

ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer
Felder für Umwelt und Gesundheit



Pränatale Wirkung von 915-MHz-Mobilfunkstrahlung Biologische Wirkungen von 915 MHz auf die Plazentaschranke bei trächtigen Ratten

Kim HS, Choi HD, Paek JK, Kim N, Ahn YH (2021): Biological Effects of Exposure to a Radiofrequency Electromagnetic Field on the Placental Barrier in Pregnant Rats. Bioelectromagnetics 42 (3), 191-199; <https://doi.org/10.1002/bem.22322>

In verschiedenen Tierstudien wurde festgestellt, dass die Einwirkung von Mobilfunkstrahlung auf trächtige Mäuse zu Hyperaktivität, schlechterem Gedächtnis und Verhaltensänderungen bei den Nachkommen führt. Es ist aber noch unklar, ob die Strahlung entscheidende Schädigungen beim Fetus hervorruft und die Mechanismen der Veränderungen durch die Strahlung im sich entwickelnden Fetus sind noch nicht ganz verstanden. Diese Studie wurde durchgeführt, um die Wirkung von 915-MHz-Strahlung auf die mütterliche Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse (HHN oder engl. HPA-Achse) und die Plazentaschranke zu verstehen, um Auswirkungen aus der Umgebung auf die Entwicklung des Fetus vorhersagen zu können.

Die HPA-Achse reguliert die Cortisol-Ausschüttung, das vermehrt bei Stress ausgeschüttet wird. Das Hormon Adrenocorticotrophin (ACTH) aus dem Vorderlappen der Hirnanhangdrüse (Hypophyse) regt die Nebennierenrinde an, Cortisol in das Blut abzugeben. Cortisol ist ein Glucocorticoid-Steroid-Hormon, das in der Plazenta Veränderungen in Morphologie, Hormonsynthese und Transportphysiologie beeinflusst.

Die Plazenta ist ein Organ, das den Austausch von Substanzen zwischen mütterlichem und kindlichem Kreislauf bewerkstelligt. Bei Säugetieren gelangen etwa 10–20 % des mütterlichen Cortisols durch die Plazenta zum Fetus, dabei werden während der Passage 80–90 % in eine inaktive Form überführt. Diese Passage wird durch die 11 β -Hydroxysteroid-Dehydroge-

Impressum

ElektrosmogReport 03-2021, 27. Jahrgang
Online Veröffentlichung auf www.EMFdata.org
Bestellung Printausgabe:
shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport, Bestellnr. 52103

Redaktion ElektrosmogReport

Dipl. Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), M.Sc.,
Alain Thill (AT), M.Sc., Kontakt: emf@katalyse.de

Herausgeber und V.i.S.d.P

Diagnose-Funk e.V.
Postfach 15 04 48
D-70076 Stuttgart
kontakt@diagnose-funk.de

Spendenkonto:

Diagnose-Funk e.V.
IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00
BIC: GENODEM1GLS | GLS Bank
Ermöglichen Sie mit Ihrer Spende die Aufarbeitung und Analyse der Forschungslage und die weitere Herausgabe des ElektrosmogReport

INHALTSVERZEICHNIS

WISSENSCHAFT SEITE 01 > Pränatale Wirkung von 915-MHz-Mobilfunkstrahlung

03 > Wirkung von GSM auf Biochemie von Pflanzen

04 > EMF und Autophagie

05 > HF-Wirkung auf Nervenzellen

07 > HF-Wirkung auf Immunzellen

08 > HF-Wirkung von 2,45 GHz auf verschiedene Hirnregionen

09 > Wirkung von 915-MHz-Mobilfunkstrahlung auf den Stoffwechsel

10 > Kinderkrebs durch niederfrequente Felder

11 > Wirkung von 50 Hz und statischem Magnetfeld auf Schaben

12 > Elektrosmog und Insekten

13 > Modellierung von HF-Grenzwerten

15 > Errata / Adressen

nase (11 β -HSD2) reguliert, die das aktive Cortisol in inaktives Cortisol umwandelt. Die Aktivität dieses Enzyms ändert sich im Laufe der Entwicklung des Fetus je nach Bedarf. Durch Störungen der Regulation der mütterlichen HPA-Achse oder von 11 β -HSD2 können vermehrt Glucocorticoide zum Fetus transportiert werden. Das unterstützt die Annahme, dass Empfindlichkeiten gegenüber Erkrankungen von Erwachsenen schon beim Fetus angelegt werden. Tierexperimente hatten ergeben, dass hohe Konzentrationen an Glucocorticoiden in der Schwangerschaft beim Fetus zu Verhaltensstörungen führen können (Schizophrenie, Autismus, Hyperaktivität und geringere Hirnleistungen). Einige Studien haben angenommen, dass Hochfrequenzstrahlung zu signifikanten Änderungen der Stresshormone bei erwachsenen Tieren führt. Über die Stress-Reaktionen der Mutter in der Schwangerschaft und der Plazenta auf die Strahlung ist nichts bekannt. In dieser Studie sollte die Wirkung der Strahlung auf die mütterliche HPA-Achse und die Plazentaschranke erforscht werden, um mögliche Umwelteinflüsse auf die Entwicklung des Fetus zu erkennen.

Studiendesign und Durchführung:

Nach Bildung von 21 Rattenpaaren konnten nach 2 Wochen 18 Weibchen als trächtig angesehen werden, die in 3 Gruppen eingeteilt wurden: 7 Tiere als scheinbestrahlte Kontrolle (davon waren am Ende 2 nicht trächtig), 7 Tiere für die bestrahlte Gruppe und 4 Tiere als Käfigkontrolle. Die Ganzkörper-Bestrahlung erfolgte mit 4 W/kg für 8 Stunden pro Tag von Tag 1 bis Tag 19. Am Tag 20 wurden den Muttertieren Blut (für Serum), die Nebennieren und die Hypophyse entnommen. Aus der Gebärmutter wurden die Nachkommen entnommen und sorgfältig von der Plazenta getrennt. Von 4 Tieren der Gruppen wurden in den Plazenten, in den Nebennieren und im Blutserum die Cortisol-Konzentrationen gemessen, zudem die Konzentrationen von ACTH in der Hypophyse und im Blut das Corticotrophin-Releasing-Hormon (CRH). Danach wurden die Plazenten histologisch nach Eosin-Hämatoxylin-Färbung in 4 Abschnitten auf morphologische Veränderungen untersucht und die mRNA-Expression des Enzyms 11 β -HSD2 in der Plazenta bestimmt.

Ergebnisse:

Die Cortisol-Konzentrationen im Blut und den Nebennieren der Muttertiere waren nach Bestrahlung signifikant erhöht gegenüber den beiden Kontrollen; im Blutserum waren das $230 \pm 24,6$ ng/ml gegenüber $156 \pm 8,3$ ng/ml der Scheinbestrahlung und $165 \pm 8,6$ ng/ml der Käfigkontrolle. In den Nebennieren betragen die Werte nach Bestrahlung $58,3 \pm 4,5$ ng/ml gegenüber $30 \pm 3,8$ ng/ml der scheinbestrahlten Gruppe und $33,7 \pm 3,9$ ng/ml der Käfigkontrolle. Das Cortisol in der Plazen-

ta unterschied sich kaum zwischen den 3 Gruppen und die Konzentrationen von CRH im Blut und die mRNA-Expression von 11 β -HSD2 waren geringfügig erhöht gegenüber den Kontrollen. ACTH in der Hypophyse der trächtigen Tiere war nicht-signifikant erhöht. Die histologische Untersuchung der Plazenten ergab am Tag 20 keine signifikanten Unterschiede in der Struktur zwischen den 3 Gruppen.

Schlussfolgerungen:

Feten können während der Schwangerschaft verschiedenen Hochfrequenzstrahlungen ausgesetzt sein, z. B. durch Mobiltelefon-Nutzung der Mutter oder aus anderen Quellen in der Umgebung. Stress in der Schwangerschaft ist ein Risiko für ADHS bei den Nachkommen, und Mobilfunkstrahlung kann ein Stressfaktor sein, der die Ausschüttung von Stresshormonen bewirkt. In diesem Experiment waren die Tiere keinem Stress ausgesetzt. Die experimentellen Bedingungen erzeugten keine Strukturveränderungen in der Plazenta, auch die Funktion der Blut-Plazenta-Schranke war trotz des erhöhten Cortisols nicht gestört, wie die 11 β -HSD2-Werte zeigten.

Die Studie hat einige Einschränkungen: Für die SAR-Berechnung lag kein Modell für das Körpergewicht einschließlich der Trächtigkeit vor, es wurde ein Modell für erwachsene männliche Ratten verwendet und das Körpergewicht zu Beginn des Experiments (300 g) und während der Bestrahlung (330 g) bestimmt. Die rektale Temperatur wurde nicht gemessen, um Stress zu vermeiden. Aus früheren Experimenten ist bekannt, dass keine signifikanten Temperaturveränderungen bei erwachsenen, schweren männlichen Tieren auftreten. Es wurden keine Cortisol-Werte im Gewebe der Feten bestimmt, denn direkte Messungen sind praktisch unmöglich. Die Plazentafunktionen ändern sich sehr stark während der verschiedenen Stadien der Schwangerschaft, hier wurde nur in einem späten Stadium die Wirkung der Strahlung untersucht. Es sollen weitere Studien in verschiedenen Stadien durchgeführt werden.

915-MHz-Strahlung verursacht während der Schwangerschaft signifikant erhöhte Cortisol-Konzentrationen im Blut, jedoch keine Änderungen in der Plazentaschranke. Soweit bekannt, ist dies die erste Studie, die die biologischen Wirkungen von Mobilfunkstrahlung auf die Plazentaschranke bei trächtigen Ratten untersucht hat. Zusammengefasst zeigt diese Studie, dass das Einwirken von 915-MHz-Strahlung (4 W/kg 8 Stunden täglich für die Dauer der Trächtigkeit) Stress in den trächtigen Ratten bedeutet, sichtbar an den signifikant erhöhten Cortisol-Konzentrationen im Blutserum. Aber die Plazentaschranke schützt den Fetus vor dem mütterlichen Stress. (IW)

Die Cortisol-Konzentrationen im Blut und den Nebennieren der Muttertiere waren nach Bestrahlung signifikant erhöht...



