

# ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

21. Jahrgang / Nr. 6

www.elektrosmogreport.de

Juni 2015

## Mobilfunkforschung

### 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.**

Eine bekannte Wirkung von Hochfrequenzstrahlung ist, dass sie das Energieniveau und die Spin-Orientierung von Elektronen verändert mit der Folge von erhöhter Aktivität, Konzentration und Lebensdauer von ROS. Die vielen antioxidativen Abwehrmechanismen des Körpers werden geschwächt und der Elektronentransfer in den Mitochondrien verändert. Wenn schädliche Einwirkungen auf die Zellen auftreten, werden Calcium( $\text{Ca}^{2+}$ )-Kanäle angesprochen, z. B. durch Hitze, oxidativen Stress oder schädliche Substanzen wie Capsaicin (CAP, die scharfe Substanz aus Paprika und Chili). Da nicht-ionisierende Strahlung Hitze und oxidativen Stress erzeugen kann, sollte untersucht werden, welchen Einfluss der Abstand zur Strahlenquelle auf die Aktivierung der  $\text{Ca}^{2+}$ -Signalkette hat.  $\text{Ca}^{2+}$  ist an sehr vielen Abläufen in den Zellen beteiligt, von der Zellteilung über oxidativen Stress bis zur Apoptose. Reguliert wird die  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentration durch viele verschiedene Ionenkanäle, die unterschiedlich aktiviert werden. Eine Gruppe der Ionenkanäle kann durch CAP und Hitze aktiviert werden, die so genannten Hitzeempfindlichen Kationen-Kanäle (TRPV1), was zu einem erhöhten Einstrom von  $\text{Ca}^{2+}$  in die Zellen führt. Zur Klärung der Schädigung von Zellen durch Mobiltelefone und WLAN sollten  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentrationen, ROS-Produktion im Zytoplasma, Zellüberlebensrate, Apoptose und die beiden Caspasen 2 und 9 in menschlichen Brustkrebszellen (Zelllinie MCF-7) bestimmt werden. Caspasen sind Enzyme, die bei der Apoptose mitwirken, wenn schädigende Ereignisse auf Zellen einwirken.

Die Brustkrebszellen wurden geteilt in die Gruppen A, B, C und D (scheinbestrahlte Kontrolle, 900, 1800 und 2450 MHz) und verschiedene Teile davon im Abstand von 0, 1, 5, 10, 20 und 25 cm eine Stunde mit  $\leq 12 \mu\text{W}/\text{cm}^2$  (bei 900 MHz ist die SAR  $0,36 \pm 0,02 \text{ mW}/\text{kg}$ ) bestrahlt, bevor das Capsaicin einwirkte. Nach der Bestrahlung erfolgte die Bestimmung von  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentrationen (freies  $\text{Ca}^{2+}$ ) und ROS im Zytoplasma, Apoptose, Caspase-3 und -9. Alle Ansätze wurden 4- bis 6-mal wiederholt.

Alle bestrahlten Gruppen hatten signifikant höhere Werte bei ROS im Zytoplasma,  $\text{Ca}^{2+}$ -Konzentrationen, Apoptose, Caspase-3 und -9 als in der Kontrolle in 0, 1 und 5 cm Abstand. Die Überlebensrate der Zellen war bei allen Abständen geringer als

bei der Kontrolle, stieg aber mit der Entfernung an. Keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle waren in 20 und 25 cm Abstand bei 900 und 2450 MHz zu sehen; bei 1800 MHz war bis 25 cm eine geringere Überlebensrate sichtbar. Alle 3 Frequenzen erzeugten höhere ROS-Gehalte, die mit zunehmendem Abstand von den Zellkulturen abnahmen. Die Apoptoserate war bei 900 und 1800 MHz war im Abstand von 0–10 cm signifikant erhöht, bei 2450 MHz bei 0–5 cm gegenüber der Kontrollgruppe. Die Bildung von ROS war in allen 3 bestrahlten Gruppen im Abstand von 0–5 cm im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant erhöht. Die Enzymaktivitäten der Caspasen 3 und 9 waren in allen 3 Gruppen im Abstand von 0–5 cm signifikant erhöht im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Die Arbeit hat gezeigt, dass der Mindestabstand zu den Geräten 10 cm sein sollte. Die Mobilfunk- und WLAN-Strahlung scheint durch Erzeugung von ROS auf die  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle einzuwirken. Der oxidative Stress durch ROS betrifft besonders die Membranen, in denen die Ionenkanäle sitzen. Zudem werden die Mitochondrien geschädigt, was zur Ausschüttung der Enzyme Caspase-3 und Caspase-9 und zur Apoptose führt. Die Mitochondrienfunktion ist für die Zellen, insbesondere für Nervenzellen sehr wichtig, da diese die Energie für die Zellen erzeugen unter Beteiligung der  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle. Die in dieser Studie gezeigten gesteigerten Parameter ROS-Produktion im Zellplasma, Apoptose, Caspase-3 und Caspase-9 durch 900, 1800 und 2450 MHz deuten auf einen gesteigerten  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstrom in die Zelle über die Hitzeempfindlichen der  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle hin mit anschließender Bildung von freien Radikalen.

