

## Studie des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) bestätigt tumorbeschleunigendes Potential der Mobilfunkstrahlung

"In einer Studie an Mäusen konnten der Biologe Prof. Dr. Alexander Lerchl und sein Team nachweisen, dass durch krebserregende Substanzen verursachte Tumorraten deutlich erhöht sind, wenn die Tiere lebenslang elektromagnetischen Feldern ausgesetzt wurden, wie sie etwa Mobiltelefone erzeugen." Dieser Satz über die vom BfS finanzierte Studie in der Presseerklärung der Jacobs Universität Bremen vom 6.3.2015 schlug in der Fachwelt wie eine Bombe ein (s. Seite 3).

In der vorliegenden Studienrecherche werden vier weitere Studien besprochen, die ebenfalls ein gentoxisches Potential der nicht – ionisierenden Strahlung nachweisen. Deshmukh et al. (2015) untersuchten drei in der Telekommunikation verwendete Frequenzen. Die Studie zeigt, dass Mikrowellenstrahlung von 900, 1800 und 2450 MHz geringer Intensität (nicht-thermische Wirkung) schädliche Auswirkungen auf Rattenhirne hat, sichtbar an verminderten Hirnleistungen beim Lernen, Gedächtnis und der räumlichen Orientierung. Die signifikant erhöhten Stressproteine (HSP70) zeigen Zellstress an und die vermehrten DNA-Strangbrüche können zum Zelltod oder Entartung von Zellen führen. Akhavan-Sigari et al. (2014) weisen nach, dass das p53-Gen (Tumorsuppressorgen), das bei der Krebsentwicklung eine wichtige Rolle spielt, durch die Strahlungseinwirkung mutieren kann. Es besteht ein signifikant höheres Risiko für die mutierte Form des Gens p53 im peripheren Bereich des Tumors, wenn man 3 Stunden und mehr pro Tag mit dem Mobiltelefon telefoniert, das korreliert signifikant mit kürzerer Überlebenszeit. Die Ergebnisse von Carlberg / Hardell (2014) und Moon et al. (2014) bestätigen, dass bei Langzeitnutzung von Mobiltelefonen die Wahrscheinlichkeit eines Tumors und seine Größe steigen.

Auf der "Anhörung Mobilfunk" im Südtiroler Landtag (29.4.2015) bestätigte Prof. Michael Kundi (Wien) die Ergebnisse der Studien von Hardell et al.. Die Evidenz aus epidemiologischen Studien weist derzeit auf ein erhöhtes Risiko der Mobiltelefonnutzung für Hirntumoren hin, wobei eine kausale Interpretation zulässig sei. Wegen der noch immer kurzen Nutzungsdauer (im Vergleich zur Entwicklungsdauer der Krankheit) könne das Risiko in seiner Höhe noch nicht beziffert werden. Statistische Auswertungen zeigten ein Ansteigen der Hirntumoren, was aber derzeit wegen der Latenzzeit nicht auf eine krebserregende, sondern krebspromovierende Wirkung der nicht-ionisierenden Strahlung zurückgeführt werden müsse. Eine geschädigte Zelle entwickle sich schneller und früher zum Tumor:  
Quellen: <http://www.landtag-bz.org/de/datenbanken-sammlungen/anhoerungen.asp>  
<http://www.diagnose-funk.org/themen/wlan/anhoerung-im-suedtiroler-landtag.php>

Weitere Studien bestätigen, dass Mikrowellen oxidativen Stress hervorrufen. Oxidativer Stress ist ein Zeichen für ein Ungleichgewicht zwischen ROS-Bildung (Reaktive Sauerstoffspezies) und der Fähigkeit des biologischen Systems, diese Moleküle zu entgiften und die entstandenen Schäden zu reparieren. Oxidativer Zellstress ist die Ursache vieler entzündlicher Prozesse, bis hin zur Entwicklung von Krebs. Die Studien von Djordjevic et al. (2015), Kumari et al. (2012), Sefidbakht et al. (2014) vervollständigen das Bild von nunmehr weit über 50 Studien, die diesen Schädigungsprozess nachweisen.

Neurotransmitter (Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin und Serotonin), Botenstoffe, die zur Weiterleitung elektrischer Impulse an Synapsen im Gehirn dienen, werden durch die Frequenzen 900 MHz und 1800 MHz negativ beeinflusst, das weisen die Studien von Eris et al. (2015) und Megha et al. (2015) nach. Das kann zu verminderter Lernfähigkeit, Lern- und Gedächtnisstörungen führen, sie beeinflussen auch Schlaf, Appetit und Lernen. Mangel an Serotonin erzeugt z.B. Depressionen, Unwohlsein, Übelkeit und Durchfall.

De Caires et al. (2014) untersuchten die Einwirkung von 1800 MHz auf das Zentralnervensystem und weisen eine Stressorwirkung nach. Auch bei Pflanzen (Flachs) wirken 900 MHz als Stressor, wobei Calcium-Entzug als Mechanismus angenommen wird (Tafforeau 2002). Die Studie von Bragin et al. (2014) bestätigt, dass hochfrequente gepulste Felder zur Therapie bei Schmerzen und Ödemen nach Operationen oder schlecht heilenden Wunden und Knochenbrüchen angewandt werden können. Sie können also eine Wirkung zum Guten wie zum Schlechten haben.

## STUDIEN RECHERCHE

2015 - 2

### Diagnose-Funk e.V.

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

Postfach 15 04 48  
70076 Stuttgart

[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org)  
[www.mobilfunkstudien.org](http://www.mobilfunkstudien.org)  
[kontakt@diagnose-funk.org](mailto:kontakt@diagnose-funk.org)

### Ihr Ansprechpartner

Ressort Wissenschaft

Peter Hensinger

[peter.hensinger@diagnose-funk.de](mailto:peter.hensinger@diagnose-funk.de)

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

## Inhalt

<b>Die Bedeutung der Tumorpromotionsstudie des Bundesamtes für Strahlenschutz</b>	<b>Seite 3</b>
<b>Oxidativer Zellstress</b>	<b>Seite 4</b>
<b>Die Wirkung von Melatonin auf die Leber von Mikrowellen-exponierten Ratten.</b> The effect of melatonin on the liver of rats exposed to microwave radiation. Djordjevic B, Sokolovic D, Kocic G, Veljkovic A, Despotovic M, Basic J, Jevtovic-Stoimenov T, Sokolovic DM; Erschienen in: Bratisl Lek Listy 2015; 116 (2): 96–100	
<b>Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Feldexposition auf antioxidative Enzyme und Leber-Funktionstests.</b> Radiofrequency electromagnetic field exposure effects on antioxidant enzymes and liver function tests. Kumari K, Ramovatar M, Kumar S, Paulraj R, Verma NH, Kavindra Kumar K; Erschienen in: International Journal of Life Sciences 2012; 1 (3): 233 – 239	
<b>Wirkungen von 940 MHz EMF auf Biolumineszenz und oxidative Reaktion von stabilen Luziferaseproduzierenden HEK-Zellen.</b> Effects of 940 MHz EMF on bioluminescence and oxidative response of stable luciferase producing HEK cells. Sefidbakht Y, Moosavi-Movahedi AA, Hosseinkhani S, Khodaghohi F, Torkzadeh-Mahani M, Foolad F, Faraji-Dana R; Erschienen in: Photochemical and Photobiological Sciences 2014; 13 (7): 1082–1092	
<b>Neurotransmitter</b>	<b>Seite 6</b>
<b>Wirkung kurzzeitig einwirkender elektromagnetischer 900-MHz-Felder geringer Intensität auf die Serotonin- und Glutamat-Spiegel im Blut.</b> Effect of short-term 900 MHz low level electromagnetic radiation exposure on blood serotonin and glutamate levels. Eris AH, Kiziltan HS, Meral I, Genc H, Trabzon M, Seyithanoglu H, Yagci B, Uysal O; Erschienen in: Bratislava Lek Listy 2015; 116 (2): 101–103	
<b>Wirkung von Mikrowellen-Feldern geringer Intensität auf Monoamin-Neurotransmitter und ihre regulatorischen Schlüsselenzyme im Gehirn von Ratten.</b> Effect of low-intensity microwave radiation on monoamine neurotransmitters and their key regulating enzymes in rat brain. Megha K, Deshmukh PS, Ravi AK, Tripathi AK, Abegaonkar MP, Banerjee BD; Cell Biochem Biophys 2015: in press DOI 10.1007/s12013-015-0576-x	
<b>Gentoxizität</b>	<b>Seite 7</b>
<b>Verbindung zwischen Handy-Nutzung, p53-Genexpression in unterschiedlichen Zonen des Glioblastoma Multiforme und Überlebensprognosen.</b> Connection between Cell Phone use, p53 Gene Expression in Different Zones of Glioblastoma Multiforme and Survival Prognoses. Akhavan-Sigari R, Baf MM, Ariabod V, Rohde V, Rahighi S; Erschienen in: Rare Tumors 2014; 6 (3): 5350, 116–120	
<b>Vermindertes Überleben von Gliom-Patienten mit Astrozytom Grad IV (Glioblastoma multiforme) im Zusammenhang mit einer Langzeit-Nutzung von Mobil- und Schnurlos-Telefonen.</b> Decreased Survival of Glioma Patients with Astrocytoma Grade IV (Glioblastoma Multiforme) Associated with Long-Term Use of Mobile and Cordless Phones. Carlberg M, Hardell L; Erschienen in: International Journal of Environmental Research and Public Health 2014; 11 (10): 10790–10805	
<b>Kognitive Beeinträchtigung und neurogenotoxische Wirkungen bei Ratten durch Einwirkung von schwachen Mikrowellen-Feldern.</b> Cognitive Impairment and Neurogenotoxic Effects in Rats Exposed to Low-Intensity Microwave Radiation. Deshmukh PS, Nasare N, Megha K, Banerjee BD, Ahmed RS, Singh D, Abegaonkar MP, Tripathi AK, Mediratta PK; Erschienen in: Int J Toxicol 2015: in press	
<b>Zusammenhang zwischen Vestibularis-Schwannomen und Mobiltelefon-Nutzung.</b> Association between vestibular schwannomas and mobile phone use. Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS; Erschienen in: Tumour Biology 2014; 35 (1): 581–587	
<b>Kognition / Verhalten</b>	<b>Seite 10</b>
<b>Verhalten und Gedächtnisleistung von Wistar-Ratten, die 1,8-GHz- Strahlung ausgesetzt waren.</b> Behavior and memory evaluation of Wistar rats exposed to 1.8 GHz radiofrequency electromagnetic radiation. de Caires Jr LC, da Silveira Goulart Guimarães E, Manso Musso C, Stabler CT, Garcia RMG, Mourao Jr CA, Andreazzi AE; Erschienen in: Neurol Res 2014; 36 (9): 800–803	
<b>Heilwirkung</b>	<b>Seite 11</b>
<b>Erhöhungen der mikrovaskulären Durchblutung und Sauerstoffversorgung des Gewebes durch gepulste elektromagnetische Felder im gesunden Rattenhirn.</b> Increases in microvascular perfusion and tissue oxygenation via pulsed electromagnetic fields in the healthy rat brain. Bragin DE, Statom GL, Hagberg S, Nemoto EM; Erschienen in: J Neurosurg 2015; 122 (5): 1239 - 1247 .	
<b>Pflanzen</b>	<b>Seite 12</b>
<b>SIMS-Studie zur epidermalen Meristem-Entstehung unter Calcium-Entzug durch Kälteschock oder GSM-Telefon-Befeldung bei Flachs.</b> SIMS Study of the Calcium deprivation step related to epidermal meristem production induced in flax by cold shock or radiation from a GSM telephone. Tafforeau M, Verduis MC, Norris V, White G, Demarty M, Thellier M, Ripoll C; Erschienen in: Journal of Trace and Microprobe Techniques 2002; 20 (4): 611–623	
<b>Neuerscheinungen / Glossar</b>	<b>Seite 13/14</b>

## Studie des Bundesamtes für Strahlenschutz bestätigt tumorbeschleunigendes Potential der Mobilfunkstrahlung

"In einer Studie an Mäusen konnten der Biologe Prof. Dr. Alexander Lerchl und sein Team nachweisen, dass durch krebserregende Substanzen verursachte Tumorraten deutlich erhöht sind, wenn die Tiere lebenslang elektromagnetischen Feldern ausgesetzt wurden, wie sie etwa Mobiltelefone erzeugen. "Die vom Fraunhofer-Institut 2010 entdeckten Effekte auf Tumore der Leber und der Lunge wurden vollumfänglich bestätigt", sagt Lerchl, der die Untersuchung gemeinsam mit Kollegen der Jacobs University und der Universität Wuppertal durchgeführt hat. "Außerdem haben wir eine signifikant höhere Rate von Lymphomen festgestellt", erläutert der Wissenschaftler die neuen Ergebnisse. Zudem seien einige der Effekte auch bei Feldstärken unterhalb der bestehenden Grenzwerte gefunden worden", heißt es in der Presseerklärung der Jacobs-Universität Bremen vom 6.3.2015.

