der zusätzlich befeldeten Tiere zeigten nach 6 Monaten sogar eine geringe, allerdings signifikante, Verminderung der Anzahl von Mikronuklei in beiden Gruppen. Dies, so die Autoren

sei eine interessante biologische Beobachtung, welche jedoch nichts mit einem genotoxischen Effekt zu tun habe. Immerhin, so der Rezensent, ist es ein Feldeffekt, den man nicht ignorieren darf (Verschaevé et al. 2006).

Verschaevé, L.; Heikkinen, P.; Verheyen, G.; VanGorp, U.; Boonen, E.; Plaetse, F. V., Maes, A., Kumlin, T.; MakiPaakkanen, J.; Puranen, L. and Juutilainen, J.: Investigation of co-genotoxic effects of radiofrequency electromagnetic fields in vivo. *Radiat. Res.* **165** (2006) 598-607.

Reversible DNA-Schäden und Hsp-Expression in Epithelzellen der Augenlinse nach starker GSM-Exposition. Eine chinesische Arbeitsgruppe untersuchte mit sorgfältiger Methodik den Einfluss von gepulsten 1,8 GHz-Feldern nach zweistündiger Exposition bei SAR-Werten von 1, 2 und 3 W/kg auf Kulturen menschlicher Epithelzellen der Augenlinse. Nur bei der höchsten Expositionsintensität von 3 W/kg konnten im Kommet-Assay signifikante ($p < 0,05$) DNA-Veränderungen festgestellt werden, die zwar unmittelbar nach der Befeldung und nach 30 Minuten, nicht jedoch nach 60 Minuten nachweisbar waren. Eine signifikante Erhöhung von Hitzeschockproteinen (Hsp 70) trat bereits bei 2 W/kg auf, jedoch auch in diesen Fällen ohne messbaren Einfluss auf die Proliferationsrate der Zellen. Die Autoren gehen von nicht-thermischen Effekten aus, welche die Zellen schnell reparieren können, empfehlen jedoch, diesen Befunden weiter nachzugehen. (Sun et al. 2006).

Sun, L. X.; Yao, K.; Wang, K. J.; Lu, D. Q.; Hu, H. J.; Gao, X. W.; Wang, B. H.; Zheng, W.; Lou, J. L. and Wu, W.: Effects of 1.8 GHz radiofrequency field on DNA damage and expression of heat shock protein 70 in human lens epithelial cells. *Mutat. Res.-Fundamental and Molecular Mechanisms of Mutagenesis* **602** (2006) 135-142.

Wie sicher sind die Untersuchungen von Feldeffekten mit HTST („High Throughput Screening Technology“)? Dieselbe Arbeitsgruppe der Universität aus Hangzhou (China) untersuchte die Einwirkung von GSM-Feldern (1800 MHz; SAR: 2 W/kg, 24 Stunden, jeweils 5 min an, 10 min aus, sowie: 3.5 W/kg 1 - 24 Stunden) auf menschliche Mamakarzinom-Zellen (MCF-7). Mit Hilfe kommerzieller Genchips (HG-U133A, Affy-

metrix, USA) konnten aus einer Probe gleichzeitig 22 283 Messpunkte gewonnen werden, die über die Aktivierung von 14 500 gut charakterisierbaren Genen Auskunft geben. Tatsächlich fand man Abweichungen in der Genexpression zwischen befeldeten und unbefeldeten Proben. Zur Sicherheit verwendete man aber für jede Analyse zwei Chips. Dabei ergab sich, dass kaum Übereinstimmungen in den Ergebnissen dieser beiden Proben untereinander auftraten. Selbst diese, so rechnen die Autoren, sind reine Zufallsergebnisse. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass ihre Untersuchungen keine abgesicherten Befunde über eine mögliche Wirkung der Felder erbracht haben und warnen vor zu voreiligen Schlüssen aus dieser Art Messungen ohne erforderliche Absicherung der Werte durch Mehrfachanalysen. (Zeng et al. 2006).

Zeng, Q.; Chen, G.; Weng, Y.; Wang, L.; Chiang, H.; Lu, D. and Xu, Z: Effects of Global System for Mobile Communications 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields on gene and protein expression in MCF-7 cells. *Proteomics* **6** (2006) 4732-4738.

