

WLAN verstört Ameisen. Neue Studien zu WLAN und zu Wirkungen nicht - ionisierender Strahlung auf die Reproduktionsorgane, auf Pflanzen, auf oxidativen Zellstress und DNA -Schädigungen.

WLAN wird immer mehr zur meist benutzten Kommunikationsfrequenz, überall werden freie Zugänge (HotSpots) angeboten. Das Smartphone sendet und empfängt durch aktive Apps nahezu ständig, meist über WLAN. Trägt man das Smartphone körpernah, in der Hosen- oder Jackentasche, so werden insbesondere die Reproduktionsorgane ständig bestrahlt. In dieser Studienrecherche besprechen wir sieben neue Studien, die in der Tendenz nachweisen, dass die WLAN Frequenz von 2450 MHz die stärksten schädlichen Wirkungen hervorruft: *Cammaerts 2014, Dasdag 2015, Gürler 2014, Megha 2015, Saili 2015, Sangun 2015, Soran 2014.*

Dasdag et al. untersuchten die Langzeitwirkungen von WLAN auf Spermien. Der Prozentsatz von Defekten der Spermienköpfe stieg in der bestrahlten Gruppe signifikant an, das Gewicht der Nebenhoden und der Bläschendrüse war signifikant geringer, der Durchmesser der Samenkanälchen und die Dicke der Tunika albuginea (Bindegewebsschicht) hatten signifikant bzw. hochsignifikant bei den bestrahlten Tieren abgenommen. *Gürler et al.* weisen nach, dass Knoblauch die durch WLAN verursachten oxidativen DNA- und Proteinschädigungen vermindert. *Megha et al.* untersuchten die Auswirkungen von 900, 1800 und 2450 MHz auf das Gehirn. Die maximale Schädigung wurde bei WLAN erreicht: oxidativer Zellstress, Verminderung der körpereigenen Antioxidantien, Entzündungsreaktionen, und als Folge des oxidativen Stresses DNA - Schädigungen. *Saili et al.* weisen Veränderungen in der Herzratenvariabilität, erhöhten Blutdruck und Auswirkungen auf Katecholamine (Neurotransmitter) nach. *Sangun et al.* fanden in einem Langzeitexperiment heraus, dass es in der postnatalen Phase zu Entwicklungsverzögerungen kommt, wenn das Embryo bestrahlt wurde. Und beeindruckend: *Cammaerts et al.* bestrahlten Ameisen, deren Verhalten bis hin zur Ataxie (Störung des Bewegungsablaufes) durch WLAN gestört wird. *Soran et al.* bestrahlten Pflanzen. Die Bestrahlungen führten zu qualitativen und quantitativen Veränderungen in den Blättern. Die Zellwände erschienen leicht gewellt, während die Kontrollpflanzen normale glatte Wände hatten. Die Mitochondrienlänge war geringer und die Anzahl der Cristae (Auffaltungen der inneren Membran) in den Mitochondrien auch etwas geringer, vor allem nach Einwirkung der WLAN-Frequenzen.

Auswirkungen auf die Reproduktionsorgane

Vier neue Studien beschäftigen sich mit den Auswirkungen auf die Reproduktionsorgane: *Dasdag 2015, Geronikolou 2014, Sangun 2015, Sokolovic 2015.* *Dasdag et al.* (s.o.) stellten Auswirkungen auf Spermienköpfe, Nebenhoden, Bläschendrüse, Samenkanälchen und Tunika albuginea fest. *Geronikolou et al.* weisen bei der Fruchtfliege, einem Referenztier zur Untersuchung der Oogenese (Eireifung), eine verminderte Fruchtbarkeit nach, bei einer Bestrahlung weit unter den Grenzwerten. *Sangun et al.* (s.o.) weisen Entwicklungsverzögerungen in der postnatalen Phase nach. *Sokolovic et al.* beschäftigen sich mit der Rolle von Melatonin. Der durch die Bestrahlung der Hoden hervorgerufene oxidative Stress und auch die DNA-Fragmentierung nahmen durch Melatoningabe ab. Mikrowellen erzeugen eine Schwächung in der antioxidativen Verteidigung der Zellen, wodurch die Zellen verletzlich in Hinsicht auf oxidative Schädigung werden. Melatonin wirkt als starkes Antioxidans dagegen und vermindert so auch die Apoptose.

Weitere Studien zu oxidativem Zellstress

Der Review von *Yakymenko et al. Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation (2015)* ergab, dass von 100 untersuchten Studien 93 oxidativen Zellstress nachweisen. Ein überzeugender Beweis für einen Wirkmechanismus,

STUDIEN RECHERCHE

2015 - 4

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.

der eine breite Palette an Schädigungen hervorruft. Diagnose-Funk e.V. hat diese Studie übersetzt und als Brennpunkt veröffentlicht. Wir besprechen fünf neue Studien zu oxidativem Zellstress: *Hou 2015*, *Gürler 2014*, *Marzook 2014*, *Megha 2015*, *Sokolovic 2015*. Die beiden letztgenannten und *Gürler* sind bereits oben angesprochen. *Hou et al.* weisen erhöhte Apoptoseraten (Zelltod), *Hou et al.*, *Megha et al.* und *Sokolovic* DNA - Doppelstrangbrüche nach. Für die Auseinandersetzung um Basisstationen ergab das Experiment von *Marzook et al.* wichtige Ergebnisse. 32 männliche erwachsene Ratten wurden in 4 Gruppen eingeteilt: unbestrahlte Kontrolle, 900-MHz-Strahlung, Strahlung mit zusätzlich 1,5 bzw. 3 ml Sesamöl. Die Bestrahlung erfolgte über eine 900-MHz-Basisstation, die auf einem Haus in Kairo in 8 m Entfernung stand. Die Tiere waren einer Leistungsflussdichte von 0,5 mW/cm² ausgesetzt. Die Strahlung wirkte 8 Wochen 24 Stunden/Tag ein, die Tiere in Gruppe 3 und 4 bekamen dreimal/Woche Sesamöl oral verabreicht. Ein Ergebnis: Testosteron war signifikant erhöht gegenüber der Kontrollgruppe und die signifikante Zunahme in den Ölgruppen erfolgte dosisabhängig. Antioxidantien nahmen signifikant ab bei den bestrahlten Tieren und stiegen signifikant an in den Ölgruppen mit steigender Öldosis. Sesamöl hat also eine Schutzfunktion.

Die Studie von *Geronikolou (2015)* ergab, dass die häufige Nutzung von Mobiltelefonen die Hypothalamus-Hypophyse-Nebennieren-Achse nach mentalem Stress bei gesunden Kindern und Jugendlichen beeinflusst. Auch *Saili et al.* weisen Veränderungen bei Katecholaminen (Neurotransmitter) nach.

DNA - Schäden bei Pflanzen

Von der Industrie wird immer noch behauptet, alle krankhaften Reaktionen seien auf Nocebo-Effekte zurückzuführen. Bei Tieren gibt es die nicht, und schon gar nicht bei Pflanzen. Vier Studien, die DNA - Schädigungen zeigen, werden rezensiert: *Gürler 2014 (s.o.)*, *Gustavino 2015 (Kumar 2015 und Soran 2014)*. *Gustavino et al.* bestrahlten die Ackerbohne mit 915 MHz, es zeigten sich DNA-Schäden. *Kumar et al.* weisen bei Maiskeimlingen Wachstumshemmungen durch Eingriffe in den Stärke - und Zuckerstoffwechsel nach. *Soran et al. (s.o.)* stellten Blattveränderungen und Wirkungen auf die Mitochondrien fest.

Hinweise

Die **Studienrubriken** sind nach Endpunkten angeordnet, nicht nach Frequenzen.

Fachbegriffe können im Glossar des EMF-Portals - www.emf-portal.de - nachgeschlagen werden.

Tierversuche: Wie besprechen in der Studienrecherche die objektiven Ergebnisse von Studien, die oft an Tieren durchgeführt werden und deshalb ethisch in Frage gestellt werden müssen.

Ermöglichen Sie mit Ihrer Spende weitere Ausgaben der Studienrecherchen:

Seit Januar 2015 geben wir vierteljährlich die Studienrecherchen heraus. Dafür bekamen wir von vielen Seiten, von Ärzten, Wissenschaftlern, Umweltverbänden und Einzelpersonen viel Lob. Das motiviert uns, sichert aber die weitere Herausgabe nicht ab. Die Erstellung einer Ausgabe kostet uns ca. 1500 Euro (Rezensionshonorare für die beteiligten Wissenschaftler, Satzkosten).

Sie können die Recherche kostenlos downloaden. Sie können einen Beitrag dazu leisten, damit die Studienlage weiter recherchiert und veröffentlicht werden kann, mit Ihrer Spende. Ob 10, 30, 50 oder 100 Euro, jeder Betrag hilft dabei:

Empfänger: Diagnose-Funk e.V.

Konto: 7027763800

BLZ: 430 609 67 GLS Bank

IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00

BIC: GENODEM1GLS

Verwendungszweck: SPENDE, "Ihr Vor- und Nachname", "Ihre Adresse"

(Bitte geben Sie uns im Verwendungszweck Ihren Vor- und Nachname und Adresse bekannt damit wir die Spende zuordnen können und Ihnen dafür im kommenden Jahr eine Spendenbescheinigung ausstellen können)

Inhaltsverzeichnis

Spermien, Embryo & Reproduktionsorgane

Wirkung von Langzeitbestrahlung mit 2,4-GHz-WLAN-Geräten auf die Funktionen der Hoden. Effect of long-term exposure of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on testes functions. Von: Dasdag S, Tas M, Akdag MZ, Yegin K; Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (1): 37–42

Seite 5

Unterschiedliche Hochfrequenz-Empfindlichkeit und Hochfrequenz-Wirkungen der Nahfeld-Exposition gegenüber Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen bei Drosophila melanogaster. Diverse Radiofrequency Sensitivity and Radiofrequency Effects of Mobile or Cordless Phone near Fields Exposure in Drosophila melanogaster. Von: Geronikou S, Zimeras S, Davos CH, Michalopoulos I, Tsitomeneas S. Erschienen in: PLoS ONE 2014; 9 (11): e112139. doi:10.1371/journal.pone.0112139

Seite 5

Die Wirkungen einer Langzeit-Exposition in einem 2450 MHz elektromagnetischen Feld auf Wachstum und pubertäre Entwicklung bei weiblichen Wistar-Ratten. The effects of long-term exposure to a 2450 MHz electromagnetic field on growth and pubertal development in female Wistar rats. Von: Sangun O, Dundar B, Darici H, Comlekci S, Doguc DK, Celik S. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (1): 63 – 71

Seite 6

Die Wirkungen von Melatonin auf oxidative Stress-Parameter und DNA-Fragmentierung im Hoden-Gewebe von Ratten, exponiert bei Mikrowellen. The Effects of Melatonin on Oxidative Stress Parameters and DNA Fragmentation in Testicular Tissue of Rats Exposed to Microwave Radiation. Von: Sokolovic D, Djordjevic B, Kocic G, Stoimenov TJ, Stanojkovic Z, Sokolovic DM, Veljkovic A, Ristic G, Despotovic M, Milisavljevic D, Jankovic R, Binic I. Erschienen in: Adv Clin Exp Med 2015; 24 (3): 429–436

