

Neue Studien zur Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf Spermien, Embryos, die Blut-Hirn-Schranke, Kognition und Verhalten

Sendeanlagen an Schulen erhöhen das Risiko für Diabetes Mellitus Typ 2

Drei wichtige Neuerscheinungen im Forschungsbereich gab es in ersten Quartal 2016: Eine Zusammenfassung der Dokumentation der Europäischen Umweltagentur "Späte Lehren aus frühen Warnungen: Wissenschaft, Vorsorge, Innovation" ist auf Deutsch erschienen. Sie behandelt in einem Kapitel das Gehirntumorrisiko (EUA 2016:32). Der neue Radarbericht des Otto-Hug-Strahleninstitutes stellt fest, dass die Kombinationswirkung von ionisierender und nicht-ionisierender Strahlung eine mögliche Ursache multipler Krankheitsphänomene sein kann (MÄMPEL 2015:9). Die Universität Dallas/Texas veröffentlichte die Studie "*Anthropogenic Radio-Frequency Electromagnetic Fields Elicit Neuropathic Pain in an Amputation Model*", die an Kriegsverletzten mit Amputationen zelluläre Ursachen von Elektrohypersensibilität nachweist (BLACK 2016).

In dieser Studienrecherche haben wir noch einmal den Schwerpunkt auf die Wirkungen der Mobilfunkstrahlung auf die Fruchtbarkeit gelegt und acht Studien dazu rezensiert. Dies ergänzt den neuen diagnose:funk Brennpunkt „*Smartphones & Tablets schädigen Hoden, Spermien und Embryos*“ (2/2016), der dokumentiert: 130 Studien weisen schädliche Wirkungen auf Hoden, Spermien und Embryos nach. Die Studien von *Kumar 2015*, *Meena 2014*, *Milan 2011* und *Zalata 2015* untersuchen die Wirkung nicht-ionisierender Strahlung auf Spermien. Die Studien weisen u.a. als Folgen in den bestrahlten Gruppen im Vergleich zu den unbestrahlten Kontrollgruppen nach:

- Abnahme der Spermienbeweglichkeit / Motilität (*Milan*)
- Abnahme der Spermienkonzentration (*Zalata*)
- Unnatürliche Form der Spermien / Morphologie (*Milan*)
- verringertes Hodengewicht (*Kumar, Meena*)
- Schrumpfung der Hodengröße (*Kumar*)
- Entzündungen in den Hodenzelle (*Meena*)
- einen statistisch signifikanten Anstieg an Mikrokernen (*Kumar*)
- eine signifikant höhere Anzahl an DNA-Brüchen (*Kumar, Meena, Zalata*)
- eine signifikante Schrumpfung des Lumens der Samenkanälchen (*Kumar*)
- desorganisierte Samenkanälchen (*Meena*)
- eine signifikant geringere Testosteronkonzentration (*Kumar*)
- Abnahme der Antioxidantien (*Meena, Zalata*)
- Erhöhte Apoptoserate (*Meena*)
- Lipidperoxidation (*Meena*)

Als Wirkmechanismus wird oxidativer Zellstress angegeben (*Kumar, Meena*). *Meena* weisen nach, dass DNA-Strangbrüche und die Apoptoserate in den Spermienzellen bei 2,45 GHz (WLAN !) sehr hoch waren, sie konnten durch Gabe von Melatonin reduziert werden, lagen aber immer noch signifikant über den Kontrollwerten. *Milan* konnten Schädigungen durch Gabe von Polygonum (Käuterextrakt mit antioxidanter Wirkung) verringern.

Schwangerschaft: Pränatale Bestrahlung - Postnatale Auswirkungen

Vier Studien zu den Wirkungen auf den Embryo werden rezensiert. *Topal 2015* untersuchen an Ratten, wie sich die Bestrahlung der Mutter mit 900 MHz auf die Nachkommen im Mutterleib auswirkt. Sie führt zu oxidativem Stress und pathologischen Veränderungen in der Leber nach der Geburt, und verändert das antioxidative Abwehrsystem. *Hanci 2015*, *Odaci 2016* und *Türedi 2015* weisen nach, dass die pränatale Exposition zu postnatalen Auswirkungen führt:

STUDIEN RECHERCHE

2016 - 1

Diagnose-Funk e.V.

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

Postfach 15 04 48
70076 Stuttgart

www.diagnose-funk.org
www.mobilfunkstudien.org
kontakt@diagnose-funk.org

Ihr Ansprechpartner

Ressort Wissenschaft

Peter Hensinger

peter.hensinger@diagnose-funk.de

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

- Oxidativer Stress, Lipidperoxidation (*Hanci, Türedi*)
- Veränderung der Mitochondrien (*Hanci, Türedi*)
- krankhafte Veränderungen in Thymus und Milz (*Hanci*)
- Schäden im Herzgewebe (*Türedi*)

Das Hauptergebnis bei *Odaci*: Die 1-stündige tägliche 900-MHz-Strahlung von Tag 13–21 der trächtigen Ratten - Mutter führt zu Veränderungen in Struktur und Funktion der reproduktiven Organe bei den männlichen, 60 Tage alten Nachkommen. Sie hatte negative Wirkungen auf die Beweglichkeit und Vitalität der Spermien, Morphologie und Struktur der Hoden und Samenleiter.

WLAN - Auswirkungen auf die Lernfähigkeit

WLAN an Schulen ist auf dem Vormarsch, trotz vieler Studien, die negative Wirkungen auf Kognition und Verhalten nachweisen. Im Hippocampus wird das räumliche Lernen und Gedächtnis verarbeitet, gespeichert und abgerufen. *Shahin 2015* zeigen, dass kontinuierliche 2,45-GHz-Bestrahlung oxidativen/nitrosativen Stress im Hippocampus verursacht und zu Zellveränderungen führt, die Lernen und Erinnern beeinträchtigen. Auch *Narayanan 2015* stellen bei 900 MHz Strukturveränderungen im Hippocampus fest, die zu vermindertem Lernen und Erinnern bezüglich der räumlichen Orientierung führen. Als Ursachen werden ROS und DNA-Schäden angegeben. *Ikinci 2015* zeigen, dass biochemische und pathologische Veränderungen im Rückenmark auftreten können, wenn männliche Ratten vom Tag 21 bis Tag 46 täglich eine Stunde lang mit 900-MHz-Feldern bestrahlt werden. Als eine Ursache wird Lipidperoxidation identifiziert. Da das Rückenmark der Transportweg vom Gehirn zum peripheren Nervensystem ist, könnten Schädigungen dort zu Störungen im Verhalten führen, weil der Informationsaustausch gestört ist.

Wieder bestätigt: Blut-Hirn-Schranke öffnet sich

Die Arbeitsgruppe von Prof. Salford von der Universität Lund veröffentlichte bereits 1992 die erste Studie, die nachwies, dass die Hochfrequenz-Befeldung mit einer Frequenz von 915 MHz eine verstärkende Auswirkung auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke hat, bei gepulster Strahlung sogar noch stärker. Giftstoffe können dadurch ins Gehirn gelangen. Dies konnte er bis heute immer wieder durch neue Untersuchungen bestätigen. Weltweit gab es dagegen von der Industrie inszenierte Pressekampagnen. *Sirav 2016* bestätigen die Ergebnisse von Salford. Mobilfunkstrahlung von 900 und 1800 MHz, die keine Erwärmung des Gewebes hervorruft, führt zu erhöhter Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Proteine nach 20 Minuten Bestrahlung.

Sendeanlage macht Schüler krank

Eine wichtige klinische Untersuchung zu Basisstationen legen *Meo 2015* vor. Für die Studie wurden 2 Grundschulen ausgewählt mit insgesamt 159 Schülern, auf die eine unterschiedlich starke Strahlung einwirkte. In dieser Querschnitts-Studie sollte der Zusammenhang zwischen der Strahlung und glykiertem Hämoglobin (HbA1c) und dem Auftreten von Diabetes mellitus Typ 2 untersucht werden. Das Ergebnis: Die Schüler mit den hohen Feldstärken hatten ein signifikant höheres Risiko, an Diabetes mellitus Typ 2 zu erkranken gegenüber den Schülern mit geringerer Belastung. Das Ergebnis veranlasst die Forschergruppe zu einem Statement: Diese Studie soll der Öffentlichkeit und den Gesundheitsbehörden aufzeigen, dass die Gesundheit nicht hinten an stehen darf und man soll sich darüber im Klaren sein, dass Mobilfunkbasisstationen nicht in Bereichen mit hoher Bevölkerungsdichte installiert werden sollten, besonders nicht auf oder in der Nähe von Schulen.

Literatur:

BLACK (2015): Anthropogenic Radio-Frequency Electromagnetic Fields Elicit Neuropathic Pain in an Amputation Model. Durch den Menschen erzeugte hochfrequente elektromagnetische Felder lösen neuropathische Schmerzen in einem Amputations-Modell aus. Von: Black B, Granja-Vazquez R, Johnston BR, Jones E, Romero-Ortega M. Erschienen in: PLoS One 2016; 11 (1): e0144268

EUA (2016): "Späte Lehren aus frühen Warnungen: Wissenschaft, Vorsorge, Innovation" Zusammenfassung, Hrsg. Europäische Umweltagentur, Kopenhagen

MÄMPEL (2015): Unterschätzte Gesundheitsgefahren durch Radioaktivität am Beispiel der Radarsoldaten, Bericht des Otto-Hug Strahleninstitutes, Hannover

Inhaltsverzeichnis

Reproduktionsorgane: Spermien und Hoden

Einfluss elektromagnetischer Felder auf das Reproduktionssystem männlicher Ratten. Influence of electromagnetic fields on reproductive system of male rats. Von: Kumar S, Behari J, Sisodia R. Erschienen in: Int J Radiat Biol 2013; 89 (3): 147–154

Seite 5

Therapeutische Ansätze mit Melatonin bei Toxizität, die von Mikrowellen-induziertem oxidativen Stress vermittelt wurde, auf die männliche Fertilität von Wistar-Ratten. Therapeutic approaches of melatonin in microwave radiations-induced oxidative stress mediated toxicity on male fertility pattern of Wistar rats. Von: Meena R, Kumari K, Kumar J, Rajamani P, Verma HN, Kesari KK. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (2): 81–91

Seite 5

Wirkungen des Kräuter-Extrakts von Polygonum aviculare auf die Spermien-Parameter nach EMF-Exposition von Mäusen. Effects of Polygonum aviculare herbal extract on sperm parameters after EMF exposure in mouse. Von: Milan PB, Nejad DM, Ghanbari AA, Rad JS, Nasrabadi HT, Roudkenar MH, Roushandeh AM, Goldust M ; Erschienen in: Pak J Biol Sci 2011; 14 (13): 720–724

Seite 6

In vitro-Wirkung von Mobiltelefon-Strahlung auf Beweglichkeit, DNA-Strangbrüche und Clusterin-Genexpression in menschlichen Spermien. In vitro effect of cell phone radiation on motility, DNA fragmentation and clusterin gene expression in human sperm. Von: Zalata A, El-Samanoudy AZ, Shaalan D, El-Baiomy Y, Mostafa T; Erschienen in: Int J Fertil Steril 2015; 9 (1): 129–136

Seite 7

Reproduktionsorgane: Embryo - Postnatale Auswirkungen

Kann ein pränatal einwirkendes 900-MHz-Feld die Morphologie der Milz und des Thymus beeinflussen und Biomarker für oxidativen Schaden bei 21 Tage alten männlichen Ratten verändern? Can prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field affect the morphology of the spleen and thymus, and alter biomarkers of oxidative damage in 21-day-old male rats? Von: Hancı H, Türedi S, Topal Z, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Ersoz S, Unal B, Odaci E. Ersch. in: Biotech Histochem 2015; 90 (7): 535–543

Seite 7

Wirkung von pränataler 900-MHz-Strahlung auf Hoden und Spermienqualität in Samenleitern bei 60 Tage alte Ratten. Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on 60-day-old rat testis and epididymal sperm quality. Von: Odaci E, Hancı H, Yuluğ E, Türedi S, Aliyazıcıoğlu Y, Kaya H, Çolakoğlu S.. Erschienen in: Biotech Histochem. 2016; 91 (1): 9–19.

