

12 neue Studien - ein Fazit:

Schädigungsmechanismen der Mobilfunkstrahlung sind nachgewiesen

Die wichtigste Publikation im dritten Quartal 2015 ist der Review von Yakymenko et al. *Oxidative Mechanismen der biologischen Aktivität bei schwachen hochfrequenten Feldern*. Von 100 begutachteten Studien weisen 93 % (= 93 Studien) den Schädigungsmechanismus Oxidativer Zellstress nach:

„Schlussfolgernd zeigt unsere Analyse, dass Hochfrequenzstrahlung niedriger Intensität ein starker oxidativer Wirkungsfaktor für lebende Zellen ist, mit einem hohen krankheitserregenden Potenzial.“

Dieser Review ist mehrfach bedeutend, denn er entzieht der platten Argumentation von Industrie- und einigen Behördenvertretern den Boden, (i) es gäbe keine einzige Studie, die ein krankheitserregendes Potential nachweise, (ii) einmal gefundene Effekte hätten nicht reproduziert werden können, (iii) man kenne keine Wirkmechanismen und (iv) er entzieht den geltenden Grenzwerten die Legitimation. Diagnose-Funk e.V. hat diese Studie übersetzen lassen und im Oktober 2015 als Brennpunkt veröffentlicht. Diese Studienrecherche 2015-3 enthält eine Zusammenfassung dieses Reviews.

In der Studienrecherche werden 12 Studien analysiert und besprochen. Yakymenko et al.(2015), Maskey et al.(2014), Esmekaya et al.(2011) und Saikhedkar (et al. (2014) weisen oxidative Schädigungsmechanismen nach.

Die Zahl der Studien zu Wirkungen auf die Reproduktionsorgane steigt weiter: Mahmoudabadi et al.(2015) stellen einen signifikanten Zusammenhang von Handynutzung und Fehlgeburten fest; Margaritis et al. (2014), Tas et al. (2014), Rago et al. (2013) weisen in Tierversuchen Auswirkungen auf Eierstöcke, Spermien und Hoden nach.

Wie wirkt sich die Dauerbestrahlung durch Tablets und Smartphones auf die Kognition und das Lernverhalten aus? Li et al. (2015) weisen an Ratten auf Veränderungen der Gehalte an Neurotransmittern, v.a. den Serotoninstoffwechsel hin, mit der Folge von Defiziten in Hirnleistungen. Saikhedkar et al. (2014) stellen neurodegenerative Veränderungen in Zellen des Hippocampus und in der Hirnrinde fest, mit den Folgen stärkerer Ängstlichkeit, mehr Stress und Depressionen. Roggeveen et al. (2015) untersuchten, ob die Strahlung eines Smartphones das EEG verändert, mit dem Ergebnis: Die Aktivitäten des Alpha-, Beta- und Gamma-Bands war in fast allen gemessenen Gehirnregionen gesteigert. Holovska et al. (2015) untersuchten die Auswirkungen von WLAN auf die Leber, Veränderungen in den Zellen wurden festgestellt.

Auswirkungen auf das Erbgut (DNA von Spermien) ergab die Studie von Rago et al. (2013). Chromosomenschäden, Mitochondrienschäden und Organellenzerstörung weisen Esmekaya et al. (2011) bei 1,8 GHz, der UMTS Frequenz, nach; Esmekaya et al. (2013) berichten, dass 2,1 GHz Strahlung den apoptotischen Zelltod induziert.

STUDIEN RECHERCHE

2015 - 3

Diagnose-Funk e.V.

Umwelt- und Verbraucherorganisation
zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e.V.

Postfach 15 04 48
70076 Stuttgart

www.diagnose-funk.org
www.mobilfunkstudien.org
kontakt@diagnose-funk.org

Ihr Ansprechpartner

Ressort Wissenschaft

Peter Hensinger

peter.hensinger@diagnose-funk.de

Diagnose-Funk e.V. ist eine Umwelt- und Verbraucherorganisation, die sich für den Schutz vor elektromagnetischen Feldern und Strahlung einsetzt. Das Ziel von Diagnose-Funk ist es, über die gesundheits- und umweltschädigenden Wirkungen elektromagnetischer Felder verschiedenster Quellen unabhängig von Industrie und Politik aufzuklären, dadurch Verhaltensweisen von Verbrauchern und Politik zu ändern und Lösungen für zukunftsfähige und umweltverträgliche Technologien durchzusetzen.

Inhalt

Oxidativer Zellstress

Seite 3

Oxidative Mechanismen der biologischen Aktivität von Mikrowellen geringer Intensität. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. Von: Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. Erschienen in: Electromagn Biol Med, Online: 1–17, Online Juli 2015

Neurotransmitter, Kognition und Verhalten, ZNS, EEG

Seite 4

Veränderungen der kognitiven Funktion und des 5-HT-Systems bei Ratten nach Mikrowellen-Langzeit-Exposition. Alterations of cognitive function and 5-HT system in rats after long term microwave exposure. Von: Li HJ, Peng RY, Wang CZ, Qiao SM, Yong Z, Gao YB, Xu XP, Wang SX, Dong J, Zuo HY, Li Z, Zhou HM, Wang LF, Hu XJ. Erschienen in: Physiol Behav 2015; 140: 236–246

Wirkungen von Mobiltelefon-Feldern (900 MHz Hochfrequenz) auf Struktur und Funktionen des Ratten-Gehirns. Effects of mobile phone radiation (900 MHz radiofrequency) on structure and functions of rat brain. Von: Saikhedkar N, Bhatnagar M, Jain A, Sukhwai P, Sharma C, Jaiswal N. Erschienen in: Neurol Res 2014; 36 (12): 1072–1079

Immunohistochemische Lokalisierung der neurotrophen Faktoren aus dem Gehirn und aus einer Glia-Zelllinie (BDNF, GDNF) im oberen Olivenkomplex von Mäusen nach Hochfrequenz-Bestrahlung. Immunohistochemical localization of brain-derived neurotrophic factor and glial cell line-derived neurotrophic factor in the superior olivary complex of mice after radiofrequency exposure. Von: Maskey D, Kim MJ. Erschienen in: Neurosci Lett 2014; 564: 78–82

EEG-Veränderungen aufgrund experimentell induzierter 3G-Mobilfunk-Strahlung. EEG Changes Due to Experimentally Induced 3G Mobile Phone Radiation. Von: Roggeveen S, van Os J, Viechtbauer W, Lousberg R. Erschienen in: PLoS One 2015; 10 (6): e0129496-1–e0129496-13

DNA - Schädigung / Zellwachstum

Seite 7

Untersuchung der Wirkungen von 2,1 GHz-Mikrowellen-Feldern auf das Mitochondrien-Membran-Potential ($\Delta\psi_m$), Apoptose-Aktivität und Zelllebensfähigkeit bei menschlichen Brust-Fibroblasten-Zellen. Investigation of the effects of 2.1 GHz microwave radiation on mitochondrial membrane potential ($\Delta\psi_m$), apoptotic activity and cell viability in human breast fibroblast cells. Von: Esmekaya MA, Seyhan N, Kayhan H, Tuysuz MZ, Kursun AC, Yagci M. Erschienen in: Cell Biochem Biophys 2013; 67 (3): 137–1378

Mutagene und morphologische Einflüsse einer 1,8-GHz-Bestrahlung menschlicher peripherer Blut-Lymphozyten und die möglicherweise schützende Rolle einer Vorbehandlung mit Ginkgo biloba (EGb 761). Mutagenic and morphologic impacts of 1.8 GHz radiofrequency radiation on human peripheral blood lymphocytes (hPBLs) and possible protective role of pre-treatment with Ginkgo biloba (EGb 761). Von: Esmekaya MA, Aytakin E, Ozgur E, Güler G, Ergun MA, Omeroglu S, Seyhan N. Erschienen in: Sci Total Environ 2011; 410: 59–64

Spermien, Embryo, Reproduktion

Seite 9

Mobiltelefon-Nutzung während der Schwangerschaft und das Risiko einer spontanen Fehlgeburt. Use of mobile phone during pregnancy and the risk of spontaneous abortion. Von: Mahmoudabadi FS, Ziaei S, Firoozabadi M, Kazemnejad A. Erschienen in: J Environ Health Sci Eng 2015; 13: 34–37

Eireifung bei Drosophila als ein Biomarker für die Reaktion auf elektromagnetische Feldquellen. Drosophila oogenesis as a bio-marker responding to EMF sources. Von: Margaritis LH, Manta AK, Kokkaliaris KD, Schiza D, Alimisis K, Barkas G, Georgiou E, Giannakopoulou O, Kollia I, Kontogianni G, Kourouzidou A, Myari A, Roumelioti F, Skourouliakou A, Sykioti V, Varda G, Xenos K, Ziomas K. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (3): 165–189

Die Spermien-Qualität von Handy-Nutzern. The semen quality of the mobile phone users. Von: Rago R, Salacone P, Caponecchia L, Sebastianelli A, Marcucci I, Calogero AE, Condorelli R, Vicari E, Morgia G, Favilla V, Cimino S, Arcoria AF, La Vignera S. Erschienen in: J Endocrinol Invest 2013; 36 (11): 970–974

Langzeit-Wirkungen von 900 MHz-Mobilfunkstrahlung auf das Hoden-Gewebe und die Samen-Qualität der Nebenhoden. Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality. Von: Tas M, Dasdag S, Akdag MZ, Cirit U, Yegin K, Seker U, Ozmen MF, Eren LB. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (3): 216–222

Zellstruktur / WLAN

Seite 12

Strukturelle und ultrastrukturelle Untersuchungen von Ratten-Leber nach Bestrahlung mit elektromagnetischen Feldern. Structural and Ultrastructural Study of Rat Liver Influenced by Electromagnetic Radiation. Von: Holovska K, Almasiova V, Cigankova V, Benova K, Racekova E, Martoncikova M. Erschienen in: J Toxicol Environ Health Part A 2015; 78 (6): 353–356

Neuerscheinungen / Glossar

Seite 13 - 16

Oxidativer Zellstress

Oxidative Mechanismen der biologischen Aktivität von Mikrowellen geringer Intensität

Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation.

Von: Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S. Erschienen in: Electromagn Biol Med, Online: 1–17, Online Juli 2015

In den Jahren 1985 bis 2005 ist die Hintergrundstrahlung in Innenräumen 5000-fach angestiegen, das kann schwere Auswirkungen auf die menschliche Biologie und Gesundheit haben wie Kopfschmerzen, Tinnitus, Hautirritationen, Depressionen, Schlaf- und Hormonstörungen sowie Beeinträchtigungen der menschlichen Keimzellen und ein erhöhtes Tumorrisiko. In Experimenten werden immer mehr Stoffwechselveränderungen in lebenden Zellen gefunden, hauptsächlich handelt es sich um oxidative Wirkungen und freie Radikal-Mechanismen. Mikrowellen können signifikant eine Aktivierung von freien Radikal-Prozessen und Überproduktion von ROS in Zellen bewirken. Hier wird eine Analyse der Erkenntnisse vorgestellt, die die potenziellen Gesundheitsschädigungen der bereits überall vorhandenen Mikrowellen niedriger Intensität beschreibt.

Studiendesign und Durchführung: In dieser Übersichtsarbeit haben die Autoren 100 zurzeit verfügbare, von Gutachtern überprüfte wissenschaftliche Veröffentlichungen herangezogen. Alle Studien waren mit Feldstärken unterhalb der thermischen Schwelle und der ICNIRP-Grenzwerte durchgeführt worden. Die Arbeit beschreibt die physikalischen/biophysikalischen Mechanismen, die durch die Strahlung ablaufen und die Auswirkungen in lebenden Zellen, wie es zur Erzeugung von reaktiven oxidativen Substanzen (ROS) durch Mobilfunkstrahlung in Zellen kommt, wie die oxidative Schädigung von DNA durch die Hochfrequenzstrahlung entstehen kann. Die gesundheitlichen Beeinträchtigungen als Folgen der ROS-Bildung durch Mikrowellen werden nachvollziehbar beschrieben und erklärt.

Ergebnisse: Von den zurzeit verfügbaren 100 wissenschaftlichen Arbeiten haben 93 eine oxidative Schädigung bzw. oxidativen Stress in biologischen Systemen herausgefunden. Die Experimente wurden mit Zellkulturen (*in vitro*), Tieren, Pflanzen und Menschen durchgeführt. Die überwiegende Zahl der Arbeiten hatten 900 MHz, gefolgt von 1800 MHz zum Gegenstand, andere 2100 und 2450 MHz, wenige auch 400, 27 MHz u. a. Die untersuchten Parameter waren bei 17 Arbeiten oxidativer Stress *in vitro*, 72 Arbeiten oxidativer Stress bei Tieren und Pflanzen, 4 Arbeiten oxidativer Stress beim Menschen und 7 Arbeiten fanden keine oder keine signifikante Wirkung.