Seite 7

Wirkungen auf Neurotransmitter

Häufige Nutzung von Mobiltelefonen verändert die Hypothalamus-Hypophyse-Nebennieren-Achse nach mentalem Stress bei gesunden Kindern und Jugendlichen. Eine Pilot-Studie. Frequent cellular phone use modifies hypothalamic-pituitary-adrenal axis response to a cellular phone call after mental stress in healthy children and adolescents: A pilot study. Von: Geronikou SA, Chamakou A, Mantzou A, Chrousos G, Kanaka-Gantenbein C. Erschienen in: Sci Total Environ. 2015; 536: 182–188

Seite 7

Wirkung von WLAN-Signalen (2,45 GHz) auf Herzvariabilität und Blutdruck bei Albino-Kaninchen. Effects of acute exposure to WIFI signals (2.45 GHz) on heart variability and blood pressure in Albinos rabbit. Von: Saili L, Hanini A, Smirani C, Azzouz I, Azzouz A, Sakly M, Abdelmelek H, Bouslama Z. Erschienen in: Environ Toxicol Pharmacol. 2015; 40 (2): 600–5

Seite 8

Oxidativer Stress, DNA – Schäden, Wirkungen auf das Gehirn

Verstärkte DNA-Oxidation (8-OHdG) und Protein-Oxidation (AOPP) durch ein schwaches elektromagnetisches Feld (2,45 GHz) im Gehirn von Ratten und die schützende Wirkung von Knoblauch. Increased DNA oxidation (8-OHdG) and protein oxidation (AOPP) by Low level electromagnetic field (2.45 GHz) in rat brain and protective effect of garlic. Von: Gürlür HS, Bilgici B, Akar AK, Tomak L, Bedir A. Erschienen in: Int J Radiat Biol 2014; 90 (10): 892–896

Seite 9

Oxidative Veränderungen und Apoptose bei NIH/3T3-Zellen durch elektromagnetische Felder von 1800 MHz. Oxidative changes and apoptosis induced by 1800-MHz electromagnetic radiation in NIH/3T3 cells. Von: Hou Q, Wang M, Wu S, Ma X, An G, Liu H, Xie F. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (1): 85–92

Seite 10

Mikrowellen niedriger Intensität rufen oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen und DNA-Schäden in Rattenhirnen hervor. Low intensity microwave radiation induced oxidative stress, inflammatory response and DNA damage in rat brain. Von: Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, Tripathi AK, Ahmed R, Abegaonkar MP. Erschienen in: Neurotoxicology 2015; 51: 158–165

Seite 10

Bestrahlung durch Sendeanlagen

Schützende Wirkung von Sesamöl gegen oxidativen Stress, der durch Mobilfunkbasisstationen hervorgerufen wird. Protective role of sesame oil against mobile base station-induced oxidative stress. Von: Marzook EM, Abd El Moneim AE, Elhadary AA. Erschienen in: Journal of Radiation Research and Applied Sciences 2014; 7 (1): 1–6

Seite 11

Auswirkungen auf Tiere

Ameisen können als Bioindikatoren genutzt werden, um biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder von einigen drahtlosen Geräten aufzudecken. Ants can be used as bio-indicators to reveal biological effects of electromagnetic waves from some wireless apparatus. Von: Cammaerts MC, Johansson O. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (4): 282–288

Seite 12

Auswirkungen auf Pflanzen

Exposition bei 915 MHz-Feldern ruft Mikronuklei bei Wurzelspitzen von Vicia faba hervor. Exposure to 915 MHz radiation induces micronuclei in Vicia faba root tips. Von: Gustavino B, Carboni G, Petrillo R, Paoluzzi G, Santovetti E, Rizzoni M. Erschienen in: Mutagenesis Oct 17. pii: gev071

Seite 12

Durch 1800 MHz-Befeldung gehemmtes frühes Wachstum von Mais-Keimlingen (Zea mays) wird durch Veränderungen im Stärke- und Saccharose-Metabolismus hervorgerufen. EMF radiations (1800 MHz)-inhibited early seedling growth of maize (Zea mays) involves alterations in starch and sucrose metabolism. Von: Kumar A, Singh HP, Batish DR, Kaur S, Kohli RK. Erschienen in: Protoplasma 2015; Aug 16

Seite 13

Einfluss von elektromagnetischer Befeldung bei Mikrowellen-Frequenz auf die Terpen-Freisetzung bei aromatischen Pflanzen. Influence of microwave frequency electromagnetic radiation on terpene emission and content in aromatic plants. Von: Soran ML, Stan M, Niinemets U, Copolovici L. Erschienen in: J Plant Physiol 2014; 171 (15): 1436–1443

Seite 14

Neue Studienbesprechungen im ElektrosmogReport

Seite 15

Spermien, Embryo & Reproduktions - organe

Wirkung von Langzeitbestrahlung mit 2,4-GHz -WLAN-Geräten auf die Funktionen der Hoden.

Effect of long-term exposure of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on testes functions.

Von: Dasdag S, Tas M, Akdag MZ, Yegin K; Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (1): 37–42

Über die Wirkungen von Mobilfunkstrahlung ist einiges geforscht worden, aber über die Wirkung von WLAN bei Langzeiteinwirkung ist kaum etwas bekannt. Ziel der Studie war, die Lücke zu schließen und die Wirkung der WLAN-Strahlung (2,4 GHz) auf die Hoden von Ratten nach Langzeitnutzung zu sehen. Die Nutzung von drahtlosen Technologien in Form von WLAN- und Wi-Fi-Kommunikationsdiensten ist in den letzten Jahren stark angestiegen. Die Accesspoints befinden sich an Arbeitsplätzen, in öffentlichen Bereichen, Wohnungen und Schulen. Drahtlose Kopfhörer, Drucker und andere Anwendungen finden sich ebenso an Arbeitsplätzen wie in Wohnungen. Das ließ öffentliche Besorgnis über Gesundheitsgefahren, die vorerst nur für Mobiltelefone bestand, auch für diese Geräte mit Mikrowellenstrahlung aufkommen.

Studiendesign und Durchführung: 16 männliche Ratten wurden in zwei Gruppen zu je 8 Tieren eingeteilt. Die eine Gruppe wurde der 2,4-GHz-Strahlung (2420 µW/kg, 1 g Gewebe) 24 Stunden/Tag über 12 Monate ausgesetzt, die andere wurde scheinbestrahlt. Die Strahlung wurde von einem Generator erzeugt, dessen Antenne 50 cm von den Tieren entfernt war. Sofort nach Beendigung der Bestrahlung wurden die Fortpflanzungsorgane entnommen und die Spermien auf Beweglichkeit und Konzentration in den Nebenhoden, auf Schwanz- und Kopfdefekte und die gesamten morphologischen Defekte untersucht. Dazu wurden Gewicht der Hoden, der Samenleiter, der Prostata und der Bläschendrüse (Samenblase) bestimmt. Auch der Durchmesser der Samenkanälchen und die Dicke der Tunika albuginea (einer Bindegewebsschicht) wurden gemessen. Die mikroskopische Auswertung wurde verblindet durchgeführt. Die Berechnung der SAR erfolgte für Punkt, 1 g und 10 g Gewebe von Hoden und Prostata, sie betragen 4880, 2420 und 1020 µW/kg.

Ergebnisse: Der Prozentsatz von Defekten der Spermienköpfe stieg signifikant in der bestrahlten Gruppe an, während Spermienkonzentration, Beweglichkeit der Spermien im Nebenhoden, Schwanz- und gesamtmorphologische Defekte nicht-signifikant verändert waren im Vergleich zu den Kontrollen. Das Gewicht der Nebenhoden und der Bläschendrüse war signifikant geringer in der bestrahlten Gruppe, bei Hoden und Prostata gab es keine Unterschiede. Der Durchmesser der Samenkanälchen und die Dicke der Tunika albuginea bei den bestrahlten Tieren hatten signifikant bzw. hochsignifikant abgenommen. Sonst gab es keine signifikanten Veränderungen. Die histologische Untersuchung der Hoden ergab, dass die Strahlung die allgemeine Gestalt der Spermien signifikant veränderte.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen, dass durch Langzeiteinwirkung von 2,4 GHz die Hodenfunktion und die Histologie der männlichen Fortpflanzungsorgane von Ratten verändert werden. Angesichts der steigenden Nutzung von drahtlosem Internet, besonders von Kindern und Jugendlichen, ist Vorsicht geboten, bis genügend Daten vorliegen, da man nicht sicher weiß, ob diese Systeme schädlich sind oder nicht. Langzeiteinwirkung von WLAN sollte insbesondere bei Kindern und Jugendlichen vermieden werden.

Unterschiedliche Hochfrequenz-Empfindlichkeit und Hochfrequenz-Wirkungen der Nahfeld-Exposition gegenüber Mobiltelefonen und schnurlosen Telefonen bei Drosophila melanogaster.

Diverse Radiofrequency Sensitivity and Radiofrequency Effects of Mobile or Cordless Phone near Fields Exposure in Drosophila melanogaster.

Von: Geronikolou S, Zimeras S, Davos CH, Michalopoulos I, Tsitomeneas S

Erschienen in: PLoS ONE 2014; 9 (11): e112139. doi:10.1371/journal.pone.0112139

Die Fruchtfliege Drosophila melanogaster ist für biologische Experimente ein gut einsetzbares Tiermodell, an dem bereits nicht-thermische Wirkungen studiert worden sind. Die Experimente hatten teilweise systematische Fehler. In dieser Studie sollte untersucht werden, wie Drosophila melanogaster als Tiermodell auf Bestrahlung mit Mobilfunk- und Schnurlostelefon reagiert. Drosophila ist ein ideales Untersuchungsobjekt für neuro-endokrine Genom-Forschung, weil das Insekt – anders als andere Modelle – eine Art Fettgewebe und ein Lipid-Transport-System hat, wodurch sie sich für Untersuchungen eignen, die für den Menschen nützlich sind. Speziell das Drosophila-Oogenese-System eignet sich für die Untersuchung von elektromagnetischen Feldern und den potenziellen Auswirkungen auf biologische Systeme.

Studiendesign und Durchführung: Zwei Experimente erfolgten unter denselben Bedingungen im Labor: Insektenkulturen wurden in einem Nahfeld (das Telefon befand sich direkt am Glasbehälter) von einem 2G-900-MHz-Mobiltelefon (864,1 und 868,1 MHz) wie bei einem normalen Telefongespräch und einem Schnurlosen 1880-MHz-Telefon gehalten. Die neu geschlüpften Insekten wurden, männliche und weibliche getrennt, 2 Tage je 20 Minuten bestrahlt, dann bekamen je 8 Tiere weitere 3 Tage Nahfeld-Bestrahlung. Die SAR wurden mit 0,08 W/kg bei 1880 MHz und beim Mobiltelefon mit 0,67 W/kg berechnet. Die Werte liegen unter den Grenzwerten. 6 Tage danach wurde die Anzahl der Insektenpuppen an den Gefäßwänden gezählt. Diese Prozedur wurde für beide Telefone insgesamt 5-mal durchgeführt.