Seite 8

Langzeitwirkung von 900-MHz-Feldern auf die Leber von 21 Tage alten neugeborenen männlichen Ratten. The effects of prenatal long-duration exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old newborn male rat liver. Von: Topal Z, Hancı H, Mercantepe T, Erol HS, Keleş ON, Kaya H, Mungan S, Odaci E. Erschienen in: Turk J Med Sci. 2015; 45 (2): 291–7.

Seite 9

Die Wirkungen der pränatalen Exposition bei einem elektromagnetischen 900-MHz-Feld auf das Herz bei 21 Tage alten männlichen Ratten. The effects of prenatal exposure to a 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat heart. Von: Türedi S, Hancı H, Topal Z, Unal D, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Odaci E. Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (4): 390–3

Seite 10

Verhalten und Kognition

Morphologische und antioxidative Beeinträchtigung des Rückenmarks von Ratten-Nachkommen nach 900-MHz-Bestrahlung während der frühen und mittleren Jugend. Morphological and antioxidant impairments in the spinal cord of male offspring rats following exposure to a continuous 900-MHz electromagnetic field during early and mid-adolescence. Von: İkinci A, Mercantepe T, Unal D, Erol HS, Şahin A, Aslan A, Baş O , Erdem H, Sönmez OF, Kaya H, Odaci E; Erschienen in: J Chem Neuroanat. 2015

Seite 10

Mögliche Ursache für eine veränderte räumliche Orientierung bei vorpubertären Ratten, die chronisch hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind. Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation. Von: Narayanan SN, Kumar RS, Karun KM, Nayak SB, Bhat PG; Erschienen in: Metab Brain Dis (2015) 30: 1193–1206

Seite 11

2,45-GHz-Strahlung verschlechtert Lernen und räumliches Gedächtnis über die durch oxidativen/nitrosativen Stress induzierte p53-abhängige/unabhängige Apoptose im Hippocampus: Molekulare Grundlage und zugrunde liegende Mechanismen. 2.45 GHz Microwave Radiation Impairs Learning and Spatial Memory via Oxidative/Nitrosative Stress Induced p53-Dependent/Independent Hippocampal Apoptosis: Molecular Basis and Underlying Mechanism. Von: Shahin S, Banerjee S, Singh SP, Chaturvedi CM . Erschienen in: Toxicological Sciences 2015, 148 (2): 380–399.

Seite 12

Blut-Hirn-Schranke

Wirkung von GSM-modulierter elektromagnetischer Strahlung auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke in männlichen und weiblichen Ratten. Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood-brain barrier in male & female rats. Von: Sirav B , Seyhan N; Erschienen in: J. Chem. Neuroanat. (2016)

Seite 13

Bestrahlung durch Sendeanlagen

Zusammenhang zwischen der Strahlung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunk-Basisstationen und Glyko-Hämoglobin (HbA1c) sowie dem Risiko für Diabetes mellitus Typ 2. Association of Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Field Radiation (RF-EMFR) Generated by Mobile Phone Base Stations with Glycated Hemoglobin (HbA1c) and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus. Von: Meo SA, Alsubaie Y, Almubarak Z, Almutawa H, AlQasem Y, Hasanato RM; Erschienen in: Int J Environ Res Public Health 2015; 12 (11): 14519 – 14528

Seite 14

Neue Studienbesprechungen im ElektrosmogReport

Seite 15

Wichtige Hinweise

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

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

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

Ermöglichen Sie mit Ihrer Spende weitere Ausgaben der Studienrecherchen:

Seit Januar 2015 geben wir vierteljährlich die Studienrecherchen heraus. Dafür bekamen wir von vielen Seiten, von Ärzten, Wissenschaftlern, Umweltverbänden und Einzelpersonen viel Lob. Das motiviert uns, sichert aber die weitere Herausgabe nicht ab. Die Erstellung einer Ausgabe kostet uns ca. 1500 Euro (Rezensionshonorare für die beteiligten Wissenschaftler, Satzkosten). Sie können die Recherche kostenlos downloaden. Sie können einen Beitrag dazu leisten, damit die Studienlage weiter recherchiert und veröffentlicht werden kann, mit Ihrer Spende. Ob 10, 30, 50 oder 100 Euro, jeder Betrag hilft dabei:

Empfänger: Diagnose-Funk e.V.
Konto: 7027763800
BLZ: 430 609 67 GLS Bank
IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00
BIC: GENODEM1GLS

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

Reproduktionsorgane - Spermien

Einfluss elektromagnetischer Felder auf das Reproduktionssystem männlicher Ratten.

Influence of electromagnetic fields on reproductive system of male rats.

Von: Kumar S, Behari J, Sisodia R; Erschienen in: Int J Radiat Biol 2013; 89 (3): 147–154

Es kann viele Ursachen für die Verminderung der männlichen Fruchtbarkeit geben, in der Umwelt und dem beruflichen Umfeld. Oxidativer Stress ist eine der Ursachen für männliche Unfruchtbarkeit, die durch hohe Raten von DNA-Schädigung in den Spermien gekennzeichnet ist. DNA-Defekte in Spermienzellen können ein erhöhtes Risiko für normale Embryoentwicklung darstellen, die auch durch Strahlung der Frequenzen 10–10,5 GHz entstehen können. Ziel dieser Studie war, die Wirkung von 10 GHz auf das Reproduktionssystem von männlichen Ratten zu bestimmen und herauszufinden, welche Ursachen das haben könnte. Dafür wurden morphologische und biochemische Parameter in Hoden und Blut der Ratten bestimmt. Zellstress kann sich durch erhöhte Enzymaktivitäten (SOD, KAT) und Apoptose sowie verminderte Konzentrationen an antioxidativen Molekülen (GSH) und oxidierten Zellbestandteilen (DNA, Proteine, Lipidperoxidation) ausdrücken, die entsprechend nachgewiesen werden können. Apoptose ist ein normaler Vorgang in Vielzellern während der Entwicklung. Sie wird in den Zellen von vielen Proteinen bzw. Enzymen geregelt. Caspase-3 ist dabei das Schlüsselenzym für Apoptose in Säugerzellen, das durch ROS über verschiedene Schritte induziert wird mit anschließend hohen Raten von Einzel- und Doppelstrang-Brüchen in der DNA. Elektromagnetische Felder können auch Chromosomenbrüche während der Zellteilung auslösen, dadurch entstehen Mikrokern, die man als kleine kernähnliche Strukturen in der Zelle nachweisen kann.

Studiendesign und Durchführung: Je 6 männliche Ratten, 7 Tage alt, wurden in 2 Gruppen eingeteilt, Scheinbestrahlung und 10-GHz-Bestrahlung, die im abgeschirmten Käfig 2 Stunden/Tag 45 Tage lang, Leistungsflussdichte $0,21 \text{ mW/cm}^2$, SAR $0,014 \text{ W/kg}$ erfolgte. Am Ende der Bestrahlung wurden der Hoden und Blutproben entnommen und im Blut Chromosomenaberration, Mikrokernbildung und Testosteron, im Hoden das Gewicht, in Spermienzellen DNA-Strangbrüche (Komet-Test) und Apoptoserate mit Caspase-3-Aktivität bestimmt und im Elektronenmikroskop der Durchmesser der Samenkanälchen gemessen. Alle Experimente wurden 2- oder 3-mal wiederholt und verblindet ausgewertet.

Ergebnisse: Das Hodengewicht war bei den bestrahlten Tieren geringer ($1,5 \pm 0,04 \text{ g}$) als in der Kontrolle ($1,7 \pm 0,1 \text{ g}$), eine Reduktion um 9 %. Der Mikrokern-Test zeigte bei den 10-GHz-Zellen (Lymphozyten) einen statistisch signifikanten Anstieg an Mikrokernen um 52,75 % gegenüber der Kontrollgruppe. Die Chromosomenaberrationen (im Blut in der Metaphase der Zellen) waren nicht auffällig. Der Komet-Test (DNA-Brüche in einzelnen Spermienzellen) zeigte in der bestrahlten Gruppe eine signifikant höhere Anzahl an DNA-Brüchen. Im Elektro-

nenmikroskop war eine signifikante Schrumpfung des Lumens der Samenkanälchen zu sehen ($180 \pm 25,5$ zu $199,7 \pm 16,6 \mu\text{m}$). Die Caspase-3-Aktivität war in den exponierten Spermien signifikant angestiegen ($18,4 \pm 2,5 \mu\text{mol/min/ml}$) gegenüber der Kontrollgruppe ($13,1 \pm 1,0$). Die Testosteronkonzentration in der bestrahlten Gruppe war signifikant geringer ($1,4 \pm 0,8 \text{ ng/ml}$) als bei der Kontrolle ($4,1 \pm 1,4 \text{ ng/ml}$) mit Schrumpfung der Hodengröße.

Schlussfolgerungen: Nach den Ergebnissen schlussfolgern die Autoren, dass 10-GHz-Felder eine schädigende Wirkung auf die Fruchtbarkeit von männlichen Ratten haben. In den Spermienzellen entstehen durch oxidativen Stress (ROS) DNA-Schäden, die einen Hauptfaktor für männliche Unfruchtbarkeit darstellen. Als mögliche Mechanismen diskutieren die Autoren, dass durch die Strahlung normaler Sauerstoff übermäßig zu reaktiven Sauerstoffmolekülen (ROS) konvertiert, entweder durch Energie- oder Elektronenübertragung. Durch erhöhte Permeabilität der Zellmembranen verändern sich Ein- und Ausstrom von Calcium-Ionen, es kommt zu Störung des elektrochemischen Gleichgewichts an elektrosensitiven Ionenkanälen der Plasma- und Kernmembranen, die DNA-Schäden hervorrufen können. Das geringere Lumen der Samenkanälchen könnte die Funktion der Leydigzellen stören. Die Testosteronkonzentration wird benötigt zur Vollendung der Meiose und der Spermiden, eine geringere T-Konzentration führt zu geringerer Spermienbildung.

Therapeutische Ansätze mit Melatonin bei Toxizität, die von Mikrowellen-induziertem oxidativen Stress vermittelt wurde, auf die männliche Fertilität von Wistar-Ratten.

Therapeutic approaches of melatonin in microwave radiations-induced oxidative stress mediated toxicity on male fertility pattern of Wistar rats.

Von: Meena R, Kumari K, Kumar J, Rajamani P, Verma HN, Kesari KK; Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (2): 81–91

Die 2,45 GHz-Strahlung wird immer häufiger eingesetzt, bei drahtlosen Kommunikationseinrichtungen (Wi-Fi, WLAN) in Haushalten und in medizinischen Einrichtungen bei NMR-Diagnostik, Hyperthermie und thermischer Ablation. Das männliche Reproduktionssystem ist sehr empfindlich gegenüber Umwelteinwirkungen, deshalb könnte 2,45-GHz-Strahlung gesundheitsschädlich für Hoden und Spermienqualität (Anzahl, Beweglichkeit, Morphologie, Lebensfähigkeit und Durchlässigkeit der Blut-Hoden-Schranke) sein. In vielen Studien wurde die Bildung von freien Radikalen und oxidative Schädigung von Zellen und Zellbestandteilen beschrieben. In dieser Studie wurde untersucht, ob bei Langzeiteinwirkung der Mikrowellen durch oxidativen Stress eine Beeinträchtigung des Hodens entstehen kann und ob Melatonin eine schützende Wirkung hat. Melatonin ist als Antioxidans bekannt, das Schädigung an DNA, Lipiden und Proteinen durch freie Radikale verhindert.

