

# ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

21. Jahrgang / Nr. 7

www.elektrosmogreport.de

Juli 2015

## Wirkung niederfrequenter Magnetfelder

### 50-Hz-Magnetfelder beeinflussen den Tag-Nacht-Rhythmus

**Werden Zellkulturen einer menschlichen Fibroblasten-Zelllinie 50-Hz-Magnetfeldern von 0,1 mT (= 100 µT, der Grenzwert) ausgesetzt, verändert sich die Expression der Gene für die Innere Uhr. Diese Gene steuern den Tag-Nacht-Rhythmus (zirkadianer Rhythmus) und nachfolgend viele physiologische Prozesse in den Zellen, in Geweben und im gesamten Organismus.**

Viele Studien haben ergeben, dass niederfrequente Magnetfelder im mT-Bereich Zellprozesse beeinflussen (Zellwachstum, Zelldifferenzierung und Zellzyklus, Stoffwechsel und verschiedene physiologische Eigenschaften von Zellen). Die Einflüsse der Magnetfelder auf diese physiologischen Prozesse können indirekt sein, indem der Tag-Nacht-Rhythmus verändert wird. Der Tag-Nacht-Rhythmus ist charakterisiert durch eine Periodenlänge von ungefähr 24 Stunden. Diese endogen gesteuerte Rhythmik wird von molekularen Oszillatoren (Taktgebern) auch ohne äußere Zeitgeber (Hell-Dunkel-Perioden) aufrechterhalten und ist in vielen Zellen und Geweben im gesamten Organismus vorhanden. Die intrazellulären Uhren werden durch mehrere Uhr-Gene reguliert, z. B. die hier untersuchten 5 Gene BMAL1, PER2, PER3, CRY1 und CRY2. Die zentrale Uhr, sozusagen die erste Anlaufstelle, liegt im suprachiasmatischen Kern im Hypothalamus und wird hauptsächlich durch den Hell-Dunkel-Wechsel gesteuert. Die peripheren Uhren werden dann durch Signale von Nerven, im Blut gelösten Stoffen (z. B. Glucocorticoiden) und anderen täglichen Einflüssen von außen gesteuert. Dieses zirkadiane Kontrollsystem ermöglicht es den Organismen, sich an die inneren und äußeren umweltbedingten Erfordernisse anzupassen, z. B. an veränderte Tag-/Nacht-Länge. Der Schlaf und die Hormonproduktion, Herzaktivität, Zellwachstum und DNA-Reparatur werden reguliert. Das Einwirken der Magnetfelder kann somit die Maschinerie der Biologischen Uhr verstellen, weil die Expression der entsprechenden Gene verändert wird. Die Hypothese, dass niederfrequente Magnetfelder den Tag-Nacht-Rhythmus verändern, wird in diesen Experimenten überprüft, insbesondere, ob 0,1 mT (100 µT) die zirkadiane Genexpression beeinflussen können.

Die Wirkung der Magnetfelder auf die menschlichen Haut-Fibroblasten (HuDe, human dermal fibroblasts, Bindegewebszellen) wurde in 2 Experimenten untersucht. Das Magnetfeld betrug 100 µT, das elektrische Feld maximal 0,157 mV/m. Beim ersten Experiment wurde zum Zeitpunkt Null die Magnetfeld-Behandlung begonnen und nach einer Stunde beendet. Zellen wurden entnommen nach 1, 2, 3, 4, 8, 12, 16, 24, 28, 32, 36, 40 und 48 Stunden vom Zeitpunkt 0 an. Die Zellen der Kontrollen wurden scheinexponiert.