Wirkung von GSM auf Biochemie von Pflanzen

Oxidativer Stress und ein tierisches neurotransmittersynthetisierendes Enzym in den Blättern wild wachsender Myrte nach Exposition mit GSM-Strahlung.

Stefi, A. L., Vassilacopoulou, D., Margaritis, L. H., & Christodoulakis, N. S. (2018). Oxidative stress and an animal neurotransmitter synthesizing enzyme in the leaves of wild growing myrtle after exposure to GSM radiation. *Flora*, 243, 67-76.

Mobiltelefone sind inzwischen die häufigste Form der öffentlichen Kommunikation. Deshalb ist das Leben auf unserem Planeten in eine "Wolke" aus nicht-ionisierender Strahlung gehüllt. Die auf der Erde vorhandene hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF-EMS) im Bereich der Radio- und Mikrowellen ist seit dem 19. Jahrhundert deutlich angestiegen. Obschon Pflanzen naturgemäß angepasst sind, Sonnenlicht mit wesentlich mehr Strahlungsintensität als die technologischen elektromagnetischen Quellen zu nutzen, gibt es genügend Hinweise, dass HF-EMS bei Pflanzen biologische Wirkungen hat, mitunter schädliche. Pflanzen sind bewegungslos, was die Durchführung von Experimenten vereinfacht, da die Strahlenexposition sich einfacher gestaltet. Es ist auch recht einfach, schädliche Einflüsse bei Pflanzen zu dokumentieren, wie z.B. gestörte Zellstrukturen, Wachstum oder verminderter Ertrag. Im hier beschriebenen Experiment wurde ein Myrte-Strauch im Felde mit einem GSM-Handy im Sprechmodus bestrahlt.

Studiendesign und Durchführung:

Myrtus communis ist ein immergrüner Strauch, der in mediterranen Gegenden verbreitet ist. Es wurden wildwachsende Myrte-Sträucher am Berg Hymettus, in der Nähe von Athen ausgesucht. 20 Tage nach dem Sprießen neuer Blätter wurde ein GSM-Handy, was auf einem Dreifuß montiert war, 3 Tage in der Woche für 30 Minuten im Sprechmodus in direkter Nähe der neuen Blätter betrieben. Das Experiment lief während 49 Tagen, und wurde im folgenden Jahr für weitere 50 Tage wiederholt. Die Strahlungsintensität betrug durchschnittlich 27 V/m [1,9 W/m²].

Zu Beginn der Experimente, in der Mitte (11 Expositionen) und am Ende der Experimente (22 Expositionen, nach 49 Tagen), wurden jeweils 5 Blätter entnommen, von bestrahlten Pflanzen und Kontrollen. Im Labor wurden die Proteinkonzentration, die Aktivität der L-Dopa-Decarboxylase (DDC, per Immunblot), die Menge der Chlorophyll-Pigmente sowie die Gesamtmenge der reaktiven Sauerstoffspezies (ROS)

bestimmt. Blattsschnitte wurden mit 13 verschiedenen Reagenzien gefärbt, und zwar spezifische Farbstoffe für ungesättigte Fette, Terpene, Flavonoide, Sesquiterpene, Alkaloide, Tannine, Polyphenole usw. Die Blattsschnitte wurden unter dem Lichtmikroskop betrachtet sowie mit zwei Arten von Elektronenmikroskopen.

Ergebnisse:

Obwohl die Blätter der exponierten Pflanzen eine unbeeinflusste Gewebeanordnung aufweisen (im Vergleich zur Kontrolle), häufen ihre Mesophyllzellen größere Mengen an Sekundärmetaboliten an. Exponierte Blätter erscheinen kompakter bei Betrachtung im Lichtmikroskop, und akkumulieren auf Zellebene große Mengen ungesättigter Fette, oder „fettiger“ Sekundärmetaboliten. Diese Unterschiede konnten auch mit dem Transmissions- und Rasterelektronenmikroskop bestätigt werden.

Die photosynthetischen Pigmente sind leicht reduziert 1 Stunde nach der Bestrahlung, und drastisch reduziert 24 Stunden danach. Das gleiche gilt für die Menge an ROS, die um 50-100 % erhöht ist in den bestrahlten Blättern, wiederum nach 24 Stunden. Was die Aktivität der L-Dopa-Decarboxylase betrifft, ist das Bild ähnlich. Das Vorhandensein von DDC, das in den Blättern der Kontrollpflanzen nicht nachgewiesen werden kann, wird in hohen Konzentrationen in den exponierten Blättern festgestellt. Diese scheinen einen schweren oxidativen Stress zu erfahren, der wahrscheinlich die DDC-Expression und die Biosynthese des Neurotransmitters Dopamin, bei Pflanzen ein wichtiges Antioxidans, sowie die Aktivierung des Shikimat-Stoffwechsels und schließlich die Akkumulation von Sekundärmetaboliten induziert.

Schlussfolgerung:

Zitat der Autorin: „Dopamin ist ein Sekundärmetabolit, der, wie die meisten Katecholamine, den Kohlenhydratstoffwechsel regulieren kann, als Vorläufer einiger Alkaloide dient, die Pflanzen vor bestimmten Krankheitserregern schützt und an der Stickstoffentgiftung beteiligt ist. Es kann den Pflanzen auch helfen, sich gegen schädliche klimatische Bedingungen, Umweltschadstoffe, hohe Sonneneinstrahlung und Wasserddefizit zu schützen. In Anbetracht der obigen Ausführungen können wir davon ausgehen, dass die exponierten Blätter DDC und folglich Dopamin produzieren, weil sie durch die Strahlenwirkung unvermeidlichen, schweren Umweltstress erfahren. Was in dem gesamten Experiment sehr interessant erscheint, ist die Tatsache, dass die photosynthetischen Pigmente, ROS und die DDC-Expression nicht sofort, sondern erst eine Stunde nach der Exposition beeinträchtigt zu sein scheinen, und dass die nachgewiesene Expression auch 24 Stunden nach der Bestrahlung noch die Stresssituation widerspiegelt. Es scheint jedoch, dass vor der nächsten Exposition ein Erholungsmechanismus das zelluläre Verhalten "zurücksetzt", so dass die

photosynthetischen Pigmente zu ihrer normalen Konzentration zurückkehren, die ROS auf ein normales Maß zurückgehen und die DDC-Expression unterdrückt wird. Dies scheint ein wunderbarer Erholungsmechanismus zu sein, der die Pflanze in die Lage versetzt, langfristige Stressbedingungen zu überstehen, auch wenn die Vermeidung der schädlichen Auswirkungen nicht unbegrenzt sein kann.“

Diese Ergebnisse sind im Einklang mit den Befunden früherer Forschung, bezüglich der beobachteten Reaktionen (gegenüber EMF) auf zellulärer und molekularer Ebene sowie auf der Ebene der Morphologie des gesamten Organismus. Obschon die langfristigen Auswirkungen noch nicht gründlich erforscht wurden, sollte darüber nachgedacht werden, da hochfrequente EM-Strahlung nicht (weiterhin) als für Pflanzen harmlos angesehen werden kann. (AT)



EMF und Autophagie

Auswirkungen von elektromagnetischer Strahlung auf die Autophagie und ihre Regulierung.

Hao, Y. H., Li, Z. H. A. O., & Peng, R. Y. (2018). Effects of electromagnetic radiation on autophagy and its regulation. *Biomedical and environmental sciences*, 31(1), 57-65.

Ein aus China kommendes Review untersucht den Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern (EMF) und Autophagie. Mit der ständig wachsenden Verwendung elektronischer Technologien nimmt auch die Exposition der Bevölkerung zu elektromagnetischer Strahlung (EMS) schnell zu. Dieser Trend ist in Zukunft vermutlich noch ausgeprägter, und könnte ein ernstzunehmendes Gesundheitsrisiko für die Menschheit werden. Die Problematik ist unter dem Begriff „Elektrosmog“ nunmehr flächendeckend bekannt.

Das zellbiologische Phänomen der Autophagie wurde 1962 entdeckt, und es findet starkes Interesse im Bereich der Biomedizin, da die Autophagie an vielen physiologischen und pathologischen Prozessen beteiligt ist. Autophagie bedeutet „sich selbst essen“, und rührt daher, dass einzelne Zellen auch über eine Form der „Verdauung“ verfügen, die im Extremfall mit der Apoptose, d.h. Zelltod, endet. Die Autophagie ist ein zellulärer Recyclingweg, der in eukaryotischen Zellen existiert und der zytoplasmatische Komponenten wie fehlgefalte

tete Proteine (z.B. Prione) und geschädigte Organellen (z.B. Mitochondrien) zu den Lysosomen transportiert – Vesikel mit Verdauungsenzymen, um sie dort abzubauen und schließlich zu recyceln. Die Autophagie spielt eine entscheidende Rolle bei Zellanpassung, der Beseitigung von intrazellulären Parasiten, dem Anti-Aging und der Tumorunterdrückung. Im weiteren Sinn werden drei Arten der Autophagie unterschieden: Makroautophagie, Mikroautophagie und Chaperon-vermittelte Autophagie (CMA). In der vorliegenden Studie ist jedoch unter „Autophagie“ immer die Makroautophagie gemeint. Bei der Makroautophagie wird das Ziel durch eine Doppelmembran (Autophagosom) umwickelt, welche dann in einem weiteren Schritt mit Lysosomen verschmilzt, die Verdauungsenzyme beinhalten.

Die Autophagie ist ein dynamischer Prozess, der sich im Laufe der Zeit verändert und in der Regel in die folgenden vier typischen Phasen unterteilt wird: (1) Die erste Phase umfasst die Bildung von Phagophoren. Nachdem der Autophagieprozess eingeleitet wurde, werden Proteine und Lipide rekrutiert, um eine doppelschichtige, membranartige, schalenförmige Struktur um die abzubauenen Substrate zu bilden. (2) Die zweite Phase umfasst die vollständige Ausdehnung der Phagophore zum Autophagosom. (3) Die dritte Phase umfasst den Transfer der Autophagosomen und ihre Fusion mit den Lysosomen. Sobald die Bildung der Autophagosomen abgeschlossen ist, bewegen sich die Autophagosomen entlang der Mikrotubuli und sammeln sich in der Nähe des Zellkerns, wo sie mit den Lysosomen verschmelzen. (4) Die vierte Stufe umfasst den Abbau und die Wiederverwendung des abgebauten Materials. Nach der Bildung von Autolysosomen werden die hydrolytischen Enzyme in den Lysosomen aktiviert, um den Inhalt der Vesikel abzubauen, und die entstandenen Aminosäuren, Nukleotide und Metaboliten werden von den Zellen wiederverwendet.