Studiendesign und Durchführung: Zum Einsatz kamen 70 Tage alte Ratten, die in 4 Gruppen zu je 6 Tieren eingeteilt wur-

den. 1. scheinbestrahlte Kontrolle, 2. Gabe von Melatonin, täglich um 8.00 Uhr 2 mg/kg intraperitoneal, 3. Bestrahlung mit 2,45 GHz und 4. tägliche Melatoningabe + 2,45-GHz-Bestrahlung. Die Bestrahlung bestand in 2 Stunden täglich mit $0,21 \text{ mW/cm}^2$, SAR $0,14 \text{ W/kg}$ an 45 aufeinander folgenden Tagen. Nach der Bestrahlung wurden den Tieren der Hoden entnommen und in Hoden bzw. Spermienzellen das Körper- und Hodengewicht, die Enzyme Laktatdehydrogenase-Isoenzym (LDH-X) und Xanthinoxidase (XO), dann ROS, Proteinoxidation (Carbonyl-Gehalt), DNA-Brüche und Lipidperoxidation (MDA), Apoptose und Testosteron Gehalt bestimmt. Außerdem wurde das Hodengewebe im Mikroskop durch einen Pathologen im Blindverfahren untersucht.

Ergebnisse: Das Hodengewicht war bei der bestrahlten Gruppe signifikant niedriger, die anderen 3 Gruppen unterschieden sich kaum. Im Hodengewebe war eine sehr hohe ROS-Produktion in der bestrahlten Gruppe zu sehen, die mit Melatonin signifikant gemindert wurde, aber höher war als bei den Kontrollen. Dasselbe gilt für die Proteinoxidation und die Xanthinoxidase-Aktivität. Auch die Lipidperoxidation in den Spermienzellen zeigte sehr hohe MDA-Konzentrationen, die durch Melatonin signifikant niedriger waren, aber über den Werten der Kontrolle lagen. DNA-Strangbrüche und Apoptoserate in den Spermienzellen waren bei 2,45 GHz sehr hoch, wurden durch Melatonin reduziert, lagen aber signifikant über den Kontrollwerten. Für Testosteronkonzentrationen und die LDH-Aktivität im Hoden galt, dass durch die Melatoningabe die Werte erhöht waren gegenüber der scheinbestrahlten Kontrolle (bei Testosteron signifikant), die Mikrowellen eine signifikante Abnahme hervorrief und die gleichzeitige Melatoningabe signifikant höhere Werte ergab. Die mikroskopische Untersuchung zeigte bei den Kontrollen normale Keim- und Sertoli-Zellen mit normalem Entwicklungszyklus, während in den bestrahlten Geweben desorganisierte Samenkanälchen und Entzündungen in den Hodenzellen auftraten, die durch Melatonin verhindert wurden.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse legen nahe, dass die 2,45-GHz-Strahlung oxidativen Stress im Hodengewebe erzeugt, der zu Schäden an der DNA führt. Die Mikrowellen könnten einen Einfluss auf die Polarisierung der Zellmembranen haben. Wenn die Polarisierung der Membranen verändert ist, wird die Testosteronsynthese und dadurch die Entwicklung der Spermienzellen gestört, mit der Folge von Unfruchtbarkeit. Melatonin hat ein starkes antioxidatives Potenzial, das die Mikrowellen-induzierten oxidativen Schädigungen in Hoden und Spermienzellen vermindert. Die Autoren schlagen vor, dass Melatonin wahrscheinlich, zumindest zum Teil, auf die Xanthinoxidase einwirkt, denn im Experiment bewirkte Melatonin nach den 45 Tagen eine signifikante Abnahme der Aktivität, während die Aktivität gleichzeitig in der bestrahlten Gruppe signifikant angestiegen war.

Wirkungen des Kräuter-Extrakts von *Polygonum aviculare* auf die Spermien-Parameter nach EMF-Exposition von Mäusen.

Effects of *Polygonum aviculare* herbal extract on sperm parameters after EMF exposure in mouse.

Von: Milan PB, Nejad DM, Ghanbari AA, Rad JS, Nasrabadi HT, Roudkenar MH, Roushandeh AM, Goldust M; Erschienen in: Pak J Biol Sci 2011; 14 (13): 720–724

Elektromagnetische Felder erzeugen schädliche Wirkungen durch Produktion von freien Radikalen. Durch diese Radikale können bei der Lipidperoxidation durch die Strahlung kurzkettige Fettsäuren entstehen und innerhalb der Zellen können bei weiteren Reaktionen oxidierte Aminosäuren und Verkettungen von Proteinen untereinander gebildet werden (Aminosäuren sind die Bausteine von Proteinen, den Eiweißmolekülen). Dadurch können verschiedene Störungen auftreten. Zwar können Antioxidantien im Organismus die oxidierten Moleküle entfernen, aber nur solange ein Gleichgewicht zwischen Entstehung und Entfernung besteht. Wenn nicht genügend Antioxidantien vorhanden sind, ist Degeneration und Zerstörung der Zellen die Folge. Durch das Ungleichgewicht können sich schädliche Moleküle in den Zellen ansammeln und verschiedene Krankheiten verursachen, einschließlich der Verminderung der Samenqualität (Anzahl, Morphologie und Beweglichkeit), die zu Unfruchtbarkeit führen können. Erhöhte ROS-Produktion könnte ein Grund für Unfruchtbarkeit sein. Wasserstoffperoxid (H_2O_2) ist ein freies Radikal, das in Spermien gebildet wird. Hohe Mengen führen zu Lipidperoxidation und schließlich zum Absterben der Zellen. Antioxidantien, z. B. aus pflanzlichen Komponenten, können diese schädliche Wirkung vermindern. Es gibt viele Pflanzenextrakte, die zur Behandlung oder Verminderung von Unfruchtbarkeit verwendet werden können, die auch bei krankhaften Veränderungen durch elektromagnetische Felder helfen könnten. 2010 wurde gezeigt, dass *Polygonum aviculare* (ein Knöterichgewächs, die Red.) hohe Mengen an phenolischen und flavonoiden Inhaltsstoffen hat, die als Antioxidantien bekannt sind. Sie haben eine starke antioxidative Wirkung. Das Ziel dieser Studie war, die Wirkung eines *Polygonum*-Extraktes auf die Spermien, die mit EMF behandelt worden waren, festzustellen.

Studiendesign und Durchführung: 24 männliche Mäuse, 8 Wochen alt, wurden in 4 Gruppen eingeteilt: Scheinbefeldung (1), *Polygonum*-Extrakt (2), Befeldung (3) und Befeldung bei gleichzeitiger Gabe des Extraktes (4). Die Befeldung erfolgte mit 3 mT, 4 Stunden täglich 5 Tage pro Woche. Eine Frequenz ist nicht angegeben. Die *Polygonum*-Gruppe bekam täglich 50 mg/kg des Pflanzenextraktes während der 2 Monate verabreicht, der aus getrockneten Pflanzen durch Auszug mit organischen Lösungsmitteln und nachfolgender Trocknung gewonnen wurde. Nach den 2 Monaten wurden die Spermien aus dem Nebenhodenschwanz entnommen und Anzahl, Morphologie (nach WHO-Kriterien) und Beweglichkeit im Mikroskop bestimmt.

Ergebnisse: Bei der Spermienbeweglichkeit gab es meist signifikante Unterschiede in der EMF-Gruppe im Vergleich zu den Kontrollgruppen und zu den EMF-Gruppen, die zusätzlich den

Polygonum-Extrakt erhalten hatten. Bei der Morphologie zeigte sich: In der Kontrollgruppe sah man $79,33 \pm 2,79$ % natürliche Formen der Spermienköpfe und in der EMF-Gruppe $26,66 \pm 1,58$ %. Bei Anwesenheit des Extraktes gab es signifikant mehr natürlich entwickelte Köpfe, sowohl bei dem Extrakt allein als auch in der Gruppe, die gleichzeitig mit der Bestrahlung den Extrakt erhalten hatte. Bei der Form des Schwanzes gab es keine signifikanten Unterschiede. Auch andere Spermianomalien waren signifikant verschieden.

Schlussfolgerungen: Die elektromagnetischen Felder vermindern bei den Mäusen die Beweglichkeit und erhöhen die unnatürlichen Formen der Spermien. Der Polygonum-Extrakt verbessert die Beweglichkeit und vermindert die Anzahl der Spermien mit geschädigter Morphologie bei EMF-Behandlung. Das zeigt, dass Polygonum eine positive Wirkung hat. Die Autoren schreiben die Wirkung des Polygonum-Extraktes dem hohen Anteil an Flavonoiden als Antioxidantien zu. Der Polygonum-Extrakt kann die Spermienqualität erhalten bzw. verbessern, wenn elektromagnetische Felder einwirken.

In vitro-Wirkung von Mobiltelefon-Strahlung auf Beweglichkeit, DNA-Strangbrüche und Clusterin-Genexpression in menschlichen Spermien.

In vitro effect of cell phone radiation on motility, DNA fragmentation and clusterin gene expression in human sperm.

Von: Zalata A, El-Samanoudy AZ, Shaalan D, El-Baiomy Y, Mostafa T; Erschienen in: Int J Fertil Steril 2015; 9 (1): 129–136

Angesichts der exponentiell steigenden Strahlung von Mobilfunkeinrichtungen im täglichen Leben sollte in dieser prospektiven Studie untersucht werden, ob menschliche Spermienzellen in Hinsicht auf Beweglichkeit, DNA-Schädigung und Clusterin(CLU)-Genexpression Veränderungen zeigen. DNA-Brüche in Spermienzellen sind eine Ursache für Unfruchtbarkeit, schlechte Entwicklung des Embryos und Fehlgeburten. Ein Faktor dafür kann nicht-ionisierende Strahlung sein. Clusterin ist ein Glykoprotein (ein Protein, das mit Zuckermolekülen versehen ist, die Red.), das bei lokalem Stress in Zellen zu deren Schutz vermehrt gebildet wird, um Zellschädigung oder Apoptose durch ROS zu verhindern. Es scheint verschiedene Funktionen zu haben im Zusammenhang mit Apoptose, Entzündungen, Wachstum und Differenzierung. Auch DNA-Brüche und Akrosin-Aktivität* können mit oxidativem Stress in Zusammenhang stehen. Peroxidation der Akrosomen-Membran und Verminderung der Akrosin-Aktivität ist die Folge.

Studiendesign und Durchführung: Insgesamt wurden 124 Spermienproben in 4 Kategorien nach Vorschädigungsgrad eingeteilt, von geringer zu starker Vorschädigung: I. 26 Proben Normale Spermien (N), II. 32 Asthenozoospermia (A), III. 31 Asthenoteratozoospermia (AT) und IV. Oligoasthenoteratozoospermia (OAT). Nach Teilung jeder Probe in 2 Teile wurde ein Teil mit einem normalen Mobiltelefon 1 Stunde bei 850 MHz (maximal 1 W, SAR 1,46 W/kg) aus 10 cm Entfernung

bestrahlt, der andere scheinbestrahlt. Vor und sofort nach der Bestrahlung begann die Untersuchung der Proben auf Spermienbeweglichkeit, Acrosin-Aktivität, DNA-Brüche und Menge des gebildeten Clusterins (CLU-Genexpression).

Ergebnisse: Die Spermienkonzentrationen nahmen signifikant mit der Gruppenzugehörigkeit ab: AT und OAT hatten $54,34 \pm 5,0$, $38,85 \pm 4,04$, $23,52 \pm 8,94$ und $8,00 \pm 3,77$ ($\times 10^6/\text{ml}$), der Prozentsatz der abnormen Spermien nahm zu $11,42 \pm 2,61$, $10,04 \pm 3,7$, $30,80 \pm 7,22$ und $39,68 \pm 5,6$ im Vergleich zu der scheinbestrahlten Kontrolle. Man fand eine signifikante Verminderung der Spermienbeweglichkeit und der Acrosin-Aktivität in den bestrahlten Spermien. Bei DNA-Strangbrüchen, CLU-Genexpression und der CLU-Proteinkonzentration gab es in den bestrahlten Proben einen signifikanten Anstieg. Die stärkste Schädigung gab es bei Gruppe 4, gefolgt von 3, dann 2 und 1. Auch in der Gruppe N gab es jeweils Abnahmen der Spermienparameter, aber nicht-signifikant, während DNA-Brüche, CLU-Genexpression und CLU-Proteinkonzentration signifikant erhöht waren gegenüber der scheinbestrahlten Kontrolle.