Ergebnisse: Beim Schnurlostelefon ergab sich nur ein geringer statistischer Unterschied zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Tieren (durchschnittlich 10,58 ± 1,45, Kontrolle 12,45

$\pm 0,384$). Die 1880 MHz haben eine geringe Herabsetzung der Fruchtbarkeit bewirkt. Nach Bestrahlung mit dem Mobiltelefon war die Fruchtbarkeit statistisch signifikant herabgesetzt ($8,52 \pm 0,60$ und Kontrolle $12,42 \pm 0,794$, $p = 0,009$). Auch zwischen Schnurlos- und Mobiltelefon war der Unterschied signifikant.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen möglicherweise eine unterschiedliche Empfindlichkeit, die durch Abstand zur Antenne oder andere unbekannte Faktoren entsteht. Vergleicht man das Nahfeld von den beiden Frequenzbändern, sieht man ähnliche, aber nicht identische Geometrie in Länge und Höhe der Antennen. Die niedrigere Frequenz tendiert zu höherer Wirkung. Das Nahfeld von 900 MHz ist stärker als das von 1880 MHz. Die 1880-MHz-Strahlung könnte eine Schwellenfrequenz für schädliche Wirkungen auf die Reproduktion sein, bei der je nach Individuum aufgrund von genetischen Faktoren eine Reaktion erfolgt oder nicht. Die Feldstärken der beiden Nahfelder und die SAR-Werte können in so kurzem Abstand nicht gemessen und nur ungenau berechnet werden, das muss bei Konzepten zu solchen Experimenten berücksichtigt werden und gibt neue Hinweise zu Auswirkungen elektromagnetischer Felder. Beim Schnurlostelefon könnten andere Einflussfaktoren wie genetischer Polymorphismus oder unterschiedliche individuelle Empfindlichkeit auf die Frequenzen eine Rolle spielen. Die geringere Fruchtbarkeit beim Mobiltelefon deutet darauf hin, dass die Frequenzen um 900 MHz einen größeren Stressfaktor für *Drosophila* darstellen.

Die Wirkungen einer Langzeit-Exposition in einem 2450 MHz elektromagnetischen Feld auf Wachstum und pubertäre Entwicklung bei weiblichen Wistar-Ratten.

The effects of long-term exposure to a 2450 MHz electromagnetic field on growth and pubertal development in female Wistar rats.

Von: Sangun O, Dundar B, Darici H, Comlekci S, Doguc DK, Celik S

Erschienen in: *Electromagn Biol Med* 2015; 34 (1): 63 – 71

Die Feldstärken von 2450 MHz haben in unserer Umgebung zugenommen, sie werden in Industrie und Medizin, beim Militär, in Schulen, Büros, Bibliotheken, Cafés und Wohnungen angewendet. Die Grenzwerte gelten für Erwachsene ebenso wie für Kinder, obwohl Kinder bei etwa 2 GHz eine höhere Ganzkörper-Belastung haben. Mit diesem Langzeitexperiment sollte geklärt werden, ob WLAN-Strahlung mit 2450 MHz einen Einfluss auf Wachstum und Entwicklung von jungen weiblichen Ratten hat. Während der Embryogenese als der empfindlichsten Zeit können schwere Schäden durch äußere Einwirkung von Chemikalien oder Strahlung entstehen. Dies ist die erste Längsschnittstudie, die die Wirkung von WLAN-Strahlung auf Wachstum und Pubertätsentwicklung untersucht hat.

Studiendesign und Durchführung: Die jungen weiblichen Ratten wurden in 3 Gruppen eingeteilt, in scheinbestrahlte Kon-

trolle, prä- und postnatale Bestrahlung. Die 2450-MHz-Bestrahlung erfolgte je 1 Stunde pro Tag (11-12 Uhr) bis zur Pubertät mit $45,5 \text{ V/m}$ im Nahfeld, SAR $0,143 \text{ W/kg}$ Ganzkörperbestrahlung. Das Gewicht der Tiere wurde jede Woche, die Länge von Tag 21 an gemessen. In der Pubertät wurden Serum und Eierstock- und Hirngewebe gesammelt und der gesamte antioxidative Status (TAS), der gesamte oxidative Status (TOS), der oxidative Stress gemessen und der Index des oxidativen Stresses (OSI, der Quotient aus $\text{TOS/TAS} \times 100$) errechnet. Im Serum wurden die Konzentrationen der Hormone Follikelstimulierendes Hormon (FSH), Luteinisierendes Hormon (LH), 17β -Östradiol (E2) und des Insulin-ähnlichen Wachstumsfaktor-1 (IGF-1) bestimmt. Dazu kamen histologische Analysen und immunohistologische Färbungen des Hypothalamus und der Eierstöcke zur Feststellung von Zell- und Gewebeveränderungen.

Ergebnisse: Die Geburtsgewichte waren ähnlich in allen Gruppen, die Gewichtszunahme pro Tag und die Länge der Tiere jedoch war signifikant geringer bei den pränatal bestrahlten Tieren und die Pubertät trat signifikant später ein. Die tägliche Futter- und Wasseraufnahme war bei den Kontrolltieren signifikant geringer als bei den beiden anderen Gruppen. In der Pubertät war die Länge der Tiere kaum unterschiedlich, aber das Gewicht der pränatalen Gruppe war signifikant geringer gegenüber der Kontrolle, obwohl die Tiere mehr Nahrung aufgenommen hatten. Die TOS-Werte in Eierstock und Gehirn waren in den prä- und postnatalen Tieren etwa gleich, aber signifikant höher als in den Kontrollen, die TAS-Werte nur in den Eierstöcken signifikant höher. Die OSI-Werte in den Eierstöcken der pränatalen Gruppe waren signifikant höher als in den anderen Gruppen. Die histologischen und immunohistochemischen Untersuchungen von Hypothalamus und Eierstöcken ergaben keine signifikanten Unterschiede. Bei den Hormonbestimmungen zeigten sich keine Unterschiede bei FSH und E2, LH im Serum war in der prä- und postnatalen Gruppe signifikant gestiegen gegenüber der scheinbestrahlten Kontrolle. Beim IGF-1 war die Konzentration bei der pränatalen Gruppe nicht-signifikant geringer als bei der Kontrolle, die postnatale Gruppe hatte signifikant niedrigere Werte als die Kontrolle.

Schlussfolgerungen: Die Bestrahlung mit 2450 MHz in der pränatalen Phase führte besonders in der postnatalen Phase zu Wachstumseinschränkungen und verzögertem Eintritt der Pubertät in den weiblichen Ratten. Die Strahlungsintensitäten waren im Bereich der internationalen Grenzwerte. Die erhöhten TOS- und OSI-Werte in den Hirn- und Eierstockgeweben kann man als Zeichen chronischen Stresses deuten, der durch die 2450-MHz-Strahlung bewirkt wird. Die chronische Einwirkung der WLAN-Strahlung, insbesondere während der intrauterinen Phase und frühen Kindheit, kann schädliche Auswirkungen auf Wachstum und Pubertät haben. Vorsorgemaßnahmen sollten besonders in der Nähe solcher Strahlungsquellen und bei Langzeiteinwirkung ergriffen werden.

Die Wirkungen von Melatonin auf oxidative Stress-Parameter und DNA-Fragmentierung im Hoden-Gewebe von Ratten, exponiert bei Mikrowellen.

The Effects of Melatonin on Oxidative Stress Parameters and DNA Fragmentation in Testicular Tissue of Rats Exposed to Microwave Radiation.

Von: Sokolovic D, Djordjevic B, Kocic G, Stoimenov TJ, Stanojkovic Z, Sokolovic DM, Veljkovic A, Ristic G, Despotovic M, Milisavljevic D, Jankovic R, Binic I

Erschienen in: Adv Clin Exp Med 2015; 24 (3): 429–436

Seit mehreren Jahren gibt es Befürchtungen, dass chronische Belastung mit Mikrowellen die Gesundheit beeinträchtigen kann, insbesondere die reproduktiven Organe. Die Hoden sind besonders der Strahlung ausgesetzt, weil viele Männer das Mobiltelefon in der Hosentasche tragen. Man weiß, dass zu viel Wärme schädlich ist, aber Mikrowellen können auch Veränderungen auf Zell- und Molekularebene verursachen, wie Einzel- und Doppelstrangbrüche in der DNA, Veränderungen der Proteinkonformation, Anstieg des oxidativen Stresses und der Apoptose. Oxidativer Stress ist ein Schlüsselmechanismus für Zellschädigung durch Mikrowellen. Lipidperoxidation und oxidative Modifikation von Proteinmolekülen sind die häufigsten Mechanismen der oxidativen Schädigung von Geweben. Dabei steigt Malondialdehyd (MDA) bei der Lipidperoxidation an, das man im Test nachweisen kann. Melatonin ist ein starkes Antioxidans. Das Ziel dieser Studie war, die Wirkung von Melatonin auf oxidative Stressparameter und DNA-Fragmentierung durch Mikrowellenstrahlung im Hodengewebe von Ratten zu bestimmen.

Studiendesign und Durchführung: 84 erwachsene männliche Ratten (6–8 Wochen alt) wurden in 4 Gruppen zu je 21 Tieren eingeteilt, Kontrolle, Melatoninbehandlung, Mikrowellenbestrahlung und Mikrowellen + Melatoningabe (täglich 2 mg/kg i. p. um 8.00 Uhr). Die Bestrahlung erfolgte mit einem 900-MHz-Nokia-Test-Mobiltelefon 4 Stunden pro Tag bis zum Tod der Tiere. Das elektrische Feld betrug 9,88–18,356 V/m, das Magnetfeld 4,68–8,69 μ T, die Ganzkörper-SAR 0,043–0,135 W/kg. Je 7 Tieren pro Gruppe wurden nach 20, 40 und 60 Tagen zur Bestimmung von oxidativem Stress, DNA-Fragmentierung, Lipidperoxidation (MDA), Proteinoxidation (Proteincarbonyl-Gehalt), Katalase- und Xanthinoxidase-Aktivität (KAT, XO), alkalischer (DNase I) und saurer DNase-Aktivität (DNase II) und der Hoden-Proteine das Hodengewebe entnommen und homogenisiert.