Keine Änderung der Genexpression in embryonalen Mauszellen nach Exposition mit 835.62 MHz FDMA bzw. 847.74 MHz CDMA Feld. Diese Untersuchung aus dem Labor von J. L. Roti-Roti aus der Washington University (St. Louis, USA) zeichnet sich durch eine besonders sorgfältige Art statistischer Auswertung aus. Gemessen wurde die Genexpression in Zellen vom Typ C3H 10T1/2 mit Hilfe eines GeneChip-Assays nach 24 Stunden Exposition bei einem SAR von 5 W/kg. Neben Kontrollproben mit Scheinbefeldung wurden noch Positivkontrollen von Zellen untersucht, die man mit einer bewusst geringen Gammadosis von 0,68 Gy bestrahlte (normalerweise verwendet man 3 - 8 Gy) um die Empfindlichkeit der Methode zu prüfen. Alle Versuchsvarianten (CDMA-, FDMA-, Gamma-Exposition, Kontrollen) wurden unabhängig voneinander dreifach wiederholt. Dies ergab insgesamt 6 Wiederholungen der Kontroll-Versuche, was eine innere statistische Aufarbeitung erlaubte. Natürlich ist die Genexpression ein kompliziert regulierter Prozess, so dass Schwankungen von Experiment zu Experiment zu er-

warten sind. Statistisch signifikante Änderungen, d.h. sowohl Erhöhung als auch Verminderung der Expression einzelner Gene im Vergleich der einzelnen Kontrollexperimente untereinander wurden als „falsch positiv“ bezeichnet, also der biologischen Variabilität geschuldet. Die Frage lautete deshalb nicht (wie leider in vielen anderen Publikationen) gibt es signifikante Unterschiede zwischen befeldeten und unbefeldeten Zellen, sondern: ist die Anzahl „falsch positiver“ Differenzen bei exponierten Zellen höher als beim inneren Vergleich der Kontrollen selbst? Immerhin traten sowohl bei den CDMA- als auch bei FDMA-Experimenten je etwa 200 signifikante Veränderungen auf. Dies unterschied sich jedoch nicht vom den Werten beim inneren Vergleich der Kontrollexperimente untereinander. Im Gegensatz dazu waren die Abweichungen bei den gamma-bestrahlten Zellen deutlich höher. Neben der einfachen Analyse veränderter Gene wurde zusätzlich noch ermittelt, ob sich qualitativ die bei Gamma-Bestrahlung gefundenen Änderungen auch bei den HF-exponierten Zellen wiederfinden lassen, was jedoch nicht der Fall war. Diese Arbeiten sind nicht nur durch ihr eigentliches Ergebnis wichtig und interessant, sie werfen gleichzeitig ein bezeichnendes Bild auf Publikationen, die z. T. nur in unwiederholten Experimenten einfache Differenzen zwischen exponierten und nicht-exponierten Zellen zeigen. Selbst wenn diese statistisch signifikant sind, könnten diese Resultate als „Fehler 1. Art“ entstanden sein. (Whitehead et al. 2006).

Whitehead, T. D.; Moros, E. G.; Brownstein, B. H. and Roti Roti, J. L.: The number of genes changing expression after chronic exposure to Code Division Multiple Access or Frequency DMA radiofrequency radiation does not exceed the false-positive rate. *Proteomics* **6** (2006) 4739-4744.



Mobilfunk und Stressproteine


Keine Stressreaktionen oder Apoptose in Zellkulturen nach Befeldung. Nachdem die japanische Arbeitsgruppe um Sakuma und Hirose (Sakuma et al. *Bioelectromagnetics* **27** (2006) 51-57) bereits festgestellt hatte, dass eine Exposition von menschlichen Fibroblasten und Glioblastoma-Zellen mit 80 bis 800 mW/kg, kontinuierlichen 2,1425-GHz- und entsprechenden W-CDMA-Feldern keinen Einfluss auf DNA-Strangbrüche ausübt (siehe Neues aus der Wissenschaft,

Newsletter (NL) 2, 2006), widmete man sich in zwei Folgestudien der Frage, ob diese Exposition nicht vielleicht indirekte Stressreaktionen der Zellen auslösen könnte, etwa über eine Expression und Phosphorylierung des Tumor-Suppressor-Proteins P53, was sich in einer Erhöhung der Apoptoserate ausdrücken müsste, oder durch Expression von Hitzeschockproteinen. Als Positivkontrolle wurde der Apoptose-Auslöser Doxorubicin (DOX) verwendet, bzw. Zellen einem Hitzestress (2 Stunden, 42 °C) ausgesetzt. Um möglicherweise besonders empfindliche Perioden des Zellzyklus für diese Wirkung zu erfassen, dehnte man die Befeldung über einen ganzen Zyklus, d.h. je nach Zelltyp auf 24 bzw. 48 Stunden aus. Im Gegensatz zu den Positivkontrollen traten jedoch bei den befeldeten Zellkulturen (menschliche Glioblastoma-Zellen und Fibroblasten) keine signifikanten Unterschiede in der Expression von p53, Hsp27 oder Hsp 70 oder anderer zellulärer Indikatoren auf. Es konnte auch keine Veränderung der Apoptosehäufigkeit festgestellt werden. Die Autoren sehen in ihren Resultaten u.a. einen Widerspruch zu den Ergebnissen von Czyz et al. (*Bioelectromagnetics* **25** (2004) 296-307). (siehe: Neues aus der Wissenschaft, NL 4, 2004) sowie Leszczynski et al. (*Differentiation* **70** (2002)) 120-129). der von einer Gefahr der Krebsauslösung sprach, und empfehlen, diese sorgfältig zu überprüfen („should be carefully reexamined“) (Hirose et al. 2006, 2007).

