

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 Nucleinsäuren. 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 Melatonininhalts 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 Melatonininhalts 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-**

## und Zellveränderungen kam und die Blut-Hirn-Schranke für Albumin und HO-1 durchlässiger war.

900-MHz-Mobilfunkstrahlung kann Veränderungen im Gehirn hervorrufen, z. B. bei Lern- und Gedächtnisfunktionen, an den Synapsen und an der Blut-Hirn-Schranke, das haben frühere Ergebnisse gezeigt. In dieser Studie sollte das Verhalten der Tiere, die Lern- und Gedächtnisleistung und die damit verbundenen molekularen Mechanismen untersucht werden.

108 männliche Ratten wurden auf 3 Gruppen verteilt: scheinbe-strahlte Kontrolle, 14 und 28 Tage Bestrahlung. Von den je 36 Tieren/Gruppe wurden 3 für die Elektronenmikroskopie, 12 für die Untersuchung der Blut-Hirn-Schranke, 12 für molekulare Untersuchungen auf Albumin und das Enzym Hämoxygenase und 9 für die Tests im Wasserlabyrinth eingesetzt. Die Gruppen 2 und 3 wurden mit einer Leistungsflussdichte von 1 mW/cm<sup>2</sup> für 14 bzw. 28 Tage 3 Stunden täglich bestrahlt. Die SAR variierte von 0,016 (Ganzkörper) und 2 W/kg (am Kopf). Die Gehirne wurden am Ende entnommen und die Regionen Hippocampus und Hirnrinde auf mögliche Veränderungen untersucht. Die mikroskopischen und elektronenmikroskopischen Untersuchungen, ob im Gewebe Unterschiede zwischen den 3 Gruppen bestehen, wurden verblindet vorgenommen. Die weiteren biochemischen Bestimmungen sollten zeigen, ob die Blut-Hirn-Schranke verändert ist (Albumin, Häm-Oxygenase-1 = HO-1) und welche Signalwege dabei eine Rolle spielen.

Die Tests im Wasserlabyrinth zur Feststellung der räumlichen Orientierungs- und Erinnerungsvermögen ergaben eine signifikante Beeinträchtigung des Gedächtnisses nach 28 Tagen der 900-MHz-Bestrahlung im Vergleich zur Kontrolle, nicht aber nach 14 Tagen. Beim anfänglichen Training der Tiere vor der Bestrahlung gab es keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Zeiten, die die Tiere brauchten, um die Plattform unter Wasser zu finden. Die Zeit, die die 28-Tage-Tiere im Quadranten verbrachten, war verringert und die Erinnerung an die Stelle der Plattform war geringer trotz des vorherigen 4-Tage-Trainings. Nach der Bestrahlung zeigten die 28-Tage-Tiere signifikante Defizite: Sie schwammen ungerichtet, während die anderen Gruppen zielgerichtet die Plattform ansteuerten. Die Schwimm-Geschwindigkeit war nicht signifikant verschieden. Das zeigt, dass die Strahlung Lernen und räumliches Erinnerungsvermögen beeinträchtigt, nicht aber die motorischen Fähigkeiten.

Die mikroskopischen Gewebeuntersuchungen zeigten zelluläre Ödeme und Degeneration der Zellorganellen in den Nervenzellen (Neuronen). Im Elektronenmikroskop sah man Veränderungen in der Ultrastruktur der Neuronen im Hippocampus und in der Hirnrinde. Die Nervenfasern der bestrahlten Tiere zeigten zahlreiche dünne und leere Bereiche mit starken Ödemen um die Blutgefäße und die Neuronen herum, die Grenzen der Nervenzellen waren unklar, faltig und dunkel. In der 28-Tage-Gruppe waren die Zellorganellen angeschwollen oder waren verschwunden und man sah Vakuolen im Zytoplasma. Diese Zellveränderungen waren auch in anderen Hirnregionen, die zusammen mit dem Hippocampus an räumlicher Erinnerung beteiligt sind, zu sehen. Außer Neuronen spielen Gliazellen eine Rolle bei Informationsverarbeitung und Entscheidungsfindung.