Die Studie (1) wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz finanziert. Dieses Studienergebnis hat eine besondere Bedeutung. Prof. A. Lerchl, ehemaliger Vorsitzender der Strahlenschutzkommission, vertritt bisher, dass von der Mobilfunkstrahlung prinzipiell keine Gesundheitsgefahren ausgehen könnten. Diese neue Studie weist nach, dass Mobilfunkstrahlung in Verbindung mit Karzinogenen (z.B. Feinstaub, Nikotinsulfat, Pestizide, Abgase, Verbrennungsimmissionen) eine krebispromovierende Wirkung haben kann.

Weitere Informationen:

<http://www.diagnose-funk.org/themen/forschung/handysignale-foerdern-tumorwachstum.php>

Besprechung der Studie von Lerchl (2015) im Elektrosmog-Report 21 (4) – April 2015

### Krebsfördernde Wirkung von UMTS-Strahlung unterhalb der Grenzwerte

„Diese Studie ist eine Wiederholungsstudie einer Forschungsarbeit mit Mäusen, die 2010 (Tillmann)(2) veröffentlicht worden war und die als Ergebnis hatte, dass die bestrahlten Mäuse mehr Tumoren bekamen als die scheinbestrahlten Kontrolltiere, nachdem sie eine Krebs erregende Substanz verabreicht bekommen hatten. Die Wiederholung wurde in einem anderen Labor von anderen Forschern mit mehr Tieren und weiteren Feldstärken bei der Bestrahlung durchgeführt. Die Ergebnisse bestätigen die Ergebnisse der früheren Experimente. Die Arbeit wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz in Auftrag gegeben und bezahlt.

Obwohl es keinen biophysikalischen Mechanismus gibt, der eine gesundheitliche Schädigung durch Mobilfunkstrahlung erklären könnte (außer einer Erwärmung des Gewebes oberhalb des Grenzwertes von SAR 0,08 W/kg), gibt es epidemiologische Untersuchungen, die ein erhöhtes Risiko für Hirntumoren bei Vielnutzern des Handys gezeigt haben. In der in

2010 veröffentlichten Studie waren trächtigen Mäuse mit dem Krebs erregenden Stoff Ethyl-Nitroso-Harnstoff (ENU) vorbehandelt und dann lebenslang der UMTS-Strahlung ausgesetzt worden. Man fand erhöhte Zahlen an Lungen- und Lebertumoren im Vergleich zu den scheinbestrahlten Kontrolltieren. In dem hier vorliegenden Wiederholungsexperiment gab es 5 Gruppen, Käfigkontrolle, scheinbestrahlte Kontrolle, Bestrahlung mit einer SAR von 0,04 W/kg, 0,4 und 2 W/kg. Alle Tiere außer denen der Käfigkontrolle bekamen intraperitoneal 40 mg/kg Ethyl-Nitroso-Harnstoff verabreicht. Die Anzahl der Lungen-Adenome stieg gegenüber den scheinbestrahlten Tieren signifikant um das Doppelte an, schon bei der niedrigen Feldstärke von 0,04 W/kg. Die Zahl der Lungenkarzinome war ebenfalls signifikant erhöht. Bei den Leberkarzinomen führten alle Feldstärken zu einer signifikant erhöhten Tumorzahl, bei den Lymphomen stieg die Zahl der Tumoren um das 2,5-Fache bereits bei der niedrigen Feldstärke von 400 mW/kg (0,04 W/kg). Keine Erhöhung der Tumorraten wurde bei Tumoren des Gehirns, der Nieren und der Milz gefunden. Wie erwartet war die Überlebenszeit der Tiere mit ENU-Behandlung verkürzt gegenüber der Käfigkontrolle, aber nicht geringer durch die Strahlungseinwirkung. Das Gewicht der Tiere der Käfigkontrolle im Vergleich zu den scheinbestrahlten unterschied sich kaum. Ein Vergleich der Ergebnisse für 0,4 W/kg (der SAR, die in beiden Studien angewendet wurde) mit der vorherigen Studie zeigte gute Übereinstimmung. Dass die Studie unterhalb der Grenzwerte eine Tumor promovierende Wirkung gefunden hat, ist beunruhigend, obwohl Tierversuche nicht unbedingt auf den Menschen übertragbar sind. Als Ursache kommen bei den niedrigen Feldstärken keine thermischen Wirkungen in Frage, Ursache für die Tumorpromotion könnte die ENU-Gabe während der Trächtigkeit sein oder der Blutfluss spielt eine Rolle.“

**(1) Tumor promotion by exposure to radiofrequency electromagnetic fields below exposure limits for humans.** Tumorpromotion durch Exposition bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern unterhalb der Grenzwerte für Menschen.

Lerchl A, Klose M, Grote K, Wilhelm AF, Spathmann O, Fiedler T, Streckert J, Hansen V, Clemens M

Erschienen in: Biochem Biophys Res Commun 2015

**Der Forschungsbericht wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht:**

<http://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2015031812720>

**Direktlink zum PDF:**

[http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2015031812720/3/BfS\\_2015\\_3611S30017.pdf](http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2015031812720/3/BfS_2015_3611S30017.pdf)

**(2) Indication of cocarcinogenic potential of chronic UMTS-modulated radiofrequency exposure in an ethylnitrosourea mouse model.** Hinweis auf ein kokarzinogenes Potenzial einer chronischen UMTS-modulierten Hochfrequenz-Exposition in einem Ethylnitrosourea-Maus-Modell.

Tillmann T, Ernst H, Streckert J, Zhou Y, Taugner F, Hansen V, Dasenbrock C

Erschienen in: Int J Radiat Biol 2010; 86 (7): 529 - 541

## Oxidativer Zellstress

### Die Wirkung von Melatonin auf die Leber von Mikrowellen-exponierten Ratten.

The effect of melatonin on the liver of rats exposed to microwave radiation.

Djordjevic B, Sokolovic D, Kocic G, Veljkovic A, Despotovic M, Basic J, Jevtovic-Stoimenov T, Sokolovic DM; Erschienen in: Bratisl Lek Listy 2015; 116 (2): 96–100

Außer der Gefahr von Krebs durch Mikrowellen gibt es immer deutlichere Anzeichen dafür, dass die Mikrowellen oxidativen Stress hervorrufen. Oxidativer Stress ist ein Zeichen für ein Ungleichgewicht zwischen ROS-Bildung und der Fähigkeit des biologischen Systems, diese Moleküle zu entgiften und die entstandenen Schäden zu reparieren. Tierversuche haben Veränderungen in der Biochemie auf Zellebene erbracht wie vermehrte Bildung von ROS, vor allem in den Mitochondrien. Wenn der oxidative Stress die antioxidativen Fähigkeiten der Zellen übersteigt, kommt es zu Schäden an Makromolekülen, z. B. den Lipiden (Fetten), Proteinen (Eiweißen) und der DNA. Lipidperoxidation, die auch durch Mikrowellen erzeugt wird, ist eine Oxidation der ungesättigten Fettsäuren in den Membranen durch freie Radikale. Dabei entsteht Malondialdehyd (MDA) als ein Abbauprodukt der Lipidperoxidation, das im Labor nachgewiesen werden kann und als Marker für oxidativen Stress gilt. Wenn sich Protein-Carbonylgruppen bilden, ist das ebenfalls ein Anzeichen für oxidativen Stress. Geklärt werden sollte die Frage, ob die Gabe von Melatonin eine positive Wirkung auf den oxidativen Stress des Lebergewebes hat, wenn es mit Mikrowellen bestrahlt wird. Melatonin, ein Hormon aus der Zirbeldrüse, ist ein sehr wirksames Antioxidans.

**Studiendesign und Durchführung:** 84 Ratten wurden in 4 Gruppen zu je 21 Tieren aufgeteilt: 1. Kontrollgruppe, die physiologische Kochsalzlösung gespritzt bekam, 2. die Tiere bekamen Melatonin gespritzt (intraperitoneal), die Gruppe 3 wurde mit der Mikrowellenstrahlung behandelt und die Gruppe 4 mit Strahlung und Melatonin. Die Gruppen 3 und 4 wurden der 900-MHz-Strahlung eines normalen Mobiltelefons ausgesetzt (100–300  $\mu$ T, 54–160 V/m). Die Melatoningabe betrug 2 mg/kg Körpergewicht, die täglich um 8.00 Uhr morgens verabreicht wurde, parallel dazu in der Kontrollgruppe physiologische Kochsalzlösung. Die Bestrahlung der Tiere in den Gruppen 3 und 4 erfolgte 4 Stunden täglich. Das Lebergewebe von je 7 Tieren wurde nach 20, 40 und 60 Tagen entnommen und untersucht auf oxidativen Stress, indem die Konzentration an Malondialdehyd und der Gehalt an Carbonylgruppen (Protein-Carbonyle werden aufgrund der vorhandenen ROS aus Aminosäureresten der Proteine gebildet.) sowie die Aktivitäten der Enzyme Katalase, Xanthinoxidase und der Nukleasen (DNAsen) I und II bestimmt wurden. Nukleasen bauen die chromosomale DNA ab, wenn die Apoptose in geschädigten Zellen beginnt.

**Ergebnisse:** Die Mikrowellenbehandlung ließ folgende Para-

meter signifikant ansteigen im Vergleich zu den Kontrollen: MDA nach 40 und 60 Tagen, Protein-Carbonyl-Gehalt nach 20, 40 und 60 Tagen, die Aktivitäten der Enzyme Katalase nach 60 und Xanthinoxidase nach 40 und 60 Tagen und die DNase I nach 60 Tagen. Die DNase II war überraschenderweise unbeeinflusst. Die Melatoninbehandlung führte zu signifikanter Abnahme der Malondialdehydkonzentration nach 40 Tagen, hatte aber – ebenfalls überraschend – keine Veränderungen der anderen Parameter zur Folge (Bildung von Proteincarbonylen und Xanthinoxidase, Aktivitäten der Enzyme Katalase und der Nukleasen (DNase I und II)).