Ergebnisse: Die MDA-Konzentrationen (Lipidperoxidation) waren signifikant höher in den bestrahlten Geweben im Vergleich zu Kontroll- und Melatoningruppe. Der Proteincarbonyl-Gehalt war signifikant höher als in den Kontroll- und Melatoningruppen nach 40 und 60 Tagen. Die Melatoningabe reduzierte die MDA-Konzentration im Gewebe der bestrahlten Tiere nach 20, 40 und 60 Tagen. Die Katalase-Aktivität war signifikant vermindert und die Xanthinoxidase-Aktivität signifikant erhöht bei Mikrowellenbestrahlung. Die Melatoningabe erzeugte unter Mikrowellenbestrahlung eine leichte, nicht-

signifikante Steigerung der Katalase-Aktivität. Weder Proteincarbonyl-Gehalt noch die Aktivität von Katalase und alkalischer DNase waren durch die zusätzliche Melatoninbehandlung verändert. Bei der XO-Aktivität erzeugte das Mobiltelefon einen signifikanten Anstieg nach 40 und 60 Tagen gegenüber den Kontroll- und Melatonin-Gruppen; zusätzliche Melatoningabe verhinderte den XO-Aktivitätsanstieg in den bestrahlten Tieren bei 40 und 60 Tagen. Die alkalische DNase-Aktivität war erhöht nach 900-MHz-Bestrahlung nach 20, 40 und 60 Tagen. Zusätzliche Melatonin-Gabe beeinflusste nicht die Aktivität der alkalischen DNase, während bei der sauren DNase eine signifikante Aktivitätsreduktion zu sehen war.

Schlussfolgerungen: Melatonin zeigte starke antioxidative Wirkung in den Hoden von Ratten, die der Mikrowellenstrahlung ausgesetzt waren. Melatonin hatte keine signifikante Wirkung auf die Katalase-Aktivität, aber die signifikante Verminderung der Aktivität der sauren DNase spricht für eine Minderung der Apoptose im Hodengewebe nach Mikrowellenbestrahlung. Der oxidative Stress und auch die DNA-Fragmentierung nahmen durch Melatoningabe ab. Mikrowellen scheinen eine Schwächung in der antioxidativen Verteidigung der Zellen zu erzeugen, wodurch die Zellen verletzlich in Hinsicht auf oxidative Schädigung werden. Melatonin wirkt als starkes Antioxidans dagegen und vermindert so auch die Apoptose.

Wirkungen auf Neurotransmitter

Häufige Nutzung von Mobiltelefonen verändert die Hypothalamus-Hypophyse-Nebennieren-Achse nach mentalem Stress bei gesunden Kindern und Jugendlichen. Eine Pilot-Studie.

Frequent cellular phone use modifies hypothalamic-pituitary-adrenal axis response to a cellular phone call after mental stress in healthy children and adolescents: A pilot study.

Von: Geronikolou SA, Chamakou A, Mantzou A, Chrousos G, Kanaka-Gantenbein C

Erschienen in: Sci Total Environ. 2015; 536: 182–188

Die Verbindung vom Hypothalamus über die Hypophyse zur Nebenniere, die HPA-Achse, ist der Weg der Hormonreaktionen im Organismus, der bei körperlichem oder geistigem Stress in Gang gesetzt wird. Der Hypothalamus gibt Signale direkt an die Hypophyse, die verschiedene Hormone produziert, u. a. das thyreotrope Hormon (Thyreotropin TSH), das die Schilddrüse zur Ausschüttung der Hormone Tri-Jod-Thyronin (T3) und Thyroxin (T4) veranlasst. Die Nebennieren produzieren das Stresshormon Cortisol, dessen Konzentration bei Stress erhöht ist und in Blut und Speichel nachgewiesen werden kann. Cortisol beeinflusst auch die Bildung von T3. Diese Studie sollte die Reaktion dieser Achse auf Mobilfunkgespräche nach geistigem Stress bei gesunden Kindern und Jugendlichen untersuchen, und mit Messungen von Glucose

und Insulin sowie der Schilddrüsenhormone T3 und T4 sollte festgestellt werden, welche anderen Stoffwechselwege noch betroffen sind.

Studiendesign und Durchführung: Zwei Gruppen von 28 gesunden Schulkindern zwischen 11 und 14 Jahren wurden gebildet, die eine nutzte nur gelegentlich ein Handy (Gruppe A, 16 Teilnehmer, 11–12 Jahre), die andere besaß ein Handy und telefonierte regelmäßig (Gruppe B, 12 Teilnehmer, 13–14 Jahre). Am Tag der Tests wurden um 8.00 Uhr Blutproben entnommen zur Bestimmung der Ausgangswerte der Schilddrüsenhormone Tri-Jod-Thyronin (T3) und Thyroxin (T4), Glucose, Insulin, TSH und anderer Parameter. Die Teilnehmer mussten einen Stresstest für Kinder durchlaufen (5 Minuten Vortrag halten und 5 Minuten rückwärtszählen vor Publikum). Danach wurde wieder Blut abgenommen und die obigen Parameter erneut gemessen. Die Bestimmung der Cortisol-Konzentrationen im Speichel wurde vor und nach dem 1. Stresstest vorgenommen, weitere Messungen erfolgten kurz vor dem 2. Stresstest (Handygespräch) und 10 und 20 Minuten nach dem 5-minütigen Telefongespräch.

Ergebnisse: Die Blutuntersuchung ergab lt. Tabelle einige Unterschiede zwischen den Gruppen, z. B. bei BMI, ACTH, Insulin und T4. Die Ausgangswerte von Cortisol im Speichel von Gruppe B waren höher gegenüber Gruppe A, sie blieben höher und veränderten sich kaum während der Tests auf mentalen Stress oder/und das Telefongespräch. Bei Gruppe A war der Cortisol-Ausgangswert im Speichel signifikant niedriger als in Gruppe B, die Werte waren nach den Tests noch niedriger bei kurzzeitig leichtem Anstieg nach mentalem Stress. Das kann auf den Altersunterschied zurückzuführen sein, kann aber auch ausdrücken, dass für die älteren Kinder, die ein Mobiltelefon besitzen und es täglich benutzen, der Stressor nichts Neues ist und der Stress von der HPA-Achse nicht mehr als Stress empfunden wird. Bei den Schilddrüsenhormonen sah man, dass das Telefongespräch Auswirkungen auf die Gruppe A hatte, auf Gruppe B nicht. Das deutet auf eine Verbindung zwischen der Achse Hypothalamus, Hypophyse und Schilddrüse (HPT-Achse) und der HPA-Achse bei den jüngeren Kindern hin, die durch die 900-MHz-Mobilfunkstrahlung zustande kommt.

Schlussfolgerungen: Diese Studie weist mit Messungen der Cortisol-Konzentrationen im Speichel nach, dass die HPA-Achse bei Kindern und Jugendlichen unterschiedlich auf Handygespräche nach geistigem Stress reagiert, je nachdem, ob die Person gelegentlicher oder regelmäßiger Nutzer des Mobiltelefons ist.

Wirkung von WLAN-Signalen (2,45 GHz) auf Herzvariabilität und Blutdruck bei Albino-Kaninchen.

Effects of acute exposure to WIFI signals (2.45 GHz) on heart variability and blood pressure in Albinos rabbit.

Von: Saili L, Hanini A, Smirani C, Azzouz I, Azzouz A, Sakly M, Abdelmelek H, Bouslama Z.

Erschienen in: Environ Toxicol Pharmacol. 2015; 40 (2): 600–5

Die WLAN-Nutzung bei 2,40 GHz steigt und es mehren sich die Hinweise, dass das Herz-Kreislauf-System beeinflusst und oxidativer Stress hervorgerufen wird. Die Studie hatte zum Ziel, erstens die Wirkung der WLAN-Strahlung auf die Herzfrequenzvariabilität (HFV) und den Blutdruck festzustellen und zweitens die physiologische Wirkung der Katecholamine Dopamin und Epinephrin auf die Herzrate während der WLAN-Bestrahlung zu messen. Das Elektrokardiogramm und der Blutdruck wurden während der einstündigen 2,45-GHz-Bestrahlung bei erwachsenen männlichen Kaninchen untersucht.

Studiendesign und Durchführung: 36 Kaninchen von ca. 2 kg Gewicht wurden in 6 Gruppen zu je 6 Tieren eingeteilt und der Strahlung eines Accesspoints von 2,45 GHz vormittags eine Stunde lang ausgesetzt. Die Tiere lagen auf dem Rücken und die Antenne des WLAN-Senders war in 25 cm Entfernung an der rechten Seite nahe am Herzen platziert. Die Gruppen waren 1. unbestrahlte Kontrolle, 2. Bestrahlung, 3. und 4. Epinephrin bzw. Epinephrin und Bestrahlung, 5. und 6. Dopamin bzw. Dopamin und Bestrahlung. Die Herzrätigkeit wurde während der Bestrahlung mit dem EKG aufgezeichnet.

Ergebnisse: Die akute Bestrahlung der Kaninchen mit WLAN-Strahlung führte zu einer deutlichen Reduktion der RR-Intervall-Dauer im Vergleich zur Kontrolle, das bedeutet eine Steigerung der Herzfrequenz. Außerdem sah man einen Anstieg von PR- und QT-Intervallen. WLAN könnte die Aktivität besonders des Atrioventrikular-Knotens beeinflussen. Die Herzrate wurde gesteigert, aber das EKG war unverändert während der Bestrahlung. Zudem wurde ein signifikanter Anstieg des Blutdrucks beobachtet. Die einmalige Injektion von Dopamin (0,5 ml/kg i. v.) erhöhte bei Bestrahlung stark die Herzfrequenz und verminderte die maximale Amplitude gegenüber den Tieren, die nur Dopamin erhalten hatten. Die einmalige Injektion von Epinephrin steigerte die Herzrate bei Bestrahlung. Die Analyse des EKGs zeigte, dass WLAN eine Kombination von erhöhtem Blutdruck und veränderter Herzrate induziert. Nach i. v. Injektion von Dopamin und Epinephrin während der Bestrahlung zeigte sich, dass WLAN die Wirkung der beiden Katecholamine auf die Herzfrequenzvariabilität und den Blutdruck gegenüber der Kontrolle verändert. Die Daten zeigen klar, dass die Wirkung von Epinephrin durch die Mikrowellen ausgeschaltet wurde. Man kann daraus schließen, dass 2,45-MHz-Strahlung von WLAN-Geräten wahrscheinlich auf Rezeptoren einwirkt, wobei die Rezeptor-Ligand-Bindung verändert wird. Andere Arbeitsgruppen haben gefunden, dass die Bindungswahrscheinlichkeit durch die elektrische Komponente der Mikrowellen modifiziert wird, und frühere Studien fanden Veränderungen an den Membranen.

Schlussfolgerungen: Diese Ergebnisse zeigen erstmals, dass WLAN-Strahlung die Herzratenvariabilität beeinflusst und zu höherer Herzrate und höherem Bluthochdruck führt. WLAN verändert die physiologische Wirkung von Katecholaminen im Herz-Kreislauf-System, vielleicht über die Unterbrechung der Wechselwirkung zwischen Ligand und Rezeptoren in den Kaninchen. Das heißt, die WLAN-Frequenzen haben direkt und/oder indirekt einen Einfluss auf das Herz-Kreislauf-System. Dass die akute WLAN-Bestrahlung einen Anstieg der Herzrate und des Blutdrucks erzeugt, zeigt eine modulatorische Wirkung der Strahlung auf die Regulation des Herz-Kreislauf-Systems. Diese Studie deutet darauf hin, dass WLAN in der Nähe von tierischen oder menschlichen Körpern ungünstig ist. WLAN ist überall, man ist den Strahlen der Nachbarn ausgesetzt, aber man kann das eigene Gerät nachts ausschalten. Damit erreicht man eine signifikante Reduktion der biologischen Wirkung durch die Entfernung zu den Routern. Zukünftige Untersuchungen werden auf Langzeitwirkung von WLAN in einem relevanten Abstand zum Körper von Tier und Mensch fokussieren.