Hirose, H.; Sakuma, N.; Kaji, N.; Suhara, T.; Sekijima, M.; Nojima, T. and Miyakoshi, J.: Phosphorylation and gene expression of p53 are not affected in human cells exposed to 2.1425 GHz band CW or W-CDMA modulated radiation allocated to mobile radio base stations. *Bioelectromagnetics* **27** (2006) 494-504.

Hirose H, Sakuma N, Kaji N, Nakayama K, Inoue K, Sekijima M, Nojima T, Miyakoshi J: Mobile phone base station-emitted radiation does not induce phosphorylation of Hsp27. *Bioelectromagnetics* **28** (2007) 99-108.

Keine Stressproteine bis hin zu SAR 20 W/kg! Eine koreanische Arbeitsgruppe untersuchte den Einfluss von 1763 MHz-Felder des CDMA-Systems auf menschliche T-Lymphozyten (Jurkat-Zellen) und Kulturen von Astrozyten aus dem Gehirn von Ratten, die sie SAR-Werten von 2 und 20 W/kg während 30 und 60 Minuten aussetzten. Es konnte weder eine Erhöhung der Hitzeschockproteine HSP90, HSP70 oder HSP27 gefunden werden, noch ergaben sich Änderungen der



MAPK-Proteine ERK1/2, JNK1/2 und p38, die als Primärsignalgeber für die Expression der HSPs gelten. Auch eine synergistische Wirkung mit dem Mitogen TPA trat nicht auf. Die Autoren setzen sich ausführlich mit den widersprüchlichen Befunden der Literatur auseinander und glauben, dass die verschiedentlich publizierten Positivergebnisse auf thermischen Effekten beruhen. Weitere klärende Experimente halten sie für erforderlich (Lee et al. 2006).

Lee, J. S.; Huang, T. Q.; Kim, T. H.; Kim, J. Y.; Kim, H. J.; Pack, J. K., and Seo, J. S.: Radiofrequency radiation does not induce stress response in human T-lymphocytes and rat primary astrocytes. *Bioelectromagnetics*. **27** (2006) 578-588.

Expression von Hitzeschockproteinen lediglich thermisch bedingt. Wir berichteten bereits über die Experimente dieser japanischen Arbeitsgruppe, welche die Exposition von Zellen bis zu SAR-Werten von 200 W/kg ausdehnte (Neues aus der Wissenschaft, NL 2, 2006). Diesmal ging es um die Expression und Phosphorylierung von Hitzeschockproteinen in menschlichen Glioblastomazellen (A172) nach Exposition mit ungepulsten 2450 MHz-Feldern (5 - 200 W/kg) in unterschiedlichen Zeiten bis zu 5 Stunden. Da sich bereits ab 20 W/kg nach wenigen Minuten die Temperatur der Proben deutlich über ein Grad erhöhte, wurden parallele Messungen mit entsprechend konventioneller Erwärmung durchgeführt. Erst ab 50 W/kg, also weit oberhalb festgelegter Grenzwerte und bei Temperaturerhöhungen über 2 Grad, konnten Effekte gemessen werden, die allerdings eindeutig thermischer Natur waren. Dabei unterscheidet sich das Hitzeschockprotein HSP27 deutlich von HSP70 dadurch, dass es bereits unphosphoryliert in den Zellen vorkommt und bei Stress nicht erst exprimiert werden muss, sondern sofort phosphoryliert werden kann. Interessanterweise zeigt dieses Molekül Unterschiede in der Konzentration zwischen Proben, die durch das HF-Feld, und jenen, die konventionell auf die gleiche Temperatur (41°C) erwärmt wurden. Dies könnte auf mikrothermische Effekte schließen lassen. (Wang et al. 2006).

Wang, J.; Koyama, S.; Komatsubara, Y.; Suzuki, Y.; Taki, M. and Miyakoshi, J.: Effects of a 2450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. *Bioelectromagnetics* **27** (2006) 479-486.



Einfluss auf Zellwachstum und -Entwicklung

Erstmals eine Dosis-Abhängigkeit der HF-Wirkung auf Zellwachstum gemessen.