**Schlussfolgerungen:** Oxidativer Stress ist ein Schlüsselmechanismus der Gewebeschädigung durch Mikrowellen. Mikrowellen steigern die Lipidperoxidation und den Proteincarbonylgehalt, was zumindest zum Teil der Steigerung der Xanthinoxidase-Aktivität zugeschrieben werden kann. Die Melatonin-Gabe vermindert die Lipidperoxidation signifikant bei den bestrahlten Tieren, es zeigt eine direkte antioxidante Wirkung, indem es freie Radikale direkt abfängt. Die Erhöhung der Katalaseaktivität als Folge der gesteigerten ROS-Bildung kompensiert den oxidativen Stress. Die Protein-Carbonyle waren schon nach 20 Tagen erhöht, Proteine sind wohl die ersten Angriffspunkte der Oxidation durch ROS. Die erhöhte Bildung der Xanthinoxidase gleichzeitig mit der erhöhten Lipidperoxidation deutet auf eine Beteiligung dieses Enzyms bei der ROS-Bildung und dem oxidativen Stress hin.

### Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Feldexposition auf antioxidative Enzyme und Leber-Funktionstests.

Radiofrequency electromagnetic field exposure effects on antioxidant enzymes and liver function tests.

Von: Kumari K, Ramovatar M, Kumar S, Paulraj R, Verma NH, Kavindra Kumar K. Erschienen in: International Journal of Life Sciences 2012; 1 (3): 233 – 239

Viele Studien wurden dazu veröffentlicht, die zeigen, dass ROS das Gewebe schädigen können. Die ROS-Bildung durch Mobilfunkstrahlung ist auch in Leber und Niere möglich, weil Mobiltelefone und Mikrowellenherde in dieser Gegend des Körpers einwirken. Deshalb sollten hier die Aktivitäten der antioxidativen Enzyme Superoxid-Dismutase (SOD), Katalase (KAT) und Glutathion-Peroxidase (GSH-PX) in der Leber untersucht werden. Man hat festgestellt, dass eine geringe Erhöhung von ROS zu erhöhter Aktivität der antioxidativen Enzyme führt, während hohe Konzentrationen die Enzyme hemmen, so dass sie ihre Schutzfunktion gegen ROS nicht mehr ausführen können.

**Studiendesign und Durchführung:** Je 6 erwachsene männliche Ratten (970 Tage alt) wurden in je 2 Gruppen eingeteilt, Kontrolle und bestrahlte Gruppen. Die 2,45-GHz-Bestrahlung erfolgte mit einem Mikrowellenherd (input 1080 W, output 700 W) 2 Stunden/Tag 35 Tage lang mit 0,22 mW/cm<sup>2</sup> Leistungsdichte. Die Ganzkörper-SAR betrug 0,15 W/kg. Ein 900-MHz-Mobiltelefon wirkte 2 Stunden/Tag für 35 Tage im Stand

-by-Modus ein, wo das Gerät ohne Geräusche und Vibration mit 15 sec Intervallen 1 min lang anruft, ohne dass das Gespräch angenommen wird. Nach der Bestrahlung wurde das Lebergewebe entnommen und viele Parameter untersucht: Die Enzyme GSH-Px, SOD, Katalase, Lipidperoxidation (MDA) zur Bestimmung der Zellmembranschädigung und zur Leberfunktionsprüfung Gesamt-Bilirubin (TBIL), Alkalische Phosphatase (ALP), Alanintransaminase (ALT) und Aspartattransaminase (AST) sowie Gesamtprotein, Albumin und Globulin. Die antioxidative Aktivität und die Hemmung der ROS-Erzeugung sind wichtig zum Schutz der Leber vor strahleninduzierten Schäden.

**Ergebnisse:** Die Enzymaktivität von GSH-Px wurde durch die **900-MHz-Strahlung** signifikant vermindert gegenüber der Kontrolle ( $14,13 \pm 1,57$  zu  $21,96 \pm 3,16$  nmol/min/ml), ähnlich die SOD-Aktivität in der Leber ( $33,60 \pm 1,84$  zu  $48,51 \pm 4,97$  U/min), während die Katalase-Aktivität signifikant erhöht war ( $22,79 \pm 1,23$  zu  $20,45 \pm 3,13$  nmol/min/ml). Die Schädigung der Zellmembranen zeigte sich in der signifikant erhöhten MDA-Konzentration in den Zellen der bestrahlten Tiere ( $4,2 \pm 0,58$  zu  $2,49 \pm 0,62$  nmol/min/ml). Die Mobilfunkstrahlung steigerte signifikant die Konzentrationen von ALT, AST und ALP gegenüber der scheinbestrahlten Kontrolle, auch Bilirubin im Blut war erhöht, was ebenfalls Schädigungen in der Leberfunktion anzeigt.

Die Enzymveränderungen durch **2,45 GHz:** GSH-Px war signifikant reduziert ( $13,33 \pm 0,69$  zu  $22,12 \pm 0,82$  nmol/min/ml), ähnlich die Leber-SOD-Aktivität ( $32,50 \pm 1,52$  zu  $52,31 \pm 1,52$  U/ml), die Leber-Katalase jedoch war signifikant erhöht ( $24,74 \pm 2,31$  zu  $17,73 \pm 2,42$  nmol/min/ml). Die MDA-Aktivität als Indikator für Zellmembranschädigung war signifikant angestiegen in der bestrahlten Gruppe ( $3,92 \pm 0,44$  zu  $1,87 \pm 0,55$  nmol/min/ml). Auch die Spiegel von TBIL, ALT, AST und ALP stiegen signifikant an gegenüber der Kontrolle. Diese Ergebnisse zeigen, dass 2,45-GHz-Strahlung eine Überproduktion von freien Radikalen induziert, welche zur Hemmung von antioxidativen Enzymen und letztendlich zu oxidativem Stress in der Leber führt.

**Schlussfolgerungen:** Diese Studie ergab, dass Mobilfunk- und Mikrowellenstrahlung oxidativen Stress in der Leber induziert. Durch Einwirkung von 900- oder 2450-MHz-Strahlung wird der oxidative Stress in der Leber erhöht durch Reduktion der antioxidativen Enzym-Aktivität und erhöhter Lipidperoxidation, welche die Leberfunktion beeinträchtigt. SOD und Katalase sind wichtige Antioxidans-Enzyme, die davor schützen, indem sie die ROS entfernen sollen, deren Aktivität wird durch die Mikrowellen gesteigert. Die gesteigerte Peroxidation der intra- und extrazellulären Membranen führt zu Schäden in Zellen, Geweben und Organen.

## Wirkungen von 940 MHz EMF auf Biolumineszenz und oxidative Reaktion von stabilen Luziferase produzierenden HEK-Zellen.

Effects of 940 MHz EMF on bioluminescence and oxidative response of stable luciferase producing HEK cells.

Sefidbakht Y, Moosavi-Movahedi AA, Hosseinkhani S, Khodagholi F, Torkzadeh-Mahani M, Foolad F, Faraji-Dana R; Photochemical and Photobiological Sciences 2014; 13 (7): 1082–1092

Die Wirkung von 940-MHz-Strahlung auf eine stabile Zelllinie HEK293T (Human embryonic kidney cells), die das Luziferase-Gen einer Fliege enthält, wurde auf die Möglichkeit hin untersucht, künftige Anwendungen zu entwickeln, z. B. zur Untersuchung der frühen Phasen der Apoptose (programmierter Zelltod). Mit dem Enzym Luziferase wird starke Biolumineszenz in den Zellen erzeugt. Das Enzym wird auch durch Hitzschock-Stress negativ beeinflusst. Hier wird die zeitabhängige Wirkung (15–90 min) von 940-MHz-Strahlung geringer Intensität auf Biolumineszenz und oxidative Reaktion der stabilen, Luziferase produzierenden HEK-Zellen untersucht.

**Studiendesign und Durchführung:** Die Zellkulturen der Zelllinie HEK293T wurden entweder scheinbestrahlt (Kontrolle) oder der 940-MHz-Strahlung 15, 30, 45, 60 oder 90 min. ausgesetzt. Die Feldstärke des elektrischen Feldes betrug etwa 10 V/m, manchmal etwas höher. Der SAR-Wert betrug deutlich unter 2 W/kg, durchschnittlich etwa 0,09 W/kg (Temperaturanstieg  $0,07 \pm 0,03$ ,  $0,02$ – $0,1$  °C, nicht-thermische Wirkung). Nach der Bestrahlung wurden die Luziferase-Aktivität und die oxidativen Reaktionen durch Messung intrazellulärer ROS, SOD, Katalase, Glutathion (GSH), Lipidperoxidation (MDA) und der Caspasen 3 und 7\* bestimmt.

**Ergebnisse:** Die Luziferase-Aktivität war nach 30 und 45 min der Bestrahlung signifikant vermindert und nach 60 min signifikant erhöht gegenüber der Kontrolle. Der ROS-Gehalt war nach 15, 30 und 45 min signifikant erhöht, am stärksten nach 30 min. Die SOD-Aktivität war nach 30 und 45 min signifikant erhöht, nach 60 min wieder niedriger. Die Katalase-Aktivität war nach 15, 30, 45 und 60 min signifikant erhöht, am stärksten nach 45 min. Die GSH-Konzentrationen stiegen an, waren aber nur nach 45 min signifikant erhöht und nach 60 min wieder leicht vermindert. Die MDA-Konzentrationen verringerten sich mit der Zeit, waren nach 45 min signifikant vermindert, nach 60 min leichter Anstieg zu 45 min, gegenüber der Kontrolle aber noch signifikant vermindert. Steigende Konzentrationen von  $H_2O_2$  hemmen die Luziferase-Aktivität. Die Aktivitäten der Caspasen 3 und 7 zeigen nach 15 min keinen Unterschied zur Kontrolle, nach 30 min sind sie erhöht, nach 45 min signifikant erhöht, nach 60 min vermindert, aber höher als die Kontrolle, nach 90 min wieder signifikant erhöht gegenüber der Kontrolle.

**Schlussfolgerungen:** Die ROS-Produktion war am höchsten nach 30 min. Darauf folgte ein scharfer Anstieg der Katalase- und SOD-Aktivität, ein starker Anstieg von Glutathion (GSH) nach 45 min, um den ROS-Gehalt zu reduzieren. Die Lipidperoxidation (MDA) war auch nach 45 und 60 min reduziert nach

Aktivierung der oxidativen Reaktion. Die Luziferaseaktivität war reduziert nach 30 und 45 min Bestrahlung, während die Aktivität nach 60 min wieder höher war. D. h. die Luziferase-Aktivität ist mit der Abnahme der ROS-Konzentration assoziiert. Daraus ergibt sich, dass die 940 MHz oxidativen Stress erzeugen, dem durch antioxidative Reaktionen der Zellen begegnet wird, sichtbar an der verminderten Luziferase-Aktivität. Diese Kompensation zeigte sich in den HEK293T-Zellen nach 45 min der kontinuierlichen 940-MHz-Bestrahlung. Die Empfindlichkeit der Luziferase auf ROS ( $H_2O_2$ ) und andere intrazelluläre Faktoren kann unter dem Stress zu falscher Faltung von Proteinen führen, da auch die Caspasen 3 und 7 verändert waren, die allerdings keine eindeutigen Apoptosereaktionen zeigten. Die Fähigkeit der Zellen, den oxidativen Stress zu überwinden und die Luziferase-Aktivität zu kompensieren könnte auch verantwortlich sein für einen adaptiven Reaktionsmechanismus, den man bei ionisierender Strahlung kennt, wenn eine Vorbehandlung mit Mikrowellen erfolgt ist.