Schlussfolgerungen: Mobilfunkstrahlung von 850 MHz hat einen negativen Einfluss auf Spermienparameter wie Beweglichkeit, Acrosin-Aktivität, DNA-Strangbrüche und CLU-Genexpression, besonders in der am meisten vorgeschädigten OAT-Gruppe. Die Autoren diskutieren, ob die Ursache für die DNA-Brüche und die verminderte Acrosin-Aktivität oxidativer Stress ist, da andere Arbeitsgruppen in ihren Experimenten oxidativen Stress im Zusammenhang mit DNA-Brüchen sehen. Dazu passt, dass CLU als Antioxidans in den hier vorliegenden Experimenten erhöht ist.

* Akrosin ist ein Protein-spaltendes Enzym, das von der Spermienzelle produziert wird, um für die Befruchtung die Membran der Eizelle aufzulösen.

Reproduktionsorgane - Embryo

Kann ein pränatal einwirkendes 900-MHz-Feld die Morphologie der Milz und des Thymus beeinflussen und Biomarker für oxidativen Schaden bei 21 Tage alten männlichen Ratten verändern?

Can prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field affect the morphology of the spleen and thymus, and alter biomarkers of oxidative damage in 21-day-old male rats?

Von: Hanci H, Turedi S, Topal Z, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Ersoz S, Unal B, Odaci E; Erschienen in: Biotech Histochem 2015; 90 (7): 535–543

Der Thymus ist ein primäres lymphatisches Organ, in dem sich die Immunzellen T- und B-Lymphozyten entwickeln und diversifizieren, während die Milz ein sekundäres lymphatisches Organ ist, in dem T- und B-Lymphozyten reifen und zirkulieren. Man betrachtet die Milz als ein biologisches Sieb. In der

Milz wird die zelluläre und humorale Abwehr gegen Infektionen herausgebildet (weiße Blutkörperchen und z. B. gelöste Antikörper im Blut). Die Entwicklung des Immunsystems beginnt im frühen Stadium der Embryogenese und geht weiter während der pränatalen Zeit mit Bildung, Wanderung und Differenzierung der Blutzellen. Diese frühen Stadien sind empfindlich gegenüber äußeren Einflüssen, z. B. Drogen, Industrieabfällen, Pestiziden und auch Strahlung. Wenn schädliche Einwirkungen die Entwicklung von Thymus und Milz beeinträchtigen, wird die Entwicklung des Immunsystems gestört. Bisher ist noch nie untersucht worden, wie sich 900-MHz-Strahlung, die im Mutterleib auf Mutter und Nachkommen einwirkt, auf die Nachkommen nach der Geburt auswirkt. Vor allem oxidativer Stress und Veränderungen des Antioxidationssystems sind häufig in vielen Geweben nachgewiesen worden, deshalb sollten diese Parameter untersucht werden.

Studiendesign und Durchführung: Weibliche trächtige Ratten wurden vom Tag 13–21 je 1 Stunde/Tag mit 900 MHz bestrahlt (13,77 V/m, 0,50 W/m², Ganzkörper-SAR 0,025 W/kg), danach wurden von den männlichen Nachkommen 2 Gruppen zu je 6 Tieren gebildet (Kontrolle und bestrahlte Gruppe). Die Jungen bekamen keine Behandlung mehr, sie wuchsen bei ihren Müttern auf. Am Tag 21 nach der Geburt wurden den Jungen Thymus und Milz entnommen, ein Teil im Licht- und Elektronenmikroskop histopathologisch untersucht, der andere für biochemische Tests aufbereitet.

Ergebnisse: Im Lichtmikroskop sahen die Thymuszellen der EMF-Gruppe Krebsähnlich aus, die Kontrollzellen waren normal. In der Milz sah man in der EMF-Gruppe Megakaryozyten, erythroide und lymphoide Zellen (Vorläuferzellen der Blutplättchen, der roten bzw. weißen Blutkörperchen im Knochenmark), das lässt vermuten, dass die Blutzellen außerhalb des Knochenmarks entstanden waren (extramedulläre Hämatopoese). Das ist beim Fetus normal, später krankhaft und kann in Milz, Leber und Haut stattfinden, bei „Blutkrebs“ oder anderer Schädigung des Knochenmarks, z. B. durch Chemikalien.

Im Elektronenmikroskop sah man im Thymus in der Kontrollgruppe normale Morphologie einschließlich der Epithelzellen und Lymphozyten. Die Epithelzellen hatten normale Zellkerne, Mitochondrien und endoplasmatisches Retikulum. In der EMF-Gruppe sah man degenerierte Thymuszellen, erhöhte Mitoseaktivität in den Lymphozyten und Epithelzellen. In der EMF-Gruppe kam es zu nekrotischen Lymphozyten und Epithelzellen im Thymus, Mitochondriendegeneration und Vakuolisierung. Vakuolen verschiedener Größe waren überall im Zytoplasma der Thymusepithelzellen zu sehen. Dazu waren die Keratinfasern spärlich und in Bündeln angeordnet und es gab eine große Anzahl Ribosomen.

In der Milz zeigte die Kontrollgruppe typische Retikulozyten, basophile Granulozyten und normale weiße Pulpa-Strukturen, normale Zellkerne, Mitochondrien und endoplasmatisches Retikulum in den Retikulozyten und Lymphozyten hatten normale Kerne. In der roten Pulpa waren die Zellen und Organstrukturen normal. Im Unterschied dazu traten in der EMF-Gruppe Mitochondriendegeneration und Vakuolen in nekrotischen Retikulozyten mit Verlust von Zytoplasma im Milzgewebe auf. Auch hier waren Vakuolen verschiedener Größe in den

Lymphozyten zu sehen. In den Granulozyten gab es Zytoplasmaverlust, Vakuolen, Zisternenerweiterung im endoplasmatischen Retikulum und Golgi-Komplex, degenerierte basophile Granula und Vakuolen in den Mitochondrien in den basophilen Granulozyten, dazu nekrotische Epithelzellen.

Die biochemische Analyse ergab im Thymus, dass in der EMF-Gruppe das Abbauprodukt der Lipidperoxidation MDA signifikant erhöht (2,02 zu 2,87 nmol/mg Gewebe) und das Antioxidans GSH signifikant vermindert war (0,96 zu 0,43 nmol/mg Gewebe). Das Enzym SOD unterschied sich nicht-signifikant von der Kontrolle (1,6 zu 1,7 mmol/min/mg Gewebe). In der Milz waren MDA und GSH signifikant erhöht gegenüber der Kontrolle (5,96 zu 6,66 nmol/mg Gewebe bzw. 0,39 zu 0,92 nmol/mg Gewebe), SOD signifikant niedriger (1,96 zu 1,87).

Schlussfolgerungen: Pränatale 900-MHz-Bestrahlung kann bei 21 Tage alten männlichen Ratten zu verschiedenen krankhaften Veränderungen in Thymus und Milz führen. Die Wirkung der Strahlung ist nicht nur von Frequenz, Dauer und Intensität abhängig, sondern auch vom biologischen Stadium der Zellen, also dem Zeitpunkt in der Entwicklung. Die Wirkung der Strahlung kann reversibel oder irreversibel sein und kann Auswirkungen im erwachsenen Organismus haben. Wenn in der vorgeburtlichen Entwicklung Thymus und Milz geschädigt werden, können T-Zell-abhängige Reaktionen beim Erwachsenen gefährdet sein.

Wirkung von pränataler 900-MHz-Strahlung auf Hoden und Spermienqualität in Samenleitern bei 60 Tage alte Ratten.

Effects of prenatal exposure to a 900 MHz electromagnetic field on 60-day-old rat testis and epididymal sperm quality.

Von: Odacı E, Hancı H, Yuluğ E, Türedi S, Aliyazıcıoğlu Y, Kaya H, Çolakoğlu S.; Erschienen in: Biotech Histochem. 2016

900-MHz-Mobilfunkstrahlung kann ernste Gesundheitsprobleme hervorrufen, man hat in verschiedenen Geweben und Organen schädliche Wirkungen für Morphologie und Physiologie sowie Lernschwierigkeiten bei Tieren und Menschen festgestellt. Freie Sauerstoffradikale werden gebildet und dadurch geht das Gleichgewicht zwischen oxidativen und antioxidativen Prozessen verloren und es kommt zum oxidativen Stress. Die Folgen sind häufig Lipidperoxidation, DNA-Schädigung, verminderte Aktivität der antioxidativen Enzyme und Apoptose. Im Hoden kann oxidativer Stress Unfruchtbarkeit verursachen, weil die Spermienzellen geschädigt werden. Hoden entwickeln sich bei Ratten in der 2. Woche der Trächtigkeit und es könnte sein, dass die männlichen Nachkommen Schäden davontragen, wenn trächtige Weibchen in dieser Phase mit 900 MHz bestrahlt werden. Bisher gibt es keine Arbeiten, die Bestrahlung vor und Beprobung nach der Geburt untersucht haben.

Studiendesign und Durchführung: Die Rattenweibchen bekamen die 900-MHz-Bestrahlung von Tag 13–21 der Trächtigkeit 1 Stunde täglich mit 13,45 V/m (SAR 0,024 W/kg), die Kontrollgruppe blieb im Käfig. Von den Neugeborenen wurden

aus jeder der beiden Gruppen 9 männliche, 60 Tage alte Nachkommen herausgenommen. Den Tieren wurde Blut entnommen, Hoden und Samenleiter abgetrennt und das Hodengewicht bestimmt. Der rechte Hoden wurde jeweils längs geteilt, eine Hälfte für histologische und die andere für die biochemischen Analysen verwendet. Im Mikroskop wurden Durchmesser der Samenkanälchen, Dicke des Epithels, die Spermatozoen und die Eigenschaften des Interstitiums gemessen. Von den Spermien aus den Samenleitern wurden Anzahl, Beweglichkeit und Lebensfähigkeit bestimmt, der Apoptose-Index im Epithel der Samenkanälchen (% DNA-Fragmentierung), in Spermien aus den Samenleitern, im Hoden Lipidperoxidation, im Blutserum Lipidperoxidation und im Blutplasma DNA-Oxidation (DNA-Basenschädigung mit 8-OHdG, 8-Hydroxydesoxyguanosin).

Ergebnisse: Das Hodengewicht war signifikant niedriger in der EMF-Gruppe gegenüber der Kontrolle (1,35 bzw. 1,56 g). Auch das Körpergewicht war signifikant geringer (286 bzw. 251 g). Die Untersuchung des Gewebes im Mikroskop ergab in der Kontrollgruppe normale Strukturen der Samenkanälchen, Leydigzellen, Interstitium und der unreifen Spermatozoen. Der Durchmesser der Samenkanälchen war in der EMF-Gruppe signifikant geringer als in der Kontrollgruppe (287,9 bzw. 257,4 µm), die Dicke des Epithels auch geringer (82,5 bzw. 74,2 µm). Der Apoptose-Index war signifikant erhöht in den Epithelzellen der Samenkanälchen der EMF-Gruppe (14,12 %, Kontrolle 3,35 %). Die Lipidperoxidation im Hodengewebe zeigte keine Unterschiede zwischen den Gruppen (3,93 nmol/mg Protein) und im Blut-Plasma (0,28 bzw. 0,29 nmol/ml). Die DNA-Oxidation war im Plasma signifikant erhöht (0,12 zu 0,35 ng/ml). Die Gesamtzahl der Spermien war in Kontrolle und in der EMF-Gruppe nicht-signifikant vermindert ($23,66 \times 10^6$ zu $21,00 \times 10^6$ Zellen). Die Beweglichkeit der Spermienzellen war signifikant vermindert in der bestrahlten Gruppe (von 71 auf 9,0 %), ebenso die Lebensfähigkeit (66,7 auf 36,7 %).