Ein Kollektiv aus drei japanischen Universitäten hat den Einfluss von 2,45 GHz-Feldern im SAR-Bereich von 0,05 bis 1500 W/kg in mehreren Schritten auf Kulturen von Ovarialzellen des Hamsters und menschlichen Glioma-Zellen untersucht. Die dabei auftretenden Temperaturerhöhungen wurden mit einem optischen Thermometer gemessen. Bei zweistündiger kontinuierlicher Exposition zeigte sich bei beiden Zelltypen bis hin zu 100 W/kg (Temperaturerhöhung bis auf 40 °C) keinerlei Beeinträchtigung der Zellteilung. Erst ab 200 W/kg bei einer Erwärmung auf 44 °C trat eine reversible Verminderung der Teilungsgeschwindigkeit auf. Dies entsprach auch dem Verhalten der Zellen bei entsprechender Erwärmung im Brutschrank. Interessant ist, dass eine gepulste Exposition mit 1500 W/kg (1 s an, 29 s aus), was einem mittleren SAR-Wert von 50 W/kg entsprach, keinen Einfluss auf Zellwachstum oder DNA-Gehalt zeigte. Die Autoren schließen deshalb selbst bei dieser maximalen Exposition das Auftreten nicht-thermischer Effekte aus (Takashima et al. 2006).

Takashima, Y.; Hirose, H.; Koyama, S.; Suzuki, Y.; Taki, M. and Miyakoshi, J.: Effects of continuous and intermittent exposure to RF fields with a wide range of SARs on cell growth, survival, and cell cycle distribution. *Bioelectromagnetics* **27** (2006) 392-400.



Zum Einfluss von HF-Feldern auf Nervenzellen

Kein nachweisbarer oxydativer Stress im Hirn feld-exponierter Ratten.

Eine brasilianische Gruppe untersuchte mit einer aus heutiger Sicht etwas primitiven Expositionseinrichtung den Einfluss eines Analog-Handys als zentraler Strahlenquelle auf Ratten (7 1/2 Stunden pro Tag, 6 Tage, 834 MHz, 0,51- 0,98 W/kg). Im Gehirn der Tiere konnte weder bei Lipiden noch bei Proteinen ein oxydativer Schaden festgestellt werden (Ferreira et al. 2006).

Ferreira, A. R.; Bonatto, F.; Pasquali, M. A. D.; Polydoro, M.; Dal-Pizzoi, F.; Fernandez, C.; De Salles, A. A. A. and Moreira, J. C. F.: Oxidative stress effects on the central nervous system of rats after acute exposure to ultra high frequency electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* **27** (2006) 487-493.

Kein Einfluss des Feldes auf Astroglia- und Mikroglia-Zellen des Gehirns. Das Netzwerk der Astrogliazellen im Gehirn reguliert den Stoffwechsel der Nervenzellen, die Mikrogliazellen schützen sie vor Infektionen. Beide Arten von Zellen könnten folglich Ursache für mitunter behauptete Einflüsse der Handy-Strahlung auf das Gehirn sein. Aus diesem Grund untersuchte eine schwedische Gruppe den Einfluss von 900 MHz-Feldern (kontinuierlich oder GSM-moduliert, 4, 8, 24 Stunden Exposition) mit SAR-Werten bis zu 54 W/kg auf Kulturen dieser Zellen. Durch eine spezielle Wasserkühlung konnte selbst bei den hohen SAR-Werten die Temperatur auf $\pm 0,2$ °C konstant gehalten werden. Die mikroskopischen und immunchemischen Untersuchungen dieser Zellen zeigten jedoch keinen Einfluss des Feldes. Dabei wurden z. B. das Protein Gfap als empfindlicher Indikator für eine Aktivierung der Astroglia-Zellen untersucht, sowie die proinflammatorischen Zytokine Tnfa und Il6. Allerdings reichte eine konventionelle Erwärmungen der Zellen um nur ein Grad aus, um deutliche Effekte zu erzielen. Dies halten die Autoren für eine mögliche Ursache von Artefakten anderer Gruppen, die nicht über eine ausreichende Thermostatierung ihrer Proben verfügten (Thorlin et al. 2006).

Thorlin, T.; Rouquette, J. M.; Hamnerius, Y.; Hansson, E.; Persson, M.; Bjorklund, U.; Rosengren, L.; Ronnback, L. and Persson, M.: Exposure of cultured astroglial and microglial brain cells to 900 MHz microwave radiation. Radiat. Res. 166 (2006) 409-421.

Mobilfunk und Krebs

Einfluss des Feldes auf das Wachstum chemisch induzierter Hirntumoren nicht nachweisbar. Bereits im Jahre 2001 hatte die Gruppe um B. C. Zook in Washington DC ein umfangreiches Experiment an 900 Ratten durchgeführt um zu überprüfen, ob kontinuierliche oder gepulste 860 MHz Felder (1 W/kg im Gehirn) bei Langzeitbefeldung (6 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, vom 2. bis 24. Lebensmonat) das Wachstum chemisch induzierter Hirntumoren beschleunigen könnten (siehe: Neues aus der Wissenschaft, NL 3, 2001). Das Ergebnis war negativ, allerdings gab es damals einen, wenn auch insignifikanten Trend zu einem Effekt bei höchster Konzentration des Kanzerogens Äthylnitrose-Harnstoff (ENU), das bereits den trächtigen Tieren verabreicht wurde, welche dann die ei-

