

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?

Auch nach Langzeitexposition keine Mikrokerne im Blut. In den Jahren 2001 und 2003 publizierte eine Arbeitsgruppe aus drei finnischen Instituten (Kuopio) Langzeitexperimente an Mäusen, einmal bezüglich des Einflusses von Hochfrequenzfeldern auf die kanzerogene Wirkung von Gammastrahlen (Heikkinen et al. *Radiat. Res.* **156**, 2001, 775-785) zum anderen, um ein Zusammenwirken derselben mit UV-Bestrahlung bei der Entstehung von Hautkrebs zu klären (Heikkinen et al. *Int. J. Radiat. Biol.* **79**, 2003, 221-233). Beide Experimente zeigten keine Effekte (siehe auch Neues aus der Wissenschaft 2, 2002 und 3, 2003). Die Tiere wurden in diesen Experimenten, außer der Gamma- und UV-Bestrahlung in den ersten Wochen, über die gesamte Zeit von 78 beziehungsweise 52 Wochen verschiedenen Frequenzen des Mobilfunks, das heißt kontinuierlichen NMT-Feldern mit 902,5 MHz, GSM gepulsten 902,4 MHz und DAMPS gepulsten 849 MHz ausgesetzt. Nun publizieren die Autoren die Befunde der von den Tieren dieser beiden Studien am Ende gewonnenen Blutausschnitte, indem sie der Frage nachgehen, ob es im Verlaufe der Exposition zu genotoxischen Einflüssen gekommen ist. Gemessen wird die Zahl von Mikrokerneln poly- und normochromatischer roter Blutzellen (Blindauswertung). Das Ergebnis fiel in allen Proben negativ aus, auch im Vergleich zu den Käfigkontrollen. Dass selbst die UV- und Gammastrahlung keinen Einfluss zeigten, erklären die Autoren damit, dass UV prinzipiell nur die Haut tangiert und deshalb keinen Einfluss auf die blutbildenden Organe haben kann. Die sicherlich durch die Gammastrahlung am Beginn der Experimente verursachten Schäden seien hingegen im Blutbild bis zum Ende des Experiments kompensiert. In einer ausführlichen Diskussion unterstreichen die Autoren, dass diese genotoxischen Effekte offenbar sehr temperatursensibel sind und deshalb bei thermischer Exposition sofort auftreten. Dies zeigt gleichzeitig die hohe Sensibilität dieses Tests und damit den Wert der hier gefundenen Negativaussage.

Juutilainen J; Heikkinen P; Soikkeli H, and Mäki-Paakkanen J: Micronucleus frequency in erythrocytes of mice after long-term exposure to radiofrequency radiation. Int. J. Radiat. Biol. (2007) 83, 213-220.

Einfluss auf Zellwachstum und -Entwicklung

Gibt es doch einen Einfluss der HF-Felder auf die Ornithindecaboxylase (ODC)? Wie bereits berichtet (Neues aus der Wissenschaft 3, 2006) konnte durch Messungen der Temperaturabhängigkeit der ODC-Aktivität die immer wieder erhobene Behauptung widerlegt werden, es gäbe nichtthermische HF-Wirkungen auf diesen Prozess. – Bereits