Zu den Mechanismen: Eine Vielzahl von Mechanismen und Wirkungen wurden untersucht und man hat zahlreiche Erklärungsmodelle entwickelt. Hier können nur einige dargestellt werden. Ein entscheidender Faktor ist die Bildung von freien Radikalen und anderen reaktiven oxidativen Substanzen (ROS) durch Einwirkung der Mobilfunkstrahlung. Die physikalischen

bzw. biophysikalischen Wirkungen der Strahlung sind oxidative Prozesse, die sich auf vielen Ebenen auswirken können. Freie Radikale werden gebildet und stören die Signalgebung in und zwischen den Zellen und schädigen die DNA, damit kann die mutagene Wirkung und potenzielle Karzinogenität der Strahlung erklärt werden. Zur mutagenen Schädigung der DNA durch Mikrowellen gibt es mehr als 100 Veröffentlichungen, von denen eine Mehrzahl eine signifikante Wirkung der Strahlung bestätigen. Eine deutliche Anzahl hat Mikronuklei schon bei 0,5 W/kg (Grenzwert 2 W/kg) gefunden. Beteiligte Enzyme an den Stoffwechsel- und Oxidationsprozessen sind NADH-Oxidasen, die Ornithindecarboxylase (ODC), Cytochromoxidase und Na/K-ATPase. Die schädigenden Produkte sind Wasserstoffperoxid, Hydroxylradikale und andere Moleküle. Mikrowellen können von bestimmten Ladungen, Molekülen und Zellstrukturen absorbiert werden und es entstehen veränderte Stoffwechsel-Bedingungen in den Zellen. Die Strahlung kann eine Reaktion von Wassermolekülen auslösen. Die Wassermoleküle werden durch die Strahlung zersetzt, weil die Bindungen durch Reibung innerhalb der Moleküle zerbrechen. Dadurch entstehen Wasserstoff- und Hydroxyl-Radikale (H^{\bullet} , OH^{\bullet} , H^+ und OH^- -Gruppen). Das OH^{\bullet} -Radikal ist das aggressivste Teilchen von den ROS, es kann jede chemische Bindung in den umgebenden Molekülen brechen. Da Wasser überall in Lebewesen vorhanden ist, können Mikrowellen eine tief greifende Wirkung auf die Gewebemöostase haben, es kann z. B. irreversible Lipidperoxidase entstehen. Eine andere Quelle von ROS ist die Elektronentransportkette in den Mitochondrien, die Superoxid erzeugen kann durch Abbruch des Elektronentransports unter Einwirkung der Mikrowellen. Mitochondrien spielen zudem eine Rolle bei der Apoptose; da werden vermehrt ROS und Cytochrom C gebildet und andere pro-apoptotische Proteine, bevor dann die Apoptose vollzogen wird. ROS werden schon bei $0,1 \mu W/cm^2$ oder $0,3 \mu W/kg$ gebildet, also weit unter dem Grenzwert. Weitere Befunde nach Mikrowellenbestrahlung sind Protein-Konformationsänderungen, die Strahlung kann vielerlei Ca^{2+} -abhängige Signalkaskaden aktivieren und es gibt eine direkte Wirkung auf die Ionenkanäle in der Plasmamembran.

Zu den Symptomen: In den letzten Jahren ergaben epidemiologische Studien einen signifikanten Anstieg an Neuerkrankungen verschiedener Tumorarten bei Langzeitnutzern des Mobilfunks. Besonders gestiegen ist das Risiko für Hirntumore, Akustikusneurinome, Tumore der Ohrspeicheldrüsen, Seminome, Melanome und Lymphome, auch bei Menschen, die in der Nähe von Basisstationen leben. Auch die Elektrosensibilität, die sich oft durch Haut- und Schleimhautsymptome wie Jucken, Hitzeempfinden, Schmerz oder Herz- und Nervensymptome bemerkbar macht, ist von 0,06 % in 1985 auf jetzt 9–11 % der europäischen Bevölkerung angewachsen. In Schweden ist Elektrosensibilität eine anerkannte gesundheitliche Behinderung. Allergische Reaktionen werden sichtbar durch höhere Konzentrationen an Mastzellen in der Haut von Personen unter Bestrahlung. Bei elektrosensiblen Personen sind degranulierte Mastzellen in der Haut erhöht. Aktivierte Mastzellen scheiden Histamin aus und andere Mediatoren, dann erfolgt Jucken, Dermatosen usw.. Eine Beteiligung von ROS an allergischen Reaktionen ist heute ziemlich gesichert. Studien zeigen, dass 18–43 % der jungen Leute unter Kopfschmerzen,

Müdigkeit, Ohrenscherzen während oder nach dem Telefonieren leiden. Andere vorklinische Symptome sind Müdigkeit, Schlaf- und Hormonstörungen bei Leuten, die in der Nähe von Basisstationen wohnen.

Schlussfolgerungen: Die Analyse der neuen Daten, wie geringe Feldstärken von Mikrowellen auf biologische Systeme wirken, führt zu einer klaren Schlussfolgerung: Das physikalische Agens Mikrowellen (Mobilfunkstrahlung) ist ein starker oxidativer Stressor für lebende Zellen. Die Wirksamkeit der Mikrowellen kann über Veränderungen in den Aktivitäten der Schlüsselsysteme der ROS-Erzeugung wie Mitochondrien und NADH-Oxidase, über direkte Wirkung auf Wassermoleküle und über Induktion von Konformationsänderungen in wichtigen biologischen Makromolekülen erfolgen. Es gibt ein breites biologisches Potenzial von ROS und anderen freien Radikalen einschließlich deren mutagener Wirkung als schädliche Faktoren für die menschliche Gesundheit. Da Mobilfunkstrahlung zur Überproduktion von freien Radikalen und ROS führt, können sie mit Sicherheit Schäden über direkte Oxidation von biologischem Material hervorrufen. Die Intensität und Dauer der Strahlung sollte im täglichen Leben reduziert werden.

Neurotransmitter, Kognition und Verhalten, ZNS, EEG

Veränderungen der kognitiven Funktion und des 5-HT-Systems bei Ratten nach Mikrowellen-Langzeit-Exposition.

Alterations of cognitive function and 5-HT system in rats after long term microwave exposure.

Von: Li HJ, Peng RY, Wang CZ, Qiao SM, Yong Z, Gao YB, Xu XP, Wang SX, Dong J, Zuo HY, Li Z, Zhou HM, Wang LF, Hu XJ. Erschienen in: *Physiol Behav* 2015; 140: 236–246

Die steigende Nutzung von Mobilfunk führt zu Befürchtungen, dass die Gesundheit beeinträchtigt wird mit Auswirkungen auf die Gehirnfunktionen, bei denen Neurotransmittersysteme eine wichtige Rolle spielen. In dieser Studie wird die Langzeiteinwirkung von Mikrowellen auf das Serotoninsystem, Neurotransmitter, Lernen und Gedächtnis untersucht. Die Frage war, ob Mikrowellen von 2856 MHz Langzeitwirkungen auf den Serotonin-Stoffwechsel haben. Serotonin (5-hydroxytryptamine, 5-HT) ist ein Schlüsselmolekül in der Physiologie des Befindens, es sorgt, wenn es in ausreichender Menge vorhanden ist, für gute Laune, aber es ist auch an Gefäßfunktionen, an den Bewegungen des Magen-Darm-Traktes und an der Hirnleistung bei Lernen und Gedächtnis beteiligt.

Studiendesign und Durchführung: Männliche Ratten wurden mit durchschnittlich 5, 10, 20 oder 30 mW/cm² einer 2856-GHz-Strahlung für 6 Minuten dreimal pro Woche behandelt, die Kontrolltiere erhielten Scheinbestrahlung. Nach der Bestrahlung wurden nach 14 Tagen, 28 Tagen und 2 Monaten das räumliche Lernen und das Gedächtnis im Wasserlabyrinth getestet sowie die morphologischen Strukturen des Hippo-

campus und die Serotoninrezeptoren untersucht. Zu denselben Zeitpunkten wurden die Konzentrationen der Neurotransmitter Noradrenalin (NA), Homovanillinsäure (HVA), Dopamin (DA), Dihydroxy-phenyl-Essigsäure (DOPAC), 5-HT und 5-Hydroxy-Indol-Essigsäure (5-HIAA), dazu Aspartat (Asp), Glutaminsäure (Glu), Glycin (Gly), Taurin (Tau) und γ -Aminobuttersäure (GABA) im Hippocampus und in der Rückenmarksflüssigkeit (Liquor) bestimmt. Eine EEG-Untersuchung erfolgte 14 Tage nach der Bestrahlung.

Ergebnisse: Im Navigationstest zeigte das Verhalten der Tiere umso mehr Zeitverzögerungen, je höher die Feldstärke und je mehr Zeit nach der Bestrahlung vergangen war. Das Erinnerungsvermögen war bei den bestrahlten Tieren geringer. Im EEG zeigte sich 14 Tage nach der Bestrahlung eine erhöhte Amplitude und verminderte Frequenz, wobei die Delta-Wellen signifikant erhöht waren im Vergleich zur Kontrolle, die Höhe stieg mit steigender Leistungsflussdichte. Die Gewebeuntersuchungen ergaben Veränderungen im Hippocampus, und zwar waren die Zellkerne in den bestrahlten Gruppen zu blauen Punkten geschrumpft, am stärksten nach 28 Tagen und bei 30 mW/cm², und die Nervenzellen der Hirnrinde waren degeneriert. Die Bestimmung der Neurotransmitter ergab grundsätzlich verschiedene Werte bei den bestrahlten Gruppen gegenüber der Kontrolle, teilweise signifikant geringere, teilweise erhöhte Konzentrationen. Die Rezeptoren 1A und 2C hatten bei 30 mW/cm² signifikant verschiedene Konzentrationen von der Kontrollgruppe nach 14 Tagen, 28 Tagen und 2 Monaten.

Schlussfolgerungen: Die Experimente an männlichen Ratten zeigen, dass die Langzeiteinwirkung von 2856 MHz mit durchschnittlich 5, 10, 20 und 30 mW/cm² zu Defiziten im räumlichen Lernen und im Gedächtnis führen. Dies basiert auf erhöhten Deltawellen im EEG, Degeneration der Neuronen im Hippocampus, Störungen verschiedener Neurotransmitter und des Serotonin (5-HT)-Systems. Der Anstieg von Serotonin durch die Mikrowellen stört räumliches Lernen und das Gedächtnis. Je höher die Dosis desto schlechter waren Lernen und Erinnern. Das deutet auf Veränderungen im Hippocampus hin. Die veränderten Deltawellen im EEG und Rezeptoren passen zu den Defiziten in den Hirnleistungen, ebenso die Veränderungen der Gehalte an Neurotransmittern. Der hohe Serotoninspiegel durch Mikrowellen kann durch gesteigerte Synthese oder verminderten Abbau entstehen.

Wirkungen von Mobiltelefon-Feldern (900 MHz Hochfrequenz) auf Struktur und Funktionen des Ratten-Gehirns.

Effects of mobile phone radiation (900 MHz radiofrequency) on structure and functions of rat brain.

Von: Saikhedkar N, Bhatnagar M, Jain A, Sukhwal P, Sharma C, Jaiswal N. Erschienen in: *Neurol Res* 2014; 36 (12): 1072–1079

Etwa 600 Mio. Personen weltweit nutzen Mobilfunk, in Indien wird 900 MHz genutzt. Da die Geräte nah am Gehirn betrieben werden, sind sie grundsätzlich als gefährliche Quellen von elektromagnetischen Feldern anzusehen. Sie sind als Krebs erregend eingestuft, das Risiko für Akustikusneurinome und

Gliome ist erhöht, LTE beeinflusst die Hirnaktivität. Hier sollten weitere Erkenntnisse zu Verhalten und biochemischen und histologischen Veränderungen gewonnen werden durch Experimente zur Wirkung von 900-MHz-Strahlung auf Rattenhirne. Das Ziel der Studie war 1. grundlegende Informationen über Langzeitwirkung von Mobiltelefonen auf die Zellen des Hippocampus in Rattenhirnen zu erhalten, 2. die Wirkung auf den Antioxidationsstatus und 3. auf das Verhalten, insbesondere auf Lernen und Gedächtnis, zu bewerten.

Studiendesign und Durchführung: 30 Tage junge Ratten, Gewicht ca. 120 g, bildeten 5 Gruppen, davon je 3 Tiere für Scheinbestrahlung und unbehandelte Kontrolle, dann für die 3 Testgruppen je 7 Tiere für Verhalten, biochemische (Antioxidantien) und histologische (Gewebe von Regionen des Hippocampus) Untersuchungen. Die Bestrahlung erfolgte mit einem 900-MHz-Mobiltelefon, das innen am Dach des Käfigs befestigt war. Die SAR betrug durchschnittlich 0,9 W/kg, die 4 Stunden täglich (9.00–13.00 Uhr) 15 Tage lang einwirkten. Untersucht wurden mit verschiedenen Verhaltenstests (Offenes Feld, Labyrinth, Wasserlabyrinth) Ängstlichkeit, räumliches Lernen und Gedächtnis. Der Antioxidationsstatus wurde mit SOD, CAT, reduziertem Glutathion (GSH), Ascorbinsäure und Malondialdehyd (MDA) überprüft und die Schädigung der Nervenzellen mit der Cresylviolett-Färbung. Die Untersuchung des Gewebes des Hippocampus wurde im Mikroskop durchgeführt.