*\*Caspasen: sind Enzyme, die bei der Apoptose während der Entwicklung von Lebewesen eine Rolle spielen, die aber auch bei Schädigungen von Zellen (z. B. durch Strahlung, Mikroorganismen oder Giftstoffe) zum Einsatz kommen. Sie spalten Proteine, die nicht mehr gebraucht werden. Die Caspasen 3 und 7 spalten normale Proteine in den Zellen und aktivieren Nukleasen, damit diese die DNA im Zellkern während einer Apoptose abbauen. Caspasen sind auch an der korrekten Faltung von Proteinen beteiligt. Sind die Caspasen selbst geschädigt, kann das zu Tumorentwicklung führen oder es entstehen neurodegenerative Krankheiten wie Morbus Alzheimer, M. Parkinson, ALS oder Chorea Huntington.*

## Neurotransmitter

### Wirkung kurzzeitig einwirkender elektromagnetischer 900-MHz-Felder geringer Intensität auf die Serotonin- und Glutamat-Spiegel im Blut.

Effect of short-term 900 MHz low level electromagnetic radiation exposure on blood serotonin and glutamate levels.  
Von: Eris AH, Kiziltan HS, Meral I, Genc H, Trabzon M, Seyithanoglu H, Yagci B, Uysal O;  
Erschienen in: Bratislava Lek Listy 2015; 116 (2): 101–103

Mobiltelefone können bei Langzeitnutzung auch bei geringen Feldstärken schwere Gesundheitsprobleme verursachen, da sie das Hormon- und Nervensystem beeinflussen, chemische Strukturen verändern und das Risiko für Hirntumore, DNA-Schäden und Multiple Sklerose erhöhen. Außerdem kann die Spermienqualität abnehmen. Serotonin (5-Hydroxytryptamin, 5-HT) als Neurotransmitter und Glutamat haben wichtige Aufgaben bei Gehirnfunktionen, im Verdauungstrakt und in den Blutplättchen, sie beeinflussen Schlaf, Appetit und Lernen. Mangel an Serotonin erzeugt Depressionen, Unwohlsein,

Übelkeit und Durchfall. Beim plötzlichen Kindstod spielt Serotonin-Mangel eine Rolle. Aber auch zu hohe Serotoninspiegel haben nachteilige Auswirkungen. Seine Rezeptoren liegen im Hippocampus im Gehirn. Glutamin wird gebraucht, wenn Energie benötigt wird und keine Glucose zur Verfügung steht. Es kann leicht die Blut-Hirn-Schranke durchdringen und es reguliert u. a. Muskel- und Nerventätigkeit. Es ist beteiligt an der Entfernung von Ammonium aus dem Gehirn, wodurch die Alterung des Gehirns verzögert wird. Glutamat wird eingesetzt bei Schizophrenie und Altersschwäche, bei Muskelschwäche und zur Steigerung der Intelligenz. Sowohl Mangel als auch Überdosierung sind schädlich. Strahlung im Bereich der Mobilfunkfrequenzen kann für Veränderungen in den Neurotransmittern verantwortlich sein. Diese Studie sollte herausfinden, wie 900-MHz-Strahlung auf die Konzentrationen von Serotonin und Glutamat im Blut von Ratten wirkt.

**Studiendesign und Durchführung:** Diese Studie ist die erste, die die Wirkung einer einzigen 45-minütigen Dosis mit geringer Feldstärke auf Ratten untersuchte. Von 10 männlichen erwachsenen Ratten wurde vor der Bestrahlung Blut abgenommen zur Bestimmung der Basalwerte (Kontrolle). Die Tiere wurden anschließend betäubt, dann erfolgte die Bestrahlung mit 15,14 V/m ( $608 \text{ mW/m}^2$ ) direkt am Kopf der Tiere (0,5–1,0 cm entfernt) mit 100 kHz Modulation, 45 Minuten lang. Nach 1,5 Stunden und bevor die Tiere erwachten, wurde wieder Blut abgenommen zur Bestimmung des Serotonin- und Glutamat-Spiegels nach Bestrahlung.

**Ergebnisse:** Die einmalige 45-minütige Bestrahlung am Kopf der Tiere erhöhte die Plasma-Serotonin(5-HT)-Konzentration signifikant von  $77,4 \pm 13$  (Basalwert) auf  $196 \pm 117 \text{ nmol/ml}$  Blut, während die Glutamat-Konzentration mit  $182 \pm 16,3$  bzw.  $204 \pm 12,7 \text{ nmol/ml}$  nur geringfügig erhöht war.

**Schlussfolgerungen:** Das 900-MHz-Feld beeinflusst biologische Funktionen der Nervenzellen und induziert Veränderungen in der Neurotransmitterkonzentration. Der Anstieg von 5-HT kann bedeuten, dass die Tiere verminderte Lernfähigkeiten und ein Defizit im räumlichen Gedächtnis haben.

### Wirkung von Mikrowellen-Feldern geringer Intensität auf Monoamin-Neurotransmitter und ihre regulatorischen Schlüssel-Enzyme im Gehirn von Ratten.

Effect of low-intensity microwave radiation on monoamine neurotransmitters and their key regulating enzymes in rat brain.

Megha K, Deshmukh PS, Ravi AK, Tripathi AK, Abegaonkar MP, Banerjee BD; Cell Biochem Biophys 2015; in press DOI 10.1007/s12013-015-0576-x

Mehrere Experimente haben nachgewiesen, dass Mikrowellen im Nervensystem die räumliche Orientierung (Navigations-Gedächtnis) und andere Hirnleistungen verändern. Beim Menschen sind Kopfschmerzen, Schwindel, Übelkeit, Schlafstörun-

gen und Müdigkeit durch Mobilfunkstrahlung berichtet worden. Neuronale Zellen können absterben und die Differenzierung von neuronalen Stammzellen zu Neuronen während der Embryonalentwicklung kann gehemmt werden. 900- und 1800-MHz-Felder können DNA-Schäden und oxidativen Stress in Rattenhirnen verursachen. Für die Speicherung von Informationen (Lernen, Gedächtnis u. a.) ist der Hippocampus zuständig, woran Neurotransmitter beteiligt sind, Überträgerstoffe, die nach einem Nervenimpuls am Ende einer Nervenfasers ausgeschüttet werden und den Nervenimpuls zu einer anderen Nervenfasers weiterleiten. Durch diese Monoamin-Neurotransmitter Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin und Serotonin werden viele Funktionen wie Regulationen, Gefühle und Bewegungskontrolle ausgeführt. Zur Synthese dieser Transmitter werden die Enzyme Tyrosinhydroxylase (TH, für Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin) und Tryptophanhydroxylase (TPH1 und TPH2 für Serotonin) benötigt.

**Studiendesign und Durchführung:** Ziel der Studie war, an Ratten zu testen, wie 900- und 1800-MHz-Strahlung auf Dopamin, Noradrenalin, Adrenalin und Serotonin und die Enzyme zu deren Synthese wirken. Es wurden 3 Gruppen zu je 6 Ratten (scheinbestrahlt, bestrahlt mit 900 bzw. 1800 MHz) gebildet, die 30 Tage lang 2 Stunden/Tag 5 Tage/Woche bei einer Leistung von 1 mW, SAR ca. 0,6 mW/kg ( $5,953 \times 10^{-4}$  bei 900 MHz) und für ( $5,835 \times 10^{-4}$  bei 1800 MHz) im Hippocampus bestrahlt wurden. Dazu wurden die Konzentrationen der Enzyme Tyrosinhydroxylase und Tryptophanhydroxylase bestimmt, um die Angriffspunkte der Strahlung herauszufinden.

**Ergebnisse:** Die Konzentrationen der Neurotransmitter im Hippocampus waren signifikant reduziert der gegenüber der scheinbestrahlten Kontrolle. Bei 900 MHz Dopamin  $3,49 \pm 0,24$  zu  $5,14 \pm 0,16$  µg/ml, Noradrenalin  $8,31 \pm 0,51$  zu  $11,95 \pm 0,54$  µg/ml und Adrenalin  $3,92 \pm 0,22$  zu  $5,89 \pm 0,438$  µg/ml. Serotonin war nicht-signifikant reduziert ( $4,99 \pm 0,44$  zu  $7,37 \pm 1,05$ ). Bei 1800 MHz waren alle Neurotransmitter signifikant reduziert. Die Werte waren bei 1800 MHz alle niedriger als bei 900 MHz ( $2,76 \pm 0,35$ ,  $6,65 \pm 0,44$ ,  $3,16 \pm 0,19$  und  $4,27 \pm 0,31$ ), Dopamin und Serotonin waren jedoch im Vergleich zu 900 MHz nicht-signifikant verschieden, für Noradrenalin und Adrenalin waren sie bei 1800 MHz signifikant niedriger als bei 900 MHz. Auch die Gehalte an den Enzymen Tyrosin-Hydroxylase und Tryptophan-Hydroxylase war signifikant vermindert bei 900 und 1800 MHz, für TH 1,35- bzw. 1,83-fache Reduktion im Vergleich zur scheinbestrahlten Kontrolle; auch im Vergleich zu 900 MHz war das Enzym bei 1800 MHz signifikant reduziert. Dasselbe gilt für TPH1 (900 MHz 1,6-fach reduziert, 1800 MHz 1,8-fach) und TPH2 (900 MHz 2,09-fach und 1800 MHz 2,88-fach). TPH1 war bei 1800 MHz nicht-signifikant niedriger als bei 900 MHz.

**Schlussfolgerungen:** Die Ergebnisse geben starke Hinweise auf die extreme Empfindlichkeit der Monoamin-Neurotransmitter des Gehirns gegenüber 900- und 1800-MHz-Mikrowellenstrahlung. Die beiden wichtigen Ergebnisse, die signifikante Reduktion der Monoamin-Neurotransmitter im Hippocampus der bestrahlten Tiere und die signifikant reduzierten Enzyme, die zur Synthese der Neurotransmitter benötigt werden, lassen darauf schließen, dass es zu Funktionsstörungen kommen kann. Viele andere Studien haben dieselben Ergebnisse erzielt.

Deswegen könnten die Veränderungen der Neurotransmitter und deren Regulationsenzyme im Gehirn von Ratten die Ursachen für Lern- und Gedächtnisstörungen sein.

## Gentoxizität

### Verbindung zwischen Handy-Nutzung, p53-Genexpression in unterschiedlichen Zonen des Glioblastoma Multiforme und Überlebensprognosen.

Connection between Cell Phone use, p53 Gene Expression in Different Zones of Glioblastoma Multiforme and Survival Prognoses.