Schlussfolgerungen: Diese Ergebnisse zeigen, dass 1-stündige 900-MHz-Strahlung von Tag 13–21 der trächtigen Mutter zu Veränderungen in Struktur und Funktion der reproduktiven Organe bei den männlichen, 60 Tage alten Nachkommen führt, untersucht an biochemischen Markern, Beweglichkeit und Vitalität der Spermien, Morphologie und Struktur der Hoden und Samenleiter. Die Autoren schließen daraus, dass 900-MHz-Strahlung eine schädliche Wirkung auf die Entwicklung von Hodengewebe und Spermien bei Ratten hat, und die schädliche Wirkung ist 60 Tage nach der Geburt ohne weitere Bestrahlung noch erhalten. Dass es keinen MDA-Anstieg gegeben hat, führen die Autoren auf die Tatsache zurück, dass die Bestrahlung vor der Geburt und die Messung 60 Tage danach stattgefunden hatten.

Langzeitwirkung von 900-MHz-Feldern auf die Leber von 21 Tage alten neugeborenen männlichen Ratten.

The effects of prenatal long-duration exposure to 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old newborn male rat liver.

Von: Topal Z, Hanci H, Mercantepe T, Erol HS, Keleş ON, Kaya H, Mungan S, Odaci E.; Erschienen in: Turk J Med Sci. 2015; 45 (2): 291–7.

Es gibt Studien, die irreversible oxidative Schädigung an lymphatischen Organen von jungen Ratten durch elektromagnetische Felder nachgewiesen haben, während erwachsene Tiere weniger empfindlich sind. Auch in Hoden und Nieren wurden oxidative Schäden gefunden. Es gibt kaum Untersuchungen darüber, wie sich 900-MHz-Strahlung auf neugeborene Ratten auswirkt, wenn die trächtige Mutter bestrahlt wird. Diese Studie wurde durchgeführt, um zu untersuchen, wie sich die Bestrahlung der Mutter mit 900 MHz auf die Nachkommen im Mutterleib auswirkt. Hier wurde die Entwicklung die Funktion der Leber der neugeborenen Ratten 21 Tage nach der Geburt untersucht.

Studiendesign und Durchführung: Von den Würfen der trächtigen Mütter wurden je 6 männliche Tiere in 2 Gruppen eingeteilt. Die Muttertiere waren von Tag 13–21 täglich 1 Stunde bestrahlt worden mit 14,22 V/m (SAR 0,54 W/m², Ganzkörper-SAR 0,027 W/kg). Am Tag 21 der Neugeborenen wurde jedem Tier die Leber entnommen, eine Hälfte diente zur Analyse der biochemischen Parameter, den Enzymaktivitäten von SOD und CAT, der GSH-Konzentration und der Lipidperoxidation (MDA-Konzentration), die andere Hälfte zur Untersuchung der Histologie im Licht- und Elektronenmikroskop.

Ergebnisse: Die biochemischen Analysen zeigten Anstieg der Lipidperoxidation und des Enzyms SOD sowie Abnahme des Antioxidans' GSH in der bestrahlten Gruppe. Im Lichtmikroskop sah man in der bestrahlten Gruppe signifikante Schwelung im Leber-Parenchym, insbesondere in den perizentralen Regionen. Im Elektronenmikroskop zeigten die Kontrollgewebe regelmäßige Leberzellen, normalen Disse-Raum, normale Kern- und Zellplasma-Ultrastrukturen, die Mitochondrien-Cristae, alpha-Glykogen-Granula und typische Sternzellprozesse mit Fett-Tröpfchen waren klar zu sehen. Auch das raue endoplasmatische Retikulum, Endothel und Sinusoide (Kapillaren in den Leberläppchen) waren normal. Dagegen fand man in der bestrahlten Gruppe signifikant häufig unregelmäßige Kern-, Zytoplasma- und Sinusoid-Strukturen, nekrotischen Leberzellen, ausgedehntes endoplasmatische Retikulum, Vakuolen im Plasma und den Mitochondrien. Dazu war Kupferzell-Phagozytose zu beobachten. Einige Leberzellen hatten zytoplasmatische Verdichtungen, mitotische Sternzellen und Fibrose-aktive Sternzellen mit Kollagenfibrillen im Disse-Raum und nekrotische Leberzellen. Die biochemischen Analysen ergaben signifikant höhere MDA- (13,1 zu 18,3 nmol/mg Gewebe) und SOD-Werte (1,49 zu 1,77 mmol//min/mg Gewebe) in der bestrahlten Gruppe, während die GSH-Werte (1,20 zu 0,76 nmol/mg Gewebe) signifikant niedriger waren. Bei CAT gab es keine signifikanten Unterschiede.

Schlussfolgerungen: Die Ergebnisse zeigen, dass eine vor der Geburt erfolgte 900-MHz-Bestrahlung oxidativen Stress und pathologische Veränderungen in der Leber nach der Geburt verursachen kann. GSH ist ein wichtiger ROS-Fänger und stellt die erste Front der antioxidativen Abwehr dar. Es schützt die Zellen vor oxidativer Schädigung. Allerdings kann erhöhter oxidativer Stress die GSH-Aktivität schwächen, als Reaktion steigt SOD an. GSH schützt Leberzellen auch gegen chemische und enzymatische oxidative Schädigung. Der Anstieg von MDA weist ebenfalls auf oxidativen Stress hin. Die histopathologischen Ergebnisse wie Expansion des endoplasmatischen Retikulums, Vakuolen in den Mitochondrien und die Fibrose-aktiven Sternzellen (die bindegewebige Verhärtung und Vernarbung des Gewebes mit Kollagenfibrillen nach Schädigung entwickeln) deuten darauf hin, dass 900-MHz-Felder, die vor der Geburt auf die Tiere einwirkten, die Leber durch oxidativen Stress schädigen und das antioxidative Abwehrsystem verändern. Die Entwicklung der Leberzellen könnte durch die Strahlung beeinträchtigt sein.

Die Wirkungen der pränatalen Exposition bei einem elektromagnetischen 900-MHz-Feld auf das Herz bei 21 Tage alten männlichen Ratten.

The effects of prenatal exposure to a 900-MHz electromagnetic field on the 21-day-old male rat heart.

Von: Türedi S, Hanci H, Topal Z, Unal D, Mercantepe T, Bozkurt I, Kaya H, Odaci E; Erschienen in: Electromagn Biol Med 2015; 34 (4): 390–397

Die Entwicklung des Herzens beginnt bei Ratten im Uterus am Tag 9, geringe Weiterentwicklung erfolgt noch nach der Geburt. Die empfindlichste Entwicklungsstufe ist die pränatale Phase, in der elektromagnetische Felder als bedeutender Umweltfaktor bei Feten und Embryos Missbildungen in Organen hervorrufen können. Die Felder erzeugen erhöhte Konzentrationen von freien Radikalen, deren Angriffspunkte hauptsächlich die ungesättigten Fettsäuren der Membranen sind. Bekannt sind Schäden an im Hippocampus, an Hirnnerven und anderen Geweben von Ratten nach 900-MHz-Bestrahlung. Hier sollte untersucht werden, wie sich 900-MHz-Strahlung, die vor der Geburt in einem empfindlichen Stadium der Herzentwicklung einwirkte, auf Herzzellen von Ratten auswirken.

Studiendesign und Durchführung: 18 trächtige Ratten bekamen 900-MHz-Bestrahlung von Tag 13–21 der Trächtigkeit je 1 Stunde am Tag bei 13,77 V/m (0,50 W/m²), die Ganzkörper-SAR betrug 0,025 W/kg, was einem normalen Handygespräch im Sprachmodus entspricht. Zur Untersuchung kamen je 6 männliche Nachkommen für die scheinbestrahlte und die bestrahlte Gruppe. Den neugeborenen Tiere wurden 21 Tage nach der Geburt die Herzen entnommen und MDA, SOD, Katalase, GSH und Apoptose bestimmt. Im Licht- und Elektronen-Mikroskop wurden die Veränderungen im Gewebe beobachtet.

Ergebnisse: Im Lichtmikroskop sah man bei 400-facher Vergrößerung in der Kontrolle keine Schäden, in der EMF-Gruppe sah man Unregelmäßigkeiten, Degeneration, Vakuolisierung,

Kernverluste und erhöhte Apoptoseraten in den Herzmuskelfasern der neugeborenen Ratten. In der Kontrollgruppe gab es nur wenige, in der EMF-Gruppe eine signifikant erhöhte Anzahl apoptotischer Zellen (18,33 gegenüber 47,33 %). Die Apoptose-Zellen waren heterogen verteilt in den verschiedenen Regionen des Herzgewebes.

Im Elektronenmikroskop waren die Muskelfaserstrukturen der Kontrollgruppe klar, Membranen intakt, Kerne normal, die Mitochondrien hatten regelmäßige Doppelmembranen mit normalen Cristae (innere Membranen in den Mitochondrien), die Z-Bänder der Herzmuskulatur war regulär und die Sarcomer-Bindungen deutlich sichtbar. Bei den bestrahlten Tieren hatten die Herzmuskulzellen desorganisierte Muskelfasern, aufgelöste Muskelfilamente, Degeneration und Fragmentierung der Muskelfibrillen mit Löchern im Zytoplasma und gestörte Struktur der Z-Bänder. Die Mitochondrien waren angeschwollen, hatten Vakuolen, die Cristae hatten geringere Dichte der inneren Membran. Die biochemischen Analysen ergaben signifikante Unterschiede zwischen Kontroll- und EMF-Gruppe. Signifikant erhöht waren MDA (13,6 zu 20,3 nmol/mg Gewebe), SOD (2,42 zu 2,6 mmol/min/mg Gewebe) und KAT (0,01 zu 0,02 mmol/min/mg Gewebe), während GSH signifikant vermindert war (0,42 zu 0,27 nmol/mg Gewebe).

Schlussfolgerungen: Die Studienergebnisse legen nahe, dass 900-MHz-Felder in der vorgeburtlichen Phase oxidativen Stress, Beeinträchtigung des antioxidativen Abwehrsystems und histopathologische Veränderungen im Herzgewebe von männlichen neugeborenen Ratten verursachen. Embryos, die im Bauch der Mutter bestrahlt worden waren, hatten auch nach der Geburt Schäden im Herzgewebe. Die Apoptose hält in normalen Zellen die Homöostase aufrecht, die signifikant gesteigerte Apoptose könnte durch die erhöhte Lipidperoxidation kommen, denn oxidativer Stress aktiviert die Apoptose-Signalwege. Auch die Schwellung der Mitochondrien ist ein Zeichen für Stress, der hier durch die Strahlung hervorgerufen wird.

Verhalten & Kognition

Morphologische und antioxidative Beeinträchtigung des Rückenmarks von Ratten-Nachkommen nach 900-MHz-Bestrahlung während der frühen und mittleren Jugend.

Morphological and antioxidant impairments in the spinal cord of male offspring rats following exposure to a continuous 900-MHz electromagnetic field during early and mid-adolescence.