Methodik und Befunde:

Die Autoren haben 10 Studien ausgewertet, die Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf die Autophagie untersuchten. In 7 Studien konnte eine Aktivierung der Autophagie belegt werden. Die Autoren weisen darauf hin, dass dies ein sehr junges Forschungsfeld ist, vieles noch nicht erforscht wurde und kein allgemeiner Konsens besteht.

Scheinbar sind hauptsächlich nicht-thermische Effekte verantwortlich – die meisten Studien verwendeten niederfrequente (NF) oder hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) im nicht-thermischen Bereich, generell um oder unterhalb von 4 W/kg (SAR) für die HF-EMF. Effekte von EMS auf die Autophagie sind unterschiedlich je nach verwendeter Zelllinie oder Zelltyp. In einer Studie führte Bestrahlung mit EMS nur bei bösartigen Krebszellen (des Pankreas) zur Autophagie, jedoch nicht bei nicht-malignen Pankreaszellen.

Die Auswirkungen von EMS auf die Autophagie sind auch

abhängig vom verwendeten Nährmedium. Die Effekte sind scheinbar dosisabhängig, wobei höhere EMS-Dosen zu einer stärkeren Induktion der Autophagie führen.

Mechanismen:

EMS führt zur Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS, „freie Radikale“) in den exponierten Zellen. Der hierbei entstehende oxidative Stress kann viele Zellbestandteile oder Makromoleküle schädigen – meistens auf irreversible Weise. Die veränderten Proteine oder geschädigten Organellen müssen abgebaut werden, und neue wiederhergestellt werden, um das Überleben der Zellen zu sichern. Auf diese Weise führt EMS zur Induktion der Autophagie – dies kann mit Antioxidantien verhindert werden. Zusätzlich konnte gezeigt werden, dass NF-EMF die sogenannte microRNA miR-30a herunterreguliert, was wiederum zur Aktivierung der Autophagie führt.

Schlussfolgerung:

Die Autoren bemängeln, dass wegen fehlender Standardisierung der EMS-Parameter, die Resultate verschiedener Labors / Forschergruppen nicht miteinander vergleichbar oder konsistent sind. Dies bewirke Hindernisse in Bezug auf die Formulierung (schützender) gesetzlicher Richtlinien, und verzögere Fortschritte in diesem Forschungsfeld.

Anm. der Redaktion: Hinweise häufen sich, dass fehlgebildete Proteine, d.h. Prionen, bei vielen neurodegenerativen Erkrankungen beteiligt sind (z.B. Alzheimer und Parkinson). Prionen werden durch Autophagie neutralisiert, so dass eine gezielte Steuerung dieser Prozesse medizinisch wertvoll wäre. Aus verschiedenen Studien ist bekannt, dass kurzfristige Exposition gegenüber EMS das Risiko, an der Alzheimer-Krankheit zu erkranken, reduziert und Symptome mildert, wohingegen chronische Exposition ein verschlimmernder Faktor ist. Genaue Kenntnisse der hierbei relevanten Mengen an EMS scheinen unabdingbar für medizinische Anwendungen – was auch zu allgemeinerer Anerkennung schädlicher Effekte führen sollte. (AT)



HF-Wirkung auf Nervenzellen

HF-EMF-Belastung verändert die postsynaptische Struktur und behindert das Wachstum von Neuriten in sich entwickelnden Hippocampus-Neuronen von neugeborenen Mäusen

Kim JH, Chung KH, Hwang YR, Hwang YR, Park HR, Kim HJ, Kim H, Kim RK (2021): Exposure to RF-EMF alters postsynaptic structure and hinders neurite outgrowth in developing hippocampal neurons of early postnatal mice. *Int J Mol Sci.* 2021;22(10). doi:10.3390/ijms22105340

Da die Nutzung von Mobiltelefonen in der Regel einen engen Kontakt zum Kopf erfordert, sind mögliche Auswirkungen auf das Gehirn von besonderer Bedeutung. Trotz diverser kontroverser Berichte, häufen sich die Belege für biologische Wechselwirkungen von hochfrequenten Feldern mit dem zentralen Nervensystem. Dazu zählen unter anderem Veränderung des Kalzium-Gleichgewichts innerhalb der Zellen, neuronale Schäden sowie Störung der Neurotransmittersysteme. Aktuelle Studien haben gezeigt, dass die spezifische Absorptionsrate (SAR) von 5-jährigen Kindern 1,5-mal höher ist als die von 20-jährigen Erwachsenen. Dementsprechend kann die Hochfrequenzbelastung einen stärkeren Einfluss auf Kinder haben, insbesondere während der Entwicklungsphase des Nervensystems. Innerhalb des zentralen Nervensystems ist der Hippocampus hervorzuheben. Er spielt eine entscheidende Rolle bei der räumlichen Orientierung sowie Bildung von neuen Erinnerungen, Emotionen und Lernen. Funktionelle Störungen im Hippocampus werden unter anderem mit Alzheimer, Schizophrenie sowie Depressionen in Verbindung gebracht. Für die Fähigkeit des zentralen Nervensystems sich anzupassen, zu lernen und Erinnerungen zu bilden, ist die aktivitätsabhängige Anpassung von synaptischen Verbindungen von großer Bedeutung. Synapsen sind für die Funktionen von Neuronen unerlässlich. Dendritische Dornen sind kleine zytoplasmatische Vorwölbungen auf Dendriten. Sie bilden den postsynaptischen Anteil von erregenden Synapsen im Gehirn von Säugetieren. Abweichungen der Dichte, Größe und Form der dendritischen Dornen stehen in Zusammenhang mit neuronalen Funktionsstörungen. Die Form der dendritischen Dornen kann grob in drei Kategorien unterteilt werden: pilzförmige Dornen, stummelförmige Dornen und dünne Dornen. Die Oberfläche der Dornen enthält Glutamatrezeptoren, die als AMPA- und NMDA-Rezeptoren bekannt sind. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der synaptischen Plastizität (aktivitätsabhängige Modifikation der Stärke synaptischer Übertragung) und gelten als entscheidend für Gedächtnis und Lernen. Darüber hinaus stimu-

liert der Wachstumsfaktor BDNF das Wachstum von Dendriten sowie die Dichte von Synapsen während der Dendritenentwicklung. Zum jetzigen Zeitpunkt ist es unklar, ob Hochfrequenz die Synapsenbildung und das Neuritenwachstum im Hippocampus beeinflusst. Daher wurden in der hier vorgestellten Studie der Einfluss von Hochfrequenz auf die Veränderungen der Dendritenbildung während der Entwicklung des Nervensystems von Mäusen untersucht.

Studiendesign und Durchführung:

Die Studie beinhaltet sowohl in vivo- als auch in vitro-Komponenten. Bei dem in vivo-Part wurden neugeborene Mäuse über 4 Wochen (Tag 1 bis Tag 28 nach der Geburt) mit einer Frequenz von 1850 MHz, einem SAR-Wert von 4,0 W/kg für 5 Stunden täglich bestrahlt bzw. scheinbestrahlt. Als Strahlungsquelle diente ein Hochfrequenzgenerator „Wave Exposer V20“ mit einer Hornantenne. Nach der 4-wöchigen Bestrahlung wurden die Mäuse getötet und ihre Hippocampi für morphologische und biochemische Analysen genutzt.

Im in vitro-Teil der Studie wurden primäre Neuronen aus dem Hippocampus kultiviert. Diese Kulturen wurden in einer speziellen Apparatur (vgl. ElektrosmogReport 02/2021 Choi et al.) mit 1760 MHz, einem SAR-Wert von 4,0 W/kg für 5 Stunden täglich über 9 Tage bestrahlt. Anschließend erfolgten auch hier morphologische und biochemische Analysen. Die Experimente wurden nicht mit einem Doppelblindprotokoll durchgeführt. Die Autoren geben jedoch an, dass die Forschungsergebnisse auf einer objektiven und zuverlässigen wissenschaftlichen Grundlage durchgeführt wurden.

Ergebnisse:

Zunächst wurde die Anzahl der dendritischen Dornen im Hippocampus der Mäuse (in vivo) untersucht. Die Anzahl der dendritischen Dornen war im Gyrus dentatus (Untereinheit des Hippocampus) statistisch signifikant vermindert, nicht jedoch im Cornu Ammonis (Untereinheit des Hippocampus). In beiden Untereinheiten des Hippocampus wurde eine statistisch signifikant verminderte Anzahl von pilzförmigen Dornen gefunden, die stummelförmigen bzw. dünnen Dornen waren jedoch unverändert. Immunohistochemische Analysen zeigten eine statistisch signifikant verminderte Expression der AMPA- und NMDA-Glutamatrezeptoren im Hippocampus der bestrahlten Mäuse. Hierbei wurde jedoch nicht zwischen den Unterein-

heiten des Hippocampus unterschieden. Auch die Bildung des Wachstumsfaktors BDNF war nach Bestrahlung vermindert. Sowohl für den Gesamthippocampus als auch die beiden Untereinheiten Gyrus dentatus und Cornu Ammonis wurde eine statistisch signifikant verringerte Expression von BDNF festgestellt. Die folgenden Experimente wurden in vitro durchgeführt. Zunächst wurde die postsynaptische Dichte 95 (PSD95), welche eine wichtige Rolle bei der synaptischen Plastizität spielt, an den Tagen 3, 5, 7 und 9 der Bestrahlung untersucht. PSD95 war an den Tagen 5, 7 und 9 nach Bestrahlung statistisch signifikant geringer als bei den scheinbestrahlten Kulturen. Bezüglich der Glutamatrezeptoren wurden die Beobachtungen, welche in vivo getätigt wurden, durch die in vitro-Versuche bestätigt: Die

Die Daten wiesen darauf hin, dass die Hochfrequenzbelastung die Entwicklung der Synapsenbildung im jungen Gehirn hemmen und die physiologische Funktion beeinträchtigen könne.