Oxidativer Stress, DNA – Schäden, Wirkungen auf das Gehirn

Verstärkte DNA-Oxidation (8-OHdG) und Protein-Oxidation (AOPP) durch ein schwaches elektromagnetisches Feld (2,45 GHz) im Gehirn von Ratten und die schützende Wirkung von Knoblauch.

Increased DNA oxidation (8-OHdG) and protein oxidation (AOPP) by Low level electromagnetic field (2.45 GHz) in rat brain and protective effect of garlic.

Von: Gürler HS, Bilgici B, Akar AK, Tomak L, Bedir A

Erschienen in: Int J Radiat Biol 2014; 90 (10): 892–896

Mikrowellen können nicht-thermische Wirkungen haben wie oxidative Schädigungen, durch Langzeiteinwirkung auch bei niedrigen Feldstärken. Die heute weit verbreitet genutzten Laptops mit WLAN verbreiten im Nahfeld Strahlung mit 2,45 GHz, was bei chronischer Einwirkung während des Datentransfers zu Organschäden führen kann. Es gibt nicht viele Studien, die die oxidativen Wirkungen von 2,45-GHz-Strahlung untersucht haben. Im normalen physiologischen Zustand besteht im Körper ein Gleichgewicht zwischen oxidativem und antioxidativem Status. Störungen dieses Gleichgewichts können bis zur Zellschädigung führen. Wenn die innere antioxidative Kapazität überfordert ist, kann dieses Gleichgewicht nicht aufrechterhalten werden und es kommt zu oxidativen Schäden. Dann sollten Antioxidantien von außen zugeführt werden. Seit einiger Zeit weiß man, dass die Schwefelverbindungen des Knoblauchs antioxidative Wirkung haben. Von Knoblauch ist außerdem bekannt, dass er die Induktion von SOD, CAT, reduziertem GSH, GPx und anderen Enzymen steigern kann. Das

Ziel dieser Studie war zu erkunden, ob Knoblauch eine schützende Wirkung hat, wenn die nicht-thermisch einwirkenden Mikrowellen bei 0,02 W/kg SAR bzw. 3,68 V/m eines WLAN-Systems Schäden an DNA, Lipiden und Proteinen im Hirngewebe und Blutplasma von Ratten erzeugen. Der Grenzwert für SAR liegt bei 0,08 W/kg für die Öffentlichkeit.

Studiendesign und Durchführung: 36 Ratten, 5–6 Monate alt, wurden in 3 Gruppen geteilt: unbestrahlte Kontrolle, Bestrahlung mit 2,45 GHz (217-Hz-Modulation), 1,04 mW/cm², 3,68 ± 0,36 V/m (3,17–4,88 V/m) bzw. als dritte Gruppe Bestrahlung und Knoblauchgabe. Die Bestrahlung erfolgte 1 Stunde/Tag an 30 aufeinander folgenden Tagen. Gruppe 3 erhielt täglich 1 Stunde vor der Bestrahlung 2 ml Knoblauchextrakt (Konzentration 50 mg/ml), das entspricht 500 mg/kg Körpergewicht über 30 Tage. Der Knoblauch-Extrakt wurde oral verabreicht. Nach den 30 Tagen wurden Blut und die Gehirne entnommen und auf Lipidperoxidation (MDA), Proteinoxidation (durch oxidative Schädigung von Proteinen können Carbonylgruppen gebildet werden) in Serum und Plasma und die DNA-Oxidation (Bildung von 8-hydroxydeoxyguanosine, 8-OHdG) im Vollblut und im Hirngewebe untersucht.

Ergebnisse: Die bestrahlte Gruppe hatte signifikant erhöhte 8-OHdG-Konzentrationen im Hirngewebe und Blutplasma gegenüber der Kontrollgruppe. Die Verabreichung des Knoblauchextraktes vor der Bestrahlung verhinderte den Anstieg der DNA-Oxidation (des 8-OHdG-Gehaltes). Die Werte der Proteinoxidation (AOPP-Konzentrationen) waren im Plasma signifikant höher gegenüber der Kontrolle, während die Knoblauchgabe im Plasma Werte erbrachte, die denen der Kontrolle entsprachen. Im Hirngewebe sah man keine Unterschiede zwischen den 3 Gruppen. Bei der Bestimmung der Lipidperoxidation zeigten sich keine Unterschiede zwischen den 3 Gruppen, weder im Hirngewebe noch im Blutplasma.

Schlussfolgerungen: Die Experimente zeigen, dass 2,45-GHz-Bestrahlung die DNA und Proteine oxidativ schädigen kann (das Molekül 8-OHdG entsteht hauptsächlich durch oxidative Schädigung/oxidativen Stress der DNA, die erhöhten Carbonylkonzentrationen zeigen erhöhten oxidativen Stress der Proteine an). Dass keine erhöhte Lipidperoxidation auftrat, könnte an dem niedrigen SAR-Wert von 0,02 W/kg liegen. Man kann daraus schließen, dass niedrige Feldstärken von Mikrowellen DNA-Schädigung in Hirngewebe und Blutplasma der Ratten steigern, während die Proteinoxidation nur im Plasma erhöht war. Knoblauch kann diese oxidativen Wirkungen signifikant vermindern.

Oxidative Veränderungen und Apoptose bei NIH/3T3-Zellen durch elektromagnetische Felder von 1800 MHz.

Oxidative changes and apoptosis induced by 1800-MHz electromagnetic radiation in NIH/3T3 cells.

Von: Hou Q, Wang M, Wu S, Ma X, An G, Liu H, Xie F

Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (1): 85–92

Da bisher nicht eindeutig geklärt ist, an welchem Punkt Tumoren durch 1800-MHz-Strahlung entstehen können, wurden die häufig zu Krebsentstehung verwendeten NIH/3T3-Zellen (embryonale Fibroblastenzelllinie) bei 2 W/kg SAR, dem Grenzwert, eingesetzt. Bekannt ist, dass reaktive Sauerstoffmoleküle (ROS) die Hauptursache für viele Gesundheitsprobleme sind, dazu gehören Krebsentstehung und Alterung von Zellen. ROS können durch oxidativen Stress Makromoleküle in biologischen Systemen schädigen, besonders DNA, und zu Apoptose (programmiertem Zelltod) führen. Apoptose ist ein Prozess, der geschädigte Zellen veranlasst, selbstständig den programmierten Zelltod durchzuführen, der oft eintritt nach Schädigung von Schlüssel-molekülen wie DNA, Lipiden und Proteinen. Oxidativer Stress ist an der Einleitung und Weiterentwicklung von Krebs beteiligt. Ob 1800-MHz-Strahlung das induzieren kann, sollte in dieser Studie mit NIH/3T3-Zellen die intrazelluläre ROS-Produktion, DNA-Schädigung und Apoptose untersucht werden.

Studiendesign und Durchführung: Die NIH/3T3-Fibroblasten wurden intermittierender (5 Minuten an, 10 aus) 1800-MHz-Strahlung über 0,5, 1, 1,5, 2, 4, 6 oder 8 Stunden ausgesetzt. Die mit 217 Hz gepulsten 2 W/kg SAR erzeugte ein Generator, kein Mobiltelefon. Danach wurden ROS (im Zellplasma), DNA-Doppelstrangbrüche und Apoptoserate bestimmt. Alle Bestimmungen wurden dreimal wiederholt.

Ergebnisse: Die intrazellulären ROS-Konzentrationen waren nach 1, 4 und 8 Stunden signifikant erhöht gegenüber den scheinbestrahlten Kontrollen (53,97 %), die höchste Konzentration war mit 89,89 % bei 1 Stunde zusehen. Bei der positiven Kontrolle mit H₂O₂ betrug der Anteil 92,32 %. Nach 4 Stunden war der Wert auf 72,26 % gefallen und nach 8 Stunden betrug der Wert 78,27 %. Die DNA-Schäden, die bei Anwendung dieser Methode in Doppelstrangbrüchen bestanden, waren gegenüber den Scheinbestrahlungen nach 2, 4, 6 und 8 Stunden nur leicht erhöht. Die Apoptoseraten waren im Vergleich mit ihren scheinbestrahlten Kontrollen nach 1, 4, und 8 Stunden signifikant erhöht.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen, dass die signifikant erhöhten intrazellulären ROS-Konzentrationen in den NIH/3T3-Fibroblastenzellen nach intermittierender 1800-MHz-Bestrahlung mit 2 W/kg die höchste Konzentration bei 1 Stunde erreichen. Danach nimmt die Konzentration bis 8 Stunden leicht ab. ROS sind Abfallprodukte des normalen Sauerstoff-Stoffwechsels, aber im Übermaß schädlich für die meisten Zellen. ROS können die DNA direkt schädigen und die Proteinfunktionen behindern, wodurch molekulare Zellprozesse und Signalübertragungen eingeschränkt werden. Dies kann zur Apoptose führen. Dass die ROS-Konzentrationen nach 1

Stunde abnehmen, kann auf Reparaturmechanismen zurückzuführen sein, indem antioxidative Moleküle wie Carotinoide als Reaktion auf den oxidativen Stress ausgeschüttet werden. Es ergaben sich nicht-signifikant erhöhte DNA-Doppelstrangbrüche, nur diese sind mit der angewendeten Methode sichtbar. So können andere Schäden an der DNA entstanden sein oder an anderen Makromolekülen, die die signifikant erhöhten Apoptoseraten bei 1, 4 und 8 Stunden erklären könnten.

Mikrowellen niedriger Intensität rufen oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen und DNA-Schäden in Rattenhirnen hervor.

Low intensity microwave radiation induced oxidative stress, inflammatory response and DNA damage in rat brain.

Von: Megha K, Deshmukh PS, Banerjee BD, Tripathi AK, Ahmed R, Abegaonkar MP

Erschienen in: Neurotoxicology 2015; 51: 158–165

Diese Studie wurde durchgeführt, um den Einfluss von Mikrowellen auf oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen und DNA-Schäden im Gehirn zu bestimmen. Das Gehirn ist reich an vielfach ungesättigten Fettsäuren und hat eine hohe Stoffwechselrate, das macht es anfälliger für oxidative Schädigung als andere Organe. Die SAR-Grenzwerte der ICNIRP für elektromagnetische Felder bis 10 GHz für die Öffentlichkeit sind 0,08 W/kg für den ganzen Körper und 2 W/kg für Kopf und Rumpf. In früheren eigenen Experimenten waren Ratten 30 Tage Mikrowellen geringer Intensität ausgesetzt gewesen, und man fand oxidativen Stress und DNA-Schäden in den Rattenhirnen. Jetzt sollte unter Langzeitbestrahlung über 60 Tage der oxidative Stress, die Entzündungsreaktionen und DNA-Schäden im Gehirn bestimmt werden und welche Ursachen dafür in Frage kommen.