Akhavan-Sigari R, Baf MM, Ariabod V, Rohde V, Rahighi S  
Erschienen in: Rare Tumors 2014; 6 (3): 5350, 116–120

Glioblastome sind die bösartigsten Tumore des Nervenstützgewebes (Glia). Sie entstehen aus Astrozyten und sie sind die aggressivsten primären Tumoren beim Menschen. Die invasiven Zellen wachsen schnell und bilden ihre eigenen Blutgefäße, sodass chirurgische und therapeutische Maßnahmen schwer greifen. Sie bilden selten Metastasen, sind aber die häufigsten letalen Formen aller Tumorarten (12–15 % der Hirntumore und 50–60 % der Astrozytome). Sie dringen in das normale Hirngewebe ein und verdrängen es. Die Überlebenszeit beträgt 10–12 Monate. Es gibt 2 genetische Wege der Tumorentwicklung: primär (schnell wachsend, aus einer gesunden Zelle heraus, die Patienten sind durchschnittlich 62 Jahre alt) oder sekundär (langsamer wachsend, aus einem gering-gradigen Tumor zu einem höherem Grad, die Patienten sind durchschnittlich 45 Jahre alt). Es gibt viele Faktoren der Tumorentstehung, einer davon ist die Mutationen im p53-Gen, das normalerweise Zellvermehrung, DNA-Reparatur und Apoptose\* in Zellstress-Situationen reguliert und kontrolliert. Mutationen im p53-Gen haben 28 % der primären und 65 % der sekundären Gliome. Ein Gliom hat 3 Zonen: Im Zentrum eines Tumors herrscht Nekrose vor mit Inseln von lebenden Zellen, meist um Blutgefäße herum, dann folgt ein Ring mit dichten Zellen und die äußere Zone hat geringerer Zelldichte mit Infiltration in das umliegende Gewebe. Das Ziel war, die Expression des Gens p53 bei Patienten zu untersuchen, die das Mobiltelefon 3 Stunden pro Tag oder mehr benutzten und das ins Verhältnis zu setzen zu den klinisch-pathologischen Ergebnissen und dem Überleben der Patienten. Die Frage lautete: Verursacht Langzeitnutzung von Mobiltelefonen Veränderungen im p53-Gen in der peripheren Zone von Glioblastomen?

**Studiendesign und Durchführung:** Es wurden 63 Patienten (38 Männer, 25 Frauen, 25–88 Jahre alt, Durchschnittsalter 55 Jahre) mit primären Glioblastoma multiforme Grad IV (dem höchsten, aggressivsten Grad) untersucht, die eine Operation zwischen 2008 und 2011 im Iran gehabt hatten und die 3 Stunden oder mehr pro Tag das Handy (hauptsächlich 1100–

1900 MHz) zum Telefonieren benutzt hatten. Die p53-Expression wurde am Rand und in der Mitte des Tumors bestimmt. Das Gen p53 ist ein Tumorsuppressor, der die Apoptose einleitet, den Zellzyklus aktiviert, die Zelldifferenzierung stimuliert und an der DNA-Reparatur beteiligt ist.

**Ergebnisse:** 41 der 63 Patienten (65 %) hatten signifikant höhere mutierte Expression von p53 im äußeren Bereich der Glioblastome. Von den 63 Patienten hatten 59 (93,6 %) eine Mutation im p53-Gen, sodass die normale Funktion inaktiviert war. Bei 58 Patienten (92 %) war der Tumor komplett oder teilweise entfernt worden. Während der Zeit der Analyse waren 61 (97 %) der Patienten gestorben, die Überlebenszeit betrug 6,7 Monate, aber für die Fälle mit geringerer p53-Genexpression im Zentrum des Tumors waren es 10 Monate. Unter den Genen, die die Tumorentwicklung unterdrücken (Tumorsuppressorgene), scheint p53 eine wichtige Rolle bei der Entwicklung von mehreren bösartigen Tumorarten einschließlich der Glioblastome zu spielen. Mutationen im p53-Gen findet man in 65 % der Sekundär- und 28 % der Primärtumore. Das deutet darauf hin, dass p53-Abnormitäten an der Umwandlung von niedrigem zu hohem Tumor-Grad mitwirken. Hohe mutierte p53-Expression wurde beobachtet in der peripheren Zone von 65 % der Primär-Glioblastome, aber nur 35 % in der Zentralzone. Die erhöhte Expression der Mutation in der peripheren Zone war signifikant korreliert mit der Mobiltelefonnutzung und geringerer Überlebenszeit. Wenn p53 in der peripheren Zone exprimiert wird, gibt es schlechte Prognosen.

**Schlussfolgerungen:** Die Expression des Gens p53 ist bei 65 % der Patienten in der äußeren Zone des Glioblastoms erhöht. Es besteht ein signifikant höheres Risiko für die mutierte Form des Gens p53 im peripheren Bereich des Tumors, wenn man 3 Stunden und mehr pro Tag mit dem Mobiltelefon telefoniert, und das war signifikant korreliert mit kürzerer Überlebenszeit. Angesichts des steigenden Wissens über die Heterogenität der Glioblastome sollte die Studie mit mehr Patienten und die Klassifizierung der Tumore mit gut definierten Patienten genauer untersucht werden.

*\* Apoptose ist der so genannte programmierte Zelltod, der im lebenden Organismus eingeleitet wird, wenn erkannt wird, dass eine Zelle unbrauchbar, fremd oder alt ist, aber auch bei der Embryonalentwicklung, wenn embryonale Zellen nicht mehr gebraucht werden. Die betroffenen Zellen werden dann durch interne Vorgänge aufgelöst.*

## Vermindertes Überleben von Gliom-Patienten mit Astrozytom Grad IV (Glioblastoma multiforme) im Zusammenhang mit einer Langzeit-Nutzung von Mobil- und Schnurlos-Telefonen.

Decreased Survival of Glioma Patients with Astrocytoma Grade IV (Glioblastoma Multiforme) Associated with Long-Term Use of Mobile and Cordless Phones.

Von: Carlberg M, Hardell L

Erschienen in: International Journal of Environmental Research and Public Health 2014; 11 (10): 10790–10805

Die skandinavischen Länder gehörten zu den ersten mit weiter Verbreitung von Mobil- und Schnurlostelefonen. Der starke Anstieg der Mobilfunknutzung ließ die Frage nach erhöhtem Hirntumorrisiko aufkommen, da die Strahlung direkt am Kopf bzw. im Gehirn einwirkt. Die Klassifizierung von Mobilfunkstrahlung als möglicherweise Krebs erregend für den Menschen durch die IARC führte zu dieser umfassenden epidemiologischen Untersuchung.

**Studiendesign und Durchführung:** Das Ziel der Studie war die Untersuchung der Überlebensrate von Gliompatienten in einer Fall-Kontroll-Studie und die Tumorentwicklung (Häufigkeit, Tumorgröße) im Verhältnis zur Nutzungsdauer von drahtlosen Telefonen (Mobil- und Schnurlostelefon). Es wurden 2 Studien zusammengefasst, die unter fast gleichen Bedingungen durchgeführt worden waren. Die Daten zu den Überlebensraten und Sterbefällen stammen aus dem schwedischen Bevölkerungsregister. Alle Gliomfälle wurden vom Tag der Diagnose bis Dezember 2013 oder dem Todestag einbezogen. Die frühere Studie hatte Daten von 1997–2003 (Patienten von 20–80 Jahre), die Folgestudie von 2007–2009 (Patienten von 18–75 Jahre) enthalten. Die Bestätigung des Glioms erfolgte aufgrund der Gewebeuntersuchung (Histopathologie) nach Operation. Der Zeitpunkt der Diagnose und die Tumorklassifizierung wurden vom Krebsregister und von Arztberichten erhalten. Die Fragebögen enthielten Fragen zu Strahlungsbelastung, Dauer der Nutzung (seit wann, wie lange pro Tag), ob ein Headset benutzt wurde und an welchem Ohr das Telefon hauptsächlich gehalten wird. Auch andere Tumorrisiken wurden einbezogen. Befragung und Auswertung erfolgten ohne Wissen, wer Fall und wer Kontrolle ist.

**Ergebnisse:** Das Hauptergebnis dieser großen Studie ist die geringere Überlebensrate von Patienten mit Gliomen bei Langzeitnutzung von drahtlosen Telefonen. Die Wahrscheinlichkeit der Tumorentwicklung (HR = Hazard ratio) stieg mit steigender Nutzungszeit an. Für Patienten mit einem Astrozytom Grad IV gab es schlechte Überlebensraten. Das Risiko steigt pro Jahr der Nutzung signifikant an für drahtlose Telefone insgesamt (Schnurlos- und Mobiltelefone). In der früheren Studie war die längste Nutzungszeit > 10 Jahre, da betrug die HR 1,3. Nach > 20 Jahren in der jetzigen Studie stieg die HR auf 2,1. Das Volumen der Astrozytome war mit 25,6 cm<sup>3</sup> um 16,4 % größer als bei den Nichtnutzern (22,0 cm<sup>3</sup>).

Diese Tumorart ist extrem bösartig, die Überlebensrate beträgt oft nur 6 Monate trotz Operation, Chemo- und Strahlentherapie (bei Astrozytom Grad I Jahrzehnte, bei Grad II 6–8 Jahre). Die Überlebenszeit war in dieser Studie ca. 11 Monate. Auch frühe Diagnose ändert kaum etwas an der Prognose. Im Unterschied dazu fand man eine bessere Überlebensrate bei Patienten mit Astrozytomen niedrigen Grades im Vergleich mit der Nichtnutzer-Gruppe. Das könnte dadurch erklärt werden, dass die Tumore größer sind, schneller entdeckt und operiert werden, was die Prognose für die Patienten verbessert. Insgesamt ergaben die Berechnungen erhöhte Sterberisiken für Astrozytome mit niedrigem Grad (I–II) und hohem Grad (III–IV) bei Mobil- und Schnurlostelefonen. Besonders bei jungen Leuten, die das Mobil- oder Schnurlostelefon schon vor dem 20. Lebensjahr benutzten, war das Gliomrisiko höher als bei älteren Personen. Da ist das Risiko umso geringer je



älter die Person ist, wenn sie beginnt, ein Mobiltelefon zu nutzen. Dafür könnte es biologische Gründe geben. Die Mechanismen sind unklar, möglicherweise verändert die Strahlung das genetische Profil bei Tumorinduktion und -promotion.

**Schlussfolgerungen:** Die Studie weist deutlich auf einen kausalen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Mobil- und Schnurlostelefonen und der Gliomentwicklung im Zeitraum von > 20 Jahren hin. Eine erhöhte HR bedeutet eine geringere Lebenserwartung für Patienten mit Astrozytomen Grad IV, diesem bösartigsten Tumortyp, nach Langzeitnutzung. Das höchste Risiko trat bei Personen auf, die vor dem 20. Lebensjahr mit der Mobilfunknutzung begannen.

## Kognitive Beeinträchtigung und neurogenotoxische Wirkungen bei Ratten durch Einwirkung von schwachen Mikrowellen-Feldern.

Cognitive Impairment and Neurogenotoxic Effects in Rats Exposed to Low-Intensity Microwave Radiation.