Ergebnisse: Es ergaben sich signifikante Veränderungen im Verhalten. Die bestrahlten Ratten zeigten einen signifikanten Anstieg der Aktivität, des Eintretens in die Peripherie und längeren Aufenthalt dort. Das bedeutet stärkere Ängstlichkeit und mehr Stress. Die Tests bezüglich des Lernverhaltens ergaben, dass die bestrahlten Tiere mehr Zeit brauchten, um das Ziel zu erreichen und sie wurden nicht besser bei den wiederholten Tests. Das zeigt schlechtes Lernen im Vergleich zu den scheinbestrahlten und den unbehandelten Tieren. Bei den bestrahlten Tieren zeigten einige auch ein Erstarrungsverhalten im Wasserlabyrinth, sie trieben bewegungslos im Wasser. Das deutet auf eine Art Hilflosigkeit oder Depressionen hin. Im klassischen Labyrinth-Test machten die bestrahlten Tiere mehr Fehler und brauchten länger als die Kontrolltiere, um die Belohnung zu finden; das blieb auch so nach den Testphasen.

Signifikante Unterschiede gab es im Gehalt der antioxidativen Enzyme und der nicht-enzymatischen Antioxidantien, dazu Anstieg der Lipidperoxidation in den Hirnen der bestrahlten Ratten. Abnahme der Aktivitäten von SOD und Katalase in Hirn und Leber, die GSH-Konzentrationen nahmen im Gehirn signifikant ab, während sie in der Leber leicht anstieg. Die Konzentrationen der Ascorbinsäure stiegen in der Leber signifikant an, jedoch kaum im Gehirn. Die MDA-Konzentrationen stiegen in Gehirn und Leber signifikant an.

Die histologischen Untersuchungen ergaben neurodegenerative Veränderungen der Zellen in den Regionen CA1, CA3, Gyrus dentatus (DG) des Hippocampus und in der Hirnrinde. Die Kontrollen hatten gesunde Zellen im Hippocampus in großer Anzahl mit kompakter Anordnung. Die Färbung zeigte klare Abgrenzung zwischen Kern und Zytoplasma. Bei den bestrahlten Tieren waren Zellschäden und degenerierte Zellen in den Hippocampus-Regionen und der Hirnrinde zu sehen.

Einige dunkel gefärbte Stellen in den Zellen deuten auf Schrumpfungen hin, die über das Gebiet verstreut waren.

Schlussfolgerungen: Die bestrahlten Tiere zeigten bei allen Verhaltenstests Unterschiede zu den Kontrollen, in der Hälfte der Fälle waren es signifikante Verhaltensänderungen, die andere Hälfte war nicht signifikant. Antioxidantien: Signifikante Unterschiede in Leber und Gehirn, SOD runter, zeigt eine Ansammlung von Superoxid-Radikalen im Hirn, die nicht von der SOD aufgrund ihrer geringen Konzentration zu H_2O_2 umgewandelt wurden. Es könnte auch heißen, dass überhöhte Mengen H_2O_2 erzeugt wurden, was zur Überforderung des Enzyms führte. Ähnlich ist es mit der Katalase, die in Gehirn und Leber vermindert war. Dadurch entsteht der oxidative Stress im Gewebe. Oder die SOD auf andere Weise: es ist weniger H_2O_2 zur Verfügung für die Umwandlung in Wasser (H_2O) und deshalb ist eine geringere Menge von Katalase im Gewebe. GSH als nicht-enzymatisches Antioxidans war signifikant vermindert im Gehirn, jedoch leicht erhöht in der Leber gegenüber den Gehalten in den Kontrollen. Entweder gab es keinen oxidativen Stress dort oder die Ascorbinsäure kompensierte in der Leber.

In der Zellmembran sind Lipide die reaktivsten aller Biomoleküle. Sie bestehen aus Molekülketten, deren vielfach ungesättigte Fettsäuren durch ROS oxidiert werden können, das bedeutet Lipidperoxidation im Rattenhirn. Der hier gemessene Anstieg von MDA nach 900-MHz-Bestrahlung zeigt Hirnschädigung an. Die histologischen Ergebnisse zeigen neurotoxische Wirkungen, die das veränderte Verhalten und die Defizite beim Lernen und Gedächtnis erklären können.

Obwohl die Experimente mit wenigen Tieren durchgeführt wurde, sind die Ergebnisse signifikant. Da jugendliche Tiere untersucht wurden, wird die besondere Empfindlichkeit während des Wachstums simuliert. Möglicherweise werden die Schäden durch tägliches Telefonieren mit dem Mobiltelefon erst im Erwachsenenalter sichtbar, deshalb müssen diese Ergebnisse ernst genommen werden.

Immunhistochemische Lokalisierung der neurotrophen Faktoren aus dem Gehirn und aus einer Glia-Zelllinie (BDNF, GDNF) im oberen Olivenkomplex von Mäusen nach Hochfrequenz-Bestrahlung.

Immunohistochemical localization of brain-derived neurotrophic factor and glial cell line-derived neurotrophic factor in the superior olivary complex of mice after radiofrequency exposure.

Von: Maskey D, Kim MJ ; Erschienen in: Neurosci Lett 2014; 564: 78–82

Etwa 20 % der Weltbevölkerung benutzen Mobiltelefone. Gesundheitsbehörden sind der Ansicht, dass es keine Gesundheitsgefahr für Kinder und Erwachsene durch elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen gibt. Da die Mikrowellen der Mobiltelefone nahe am Ohr ausgesendet werden, kann es

aber sein, dass das zentrale Hörsystem beeinflusst wird. Ein gestiegenes Risiko für Krebs hat zum Ruf nach Überprüfung der Grenzwerte und einer Bestimmung von zulässigen Strahlenbelastungen beim Menschen geführt. Eine Metastudie mit 19 Studien von 1999–2007 mit GSM-Mobiltelefonen kam zu dem Ergebnis, dass Aufmerksamkeit und Gedächtnis beeinflusst werden. Neuronale Schädigung, verminderte Anzahl von Nervenzellen, wurden im Hippocampus und Kleinhirn nach Bestrahlung gefunden. Verlust von Pyramidenzellen im Ammonshorn und Gyrus dentatus ebenfalls beschrieben. Gestiegener oxidativer Stress *in vitro* und *in vivo* nach Bestrahlung in verschiedenen Organsystemen, aber man weiß wenig über den Einfluss der Mobilfunkstrahlung auf Funktion und Physiologie des Hörsystems im Gehirn. Im Hörsystem regulieren Neurotrophine das Überleben der Neuronen, besonders in den Neuronen der Hörschnecke. Ein Rückgang der Neurotrophine könnte die Nervenzellen oxidativem Stress aussetzen, der zur Apoptose führen kann. Der Neurotrophinfaktor BDNF (brain-derived neurotrophic factor) wirkt beim Schutz existierender Neuronen und Synapsen mit und fördert das Wachstum neuer sowie die Bildung von Axonen und Dendriten. BDNF existiert im peripheren und zentralen Hörkern und ist essentiell für das Überleben der Nervenzellen. Verminderte Konzentration an BDNF in der Hörschnecke führt zu Verlust von äußeren Haarzellen der Hörschnecke mit vermindertem Hörvermögen. Schäden am Hörsystem können auch durch verschiedene Stressoren wie Lärm, das Gehör schädigende Medikamente, Infektionen, mechanische Verletzungen und durch fortgeschrittenes Alter auftreten. Der neurotrophe Faktor GDNF (Glial-Derived Neurotrophic Factor) sorgt für das Überleben von Haarzellen und ist beteiligt an der Wiederherstellung der Hörfunktionen nach Lärm-bedingtem Stress. GDNF trägt zu Überleben und Differenzierung vieler Nervenzellen bei und kann durch Gifte geschädigte Zellen wiederherstellen. GDNF ist auch am intrazellulären Ca^{2+} -Stoffwechsel beteiligt. Diese Studie wurde geplant, um mögliche Wirkungen einer 3-monatigen 835-MHz-Bestrahlung des zentralen Hörsystems von Mäusen zu bestimmen durch Untersuchung der Verteilung von BDNF und GDNF im oberen Kern des Olivenkomplexes (SOC).

Studiendesign und Durchführung: Zehn 6 Wochen alte Mäuse wurden in 2 Gruppen eingeteilt, 5 Tiere als Kontrollen (SAR 0 W/kg) und 5 mit 835-MHz-Bestrahlung (1,6 W/kg) 8 Stunden/Tag 3 Monate lang. Die Gehirne wurden entnommen und die Gewebeschnitte zur Bestimmung der Verteilung der BDNF und GDNF im Kern des oberen Olivenkomplexes (SOC) verwendet. 10 Schnitte wurden auf die Dichte der beiden Neurotrophine in 4 Kernsubregionen der oberen Olive im Lichtmikroskop betrachtet.

Ergebnisse: In der bestrahlten Gruppe waren signifikante Verminderungen von BDNF und GDNF in fast allen Subregionen zu sehen. Einige Neurone und auch das Neuropil* waren in der bestrahlten Gruppe ebenfalls vermindert. In der Bildanalyse konnte man sehen, dass die relative durchschnittliche Dichte von BDNF in allen 4 SOC-Kernen in der bestrahlten Gruppe signifikant vermindert war gegenüber der unbestrahlten Kontrolle. GDNF war in der bestrahlten Gruppe sehr stark vermindert in allen SOC-Kernen.

Schlussfolgerungen: Weil die neurotrophen Faktoren BDNF und GDNF das Hörsystem vor Schädigungen schützen, könnte eine Verminderung im SOC nach 3-monatiger Bestrahlung mit 835 MHz schädliche Wirkungen auf die Funktionen des Zentral-Hörsystems haben; die Zellveränderungen können zu Hörschäden führen. Neurotrophine regulieren zusammen mit ihren Rezeptoren das Sprießen von Synapsen und die Plastizität des Nervensystems. Da Neurotrophine zu Neubildung, Reparatur und Erhaltung von Nervenzellen und deren Funktion beitragen, kann eine Verringerung der Dichte die Plastizität des Nervensystems beeinträchtigen.

* das Nervengeflecht im ZNS, das v. a. zwischen den Zellen lagert und das die Vernetzung der Zellen untereinander darstellt. Es besteht aus Dendriten und Gliafortsätzen und macht den größten Teil der grauen Substanz bei Wirbeltieren aus.

EEG-Veränderungen aufgrund experimentell induzierter 3G-Mobilfunk-Strahlung.

EEG Changes Due to Experimentally Induced 3G Mobile Phone Radiation.

Von: Roggeveen S, van Os J, Viechtbauer W, Lousberg R. Erschienen in: PLoS One 2015; 10 (6): e0129496-1–e0129496-13

Diese Studie sollte klären, ob die Strahlung eines 3G-Mobiltelefons (Smartphone) das EEG verändert. 3G-Mobiltelefone arbeiten bei 1900–2100 MHz, und obwohl es Bedenken bezüglich der Gesundheit gibt – Mobilfunkstrahlung wurde 2011 von der WHO als möglicherweise Krebs erregend eingestuft –, nutzen viele Leute das Gerät mit Begeisterung. Die Wirkung auf das EEG wird seit Mitte der 1990er Jahre erforscht, die Forschungsergebnisse sind widersprüchlich, z. T. wohl bedingt durch unterschiedliche Versuchsbedingungen und weil 87 % der EEG-Studien von der Mobilfunkindustrie bezahlt worden waren; hier kann ein Interessenskonflikt nicht ausgeschlossen werden. So hat z.B. 2012 das britische MTHR-Programm ergeben, dass es keine karzinogene Wirkung gibt. Nervengewebe funktioniert auf der Basis von elektrochemischen Prozessen, deshalb kann ein elektromagnetisch arbeitendes Gerät am Kopf sehr wahrscheinlich Störungen hervorrufen, aber es gibt wenig Berichte über schädliche Wirkungen. Das Ruhe-EEG kann bei einer Person an verschiedenen Tagen auch ohne veränderte Bedingungen unterschiedlich ausfallen, deshalb wurden diese Experimente mit 3 Scheinbestrahlungen vorgenommen, vor und nach der echten Bestrahlung.