Zusammenfassend bleibt festzuhalten: 900, 1800 und 2450 MHz von Mobiltelefonen und WLAN induzieren Apoptose und ROS-Produktion durch  $\text{Ca}^{2+}$ -Ansammlung im Zellplasma, was eine Folge der Aktivierung bestimmter  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle, der Hitzeempfindlichen Kationen-Kanäle, ist. Die Zunahme von oxidativem Stress und der Apoptoserate tritt bei verschiedenen Abständen auf, bei 20 und 25 cm ist kein signifikanter Unterschied mehr zur unbestrahlten Kontrolle zu finden. Ab 10 cm Abstand sind kein oxidativer Stress, keine Apoptose und kein hoher  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstrom in die Brustkrebszellen mehr nachweisbar. Zur Vermeidung von Zellschäden kann ein Abstand von 10 cm ein-

## Weitere Themen

### 1800 MHz verändert Tag-Nacht-Rhythmus, S. 2

Bestrahlung mit 1800 MHz verändert die Konzentrationen der Antioxidantien Melatonin, GSH-Px und SOD im Blut von Ratten, die 32 Tage lang der Strahlung 2 Stunden täglich ausgesetzt waren.

### Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, S. 2

Bestrahlung mit 900 MHz verändert das Verhalten von Ratten, verändert Strukturen in Hippocampus und Hirnrinde und erhöht die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke.

gehalten werden. Therapeutisch könnten TRPV1-Kanal-Blocker eine Möglichkeit sein, gegen den oxidativen Stress und die erhöhte Apoptoserate durch Mobilfunk und WLAN anzugehen.

#### Quelle:

Çiğ B, Nazıroğlu M (2015): 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. *Biochimica et Biophysica Acta*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.bbame.2015.02.013>

#### Mobilfunkwirkung

## 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.**

Nur wenige Forschungsarbeiten haben sich mit dem Thema Mobilfunkstrahlung und Tag-Nacht-Rhythmus befasst, vor allem nicht in Bezug auf die oxidative Schädigung. Reaktive oxidative Substanzen (ROS) sind direkt beteiligt an der Schädigung von Makromolekülen im Gewebe wie Fette, Proteine und Nukleinsäuren. Der erzeugte oxidative Stress kann mehrere Gesundheitsprobleme verursachen wie neurodegenerative Störungen, Herz-Kreislauf- und Krebs-Erkrankungen sowie Alterungsprozesse beschleunigen. Zwar können Zellen mit antioxidativen Abwehrmaßnahmen reagieren über Enzyme Glutathion-Peroxidase (GSH-Px), Superoxid-Dismutase (SOD) und Katalase (KAT) und andere antioxidative Moleküle, aber wenn die oxidative Schädigung überhand nimmt, treten Störungen auf. Auch das Hormon Melatonin ist ein wirksames Antioxidans, das über Rezeptoren und unabhängig davon agiert und ROS entgiftet. Es reguliert zudem mehrere Gene, die zur Bildung von vielen antioxidativen Enzymen führen. Melatonin unterliegt bei Säugetieren einem Tag-Nacht-Rhythmus (nachts hoher Melatoninspiegel, tagsüber niedriger). Da das Mobiltelefon am Kopf gehalten wird, kann die Strahlung Veränderungen des Melatonin-Gehalts zur Folge haben. Die Forschung hat dazu bisher widersprüchliche Ergebnisse erbracht, der Tag-Nacht-Rhythmus wurde aber noch nicht untersucht. Hier wurde nun an männlichen Ratten der Einfluss von 1800 MHz zu verschiedenen Tageszeiten auf die Melatoninsynthese und die Konzentrationen von GSH-Px und SOD untersucht.