eine Temperaturerhöhung von einem Grad senkte den ODC Gehalt in Kulturen von Mäusefibroblasten um 57 Prozent! (Höytö et al., Radiat. Environ. Biophys. 2006; **45**, 231). Diese Arbeitsgruppe aus Finnland führte nun die Arbeiten fort und dehnte die Experimente aus, sowohl hin zu höheren Intensitäten (872 MHz, kontinuierlich und GSM-gepulst, 1,5; 2,5; 6,0 W/kg) als auch hinsichtlich weiterer Zellarten (Mäuse-Fibroblasten L929, Ratten-Glioblastomazellen C6, menschliche Neuroblastomazellen SH-SY5Y und Primärkulturen von Astrozyten aus Rattenhirn). Dabei konnten die früheren Befunde bestätigt werden, wonach die drei transformierten Zellarten bei ordentlicher Thermostatierung keine Effekte zeigten. Bei den Primärkulturen ergaben jedoch bereits 1,5 W/kg eine Verminderung der ODC-Aktivität. Wenngleich dieser Effekt auch gering war im Vergleich zu dem Verhalten der Positivkontrollen, das heißt den Änderungen beim Erneuern der Kulturlösungen, so war er doch statistisch signifikant. Die Autoren schließen auf eine höhere Empfindlichkeit dieser Primärzellen gegenüber den Kulturen transformierter Stämme. Dies wäre eine wichtige Schlussfolgerung, betrifft sie doch die Zellen im gesunden Gehirn. Doch: Ist es tatsächlich eine höhere Empfindlichkeit gegenüber den HF-Feldern, oder nicht vielleicht gegenüber Temperaturschwankungen, welche die Zellen der Primärkulturen auszeichnen? Vergleichende Messungen der Temperaturabhängigkeit dieses Prozesses wären wünschenswert!

Höytö A; Juutilainen J; Naarala J: Ornithine decarboxylase activity is affected in primary astrocytes but not in secondary cell lines exposed to 872 MHz RF radiation. Int. J. Radiat. Biol. 83 (2007), 367-374.

Zum Einfluss von HF-Feldern auf Sinneszellen

Kein Einfluss von Langzeitexposition mit GSM-Feldern auf die Haarzellen des Innenohres, auch nach Störung durch Antibiotika. Nachdem die Gruppe um Galloni et al. (Bioelectromagnetics **26**, 2005, 536) bereits nachweisen konnte, dass selbst starke GSM-Felder keine Schädigung der Haarzellen im Ohr von Ratten hervorrufen können (siehe: Neues aus der Wissenschaft 4, 2005), ging man jetzt der Frage nach, ob die als Nebeneffekt bei einer Behandlung mit Aminoglycosid-Antibiotika auftretende Schädigung des Innenohrs, durch zusätzliche Langzeitexposition durch GSM-Felder beeinflusst werden könnte (900 MHz, 4 W/kg, 2 Stunden/Tag, 4 Wochen lang). Vier Gruppen zu je 8 Ratten wurden mit folgenden Kombinationen untersucht: Feld allein; Feld + Antibiotikum (Gentamycin 150 mg/kg, während 15 Tagen); Scheinexposition + Antibiotikum; Scheinexposition ohne Antibiotikum. Vor, während und nach der Versuchsperiode wurde das Hörvermögen der Tiere mit der Methode der otoakustischen Emissionen (DPOAE) gemessen. Man versteht darunter die Messung aktiver Schall-Emissionen der Haarzellen des Innenohrs, experimentell getriggert durch zwei interferierende Schallfrequenzen. Im Hochtonbereich über 6 kHz waren Störungen durch die Nebenwirkungen des Antibiotikums deutlich nachweisbar, die durch das Feld jedoch nicht beeinflusst wurden. Die Feldwirkung allein zeigte, ebenso wie bei den vorausgegangenen Experimenten, ebenfalls keine Wirkung.

Parazzini M; Galloni P; Piscitelli M; Pinto R; Lovisolo GA; Tognola G; Ravazzani P, and Marino C: Possible combined effects of 900 MHz continuous-wave electromagnetic fields and gentamicin on the auditory system of rats. Radiat. Res. (2007) 167,600-605.

Mobilfunk und Krebs

Mobilfunk und Hautkrebs? Sowohl UV-Strahlen als auch die ionisierenden Strahlen höherer Quantenenergie sind als Erreger von Hautkrebs bekannt. Trifft dies auch für die nichtionisierende Strahlung des Mobilfunks zu? Dieser Frage sind drei Studien der Universität Bordeaux gewidmet. Zunächst untersuchte man den akuten Einfluss auf die Haut haarloser Ratten, die, in speziellen PVC-Röhren fixiert, genau lokalisiert während 2 Stunden mit GSM-900 und -1800 MHz (5 W/kg) exponiert wurden. Sofort