Das zweite Experiment sollte klären, ob die Magnetfelder die Genexpression tageszeitlich verändern können, wenn die Zellen vorher eine Serum-Schock-Behandlung erfahren hatten. Die Serum-Schock-Behandlung ist eine erprobte Prozedur zur Aktivierung der Uhr-Gene. Die Zellen hungerten für 48 Stunden, dann wurden sie in ein serumhaltiges Medium für 2 h überführt um danach in einem Medium ohne Serum der Magnetfeld-Behandlung unterzogen. Zellen wurden nach 3, 4, 8, 12, 16, 24, 28, 32, 36, 40 und 48 Stunden nach Start des Serum-Schocks entnommen. Die Kontrollen wurden scheinexponiert. Alle Experimente wurden dreimal wiederholt und durch 2 verschiedene Forscher verblindet ausgewertet.

Die einstündige Magnetfeldbelastung induzierte im ersten Experiment signifikant erhöhte Uhr-Gen-Expressionen mit Spitzenwerten nach 8 und 32–36 Stunden. Bei den Kontrollzellen waren geringe tageszeitliche Schwankungen zu sehen. Alle 5 untersuchten Uhr-Gene wiesen ähnliche Kurven auf. Die Amplitude des Tag-Nacht-Zyklus nahm vom ersten zum zweiten Zyklus während der untersuchten 48 Stunden ab. Nach dem Serumschock im zweiten Experiment zeigten sich signifikant höhere Gen-Expressionen nach der Magnetfeld-Behandlung. Die Kurven von Kontrollen und den mit Magnetfeld behandelten Zellen hatten gleichen Verlauf mit Höchstwerten bei 4 bzw. 8 und 24 bzw. 28 Stunden.

Die Mechanismen der Veränderungen durch die 50-Hz-Magnetfelder sind nicht klar, und deshalb sind die Gesundheitsrisiken auch unklar. Jedoch wurde den Magnetfeldern kürzlich eine Rolle beim Verändern vom Tag-Nacht-Rhythmus zugeschrieben, wodurch u. a. die Innere Uhr über die Zirbeldrüse und das Melatonin beeinflusst werden. Die mögliche Beeinflussung der Gene des Tag-Nacht-Rhythmus durch Magnetfelder wird unterstützt durch experimentelle Ergebnisse, die zeigten, dass die Regulation des Calciumflusses und des regulatorischen Enzyms Proteinkinase C verändert wird. Beide sind bekannt als Modulatoren der Gene für die Innere Uhr. Diese Gene werden weit verbreitet im Organismus exprimiert und es ist bekannt, dass die Uhr-Gene eine entscheidende Rolle bei der Regulation von vielen Zellprozessen spielen. Denn der Tag-Nacht-Wechsel

## Weitere Themen

### 2856 MHz verändern Gehirnstrukturen, S. 2

Sowohl das Verhalten als auch EEG und Neurotransmitter werden durch die Mikrowellen in Rattenhirnen verändert.

### Unmenschliche Arbeitsbedingungen, S. 3

In den Produktionsstätten für elektronische Geräte in China werden rechtliche und soziale Vorgaben missachtet.

### Prozess gegen Prof. Lerchl und Laborjournal, S. 3

Das Urteil gegen Prof. Lerchl und das Laborjournal wegen falscher Anschuldigungen und Verleumdung ist rechtskräftig.

erfordert unterschiedliche biologische Prozesse für das Leben an sich auf mehreren Organisationsebenen, subzellulär und zellulär (Zellzyklus, Aktivität der Transkriptionsfaktoren im Tagesrhythmus), in Geweben und Organen (tageszeitliche Schwankungen in der elektrischen Aktivität des Gehirns, Herzschlag) und im gesamten Organismus (Tag-Nacht-Rhythmus). Deregelung der Uhr-Gene ist ein kritischer innerer Faktor, der zur Entwicklung von Krankheiten beiträgt. Jüngere Studien haben Beziehungen zwischen Störung des Tag-Nacht-Rhythmus und Krankheitsentstehung wie Fettleibigkeit, Bluthochdruck, Diabetes Typ 2, Schädigung der Herzkranzgefäße und Krebsentwicklung gezeigt.