Deshmukh PS, Nasare N, Megha K, Banerjee BD, Ahmed RS, Singh D, Abegaonkar MP, Tripathi AK, Mediratta PK; Erschienen in: Int J Toxicol 2015; in press

Dies ist die erste Studie, die die drei in der Telekommunikation verwendeten Frequenzen 900, 1800 und 2450 MHz untersuchte mit der Frage, welche Wirkungen chronische Mikrowellenbestrahlung geringer Intensität auf Lernfähigkeit, Gedächtnis, Hitzeschockproteine (HSP) und DNA-Schädigung in Rattenhirnen haben. Unter Stress werden Hitzeschockproteine aktiv, z. B. wenn Proteine geschädigt, falsch gefaltet oder denaturiert sind, dadurch ihre Aktivität eingeschränkt ist und aus dem Gewebe entfernt werden müssen. Die Konzentration von HSPs steigt dann im Gewebe an. Die Häufung von DNA-Bruchstücken ist ein Anzeichen für ein Ungleichgewicht zwischen DNA-Schädigung und -reparatur, was zu Zelltod oder Krebs führen kann. Mikrowellen können entsprechende Schäden anrichten, abhängig von Frequenz, Intensität und Dauer der Einwirkung.

**Studiendesign und Durchführung:** 24 Männliche Ratten wurden in 4 Gruppen zu je 6 Tieren (Scheinbestrahlung, 900, 1800 und 2450 MHz) 180 Tage lang in Käfigen gehalten. Die Bestrahlung erfolgte während dieser Zeit mit SAR  $5,953 \times 10^{-4}$ ,  $5,835 \times 10^{-4}$  bzw.  $6,672 \times 10^{-4}$  W/kg 2 Stunden/Tag 5 Tage/Woche. Vor und nach der Bestrahlung wurde die Körpertemperatur gemessen, die Lern- und Gedächtnisleistung wurde bestimmt durch Messung der Zeit, die jedes Tier braucht, um sich in einem Labyrinth zurechtzufinden. 24 Stunden später erfolgte eine neue Testreihe, um das Erinnerungs- und Orientierungsvermögen zu bestimmen. Am Ende der 180 Tage wurden die Gehirne der Tiere auf den Gehalt an HSP70 und die DNA-Schädigung mit dem Alkalischen Komettest untersucht.

**Ergebnisse:** Es wurden keine Veränderungen der Körpertemperatur gemessen. Alle drei Frequenzen der geringen Intensität verursachten Beeinträchtigungen des Lernens, des Gedächtnisses und der räumlichen Orientierung, die in den Laby-

rinth-Tests mit den Ratten sichtbar wurden. Außerdem wurde eine signifikante Erhöhung des HSP70-Spiegels gegenüber der Scheinbestrahlung festgestellt nach Bestrahlung mit 900, 1800 und 2450 MHz im nicht-thermischen Bereich. HSP70 ist erhöht, wenn die Zellen Stress ausgesetzt sind. Auch DNA-Schädigungen wurden beobachtet nach der chronischen Einwirkung der drei Frequenzen. Der Komettest ergab signifikant erhöhte DNA-Strangbrüche in den Rattenhirnen im Vergleich zu den scheinbestrahlten Tieren, aber auch signifikant höhere DNA-Schädigungen bei 1800 und 2450 MHz im Vergleich zu 900 MHz.

**Schlussfolgerungen:** Die Studie zeigt, dass Mikrowellenstrahlung von 900, 1800 und 2450 MHz geringer Intensität (nicht-thermische Wirkung) schädliche Auswirkungen auf Rattenhirne hat, sichtbar an verminderten Hirnleistungen beim Lernen, Gedächtnis und der räumlichen Orientierung. Die signifikant erhöhten HSP70-Spiegel zeigen Zellstress an und die signifikant vermehrten DNA-Strangbrüche können zum Zelltod oder Entartung von Zellen führen. Zur Klärung der Mechanismen sollten weitere Studien mit verschiedenen Intensitäten und Einwirkzeiten durchgeführt werden.

## Zusammenhang zwischen Vestibularis-Schwannomen und Mobiltelefon-Nutzung.

Association between vestibular schwannomas and mobile phone use.

Moon IS, Kim BG, Kim J, Lee JD, Lee WS; Erschienen in: Tumour Biology 2014; 35 (1): 581–587

Das Vorkommen von den meist gutartigen Tumoren des Hörnervs, Vestibularis-Schwannome (auch Akustikus-Neurinome genannt), ist in den letzten Jahrzehnten angestiegen, wofür Umweltfaktoren einschließlich Mobilfunk verantwortlich sein können. Die Tumore sind Wucherungen der Schwann'schen Zellen, der isolierenden Umhüllung von Nervenfasern. Der Hörnerv ist das Wahrnehmungsorgan des Schalls und er befindet sich nah an der Stelle, an der das Handy gehalten wird. Die Tumore treten in Regionen des Kopfes auf, die die Energie von Mobilfunkstrahlung absorbieren, welche bis zu 5 cm in das Gehirn eindringen und das Gewebe erwärmen kann. Deshalb sollte diese Untersuchung mit zwei unterschiedlichen Ansätzen Klarheit bringen, ob es einen Zusammenhang zwischen den Tumoren des Hörnervs und der Nutzung von Mobiltelefonen gibt.

**Studiendesign und Durchführung:** Eine Fall-Kontroll-Studie sollte das Tumorrisiko der Vielnutzer im Vergleich zu Nicht-Nutzern ermitteln und in der Fall-Fall-Studie wurden die Größe und die Stelle des Tumors bestimmt und ins Verhältnis gesetzt. Die Fall- und Kontroll-Personen bekamen Fragebögen, die auf denen der INTERPHONE-Studie basieren. Einbezogen wurden Tumorpatienten von Januar 1990 – Dezember 2010, bei denen der Tumor bereits operativ entfernt worden war. Zur Auswertung wurden tägliche Gesprächsdauer und -anzahl sowie kumulativ die Stunden über die gesamte Zeit der Handynutzung herangezogen. Als regelmäßiger Mobilfunk-

nutzer ist jemand definiert, der mindestens einmal pro Woche in den letzten 6 Monaten telefoniert hatte. Langzeitnutzer sind Personen, die das Handy mehr als 10 Jahre verwendeten, Starknutzer mehr als 20 min. täglich und starke Kumulativ-Nutzer solche, die in ihrem Leben mehr als 2000 Stunden erreichten. Die Telefonierseite wurde festgelegt, wenn jemand für mindestens 3 Viertel der Telefonate ein Ohr benutzte, sonst wurde „kein dominantes Ohr“ klassifiziert. Bei allen Teilnehmern wurde das Hörvermögen überprüft, weil jemand zum Telefonieren das Ohr wechselt, wenn er auf einem Ohr schlecht hört. Weitere Unterteilung erfolgte für Dauer, tägliche Anzahl der Gespräche und kumulative Stundenzahlen zwischen den beiden Gruppen.

**Ergebnisse:** Bei der Fall-Kontroll-Studie betrug die längste Phase zwischen Diagnose und Interview 20 Jahre. Das häufigste Symptom war Tinnitus, 53,8 % der Patienten nutzten das Handy immer noch. Die Kontrollpersonen nutzten das Handy etwas mehr als die Fälle. Bei der Fall-Fall-Studie ergaben sich statistisch signifikante Unterschiede innerhalb der Schwannom-Gruppe. Bei den regelmäßigen Nutzern waren die Tumore durchschnittlich größer als bei den unregelmäßigen Nutzern. Innerhalb der Gruppe der regelmäßigen Nutzer gab es nicht-signifikante Unterschiede in der Tumorgöße zwischen den Lang- und Kurzzeitnutzern (9,83 bzw. 5,57 cm<sup>3</sup>), aber einen signifikanten Unterschied zwischen Viel- und Wenignutzern (11,32 bzw. 4,88 cm<sup>3</sup>) bezogen auf die tägliche Gesprächsdauer. Es gab eine starke Korrelation bei der kumulativen Nutzung: die Tumoren waren signifikant größer bei Viel- als bei Wenignutzern (13,31 cm<sup>3</sup> bzw. 4,88 cm<sup>3</sup>). Von den Regelnutzern hielten 9 % das Telefon an beiden Ohren gleich oft. Für die Fälle, die eine feste Seite beim Telefonieren haben, ergab die Risikoanalyse einen Risikofaktor von 4,5. Die Fall-Fall-Berechnung ergab ein signifikant größeres Tumolvolumen bei den Regel- und Vielnutzern, sowohl für die tägliche als auch die kumulative Nutzung im Vergleich zur Nicht- und Wenignutzer-Gruppe. Ein starker Zusammenhang bestand zwischen Verlust bzw. Einschränkung des Hörvermögens und der Seite des Kopfes, an dem das Handy überwiegend gehalten wurde.

**Schlussfolgerungen:** Man kann aus den Ergebnissen schließen, dass die Mobilfunkstrahlung das Tumorstadium beeinflusst, dass die Größe des Tumors von der Häufigkeit der Nutzung und dem betroffenen Ohr abhängt. Je länger die Patienten telefoniert hatten, desto größer war der Tumor auf der Seite, an der das Telefon gehalten wird. Die durch das Handy erzeugte lokale Erwärmung (thermische Wirkung der Mobilfunkstrahlung) könnte das Wachstum eines bereits vorhandenen Schwannoms beschleunigen. Man sollte Menschen mit einem Schwannom raten, das Telefonieren mit dem Handy zu unterlassen.

## Kognition / Verhalten

### Verhalten und Gedächtnis-Leistung von Wistar-Ratten, die 1,8-GHz-Strahlung ausgesetzt waren.

Behavior and memory evaluation of Wistar rats exposed to 1.8 GHz radiofrequency electromagnetic radiation.

Von: de Caires Jr LC, da Silveira Goulart Guimarães E, Manso Musso C, Stabler CT, Garcia RMG, Mourao Jr CA, Andreazzi AE; Erschienen in: *Neurol Res* 2014; 36 (9): 800–803

Mehrere Studien haben ergeben, dass Hochfrequenzstrahlung das Zentralnervensystem (ZNS) beeinflussen kann. Um die Wirkungen der 1800-MHz-Mobilfunkstrahlung auf das Zentralnervensystem im Tiermodell zu untersuchen, wurden Ratten darauf getestet, ob Ängstlichkeit, Kurzzeitgedächtnis oder Stressverhalten durch 1800 MHz verändert wird.

**Studiendesign und Durchführung:** Insgesamt 12 männliche erwachsene Ratten (60 Tage alt) wurden in 2 Gruppen eingeteilt: die eine Gruppe wurde der 1800-MHz-Strahlung 3 Tage lang ausgesetzt. Alle 2 Minuten ging vom Mobiltelefon ein Anruf von 25 Sekunden Länge aus. Das elektrische Feld betrug 2 V/m wenn das Telefon an, 0,1 V/m wenn es aus war. Die andere Gruppe diente als scheinbestrahlte Kontrolle. Nach der Bestrahlung wurde das Verhalten der Tiere im Offenes-Feld-Test beobachtet: das Bewegungsmuster, wie viele Quadrate das Tier betritt, wie lange und oft es stehen bleibt, wie lange es sich in der Mitte aufhält und wie oft es sich aufstellt. Ein zweiter Test, der Objekt-Erkennungstest, gibt Auskunft über das Verhalten gegenüber neuen Situationen. Im selben offenen Feld wurden 4 Plastikzylinder gleicher Art aufgestellt (3 x 5 cm), 3 weiße und ein schwarzer. Nach 24 Stunden Eingewöhnung wurden die Objekte ausgetauscht. Die Zeit, die die Tiere zum Schnüffeln oder Berühren aufwendeten, wurde zur Beurteilung des Erkundungsverhaltens gemessen. Erkundet das Tier ein neues Objekt intensiver, wird das als Erinnerung gedeutet. Wenn alle Gegenstände gleich beachtet werden, hat sich das Tier nicht an die vorangegangene Situation erinnert.