Bildung der Glutamatrezeptoren war nach 9-tägiger Bestrahlung signifikant vermindert. Auch die in vivo festgestellte Verringerung der BDNF-Bildung wurde in vitro untersucht. Es wurde nach der 9-tägigen Bestrahlung verminderte BDNF-Bildung lediglich im Soma, nicht aber im Axon/Dendriten der kultivierten Neuronen festgestellt. Die Wis-

senschaftler konnten außerdem eine signifikante Verminderung der Dendriten-Ausbildung nach 9 Tagen Bestrahlung feststellen. Die Dendriten-Ausbildung wurde durch das Messen der Dendritenlänge, Anzahl der Verzweigung sowie Somagröße untersucht. Lediglich die Somagröße unterschied sich nicht nach Bestrahlung.

Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Autoren weisen darauf hin, dass eine Hochfrequenzbelastung während der frühen Hirnentwicklung (postnatal) die synaptische Dichte und die funktionelle Synapsenbildung im Hippocampus verringern kann. Dies könne durch eine verminderte Anzahl der dendritischen Dornen, eine verringerte Bildung von Glutamatrezeptoren sowie BDNF und vermindertes Dendritenwachstum geschehen. Diese Ereignisse können, laut den Wissenschaftlern, zu einer Beeinträchtigung der Gedächtnisfunktion führen. Die Daten wiesen darauf hin, dass die Hochfrequenzbelastung die Entwicklung der Synapsenbildung im jungen Gehirn hemmen und die physiologische Funktion beeinträchtigen könne. Die Autoren betonen jedoch, dass die Expositionsbedingungen mit einem SAR von 4,0 W/kg weit über den Sicherheitsrichtlinien der ICNIRP liegen. Diese liegen bei 0,08 W/kg (Ganzkörper), 2 W/kg (Kopf/Rumpf), 4 W/kg (Gliedermaßen). (RH)



HF-Wirkung auf Immunzellen

Auswirkungen hochfrequenter EMF- Bestrahlung auf Prä-B-Lymphozyten, die eine somatische Rekombination durchlaufen

Ioniță E, Marcu A, Temelie M, Savu D, Șerbănescu M, Ciubotaru M (2021): Radiofrequency EMF irradiation effects on pre-B lymphocytes undergoing somatic recombination. *Sci Rep.* 2021;11(1):1-12. doi:10.1038/s41598-021-91790-3

Die somatische oder V(D)J-Rekombination ist ein Prozess, der bei der DNA von Wirbeltieren auftritt. Der Name V(D)J rührt her von den englischen Begriffen variable, diversifying und joining. Er sorgt für das Zusammenfügen variabler Genregionen von durch B-Zellen gebildeten Antikörpern sowie B-Zell und T-Zell Rezeptoren. Sie spielt eine wichtige Rolle für das adaptive Immunsystem, da durch die Rekombination eine sehr hohe Varianz der Antikörper sowie B- und T-Zellrezeptoren generiert wird. Dies ermöglicht die Erkennung von Antigenen, welche ebenfalls in sehr großer Vielfalt auftreten, durch das Immunsystem. Die V(D)J-Rekombination ist einer der wenigen Prozesse, bei dem absichtlich DNA-Doppelstrangbrüche physiologisch hervorgerufen werden. Der Prozess findet in Vorläuferzellen der Lymphozyten statt und wird durch RAG-Rekombinasen („Recombination Activating Genes“-Rekombinasen) vermittelt. Wird die V(D)J-Rekombination durch exogene Faktoren gestört, die ebenfalls DNA-Doppelstrangbrüche hervorrufen, wie z.B. ionisierende Strahlung, kann dies schwerwiegende Folgen haben. Es können DNA-Schädigungen entstehen, welche onkogene Wirkungen haben. Dies könnte beispielsweise in akuter lymphoblastischer Leukämie resultieren. Die Autoren des hier vorgestellten Artikels untersuchen die V(D)J-Rekombination in einem spezifischen Status: die V-J-Umordnung der Gene, welche für die leichte Kette des B-Zellrezeptors kodieren, wird analysiert. Als B-Zellrezeptor werden membrangebundene Antikörper bezeichnet. Nach Abschluss der V-J-Rekombination an den Genloci der leichten Kette (IgL k) entwickelt sich die Prä-B Zelle zu einer naiven unreifen B-Zelle, welche bereits einen B-Zellrezeptor auf ihrer Zelloberfläche trägt. Nach einem weiteren Reifungsschritt würde diese Zelle zu einer naiven reifen B-Zelle (Anm. d. Redaktion). Kommt diese reife naive B-Zelle in Kontakt mit einem passenden Antigen, kann sie zu einer antikörperproduzierenden Plasmazelle oder zu einer B-Gedächtniszelle differenzieren (Anm. d. Redaktion). In der Studie wird untersucht, wie das Rekombinationsverhalten (V-J-Rekombination) durch die Belastung mit niedrig dosierter Hochfrequenz verschiedener Frequenzen und Leistungen beeinflusst wird.

Studiendesign und Durchführung:

Bei dieser in vitro Studie wurden vAbl-transformierte Prä-B Zellen untersucht. Die für die Rekombination notwendige RAG-Stimulation wurde durch zwei verschiedene Agenzien (IMA und GSK) induziert. Die Bestrahlung erfolgte mit 5 unterschiedlichen Frequenzen: 720, 850, 950, 1000 und 1224 MHz. Als Strahlungsquelle diente ein Sinusfrequenzgenerator mit einer Yagi-Sendeantenne. Der Generator wurde bei jeder Frequenz mit 7 dBm und 13 dBm betrieben, um einen breiteren Bereich von Strahlungsbelastung abzudecken. Die synchronisierten Zellen wurden mit und ohne RAG-Stimulus über 48 h niedriger Hochfrequenzbefeldung (maximale Strahlungsleistung 9,5 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ und elektrische Feldstärke 3 V/m) ausgesetzt. Unbestrahlte Zellen dienten als Kontrolle. Das Rekombinationsverhalten der V-J-Rekombination wurde mittels PCR überprüft. Außerdem wurde mit immunohistochemischen Methoden auf DNA-Doppelstrangbrüche getestet.

Ergebnisse:

Die Daten zeigen durchweg eine dosisabhängige Reduktion der V(D)J-Rekombination nach Befeldung für beide RAG-Stimuli IMA und GSK. Das Ausmaß der Wirkung ist stark frequenzabhängig. Eine zweifache Reduktion der Rekombination wird bei 720 MHz mit einem emittierten Leistungswert von 9,49 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ erreicht. Bei 1000 MHz reicht bereits ein Leistungswert von 0,43 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ aus. Dies entspricht einem Zwanzigstel. Die Reduktion der Rekombination wird zwar bei allen getesteten Hochfrequenzfeldern beobachtet, scheint jedoch bei 950 und 1000 MHz maximal zu sein. In diesem kleinen Frequenzbereich weist das serumhaltige Kulturmedium eine maximale Absorption der Hochfrequenzstrahlung auf und erhöht somit die Intensität. Die Daten weisen jedoch darauf hin, dass es neben den Eigenschaften des Mediums einen bedeutenden, direkten Einfluss der Feldfrequenz auf die zellulären Komponenten geben muss, welche an der Rekombination beteiligt sind. Die 48-stündige Belastung scheint keine signifikanten DNA-Doppelstrangbrüche hervorzurufen.

Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse zeigen, dass die Belastung von Prä-B-Immunzellen mit Hochfrequenz die Produktion und Vielfalt ihrer Antikörperrepertoires beeinflussen kann. Außerdem deuten sie darauf hin, dass die signifikante Verminderung der Rekombination (bedingt durch Hochfrequenz) nicht durch DNA-Doppelstrangbrüche verursacht wird. Die Feldstärken, bei denen eine signifikante Verringerung der Rekombination beobachtet wurde, liegen weit unterhalb den ICNIRP Empfehlungswerten für Mobiltelefone. Diese liegen bei ausgehenden Anrufen und 1 cm Abstand bei 41,25 V/m, während die gemessenen maximalen Leistungswerte für GSM1800 zwischen 0,25 und 1 W liegen. Laut den Autoren befasst sich ihre Arbeit indirekt mit der seit Langem bestehenden Frage, wie sicher Hochfre-

quenzstrahlung unserer Telekommunikationsgeräte sein kann. Außerdem werde adressiert, ob Hochfrequenz das Immunsystem beeinträchtigen kann. Inwiefern die beobachteten Rekombinationseffekte der in vitro-Studie auf reale Situationen z.B. im Menschen übertragen werden könne, sei jedoch reine Spekulation. (RH)



HF-Wirkung von 2,45 GHz auf verschiedene Hirnregionen

Belastung mit 2,45 GHz-Strahlung löst Veränderungen von HSP-70, Glucocorticoid-Rezeptoren und GFAP-Biomarkern im Rattenhirn aus

Othman H, López-Furelos A, Leiro-Vidal JM, Mohamed A, Mohsen S, Hafedh A, Salas-Sánchez AA, Ares-Pena F, López-Martín E (2021): Exposure to 2.45 GHz radiation triggers changes in HSP-70, Glucocorticoid Receptors and GFAP biomarkers in rat brain. *Int J Mol Sci.* 2021;22(10). doi:10.3390/ijms22105103

Die Nutzung der ohnehin weitverbreiteten 2,45 GHz-Strahlung nimmt zu und wirft Fragen über mögliche Gesundheitsrisiken, insbesondere für das Nervensystem, auf. Die Autoren der hier vorgestellten Studie untersuchen drei verschiedene Stress-Biomarker in vier verschiedenen Hirnarealen, nach einmaliger und wiederholter Bestrahlung. Bei den Biomarkern handelt es sich um das Hitzeschockprotein-70 (HSP-70), Glucocorticoidrezeptoren (GCR) sowie das saure Gliafaserprotein (GFAP). Hitzeschockproteine werden als Reaktion auf verschiedene Stressfaktoren hochreguliert, um die Zelle durch Reparatur oder Abbau geschädigter Proteine zu schützen. Glucocorticoidrezeptoren regulieren eine Reihe von zellulären Prozessen, durch das Andocken von Glucocorticoidhormonen. GCR gelten als Biomarker für Zellstress, da ihr Syntheseniveau von Faktoren wie Alter oder Stress beeinflusst werden kann. Das saure Gliafaserprotein aktiviert Astrozyten als Antwort auf Stress oder Verletzungen. Erhöhte GFAP-Werte sind ein zuverlässiger Marker für Hirnverletzungen. Bei den vier verschiedenen Hirnarealen handelt es sich um den somatosensorischen Cortex, den limbischen Cortex, den Hypothalamus sowie den Hippocampus.

Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt 54 weibliche Sprague-Dawley Ratten wurden zufällig in drei Gruppen (A, B, C) unterteilt. Gruppe A wurde einmalig für 30 Minuten mit 2,45 GHz Hochfrequenz belastet bzw. scheinbelastet. 90 Minuten nach der Bestrahlung wurden die Tiere getötet und ihre Gehirne für die Analysen (ELISA sowie

immunohistochemische Methoden) entnommen. Gruppe B wurde genauso behandelt, allerdings wurden die Tiere 24 Stunden nach der Bestrahlung getötet. Bei Gruppe C hingegen erfolgte eine Befeldung für 30 Minuten am Tag über zwei Wochen, wobei die Tiere lediglich an Wochentagen bestrahlt bzw. scheinbestrahlt wurden (insgesamt 10 Befeldungen). Gruppe C wurde ebenfalls 90 Minuten nach der letzten Bestrahlung getötet. Die Befeldung erfolgte mit 3 W, 40 V/m und resultierte in einer Ganzkörper SAR von 0,04 W/kg bzw. Gehirn SAR von 0,07–0,08 W/kg. Die Hochfrequenz erwärmte die Gewebe nicht, sodass thermische Wirkungen ausgeschlossen werden können.

Ergebnisse:

In allen untersuchten Szenarien gab es für das HSP-70 Protein lediglich im limbischen Cortex und nach wiederholter Bestrahlung (Gruppe C) eine signifikante Erhöhung. Bei allen anderen Versuchsansätzen wurden keine statistisch signifikanten Daten erzielt bzw. Gruppe A zeigte im Hippocampus sogar eine statistisch signifikante Verminderung von HSP-70. Für die GCR zeichnete sich ein vergleichbares Bild: lediglich bei Gruppe C und im limbischen Cortex konnte eine statistisch signifikante Erhöhung festgestellt werden. In allen anderen Szenarien wurden entweder nicht-signifikante Daten oder sogar eine Verminderung der GCR festgestellt. Für GFAP konnten die Wissenschaftler im limbischen Cortex, dem Hypothalamus sowie Hippocampus bei der Gruppe C eine statistisch signifikante Verringerung demonstrieren. Die anderen Szenarien lieferten statistisch nicht-signifikante Daten. Als Antwort auf Zellstress durch die Hochfrequenzstrahlung wäre eine Erhöhung zumindest der Biomarker HSP-70 und GFAP zu erwarten gewesen (Anm. d. Redaktion). Die Autoren sprechen in diesem Zusammenhang von einer Hyposuppression bzw. Unempfindlichkeit gegenüber des Stressreizes Hochfrequenz. Dies könnte durch die Verminderung der GCR sowie von Transportproteinen ausgelöst werden. Des Weiteren ist bemerkenswert, dass die Immobilisation, welche während der Bestrahlung der Tiere notwendig ist, bereits einen Stressreiz auslöst. Dies könnte mit dem Stressfaktor Hochfrequenz interferieren, Auswirkungen auf die Daten sollten allerdings durch die Scheinbestrahlung der Kontrolltiere ausgeschlossen werden. (Anm. d. Redaktion)

Schlussfolgerungen:

Die Daten der Wissenschaftler sind nicht vollständig konsistent (Anm. d. Redaktion). Sie schlussfolgern, dass eine wiederholte Belastung mit 2,45 GHz eine Dysregulation von HSP-70 und GCR verursache. Diese löse einen Stresszustand aus, der eine entzündungshemmende Reaktion verringern könne, ohne die Gliazellteilung zu begünstigen. Weitere Forschungsergebnisse seien notwendig um herauszufinden, ob die durch wiederholte Befeldung mit 2,45 GHz ausgelöste Dysfunktion ein Faktor in der Pathogenese von Störungen des Nervensystems sein könne. (RH)



Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf den Stoffwechsel Einflüsse von 915-MHz-Strahlung auf Stoffwechselprodukte des Serotonins bei Ratten: Eine Pilotstudie

Kim HS, Paik MJ, Seo C, Choi HD, Paek JK, Kim N, Ahn YH (2021): Influences of exposure to 915-MHz radiofrequency identification signals on serotonin metabolites in rats: A pilot study. *International Journal of Radiation Biology* 97 (2), 282-287; <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1844336>

Im Jahr 2020 haben mehr als 4,7 Milliarden Personen weltweit Mobiltelefone benutzt, und die Zahl steigt weiter. Die Bevölkerung ist ständig der Strahlung ausgesetzt, ohne dass eine statistisch signifikante Erhöhung der Temperatur damit verbunden ist. Die Bevölkerung absorbiert die Strahlung den ganzen Tag im ganzen Körper von den überall installierten Mobilfunknetzen, und die Bevölkerung ist beunruhigt über die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen des Mobilfunks.

Serotonin (5-Hydroxy-Tryptamin) ist ein Monoamin-Neurotransmitter, der auch als Glückshormon bekannt ist, und der verschiedene neurologische Funktionen steuert wie Laune, Schlaf, Tag-Nacht-Rhythmus, Lernen, Gedächtnis und Stress. Serotoninmangel findet man bei vielen Erkrankungen, dazu gehören neurodegenerative Erkrankungen und Depressionen. Eines der Haupt-Stoffwechselprodukte von Serotonin ist 5-Hydroxy-Indol-Essigsäure (5-HIAA), dessen Konzentration im Urin Hinweise über den Umsatz der Ausgangsmoleküle dieses Neurotransmitters (Tryptophan) im Zentralnervensystem gibt. Änderungen des Serotoninsatzes durch verschiedene Umweltstressoren können zur Abnahme der 5-HIAA-Konzentration im Urin führen.

Bei Säugetieren wird ungefähr 95 % des Serotonins im Magen-Darm-Trakt synthetisiert, der Rest im Zentralen Nervensystem. Tryptophan (TRP), ein Serotonin-Vorläufer, wird überführt in 5-Hydroxy-Tryptophan (5-HTP) durch die TRP-Hydrolase. Danach wird 5-HTP in Serotonin umgewandelt durch die Aromatische-L-Aminosäure-Decarboxylase. Serotonin wird in viele verschiedene Organe verteilt und wird von der Monoamin-Oxidase zu 5-HIAA abgebaut, das schließlich in 5-Methoxyindol-3-Essigsäure (5-MIAA) durch die Hydroxyindol-O-Methyltransferase umgewandelt und über die Nieren ausgeschieden wird. Diese Kaskaden finden im Zentralnervensystem und im Nervensystem des Darms statt. Serotonin ist ein wichtiger Neurotransmitter in der Hirn-Darm-Achse und spielt eine große Rolle bei der Regulation der Physiologie des ganzen Körpers einschließlich des Immunsystems. Wenige Stu-

dien haben den Einfluss von Hochfrequenz auf den Serotonin-Stoffwechsel an Tieren untersucht. Es gab widersprüchliche Ergebnisse, deshalb wurde diese Tierstudie zur weiteren Klärung durchgeführt.

Studiendesign und Durchführung:

22 männliche Ratten wurden in 2 Gruppen geteilt, 10 Tiere bekamen Scheinbestrahlung, 12 Tiere wurden mit 2 W/kg 8 Stunden täglich 5 Tage pro Woche für 2 Wochen mit 915 MHz bestrahlt. Vor und nach der Bestrahlung wurde 24-Stunden-Urin von jeder Ratte entnommen und die Konzentrationen von Tryptophan, 5-Hydroxy-Tryptophan, Serotonin, 5-Hydroxy-Indol-Essigsäure und 5-Methoxyindol-3-Essigsäure mit Gaschromatografie-Massenspektroskopie bestimmt. Die Serotonin-Konzentrationen werden im Urin auf das Nieren-Ausscheidungsprodukt Kreatinin bezogen.

Ergebnisse:

Die Konzentration von Serotonin sank um 20 % in der scheinbestrahlten und um 40 % bei der bestrahlten Gruppe. Die Serotonin-Konzentration in der scheinbestrahlten Gruppe vor und nach der Behandlung betrug $54,64 \pm 11,66$ bzw. $40,99 \pm 15,66$ nmol/mg Kreatinin; bei der bestrahlten Gruppe $50,89 \pm 22,38$ bzw. $29,96 \pm 14,89$ nmol/mg Kreatinin. Der Unterschied in der Serotonin-Konzentration ist in der bestrahlten Gruppe größer als in der Kontrolle. Die Konzentrationen von 5-MIAA in der bestrahlten Gruppe vor und nach der Bestrahlung war $6,28 \pm 1,80$ bzw. $4,39 \pm 2,00$ nmol/mg Kreatinin. Bei 5-MIAA gab es in der Kontrollgruppe keinen statistisch signifikanten Unterschied nach der Scheinbestrahlung. Auch in der bestrahlten Gruppe gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede bei den TRP- und 5-OH-TRP-Konzentrationen.