Diese Ergebnisse beweisen, dass die 50-Hz-Magnetfelder von 100  $\mu\text{T}$  nicht nur als Auslöser für veränderte Expression der Gene der Inneren Uhr sind, sondern dass auch die tageszeitlichen Schwankungen der Genexpression signifikant verändert werden, die zuvor synchronisiert waren. Dies wurde auch in vielen anderen Studien nachgewiesen. Daher kann man annehmen, dass Magnetfelder den Tag-Nacht-Rhythmus vieler physiologischer Abläufe im Organismus beeinflussen, weil die Innere Uhr verstellt wird und die Auswirkungen den ganzen Organismus betreffen. Diese *in vitro*-Studie unterstützt die Hypothese, dass die Signalwege der zirkadianen Uhr eine Verbindung zwischen dem Lebewesen und dessen äußerer Umwelt herstellen.

#### Quelle:

Manzella N, Bracci M, Ciarapica V, Staffolani S, Strafella E, Rapisarda V, Valentino M, Amati M, Copertaro A, Santarelli L (2015): Circadian Gene Expression and Extremely Low-Frequency Magnetic Fields: An In Vitro Study. *Bioelectromagnetics* 36, 294–301

### Wirkung von Mikrowellen

## Physiologische Veränderungen durch 2856-MHz-Strahlung

**In diesen Experimenten wurde an männlichen Ratten gezeigt, dass die Langzeiteinwirkung von 2856 MHz mit durchschnittlich 5, 10, 20 und 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$  zu Defiziten im räumlichen Lernen und im Gedächtnis führt. Man fand erhöhte Deltawellen im EEG, Degeneration der Neuronen im Hippocampus, Störungen verschiedener Neurotransmitter und eine Beteiligung des Serotonin(5-HT)-Systems. Der Anstieg von Serotonin durch die Mikrowellen stört räumliches Lernen und das Gedächtnis.**

Serotonin (5-hydroxytryptamine, 5-HT) ist ein Schlüsselmolekül in der Physiologie des Befindens, es sorgt, wenn in ausreichender Menge vorhanden, für gute Laune, aber es ist auch an Gefäßfunktionen und an den Bewegungen des Magen-Darm-Traktes beteiligt. In diesem Experiment wurde untersucht, ob Mikrowellen von 2856 MHz Langzeitwirkungen auf den Serotonin-Stoffwechsel haben. Dazu wurden männliche Ratten mit durchschnittlichen Feldstärken von 5, 10, 20 und 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$  dreimal pro Woche für 6 Minuten über 6 Wochen bestrahlt. Die Kontrolltiere erhielten Scheinbestrahlung. Zu verschiedenen Zeitpunkten, 14 und 28 Tage und 2 Monate nach der Bestrahlung, wurden räumliches Lernen und Gedächtnisfunktionen mit dem Verhaltenstest im Wasserlabyrinth durchgeführt. Die EEG-Untersuchung erfolgte 14 nach Tagen der Bestrahlung.

Zur Bestimmung des Gehalts an Neurotransmittern (Aminosäuren und Monoamine) in Hippocampus und in der Rückenmarksflüssigkeit (Liquor) wurden den Ratten 14, 28 Tage und 2 Mo-

nate nach der Bestrahlung die Gehirne entnommen und die Neurotransmitter Noradrenalin (NA), Homovanillinsäure (HVA), Dopamin (DA), Dihydroxy-phenyl-Essigsäure (DOPAC), 5-HT und 5-Hydroxy-Indol-Essigsäure (5-HIAA), dazu Aspartat (Asp), Glutaminsäure (Glu), Glycin (Gly), Taurin (Tau) und  $\gamma$ -Amino-Buttersäure (GABA) in Hippocampus und Liquor gemessen. Um die Langzeitwirkung auf morphologische Strukturen des Hippocampus zu sehen, wurden Hirnschnitte angefertigt. Das Serotonin-System wurde mit den Enzymen Tryptophan-Hydroxylase 1 (TPH1) und Monoamin-Oxidase (MAO) untersucht, zwei wichtigen Enzymen der Serotoninsynthese bzw. von Stoffwechselfprozessen, und es wurden die Serotonin-Rezeptoren 5-HT<sub>1A</sub>, 2A, 2C gemessen.