gentlichen Versuchstiere warfen. Diesem Befund wurde in einer neuen Studie unter gleichen Expositionsbedingungen an insgesamt 1080 Ratten nachgegangen. In diesem Doppelblind-Experiment wurde wieder zwischen Tumoren des Hirns, der Hirn-Nerven und des Rückenmarks unterschieden. Natürlich kontrollierte man auch andere Parameter, wie Körpergewicht und Verhalten. Obgleich es in den Tumorinzidenzen viele Unterschiede zwischen befeldeten und unbefeldeten Tieren gab, wiesen diese keinen Trend und noch weniger eine Signifikanz auf, sodass die Autoren zu dem Schluss kommen, wonach sich ein Einfluss des Feldes, ob kontinuierlich oder gepulst, auf die Beschleunigung des chemisch induzierten Tumorstadiums nicht nachweisen lässt. Die hohe Anzahl der Tiere verleiht dieser Aussage zwar eine hohe statistische Signifikanz, doch, so die Autoren, ist die Null-Hypothese natürlich prinzipiell nicht beweisbar (Zook and Simmens 2006).

Zook, B. C. and Simmens, S. J.: The effects of pulsed 860 MHz radiofrequency radiation on the promotion of neurogenic tumors in rats. Radiat. Res. 165 (2006) 608-615.

Kein Einfluss von GSM-Feldern auf chemisch induziertes Tumorwachstum bei Ratten im Langzeitversuch.

Mit dieser Fragestellung beschäftigte sich auch eine finnische Arbeitsgruppe. Im Langzeitexperiment (104 Wochen) untersuchten sie je 72 weibliche Ratten in vier Gruppen: zwei davon wurden mit einer GSM-Frequenz befeldet (900 MHz, 2 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, 0,3 W/kg bzw. 0,9 W/kg), eine diente als Kontrolle in der gleichen Befeldungseinrichtung ohne Feld und eine weitere Gruppe von Kontrolltieren blieb im Käfig. Während der ganzen Zeit bekamen die Tiere Trinkwasser, welches mit der krebserregenden Substanz MX versetzt war [3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5H)-Furanon]. Unterschiede konnten lediglich, stressbedingt, im Vergleich zu den Käfigkontrollen festgestellt werden. Wie umfangreiche physiologische und histologische Untersuchungen zeigten, hatte das Feld selbst keinen Einfluss auf die durch das Kanzerogen MX verursachte Krebsentwicklung (Heikkinen et al. 2006).

Heikkinen, P.; Ernst, H.; Huuskonen, H.; Komulainen, H.; Kumlin, T.; Maki-Paakkanen, J.; Puranen, L. and Juutilainen, J.: No effects of radiofrequency radiation on 3-chloro-4-(dichloromethyl)-5-hydroxy-2(5h)-furanone-induced tumorigenesis in female wistar rats. Radiat. Res. 166 (2006) 397-408.



Mobilfunkfelder und Herzfunktion

Einfluss von Handy-Feldern auf Variabilität der Herzfrequenz bei 10 % der Population? Eine Arbeitsgruppe aus Pécs (Ungarn) untersuchte den Einfluss eines GSM-Feldes (900 bzw. 1800 MHz, max. SAR 1,3 W/kg) auf die Herzfrequenz von 35 jungen Männern. Während sowie 30, 50, 70 Minuten nach einer zehnmütigen Exposition wurde durch EEG sowie IR-Plethmographie am Finger die Herzfrequenz gemessen und die Standardabweichung der Perioden nach 150 Schlägen ermittelt. Während sich im Durchschnitt kein Unterschied zwischen exponierten und schein-exponierten der Probanden ergab, zeigte sich bei drei Personen eine Abweichung um das 1,5-fache (1.534 ± 0.1). Die Aussage der Autoren, dass offenbar 10 % der Bevölkerung (3 von 35) etwas sensibler reagieren als andere, erscheint auf der Basis dieser Messungen etwas kühn (Atlasz et al. 2006).

Atlasz, T.; Kellenyi, L.; Kovacs, P.; Babai, N.; Thuroczy, G.; Hejzel, L. and Hernadi, I.: The application of surface plethysmography for heart rate variability analysis after GSM radiofrequency exposure. *J. Biochem. Biophys. Methods* **69** (2006) 233-236.