nach dem Experiment wurden die Tiere getötet und die Haut histologisch und histochemisch untersucht (Hautdicke, Proliferationsindex, Filaggrin-, Elastin- und Kollagen-Gehalt und -Lokalisation). Im Unterschied zu den Positivkontrollen, die mit UVB exponiert wurden (400 mJ/cm²), konnten jedoch keinerlei Veränderungen festgestellt werden. In einer zweiten Arbeit berichten die Autoren über Langzeitexperimente, bei denen die Tiere während 12 Wochen exponiert wurden (2 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche). Damit wollte man mit der gleichen Methode untersuchen, ob das Feld Einfluss auf den Zyklus der Hautregeneration nehmen könnte, der mit 6 - 7 Wochen anzusetzen ist. Man stellte lediglich einen Gewichtsunterschied zwischen Käfig-Kontrollen und befeldeten wie auch scheinbefeldeten Tieren fest, ein Umstand, der auf den Stress der Behandlung zurückzuführen ist und bei ähnlichen Versuchen bereits von mehreren Autoren beobachtet wurde. Schließlich untersuchte man, ob es bei der Exposition zur Aktivierung von Hitzeschockproteinen (HSP70, HSC70, HSP27) kommt. Im Unterschied zu anderen Studien, bei denen transformierte Zelllinien von Hautzellen verwendet wurden, arbeitete man hier mit Primärkulturen menschlicher Keratinozyten und Fibroblasten. Diese wurden während 48 Stunden mit 217 Hz gepulsten 1800 MHz befeldet (2 W/kg). Auch hier zeigte sich im Gegensatz zu den Positivkontrollen unter UVB-Einwirkung kein Effekt. Somit kommen die Autoren zu dem Schluss, dass es keinen Hinweis auf eine Erzeugung von Hautkrebs durch die Felder des Mobilfunks gibt.

Masuda H; Sanchez S; Dulou PE; Haro E; Anane R; Billaudel B; Leveque P; Veyret B: Effect of GSM-900 and -1800 signals on the skin of hairless rats. I: 2-hour acute exposures. Int. J. Radiat. Biol. (2006) 82, 669-674.
Sanchez S; Masuda H; Billaudel B; Haro E; Anane R; Léveque P; Ruffie G; Lagroye I; Veyret B: Effect of GSM-900 and -1800 signals on the skin of hairless rats. II: 12-week chronic exposure. Int. J. Radiat. Biol. (2006) 82, 675-680.

Sanchez S; Haro E; Ruffié G; Veyret B; Lagroye I: In vitro study of the stress response of human skin cells to GSM-1800 mobile phone signals compared to UVB radiation and heat shock. Radiat. Res. (2007) 167, 572-580.

Langzeitexperimente an Mäusen: Am Fraunhofer-Institut für Toxikologie und experimentelle Medizin (ITEM) wurden umfangreiche Untersuchungen über mögliche Krebsentstehung durch GSM- (902 MHz) und DCS-Felder (1747 MHz) im Langzeitexperiment (2 Jahre) an Mäusen durchgeführt. In 18 Gruppen zu je 65 Tieren exponierte man getrennt männliche und weibliche Mäuse in drei Intensitätsklassen 5 Tage pro Woche und 2 Stunden pro Tag und verglich diese mit scheinexponierten Kontrollen. Dabei wurden im Verlaufe dieser 120 Minuten dauernden Exposition jeweils 40 Minuten lang nacheinander drei Pulsmuster verwendet, bezeichnet als „GSM-Basic“ mit höchster Intensität, ein Dauergespräch simulierend, „GSM Talk“ mit mittlerer und „GSM Environment“ mit geringstem Zeitmittel der Intensität. Unabhängig davon verwendete man drei Dosis-Stufen. Die Gruppen mit „intensiver“ Exposition lagen mit mittlerem SAR Wert von 4 W/kg deutlich über dem beim Telefonieren üblichen Wert, während die „mittlere“ Gruppe mit 1,3 W/kg und die „schwach“ exponierte mit 0,4 W/kg den realistischen Werten des Handygebrauchs deutlich näher kamen. Tabellarisch wird die errechnete Belastung der einzelnen Organe unter den verschiedenen Bedingungen angegeben. Während jeweils 15 der 65 Tiere einer jeden Gruppe bereits nach einem Jahr untersucht wurden, blieben jeweils 50 Tiere 24 Monate im Experiment. Die pathologische Analyse umfasste Gehirn, Herz, Lungen, Leber, Milz, Nieren, Nebennieren und Gonaden. Ferner wurde eine umfassende Blutuntersuchung durchgeführt. Sämtliche Daten, inklusive der Expositionsparameter, wurden verschlüsselt und erst am Ende des Experiments freigegeben. Diese Zweijahresstudie in drei Dosisstufen folgte somit allen Bedingungen, die an die Überprüfung möglicher chronischer Einflüsse chemischer, pharmazeutischer oder umweltbedingter Einflüsse gestellt werden.