Schlussfolgerungen:

In dieser Studie wurden die Stoffwechselprodukte des Serotonins im Urin von Ratten gemessen, um die Mechanismen des Einflusses von 915-MHz-Strahlung auf den TRP-Stoffwechselweg zu verstehen. Die Konzentrationen von TRP und 5-HTP blieben unverändert, während die Serotonin- und 5-MIAA-Konzentrationen abnahmen. Das Verhältnis von Serotonin zu 5-HIAA war in keinem Fall verändert. Damit ist der zugrunde liegende Mechanismus der Serotoninsynthese nicht geklärt, es kann aber angenommen werden, dass die Serotonin-Synthese eher von der Strahlung beeinflusst wird als der Serotonin-Umsatz. Diese Pilotstudie kann keine Ergebnisse zu Langzeit-Wirkungen der Strahlung liefern. Weitere Studien sind erforderlich mit längerer Laufzeit und niedrigeren SARs zur Erfassung einer Dosis-Wirkungs-Beziehung. Da bei älteren Individuen ein Serotoninmangel zu psychiatrischen Störungen

**Die Bestrahlung mit
2 W/kg reicht aus, um
den Serotonin-Stoff-
wechsel bei Ratten zu
verändern...**

gen führen kann, sollten auch ältere Tiere untersucht werden. Der Serotonin-Umsatz ist bei depressiven Personen erhöht, die Konzentration von 5-HIAA nimmt bei Depressionen im Gehirn ab. Da nur 10 % des 5-HIAA im Urin vom Gehirn stammt, sollten in weiteren Studien die Serotonin-Stoffwechselprodukte im Liquor cerebrospinalis und in der Zirbeldrüse untersucht werden. Die Bestrahlung mit 2 W/kg reicht aus, um den Serotonin-Stoffwechsel bei Ratten zu verändern, unabhängig davon, ob die Intensität der Strahlung als schädlich für Lebewesen betrachtet wird. (IW)



Kinderkrebs durch niederfrequente Felder

Niederfrequente Magnetfelder und Kinderkrebs: eine systematische Übersicht und Meta-Analyse

Seomun GA, Lee J, Park J (2021): Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and childhood cancer: A systematic review and meta-analysis. Plosone, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251628>

Als 1979 die erste epidemiologische Untersuchung ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie durch Magnetfelder von Hochspannungsleitungen ergaben und im Laufe der folgenden Jahrzehnte weitere Forschungsarbeiten dazukamen, wurden niederfrequente Magnetfelder im Jahr 2001 als möglicherweise Krebs erregend beim Menschen eingestuft (Gruppe 2B von der IARC, einer Abteilung der Weltgesundheitsorganisation WHO). Keine der bisherigen Forschungsarbeiten wurde mit den Methoden der systematischen Übersichtsarbeit und der Meta-Analyse durchgeführt. So ist es an der Zeit, eine neue Bewertung zur wissenschaftlichen Bestätigung der Ergebnisse vorzunehmen. Die hier vorliegende Arbeit wurde nach den Richtlinien der Cochrane Collaboration (eine angesehene weltweite Organisation von unabhängigen Wissenschaftlern, Medizinerinnen und im Bereich Gesundheit tätigen Menschen) erstellt, die sich auf die Verfahren systematische Übersichtsarbeit und Meta-Analyse spezialisiert haben.

Studiendesign und Durchführung:

Die Daten wurden bis Januar 2020 in den Datenbanken MEDLINE (1946–Januar 2020), EMBASE (1988–Januar 2020) und Web of Science (1995–Januar 2020) erhoben mit den Stichworten *electromagnetic field*, *child*, *adolescent* und *epidemiologic studies*. Einbezogen wurden Fälle von Kinderleukämie, Hirntu-

moren und anderen Krebsarten bei Kindern. Die Auswahl der Studien wurde von den Autoren unabhängig vorgenommen, anschließend diskutiert und die Auswahl gemeinsam getroffen. Unter anderem wurde der Einfluss der Verschiedenartigkeit (Heterogenität) der einzelnen Studien berechnet und bei der Auswertung berücksichtigt.

Ergebnisse:

Insgesamt wurden von den Autoren 3933 Studien gefunden, von denen schließlich nach mehreren Schritten 33 Studien für die systematische Übersicht übrig blieben (30 Fall-Kontroll- und 3 Kohorten-Studien), und davon 30 zur Meta-Analyse mit insgesamt 186223 Teilnehmern zur Auswertung kamen.

Für die Bestimmung des Risikos für Kinderleukämie waren 27 Studien mit 45029 Fällen und 55376 Kontrollen zur Meta-Analyse herangezogen worden. Bei Magnetfeldeinwirkungen über 0,2 μT wurde ein signifikant erhöhtes Risiko ermittelt. Kinder, die 0,2, 0,3 und 0,4 μT ausgesetzt waren, hatten ein 1,26-, 1,22- und 1,72-fach erhöhtes Risiko, an Kinderleukämie zu erkranken. Das Risiko stieg mit der Stärke des Magnetfeldes, es gibt also eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Die Daten basieren auf statistischer Homogenität. Das bestätigt ein hohes Risiko für Kinderleukämie durch das Einwirken von niederfrequenten Magnetfeldern.

Die Meta-Analyse von kindlichen Hirntumoren wurde an 10 Studien mit 21582 Fällen und 29463 Kontrollen durchgeführt, untersucht wurden Feldstärken von 0,2 und 0,4 μT . Die Auswertung ergab für 0,2 μT ein nicht-signifikant erhöhtes Risiko von 0,95 (nicht heterogen) und für 0,4 μT nicht signifikant 1,25 (geringe Heterogenität). Für andere Krebsarten kamen 6 Studien in die Auswertung, da war das Risiko bei 0,2 μT 1,10-fach, bei 0,4 μT 2,01-fach erhöht bei mäßiger Heterogenität.

Einschränkungen der Studie:

Die Kohorten-Studien konnten nicht berücksichtigt werden, weil es zu wenige Studien waren und daher die Ergebnisse statistisch nicht signifikant waren. Die Variationen der Messungen wurden nicht berücksichtigt, da in manchen Arbeiten Langzeit-, in anderen Punktmessungen durchgeführt worden waren. Zurzeit sind große Kohorten-Studien in Arbeit, die später ausgewertet werden sollen. Fall-Kontroll-Studien können methodische Probleme enthalten, die aber hier als niedrig angesehen werden.

Schlussfolgerungen:

Hier wurde der Zusammenhang zwischen Krebs bei Kindern und niederfrequenten Magnetfeldern mit mehr als 85000 krebskranken Kindern in 15 Ländern untersucht, einbezogen wurden Leukämie, Lymphome und Hirntumore. Diese groß angelegte Analyse mit mehr als 36000 Kindern mit diagnostizierter Kinderleukämie hatte zum Ergebnis, dass es einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Magnet-

Das Krebsrisiko durch niederfrequente Magnetfelder wird durch diese sorgfältig durchgeführte Studie erneut festgestellt.

feldern und Kinderleukämie gibt. Zudem ist die Stärke des Zusammenhangs zwischen dem Einwirken der Magnetfelder und der Kinderleukämie hoch, was die Dosis-Wirkungs-Beziehung aussagt. Das Krebsrisiko durch niederfrequente Magnetfelder, die als möglicherweise Krebs erregend beim Menschen eingestuft wurden, wird durch diese sorgfältig durchgeführte Studie erneut festgestellt. Frühere Meta-Analysen umfassten 2–10, hier waren es 30 Studien. Bei den Berechnungen wurde die Heterogenität einbezogen, so dass die Ergebnisse stichhaltig sind. Für Kinderleukämie ergab diese Studie ein höheres Risiko als bisher bekannt war. (IW)



Wirkung von 50-Hz- und statischem Magnetfeld auf Schaben

Die Auswirkungen einer chronischen Exposition mit einem Magnetfeld auf den Energiestoffwechsel und die Fortbewegung von *Blaptica dubia*.

Todorovic, D.; Ilijin, L.; Mrdakovic, M.; Vlahovic, M.; Grcic, A.; Petkovic, B. & Peric-Mataruga, V. (2021). The impact of chronic exposure to a magnetic field on energy metabolism and locomotion of *Blaptica dubia*. *International journal of radiation biology*, Taylor & Francis, 2020, 96, 1076-1083

Die Entstehung und Evolution des Lebens auf der Erde sind verwoben mit dem Vorhandensein des Erdmagnetfelds. Vielfältige Studien bezeugen biologische Wirkungen von künstlichen statischen oder niederfrequenten (z.B. 50-Hz-Netzfrequenz) magnetischen Feldern (MF) auf Lebewesen, unter anderem auch auf die Physiologie und das Verhalten von Insekten. Physiologische Prozesse wie Fortpflanzung, Embryogenese, Metamorphose, Bewegung und Flug benötigen einen steten Vorrat an Energie. Insekten nutzen für schnellen Zugang auf gespei-

cherte Energie, in der Form von Fett und Stärke, ähnliche Prozesse wie sie von Wirbeltieren bekannt sind. Der Fettkörper der Insekten ist der Leber und den Adipozyten der Wirbeltiere gleichwertig. Der Zucker Trehalose ist der Hauptenergiegeber, und wird aus Stärke (Glykogen) abgeleitet. Dieser Prozess wird gesteuert durch den aktivierenden Neurotransmitter Octopamin und ein insulin-ähnliches energiemobilisierendes Hormon (Bombyxin). Frühere Untersuchungen haben eine Auswirkung künstlicher MF auf die Fortbewegung von Insekten belegt. Die vorliegende Studie untersucht genauer die Auswirkungen verschiedener MF auf die Fortbewegung, und vergleicht diese mit gemessenen Indikatoren des Stoffwechsels.

Studiendesign und Durchführung:

Einmonatige Nymphen von *Blaptica dubia* (argentinische Waldschabe) wurden einem statischen Magnetfeld (SMF, 110 mT) oder niederfrequenten MF (NFMF, 50 Hz, 10 mT) für 5 Monate ausgesetzt. Argentinische Waldschaben sind vergleichsweise sehr langlebige Insekten: die Nymphe benötigt 6 Monate, um sich zum erwachsenen Tier zu entwickeln, und die Adulten leben bis zu weitere 2 Jahre. Für die Exposition wurde ein Permanentmagnet (Raytheon Model 6002) und eine eigens angefertigte Helmholtzspule verwendet.

Nach Verlauf von 5 Monaten wurde die Fortbewegung im "Open-Field"-Test 10 Minuten lang beobachtet und als zurückgelegte Strecke (Meter), Zeit in Bewegung (Sekunden) und Durchschnittsgeschwindigkeit beim Bewegen (m/s) ausgedrückt. Hierfür wurden die Nymphen in 8,5 cm Petrischalen gesetzt und per Digitalkamera gefilmt. Die Auswertung wurde mit der Any-maze Verhaltens-tracking-Software durchgeführt. Anschließend wurden die Fettkörpermasse und der Gehalt an ihren Hauptbestandteilen (Glykogen und Gesamtfette) bestimmt. Die Körpermasse der Nymphen wurde ebenfalls 1 und 5 Monate nach Beginn des Experiments gemessen.

Ergebnisse:

Die Körpermasse der Nymphen war unverändert nach einmonatiger Exposition, für beide MF-Behandlungen jedoch signifikant reduziert nach fünfmonatiger Exposition, im Vergleich zur Kontrolle. Das Gewicht der Fettkörper war ebenso reduziert am Ende des Experiments, jedoch statistisch signifikant nur für die NFMF-Gruppe. Chronische Exposition der Nymphen beeinflusste auch den Glykogen- und Gesamt-Lipidgehalt. Das Glykogen war signifikant reduziert für die SMF wie auch die NFMF-Gruppe. Im Gegensatz hierzu war der Gesamt-Lipidgehalt signifikant erhöht in der SMF-Gruppe, jedoch signifikant reduziert in der NFMF-Gruppe.