Es gab 7 Gruppen zu je 6 männlichen Ratten, eine scheinbestrahlte Kontrollgruppe, die anderen 6 Gruppen wurden mit der nicht-thermischen Feldstärke 201,7  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  bestrahlt (Fernfeld), einer Leistungsflussdichte nahe der Strahlung von etwa 200  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ , die heutige Mobiltelefone abstrahlen. Das entspricht dem 5-Fachen des elektromagnetischen Kontrollwertes für die Umwelt von 40  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  in China. Gruppe 7 erhielt Scheinbestrahlung, jede der 6 anderen Gruppen wurde täglich zu einem anderen Zeitpunkt im 24-Stunden-Hell-Dunkel-Zyklus bestrahlt: 3, 7, 11, 15, 19 und 23 Uhr für jeweils 2 Stunden/Tag über 32 Tage. Licht- und Dunkelphase war von 7–19 bzw. 19–7 Uhr. Sofort nach der letzten Bestrahlung am Tag 32 wurde den Tieren Blut entnommen, so dass das Blut zum Zeitpunkt 5, 9,

13, 17, 21 und 1 Uhr abgenommen und die Konzentrationen der Antioxidantien Melatonin, GSH-Px und SOD im Blutplasma bestimmt wurden.

Es zeigte sich eine signifikante Abnahme des Melatonin-Gehalts im Blut der Ratten nach 1800-MHz-Einwirkung im Vergleich zur scheinbestrahlten Kontrolle. Melatonin war immer niedriger bei den Bestrahlungsgruppen 03.00 und 23.00 Uhr. Die anderen Gruppen wichen weniger bis kaum von der Kontrolle ab. Die Werte der Enzyme GSH-Px und SOD waren insgesamt niedriger bei den bestrahlten Tieren, zudem war der Tag-Nacht-Rhythmus der beiden Enzyme gestört mit Höhepunkten von 2.39–7.35 bzw. von 5.03–3.12 Uhr. Alle waren im Tagesrhythmus signifikant verschieden. Die größten Abweichungen bei GSH-Px und SOD (Abnahme der Konzentrationen im Vergleich zur Kontrolle) waren bei der Bestrahlungsgruppe 3 Uhr zu finden. In allen Gruppen bei allen 3 Antioxidantien wurden signifikante Konzentrationsvermindierungen im Tagesverlauf gemessen, nur zu unterschiedlichen Zeitpunkten. Der Tag-Nacht-Rhythmus der untersuchten 2 Substanzen war nach 1800-MHz-Bestrahlung vom normalen Verlauf abgekoppelt. Die stärkste Veränderung war beim Melatonin-Gehalt um 23 Uhr zu sehen, sie betrug -40 % gegenüber der Kontrolle, bei GSH-Px betrug sie -37 % und bei SOD -32 % in der 3-Uhr-Gruppe.

Besonders auffällig sind die signifikanten Änderungen im Melatoninspiegel um 23.00 und 3.00 Uhr, zu Zeitpunkten, wo die Spiegel am höchsten sein sollten. Das Hormon Melatonin ist empfindlicher als die beiden Enzyme. Es wird in der Zirbeldrüse in einem Tag-Nacht-Rhythmus synthetisiert, was über Gene der inneren Uhr synchronisiert ist. Die hier gefundenen Reaktionen sind ähnliche wie auf Lichteinwirkung und es zeigt die Beeinflussung der Melatonin-Synthese. Da der Rhythmus der Aktivität der antioxidativen Enzyme vom Tag-Nacht-Rhythmus des Melatonins abhängig ist, sind auch Veränderungen im Rhythmus bei den antioxidativen Enzymen die Folge.

Diese Studie erbrachte Beweise für die Veränderung vom Tag-Nacht-Rhythmus des Melatonins und als Folge der Antioxidans-Enzyme SOD und GSH-Px durch 1800-MHz-Strahlung. Die schädliche Wirkung der Mobilfunkstrahlung ist vorhanden in zweierlei Hinsicht, den durchschnittlichen täglichen Gehalten der antioxidativen Enzyme und deren Veränderungen im 24-Stunden-Rhythmus. Die klaren Ergebnisse, dass die Strahlung Veränderungen im Tag-Nacht-Rhythmus der Antioxidantien erzeugt, machen deutlich, dass es weiterer Forschung bedarf, die sich mit den molekularen Mechanismen befassen, die die Gene für die innere Uhr steuern.

#### Quelle:

Cao H, Qin F, Liu X, Wang J, Cao Y, Tong J, Zhao H (2015): Circadian Rhythmicity of Antioxidant Markers in Rats Exposed to 1.8 GHz Radiofrequency Fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 12 (2), 2071–2087

#### Mobilfunkwirkung auf das Gehirn

## 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-**