Studiendesign und Durchführung: 24 männliche Ratten wurden in 4 Gruppen zu je 6 Tieren eingeteilt: als Kontrolle Scheinbestrahlung und die drei anderen Gruppen erhielten Bestrahlung mit verschiedenen Frequenzen (900, 1800 und 2450 MHz) über einen Signalgenerator: Die SAR-Werte betragen 0,59, 0,58 bzw. 0,66 W/kg, die 60 Tage, 2 Stunden/Tag 5 Tage/Woche einwirkten. Am Ende der Bestrahlung wurde das Hippocampus-Gewebe entnommen und oxidative Stress-Parameter (MDA, PCO, GSH, SOD und KAT) und Zytokine (die pro-entzündlichen Zytokine IL-2, IL-6, TNF- α und IFN- γ , sie leiten eine Entzündungsreaktion ein) sowie Gesamtprotein und die DNA-Schädigung mit dem alkalischen Komet-Test bestimmt.

Ergebnisse: Es gab keine Veränderungen in der Körpertemperatur zwischen den Gruppen. Die Bestrahlung resultierte in allen untersuchten Parametern und bei allen 3 Frequenzen zu signifikanten Veränderungen. Signifikanter Anstieg wurde gefunden bei oxidativem Stress, Malondialdehyd (MDA), Proteincarbonyl (PCO) und Katalase (KAT) im Vergleich zu der scheinbestrahlten Kontrolle. Glutathion (GSH) und Superoxid-Dismutase (SOD) waren signifikant vermindert. Die Zytokine IL-2, IL-6, TNF- α und IFN- γ waren signifikant erhöht und es tra-

ten signifikant mehr DNA-Schädigungen gegenüber der Kontrolle auf. In allen Tests zeigte sich die stärkste Wirkung bei 2450 MHz, 1800 MHz hatte etwas geringere Werte. Bei 900 MHz war der signifikante Unterschied immer zur Kontrolle, bei 1800 MHz häufig auch zu 900 MHz und bei 2450 MHz z. T. auch zu 1800 und 900 MHz. Beim Komet-Test (DNA-Einzelstrangbrüche) waren alle Parameter signifikant erhöht gegenüber der Kontrolle, z. B. war die Schweif-DNA bei 900, 1800 und 2450 MHz um etwa 32, 38 und 40 % erhöht, das Schweifmoment war 5,5-, 8,9- bzw. 9,3-fach erhöht. Die Maximalwerte wurden immer durch 2450 MHz erzeugt.

Schlussfolgerungen: Mikrowellen geringer Intensität verursachen oxidativen Stress, Entzündungsreaktionen und DNA-Schäden in den Gehirnen der Ratten. Die Wirkung der Frequenzen war unterschiedlich, aber immer signifikant verschieden von der scheinbestrahlten Kontrolle. Je höher die Frequenz, desto stärker sind die schädlichen Wirkungen. Die Studie zeigt auch, dass die DNA-Schädigung im Gehirn mit dem oxidativen Stress (oxidative DNA-Schäden) und den Entzündungsreaktionen zusammenhängt. Mikrowellen führen zu oxidativem Stress, der ruft Entzündungsreaktionen hervor, die DNA-Schädigung zur Folge haben. Außerdem werden Reparaturmechanismen über Entzündungsreaktionen aufgrund von Signalen der geschädigten DNA aktiviert. Diese Ergebnisse decken sich mit vielen Ergebnissen anderer Forscher, auch wenn oft andere Versuchsbedingungen vorlagen.

Bestrahlung durch Sendeanlagen

Schützende Wirkung von Sesamöl gegen oxidativen Stress, der durch Mobilfunkbasisstationen hervorgerufen wird.

Protective role of sesame oil against mobile base station-induced oxidative stress.

Von: Marzook EM, Abd El Moneim AE, Elhadary AA

Erschienen in: Journal of Radiation Research and Applied Sciences 2014; 7 (1): 1–6

In den letzten 20 Jahren haben mehrere Studien einen Zusammenhang zwischen elektromagnetischer Strahlung und schweren Gesundheitsproblemen gezeigt. Die Strahlung von Mobiltelefonen kann biologische Systeme beeinflussen durch Erzeugung von freien Radikalen, die die Lipidperoxidation steigern und die antioxidative Verteidigung schwächen, was zu oxidativem Stress im menschlichen Gewebe führt. Studien haben auch gezeigt, dass Strahlung von Mobiltelefonen nicht-thermische Wirkungen auf Mitochondrien, Apoptose, Hitzeschockproteine, Zelldifferenzierung und DNA-Brüche haben. Wenn ROS entstehen, wird eine Reihe von Enzymfunktionen und Zellbestandteilen verändert (z. B. KAT, SOD, GSH, Lipide, Proteine). Heute wird gern auf natürliche antioxidative Stoffe zurückgegriffen, die die Zellen vor oxidativen Schäden schützen, einer davon ist Sesamöl. Diese Studie wurde durchge-

führt, um einerseits die Bedrohung durch zunehmende Strahlung von Basisstationen und andererseits die antioxidative Wirkung von Sesamöl gegen oxidativen Stress zu untersuchen.

Studiendesign und Durchführung: 32 männliche erwachsene Ratten (150–170 g) wurden in 4 Gruppen eingeteilt: unbestrahlte Kontrolle, 900-MHz-Strahlung, Strahlung mit zusätzlich 1,5 bzw. 3 ml Sesamöl. Die Bestrahlung erfolgte über eine 900-MHz-Basisstation, die auf einem Haus in Kairo in 8 m Entfernung stand. Die Tiere waren einer Leistungsflussdichte von 0,5 mW/cm² ausgesetzt. Die Strahlung wirkte 8 Wochen 24 Stunden/Tag ein, die Tiere in Gruppe 3 und 4 bekamen dreimal/Woche Sesamöl oral verabreicht. Am Ende wurden Blutproben entnommen und die Parameter Gesamt-Testosteron, Superoxid-Dismutase (SOD), Katalase (KAT), Glutathion-Reduktase (GSH-Rx) und Lipide wie Gesamt-Cholesterin (Ch), Triglyzeride (TG), LDL-Cholesterin (LDL-Ch) und HDL-Cholesterin (HDL-Ch) im Serum bestimmt.

Ergebnisse: Testosteron war signifikant erhöht gegenüber der Kontrolle in allen Gruppen und die signifikante Zunahme in den Ölgruppen erfolgte dosisabhängig. SOD- und KAT-Aktivitäten nahmen signifikant ab bei den bestrahlten Tieren und stiegen signifikant an in den Ölgruppen mit steigender Öldosis. Bei den Triglyzeriden waren zwischen Kontrolle und bestrahlter Gruppe keine Unterschiede, nach Gabe von Sesamöl waren die Werte signifikant höher. Gesamt-Cholesterin zeigte eine leichte Reduktion in der Gruppe 3 und signifikante in Gruppe 4, da war auch eine signifikante Steigerung der GSH-Rx zu verzeichnen.

Bei HDL-Ch hatte die Gruppe 2 signifikant niedrigere Werte, die mit 1,5 ml Sesamöl nur wenig anstiegen und auch bei 3 ml Öl nicht den Wert der Kontrolle erreichte, während beim LDL-Ch im Serum die bestrahlte Gruppe 2 einen signifikant höheren Gehalt hatte und die Ölverabreichung die Werte zwar minderten, aber nicht auf die Werte der Kontrolle.

Schlussfolgerungen: Aus den Ergebnissen kann man schließen, dass 900-MHz-Strahlung einer Basisstation oxidativen Stress in Lebewesen erzeugt, erkennbar an den reduzierten Aktivitäten von SOD, KAT und GSH-Rx in der bestrahlten Gruppe, und dass Sesamöl als Antioxidans verwendet werden kann, um den oxidativen Stress zu verringern. Da beispielsweise HDL-Ch das „gute“ Cholesterin ist, das durch die Bestrahlung verringert und durch Sesamöl gesteigert wurde, und umgekehrt das „schlechte“ LDL-Ch unter Bestrahlung anstieg, aber durch Sesamöl vermindert wurde, ist die Sesamölvirkung vorteilhaft. Insgesamt bestätigen die Ergebnisse dieser Studie Ergebnisse vieler anderer Studien.

Auswirkungen auf Tiere

Ameisen können als Bioindikatoren genutzt werden, um biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder von einigen drahtlosen Geräten aufzudecken.

Ants can be used as bio-indicators to reveal biological effects of electromagnetic waves from some wireless apparatus.

Von: Cammaerts MC, Johansson O

Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (4): 282–288

Derzeit gibt es viele wissenschaftliche Hinweise für die Hypothese, dass drahtlose Kommunikationssysteme schädliche Wirkungen auf Lebewesen haben, aber die Gesellschaft kann auf diese Einrichtungen, die künstliche Felder erzeugen, nicht verzichten. Man braucht also Geräte, die Schutz gegen zu hohe Strahlenbelastung bieten, deren schützende Wirksamkeit aber überprüft werden muss. Zur Überprüfung, ob schädliche Strahlung von einem Gerät ausgeht, eignet sich ein schneller und einfacher Test mit Ameisen als Tiermodell. Die grundlegenden Fragen waren: Erzeugen Smartphones und DECT-Schnurlostelefone schädliche Strahlen für Lebewesen? Sind Mobiltelefone nur im aktiven Zustand schädlich, oder schon im Stand-by-Modus, ausgeschaltet und ohne Akku? Unter welchen Bedingungen sind verkabelte Computer frei von schädlichen Wirkungen? Einige Insekten reagieren sehr empfindlich, auch quantitativ auf Veränderungen in ihrer Umwelt, z. B. die Fruchtfliege *Drosophila*, Bienen und Ameisen. Letztere können einfach im Labor gehalten werden und sind jederzeit einsetzbar. Wenn Ameisen künstlichen elektromagnetischen Feldern geringer Intensität ausgesetzt sind, reagieren sie sofort mit gestörtem Verhalten, so dass sie als Indikatoren gut geeignet sind.

Studiendesign und Durchführung: Im Einsatz waren normale käuflich zu erwerbende Standardgeräte. Ein 900-MHz-Mobiltelefon, ein DECT-Schnurlostelefon, ein WLAN-Router und ein Notebook. Die Telefone wurden unter dem Tablett angebracht, auf dem sich die Ameisenkolonien befanden, WLAN-Router und Notebook standen 20–30 cm von den Kolonien entfernt vor dem Tablett. Beim Mobiltelefon wurden die Ameisen zunächst ohne und mit Akku, dann im Stand-by- und Sprachmodus beobachtet. DECT-Telefon und Smartphone wurden nur im Sprachmodus getestet, der WLAN-Router 30 Minuten im aktiven Zustand und das Notebook mit ein- und ausgeschaltetem WLAN. Die Experimente wurden später mit einem anderen Beobachter verblindet wiederholt und die Ergebnisse bestätigt.