Studiendesign und Durchführung: 31 gesunde Frauen im durchschnittlichen Alter von 26,7 ± 8,5 Jahren haben je 2 Tests durchlaufen, die im Abstand von maximal 2 Tagen stattfanden. Einmal wurde das Gerät am Ohr und einmal an der Brust nahe am Herzen befestigt. Das Testgerät war ein echtes Mobiltelefon mit abgeschirmten Elektroden, damit keine Einflüsse auf die Messgeräte entstehen, und für die Kontrollen ein baugleiches Gerät mit inaktivem Akku. Jede Teilnehmerin hatte bei jedem Durchgang 4 Tests zu durchlaufen. Das 3G-Smartphone wurde von einem anderen Raum aus gesteuert, die Probanden konnten keine Geräusche und keine Vibrationen

wahrnehmen. Unmittelbar vor und nach der Bestrahlung mit dem wählenden Smartphone erfolgte jeweils 15 Minuten Scheinbestrahlung, die restlichen 15 Minuten waren ebenfalls Scheinbestrahlungen. Das EEG wurde zweimal gemessen, einmal mit dem Smartphone in typischer Position am Ohr und im 2. Fall wurde das Gerät links neben dem Brustbein über dem Herzen festgeklebt. Die SAR ist vom Hersteller mit 0,69 W/kg am Kopf angegeben, aufgezeichnet wurde die Strahlungsaktivität bei den Frequenzen 1,9291–1,9397 GHz. Während der Tests sahen die Teilnehmerinnen eine Dokumentation über die Entstehung der Erde. Nach jedem 15-minütigen Abschnitt ging der Untersucher in den Raum, um das Telefon zu wechseln. Im Fall von 2 Scheinbestrahlungen hintereinander wurden 2 Schein-Telefone platziert. Zur Gewährleistung der Blindung für die Probandin erfolgte die Bestrahlung im 2. oder 3. Quartal einer Stunde. Im 1. und 4. Quartal gab es keine Bestrahlung. Aufgezeichnet wurden die EEG-Frequenzbänder Delta 0,5–4 Hz, Theta 4–7,5 Hz, Alpha 7,5–13 Hz, niederfrequente-Beta 13–20 Hz, höherfrequente-Beta 20–30 Hz und Gamma 30–47 Hz. Die Auswertungen erfolgten über eine Mehrebenen-Regressionsanalyse, um mit mehr Faktoren besser differenzieren zu können. Zwei Hypothesen wurden getestet: Aufgrund der Literatur wird ein Anstieg der Alpha-Aktivität während der Bestrahlung erwartet und wegen der geringen Entfernung zum Gehirn ist der Einfluss am Ohr stärker.

Ergebnisse: Die Temperaturunterschiede oder andere Parameter zwischen den Kontrollen und Bestrahlung waren nicht signifikant. Die Platzierung des Gerätes an der Brust ergab auch keine signifikanten Unterschiede. Am Ohr jedoch waren nach Bestrahlung die Aktivitäten aller Frequenzbänder bis auf die Delta-Wellen signifikant höher als bei der Scheinbestrahlung. Tendenziell gab es ipsilateral eine stärkere Wirkung.

Schlussfolgerungen: In dieser Placebo-kontrollierten Studie wurde gezeigt, dass 15 min. Einwirkung der Strahlung eines 3G-UMTS-Smartphones Auswirkungen auf das EEG hat. Die Aktivitäten von Alpha-, Beta- und Gamma-Band waren in fast allen gemessenen Hirnregionen gesteigert. Die Ergebnisse der Berechnungen und die Schlussfolgerungen hängen stark von der Analysemethode ab. Diese Ergebnisse, signifikante Unterschiede, erhält man nicht, wenn das traditionelle Berechnungsverfahren ANOVA angewendet wird, was bei einigen anderen Studien der Fall ist. Wenn aber die Daten mit der geeigneten Mehrebenen- und Regressionsanalyse berechnet wird, sind nach Bestrahlung signifikante Unterschiede im Alpha-, Beta- und Gamma-Frequenzband über fast alle Hirnregionen zu sehen. Die Entfernung vom Gehirn spielt eine Rolle, größere führt zu geringem oder keinem Einfluss. Die Ergebnisse unterstützen die Vorstellung, dass durch die Nutzung des Mobiltelefons EEG-Veränderungen verursacht werden und dass die Wirkung von der Position des Gerätes abhängt. Weitere Studien zur physiologischen Relevanz und zur Langzeitwirkung sind dringend erforderlich.

Zellwachstum / DNA-Schädigungen

Untersuchung der Wirkungen von 2,1 GHz-Mikrowellen-Feldern auf das Mitochondrien-Membran-Potential ($\Delta\psi_m$), Apoptose-Aktivität und Zellebensfähigkeit bei menschlichen Brust-Fibroblasten-Zellen.

Investigation of the effects of 2.1 GHz microwave radiation on mitochondrial membrane potential ($\Delta\psi_m$), apoptotic activity and cell viability in human breast fibroblast cells.

Von: Esmekaya MA, Seyhan N, Kayhan H, Tuysuz MZ, Kursun AC, Yagci M. Erschienen in: Cell Biochem Biophys 2013; 67 (3): 137–1378

In diesen Experimenten sollte der Wirkung von 2,1-GHz-Mikrowellen auf die Überlebensrate der Zellen, den Zelltod (die Apoptoserate) und den Apoptoseweg nachgegangen werden. Die beiden Arten des Zelltods, Apoptose und Nekrose, unterscheiden sich in der Ursache der Zellschädigung. Nekrose entsteht unmittelbar nach Verletzung von außen, während Apoptose ein langsam voranschreitender, streng regulierter programmierter Zelltod ist, der ausgelöst wird, weil externe und interne biochemische Abläufe zu morphologischen Veränderungen führen. Das sind Zellschrumpfung, Zellkernfragmentierung, Chromatinkondensation und Zerbrechen der DNA. Die Apoptose kann durch 2 Hauptwege eingeleitet werden: erstens innerhalb der Zelle (intrinsisch) durch Mitochondrien und zweitens von außen (extrinsisch) durch den so genannten Todesrezeptorweg. Der intrinsische Weg wird durch mehrere Stressbedingungen aktiviert, z. B. DNA-Schädigung und oxidativen Stress. Hier gehen alle über den Mitochondrienweg und lösen die Ausschüttung von Cytochrom C aus. Dieses reagiert über mehrere Schritte mit Caspasen, bis das Todessignal gegeben wird. Der extrinsische Weg der Apoptose wird durch Aktivierung der Todesrezeptoren auf der Zelloberfläche eingeleitet, worauf die Aktivierung der Caspase-8 folgt. Das Todessignal kommt von der extrazellulären Umgebung. Typische Todesrezeptoren sind Fas (Fibroblasten-assoziiertes Antigen), das auch Apo-1 oder CD95 genannt wird, und der Ligand FasL (ein Tumornekrosefaktor-Rezeptor, TNFR). Wenn eine Schädigung den extrinsischen Todesweg auslöst, aktiviert der membrangebundene Fas-Ligand den Fas-Proteinkomplex, dann wird über den Signalkomplex und Caspase-8 der Zelltod eingeleitet und durchgeführt. Die Caspase-8 leitet zu Caspase-3-Aktivierung weiter und regt die Ausschüttung von Cytochrom C an. Die Caspase-3-Aktivität schließlich führt zum Abbau von Zellproteinen, die zur Aufrechterhaltung des Zellüberlebens nötig sind. Mitochondrien sind an vielen Prozessen beteiligt wie Signalgebung in Zellen, Überwachung des Zellzyklus, Zellwachstum und -differenzierung, Transport von Stoffwechselprodukten und Zelltod. Sie werden als Kraftwerke der Zelle bezeichnet, da sie Nährstoffe in ATP-Energie umwandeln über die Reduktion von O_2 zu H_2O . Über mehrere Schritte einschließlich einer Protonenpumpe

entsteht eine negative Potentialdifferenz durch die innere Membran der Mitochondrien. Störungen des Membranpotenzials sind frühe Ereignisse während der Induktion der Apoptose. Das Mitochondrienmembranpotenzial ist ein wichtiger Faktor in der Mitochondrienfunktion und kann im Labor als Indikator für den Zelltod genutzt werden.

Studiendesign und Durchführung: Menschliche Brust-Fibroblasten wurden mit 2,1-GHz-Strahlung (W-CDMA modulierte Mikrowellen, die bei UMTS Verwendung finden) 4 und 24 Stunden als Kurz- und Langzeiteinwirkung behandelt und auf Zellüberlebensrate, Bestimmung des Proteingehalts von Fas und Fas-Ligand (FasL), Apoptose und das Membranpotential von Mitochondrien untersucht. Die Leistungsflussdichte betrug $0,142 \text{ mW/cm}^2$, SAR $0,607 \text{ W/kg}$ für 10 g Gewebe.

Ergebnisse: Die 2,1-GHz-Strahlung hemmt das Zellwachstum signifikant, induziert signifikant erhöhte Apoptoseraten und vermindert signifikant das Membranpotential der Mitochondrien in den Fibroblasten. Die Zellüberlebensrate betrug nach 4 Stunden Bestrahlung gut 80 % und nach 24 Stunden 30–40 % der scheinbestrahlten Kontrollzellen. Die Apoptoseraten machten nach 4 Stunden in der scheinbestrahlten Kontrolle 14,72 % und in der bestrahlten Probe 22,39 % aus, nach 24 Stunden 19,25 bzw. 31,91 %. Überlebens- und Apoptoserate waren in allen Fällen zeitabhängig (d. h. mit zunehmender Zeit nimmt die Wirkung zu) und statistisch signifikant. Bei der Proteinbestimmung von Fas und FasL gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Zellen, die Gehalte lagen zwischen 0,15 bzw. 0,22 ng/ml für FasL und für Fas zwischen 13 und 15 pg/ml. Das Potenzial der Mitochondrienmembran nahm bei den bestrahlten Zellen bei Kurz- und Langzeitbestrahlung zeitabhängig signifikant ab gegenüber den unbestrahlten Kontrollzellen.

Schlussfolgerungen: Die modulierte 2,1-GHz-Strahlung vermindert das Überleben der Zellen und induziert den apoptotischen Zelltod über den Mitochondrien-Weg, denn das Mitochondrienmembranpotenzial in den Fibroblastenzellen war signifikant vermindert. Da die Bestimmung von Fas und FasL keine signifikanten Unterschiede ergeben hatte, zeigt, dass der extrinsische Apoptoseweg über die Todesrezeptoren nicht durch die Mikrowellenstrahlung aktiviert wurde und somit die Mikrowellen-induzierte Apoptose unabhängig vom Todesrezeptor ist.

Mutagene und morphologische Einflüsse einer 1,8-GHz-Bestrahlung menschlicher peripherer Blut-Lymphozyten und die möglicherweise schützende Rolle einer Vorbehandlung mit Ginkgo biloba (EGb 761).

Mutagenic and morphologic impacts of 1.8 GHz radiofrequency radiation on human peripheral blood lymphocytes (hPBLs) and possible protective role of pre-treatment with Ginkgo biloba (EGb 761).

Von: Esmekaya MA, Aytekin E, Ozgur E, Güler G, Ergun MA, Omeroglu S, Seyhan N. Erschienen in: Sci Total Environ 2011; 410: 59–64

Die mutagene Wirkung von 1,8-GHz-Mobilfunkstrahlung sowie die kombinierte Wirkung von mit Ginkgo biloba (Gbi) vorbehandelten Zellen sollte hier untersucht werden. Die mutagene Wirkung der 1,8-GHz-Strahlung kann zu Krebs führen. Ginkgo ist ein natürliches Antioxidans gegen Hydroxyl-, Peroxyl- und Superoxid-Radikale, es fängt freie Radikale ab und verhindert die Bildung von reaktiven oxidativen Substanzen (ROS). Man weiß, dass Gbi die Überlebensfähigkeit von Zellen steigert und Membranen vor oxidativen Schäden schützt. Flavone und Terpene in Gbi verhindern ROS und Apoptose in Lymphozyten und auch Chromosomenbrüche bei Hochfrequenzbestrahlung. Hier sollte erforscht werden, welchen Einfluss die 1,8-GHz-Strahlung auf menschliche Zellen hat und wie Ginkgo biloba das Überleben der Zellen beeinflusst. Krebsentstehung erfolgt in 3 Stufen, Initiation, Promotion und Progression. Im ersten Schritt wird das genetische Material mutiert, die Zelle ist dann bereit/empfindlich für die Promotion, das ist das Wachstum der mutierten Zelle. Es entstehen viele Tochterzellen mit der Mutation. Krebs kann auch ohne sichtbare Mutation durch epigenetische Faktoren entstehen; das sind Reaktionen des Gewebes auf eine veränderte genetische Umgebung, und Wechselwirkungen von Enzymen und Proteinen können indirekt zu Schäden führen.

Studiendesign und Durchführung: Zur Untersuchung kamen Lymphozyten aus dem Vollblut von gesunden Nichtrauchern, die in 3 Gruppen eingeteilt wurden: Scheinbestrahlung, 1,8-GHz-Bestrahlung (217 Hz gepulst bei einer durchschnittlichen SAR von $0,21 \text{ W/kg}$) und Bestrahlung + Vorbehandlung mit Gbi. Untersucht wurde nach 6, 8, 24 und 48 Stunden. Die Sendeanenne befand sich vertikal über den Lymphozyten, es gab keine Temperaturunterschiede zwischen den bestrahlten und den scheinbestrahlten Proben, somit sind keine thermischen Wirkungen vorhanden.