Zudem wurde verändertes Bewegungsverhalten von *Blaptica dubia*-Nymphen nach chronischer Exposition festgestellt, für beide Typen von benutzten MF. Sowohl in der SMF- als auch in der NFMF-Gruppe waren alle drei untersuchten Parameter der Fortbewegung signifikant erhöht im Vergleich zu den Wer-

ten der Kontrollgruppe. Die Steigerungen waren höher in der NFMF-Gruppe, unterschieden sich aber nicht signifikant von den Werten der SMF-Gruppe.

Schlussfolgerung:

Das Konzept der energetischen Reorganisation unter Stress postuliert die Umverteilung von Energie und die Modulation des Energiebedarfs für kompensatorische Stressreaktionen. Der chemische Energiespeicher der Insekten wird für drei Arten von physiologischen Prozessen benötigt: Biosynthese (Reproduktion, Wachstum, Energieeinlagerung usw.), Aufrechterhaltung von Funktion und Struktur sowie externe Arbeit. Unter Stressbedingungen wird der Energieaufwand, der dem Überleben dient, vorrangig. Der Fettkörper ist das Zentrum des Energiestoffwechsels bei Insekten. Bei Insekten sind Lipide das Hauptenergiesubstrat für langfristige Extremsituationen. Der Energiegehalt von Fetten ist wesentlich höher als der von Glykogen (acht- bis neunmal mehr Energie pro Masseneinheit). Nach Kooijman (2000) werden unter Stressbedingungen die Energiespeicher langsam erschöpft. Die Autorin der vorliegenden Arbeit fand signifikant niedrigere Körpermassen nach chronischer Exposition mit SMF oder NFMF, aber eine niedrigere Fettkörpermasse nur nach chronischer Exposition mit NFMF. Dies deutet darauf hin, dass in der SMF-Gruppe die Energiezufuhr wahrscheinlich ähnlich hoch war wie der Energieverbrauch und die Energiedepots daher nicht erschöpft wurden. Im Gegensatz dazu überstieg in der NFMF-Gruppe der Energiebedarf (Fortbewegung, höhere Stoffwechselrate, Stresskompensationsreaktionen usw.) die Energiezufuhr und das daraus resultierende Defizit wurde durch die Nutzung der Fettkörpermasse gedeckt. Dies könnte darauf hindeuten, dass die Nymphen von *Blaptica dubia* anfälliger für die Auswirkungen der NFMF sind als die der SMF, doch sind weitere Untersuchungen erforderlich, um diese Annahme zu bestätigen. Diese Ergebnisse deuten auch darauf hin, dass unter dem durch SMF ausgelösten Stress ein Gleichgewicht zwischen Energieproduktion und -verlust bestand, während im Falle von NFMF der Energieverbrauch im Vordergrund stand, was zur Erschöpfung der Energiedepots führte, die hier als reduzierte Fettkörpermasse beobachtet wurde.

Blaptica dubia-Nymphen scheinen empfindlich auf angewandte (künstliche) MF zu reagieren und unterschiedliche Strategien der Brennstoffnutzung als Reaktion auf SMF und NFMF zu nutzen, um den Energiebedarf zu befriedigen und Stresssituationen zu überwinden. (AT)



Elektrosmog und Insekten

Auswirkungen nicht-ionisierender elektromagnetischer Strahlung auf wirbellose Tiere, einschließlich Bestäuber wie Honigbienen: Was wir wissen, was wir nicht wissen und was wir wissen müssen.

Friesen, M., and M. Havas. 2020. Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Pollution on Invertebrates, Including Pollinators Such as Honey Bees: What We Know, What We Don't Know, and What We Need to Know. Pages 127-138 In Working Landscapes. Proceedings of the 12th Prairie Conservation and Endangered Species Conference, February 2019, Winnipeg, Manitoba. Edited by D. Danyluk. Critical Wildlife Habitat Program, Winnipeg, Manitoba. <http://pcesc.ca/media/45404/final-2019-pcesc-proceedings.pdf>.

Insekten sind wichtige Bestandteile der meisten Ökosysteme. Honigbienen spielen eine Rolle bei der Bestäubung von Haus- und Wildpflanzen und werden häufig als Bioindikatoren und als "Modell" zur Untersuchung von Umweltproblemen verwendet. Der weltweite Rückgang der Bestäuber ist äußerst besorgniserregend, und es werden Anstrengungen unternommen, um die Ursachen zu ermitteln. Ein Faktor, der nicht weithin in Betracht gezogen wird, ist die mögliche Rolle der anthropogenen elektromagnetischen Strahlung (EMS). Elektromagnetische Felder (EMF) sind unsichtbare elektrische und magnetische Kraftfelder. Zu den natürlichen Quellen gehören das statische Magnetfeld der Erde und die statische Elektrizität, die zu Blitzentladungen führen kann. Elektromagnetische Strahlung entsteht, wenn sich EM-Felder verändern. Menschgemachte EMS-Quellen werden manchmal auch als elektromagnetische Verschmutzung oder Elektrosmog bezeichnet. Man unterscheidet hierbei zwischen extrem niedrigen Frequenzen (NF) von 50/60 Hz, die von Quellen wie Stromleitungen ausgehen, und Hochfrequenzstrahlung (HF-EMS) von 700 MHz bis 6 GHz, die üblicherweise für Geräte wie Mobiltelefone, Radio und Fernsehen und deren unterstützende Infrastruktur, z. B. Mobilfunktürme, Antennen und Kommunikationssatelliten, verwendet wird.

Insekten, darunter Bestäuber wie die Honigbiene, können durch nichtionisierende EMS beeinträchtigt werden. Zu den Quellen, die zur allgemeinen EMS-Exposition in der Umwelt beitragen, gehören Antennen (Mobiltelefonie, Rundfunk und Radar), Kommunikationssatelliten und Stromleitungen.

Die Autoren gehen auf die biologischen Auswirkungen von EMS auf Insekten ein, die in der wissenschaftlichen Literatur beschrieben sind, und werfen einen allgemeinen Blick auf die Erkenntnisse aus Studien über Pflanzen, Vögel, Menschen und andere Tiere. Es werden mögliche Auswirkungen übermä-

ßiger elektromagnetischer Verschmutzung auf Ökosysteme aufgezeigt sowie aktuell bestehende Wissenslücken auf diesem Gebiet.

Studiendesign und Durchführung:

Was wir wissen. Relativ wenige EMR-Studien wurden an wirbellosen Tieren durchgeführt. Ein staatlicher Bericht aus Indien (2011) stellte fest, dass von 919 Veröffentlichungen, die die biologischen Auswirkungen von HF-EMF untersuchten, 81 % den Menschen betrafen, etwa 3 % Vögel und <1 % Bienen. Die Autoren der vorliegenden Studie haben eine umfassende Literaturrecherche durchgeführt und hierfür die Online-Datenbank „EMF Portal“ verwendet, sowie andere Quellen im Internet. Es wurden insgesamt 26 relevante Studien von 1976 bis 2019 identifiziert. Die Forschungsmethoden und Beschreibungen waren von sehr unterschiedlicher Qualität. Bei einigen Studien, in denen Auswirkungen festgestellt wurden, wurde angegeben, dass sie unter "nicht-thermischen" Bedingungen durchgeführt wurden. Es gibt keine kanadischen Richtlinien für nicht-ionisierende EMS-Expositionen für nicht-menschliche Organismen, einschließlich Wildtiere. Bei den üblicherweise verwendeten Frequenzen basieren diese Richtlinien nur auf thermischen Effekten, d. h. wenn keine Erwärmung auftritt, wird davon ausgegangen, dass kein Schaden entsteht.

Ergebnisse:

Bei Honigbienen und anderen wirbellosen Tieren wurden nachteilige biochemische Veränderungen und Desorientierung festgestellt. In Feldstudien wurden Veränderungen in der Häufigkeit und Zusammensetzung der wichtigsten Bestäubergruppen (Wildbienen, Schwebfliegen, Bienenfliegen, Käfer und Wespen) festgestellt, die auf die Emissionen von Mobilfunktürmen zurückgeführt werden.

Sieben der acht Studien zu NF-EMF berichteten über Wirkungen. Eine Studie kam zu dem Schluss: "Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass von Stromleitungen emittierte 50-Hz-NF-EMFs einen bedeutenden Umweltstressor für Honigbienen darstellen könnten, mit dem Potenzial, ihre kognitiven und motorischen Fähigkeiten zu beeinträchtigen, was wiederum ihre Fähigkeit zur Bestäubung von Nutzpflanzen verringern könnte." (Shepherd et al. 2018). Bei den HF-EMS-Studien zeigten 13 von 18 (72 %) Auswirkungen. Ein EKLIPSE-Projekt der EU hat 39 veröffentlichte Studien bezüglich Insekten und EMS untersucht, und fand Hinweise, dass EMS Verhalten und Fortpflanzung stören kann (im Labor), und starke Belege für eine Beeinträchtigung der Orientierung.