Von: İkinci A, Mercantepe T, Unal D, Erol HS, Şahin A, Aslan A, Baş O, Erdem H, Sönmez OF, Kaya H, Odaci E; Erschienen in: J Chem Neuroanat. 2015

Kinder und Jugendliche sind besonders an Geräten interessiert, die elektromagnetische Felder abgeben, wie beispiels-

weise Mobiltelefonen. Studien haben gezeigt, dass Langzeitbestrahlung die Blut-Hirn-Schranke durchlässiger macht, das könnte durch morphologische und biochemische Veränderungen im Zentralnervensystem (Groß-, Kleinhirn und Rückenmark) zustande kommen. Andere Studien bestätigen das, die herausgefunden haben, dass Purkinje-Zellen in der Kleinhirnrinde, Pyramidenzellen in der Großhirnrinde und Gewebe des Rückenmarks verändert werden (Zellen, die wichtige Überträgerfunktionen haben, die Red.). Die Frage, ob 900-MHz-Strahlung oxidativen Stress im Rückenmark von Jugendlichen erzeugt, muss noch geklärt werden. Oxidativer Stress entsteht durch freie Radikale im Gewebe und das kann Schädigungen in den wichtigen Molekülen in Zellen verursachen (Lipide, DNA, Proteine und Kohlenhydrate). Freie Radikale können zu Peroxidation der Membranlipide führen. Schutz der Zelle erfolgt über Antioxidantien. Die Schädigung der Zelle durch Peroxidation ist im Labor nachweisbar über Malondialdehyd (MDA), Glutathion (GSH), Katalase (CAT) und Superoxid-Dismutase (SOD), die Marker für oxidativen Stress sind. Elektromagnetische Felder sind eine der Hauptursachen für oxidativen Stress in Geweben. Das Ziel dieser Studie war zu untersuchen, ob die 900-MHz-Strahlung Veränderungen im Rückenmark von männlichen Ratten-Jungtieren hervorruft. Die Jugend von Ratten reicht von Tag 21 bis Tag 60 und wird unterteilt in frühe (21–34 Tage), mittlere (34–46 Tage) und späte (junge Erwachsene 46–59 Tage) Jugend. Es gibt bisher keine Studien, die das Rückenmark in der frühen und mittleren Jugend untersucht haben. Da das Rückenmark der Transportweg vom Gehirn zum peripheren Nervensystem ist, könnten Schädigungen dort zu Störungen im Verhalten führen, weil der Informationsaustausch gestört ist.

Studiendesign und Durchführung: 24 drei Wochen alte männliche Ratten wurden in 3 Gruppen eingeteilt: Kontrolle, scheinbestrahlte Kontrolle und EMF-Gruppe. Über 25 Tage (vom Tag 21 bis Tag 46) nach der Geburt wurden die Gruppen 2 und 3 mit 900 MHz 1 Stunde pro Tag bestrahlt oder scheinbestrahlt, Gruppe 1 diente als Käfigkontrolle. Vor Beginn des Experimentes erfolgte eine Breitbandmessung in den Bestrahlungskammern und man konnte Felder von außen ausschließen. Die Verteilung der 900-MHz-Felder in der leeren Bestrahlungskammer betrug 10,6 V/m unter dem Käfig und 7,1 V/m im Innern. Bei Ratten im Käfig ergaben sich 8,9 V/m darunter und 7,3 V/m im Innern. Die Ganzkörper-SAR betrug 0,01 W/kg. Für die Bestrahlung der Tiere wurden 7,3 W/kg (0,21 W/m²) gewählt, weil das etwa der Intensität bei einem Telefongespräch entspricht. Einen Tag nach Beendigung der Bestrahlung wurde das Rückenmarkgewebe entnommen und im Mikroskop (Licht- und Elektronenmikroskop) und auf biochemische Parameter untersucht.

Ergebnisse: Im Lichtmikroskop zeigten die Kontrollen normales Rückenmarkgewebe und normale Neuronen, während sich in der bestrahlten Gruppe Atrophie des Rückenmarkgewebes, erhöhte Vakuolisierung, Myelinverdickung, Unregelmäßigkeiten und leichte Infiltration in die Zellkörper zeigte. Im Elektronenmikroskop sah man in der bestrahlten Gruppe signifikant erhöhte Invasion in das Axon durch starken Verlust der Integrität der Myelinscheide und große Vakuolen, die Verluste im Axoplasma verursachen.

Die biochemischen Untersuchungen zeigten signifikanten Anstieg der Lipidperoxidation (MDA) und der GSH-Konzentration in der bestrahlten Gruppe im Vergleich zu den beiden Kontrollen, während die Konzentration der Katalase (CAT) in der bestrahlten Gruppe signifikant erhöht war gegenüber der Käfigkontrolle, aber auch die scheinbestrahlten Tiere erhöhte Konzentrationen hatten. Bei der Superoxid-Dismutase (SOD) waren die Konzentrationen ebenfalls bei der EMF-Gruppe und der scheinbestrahlten signifikant erhöht gegenüber der Käfigkontrolle, wobei die Werte in der EMF-Gruppe niedriger waren als in der scheinbestrahlten Gruppe. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Tiere auch ohne Bestrahlung in der EMF-Kammer oxidativen Stress hatten, sodass man nicht schließen kann, dass die Strahlung allein den oxidativen Stress verursacht hat.

Schlussfolgerungen: Die Studienergebnisse zeigen, dass biochemische und pathologische Veränderungen im Rückenmark auftreten können, wenn männliche Ratten vom Tag 21 bis Tag 46 täglich eine Stunde lang mit 900-MHz-Feldern bestrahlt werden. Kinder und Jugendliche sind empfindlicher gegenüber Strahlung und chemischen oder biologischen Agenzien aufgrund der geringeren Körpergröße und der höheren Leitfähigkeit (durch höherer Anzahl von Ionen im Gewebe). Sie können mehr Energie pro kg Körpergewicht absorbieren. Weitere Studien sollten untersuchen, ob die Wirkungen reversibel sind. Auch wenn Ergebnisse von Ratten nicht direkt auf den Menschen übertragen werden können, kann man dieselben frühen Entwicklungsstadien vergleichen.

Mögliche Ursache für eine veränderte räumliche Orientierung bei vorpubertären Ratten, die chronisch hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt sind.

Possible cause for altered spatial cognition of prepubescent rats exposed to chronic radiofrequency electromagnetic radiation.

Von: Narayanan SN, Kumar RS, Karun KM, Nayak SB, Bhat PG; Erschienen in: *Metab Brain Dis* (2015) 30: 1193–1206

Bis heute ist trotz einiger Forschung nicht eindeutig geklärt, ob Hochfrequenzstrahlung die menschliche Gesundheit schädigt oder nicht, jedoch können Schädigungen nicht ausgeschlossen werden. Ob die Hirntätigkeit bei Mensch und Tier durch die Strahlung beeinflusst wird ist eine schwierig zu lösende Frage. Die Hirntätigkeit ist das mentale, räumliche Zusammenspiel von Wissen aufnehmen und Verstehen durch denken, von Erfahrung und Empfindungen. Bei Nagetieren wird für das räumliche Verständnis eine Landkarte ihrer Umgebung erstellt und die Prozesse ermöglichen Lernen und Erinnern. Erinnerung besteht in Kurzzeit- und Langzeitgedächtnis. Verschiedene Experimente mit Tieren und Menschen zeigten widersprüchliche Ergebnisse bezüglich der Beeinflussung durch Hochfrequenz. Die Wirkung auf Kinder ist noch weniger erforscht, deshalb sollte an jungen Ratten die chronische und wiederholte Einwirkung von 900-MHz-Strahlung auf das räumliche Erinnerungsvermögen und auf die Struktur des Hippocampus untersucht werden. Bei Nagetieren wird die

Jugend in frühe (Tag 21–34), mittlere (Tag 34–46) und späte (Tag 46–59) unterteilt. Die jetzige Studie sollte diesen Einflussfaktor ausschließen und eine weitere mögliche Wirkung auf die Morphologie der Pyramidenzellen in der CA3-Region des Hippocampus untersuchen, deshalb wurden Tiere vor der Pubertät eingesetzt.

Studiendesign und Durchführung: 4 Wochen alte männliche Ratten (50–60 g) bildeten 3 Gruppen: Käfigkontrolle, scheinbestrahlte Kontrolle und mit 900-MHz-Bestrahlung (50 Anrufe/Stunde, SAR 1,15 W/kg, Intensität 146,60 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$), eine Stunde täglich, 7 Tage/Woche, 28 Tage lang. Danach wurden 36 Tiere (je 12) im Wasserlabyrinth 6 Tage auf ihr Verhalten getestet und später, an Tag 29, die Morphologie der Pyramidenzellen in der CA3-Region des Hippocampus im Mikroskop untersucht und die Zahl der überlebenden Zellen bestimmt. Je 6 Tieren dienten zur Untersuchung der Pyramidenzellen auf Bildung der Zellfortsätze. Das Körpergewicht wurde an Tag 0, Tag 29 und Tag 37 bestimmt.

Ergebnisse: Das Körpergewicht steigerte sich signifikant von Tag 0 zum Tag 29 in allen 3 Gruppen, am stärksten in der bestrahlten Gruppe. Nach dem Wasserlabyrinth hatten die Tiere Gewicht verloren, am Tag 37 die bestrahlten stärker als die der beiden Kontrollgruppen. Die Zeiten, die die Tiere bis zum Auffinden des Ziels brauchten, waren bei den bestrahlten Ratten in den verschiedenen Tests z. T. signifikant verlängert. In einem Fall brauchten die Tiere der Käfigkontrolle $9,8 \pm 2,37$ s, die scheinbestrahlten $9,7 \pm 2,65$ s und die bestrahlten $20,37 \pm 3,38$ s. Die Strecke, die die Tiere dabei zurücklegten, betrug $270,50 \pm 45,45$ cm, $276,90 \pm 63,94$ cm und $495,50 \pm 73,06$ cm. Insgesamt waren Lernfähigkeit und Erinnerungsvermögen bei den bestrahlten Ratten signifikant vermindert.

Die Zellzahl in der CA3-Region des Hippocampus war bei den bestrahlten Tieren signifikant geringer in Bezug auf beide Kontrollen. Die Pyramidenzellen der Kontrollen erschienen im Mikroskop als gesunde Zellen mit klarem Zellkern und intakter Zellmembran. Die Zellen der bestrahlten Tiere hatten keine klaren Konturen und es gab weniger intakte Neuronen. Die Verzweigungen der verschiedenen Dendriten (Fortsätze) der Pyramidenzellen in der CA3-Region waren in den bestrahlten Tieren z. T. signifikant vermindert, teilweise nur gegenüber der Käfigkontrolle, teilweise auch gegenüber der scheinbestrahlten. Zusammengenommen waren die Verzweigungspunkte bei den bestrahlten Tieren signifikant vermindert.

Schlussfolgerungen: Die 900-MHz-Strahlung verminderte Lernen und Erinnern bezüglich der räumlichen Orientierung bei den Ratten, es gab weniger überlebende Zellen in der CA3-Region des Hippocampus und geringere Verzweigungen der Dendriten der Pyramidenzellen. Die Strukturveränderungen durch die 900-MHz-Strahlung im Hippocampus könnten einer der möglichen Gründe für das veränderte Verhalten der Tiere sein. Die Ursache dafür könnte eine spezifische Wirkung der Strahlung auf den Hippocampus oder eine indirekte Wirkung als Folge von Stress durch die Strahlung (ROS, DNA-Schäden u. a.) sein.

2,45-GHz-Strahlung verschlechtert Lernen und räumliches Gedächtnis über die durch oxidativen/nitrosativen Stress induzierte p53-abhängige/unabhängige Apoptose im Hippocampus: Molekulare Grundlage und zugrunde liegende Mechanismen.

2.45 GHz Microwave Radiation Impairs Learning and Spatial Memory via Oxidative/Nitrosative Stress Induced p53-Dependent/Independent Hippocampal Apoptosis: Molecular Basis and Underlying Mechanism.

Von: Shahin S, Banerjee S, Singh SP, Chaturvedi CM; Erschienen in: Toxicological Sciences 2015, 148 (2): 380–399.