Ergebnisse: Die Bestrahlung verminderte das Wachstum der bestrahlten Zellen, die Überlebensfähigkeit der Zellen nahm dosis- und zeitabhängig ab gegenüber den unbehandelten Kontrollzellen, und zwar um 8,6 %, 14,2 %, 27 % und 32,8 % nach 6, 8, 24 und 48 Stunden. Die Vorbehandlung mit Gbi erhöhte die Überlebensfähigkeit zu allen Zeitpunkten, signifikant aber nur bei 8 und 24 Stunden. Die zytogenetische Untersuchung ergab: Der Schwesterchromatid-Austausch (SCE-Frequenz, die Mutationshäufigkeit) war signifikant 3- bis 4-

fach höher bei langer Bestrahlungsdauer gegenüber den scheinbestrahlten Zellen. Wenn Gbi anwesend war, zeigten sich signifikant reduzierte Chromosomenschäden bei allen Proben, der größte Vorteil entstand bei der 48-Stunden-Probe. Die Strahlung erzeugt also Chromosomenschäden, die durch Ginkgo biloba reduziert werden können.

Die elektronenmikroskopische Untersuchung zeigte, dass strukturelle Veränderungen in allen bestrahlten Proben vorhanden waren, am stärksten nach 48 Stunden. Einige 6-Stunden-Zellen waren vergrößert und es traten Zerstörungen im Kern und den Organellen auf. Nach 8 und 24 Stunden erhöhte sich die Zellgröße der bestrahlten Zellen weiter, da waren auch Chromatinveränderungen, Mitochondrienschäden und Verlust von Cristae in den Mitochondrien zu sehen. Beträchtliche strukturelle Veränderungen traten in den Lymphozyten nach 48 Stunden auf: in Form und Größe, der Kern war stärker zu sehen, einige Kerne waren peripher angeordnet und sichelförmig. Weiter gab es Organellenzerstörung, Auflösung des Zytoplasmas und Verlust der Cristae zu beobachten und die Membranen von Zelle und Kern waren zerstört.

Schlussfolgerungen: Die gefundenen beträchtlichen signifikanten Chromosomenschäden, die mit der Dauer der Bestrahlung zunahmten und nach 48 Stunden am höchsten waren (ohne Temperaturänderung) stützen die Hypothese von nicht-thermischer Wirkung der modulierten 1,8-GHz-Felder. Diese Studie bestätigt, dass Ginkgo-Behandlung eine schützende Wirkung auf das Überleben der Zellen hat. Da Hochfrequenzfelder weit verbreitet sind, ist weitere Forschung durch unabhängige Forscher nötig, um die Indikatoren von Mutagenität und epigenetischen Faktoren zu finden, die an der Entwicklung von Krebs und anderen entzündlichen oder degenerativen Krankheiten beteiligt sind.

Spermien, Embryo , Reproduktion

Mobiltelefon-Nutzung während der Schwangerschaft und das Risiko einer spontanen Fehlgeburt.

Use of mobile phone during pregnancy and the risk of spontaneous abortion.

Von: Mahmoudabadi FS, Ziaei S, Firoozabadi M, Kazemnejad A. Erschienen in: J Environ Health Sci Eng 2015; 13: 34–37

Die öffentlichen Diskussionen drehen sich um Mobilfunk und Krebs, Herz-Kreislauf-Erkrankungen und Beeinträchtigungen des Immunsystems, weniger auf die Nachkommenschaft bzw. die reproduktiven Organe. Spontane Fehlgeburten durch Einwirkung von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks sind kaum untersucht. Schwierigkeiten bzw. Herausforderungen bestehen erstens in der akkuraten Bewertung während des relevanten/betreffenden Zeitraums und 2. in der Identifikation der passenden anfälligen Bevölkerung. Deshalb wurde diese Fall-Kontroll-Studie direkt nach der Fehlgeburt der se-

lektierten Patienten durchgeführt. Voraus gingen eine Pilotstudie mit 100 Patientinnen, dann mit 220 für jede Gruppe. Die Einwirkung von EMFs steigt, aber das mögliche Gesundheitsrisiko ist nicht ausreichend erforscht, besonders bei schwangeren Frauen.

Studiendesign und Durchführung: In diese Fall-Kontroll-Studie wurden 292 Frauen mit Fehlgeburten vor der 14. Schwangerschaftswoche (frühe Fehlgeburt) und 308 mit Fehlgeburten nach der 14. Woche (bestimmt nach der letzten Menstruation und mit Ultraschall) von 10 Krankenhäusern in Teheran innerhalb von 48 Stunden nach der Fehlgeburt einbezogen. Die Kontrollgruppen wurden in Alter der männlichen und weiblichen Partner, wievielte Schwangerschaft, Gewicht der Schwangeren, Verwandtschaftsverhältnisse, Dauer der letzten Geburt, Bildungsstand, Beruf, frühere Fehl- oder Frühgeburten angepasst. Einschlusskriterien waren Schwangerschaft mit einem Kind, 18–35 Jahre alt, spontane/natürliche Schwangerschaft ohne Nachhilfe im Labor. Ausschlusskriterien: chronische Krankheiten (Diabetes, Bluthochdruck, Schilddrüsen-, Herz-Kreislauf und Immunsystemerkrankungen, genetische Störungen bei Mann, Frau und nächsten Verwandten, Blutungen in den ersten Monaten in der Kontrollgruppe, Geschichte von Fehlgeburten in früheren Schwangerschaften, Rauchen, Alkohol- und Drogenkonsum).

Die Frauen komplettierten die Fragebögen mit 2 Datensammlungen: eine für sozio-ökonomische und medizinische Daten sowie Lebensstil, der andere enthielt Fragen zur Mobilfunknutzung: wie oft, wie lange pro Tag telefoniert wird, wo sich das Handy befindet, wenn nicht telefoniert wird (Handtasche, Kleidertasche oder 60–70 cm weg vom Körper), ob eine Freisprechanlage benutzt wird und ob andere Anwendungen genutzt werden (SMS, Musik, Spiele). Der SAR-Wert wurde nach Angaben der Hersteller verwendet, die effektive SAR nach Dauer der Gespräche (nach den Rechnungen der Anbieter) und bestimmt, wie viel Energie vom Körper absorbiert wurde.

Ergebnisse: Es gab eine signifikante Beziehung zwischen effektiver SAR und dem Risiko einer spontanen Fehlgeburt nach Abgleich mit mütterlichem Alter, Vateralter, Geschichte der Aborte und den Familienverhältnissen. Die Studie zeigt einen Anstieg des Risikos für spontane Fehlgeburten, wenn höhere Felder der Mobilfunkstrahlung einwirken. Das bestätigt Ergebnisse anderer Forscher. Es gab keine signifikanten Unterschiede in Alter der Partner, BMI (Body Mass Index), Beruf, Bildungsstand u. a. zwischen den beiden Gruppen. Ansonsten waren alle der oben genannten Daten verschieden zwischen Fall- und Kontroll-Gruppen, nur die Nutzung von Freisprechanlagen war gleich ($p < 0,001$).

Schlussfolgerungen: Die Daten zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und frühen Fehlgeburten. Die Langzeitwirkungen könnten verbunden sein mit höherem oxidativem Stress. Es gibt nur begrenzte Informationen zum Zusammenhang zwischen der Einwirkung von Hochfrequenzfeldern während der Schwangerschaft und dem reproduktiven Ergebnis. Einige Studien haben ein erhöhtes Risiko von spontanen Fehlgeburten und angeborenen Missbildungen gefunden, allerdings stammen diese Ergebnisse von schlecht gemachten Studien. Trotz unbekannter Mechanismen

ist ein Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und früher Fehlgeburt möglich, auch wenn einige Unsicherheiten bestehen. Weitere Studien seien nötig.

Eireifung bei Drosophila als ein Biomarker für die Reaktion auf elektromagnetische Feldquellen.

Drosophila oogenesis as a bio-marker responding to EMF sources.

Von: Margaritis LH, Manta AK, Kokkaliaris KD, Schiza D, Alimisis K, Barkas G, Georgiou E, Giannakopoulou O, Kollia I, Kontogianni G, Kourouzidou A, Myari A, Roumelioti F, Skouroliakou A, Sykioti V, Varda G, Xenos K, Ziomas K.
Erschienen in: *Electromagn Biol Med* 2014; 33 (3): 165–189

Das Ziel dieser Studie war, einerseits die Reaktion der Eientwicklung in den Eierstöcken (Oogenese in den Ovarien) auf das einwirken von elektromagnetischen Feldern von zwei Drosophila-Stämmen (Tau-, Obst- oder Fruchtfliegen) zu erforschen und zweitens zu bewerten, ob Drosophila als Testsystem (Biomarker) geeignet ist, da die einzelnen Entwicklungsschritte dieser Tiere gut untersucht sind. Zwei Parameter wurden dazu untersucht, die Reproduktionskapazität (Fekundität) und die Apoptose während der Oogenese (die regulär in bestimmten Entwicklungsstufen erfolgen muss). Das zweite Ziel war festzustellen, ob es einen Unterschied in den biologischen Wirkungen zwischen gepulsten und kontinuierlichen Feldern gibt. Diese Studie ist Teil eines großen Forschungsvorhabens zu verschiedenen Testmodellen (Eidechsen, Mäuse, Ratten, freiwillige menschliche Testpersonen) unter verschiedenen Expositionsbedingungen.

Studiendesign und Durchführung: Die beiden Stämme *D. melanogaster* (kleine Tiere) und *D. virilis* (größere Tiere) wurden verschiedenen Geräten und Frequenzen (900 MHz, 1800 MHz, 1880–1900 MHz DECT Basisstation und Handset, 2,44 GHz Wi-Fi und Bluetooth, 92,8 MHz FM-Generator, 27,15 MHz Babyphon, 900 MHz CW-Generator (kontinuierliche Felder) und 2,44 GHz Mikrowellenherde), Zeiten, Abständen und Feldstärken (geringste 0,3 V/m von Bluetooth) ausgesetzt. Insgesamt wurden 280 Experimente mit mehr als 240 Wiederholungen durchgeführt, wobei die frisch geschlüpften Tiere 3–7 Tage den entsprechenden Feldern ausgesetzt wurden. Die Apoptose wurde mit zwei verschiedenen Testmethoden (Acridinorange und TUNEL) untersucht. Zur Kontrolle dienten scheinbestrahlte und unbehandelte Tiere.

Ergebnisse: Alle verwendeten Feldquellen, selbst die geringsten von Bluetooth, die sehr deutlich unter den ICNIRP-Werten liegen, hatten signifikante Wirkungen auf die Apoptose-Induktion und die Reproduktionskapazität. Bei allen hier verwendeten Strahlungsarten war ein statistisch signifikanter Anstieg von apoptotischem Zelltod induziert worden. Bei fast allen Feldquellen war die Fekundität zwischen 10 % (bei Wi-Fi und Bluetooth) und 30 % (bei Mobiltelefonen und DECT-

Handset) vermindert, nur bei dem 900-MHz-CW-Generator war sie bei *D. virilis* um 12 % erhöht. Bei den beiden Kontrollen betrug die Anzahl der apoptotischen Follikel 2–3 %, bei den bestrahlten fand man das 2–7-Fache. Es scheint, als steigere die Strahlung den physiologischen Rhythmus an den Checkpoints (Schaltstellen der Entwicklungsstufen) während der Oogenese durch Mechanismen, die noch unbekannt und zu erforschen sind. Auch die Zahl der Puppen bei den Nachkommen war bei den verschiedenen Feldquellen signifikant vermindert gegenüber den Kontrollen. Man konnte bemerkenswerterweise keine kumulativen Wirkungen finden, wenn verschiedene Felder einwirkten oder die Einwirkdauer verlängert war.

Schlussfolgerungen: Das Drosophila-Oogenese-System ist gut geeignet als Biomarker zur Erforschung der potenziellen Bioaktivität von elektromagnetischen Feldern. Das System ist vielseitig und einfach in der Anwendung, dazu leicht mit bloßem Auge zu untersuchen. Die Tatsache, dass die geringen Feldstärken von Bluetooth (0,3 V/m) ähnliche Zelltodraten (6,1 %) erzeugten wie 20 V/m der 900-MHz-CW-Felder (6,9 %) oder 13 V/m vom FM-Signal (6,5 %), aber dass das 900-MHz-Mobiltelefon mit 22 V/m eine Zelltodrate von 10–14 % erzeugt, kann durch die unterschiedliche biologische Wirkung von gepulster und kontinuierlicher Strahlung erklärt werden. Das zeigt, dass das System der Drosophila-Oogenese für alle Arten von Strahlung irgendeiner Intensität und Modulation eingesetzt werden kann, wenn mögliche biologische Wirkungen erforscht werden sollen. Auf die Frage, warum mehrere ähnliche Frequenzen, die gleichzeitig einwirken, die gleiche Wirkung haben wie eine einzige FM-modulierte Frequenz, haben die Forscher noch keine Antwort, sie arbeiten aber an dieser Frage.

Die Spermien-Qualität von Handy-Nutzern.

The semen quality of the mobile phone users.