**Ergebnisse:** Es gab keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen in der Dauer des Aufenthalts in der Mitte des Feldes (1,48 ± 0,33 zu 2,05 ± 0,8), aber die bestrahlten Tiere verharren signifikant häufiger (43,25 ± 4,8 zu 22,21 ± 6,3 sec) und richteten sich signifikant häufiger auf im Vergleich zur Kontrollgruppe (13,2 ± 1,4 zu 4,5 ± 0,9). Bei der Bewegungsaktivität und dem Verharren war ein signifikanter Anstieg von 95,9 % zu sehen. Es gab keine Unterschiede im Erkunden des Feldes (Anzahl der betretenen Quadrate oder der Geschwindigkeit des Erkundens). Im Objekttest zur Bestimmung des Kurzzeitgedächtnisses waren nicht signifikante Unterschiede zu sehen (Unterscheidungsindex Kontrolle 0,35 ± 0,17 zu 0,56 ± 0,18). Die Bestrahlung erzeugte keine Ängstlichkeit bei den Tieren, was aus der Dauer des Aufenthalts in

der Mitte des Feldes geschlossen werden kann. Veränderungen der Verharrungszeit deuten auf Stress, Furcht oder Ängstlichkeit hin. Die Häufigkeit des Aufrichtens der Tiere war erhöht auf 193,3 %, was eine erhöhte Erkundungsaktivität bedeutet, die auf Ängstlichkeit, Depression und Stressverhalten zurückzuführen ist.

**Schlussfolgerungen:** Die Tiere zeigten in den Tests Stressverhalten nach 1800-MHz-Strahlung von Mobiltelefonen, aber keine Ängstlichkeit und kaum Unterschiede im Erinnerungsvermögen. Das hebt die Stressorwirkung der Mobilfunkstrahlung hervor. Die Daten bestätigen die Ergebnisse anderer Forscher. Die Objekterkennung (Test zur Bestimmung des Erinnerungsvermögens) war nicht signifikant verschieden bei den beiden Gruppen. Es gibt keine andere Studie mit Ratten und 1800 MHz und diesen Modalitäten, bei Mäusen schon. Ein Nachteil dieser Studie sei die Bestrahlungsweise (3 Tage 25-sec-Gespräche alle 2 min), denn so telefoniert normalerweise niemand, vielleicht in manchen Berufen und/oder Menschen in Entwicklungsländern. Die intensive Bestrahlung war aber nötig, damit Unterschiede deutlich werden. Weitere Studien sollten folgen.

## Heilwirkung

### Erhöhungen der mikrovaskulären Durchblutung und Sauerstoffversorgung des Gewebes durch gepulste elektromagnetische Felder im gesunden Ratten-Hirn.

Increases in microvascular perfusion and tissue oxygenation via pulsed electromagnetic fields in the healthy rat brain. Bragin DE, Statom GL, Hagberg S, Nemoto EM; Erschienen in: J Neurosurg 2014: in press DOI: 10.3171/2014.8.JNS132083.

Hochfrequente gepulste Felder sind als Therapie bei Schmerzen und Ödemen nach Operationen oder schlecht heilenden Wunden und Knochenbrüchen u. a. anerkannt. Sie ermöglichen auch nicht-invasive therapeutische Maßnahmen bei Störungen im Gehirn. Neuerdings werden auch Therapien in der Neurologie und bei Infarkten in Erwägung gezogen, da in Tierversuchen die Infarktgröße nach PEMF-Behandlung (Gepulste Elektromagnetische Felder) vermindert wurde. Auch nach Hirnverletzungen sind positive Wirkungen in Tierversuchen und bei Alzheimer-Patienten gefunden worden, evtl. durch verbesserte Durchblutung der peripheren Mikrogefäße. PEMF erweitern die Arteriolen, aber ob der Blutfluss verbessert wird, ist noch unklar, und zur Zirkulation im Gehirn ist nichts bekannt. Die Wirkung der PEMFs auf die Mikrozirkulation scheint auf Stickstoffmonoxid (NO) zu beruhen (NO ist ein gut bekannter Gefäße erweiternder Wirkstoff), dies ist aber im Nervensystem nicht untersucht. Das Ziel war festzustellen, ob die PEMF-Behandlung eine messbare Wirkung auf die Durchblutung in den Mikrogefäßen und die Sauerstoffversorgung von gesunden Rattenhirnen hat, ob NO dabei eine Rolle spielt

und ob die gepulste Strahlung zur Therapie bei Schlaganfall und Hirnverletzungen eingesetzt werden kann.

**Studiendesign und Durchführung:** Es gab 3 Gruppen: 1. Zeit-Kontrollgruppe (5 Ratten), 2. PEMF-Gruppe (11 Ratten), 3. PEMF + 10 mg/kg i. v L-NAME (7 Ratten). L-NAME ist ein Hemmstoff für das Enzym NOS. Die Trägerfrequenz der PEMF betrug 27,12 MHz, moduliert durch 3 msec Pulse mit Wiederholungsfrequenz 5 Hz, elektrische Feldstärke  $6 \pm 1$  V/m im Rattenhirn, SAR 40 mW/kg (deutlich unterhalb der thermischen Schwelle). Nach der Behandlung wurden der Druck in den Arteriolen, Venolen und Kapillaren (3–50  $\mu$ m) und die Fließgeschwindigkeit der roten Blutkörperchen (Erythrozyten) mit der Laser-Scan-Mikroskopie am lebenden betäubten Tier gemessen und der Sauerstoffgehalt vor und bis 3 Stunden nach der PEMF-Behandlung bestimmt.

**Ergebnisse:** Die PEMF-Behandlung führte bei den 11 Ratten der Gruppe 2 zu signifikanter Erweiterung der Arteriolen im Gehirn von durchschnittlich  $26,4 \pm 0,84$   $\mu$ m Durchmesser auf  $29,1 \pm 0,91$   $\mu$ m ( $p < 0,01$ ). Nach 3 Stunden hatte sich allmählich ein Wert von  $27,5 \pm 0,90$   $\mu$ m eingestellt. In den Kapillaren war die erweiternde Wirkung sichtbar, aber nicht-signifikant. Bei den Kontrollen waren die Durchmesser der Kapillaren und Arteriolen innerhalb von 4 Stunden unverändert. Arteriolen erzeugen den ersten Haupt-Widerstand und bilden wahrscheinlich den Haupt-Angriffspunkt für NO-induzierte Gefäßerweiterung, denn die Kapillaren haben keine glatte Muskulatur und sind deshalb nicht empfindlich für die gefäßerweiternde Wirkung von NO. Nach der PEMF-Behandlung gab es eine Verschiebung zu höherer Fließgeschwindigkeit in den Kapillaren auf  $105,5 \% \pm 1,3 \%$ , die innerhalb von 3 Stunden auf  $102,8 \% \pm 1,9 \%$  des Basiswertes zurückfiel. Die normale Fließgeschwindigkeit beträgt zwischen 0,14 und 3,15 mm/sec mit Normalverteilung. Der Sauerstoffgehalt im Gewebe war nach der PEMF-Behandlung signifikant gesteigert. In der Kontrollgruppe gab es innerhalb von 4 Stunden keine Veränderungen. Die Überprüfung mit Blockierung der NO-Synthase führte zur Bestätigung, dass NO der entscheidende Faktor bei der PEMF-Wirkung ist.

**Schlussfolgerungen:** Die Ergebnisse zeigen, dass die gepulsten 27,12-MHz-Felder eine Weitung der Arteriolen durch einen NO-abhängigen Mechanismus bewirken. Die Gefäßerweiterung führt zu einem Anstieg des Blutflusses in den Mikrogefäßen im Gehirn, wodurch die Sauerstoffversorgung des Gewebes verbessert wird, die hier bis 3 Stunden nachweisbar war. Die Studie erklärt einen möglichen Mechanismus der PEMF-Wirkung. Eine PEMF-Behandlung kann eine wirkungsvolle Strategie bei Wundheilungen, schweren Verletzungen und Durchblutungsstörungen im Gehirn sein.

## Pflanzen

### SIMS-Studie zur epidermalen Meristem-Entstehung unter Calcium-Entzug durch Kälteschock oder GSM-Telefon-Befeldung bei Flachs.

SIMS Study of the Calcium deprivation step related to epidermal meristem production induced in flax by cold shock or radiation from a GSM telephone.

Von: Tafforeau M, Verdus MC, Norris V, White G, Demarty M, Thellier M, Ripoll C

Erschienen in: Journal of Trace and Microprobe Techniques 2002; 20 (4): 611–623

Wenn Pflanzen in ihrer natürlichen Umgebung schwachem Umweltstress ausgesetzt sind (Wind, Regen, Berührung, Trockenheit, Hitze, Infektionen, Fraß- und Stichverletzungen u. a.) gibt es sofort Zellreaktionen, die unter Calcium( $\text{Ca}^{2+}$ )-Beteiligung zu Veränderungen im Wachstum oder der Formentwicklung (Morphogenese) der gesamten Pflanze führen. Wenn Flachskeimlinge 2 oder 3 Tage in einer Nährlösung ohne Calcium wachsen, reagieren sie auf diesen Calciumentzug mit der Bildung von Meristemen\* in der äußeren Schicht (Epidermis) im Hypokotyl\*\*. Die Anzahl beträgt nach einer Stress-Situation normalerweise 20 Meristeme nach 3 Wochen. In den Kontrollpflanzen ohne oder mit wenig Stress entstehen 10- bis 20-fach weniger Meristeme pro Pflanze. Ein solcher Auslöser kann auch ein Kälteschock sein, wobei der Calcium-Signalweg zur vermehrten Bildung von Meristemen eingeschlagen wird. In diesem Experiment wird gezeigt, wie Meristembildung in Flachs-Keimlingen nach 900-MHz-Bestrahlung und Kälteschock induziert wird. Der zugrunde liegende Mechanismus ist unbekannt, aber weil die morphologische Veränderung beides braucht, Auslöser und Calcium-Entzug, wird angenommen, dass Calcium und andere Ionen (die Kationen  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  und  $\text{Na}^+$ ) involviert sind. Mit der SIMS-Methode (SIMS = Secondary Ion Mass Spectrometry) kann man die anorganischen Kationen im Hypokotyl der Flachskeimlinge (hier nach Calcium-Entzug) sichtbar machen. In diesem Experiment wurde untersucht, welche Mechanismen dem zugrunde liegen.

**Studiendesign und Durchführung:** Flachs-Keimlinge wurden in 3 Gruppen geteilt: Gruppe 1 bekam an Tag 6 2 Stunden Bestrahlung mit 900 MHz (1 mW/cm<sup>2</sup>, Temperatur-Erhöhung < 0,2 °C nach 2 h = nicht-thermische Wirkung), Gruppe 2 als positive Kontrolle wurde an Tag 6 mit Kälteschock behandelt (die Wurzeln wurden 1 min. in 4 °C Medium getaucht) und Gruppe 3 erhielt keine Behandlung (negative Kontrolle). An Tag 7 und Tag 8 wuchsen die Pflanzen in Medium ohne Calcium (Ca-Entzug), stattdessen mit Kalium (K), danach bis Tag 29 wieder mit Calcium. Die Anzahl der gebildeten Meristeme wurde im Mikroskop gezählt. Für die SIMS-Bestimmung von Ca, K, Mg und Na gab es weder Kälte noch GSM-Behandlung, nur 3 Tage Ca-Entzug.