Ergebnisse: Die Ameisen reagierten schon auf das ausgeschaltete Handy mit Akku, sie wichen von ihrer normalen Laufstrecke leicht ab. Stärkere Reaktion erfolgte im Stand-by- und noch stärkere im Sprachmodus. Beim Smartphone reagierten die Tiere ähnlich, beim DECT-Telefon war das abweichende Bewegungsmuster noch stärker ausgeprägt. Sie zeigten Ataxie, Schwierigkeiten, die Beine zu bewegen, waren fast paraly-

siert. Sie konnten kein Futter sammeln, fanden das Nest und den Futterplatz nicht. Als das Mobiltelefon im Stand-by-Modus war, nahmen die Ameisen ihre Brut, trugen sie weit weg und kehrten zurück, nachdem das Gerät ausgeschaltet war. Das dauerte etwa 1 Stunde. Die Tiere waren der Strahlung nur 3 Minuten ausgesetzt, brauchten aber 2–4 Stunden bis zum normalen Laufverhalten. Als der WLAN-Router (600 – 800 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) eingeschaltet wurde, zeigten die Tiere schon nach wenigen Sekunden gestörtes Verhalten, das nach 30 Minuten noch stärker war als nach 5 Minuten. Es dauerte 6–8 Stunden, bis sie wieder zur normalen Futtersuche zurückfanden. Beim Notebook reagierten die Tiere innerhalb von Sekunden verstört, wirkten krank, wenn die WLAN-Funktion (5 Minuten, 300 – 500 $\mu\text{W}/\text{m}^2$) eingeschaltete wurde. Mit deaktiviertem WLAN verhielten sie sich normal.

Schlussfolgerungen: Die Beobachtungen ergaben, dass die Ameisen ein signifikant anderes Bewegungsverhalten haben, wenn Mikrowellen in ihrer Umgebung auftreten. Die Experimente lieferten reproduzierbare, schnelle, einfach zu erzielende quantitative Ergebnisse. Am Computer sollte man das WLAN abschalten, wenn es nicht benötigt wird. Es sollten wirksame Schutzvorrichtungen innerhalb der Geräte entwickelt werden, die die Strahlung heruntersetzen. Man kann die Zahl der Antennen verringern oder deren Strahlungsintensität. Schließlich sind Ameisen nicht psychologisch beeinflussbar, wie Tiere überhaupt und auch Pflanzen. Wenn diese Lebewesen auf Strahlung reagieren, dann nicht, weil sie im Radio oder Fernsehen etwas gehört oder etwas gelesen haben. Sie reagieren auf die schädliche Umweltexposition.

Auswirkungen auf Pflanzen

Exposition bei 915 MHz-Feldern ruft Mikronuklei bei Wurzelspitzen von *Vicia faba* hervor.

Exposure to 915 MHz radiation induces micronuclei in *Vicia faba* root tips.

Von: Gustavino B, Carboni G, Petrillo R, Paoluzzi G, Santovetti E, Rizzoni M

Erschienen in: Mutagenesis 2015: Oct 17. pii: gev071

Bei steigender Mobilfunknutzung und drahtloser Netze kamen Fragen auf bezüglich des Krebspotenzials der Mikrowellen, die diese Geräte aussenden. Widersprüchliche Ergebnisse bei Säugern führten zu der Überlegung, ob in Pflanzen klarere Ergebnisse erzielt werden können. Deshalb wurde an den Wurzelspitzen der Ackerbohne (*Vicia faba*) untersucht, ob die Strahlung eines 900-MHz-Mobiltelefons DNA-Schäden hervorruft. Es gibt nur wenige Informationen über mutagene Wirkung von Mikrowellen auf Pflanzen.

Studiendesign und Durchführung: Samen der Ackerbohne ließ man keimen, nach 4 Tage wurden die Spitzen der Primärwurzeln 5 mm vom Ende entfernt, um das Wachstum von Sekundärwurzeln zu fördern. Nach weiteren 4 Tagen sind die Sekun-

därwurzeln gewachsen, so dass die Bestrahlung beginnen kann. Je 20 Keimlinge pro Ansatz wurden verwendet. Die kontinuierliche 915-MHz-Strahlung eines Generators wirkte 72 Stunden auf die Wurzeln ein mit den 3 Feldstärken $23,0 \pm 1,5$, $35,2 \pm 1,5$ und $46,0 \pm 3,1$ W/cm². Die SAR betrug $0,4 - 1,6$ W/kg. Dazu kamen eine scheinbestrahlte und eine positive Kontrolle mit dem mutagenen Herbizid Maleinsäurehydrazid (MH). Die Einwirkzeit betrug 4 Stunden, darauf folgten 68 Stunden Erholung. Nach 72 Stunden wurden die Wurzelspitzen entnommen und die Zellen im Mikroskop auf Mikrokerne untersucht. Die Häufigkeit der Mikrokerne wurde verblindet von 3 verschiedenen Untersuchern in 75.000 Zellen pro Experiment, in 5000 Zellen pro Wurzelspitze bestimmt.

Ergebnisse: Die drei unabhängigen Experimente zeigten einen sehr signifikanten Anstieg von Mikrokerneln nach Bestrahlung bei 8 von 9 Ansätzen gegenüber der Scheinbestrahlung in allen 3 Experimenten. Die Mikrokernel-Häufigkeit zwischen Scheinbestrahlung und positiver Kontrolle war hochsignifikant. Bei der höchsten Feldstärke von 46 W/cm² war der Anstieg hochsignifikant ($p < 0,0001$), das entspricht SAR-Werten von $1-1,6$ W/kg, einem Bereich weit unter den Grenzwerten. Die Durchschnittswerte der Mikrokernelfrequenz betrugen $2,2 \pm 0,3$ bei der scheinbestrahlten Kontrolle, $4,6 \pm 0,5$ bei 23 W/m², $6,7 \pm 0,6$ bei $35,2$ und $14,6 \pm 1,6$ bei 46 W/m², bei der positiven Kontrolle $28,6 \pm 11,9$. Das sind 2,3- bis 7-mal mehr als die Kontrollwerte. Es können kaum thermische Wirkungen vorliegen, denn die Pflanzen wurden gleich bleibend bei $20-22$ °C gehalten.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen klar, in Übereinstimmung mit Ergebnissen anderer Forscher, dass 915-MHz-Mobilfunkstrahlung DNA-Schäden in Eukaryotenzellen hervorruft. Die Ackerbohne eignet sich gut zur Erforschung von Mechanismen, obwohl die Pflanze phylogenetisch weit von Säugtieren entfernt ist. Es gibt die Vorteile, dass man, anders als bei Zellkulturen, ganze Organismen untersuchen kann und dass Pflanzen keine Thermoregulation haben.

Durch 1800 MHz-Befeldung gehemmtes frühes Wachstum von Mais-Keimlingen (*Zea mays*) wird durch Veränderungen im Stärke- und Saccharose-Metabolismus hervorgerufen.

EMF radiations (1800 MHz)-inhibited early seedling growth of maize (*Zea mays*) involves alterations in starch and sucrose metabolism.

Von: Kumar A, Singh HP, Batish DR, Kaur S, Kohli RK

Erschienen in: Protoplasma 2015: Aug 16

Magnetfelder der nicht-ionisierenden Strahlung im Bereich 800–2100 MHz sind die häufigsten Anwendungen für drahtlose Kommunikation. Heute gibt es über 7 Milliarden Mobiltelefonnutzer, das sind ca. 96,2 % der Weltbevölkerung mit 96,8 Verträgen pro 100 Personen. Pflanzen spielen eine wichtige Rolle im Ökosystem, weil sie Primärproduzenten sind. Da es bisher wenig Forschung dazu gibt, ist es sinnvoll, die Wirkung der Strahlung auf Pflanzen zu untersuchen. Pflanzen sind fest

an ihren Standort gebunden und daher ständig der Strahlung ausgeliefert. Welche Auswirkungen die 1800-MHz-Strahlung auf die Stoffwechselwege und die entsprechenden Enzymaktivitäten sowie auf den Kohlenhydratstoffwechsel in Maispflanzen hat, sollte hier herausgefunden werden.

Studiendesign und Durchführung: 5 Gruppen mit je 5 x 10 Maiskeimlingen wurden gebildet: unbestrahlte Kontrolle, Bestrahlung mit kontinuierlichen mobilfunkähnlichen 1800 MHz für 0,5, 1, 2 und 4 Stunden, SAR $0,169$ W/kg. Nach 7 Tagen wurden die morphologischen Parameter, Länge von Wurzeln und Keimblattscheiden (Koleoptilen) bestimmt. Als biochemische Parameter wurden in den Koleoptilen die Veränderungen in den Gehalten an Chlorophyll, reduzierenden Zuckern und Kohlenhydraten sowie der dazugehörigen Enzyme (saure und alkalische Phosphatasen, saure und alkalische Invertasen, α - und β -Amylasen und Stärkephosphorylasen) untersucht.

Ergebnisse: Nach 7 Tagen wurden nach Kurzzeitbestrahlung keine Veränderungen in Längenwachstum und Chlorophyll gesehen, während nach 4 Stunden Bestrahlung signifikante Wachstumshemmung auftrat. Die Wurzel- und Koleoptilenlänge war 17 bzw. 23 % vermindert nach 4 Stunden, die Hemmung war stärker bei der Koleoptile als bei den Wurzeln. Der Gehalt des photosynthetischen Pigments Chlorophyll war signifikant um 13 % reduziert. Der Gesamt-Kohlenhydratgehalt stieg ab 1 Stunde an, fiel bei 2 und 4 Stunden um 14 und 18 % ab. Die Menge an reduzierenden Zuckern zeigte signifikanten Zuwachs nach 1 Stunde, der Anstieg betrug insgesamt 30, 66 und 82 % bei 1, 2 und 4 Stunden gegenüber der Kontrolle. Die Aktivitäten der Amylasen (α , β) stiegen um 24–92 und 28 – 94 % von 1– 4 Stunden gegenüber der Kontrolle an. Dagegen nahmen die Aktivitäten der Stärkephosphorylasen unter Bestrahlung um 36, 53 und 74 % ab bei 1, 2 und 4 Stunden. Die Aktivitäten der Saccharose-spaltenden Enzyme saure und alkalische Invertase waren gesteigert um 16–88 bzw. 82–266 % nach 1 bis 4 Stunden, während die spezifischen Aktivitäten der sauren Phosphatasen nach 1 und 2 Stunden um 14 und 23 % anstiegen und nach 4 Stunden um 14 % sanken. Die Aktivitäten der alkalischen Phosphatasen stiegen bei 1 Stunde um 21 % und fielen ab um 10 und 28 % bei 2 und 4 Stunden.