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Exposition der B6C3F1-Mäuse unter diesen Bedingungen keinen Hinweis auf irgendwelche gesundheitlichen Einflüsse, inklusive Vorkommen neoplastischer und nicht-neoplastischer Veränderungen, liefert. *Tillmann T; Ernst H; Ebert S; Kuster N; Behnke W; Rittinghausen S; Dasenbrock C: Carcinogenicity study of GSM and DCS wireless communication signals in B6C3F1 mice. Bioelectromagnetics (2007) 28, 173-187*

Thermische Effekte

Durchblutung kompensiert Temperaturerhöhung auch bei hohem SAR-Wert. Eine japanische Arbeitsgruppe führte Kontrollexperimente an den Ohren von Kaninchen nach Exposition mit 1,5 GHz mit mittleren SAR-Werten von 2,3; 10,0 und 34,3 W/kg durch. Mit Hilfe der IR-Thermographie wurde der Temperaturverlauf alle 10 s im Verlaufe von 20 Minuten der Exposition und 10 Minuten danach verfolgt. Bei Abklemmen der Blutversorgung kam es bereits bei 2,3 W/kg zu einer signifikanten Temperaturerhöhung. War die Durchblutung intakt, so konnten sogar die 34,5 W/kg kompensiert werden. Die Autoren unterstreichen die Notwendigkeit, die Durchblutung bei Modellberechnungen und Phantommessungen zu berücksichtigen.

Jia F, Ushiyama A, Masuda H, Lawlor GF, and Ohkubo C: Role of blood flow on RF exposure induced skin temperature elevations in rabbit ears. Bioelectromagnetics (2007) 28, 163-172.

Untersuchungen an Probanden

Korreliert elektromagnetische Hypersensitivität (EHS) mit einer erhöhten Empfindlichkeit gegenüber niederfrequenten (50 Hz) Strömen? Diese Frage wurde an drei Gruppen von Probanden getestet und mit Normwerten von 708 Personen verglichen. Die Empfindlichkeit ermittelte man mit Hilfe von Elektroden am Unterarm. Der Schwellenwert der Empfindung bei steigender Stromstärke wurde durch Knopfdruck angegeben. Da bekanntlich Frauen empfindlicher reagieren als Männer, teilte man die bei Frauen gemessenen Schwellen-Stromstärken durch den Quotient 0,77. So ließen sich die Werte mit denen der männlichen Probanden poolen. Die Ergebnisse zeigten, dass die Werte der Gruppe 1 (37 Personen aus einer Selbsthilfegruppe für Elektrosensible) sich nicht von denen der Vergleichspersonen unterschieden. Signifikante Verminderungen der Schwellenwerte waren hingegen bei der Gruppe 2 (29 Personen, die allgemeine Gesundheitsprobleme auf EMF bezogen, ermittelt durch Zeitungsannonce) und bei der Gruppe 3 messbar (24 Personen, die Schlafstörungen auf nahe Sendemasten bezogen, und die sich spontan gemeldet hatten). Die Signifikanzen wurden mit verschiedenen statistischen Methoden belegt. Die Autoren unterstreichen, dass diese Befunde nichts über den Mechanismus der EHS aussagen. Auch ist dadurch nicht nachgewiesen, dass die erhöhte Empfindlichkeit gegenüber 50 Hz-Strömen Ursache der EHS ist. Vielmehr handelt es sich um eine Korrelation, wie sie auch anderweitig zwischen EHS und psychophysischer Konstellation der Personen gefunden wurde.