Die Produktion von Albumin war in der Hirnrinde nach 14 und 28 Tagen signifikant erhöht gegenüber der Kontrolle. Auch zwischen 28 zu 14 Tagen entstand eine signifikante Erhöhung. Im Hippocampus war Albumin nur in der 28-Tage-Gruppe signifikant gegenüber der Kontrolle erhöht. Die Schädigung der Blut-Hirn-Schranke durch die 900-MHz-Bestrahlung führte zu vermehrtem Austreten von Albumin im Hippocampus und in der Hirnrinde. Die Blut-Hirn-Schranke zeigte signifikant erhöhte Durchlässigkeit nach 14 Tagen Bestrahlung und noch stärker-

re nach 28 Tagen; da war die Durchlässigkeit auch signifikant erhöht gegenüber der 14-Tage-Gruppe. Außerdem zeigte sich, dass das Enzym HO-1 weit verbreitet war in den Zellen von Hippocampus und Hirnrinde nach 900-MHz-Bestrahlung. HO-1 ist verantwortlich für den Abbau von Häm (einem Bestandteil des Hämoglobins) zu Biliverdin und ist gut bekannt als ein Biomarker für Reaktionen auf oxidativen Stress. Die 900-MHz-Strahlung bewirkte signifikant erhöhte die HO-1-Gehalte, höher in der 28- als in der 14-Tage-Gruppe.

Das alles bedeutet, dass die 900-MHz-Bestrahlung nach 28 Tagen signifikante Beeinträchtigungen des räumlichen Erinnerungsvermögens und Schädigung der Blut-Hirn-Schranke verursacht. In diese Prozesse könnte der mkp-1/ERK-Signalweg involviert sein, der in diesem Experiment aktiviert wurde. Das wurde hier zum ersten Mal gezeigt. Dieser Signalweg ist u. a. beteiligt an der Zellteilung und am Schutz von Krebszellen vor Apoptose.

Der Mechanismus für die Passage des Albumins durch die Blut-Hirn-Schranke ist unklar. Serum-Albumin außerhalb von Gefäßen im Gehirn ist neurotoxisch. Es ist ein relativ kleines Molekül, deshalb kann es aus den Gefäßen austreten, aber es können umgekehrt auch andere Moleküle in das Gehirn hineingelangen und Schäden anrichten.

Diese Studie liefert Beweise dafür, dass 900-MHz-Strahlung die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke erhöht, sichtbar am Anstieg von neuronalem Albumin in Hippocampus und Hirnrinde nach 14 und 28 Tagen. Auch Lernfähigkeit und Erinnerungsvermögen waren beeinträchtigt, sie sind aber auf intaktes Hirngewebe angewiesen. Die durchlässigere Blut-Hirn-Schranke resultiert höchstwahrscheinlich aus Zellstrukturveränderungen und gesteigerter HO-1-Produktion durch die 900-MHz-Bestrahlung. Dass nach 14 Tagen keine signifikanten Beeinträchtigungen im räumlichen Gedächtnis im Wasserlabyrinth-Test zu sehen waren, könnte bedeuten, dass in diesem Zeitraum Kompensation oder Reparatur stattfindet. Oder dass der Test nicht empfindlich genug ist. Weitere Studien in vitro sind nötig, um die molekularen Abläufe zu verstehen.

### Quelle:

Tang J, Zhang Y, Yang L, Chen Q, Tan L, Zuo S, Feng H, Chen Z, Zhu G (2015): Exposure to 900 MHz electromagnetic fields activates the mkp-1/ERK pathway and causes blood-brain barrier damage and cognitive impairment in rats. *Brain Research* 1601, 92–101

## Kurzmeldungen

### BUND: weitere Zunahme von Mobilfunkstrahlung

In einer Pressemitteilung vom 26.05.15 "Versteigerung von Mobilfunkfrequenzen: Mehr Elektrosmog durch neue Sendeanlagen" macht der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) darauf aufmerksam, dass durch diese Versteigerung die Belastung der Umwelt mit Strahlung zunehmen wird, vor allem durch die Anwendung von Smartphones und Tablets. Die Umwelt- und Gesundheitsrisiken durch die sorglose Nutzung der Geräte werden zu wenig beachtet, stellt der BUND fest. Vor den Strahlungseinwirkungen müssten vor allem Kinder besser geschützt werden. Leider gebe es dafür in Deutschland noch keine entsprechenden Vorschriften. Da Kenntnisse zu Langzeitwirkungen und vor allem die Auswirkungen auf Kinder kaum oder nicht bekannt sind, und die WHO die Mobilfunkstrahlung als möglicherweise Krebs erregend eingestuft hat, müsse mehr Vorsorge getroffen werden. Vor allem sollten Kinder von der Nutzung der Geräte ferngehalten werden. In Frankreich und Belgien gibt es entsprechende Vorschriften, die sollten in Deutschland auch eingeführt werden. Gefordert wird eine