Schlussfolgerungen: Die Studie ergab, dass 1800-MHz-Strahlung das Wachstum der Mais-Keimlinge hemmt durch Eingriff in den Stärke- und Zuckerstoffwechsel. Der Gehalt an Kohlenhydraten und Zuckern wird verändert wie auch die Enzyme Amylasen, Phosphatasen, Phosphorylasen und Invertasen. Unter hohem Stress bauen Pflanzen Kohlenhydrate ab, hier sichtbar an den erhöhten Aktivitäten der Enzyme und des abnehmenden Chlorophyllgehalts. Die durch Bestrahlung erhöhten Aktivitäten der Amylasen ergeben hohe Gehalte an Zuckern, die als Energiequelle zum Wachstum benötigt werden und in größerem Umfang bei Stress. Die Studie zeigt, dass die schnelle Zunahme der Strahlung in der natürlichen Umgebung möglicherweise zu Störungen der physiologischen und biochemischen Prozesse in den Pflanzen führt. Es sollten geeignete Risikobewertungen vorgenommen und Managementstrategien entwickelt werden zur Reduktion der Strahlungverschmutzung in der Natur.

Einfluss von elektromagnetischer Befeldung bei Mikrowellen-Frequenz auf die Terpen-Freisetzung bei aromatischen Pflanzen.

Influence of microwave frequency electromagnetic radiation on terpene emission and content in aromatic plants.

Von: Soran ML, Stan M, Niinemets U, Copolovici L

Erschienen in: J Plant Physiol 2014; 171 (15): 1436–1443

Aromatische Pflanzen sind eine wichtige Quelle für Nahrungs- und Heilmittel in medizinischen Behandlungen. Die essentiellen Öle in den Pflanzen haben komplexe Zusammensetzungen und sind für die Pflanzen wichtige Verteidigungsmittel gegen Krankheitserreger und Fressfeinde. Gehalt und Zusammensetzung hängen sehr von den Umweltbedingungen ab (z. B. Hitze, Kälte, Trockenheit, Salzgehalt, Mineralienmangel, Gifte, Luft- und Bodenverschmutzung). Pflanzen reagieren bei Stress mit dem Aussenden von aromatischen Stoffen (Düften), teilweise werden sie aus den Ölspeichern entlassen und teilweise werden welche neu gebildet. Neue Umweltverschmutzung ist die steigende Nutzung von Mobiltelefonen und WLAN. Hier sollte der Einfluss von WLAN- und Mobiltelefon-Strahlung auf die Ultrastruktur der Blätter (Blattanatomie), den Ölgehalt und die flüchtigen Stoffe (VOC) in Petersilie (*Petroselinum crispum*), Dill (*Apium graveolens*) und Sellerie (*Anethum graveolens*) untersucht werden. Da unter Stress erhöhte Emissionen entstehen, wird dies durch Mikrowellen auch erwartet.

Studiendesign und Durchführung: Die Pflanzen wurden 3 Wochen nach der Keimung in abgeschirmten Kammern bestrahlt, die Kontrolle blieb unbehandelt. Die Stressbedingungen bestanden in 3-wöchiger Mikrowellenbestrahlung mit einem Mobiltelefon-ähnlichen Gerät (GSM) bei 860–910 MHz und einem WLAN-Router mit 2,412–2,48 GHz (100 mW/m² bzw. 70 mW/m²). Nach der 3-wöchigen Bestrahlung wurden die Blattstruktur im Elektronenmikroskop untersucht (Chloroplasten, Mitochondrien, Stärkekörner und Zellkerne) und die Gehalte an VOC und essentiellen Ölen bestimmt. Alle Experimente wurden mit 8 verschiedenen Pflanzen wiederholt.

Ergebnisse: Durch die Mikrowellenbestrahlung entstanden dünnere Zellwände, kleinere Chloroplasten und Mitochondrien und gesteigerte Abgabe von VOCs, die bei der WLAN-Strahlung stärker ausgeprägt war. Der essentielle Ölgehalt wurde durch GSM gesteigert, durch WLAN vermindert. Es gab einen direkten Zusammenhang zwischen Mikrowellen-induzierten strukturellen und chemischen Modifikationen in den 3 Pflanzenarten. Die Bestrahlungen führten zu qualitativen und quantitativen Veränderungen in den Blättern. Die Zellwände erschienen leicht gewellt, während die Kontrollpflanzen normale glatte Wände hatten. Die Mitochondrienlänge war geringer und die Anzahl der Cristae (Auffaltungen der inneren Membran) in den Mitochondrien auch etwas geringer, vor allem nach Einwirkung der WLAN-Frequenzen. Die Zellkerne der meisten Zellen waren normal, nur gab es wellige Konturen und mehr Heterochromatin. Die anatomischen Veränderungen waren bei allen drei Arten ähnlich verschieden gegenüber den Kontrollen, am stärksten bei Sellerie. Die Bildung von aromatischen flüchtigen Substanzen und Ölen in den Pflanzen sind überwiegend Monoterpene und Benzenoide. VOC-

Emissionen sind z. T. aus den Öl-Speichern, z. T. neu gebildet worden unter Bestrahlung. Insgesamt waren die VOCs in allen bestrahlten Pflanzen erhöht, viele signifikant gegenüber der Kontrolle, besonders deutlich durch WLAN, aber es gab auch signifikante Unterschiede zwischen GSM- und WLAN-Strahlung.

Schlussfolgerungen: Die Reduktion der Organellengröße deutete auf eine Verschlechterung der Photosynthese und den respiratorischen Stoffwechsel hin. Die dünneren Zellwände in Zellen der Blätter führen zu geringerer Trockenresistenz der Pflanzen. In dieser Studie wurden insgesamt unter Strahlung mehr Öle produziert, am stärksten bei Dill. Unter Stress produzieren die Pflanzen mehr sekundäre Stoffe wie essentielle Öle. Beim Sellerie waren am wenigsten Veränderungen zu sehen, bei der Blattstruktur und bei den chemischen Parametern. WLAN erzeugt mehr Stress, was durch die anatomischen Veränderungen bestätigt wird.

Anmerkung: Die Anzahl der eingesetzten Pflanzen ist unklar und die Durchführung der Experimente ist ungenau beschrieben. Messwerte und Signifikanzen waren nur aus den Abbildungen abzulesen.

Studien, die im ElektromogReport besprochen wurden

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

Polarisierte künstliche Strahlung ist biologisch aktiver

Die biologische Aktivität von elektromagnetischen Feldern hängt offensichtlich von der Polarisierung der Wellen ab. Die vom Menschen gemachten künstlichen Felder sind polarisiert, das könnte die höhere biologische Aktivität erklären. Die Bedeutung der Polarisierung der nicht-ionisierenden Strahlung bezüglich der biologischen Wirkungen wird erheblich unterschätzt, dieser Beitrag kann dazu beitragen, die zugrunde liegenden Mechanismen besser zu verstehen.

Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL (2015): Polarization: A Key Difference between Man-made and Natural Electromagnetic Fields, in regard to Biological Activity. *Science Report* 5, 14914; doi: 10.1038/srep14914, www.nature.com/scientificreports

ElektromogReport November 2015

Mechanismen des oxidativen Stresses in lebenden Zellen

Die Übersichtsarbeit der 6 Autoren aus verschiedenen Ländern (Ukraine, USA, Finnland und Brasilien) beschreibt die physischen bzw. biophysischen Wirkungen und die Angriffspunkte der nicht-ionisierenden Strahlung bzw. die Mechanismen, die seit Jahren untersucht und immer wieder bestätigt werden. Hier wird alles auf einen Nenner gebracht und einleuchtend dargestellt: Die oxidative Schädigung verschiedener Stoffwechselwege, Enzyme und Moleküle hat Folgen für Zellen, Gewebe und gesamte Organismen. Da eine deutsche Übersetzung bei Diagnose-Funk zugänglich ist (Brennpunkt Ausgabe Oktober 2015), gibt es hier nur eine kurze Vorstellung dieser wichtigen Arbeit.

Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrylenko O, Kyrylenko S (2015): Review: Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagnetic Biology and Medicine*, Early Online: 1–16 DOI: 10.3109/15368378.2015.1043557

ElektromogReport November 2015

Fragliche Trennung zwischen ionisierender und nichtionisierender Strahlung

Ist die Unterscheidung ionisierend/nichtionisierend noch von Bedeutung? Das fragt der Neurophysiologe Prof. Karl Hecht angesichts der Wirkung beider Strahlungsarten auf biologische Systeme, nämlich der Erzeugung freier Radikale im Gewebe und oxidativem Stress, von Verbrennungen, DNA-Schäden und Tumorentwicklung.

Karl Hecht: Forschungsbericht. Ist die Unterteilung in ionisierende und nichtionisierende Strahlung noch aktuell? Neuester wissenschaftlicher Erkenntnisstand: EMF-Strahlung kann

O₂- und NO-Radikale im Überschuss im menschlichen Körper generieren. Herausgegeben im September 2015 von der Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie e. V.. (Die Studie steht zum Download auf www.kompetenzinitiative.net)

ElektromogReport November 2015

Beeinträchtigung von Jugendlichen durch Mobilfunk

Drei Veröffentlichungen einer Schweizer Arbeitsgruppe haben die Wirkungen von Mobilfunk auf Jugendliche zum Inhalt. Die Ergebnisse gehen auf Untersuchungen derselben Gruppe von 439 bzw. 233 Jugendlichen zurück. Anhand von Fragebögen bzw. Daten von den Mobilfunkanbietern wurden Gedächtnis und Konzentrationsvermögen, Schlafqualität, Nutzungsgewohnheiten des Smartphones und andere Faktoren erfasst.

1. Schoeni A, Roser K, Rösli M (2015): Symptoms and Cognitive Functions in Adolescents in Relation to Mobile Phone Use during Night. *PLOS ONE* 10 (7): e0133528 doi:10.1371/journal.pone.0133528 (Juli 2015)

2. Roser K, Schoeni A, Förster M, Rösli M (2015): Problematic mobile phone use of Swiss adolescents: is it linked with mental health or behaviour? *International Journal of Public Health*, DOI 10.1007/s00038-015-0751-2 (September 2015)

3. Schoeni A, Roser K, Rösli M (2015): Memory performance, wireless communication and exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A prospective cohort study in adolescents. *Environment International* 85, 343–351 (online Oktober 2015)

ElektromogReport Dezember 2015

Neue Software zu Nutzungsdaten des Smartphones

Eine neue Smartphone-Software wurde für eine Pilotstudie entwickelt, um die Nutzung von Smartphones durch junge Leute festzuhalten. Die Studie zeigt, wie schwer Anzahl und Dauer der Gespräche eingeschätzt werden können. Diese Software kann zukünftig zur Erfassung und Berechnung der Strahlenbelastung eingesetzt werden, damit die Daten für epidemiologische Studien genauere Ergebnisse liefern können.

Goedhart G, Vrijheid M, Wiart J, Hours M, Kromhout H, Cardis E, Eastman Langer C, de Llobet Viladoms P, Massardier-Pilonchery A, Vermeulen R (2015): Using Software-Modified Smartphones to Validate Self-Reported Mobile Phone Use in Young People: A Pilot Study. *Bioelectromagnetics* 36, 538–543

ElektromogReport Dezember 2015