Im Navigationstest zeigten die Tiere umso mehr Zeitverzögerungen, je höher die Feldstärke und je länger die Zeit nach der Bestrahlung war. Ebenso war das Erinnerungsvermögen geringer bei den bestrahlten Tieren. Die Schwimmgeschwindigkeit war nicht verschieden zwischen den Gruppen. Zudem war das EEG verändert. 14 Tage nach der Bestrahlung war die Amplitude erhöht und die Frequenz war vermindert, wobei die Delta-Wellen signifikant erhöht waren im Vergleich zur Kontrolle, mit steigender Leistungsflussdichte immer höher. Die Gewebeuntersuchungen zeigten Veränderungen im Hippocampus, und zwar waren die Zellkerne in den bestrahlten Gruppen zu blauen Punkten geschrumpft nach 14, 28 Tagen und 2 Monaten am stärksten nach 28 Tagen und bei 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$  und die Nervenzellen der Hirnrinde waren degeneriert. Die Bestimmung der Neurotransmitter ergab grundsätzlich verschiedene Werte bei den bestrahlten Gruppen gegenüber der Kontrolle, teilweise signifikant geringere teilweise erhöhte Konzentrationen. Die Aktivität des Enzyms TPH1 war nicht verändert im Hippocampus, während sie bei der MAO signifikant vermindert war nach 28 Tagen und 2 Monaten bei 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . Die Rezeptoren 1A und 2C hatten signifikant verschiedene Konzentrationen gegenüber der Kontrollgruppe bei 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$  nach 14, 28 Tagen und 2 Monaten.

Die hier beobachtete Dosis-abhängige Beeinträchtigung des räumlichen Lernens und des Gedächtnisses (je höher die Dosis desto schlechter das Lernen und Erinnern), weist auf Veränderungen im Hippocampus hin, denn diese Fähigkeiten werden hauptsächlich dort verarbeitet. Die Veränderungen in der Deltawelle im EEG und den Rezeptoren passen zu den Defiziten im räumlichen Lernen und Gedächtnis. Die Veränderungen der Gehalte an Neurotransmittern passen ebenfalls dazu. Nach 14 Tagen waren Asp und Glu im Hippocampus vermindert bei geringeren Feldstärken, GABA stieg an in den Gruppen mit hohen Feldstärken. Nach 28 Tagen waren Tau und Glu verringert im Hippocampus. Glu spielt eine entscheidende Rolle bei Lern- und Erinnerungsprozessen, so dass man annehmen kann, Glu ist involviert in die schlechtere Hirnleistung nach Bestrahlung. Tau ist an Übertragungen an Synapsen beteiligt und sorgt für synaptische Plastizität. Verminderung der Aktivität kann verminderte Hirnleistung ausmachen. Parallel dazu zeigen die Ergebnisse der Monoamin-Transmitter, dass in frühen Stadien NA-Störungen auftreten und später nach lang andauernder Wirkung Serotonin-Störungen. Das heißt, hoher Serotoninspiegel durch Mikrowellen verschlechtert räumliches Lernen und Gedächtnis. Weil bei Serotonin Langzeitwirkungen auftreten, wurde das Serotonin-System bei 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$  in weiteren Experimenten untersucht. Der erhöhte Serotoningehalt kann durch gesteigerte Synthese oder verminderten Abbau auftreten. Die Ergebnisse zeigten, dass der Abbau von Serotonin vermindert war nach Einwirkung der 30  $\text{mW}/\text{cm}^2$ .

Die Untersuchungen zu den 3 Serotonin-Rezeptoren 5-HT<sub>1A</sub>R, 5-HT<sub>2A</sub>R und 5-HT<sub>2C</sub>R zeigten Anstieg von 5-HT<sub>1A</sub>R und 5-HT<sub>2C</sub>R in der Hirnrinde nach 28 Tagen, im Hippocampus un-