Von: Rago R, Salacone P, Caponecchia L, Sebastianelli A, Marcucci I, Calogero AE, Condorelli R, Vicari E, Morgia G, Favilla V, Cimino S, Arcoria AF, La Vignera S. Erschienen in: *J Endocrinol Invest* 2013; 36 (11): 970–974

Es gibt gute Gründe angesichts der wachsenden Nutzung von Mobilfunk, dessen möglichen Einfluss auf die männliche Fruchtbarkeit aus klinischer Sicht zu untersuchen, weil es auch wachsende Zahlen von Unfruchtbarkeit ohne klar erkennbare Ursachen gibt. Untersucht wurden hier außer den konventionellen Parametern verschiedene biofunktionale Parameter der männlichen Fruchtbarkeit an gesunden Männern, die das Mobiltelefon unterschiedlich nutzen, von regelmäßigen Nutzern bis zu Nicht-Nutzern.

Studiendesign und Durchführung: Es gab vier Gruppen von insgesamt 63 gesunden fruchtbaren Männern, die im letzten Jahr Kinder gezeugt hatten. Sie waren normalgewichtig, zwischen 18 und 35 Jahre alt und Nichtraucher. Alle Teilnehmer nutzten dasselbe Handy seit einem Jahr und es war 24 Stunden in Betrieb. Die Spermien wurden untersucht auf Hormon-

konzentrationen von Luteinisierendem Hormon, Follikelstimulierendem Hormon, Estradiol, Testosteron und Prolactin. Dazu kamen Ultraschalluntersuchungen der Geschlechtsorgane, Tests auf Mitochondrienfunktion, Phosphatidylserin (PS), DNA-Brüche und Chromatindichte.

Die Teilnehmer wurden in die Gruppen A–D eingeteilt. Gruppe A kein Handy (10 Personen), Gruppe B Nutzung des Handys weniger als 2 Stunden täglich (16 Personen), Gruppe C 2–4 Stunden täglich (17 Personen) und Gruppe D mehr als 4 Stunden täglich (20 Personen). Gruppe D wurde weiter unterteilt in Personen, die das Handy in der Hosentasche bzw. im Hemd tragen. Die Spermien wurden auf Dichte, Gesamtzahl, Morphologie, progressive Beweglichkeit, Apoptose, Membranpotenzial der Mitochondrien, Annexin (wenn Annexin-positiv, frühe Apoptose), Chromatindichte und DNA-Brüche untersucht.

Ergebnisse: Keine der konventionellen Spermien-Parameter (Volumen der Spermienflüssigkeit, Spermiedichte, Gesamtzahl, Morphologie und progressive Beweglichkeit) waren signifikant verändert. Auch die Ultraschalluntersuchung, die Untersuchung der Mitochondrien, von Phosphatidylserin und dem Chromatin zeigten keine signifikanten Unterschiede. Jedoch war bei den Männern, die das Handy in der Hosentasche tragen, ein signifikant höherer Prozentsatz von DNA-Brüchen in den Spermien zu sehen, verglichen mit den anderen Gruppen. Der Unterschied war auch signifikant innerhalb der Gruppe D zwischen den Hosentaschen- und Hemdtaschenträgern: bei den Hosentaschenträgern war der Prozentsatz der DNA-Brüche signifikant höher gegenüber den Hemdtaschenträgern. Der Prozentsatz der DNA-Brüche korrelierte positiv mit der Nutzungsdauer des Mobiltelefons.

Schlussfolgerungen: Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Untersuchung auf DNA-Brüche in den Spermien der einzige Parameter ist, der signifikant verändert ist. Wenn das Handy mehr als 4 Stunden/Tag genutzt wird und insbesondere, wenn es in der Hosentasche getragen wird, sind die DNA-Brüche signifikant erhöht gegenüber den anderen Gruppen. Apoptose ist nicht verbunden mit der DNA-Schädigung in den Spermien. Die Autoren sind der Ansicht, dass einige Studien, die mehr Spermenschäden durch Mobilfunkstrahlung festgestellt haben, weniger nach klinischen Kriterien ausgewählt haben. In dieser Studie waren gesunde und fruchtbare Männer ausgesucht worden, die immer dasselbe Mobiltelefon benutzt hatten. Die Einschränkungen der Studie sind die kleine Anzahl der Teilnehmer und die fehlende Erklärung der Mechanismen, die verantwortlich sind für die offensichtliche Schädigung der Spermien-DNA.

Langzeit-Wirkungen von 900 MHz-Mobilfunkstrahlung auf das Hoden-Gewebe und die Samen-Qualität der Nebenhoden.

Long-term effects of 900 MHz radiofrequency radiation emitted from mobile phone on testicular tissue and epididymal semen quality.

Von: Tas M, Dasdag S, Akdag MZ, Cirit U, Yegin K, Seker U, Ozmen MF, Eren LB. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (3): 216–222

Viele Leute tragen das Mobiltelefon in der (Hosen)Tasche nah an den Genitalien, dadurch ist die männliche Fruchtbarkeit gefährdet. Einige Forscher haben Beeinträchtigungen gefunden, aber es gibt keine genauen detaillierten Studien, welche Mechanismen zugrunde liegen. Mobilfunkstrahlung kann thermische, nicht-thermische oder eine kombinierte Wirkung haben und es gibt widersprüchliche Studienergebnisse, aber kaum welche zu Langzeiteinwirkung. Deshalb wurde diese Studie durchgeführt, deren Zweck es war, eine Brücke zu schlagen zwischen Langzeitnutzung von 900-MHz-Mobilfunk und den Auswirkungen auf die reproduktiven Organe von männlichen Ratten.

Studiendesign und Durchführung: 14 erwachsene Ratten, 250–350 g und 5–6 Monate alt, wurden in zwei Gruppen zu je 7 Tieren eingeteilt, die eine diente als scheinbestrahlte Kontrolle, die Tiere der anderen Gruppe wurden SAR-Werten von 0,623 (punktueller Wert in Hoden und Prostata), 0,0445 (1 g Gewebe in Hoden und Prostata) und 0,0373 W/kg (10 g Gewebe in Hoden und Prostata) ein Jahr lang 3 Stunden täglich ausgesetzt. Die Ganzkörper-SAR betrug 0,0369 W/kg, Ganzkörper-Punkt $2,023 \pm 0,121$ W/kg. Am Ende wurden die Spermienkonzentrationen in den Nebenhoden, die progressive Spermienbeweglichkeit, abnorme Spermienrate im Lichtmikroskop, das Gewicht aller Geschlechtsorgane und die Histopathologie der Hoden bestimmt.

Ergebnisse: Es gab keine statistisch signifikanten Unterschiede in der Spermienbeweglichkeit, -konzentration, aber die Anzahl der morphologisch normalen Zellen war höher in der bestrahlten Gruppe. Die morphologischen Defekte betrug 19,8 % in der Kontrollgruppe und 12,9 % in der bestrahlten Gruppe. Die Bestimmung der Gewichte ergab ähnliche Werte für Hoden, Prostata (etwas geringer bei den bestrahlten), Nebenhoden und Bläschendrüse (höher bei den bestrahlten). Die histopathologische Untersuchung zeigte keine Unterschiede in den Blutgefäßen und Endothelzellen, auch die Durchmesser der Samenkanälchen waren ähnlich. Es zeigte sich aber eine hochsignifikante Abnahme der Spermatogenese in den bestrahlten Tieren und die Dicke der Tunica albuginea (eine kollagen-reiche Bindegewebsschicht) war signifikant dünner als bei den Kontrollen.

Schlussfolgerungen: Langzeiteinwirkung von 900-MHz-Mobilfunkstrahlung verändert einige Parameter in den reproduktiven Organen. Die Tunica albuginea hat kontraktile Eigenschaften und möglicherweise physiologische Funktionen bei 1. der Promotion des Transports der Spermien von den Hoden in die Nebenhoden, 2. der Aufrechterhaltung des interstitiellen

Drucks innerhalb der Hoden und 3. der Kontrolle des Blutflusses durch die Hoden. Die Tunica albuginea besteht aus 3 Schichten, der äußeren, mittleren und inneren. Hier zeigte sich eine Abnahme der äußeren Schichtdicke. Die Forscher nehmen an, dass eine geringere Synthese der Kollagene Typ I, III und V erfolgte, den Hauptbestandteilen der äußeren Schicht mit zunehmendem Alter. Die Fibroblasten produzieren weniger, weil ihre Kapazität geringer wird. Kollagen wird stärker abgebaut mit dem Alter in fast allen Geweben bei Ratten 1–24 Monate, die 900-MHz-Bestrahlung beschleunigt das in den 12 Monaten des Experiments. Es ist aber mehr Forschung nötig, die die Ergebnisse unterstützen könnte.

Zellstruktur / WLAN

Strukturelle und ultrastrukturelle Untersuchungen von Ratten-Leber nach Bestrahlung mit elektromagnetischen Feldern.

Structural and Ultrastructural Study of Rat Liver Influenced by Electromagnetic Radiation.

Von: [Holovska K](#), Almasiova V, Cigankova V, Benova K, Racekova E, Martoncikova M. Erschienen in: J Toxicol Environ Health Part A 2015; 78 (6): 353–356

Da man bisher schädliche Wirkungen von Mikrowellen u. a. auf die Spermienqualität, auf Herz, Lunge, Nieren, Hoden und Leber gefunden hat, sollte hier untersucht werden, ob in den Leberzellen von Ratten auch in der Struktur und der Ultrastruktur der Zellen Veränderungen durch 2,45 GHz zu sehen sind, die man im Licht- bzw. Elektronenmikroskop sehen kann. Dazu wurde den Ratten nach der Bestrahlung die Leber entnommen und die Struktur des Lebergewebes untersucht.

Studiendesign und Durchführung: 40 Ratten wurden in 2 Gruppen zu je 20 Tieren zufällig verteilt. Die Kontrolltiere wurden unbehandelt gehalten und die andere Gruppe mit einer Frequenz von 2,45 GHz 3 Stunden pro Tag 3 Wochen lang bestrahlt. Die Leistungsflussdichte betrug $2,8 \text{ mW/cm}^2$. Drei Stunden nach Ende der Bestrahlung wurde den Tieren beider Gruppen die Leber entnommen und das Gewebe im Licht- und im Elektronenmikroskop untersucht.

Ergebnisse: Im Lichtmikroskop konnte man in den Lebern der bestrahlten Tiere moderate Hyperämie (erhöhte Blutfüllung von Gefäßen) und eine Erweiterung der Leber-Sinusoide (kleine Blutgefäße ähnlich den Kapillaren, durch die der Stoffaustausch stattfindet) sehen im Vergleich zu den Kontrolltieren. Die polygonalen Leberzellen (Hepatozyten) waren um die Zentralvene herum angeordnet, die Struktur war nicht verändert. Sporadisch traten nekrotisierende Leberzellen bei den bestrahlten Tieren auf. Diese Zellen enthielten azidophiles Zytoplasma und irreguläre zentrierte Zellkerne mit kondensiertem Chromatin. In manchen Fällen waren nach der Bestrahlung in den Leberläppchen kleine Entzündungsherde zu sehen.

Im Elektronenmikroskop wurde sichtbar, dass die basale Oberfläche der Leberzellen der bestrahlten Tiere vergrößert war und es viele Mikrovilli gab, die im Disse'schen Raum (dem Spalt zwischen den Leberzellen und den Endothelzellen der Lebersinusoide) vorgestülpt waren. In einigen Bereichen waren zweikernige Leberzellen zu sehen. Es war eine deutlich gestiegene Anzahl von Vesikeln verschiedener Größen und Formen in vielen Leberzellen vorhanden, die meist im basalen Teil der Zellen angeordnet waren. Die Zellkerne hatten unregelmäßige Formen, aber intakte Kernmembranen. Es gab keine nennenswerten Veränderungen in den Wänden der Sinusoide. Die meisten Organellen wie Mitochondrien, raues und glattes Endoplasmatisches Reticulum (RER, SER) waren nicht verändert, nur einige Hepatozyten zeigten Vermehrung des glatten endoplasmatischen Retikulums (SER). Die anderen Organellen waren gut erhalten. Andere Veränderungen in den Zellen waren signifikant erhöhte Zahlen von Lipidtröpfchen verschiedener Größen.

Schlussfolgerungen: Die Beobachtungen zeigen, dass elektromagnetische Felder schädliche Auswirkungen auf Leberzellen von Ratten haben können, die zugrunde liegenden Mechanismen müssen noch erforscht werden. Es gab keine signifikanten sichtbaren Strukturveränderungen, nur moderate Hyperämie, leicht erweiterte Sinusoide und kleine Entzündungsherde. Einige Fälle von individuellen nekrotisierenden Hepatozyten. Unsere TEM-Untersuchungen zeigten, dass viele Hepatozyten Vesikel verschiedener Größe und Formen enthielten. Andere Veränderungen wie Proliferation des SER und Ansammlung von Lipid-Tröpfchen waren auch zu sehen.

Studien, die im ElektromogReport besprochen wurden

<http://www.strahlentelex.de/>

Physiologische Veränderungen durch 2856-MHz-Strahlung

In diesen Experimenten wurde an männlichen Ratten gezeigt, dass die Langzeiteinwirkung von 2856MHz mit durchschnittlich 5, 10, 20 und 30mW/cm² zu Defiziten im räumlichen Lernen und im Gedächtnis führt. Man fand erhöhte Deltawellen im EEG, Degeneration der Neuronen im Hippocampus, Störungen verschiedener Neurotransmitter und eine Beteiligung des Serotonin(5-HT)-Systems. Der Anstieg von Serotonin durch die Mikrowellen stört räumliches Lernen und das Gedächtnis.