Kein Einfluss auf EKG-Parameter. In einer italienischen Studie wurden detaillierte EKG-Messungen an 26 Probanden (12 Frauen, 14 Männer, Alter: 21 - 28 Jahre) durchgeführt. Zunächst registrierte man das Ruhe EKG im Verlaufe von 13 Minuten liegend, dann die gleiche Zeit im ruhigen Stehen. Stochastisch gewechselt, computergesteuert im Doppelblindmodus mit mindestens 24 Stunden Intervall erfolgte eine Untersuchung ohne Befeldung und eine mit eingeschaltetem Handy (Nokia 6310i). Das Gerät war durch eine Vorrichtung in Normalposition am Kopf fixiert. Aus dem EKG wurden die Herzfrequenz sowie verschiedene kardiologisch standardisierte Parameter ermittelt, wie Maxima, Minima statistische Streuung, sowie Parameter, welche aus der Häufigkeit verschiedener rhythmischer Anomalien Rückschlüsse auf sympathische und parasympathische Regulationsstörungen ermöglichen. Es konnten keine Einflüsse des Feldes (900 MHz, GSM-Modus, 2 W, SAR in 10,5 bis 13,5 mm Tiefe: 0,02 W/kg) auf die gemessenen Parameter festgestellt werden. Die Autoren unterstreichen, dass dies für gesunde junge Personen gilt, Messungen an älteren Menschen müssten folgen (Parazzini et al. 2007).

Parazzini M, Ravazzani P, Tognola G, Thuroczy G, Molnar FB, Sacchetti A, Ardesi G, Mainardi L. T.: Electromagnetic fields produced by GSM cellular phones and heart rate variability. *Bioelectromagnetics* **28** (2007) 122-129.



Weitere Untersuchungen an Probanden

Änderung des Hautwiderstandes bei Teenagern und männlichen Erwachsenen nach Exposition mit CDMA-Feldern. In einer südkoreanischen Studie untersuchte man im Doppelblindtest den Einfluss von Feldern eines dort üblichen CDMA-Handys auf eine Gruppe jugendlicher (21 Personen, Alter: 15.9 ± 2.3 Jahre) und ebensoviel erwachsener Probanden (30.9 ± 5.6 Jahre). Man ermittelte Herz- und Atemfrequenz, Blutdruck und die Hautleitfähigkeit an den Fingern. Die Befeldung erfolgte mit einem am Kopf fixierten Mobiltelefon (835 MHz, 300 mW, 1,6 W/kg) im Verlaufe von 10 Minuten. Die Messungen wurden während und nach der Exposition durchgeführt. Während keinerlei feldbedingte Veränderungen der sonstigen Parameter gemessen werden konnten, zeigte sich bei den Jugendlichen beiderlei Geschlechts eine signifikante Erhöhung der Hautleitfähigkeit ($p < 0,0001$). Bei Erwachsenen trat dieser Effekt, wenn auch in geringem Maße, nur bei männlichen, nicht jedoch bei weiblichen Probanden auf. Diese Veränderung normalisierte sich bereits nach etwa einer halben Stunde. Verminderung des Hautwiderstandes entsteht durch erhöhte Schweißbildung und wird als eine Reaktion des autonomen Nervensystems betrachtet. Die Autoren betonen zwar die Notwendigkeit, diese Befunde zu überprüfen, sehen jedoch darin eine Bestätigung der WHO-Empfehlung zum Schutze Kinder und Jugendlicher (Nam et al. 2006).

Nam, K. C.; Kim, S. W.; Kim, S. C. and Kim, D. W.: Effects of RF exposure of teenagers and adults by CDMA cellular phones. *Bioelectromagnetics* **27** (2006) 509-514.

Erwärmung der Wange bei Nutzung von Handys. Die von Straume et al. (*Bioelectromagnetics* **26** (2005) 510-519) durchgeführten Messungen über Oberflächenerwärmung beim Telefonieren (siehe Neues aus der Wissenschaft, NL 3, 2005) wurden jetzt mit zwei Modellen von Analogtelefonen und drei GSM-Handys wiederholt. Mit einer empfindlichen IR-Kamera fotografierte man unmittelbar nach 6-minütiger Haltung des Gerätes in üblicher (nicht standardisierter!) Posi-

tion die Erwärmung des Gesichts, wobei als Vergleich die dem Handy abgewandte Seite des Kopfes diente. Bei den größeren Analogtelefonen konnte eine Erwärmung der Wange um maximal 4,5 °C gemessen werden, bei den GSM-Telefonen waren es nur etwa 2,3 °C. Wie bereits Straume et al., so kamen auch Anderson und Rowley zu dem Schluss, dass diese Erwärmung nicht von der HF-Emission, sondern von dem Isolations-effekt des Gerätes und von der Betriebswärme desselben herrührt. Insbesondere war der Teil des Gesichts erwärmt, welches der Position der Stromquelle der Geräte am nächsten lag (Anderson und Rowley 2007).

Anderson V, Rowley J: Measurements of skin surface temperature during mobile phone use. *Bioelectromagnetics* **28** (2007) 159-162.