Mikrowellen sind als möglicherweise Krebs erregend für den Menschen eingestuft, sie beeinflussen Gehirnphysiologie und -funktion bei Nagetieren und Menschen. Mikrowellenstrahlung gehört zu den stärksten Stressoren, die durch Bildung freier Radikale zu oxidativem/nitrosativem Stress führen, die Abwehrmechanismen in Zellen und Geweben schwächen und Proteine, Lipide und DNA schädigen. Die Nervenzellen im Gehirn sind besonders anfällig wegen des hohen Gehaltes an ungesättigten Fettsäuren, die durch freie Radikale oxidiert werden (Lipidperoxidation). Sind die Zellen zu stark geschädigt, wird die Apoptose über eine Aufeinanderfolge von Enzymaktivitäten eingeleitet und durchgeführt. Einige Regulator-Proteine für die Apoptose sind p53, Bax und Caspase-3. Es wird eine enge Beziehung zwischen Hochfrequenzstrahlung und neurologischen Störungen postuliert, aber eine direkte Wirkung auf das ZNS bleibt unklar. Diese Studie wurde durchgeführt, um den Wirkungsmechanismen der Störung von Lernen und Gedächtnis durch Mikrowellen auf die Spur zu kommen. Die Hypothese ist, dass 2,45-GHz-Strahlung Lernen und Gedächtnis beeinträchtigt über den Weg des oxidativen/nitrosativen Stresses zur Apoptose im Hippocampus. Hier wird der Mechanismus erläutert. Im Hippocampus, der in die Regionen DG, CA1, CA2 und CA3 unterteilt ist, wird das räumliche Lernen und Gedächtnis verarbeitet, gespeichert und abgerufen.

Studiendesign und Durchführung: Je 10 männliche 12 Wochen alte Mäuse wurden in 4 Gruppen eingeteilt (60 Tage Scheinbestrahlung, 15, 30 und 60 Tage Bestrahlung) und kontinuierlicher 2,45-GHz-Strahlung ausgesetzt (0,0248 mW/cm^2 , Ganzkörper-SAR 0,0146 W/kg) für 2 Stunden pro Tag. Die Tests auf räumliches Lernen und Gedächtnis erfolgten im Wasserlabyrinth. Das Hippocampusgewebe wurde auf Veränderungen im oxidativen/nitrosativen Stress (Oxidation von DNA, Lipiden, Proteinen sowie Nitrit- und Nitratkonzentrationen), der antioxidativen Enzyme (SOD, Katalase, GSH-Px), der Morphologie der Nervenzellen im Mikroskop und der Expression von Apoptose-Proteinen (p53 und Bax, Caspase-3) und eines DNA-Reparatur-Proteins (PARP-1) in den Hippocampus-Regionen DG, CA1, CA2 und CA3 bestimmt. Die Bestimmung der Kreatinin-Kinase sollte Auskunft über den Energiezustand in den Zellen geben. Die Experimente wurden einmal wiederholt, so dass die Ergebnisse von je 20 Tieren pro Gruppe stammen.

Ergebnisse: Sowohl kurz- als auch langzeitige Einwirkung der 2,45-GHz-Strahlung führte zu signifikanten Beeinträchtigungen bei allen untersuchten Parametern, mit steigender Dauer wurden die Unterschiede zur Kontrolle größer: im Wasserlabyrinth beim räumlichen Lernen und Erinnern, die Anzahl der Pyramidenzellen war vermindert, der Durchmesser, die Länge der Axone und die Anzahl der Verzweigungen und der Dendriten waren ebenfalls vermindert, möglicherweise verursacht durch den ansteigenden oxidativen/nitrosativen Stress in den Zellen. Denn die Bestimmung der antioxidativen Enzyme (SOD, KAT und GSH-Px) nahmen signifikant ab und die Konzentrationen von ROS/RNS, Lipidperoxidation, oxidativer Schädigung der DNA und von Proteinen im Hippocampus waren signifikant gestiegen. Es kam durch den gesteigerten oxidativen/nitrosativen Stress in den Hippocampus-Regionen zu einer Erhöhung der Apoptose. Die Abnahme der Creatin-Kinase durch oxidative Schädigung bedeutet einen Energieverlust für die Zellen, was deren Funktion beeinträchtigt. Die Nervenzellen der Regionen CA1, CA2 und CA3 spielen eine wichtige Rolle für das räumliche Gedächtnis. Wenn diese Zellen geschädigt sind, gehen diese Fähigkeiten verloren. Der Anstieg der Apoptose-Proteine p53 und Bax sowie die Abnahme der Caspase-3 und des DNA-Reparatur-Proteins PARP-1 deuten auf Durchführung der Apoptose hin.

Schlussfolgerungen: Diese Ergebnisse zeigen, dass kontinuierliche 2,45-GHz-Bestrahlung oxidativen/nitrosativen Stress im Hippocampus verursacht. Durch oxidative Schädigung der Nucleinsäuren, Proteine und Lipide und anschließender Überexpression von p53, darauf folgende Erhöhung von Bax und Verminderung von Caspase-3 und dem DNA-Reparatur-Protein PARP-1 entsteht neuronale Degeneration über Apoptose. Mit steigender Einwirkdauer der 2,45-GHz-Strahlung steigt die Apoptoserate in den Hippocampus-Regionen DG, CA1, CA2 und CA3 stärker an. Durch die Strahlung entsteht auch eine verminderte Anzahl von Pyramidenzellen und der Fortsätze und Verzweigungen von Dendriten und Axonen. Diese Zellveränderungen führen zu beeinträchtigtem Lernen und Erinnern. Die 2,45-GHz-Strahlung führt zu Dysfunktion und Zelltod im Hippocampus. Diese Erkenntnisse sind Voraussetzung zur Einschätzung des Strahlenrisikos und zur Schaffung von neuen Behandlungsmöglichkeiten oder zumindest zur Verringerung der neurodegenerativen Schädigung.

Blut-Hirn-Schranke

Wirkung von GSM-modulierter elektromagnetischer Strahlung auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke in männlichen und weiblichen Ratten.

Effects of GSM modulated radio-frequency electromagnetic radiation on permeability of blood-brain barrier in male & female rats.

Von: Srav B , Seyhan N; Erschienen in: J. Chem. Neuroanat. (2016)

Da Mobiltelefone immer weiter verbreitet und nah am Kopf betrieben werden, stellt sich die Frage nach der gesundheitlichen Gefährdung, insbesondere der des Hirngewebes. Diese Studie sollte untersuchen, ob 900- und 1800-MHz-Strahlung möglicherweise einen Einfluss auf die Blut-Hirn-Schranke von Ratten hat. Die Beeinträchtigung der Blut-Hirn-Schranke kann zu neurodegenerativen Prozessen führen oder es können Krebs erregende Substanzen in das Hirngewebe übertreten.

Studiendesign und Durchführung: Zur Überprüfung der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke wurden 27 männliche ($268,1 \pm 41,9$ g) und 26 weibliche ($216,8 \pm 24,7$ g) junge erwachsene Ratten in 6 Gruppen eingeteilt. Je eine scheinbestrahlte Kontrollgruppe, eine bestrahlte mit 900 MHz ($4,96 \pm 0,04$ V/m, gepulst mit 217 Hz) und eine mit 1800 MHz ($4,70 \pm 0,02$ V/m, gepulst mit 217 Hz). Da ein Mobiltelefon im Nahfeld betrieben wird, war die Antenne des Signalgenerators 10 cm von den Tieren entfernt platziert. Die SAR wird mit $0,02$ W/kg angegeben, weit unterhalb der thermischen Schwelle. Es gab keine Stressfaktoren wie Hitze, zu wenig Sauerstoff oder Umweltstress, der auf die Purkinjezellen (wichtige Rezeptorzellen für Regulationsprozesse in der Kleinhirnrinde, die Red.) einwirken könnte. Der Nachweis der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke wurde mit Evans Blue durchgeführt. Der Farbstoff bindet an Serumalbumin nach intravenöser Verabreichung und die Menge, die in das Hirngewebe übergetreten ist, ist ein Maß für die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke. Sofort nach Injektion des Farbstoffs erfolgte die 20-minütige Applikation der gepulsten Strahlung.

Ergebnisse: Die Temperatur im Tierkörper war nicht verändert durch die Bestrahlung. Der Evans blue-Gehalt bei den männlichen Tieren im gesamten Gehirn war $0,08 \pm 0,01$ mg % in der Kontrolle, bei 900 MHz $0,13 \pm 0,03$ mg % und bei 1800 MHz $0,26 \pm 0,05$ mg %, in beiden Fällen eine signifikante Erhöhung gegenüber der Kontrolle. Bei den weiblichen Tieren war der Farbstoffgehalt im gesamten Gehirn $0,14 \pm 0,01$ mg % in der Kontrolle, $0,24 \pm 0,03$ mg % bei 900 MHz und bei 1800 MHz $0,14 \pm 0,02$ mg %. Der Unterschied ist für 900 MHz signifikant, für 1800 MHz besteht kein statistisch signifikanter Unterschied zur Kontrolle.

Schlussfolgerungen: Mobilfunkstrahlung von 900 und 1800 MHz führt zu erhöhter Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Proteine nach 20 Minuten Bestrahlung, die keine Erwär-

mung des Gewebes hervorruft. Die 1800-MHz-Strahlung hat eine stärkere Wirkung auf die Durchlässigkeit bei den männlichen Tieren. Bei den weiblichen Tieren erzeugte die 900-MHz-Strahlung eine signifikante Erhöhung der Durchlässigkeit, bei 1800 MHz zeigte sich kein Unterschied zur Kontrollgruppe.

Die Autoren weisen darauf hin, dass immer mehr Kinder Mobiltelefone nutzen, aber nichts darüber bekannt ist, wie die Strahlung bei Kindern wirkt. Kinder sind empfindlicher gegenüber physikalischen, chemischen und biologischen Agenzien. Bezüglich der Strahlung ist bekannt, dass Kinder mehr Energie aufnehmen als Erwachsene. Sie haben höhere Ionenkonzentrationen im Gewebe und dieses hat dadurch eine höhere Leitfähigkeit. Die Wirkung der Strahlung bei Kindern müsse durch epidemiologische Studien untersucht werden, die Langzeitnutzung ebenso wie andere Erkrankungen. Weitere Studien sollten die Mechanismen der Strahlungswirkung auf das Zentralnervensystem erforschen zur Klärung der biologischen Wirkungen.

Anmerkung: Bereits 2011 führten Sirav et al. zum Endpunkt Blut-Hirn-Schranke eine Studie durch mit dem Ergebnis: „Bei den weiblichen Ratten wurde nach der Hochfrequenz-Exposition kein Albumin-Austritt in den Gehirnen gefunden. Es wurde jedoch im Vergleich zu den schein-exponierten männlichen Tieren ein signifikanter Anstieg der Albumin-Extravasation in den Gehirnen der exponierten männlichen Ratten gefunden.“ (EMF-Portal)

Sendemast-Studie

Zusammenhang zwischen der Strahlung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobilfunk-Basisstationen und Glyko-Hämoglobin (HbA1c) sowie dem Risiko für Diabetes mellitus Typ 2.

Association of Exposure to Radio-Frequency Electromagnetic Field Radiation (RF-EMFR) Generated by Mobile Phone Base Stations with Glycated Hemoglobin (HbA1c) and Risk of Type 2 Diabetes Mellitus.

Von: Meo SA, Alsubaie Y, Almubarak Z, Almutawa H, AlQasem Y, Hasanato RM; Erschienen in: Int J Environ Res Public Health 2015; 12 (11): 14519 – 14528

Die Strahlung von Mobilfunk-Basisstationen in Wohnvierteln wird als möglicherweise gesundheitsschädlich diskutiert. In dieser Querschnitts-Studie sollte der Zusammenhang zwischen der Strahlung und glykiertem Hämoglobin (HbA1c)* und dem Auftreten von Diabetes mellitus Typ 2 untersucht werden. Für die Studie wurden 2 Grundschulen ausgewählt mit insgesamt 159 Schülern, auf die eine unterschiedlich starke Strahlung einwirkte. Im Blut der Schüler wurde der Gehalt an HbA1c bestimmt, ein Marker für chronisch erhöhten Blutzuckergehalt, Prä-Diabetes und Diabetes mellitus Typ 2.