Schröttner J; Leitgeb N; Hillert L: Investigation of electric current perception thresholds of different EHS groups. Bioelectromagnetics (2007) 28, 208-213.

Auch bei wiederholter Exposition im GSM-Feld kein Einfluss auf Schlafverhalten und kognitive Eigenschaften von Probanden. An der Universität Kiel wurde erstmals untersucht, ob eine wiederholte Exposition von Probanden mit einem GSM-Feld zu Veränderungen des Schlafverhaltens oder verschiedener kognitiver Leistungen nach dem Schlaf führt. Die Versuche erfolgten doppelblind an zwei Gruppen junger gesunder Männer (zehn Personen je Gruppe) an acht aufeinander folgenden Nächten. Dabei diente die erste Nacht zur Anpassung, die zweite zur Ermittlung von Vergleichswerten. In den folgenden Nächten wurden die Probanden einer Gruppe exponiert, die der

anderen schein-exponiert. Man führte eine polysomnographische Analyse durch, basierend auf kontinuierlichen EEG-, EMG- und EOG-Messungen, sowie visueller Beobachtung. Am Morgen nach dem Schlaf schloss sich jeweils eine kombinierte Untersuchung mit mehreren Verfahren zur Kontrolle psychischer Eigenschaften an. Die Probanden wurden während der gesamten Schlafperiode in einem feldgedämpften Raum durch eine Antenne im Kopfbereich exponiert (900 MHz, SAR<1W/kg im Gehirn, 0,024 W/kg Ganzkörperdosis). Es konnte jedoch auch nach 6-fach wiederholter Exposition kein Unterschied zwischen den exponierten und scheinexponierten Personen ermittelt werden. Auch die zuvor von anderen Autoren gefundenen geringen Veränderungen im EEG ließen sich nicht bestätigen.

Fritzer G; Göder R; Friege L; Wachter J; Hansen V; Hinze-Selch D, and Aldenhoff JB: Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects. Bioelectromagnetics (2007) 28, 316-325.

Unsichere und schwer reproduzierbare Resultate im EEG von Probanden unter Bedingungen von Psychotests. Seit mehreren Jahren untersucht die Gruppe um Christina Krause (Helsinki) mögliche Einflüsse der Felder von Mobiltelefonen auf das Lernverhalten von Versuchspersonen beziehungsweise auf das EEG (siehe Neues aus der Wissenschaft 2, 2004). Jetzt liegt die Publikation einer weiteren Doppelblind-Studie vor, in welcher bei 36 männlichen Probanden versucht wird die vorherigen Ergebnisse zu reproduzieren und außerdem mögliche Unterschiede zwischen kontinuierlichen und gepulsten Feldern zu finden. Wieder wurden die Probanden unter dem Einfluss eines am Kopf befindlichen Senders akustischen und optischen Tests des Kurzzeitgedächtnisses unterzogen und dabei EEG-Messungen durchgeführt. Unterschiede im Psychotest konnten nicht gefunden werden. Mitunter traten geringe, jedoch signifikante EEG-Differenzen auf, welche die Autoren allerdings als „unsystematisch“ und „inkonsistent“ bezeichnen. Teilweise ließen sich bei Schein-Befeldung signifikante Unterschiede zwischen der rechten und linken Kopfseite nachweisen. Dies zeigt die Unsicherheit dieser Methode und den Wert, den man anderen statistisch signifikanten Unterschieden dieser Untersuchung zumessen kann. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die EEG-Effekte entweder überhaupt nicht existieren, oder so empfindlich auf Nebenbedingungen reagieren, dass sie nicht systematisch nachweisbar sind.

Krause CM, Pesonen M, Björnberg CH, and Hämäläinen H: Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing: Bioelectromagnetics (2007) 28; 296-308.