Neue epidemiologische Erhebungen

Geburtsdefekte durch berufliche Feldexposition des Vaters? Dieser Frage widmete sich eine epidemiologische Studie, in welcher 1,1 Millionen Daten aus dem norwegischen Geburtenregister zwischen 1976 und 1995 ausgewertet wurden. Allerdings konnte der Beruf des Vaters nur etwa bei der Hälfte aller Fälle ermittelt werden. Man ordnete diese entsprechend drei Kategorien zu: „wahrscheinlich nicht exponiert“ (376.837 Geburten), „vielleicht exponiert“ (139.871 Geburten) und „wahrscheinlich exponiert“ (24.885 Geburten). Zu der Gruppe mit „wahrscheinlicher“ Exposition zählten verschiedene Berufe auf See und im Flugdienst, Beschäftigte in den Elektro-, Rundfunk- und Telegraphie-Branchen sowie Elektroschweißer. Nach einer internationalen Nomenklatur (ICD-Code) wurden 24 verschiedene Geburtsdefekte klassifiziert. Dies betraf sowohl alle möglichen Missbildungen, als auch Frühgeburten, Untergewicht und Säuglingssterblichkeit. Signifikante Unterschiede bezüglich dieser Defekte zwischen den drei Kategorien der Väter konnten nicht gefunden werden. Fragte man, unabhängig von möglicher Exposition, einfach nach berufsspezifischen Besonderheiten, so fand man beispielsweise bei Seefahrerkindern eine geringe, aber signifikante Erhöhung der Anzahl von Frühgeburten. Dies zeigt die Schwächen dieser Untersuchung, die auch von den Autoren zugegeben werden: Es ist weder qualitativ noch quantitativ die Art der Exposition der Väter genau bekannt, noch die Art sonstiger berufsbedingter Belastungen. (Mjøen et al. 2006).

Mjøen, G.; Saetre, D. O.; Lie, R. T.; Tynes, T.; Blaasaas, K. G.; Hannevik, M. and Irgens, L. M.: Paternal occupational exposure to radiofrequency electromagnetic fields and risk of adverse pregnancy outcome. *Eur. J. Epidemiol.* **21** (2006) 529-535.

Zusammenhang zwischen malignem Lymphom und Handynutzung in den USA?

In vier geographischen Regionen der USA wurden insgesamt 905 registrierte Fälle von Non-Hodgkin-Lymphomen (NHL) bei Patienten zwischen 20 - 74 Jahren im Zeitraum zwischen Juli 1998 und Juni 2000 ausgewertet. Wie üblich wurden durch Fragebögen und persönliche Interviews nicht nur Telefoniergewohnheiten, sondern auch sonstige soziologische Parameter erfasst. Leider reduzierte sich die Anzahl der Fälle wegen Teilnahmeverweigerung und anderen Gründen letztlich auf nur 551. Dies bedeutet nicht nur eine absolute Reduktion auswertbarer Fälle, sondern auch eine qualitative Verminderung der Aussagekraft der Studie, zumal auch bei den stochastisch ausgewählten Kontrollpersonen ein ähnlicher Prozentsatz die Zusammenarbeit versagte. Die Autoren zählen noch eine Reihe anderer Fehlermöglichkeiten auf, wozu natürlich vor allem die Dosismetrie gehört: Wer kann sich schon genau erinnern, wie viel und mit welchem Gerät er vor mehreren Jahren telefoniert hat? Um so weniger sollte man werten, dass es in manchen Untergruppen geringe und nicht signifikante Erhöhungen des NHL-Risikos gab. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Studie insgesamt keine Aussage über einen möglichen Zusammenhang zwischen NHL und Handynutzung bietet (Linet et al. 2006).

Linet, M. S.; Taggart, T.; Severson, R. K.; Cerhan, J. R.; Cozen, W.; Hartge, P. and Colt, J.: Cellular telephones and non-Hodgkin lymphoma. *Intern. J. Cancer* **119** (2006) 2382-2388.

Neue epidemiologische Erhebungen zu Hirnkrebs in fünf nordeuropäischen Ländern.

Von 2530 Fällen klinisch erfasster Hirnkrebserkrankungen (Gliome, Meningiome und akustische Neurome) in Dänemark, Finnland, Norwegen, Schweden und Südost-England wurden 1521 ausgewertet und 3301 gesunden Kontrollpersonen (von 6581 ausgesuchten!) gegenübergestellt. Teils durch direkte oder telefonische Interviews, teils durch Fragebögen wurden die Personen nach Telefoniergewohnheiten gefragt und diese in Klassen nach Summenstunden eingeteilt. Neben sonstigen soziologischen Daten wurde auch registriert, wie lange

die Betroffenen bereits Handynutzer waren. Ein Zusammenhang zwischen Handynutzung und Hirnkrebs konnte nicht gefunden werden. Bei Kranken, die bereits über zehn Jahre ihr Handy nutzten, konnte zwar keine Erhöhung der Erkrankungsrate im Vergleich der Kontrollen gefunden werden, allerdings ein schwach signifikanter Zusammenhang zwischen der Seite, an welcher die Krebsgeschwulst auftrat und jener, von welcher der Betroffene sich entsann, am häufigsten das Telefon gehalten zu haben. Die Autoren halten dies für einen „information bias“, ein vielleicht suggestiver Effekt, oder zumindest ein Fehler, der durch Gedächtnisverschiebung auftrat (Lahkola et al. 2007).