**Ergebnisse:** Der Kälteschock und die 900-MHz-Bestrahlung produzierten 3 Wochen nach Ende des Calcium-Entzugs (Tag 29) durchschnittlich 15 bzw. 5 Meristeme. In den unbehandelten Kontrollen entstanden am Tag 29 im Durchschnitt weniger als 0,5 Meristeme. Die Meristeme entwickeln sich im mittleren Teil des Hypokotyls. Obwohl das Calcium im Medium um den Faktor 100 vermindert war (von 2,33 mM auf 20 µM), war die mittlere Konzentration im Gewebe nur um den Faktor 2,5 reduziert. Es erfolgt im Gewebe wohl ein sehr langsamer oder gar kein Austausch, weil dieses Calcium an die Zellwand gebunden ist. Da Calcium ein wichtiger Faktor bei Signalwegen und für die Bildung von Meristemen ist, wurde in diesen Experimenten die Verteilung der Kationen in den epidermalen und angrenzenden Geweben während des Ca-Entzugs analysiert. Es kam zu signifikanten Veränderungen der Konzentrationen von Ca, Mg, Na und K. Magnesium war um den Faktor 1,4 erhöht, z. T. ist wohl Ca durch Mg ersetzt worden. Die Na Konzentration wurde um den Faktor 1,6 und die K-Konzentration um den Faktor 1,25 vermindert. Die K-Konzentration ist im Ca-Mangel-Medium erhöht (11,58 mM statt 6,92 mM im normalen Medium). Die Ionenverteilung von Na, K, Mg und Ca im Gewebe des 9 Tage alten Flachs-Hypokotyls deutet darauf hin, dass die Flachskeimlinge während des Calcium-Entzugs versuchen, das Verhältnis von zwei- zu einwertigen Ionen konstant zu halten. Die Keimlinge reagieren mit 900-MHz-Strahlung genauso wie wenn andere Auslöser (Berührung, Wind oder Trockenheit) zusammen mit Ca-Entzug einwirken, nämlich mit der epidermalen Meristemproduktion im Hypokotyl. Die Mechanismen sind unklar, aber wahrscheinlich sind Calcium-Signalwege beteiligt. Das soll nicht heißen, dass die Strahlung schädlich ist, denn Umwelteinwirkungen (z. B. Berührung oder Wind) sind normal und zeigen keine Veränderungen in Wachstumsraten oder andere Beeinträchtigungen.

**Schlussfolgerungen:** Zum Auslösen der morphologischen Veränderungen (Meristembildung) muss außer der Calcium-Verminderung ein zweiter Auslöser vorhanden sein. 900-MHz-Strahlung ist keine natürliche Umwelteinwirkung, an die Pflanzen angepasst sind, aber die Pflanze kann darauf reagieren ohne eine thermische Einwirkung wahrzunehmen. Der um 8 Tage verspätete Ca-Entzug bewirkt dasselbe wie wenn dieser sofort nach dem Berührungseiz erfolgt. Man kann daraus schließen, dass es eine Langzeitspeicherung von Umweltsignalen gibt, die zusammengenommen zu einer angemessenen Reaktion der Pflanze führen.

**Meristem\*** = das Meristem ist ein spezielles Gewebe in Pflanzen, in dem die Zellteilung stattfindet, es befindet sich hauptsächlich in den Wurzel- und Sprossspitzen. Es sind undifferenzierte Zellen, die beim Wachstum der Pflanze ausdifferenzieren. Ein Meristem kann aus bereits differenzierten Zellen sozusagen rückentwickelt und undifferenziert werden, so dass wieder Zellteilung erfolgen kann.

**Hypokotyl\*\*** = ist das Stück der Sprossachse einer Pflanze zwischen Wurzel und den Keimblättern (Kotyledonen).

## Studien, die im ElektromogReport besprochen wurden

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

### 2100 MHz verändern Speicheldrüsengewebe bei Ratten

Die in diesen Experimenten eingesetzten weiblichen Ratten wurden 2100-MHz-Feldern von 0,4 W/kg (16 V/m) entweder 10 oder 40 Tage ausgesetzt. Danach waren zahlreiche Veränderungen an Zellen, Geweben und den Zellkernen zu sehen. Die Veränderungen waren nach 40 Tagen stärker ausgeprägt als nach 10 Tagen. Bei den biochemischen Parametern MDA, XO, GSH-Px, CAT und SOD waren die Unterschiede weniger deutlich.

#### **The effect of 2100 MHz radiofrequency radiation of a 3G mobile phone on the parotid gland of rats.**

Die Wirkung eines 2100 MHz-Hochfrequenz-Feldes eines 3G-Mobiltelefons auf die Ohrspeicheldrüse von Ratten. Aydogan F, Unlu I, Aydin E, Yumusak N, Devrim E, Samim EE, Ozgur E, Unsal V, Tomruk A, Ozturk GG, Seyhan N  
Erschienen in: Am J Otolaryngol 2015; 36 (1): 39 - 46

ElektromogReport März 2015

### 900 und 1800 MHz schädigen Krallenfrosch-Embryonen

Ziel dieser Studie war, die Wirkung von Mobilfunk-Strahlung allein und in Kombination mit Nikotinsulfat (NS) auf die Entwicklung von Krallenfrosch-Embryonen (*Xenopus laevis*) zu untersuchen. Bei einer SAR von 1 W/kg fand man eine erbgutschädigende Wirkung, die durch NS verstärkt wurde. Rauchen und Mobilfunkstrahlung haben zusammen eine deutlich stärkere Schädigung für die menschliche Gesundheit als die Strahlung allein.

#### **The effect of 900 and 1800 MHz GSM-like radiofrequency irradiation and nicotine sulfate administration on the embryonic development of *Xenopus laevis*.**

Die Wirkung von 900 und 1800 MHz GSM-ähnlicher Hochfrequenz-Exposition und Nikotinsulfat-Gabe auf die embryonale Entwicklung von *Xenopus laevis*.

Boga A, Emre M, Sertdemir Y, Akillioglu K, Binokay S, Demirkan O  
Erschienen in: Ecotoxicol Environ Saf 2014; 113 : 378 - 390

ElektromogReport April 2015

### Handys und WLAN erzeugen Apoptose in Brustkrebszellen

Die 3 Frequenzen 900, 1800 und 2450 MHz für Mobiltelefone und WLAN erzeugen Zellschäden, wenn der Abstand zur Feldquelle geringer ist als 10 cm und die Feldstärke etwa 12  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  beträgt. Überlebensrate, ROS-Bildung, Apoptose und  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentrationen in den Zellen sind signifikant verändert. Bestimmte  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionenkanäle sind an den Veränderungen beteiligt.

**Investigation of the effects of distance from sources on apoptosis, oxidative stress and cytosolic calcium accumulation via TRPV1 channels induced by mobile phones and Wi-Fi in breast cancer cells.** Untersuchung der Wirkung des Abstands von Quellen auf Apoptose, oxidativen Stress und Calcium-Anreicherung im Cytosol über TRPV1-Kanäle, hervorgerufen durch Mobiltelefone und Wi-Fi bei Brustkrebs-Zellen. Cig B, Naziroglu M; Erschienen in: Biochimica et Biophysica Acta - Biomembranes 2015: in press

ElektromogReport Juni 2015

### 1800-MHz-Strahlung beeinflusst den Tag-Nacht-Rhythmus

An Ratten wurde in diesem Experiment untersucht, wie sich Bestrahlung mit 1800 MHz auf die Antioxidantien Melatonin, GSH-Px und SOD auswirkt. Behandelt wurden die Tiere mit 201,7  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  Leistungsflussdichte (SAR 0,05653 W/kg) bei täglicher 2-stündiger Bestrahlung über 32 Tage. Nach der Bestrahlungsperiode konnten im Blut der Tiere verminderte Konzentrationen der drei Antioxidantien und Verschiebungen im Tag-Nacht-Rhythmus nachgewiesen werden.

**Circadian Rhythmicity of Antioxidant Markers in Rats Exposed to 1.8 GHz Radiofrequency Fields.** Tageszeitliche Schwankungen der antioxidativen Marker in Ratten, exponiert bei 1,8 GHz hochfrequenten Feldern.

Cao H, Qin F, Liu X, Wang J, Cao Y, Tong J, Zhao H; Erschienen in: Int J Environ Res Public Health 2015; 12 (2): 2071 - 2087

ElektromogReport Juni 2015

### 900-MHz-Strahlung verändert die Blut-Hirn-Schranke

In diesem Experiment wurden männliche Ratten mit 900 MHz bestrahlt und nach 14 und 28 Tagen beobachtet, wie sie sich im Wasserlabyrinth verhalten. Danach wurde das Gehirn auf Veränderungen im Gewebe von Hippocampus und Hirnrinde sowie molekulare Veränderungen untersucht. Es konnte nachgewiesen werden, dass das Gedächtnis der Tiere eingeschränkt war, es nach 28 Tagen zu Gewebe- und Zellveränderungen kam und die Blut-Hirn-Schranke für Albumin und HO-1 durchlässiger war.

**Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mcp-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats.** Exposition bei 900 MHz elektromagnetischen Feldern aktiviert den mcp-1/ERK-Signalweg und verursacht Blut-Hirn-Schranken-Schädigung und kognitive Beeinträchtigung bei Ratten.

Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, Zuo S, Feng H, Chen Z, Zhu G; Erschienen in: Brain Res 2015; 1601 : 92 - 101

ElektromogReport Juni 2015

## Glossar

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

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

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

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

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

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

**CI:** siehe Konfidenzintervall

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

**Epithel:** Deckgewebe, das äußere oder innere Körperoberflächen bedeckt.

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

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

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

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

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

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

stimmter Zellen zu ermitteln.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

**Oxidase:** Ein Enzym, das mit molekularem Sauerstoff (O<sub>2</sub>) als Elektronenakzeptor bei Oxidation eines Substrats reagiert.

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

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

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

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

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

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

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

**Superoxid** ist ein sehr reaktives und toxisches Radikal von molekularem Sauerstoff, das bei der Übertragung eines Elektrons auf O<sub>2</sub> entsteht. Bei Übertragung eines weiteren Elektrons entsteht daraus Peroxid.

**SOD / Superoxid - Dismutase:** Ein Enzym, das die Umsetzung des sehr reaktiven und für die Zelle schädlichen Superoxid-Radikals katalysiert. Dabei wird Superoxid mit Wasserstoff zu molekularem Sauerstoff und Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) umgesetzt.

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

**Toxizität:** Die Giftwirkung eines Stoffes gegenüber lebenden Organismen.

**Wasserstoffperoxid H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>:** Ein starkes Oxidationsmittel, das bei seinem Zerfall molekularen Sauerstoff (O<sub>2</sub>) abgibt. Es wird verdünnt zum Desinfizieren und Bleichen verwendet. In tierischen und pflanzlichen Geweben wird Wasserstoffperoxid durch Enzyme (z.B. Oxidase) bei der Aminosäureoxidation gebildet, abgebaut wird es durch die Enzyme Katalase und Peroxidase.

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

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

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

# www.mobilfunkstudien.org

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



Studienrecherche 2015 - 1

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

Beide zum Download auf:  
[www.mobilfunkstudien.org](http://www.mobilfunkstudien.org)



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

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

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



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

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