Alterations of cognitive function and 5-HT system in rats after long term microwave exposure.

Li HJ, Peng RY, Wang CZ, Qiao SM, Yong Z, Gao YB, Xu XP, Wang SX, Dong J, Zuo HY, Li Z, Zhou HM, Wang LF, Hu XJ (2015). *Physiology and Behavior* 140, 236–246

ElektromogReport Juli 2015

900-MHz-Felder vermindern die Zahl der Eierstock-Follikel bei Ratten

Das Ziel dieser Studie war, die Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf die Primordialfollikel zu untersuchen. Die 900-MHz-Mikrowellen wirkten 15 Tage lang täglich 15 Minuten auf die Eierstöcke von Ratten ein. Bei den bestrahlten Tieren waren signifikant weniger Follikel zu sehen als bei den scheinbe-strahlten.

The effects of electromagnetic fields on the number of ovarian primordial follicles: An experimental study.

Bakacak M, Bostancı MS, Attar R, Yıldırım ÖK, Gazi Yıldırım G, Bakacak Z, Sayar H, Han A (2015). *Kaohsiung Journal of Medical Sciences* 31, 287–292

ElektromogReport August 2015

Einfluss von Mobilfunk auf Herzschrittmacher

Mit dieser Untersuchung wollte man herausfinden, wie elektromagnetische Felder von Mobilfunkgeräten Herzschrittmacher und Defibrillatoren stören. Die Studie hat ergeben, dass das Mobiltelefon bei *In vivo*- und *In vitro*-Tests bzw. Kombinationen davon die Kommunikation zwischen implantiertem Gerät und der Programmierereinheit beeinträchtigt. In 33 von 65 Fällen, die am Menschen getestet wurden, gab es Zwischenfälle durch Mobilfunkgeräte. Menschen mit Schrittmachern sollten die Mobilfunknutzung einschränken und die Mobilfunkgeräte sollten während des Programmierens ferngehalten werden. Die Arbeit wurde von der Stiftung für Schrittmacherforschung der Ärztesvereinigung in China gefördert.

Interference of GSM Mobile Phones With Communication Between Cardiac Rhythm Management Devices and Programmers: A Combined In Vivo and In Vitro Study.

Huang D, Dong ZF, Chen Y, Wang FB, Wei Z, Zhao WB, Li S, Liu MY, Zhu W, Wei M, Li JB (2015). *Bioelectromagnetics* 36, 367–376

ElektromogReport September/ Oktober 2015

2,45-MHz-Felder verändern Gewebe und Rezeptoren

In dieser Studie wurde das Ausmaß der Stressreaktionen von Ratten-Thymuszellen untersucht nach Bestrahlung mit 2,45 GHz. Die nicht-thermischen 2,45-GHz-Felder erzeugten Veränderungen in der Permeabilität des Endothels und Neubildung von Gefäßen im Thymus. Das Thymusgewebe zeigte zudem morphologische Veränderungen, mehr Blutgefäße und rote Blutkörperchen außerhalb der Gefäße. HSP90 war vermindert und die Glucocorticoid-Rezeptoren (GR) vermehrt in der Thymusrinde der bestrahlten Tiere.

MF radiation at 2450 MHz triggers changes in the morphology and expression of heat shock proteins and glucocorticoid receptors in rat thymus.

Misa-Agustiño MJ, Leiro-Vidal JM, Gomez-Amoza JL, Jorge-Mora MT, Jorge-Barreiro FJ, Salas-Sánchez AA, Ares-Pena FJ, López-Martín E (2015). *Life Sciences* 127, 1–11

ElektromogReport September/ Oktober 2015

Das Erdmagnetfeld beeinflusst das Blühen von Pflanzen

Werden normale Ackerschmalwand-Pflanzen (*Arabidopsis*) ohne Magnetfeld aufgezogen, kann die Blütenbildung verhindert werden. Dies geht auf den blauen Anteil im Licht bei geringer Intensität und kurzer Einwirkdauer zurück. Die entsprechenden Rezeptoren sind die Cryptochrome 1 und 2 (CRY1/2). Mutanten, die einen Defekt in den CRY1/CRY2-Genen haben, zeigten keine Unterschiede in der Blütenbildung, ob sie mit oder ohne Magnetfeld wachsen. Der rote Lichtanteil scheint keinen Einfluss zu haben.

Suppression of Arabidopsis Flowering by Near-Null Magnetic Field is Affected by Light.

Xu C, Li Y, Yu Y, Zhang Y, Wei S (2015): *Bioelectromagnetics* 36 (6), 476–479

ElektromogReport September/ Oktober 2015

Glossar

8-OH-dG (8-Hydroxi-2-Deoxyguanosin): Einer der zuverlässigsten und in den letzten Jahren etablierten Biomarker zur Erkennung von oxidativem Stress und anderer mutagener Einwirkungen auf die DNA. Ein Marker ist eine Substanz, wie ein Hormon, Enzym oder ein besonderer Eiweißkörper (z.B. Tumormarker), die bei vermehrtem Vorkommen im Blut das Vorhandensein einer Krankheit anzeigt.

Akustikus Neurinom: Gutartige, am häufigsten vorkommende sogenannte Kleinhirnbrückenwinkeltumore aus Binde- und Nervengewebe, die von den Schwann'schen Zellen des Hörnervs, (des achten Hirnnervs), ausgehen. Der Tumor verursacht u.a. meist einseitige Hörminderungen, Ohrgeräusche, Gleichgewichtsstörungen, Drehschwindel oder Lähmungen der Gesichtsmuskulatur.

Antioxidantien: Substanzen, wie z.B. Vitamin E und Beta-Carotin, die freie Radikale abfangen können und somit schädliche Oxidation in der Zelle verhindern.

Apoptose, Programmierter Zelltod: Der programmierte Zelltod, der aktiv durch die Zelle selbst ausgelöst wird, ist gekennzeichnet durch den enzymatischen Abbau zelleigener DNA und Proteine. Die Apoptose kann durch verschiedene Faktoren ausgelöst werden, deren Zusammenwirken noch unklar ist. Sie wird als Schutzmechanismus des Organismus verstanden, indem beschädigte, nutzlose oder überalterte Zellen entfernt werden.

Basalmembran: Grenzschicht zwischen Epithelien und Bindegewebe, die aus einem Geflecht aus Proteoglycanen, Kollagen, Laminin und weiteren Proteinen besteht.

Caspasen: sind Enzyme, die bei der Apoptose während der Entwicklung von Lebewesen eine Rolle spielen, die aber auch bei Schädigungen von Zellen (z. B. durch Strahlung, Mikroorganismen oder Giftstoffe) zum Einsatz kommen. Sie spalten Proteine, die nicht mehr gebraucht werden.

CI: siehe Konfidenzintervall

DNA-Reparatur: Die in der Zelle ablaufenden Prozesse zur Beseitigung von DNA-Schäden mit Hilfe von Enzymen, die Fehler in der DNA-Sequenz und DNA-Struktur korrigieren können. Die Schäden können durch ultraviolette Strahlung, Chemikalien oder freie Radikale verursacht werden.

Epithel: Deckgewebe, das äußere oder innere Körperoberflächen bedeckt.

EGF (Epidermaler Wachstumsfaktor): Ein aus 53 Aminosäuren bestehendes Protein, das an der Zellproliferation und Differenzierung durch Bindung an EGF-Rezeptoren auf der Zelloberfläche beteiligt ist. Bei bestimmten Tumorarten wird dieser EGF Faktor hochreguliert oder/ und in mutierter Form vorgefunden, was dazu führt dass Tumorzellen wachsen und sich unkontrolliert vermehren.

Elektromagnetisches Feld: Abk. EMF. Feld, das elektrische und magnetische Komponenten/Kräfte untrennbar beinhaltet.

ERK: Ein Enzym, das eine wichtige Rolle in der Signaltransduktion spielt. Gehört zu den Mitogen aktivierten Kinasen und reguliert seinerseits zelluläre Prozesse wie z.B. die Proliferation und Zelldifferenzierung. Hierbei handelt es sich um biologische Zellvorgänge, die unterschiedliche Bereiche des Organismus betreffen können und sind, lt. Krebsforschungen, an der onkogenen Zelltransformation von Zellen beteiligt, die sich zu Krebszellen verändern.

Freies Radikal: Molekül oder Molekülbereich, in dem neben normalerweise paarweise vorkommenden Elektronen auch einzelne Elektronen auftreten. Die Moleküle reagieren dadurch chemisch sehr aggressiv und können Schäden in Zellen, z.B. an der DNA, verursachen (oxidativer Stress). Radikale sind andererseits auch wichtige Bestandteile bei Enzymreaktionen. Sie können durch Stoffwechsellvorgänge oder durch äußere Einflüsse entstehen und können durch Radikalfänger abgebaut werden

Follikel: Ein Bläschen oder Säckchen, z.B. Haarfollikel und Eifollikel.

Genexpression: Der Prozess der Umsetzung genetischer Information in RNA und Proteine. Genexpression umfasst die Schritte Transkription, Translation und post-transkriptionelle Modifizierung der Proteine. In der Genomik werden Genexpressions-Analysen durchgeführt, um das spezifische Muster der Gene (genetischer Fingerabdruck) be-

stimmter Zellen zu ermitteln.

Glukose: Einfachzucker, der Energie für den Stoffwechsel liefert. Ein Monosaccharid mit der chemischen Formel $C_6H_{12}O_6$, der die Hauptenergiequelle lebender Organismen und Produkt der pflanzlichen Photosynthese ist. Der Glukosespiegel im Blut wird vor allem durch die Hormone Insulin und Adrenalin reguliert. Überschüssige Glukose wird zu Glycogen umgewandelt und in der Leber und den Muskeln gespeichert oder zu Körperfett umgewandelt.

Glutathionperoxidase: Ein Enzym zur Entgiftung von toxischen Sauerstoffverbindungen. Ein Enzym, das Wasserstoffperoxid zu Wasser reduziert bei gleichzeitiger Oxidation von Glutathion. Es benötigt das Spurenelement Selen im aktiven Zentrum. Ein Mangel an Glutathionperoxidase führt zu Gelbsucht und hämolytischer Anämie bei Neugeborenen.

Glykolyse: Bei aeroben und anaeroben Organismen einleitender Stoffwechselweg zum Abbau von Glukose. Aus einem Molekül Glukose (6 C-Atome) werden in der Glykolyse 2 Moleküle Pyruvat (3 C-Atome) gebildet, das nun für einen aeroben Abbau zu Kohlendioxid und Wasser oder für eine Gärung zur Verfügung steht.

Histon: Eine Gruppe basischer Proteine, die mit der DNA in eukaryontischen Zellen assoziiert sind. Histone bilden die Einheit, um die sich die DNA in den Chromosomen wickelt. Außerdem sind sie an der Kontrolle der Gen-Aktivität beteiligt. Das Histon-H2AX spielt beim Stimuli-induzierten Doppelstrangbruch eine wichtige Rolle, da es eines der ersten Proteine ist, welches im Zuge der Reparaturprozesse des Doppelstrangbruchs zum gamma-H2AX phosphoryliert wird.

Hitzeschock-Protein, Stressprotein, HSP: Indikator für allgemeine zelluläre Stress-Reaktionen. Gruppe von Proteinen, die eine Rolle bei der zellulären Antwort auf Temperaturerhöhung und andere Stressfaktoren spielen. Sie erhöhen die thermische Toleranz und üben eine molekulare Schutzfunktion aus. Einige Hitzeschock-Proteine stabilisieren andere Proteine in ihrer Konfiguration (Chaperone).

Ionisierende Strahlung: Strahlung mit einer Wellenlänge von weniger als 200 nm, die beim Durchgang durch Materie Ionisation verursacht. Ihre Energie reicht aus, um Elektronen (häufig über kaskadenartige Reaktionen) aus einem Atom oder Molekül herauszulösen. Hierdurch werden chemische Bindungen (kovalente Bindungen) aufgebrochen und freie Radikale (Atome oder Moleküle mit ungepaarten Elektronen) gebildet. Diese führen u.a. zu DNA-Doppelstrangbrüchen.

Ipsilateral: Auf derselben Seite des Körpers, z.B. wo das Handy benutzt wird; bilateral: zweiseitige Benutzung.

Katalase: Eine Oxidoreduktase, die die Umwandlung von Wasserstoffperoxid (H_2O_2) zu Sauerstoff und Wasser zum Schutz der Zelle katalysiert. Die Katalase ist in vielen tierischen Zellen vorhanden, besonders reichlich in den Peroxysomen in der Leber.

Katarakt: Trübung der Augenlinse oder ihrer Kapsel, z.B. Grauer Star.

Keimzelle: Weibliche oder männliche Keimzelle (Eizelle oder Spermium), die nur einen einfachen Chromosomensatz hat.