Schlussfolgerung:

Die Autoren zitieren mehrere Empfehlungen des EKLIPSE-Berichts: Standardisierung der EMF-Exposition und Methodik, mehr Feldstudien, weitere Technologien untersuchen – insbesondere die Neueren, bessere Zusammenarbeit, insbesondere

interdisziplinäre Teams, Berücksichtigung von Beobachtungen durch Laien („citizen science“). Zusätzlich werden (für Kanada) die folgenden Anforderungen gestellt: 1) es werden biologisch basierte Richtlinien der EMS-Exposition für Wildtiere gebraucht, insbesondere auch bezüglich nicht-thermischer Wirkungen. 2) Die Empfehlungen des EKLIPSE-Reports sollten umgesetzt werden. 3) Angemessene Finanzierung (Industrie-)unabhängiger Wissenschaftler. (AT)



Modellierung von HF-Grenzwerten

Entwicklung gesundheitsbezogener Expositionsgrenzwerte für hochfrequente Strahlung von drahtlosen Geräten unter Verwendung eines Referenzdosisansatzes

Uche UI, Naidenko OV (2021): Development of health – based exposure limits for radiofrequency radiation from wireless devices using a benchmark dose approach. *Environ Heal.* 2021:1-14. doi:10.1186/s12940-021-00768-1

Sowohl epidemiologische Studien als auch Studien an Laborieren bringen hochfrequente Felder mit biologischen Auswirkungen in Verbindung. Zu den beschriebenen biologischen Wirkungen zählen unter anderem Beeinträchtigungen des fötalen Wachstums bzw. der fötalen Entwicklung, Veränderungen in der Herzfrequenzvariabilität, Veränderungen der Gehirnaktivität und ein erhöhtes Risiko für verschiedene Krebsarten. Die Mechanismen, wie Hochfrequenz Gewebe beeinflusst, sind zu dem jetzigen Zeitpunkt nicht genau verstanden. Zu möglichen Kandidaten könnten Hemmung des mitotischen Spindelapparats, veränderte Aktivität von spannungsgesteuerten Kalziumkanälen, erhöhte Bildung von reaktiven Sauerstoffspezies sowie Veränderungen in intrazellulären Enzymen bzw. der Genexpression zählen. Besonders aufschlussreich sind die Ergebnisse zweier groß angelegter Langzeitstudien über die Auswirkungen von Hochfrequenz auf Labornager, die Studie des U.S. „National Toxicology Program“ (NTP) sowie die Studie des italienischen Ramazzini-Instituts. In der hier vorgestellten Studie werden die Inzidenzdaten der US-NTP-Studie modelliert. Dies soll dabei helfen Belastungsrichtlinien abzuschätzen und die Diskussion über Belastungsgrenzwerte für drahtlose Geräte, welche besonders gefährdete Bevölkerungsgruppen (z.B. Kinder) schützen würden, zu eröffnen.

Studiendesign und Durchführung:

Daten zum Auftreten von Läsionen wurden der US-NTP-Studie entnommen. Die Referenzdosis-Modellierung für nicht-neoplastische Läsionen (nicht-entartete Läsionen) und neoplastische Läsionen (gutartige und bösartige Tumore) wurde mit der US EPA (US Umweltschutzbehörde) „Benchmark Dose Software“ (BMDS) Version 3.2 durchgeführt. Für nicht-neoplastische Wirkungen wurden sowohl frequentistische als auch Bayes'sche Modell-Mittlungsoptionen der Software verwendet. Für die neoplastischen Auswirkungen wurde das frequentistische mehrstufige Krebsmodell (MS Combo) verwendet. Damit wird den technischen Leitlinien der US EPA für die Modellierung von Tumordaten Folge geleistet. Bei der Modellierung wurden die am besten passenden Modelle anhand folgender Kriterien ausgewählt: niedrigstes Akaike-Informationskriterium, Anpassungsgüte der p-Werte, skalierte Residuen sowie Sichtprüfung der Kurvenanpassung. In Leitfäden zur Referenzdosis-Modellierung werden Referenzdosen mit 5% (BMD5) oder 10% (BMD10) zusätzlichem Risiko empfohlen. Die Autoren nutzen den BMD10 für nicht-neoplastische Inzidenzdaten und BMD5 für neoplastische Inzidenzdaten. Die untere Grenze der modellierten Referenzdosis (BMDL) bietet eine 95% statistische Schätzung der Belastungsdosis, mit der ein 5%- bzw. 10%-Risikoanstieg verbunden ist. Der BMDL-Wert kann als Ausgangspunkt für die Entwicklung von Belastungsrichtlinien herangezogen werden.

Ergebnisse:

Zunächst fokussierten sich die Autoren auf die Modellierung der Kardiomyopathie-Datensätze der NTP-Studie (nicht-neoplastische Läsionen). Eine erfolgreiche Modellanpassung wurde für alle Stellen der Kardiomyopathie bei männlichen Ratten nach 19 Wochen Belastung erzielt. Für männliche und weibliche Ratten, welche 2 Jahre bestrahlt wurden, erfolgte eine erfolgreiche Modellanpassung für die Kardiomyopathie des rechten Ventrikels. Die folgenden BMDL-Werte beziehen sich auf die korrespondierenden Ganzkörper SAR-Werte (Anm. d. Redaktion). Für die männlichen Ratten nach 19 Wochen Befeldung betrug der BMDL10 0,2–0,29 W/kg für GSM und 0,27–0,42 W/kg für CDMA. Nach 2-jähriger Bestrahlung und einer Kardiomyopathie des rechten Ventrikels bei weiblichen Ratten betrug der BMDL10 2,7–5,16 W/kg bei CDMA und 1,91–2,18 W/kg für GSM. In männlichen Ratten lagen die BMDL10-Werte bei 0,7–0,79 W/kg für CDMA und 0,33–0,42 W/kg GSM. Bei den neoplastischen Läsionen konnte ein BMDL5-Wert nach 2 Jahren Befeldung für kombinierten Tumorratten aller beobachteten Tumore in männlichen Ratten modelliert werden. Dieser betrug 0,31 W/kg bei CDMA- und 0,21 W/kg bei GSM-Mobilfunk. Für weibliche Ratten konnte keine erfolgreiche Modellanpassung verzeichnet werden. Um

von diesen Ausgangspunkten aus tierexperimentellen Studien ein akzeptables Belastungsniveau für die menschliche Bevölkerung zu übertragen, werden Sicherheitsfaktoren verwendet. Darunter ein Sicherheitsfaktor 10 für die Unterschiede zwischen den Spezies (in diesem Fall Mensch und Ratte) und ein zweiter Sicherheitsfaktor 10 für die möglicherweise verschiedene Empfindlichkeit innerhalb der menschlichen Bevölkerung. Diese Faktoren wurden nicht willkürlich gewählt, sondern gehen auf eine jahrzehntelange Praxis in der Risikobewertung für Chemikalien zurück. Mit dem kombinierten Sicherheitsfaktor 100 empfehlen die Wissenschaftler ein Ganzkörper-SAR-Limit von 2 bis 4 mW/kg für Erwachsene. Diese SAR-Werte sind um ein 20- bis 40-Faches niedriger als das momentan verwendete Ganzkörper-SAR-Limit von 0,08 W/kg. Die Anwendung eines weiteren 10-fachen Sicherheitsfaktors, zur Berücksichtigung einer größeren Empfindlichkeit des sich entwickelnden Organismus, führt zu einem Ganzkörper-SAR-Wert von 0,2–0,4 mW/kg für Kleinkinder.

Schlussfolgerungen:

Die hier vorgestellte Analyse unterstützt einen Ganzkörper-SAR-Grenzwert von 2–4 mW/kg für Erwachsene, ein Belastungsniveau was 20- bis 40-mal niedriger ist als der gesetzlich zulässige SAR-Wert nach US-Vorschriften. Ein um das Zehnfache niedrigerer Wert von 0,2–0,4 mW/kg könnte für Kleinkinder angemessen sein. Laut den Autoren könnten sowohl technische als auch Verhaltensänderungen erforderlich sein, um diese niedrigen Werte zu erreichen. Sie empfehlen einfache Maßnahmen wie z.B. drahtlose Geräte vom Körper entfernt zu halten, um eine direkte Verminderung der Hochfrequenzbelastung zu erzielen. (RH)

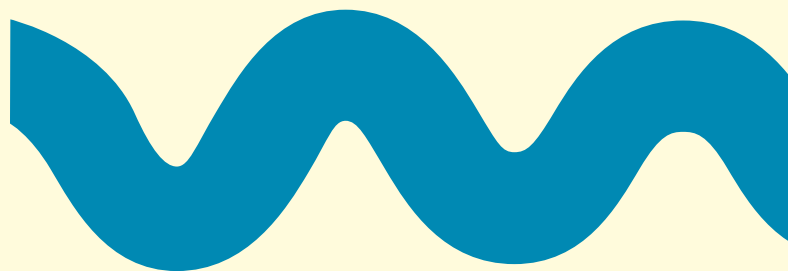
Erratum

Electromagnetic Irradiation Evokes Physiological and Molecular Alterations in Rice

Kundu A, Vangaru S, Bhattacharyya S, Mallick AI, Gupta B (2021): Erratum: Electromagnetic Irradiation Evokes Physiological and Molecular Alterations in Rice. *Bioelectromagnetics* 42 (5), 435

Im Original-Artikel Kundu A, Vangaru S, Bhattacharyya S, Mallick AI, Gupta B (2021): Electromagnetic irradiation evokes physiological and molecular alterations in rice. *Bioelectromagnetics* 42: 173-185 sind Fehler enthalten. Die Leistungsflussdichte, mit der die Reissamen behandelt wurden, betrug nicht $2,75 \text{ W/m}^2$, sondern $2,75 \text{ mW/m}^2$. Auch die Angaben zur Scheinbestrahlung sind irrtümlich als $0,07 \text{ W/m}^2$ angegeben, der richtige Wert ist $0,07 \text{ mW/m}^2$ bei $1837,50 \text{ MHz}$. Auf die wissenschaftlichen Schlussfolgerungen haben die Fehler keinen Einfluss. Vielmehr betonen die Pflanzenreaktionen auf diese niedrigen Werte die Hypothese im ursprünglichen Artikel. Die Autoren bedauern den Irrtum.

Die Studie wurde im ElektrosmogReport 2/2021 besprochen.



Adressen für weitere seriöse Informationen

Diagnose:Funk – Umwelt- und Verbraucherorganisation zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e. V.
www.diagnose-funk.org

Telefon: 069/36 70 42 03

Telefonzeiten: montags und dienstags zwischen 8 und 10 Uhr

E-Mail: info@diagnose-funk.de

Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch Umwelt und Demokratie e. V.

www.kompetenzinitiative.com

E-Mail: sekretariat@kompetenzinitiative.net

Tel. 06897-766176

Microwavenews

www.microwavenews.com

E-Mail: louis@microwavenews.com

Pandora – Stiftung für unabhängige Forschung

www.stiftung-pandora.eu

Telefon: +49 3303 21 83 00

Fax: +49 3303 40 46 82

E-Mail: info@stiftung-pandora.eu

BRHP–Blog von Prof. Darius Leszczynski zu Wissenschaft und Politik

www.betweenrockandhardplace.wordpress.com

Datenbanken

www.emfdata.org

www.emf-portal.de

www.orsaa.org