Lahkola, A., Auvinen, A., Raitanen, J., Schoemaker, M., Christensen, H. C., Feychting, M., Johansen, Ch., Klaeboe, L., Lönn, St., Swerdlow, A. J., Tynes, T., and Salminen, T.: Mobile phone use and risk of glioma in 5 North European countries. *Int. J. Cancer* **120** (2007) 1769-1775.

Zur Methodik epidemiologischer Erhebungen: Besser individuelle Befragungen oder besser Daten aus Abonnentenlisten? Beide Arten von Datenerhebungen werden verwendet, beide haben ihre Fehler. Bei Befragungen treten psychologisch bedingte Fehleinschätzungen auf. Auch aus den Listen von Telefon-Abonnenten ergeben sich keine objektiven Daten: sie enthalten Diensttelefone, die nicht bestimmten Personen zugeschrieben werden können und somit unbekannte Personen exponieren, Nutzer und Abonnent sind mitunter nicht identisch und vieles mehr. Um dieses Problem näher zu beleuchten, werden die Daten von zwei dänischen Studien miteinander verglichen: der Kohorten-Studie von Johansen et al. (J. National Cancer Institute **93** (2001) 203-207), die auf dänischen Abonnentenlisten basiert, und der Fall-Kontrollstudie von Christensen et al. (Am. J. Epidem. **159** (2004) 277-283), welche die Befragung von Patienten mit Hirntumoren im Vergleich zu Kontrollpersonen zur Grundlage hat (siehe: Neues aus der Wissenschaft, NL 3, 2004). Wie viele der hier befragten Personen sind in der ersten Studie erfasst, und wie korrelieren die Angaben über Handynutzung in diesen Fällen? Ohne hier auf die Besonderheiten in Hinblick auf Alter, Geschlecht und sozialen Status der Personen einzugehen, kommen die Autoren letztlich zu dem Schluss: Beide Methoden haben beträchtliches Feh-

lerpotential und eignen sich deshalb nicht zum Nachweis geringfügiger Risiken. Bei Erwartung deutlicher Risikofaktoren ist jedoch aus ökonomischen Gründen der Methode der Abonnentenerhebung der Vorzug zu geben (Schüz und Johansen 2007).

Schüz J, Johansen Ch.: A comparison of self-reported cellular telephone use with subscriber data: Agreement between the two methods and implications for risk estimation. *Bioelectromagnetics* **28** (2007) 130-136.

Optimierung der Befragung Elektrosensibler. Elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) ist ein unscharf definiertes Syndrom, das medizinisch als solches offiziell nicht anerkannt ist, obwohl es 1,5 % (Schweden) bis 4 % (GB) der Bevölkerung betrifft. Mehrere Studien versuchten bisher vergeblich, im Doppelblindversuch die Kausalitätsbeziehung zwischen Symptomen und EMF nachzuweisen. Zwei Arbeitsgruppen aus UK haben jetzt versucht, dem Phänomen epidemiologisch näher zu kommen. In einer Pilot- und zwei aufeinanderfolgenden Direktstudien entwickelten sie einen Fragebogen, der einmal geeignet ist, Personen mit EHS überhaupt zu identifizieren, und zum anderen Aufschluss darüber zu geben, ob Korrelationen zu anderen Symptomen und zu soziopsychologischen Besonderheiten der Betroffenen bestehen. Zunächst konnte festgestellt werden, dass die von Personen mit EHS angegebenen Symptome qualitativ auch in der Kontrollgruppe vorkommen. Die EHS-Betroffenen leiden allerdings stärker unter diesen Symptomen und geben ein schlechteres Allgemeinbefinden an. Auch gibt es in dieser Gruppe einen höheren Prozentsatz von Personen, die unter einer chronischen Erkrankung leiden. Ob wie angegeben die Nähe zu einer EMF-Quelle objektiv ist oder sich auf die höhere Aufmerksamkeit der EHS-Personen zurückführen lässt, kann nicht festgestellt werden. Durch Anwendung einer statistischen Faktorenanalyse konnten die Symptome zu 8 Gruppen zusammengezogen und auf diese Weise ein effektiverer Screening-Test entwickelt werden (interessante Tabellen in der Publikation!). Die Autoren hoffen durch Weiterentwicklung dieses Tests zum Verständnis des EHS beizutragen und letztlich auch zu Methoden helfender Einflussnahme zu finden (Eltiti et al. 2007).

Eltiti St, Wallace D, Zougkou K, Russo R, Joseph St, Rasor P, Fox E: Development and evaluation of the electromagnetic hypersensitivity questionnaire. *Bioelectromagnetics* **28** (2007) 137-151.