Konfidenzintervall (KI, CI): ist ein geschätztes Intervall, welches den wahren Wert eines unbekanntes Parameters mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit überdeckt. Häufig wird das 95%- Konfidenzintervall verwendet, wobei mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die gesuchte Ausprägung des betrachteten Parameters der Grundgesamtheit enthalten ist.

Kovalente Bindung: Bindung zwischen zwei oder mehreren Atomen, denen ein oder mehrere Elektronenpaare gleichzeitig angehören.

Krebspromotion: Die Tumorpromotion ist die Förderung des Krebswachstums durch einen Tumorpromotor, der selbst nicht karzinogen sein muss.

Lipidperoxidation: Die Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren durch Radikale. Dabei können Gewebeschäden auftreten. Lipidperoxide entstehen bei der Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren durch Radikale. Dies kann zu Gewebeschäden durch Veränderungen an der Zellmembran führen.

Lumen: Hohlraum röhrenförmiger Organe und Zellen, z.B. Darmlumen, Gefäßlumen oder Zell-Lumen.

Malondialdehyd (MDA): entsteht bei der Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren und ist ein biochemischer Marker für oxidativen Stress.

Matrixmetallproteinase: Zinkabhängige Endopeptidasen, die zur Familie der Proteasen gehören, und in der Lage sind, extrazelluläre Matrix Proteine abzubauen sowie eine Anzahl bioaktiver Enzyme zu entwickeln.

Mikrowellen: Elektromagnetische Wellen mit Frequenzen zwischen 300 MHz und 300 GHz. Anwendungs-beispiele sind die Wärmeerzeugung im Mikrowellenherd, die Mikrowellentherapie und Mikrowellenspektroskopie zur Erforschung des Aufbaus von Molekülen und Atomen und Funkübertragungs-technologien.

Mitochondrien: Kraftwerke der Zellen. Kleine Organellen eukaryontischer Zellen, die Energie in Form von ATP durch oxidativen Abbau von Nährstoffen gewinnen. Mitochondrien haben die Fähigkeit zur Selbstreduplikation, sie besitzen ein ringförmiges DNA-Molekül, eigene Ribosomen und sind von einer doppelten Membran umgeben.

Mitose: Mechanismus der Verdoppelung und Aufteilung des Erbmateri- als auf die Tochterzellen bei der Zellteilung. Man teilt die Mitose in vier Phasen ein: 1. Prophase: die zuvor verdoppelten Chromosomen ziehen sich zusammen, die Kernmembran beginnt sich aufzulösen, der Spindelapparat wird gebildet. 2. Metaphase: die Chromosomen ordnen sich in der Äquatorialebene an, der Spindelapparat ist voll ausgebildet, die Kernmembran aufgelöst. 3. Anaphase: die Schwesterchromatiden jedes Chromosoms werden getrennt und von den Spindelfasern zu den beiden Zellpolen gezogen. 4. Telophase die neuen Zellkerne werden gebildet, das Zytoplasma teilt sich zu zwei vollständigen Tochterzellen.

Neuralrohr: Aus dem Neuralrohr entstehen bei Wirbeltieren das Rückenmark und das Gehirn.

NADH: Eine energiereiche reduzierte Form von NAD, welche in der Lage ist, im oxidativen Sauerstoffwechsel als energielieferndes Coenzym der Atmungskette, Elektronen auf Sauerstoff zu übertragen.

NAD⁺: Ein Wasserstoff übertragendes Coenzym, das in allen Zellen vorkommt und eine wichtige Rolle im Stoffwechsel spielt. Es setzt sich aus Nicotinsäureamid, Adenin, zwei Molekülen Ribose und zwei Phosphorsäureresten zusammen. In zahlreichen enzymatischen Reaktionen dient es als Wasserstoffüberträger, wobei der Reaktion der Wechsel zwischen oxidiert (NAD⁺) und reduzierter Form (NADH) zugrunde liegt.

Neuriten: Der Fortsatz einer Nervenzelle, der die Signale weiterleitet.

Neurotransmitter: Botenstoff, der zur Weiterleitung elektrischer Impulse an Synapsen dient. Zu den Neurotransmittern gehören u.a. Acetylcholin, Adrenalin, Noradrenalin und Serotonin.

Nichtionisierende Strahlung: umfasst alle Strahlen und Felder des elektromagnetischen Spektrums, die nicht genügend Energie besitzen, um eine Ionisation zu verursachen, z.B. Radiowellen, Mikrowellen, Infrarot-Strahlen und sichtbares Licht.

ODC (Ornithindecaboxylase): Enzym, das als Indikator für die Proliferation dient. Schlüsselenzym der intrazellulären Polyamin-Synthese, das Ornithin durch Decarboxylierung in Putrescin umwandelt. Polyamine sind wichtig für die Stabilisierung der DNA Struktur und bei der Reparatur von DNA - Doppelstrangbrüchen, aber auch als Antioxidantien. Die ODC ist ein essentielles Enzym beim Zellwachstum. Ein Mangel an ODC hat bei Mäuseembryonen eine Apoptose durch DNA Schäden verursacht.

Odds (deutsch: Quote, Wettverhältnis). Die **Odds Ratio** (Quote für Exponierte geteilt durch die Quote für Nichtexponierte) wird in epidemiologischen Studien verwendet und als Näherung für das relative Risiko benutzt, wenn das Risiko der Erkrankung in der Studienpopulation gering ist. Der Wert der Odds Ratio ist größer 1, wenn ein möglicher Zusammenhang zwischen Erkrankung und Exposition besteht, kleiner 1, wenn die Exposition schützend wirkt, und gleich 1, wenn die Exposition kein Risiko birgt.

Onkogene: Krebsgene, deren Veränderung oder Aktivierung eine Umwandlung von gesunden Zellen zu Tumorzellen herbeiführen kann. Als Proto-Onkogene liegen die Onkogene in gesunden Zellen vor und haben eine zentrale Bedeutung für die Regulation des Zellwachstums. Krebs entsteht, wenn die Kontrolle des Zellwachstums durch das entsprechende Onkogen zusammenbricht. Auslöser sind zum Beispiel radioaktive Strahlen oder Chemikalien, die eine Veränderung der Erbsubstanz bewirken.

Oxidase: Ein Enzym, das mit molekularem Sauerstoff (O₂) als Elektronenakzeptor bei Oxidation eines Substrats reagiert.

Oxidation: Die Abgabe von Elektronen aus einem Atom, z.B. bei der Aufnahme von Sauerstoff oder bei Abgabe von Wasserstoff aus einem Molekül. Gegensatz zu Reduktion.

Oxidativer Stress entsteht, wenn oxidative Vorgänge durch freie Radikale (z.B. Wasserstoffperoxid) die Fähigkeit der antioxidativen Prozesse zur Neutralisation übersteigen und das Gleichgewicht zugunsten der Oxidation verschoben wird. Verschiedene Schädigungen in den Zellen können hervorgerufen werden, z.B. Oxidation von ungesättigten Fettsäuren, Proteinen und DNA.

p53: Das Tumorsuppressor-Gen kodiert das Protein p53, das das Zellwachstum reguliert und das Wachstum maligner Zellen unterdrückt. Das p53-Gen ist sehr häufig bei Krebs mutiert und inaktiviert.

Purine: Eine der beiden Klassen von stickstoffhaltigen Ringverbindungen in den Nucleinsäuren DNA und RNA. Purin besteht aus einem Doppelring. Beispiele sind Adenin und Guanin.

ROS (Reaktive Sauerstoffspezies): Sauerstoffhaltige Moleküle, die sehr instabil und hochreaktiv sind. Die hohe Reaktivität entsteht durch die instabile Elektronenkonfiguration der Radikale. Sie extrahieren schnell Elektronen aus anderen Molekülen, die dann selbst zu freien Radikalen werden. So wird eine Kettenreaktion ausgelöst und Zellschädigungen durch oxidativen Stress verursacht. Zu den ROS gehören Superoxide, Peroxide und Hydroxylradikale.

SAR-Wert: Die spezifische Absorptionsrate beschreibt, wieviel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht (bzw. biologischem Material) absorbiert wird (W/kg), wenn der Körper in einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld exponiert ist. Die SAR kann lokal (z.B. bei Nutzung eines Mobiltelefons) oder auf den ganzen Körper (z.B. im Fernfeld einer Basisstation) bestimmt werden. Als Grenzwerte in Deutschland gelten für die Exposition des Ganzkörpers 0,08 W/kg und des Teilkörpers 2 W/kg (gemittelt über 10 Gramm Körpergewebe).

Seminom: Ein bösartiger Keimzell-Tumor des Hodens, der von den Keimzellen (Vorläuferzellen der Spermien) beim Mann ausgeht.

Superoxid ist ein sehr reaktives und toxisches Radikal von molekularem Sauerstoff, das bei der Übertragung eines Elektrons auf O₂ entsteht. Bei Übertragung eines weiteren Elektrons entsteht daraus Peroxid.

SOD / Superoxid - Dismutase: Ein Enzym, das die Umsetzung des sehr reaktiven und für die Zelle schädlichen Superoxid-Radikals katalysiert. Dabei wird Superoxid mit Wasserstoff zu molekularem Sauerstoff und Wasserstoffperoxid (H₂O₂) umgesetzt.

Spermatogenese: Die Entwicklung der Samenzellen beim Mann aus den Urkeimzellen über die Spermatogonien, Spermatozyten und Spermatisen zu den reifen, haploiden Spermatozoen.

Thymus: Immunorgan des Menschen und der Wirbeltiere. Lymphatisches Organ im oberen Brustraum über dem Herzbeutel gelegen. Bei Kindern ist der Thymus voll ausgebildet, erreicht seine maximale Entwicklung während der Pubertät und bildet sich dann zurück (Altersinvolution). Im Thymus erfolgt die Vermehrung und Reifung der T-Lymphozyten.

Toxizität: Die Giftwirkung eines Stoffes gegenüber lebenden Organismen.

Wasserstoffperoxid H₂O₂: Ein starkes Oxidationsmittel, das bei seinem Zerfall molekularen Sauerstoff (O₂) abgibt. Es wird verdünnt zum Desinfizieren und Bleichen verwendet. In tierischen und pflanzlichen Geweben wird Wasserstoffperoxid durch Enzyme (z.B. Oxidase) bei der Aminosäureoxidation gebildet, abgebaut wird es durch die Enzyme Katalase und Peroxidase.

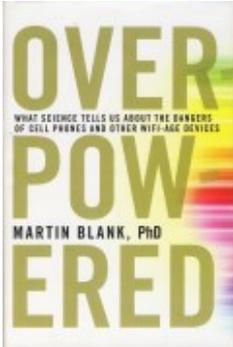
Transgene Mäuse: Tiere, deren Genome durch Einpflanzung/ Übertragung eines anderen Gens verändert wurden bzw. deren Gen für das Prion-Protein (PrP) durch homologe Rekombination inaktiviert wurden.

Wirkmechanismus: Die spezifische biochemische Wechselwirkung, durch die elektromagnetische Felder oder biologisch aktive Substanzen in einem Organismus wirken. Bei einem Wirkungsmechanismus werden die spezifischen Moleküle oder Signalwege (z.B. Genexpression, Rezeptor- Bindung) identifiziert.

(Quellen des Glossars: Wikipedia, EMF-Portal, Karp: Molekulare Zellbiologie, 2005)

www.mobilfunkstudien.org

Diagnose-Funk e.V. Datenbank mit Studien, Artikeln und Videos

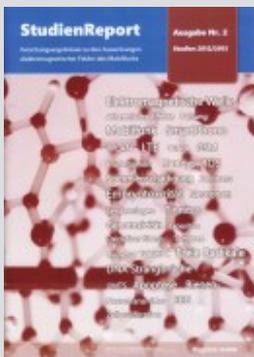


Ein neues Standardwerk!

Martin Blank (2014): OVERPOWERED. What science tells us about the dangers of cell phones and other WiFi - age devices. Seven Stories Press, New York

Prof. Martin Blank (USA), ehemaliger Vorsitzender der Bioelectromagnetics Society, dokumentiert die Geschichte der Forschung zur nicht-ionisierenden Strahlung, den aktuellen Stand der Forschung, und aus eigener Kenntnis den Einfluss der Politik und Industrie in den USA auf die Forschungsergebnisse.

Das Buch ist nur im englischen Original erhältlich, aber gut verständlich geschrieben.



Studienrecherche 2015 - 1 / 2015 –2

StudienReport 2012 / 2013 (auch als Print erhältlich, 5.00 Euro)

Beide zum Download auf:
www.mobilfunkstudien.org



Autorenteam Stuttgart: Zellen im Strahlenstress, Broschüre, 2008, 52 S., 5,00 Euro

Langzeitriskien des Mobil- und Kommunikationsfunks, Tagungsband mit Vorträgen zum Stand der Forschung, 2014, 84 S. , 8,00 Euro

Bestellung: <http://shop.diagnose-funk.org/>



Siegfried Kiontke: Tatort Zelle, Wie Elektrosmog-Attacken unseren Organismus bedrohen, 2014, 38,00 Euro

Robert O. Becker: Heilkraft und Gefahren der Elektrizität , 1993 (Standardwerk, nur noch antiquarisch erhältlich)