Studiendesign und Durchführung: Für die Studie wurden 159 gesunde Schüler von 2 Grundschulen ausgewählt (96 männliche von Schule 1, 12–16 Jahre alt, Durchschnitt 13,98 ± 0,92), und 63 männliche von Schule 2, (12–17 Jahre alt, Durchschnitt 14,21 ± 1,99), die sich freiwillig gemeldet hatten (von je 250 angefragten). Die Mobilfunkbasisstationen standen etwa 200 m von den Schulgebäuden entfernt, deren Strahlung die Schüler 6 Stunden 5 Tage/Woche ausgesetzt waren. Messungen der Feldstärken erfolgten in mehreren Klassenräumen jeweils zweimal. Den Schülern wurden Blutproben von 5–6 ml zur Messung des HbA1c-Gehaltes abgenommen.

Ergebnisse: Die Messungen in den Schulgebäuden ergaben 9,601 nW/cm² bei 925 MHz in Schule 1 und 1,909 nW/cm² bei 925 MHz in Schule 2 in den letzten 2 Jahren. Der BMI der Schüler unterschied sich kaum zwischen den Gruppen, während der durchschnittliche HbA1c-Gehalt (glykiertes Hämoglobin) in der Schule mit der hohen Strahlenbelastung (Schule 1) 5,445 ± 0,22 % betrug und in Schule 2 5,325 ± 0,34 %. Die Schüler mit den hohen Feldstärken hatten ein signifikant höheres Risiko, an Diabetes mellitus Typ 2 zu erkranken gegenüber den Schülern mit geringerer Belastung. Von Schule 1 hatten 30 Schüler (31,25 %) und in Schule 2 17 (27 %) einen HbA1c-Wert von >5,6, das bedeutet ein höheres Risiko für Prä-Diabetes mellitus Typ 2.

Die Autoren sehen eine Stärke der Studie in der Auswahl der Teilnehmer nach strengen Kriterien, als Einschränkung wird angegeben, dass nur männliche Teilnehmer untersucht wurden (in Saudi-Arabien, wo die Studie stattfand, gibt es nur getrennte Schulen für Mädchen und Jungen) und dass die Teilnehmerzahl gering ist.

Schlussfolgerungen: Die Belastung mit höherer Strahlung einer Mobilfunkbasisstation scheint einen erhöhten Risikofaktor für hohe Gehalte an HbA1c und damit für Typ 2 Diabetes mellitus bei den Schülern darzustellen (Prädiabetes). Diese Studie soll der Öffentlichkeit und den Gesundheitsbehörden aufzeigen, dass die Gesundheit nicht hintenan stehen darf und man soll sich darüber im Klaren sein, dass Mobilfunkbasisstationen nicht in Bereichen mit hoher Bevölkerungsdichte installiert werden sollten, besonders nicht auf oder in der Nähe von Schulen.

* Glykiertes Hämoglobin bedeutet, dass Zuckermoleküle (Glucose) an das Hämoglobin-Molekül (den roten Blutfarbstoff) in den roten Blutkörperchen (Erythrozyten) ankoppeln. Bis zu einem bestimmten Anteil ist das normal. Es kommt zu erhöhtem Ankoppeln von Glukose-Molekülen aus dem Blutplasma an das Hämoglobin, wenn der Glucose-Gehalt im Blutplasma erhöht ist. Ein Wert > 5,6 gilt als Vorzeichen für Diabetes (Prädiabetes), > 6,5 wird als Diabetes-Diagnose gewertet.

Siehe dazu auch: Response to comments on Meo et al. Association of exposure to radio-frequency electromagnetic field radiation (RF-EMFR) generated by mobile phone base stations with glycated hemoglobin (HbA1c) and risk of type 2 diabetes mellitus. Von: Meo SA, Alsubaie Y, Almubarak Z, Almutawa H, AlQasem Y, Hasanato RM. Erschienen in: Int J Environ Res Public Health 2016; 13 (3): 1 - 2

Studien, die im ElektromogReport besprochen wurden

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

Januar - März 2016

Elektrosensibilität

Steigende Herausforderung für medizinische Berufe

In den letzten Jahrzehnten haben freiwillige und unfreiwillige Belastung durch drahtlose Kommunikationseinrichtungen, elektrische und elektronische Geräte ständig zugenommen. Gleichzeitig scheint Elektrosensibilität auch zuzunehmen. Das Krankheitsbild ist sehr vielfältig und die Diagnose schwierig. Ein großes Problem ist, dass es keine international anerkannten Kriterien für die Diagnose gibt; diese sollten unbedingt erarbeitet werden.

Hedendahl L, Carlberg L, Hardell L (2015): Electromagnetic hypersensitivity – an increasing challenge to the medical profession. *Reviews on Environmental Health* 30 (4), 209–15
ElektromogReport Januar 2016

Hochfrequenzwirkung auf die Natur

Künstliche HF-Strahlung gefährdet Tiere und Pflanzen

Die Anzahl der wissenschaftlichen Arbeiten zu Auswirkungen künstlicher Mikrowellen auf Tiere und Pflanzen ist gering trotz deren starker Verbreitung in den letzten 20 Jahren. Für die experimentelle Biologie, Ökologie und den Naturerhalt wäre mehr Forschung wichtig, denn es gibt Anzeichen dafür, dass in städtischer Umgebung und an Basisstationen die Rezeptororgane von Zugvögeln und Insekten das Erdmagnetfeld nicht mehr wahrnehmen können, was sich auf die Orientierung negativ auswirken kann. Mehr Forschung dazu ist nötig, sagen die Autoren, die die Literatur dazu zusammengetragen haben.

Balmori A (2015): Anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields as an emerging threat to wildlife orientation. *Science of the Total Environment* 518–519, 58–60
ElektromogReport Januar 2016

Laborexperimente zu Mobilfunk

Echte Mobilfunkstrahlung statt Simulationsgerät

Diese Übersichtsarbeit befasst sich mit der Frage, ob man im Labor bei biologischen und klinischen Experimenten ein echtes Mobiltelefon oder ein Laborgerät, das ähnliche Felder erzeugt, einsetzen sollte. Nach Analyse von 103 Studien lautet die Antwort klar: Man sollte ein normales Handy benutzen, das Felder wie im täglichen Leben erzeugt, denn die Ergebnisse unterscheiden sich.

Panagopoulos DJ, Johansson O, Carlo GL (2015): Review Article: Real versus Simulated Mobile Phone Exposures in Experimental Studies. *BioMed Research International*, Article ID 607053; <http://dx.doi.org/10.1155/2015/607053>
ElektromogReport Januar 2016

Mobilfunkwirkung auf Pflanzen

900-MHz-Strahlung beeinflusst das Pflanzenwachstum

Da bekannt ist, dass Pflanzen auf Hochfrequenzfelder reagieren, wollten die Forscher wissen, ob die 900-MHz-Feldeinwirkung im Sinne einer Kettenreaktion das Wachstum verändert. An einer verholzenden Pflanze, einem Rosenbusch, wurden in diesem Experiment Sprosswachstum, Verzweigungen und Blütenbildung untersucht und festgestellt, dass das Wachstum bei Pflanzenteilen vermindert ist, die erst nach der 900-MHz-Bestrahlung wuchsen.

Grémiaux A, Girard S, Guérin V, Lothier J, Baluška F, Davies E, Bonnet P, Vian A (2016): Low-amplitude, high-frequency electromagnetic field exposure causes delayed and reduced growth in *Rosa hybrida*. *Journal of Plant Physiology* 190, 44–53

ElektromogReport Februar 2016

Ionisierende und nicht ionisierende Strahlung

Unterschätzte Gesundheitsgefährdung von Radarpersonal

Die Autorengruppe vom Otto-Hug-Strahleninstitut über die Erkrankungsraten und Todesfälle unter Radarsoldaten von Bundeswehr und Nationaler Volksarmee setzt sich kritisch mit dem Bericht der Radarkommission (2003) auseinander. Das Zusammenwirken von ionisierender und nichtionisierender Strahlung im Mikrowellenbereich (synergistische Wirkung) ließ die Radarkommission wie auch andere Wirkungen unberücksichtigt und neue Erkenntnisse erfordern andere Bewertungen.

Walter Mämpel, Sebastian Pflugbeil, Robert Schmitz und Inge Schmitz-Feuerhake: Unterschätzte Gesundheitsgefahren durch Radioaktivität am Beispiel der Radarsoldaten. Bericht Nr. 25 2015 des Otto Hug Strahleninstituts, Organ der Gesellschaft für Strahlenschutz e. V., 212 Seiten, ISSN 0941-0791, <http://www.strahlenschutz-gesellschaft.de>
ElektromogReport Februar 2016

EMV im Krankenhaus

Hochfrequenz im Krankenhaus

Die Feststellung der elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV) ist für den Einsatz von medizinischen elektronischen Geräten im Krankenhaus wichtig. In dieser Arbeit wurden die Feldstärken aller Feldquellen vor der Eröffnung eines neuen Krankenhauses und 6 Monate danach gemessen. Handys und WLAN waren nach der Eröffnung die größte Veränderung, Störungen nicht ausgeschlossen.

Ishida K, Fujioka T, Endo T, Hosokawa R, Fujisaki T, Yoshino R, Hirose M (2016): Evaluation of Electromagnetic Fields in a Hospital for Safe Use of Electronic Medical Equipment. *Journal of Medical Systems* 40, 46;
ElektromogReport Februar 2016

Radio - Telemetrie**Verfälschen Sender an Wildtieren die Ergebnisse?**

Die Übersichtsarbeit geht der Frage nach, welchen Einfluss die Peilsender (Radiotransmitter) zur Überwachung des Wander- oder Zugverhaltens von Tieren auf Orientierung und andere biologische Funktionen haben. Bis jetzt hat man nur das Gewicht der Sender und die Art der Befestigung thematisiert, nicht die Strahlung.

Balmori A (2016): Review: Radiotelemetry and wildlife: Highlighting a gap in the knowledge on radiofrequency radiation effects. *Science of the Total Environment* 543, 662–669

ElektrosmogReport März 2016

Magnetfeldwirkungen auf das Gehirn**Magnetfelder verändern die Hirnfunktionen bei Studenten**

Wirken externe Magnetfelder von 2 kHz und 0,1 μ T auf das Gehirn von gesunden männlichen Studenten ein, kann das Kurzzeitgedächtnis beeinträchtigt werden. Das wurde an 65 freiwilligen Studenten herausgefunden. Es gab signifikante Veränderungen gegenüber derscheinbestrahlten Kontrollgruppe in Reaktionszeit, Aufmerksamkeit, Wahrnehmung, Entscheidung und motorischer Umsetzung.

Navarro EA, Gomez-Perretta C, Montes F (2016): Low Intensity Magnetic Field Influences Short-Term Memory: A Study in a Group of Healthy Students. *Bioelectromagnetics* 37, 37–48
ElektrosmogReport März 2016

Belastung durch Kommunikationsnetze**UMTS- und 900-MHz-Strahlung im Eisenbahnabteil**

Die Forscher haben erstmals innerhalb eines Eisenbahnwagons die Strahlung einer 900-MHz-Makrozelle und einer UMTS-Femtozelle (1950/2150 MHz), sowohl die Strahlung von fremden Geräten als auch die von den eigenen, verglichen, wenn bis zu 15 Passagiere telefonieren. Insgesamt ist die Strahlenbelastung für einen Nicht-Nutzer durch die Femtozelle sehr viel geringer als durch die GSM-Makrozellen (Gefördert durch FP7-LEXNET).

Plets D, Joseph W, Aerts S, Vermeeren G, Varsier N, Wiart J, Martens L (2015): Assessment of Contribution of Other Users to Own Total Whole-Body RF Absorption in Train Environment. *Bioelectromagnetics* 36, 59–602

ElektrosmogReport März 2016

diagnose:funk Veröffentlichungen zur Studienlage

Brennpunkt: 130 Studienergebnisse Smartphones & Tablets schädigen Hoden, Spermien und Embryos (2016), 24 Seiten, 5,00 Euro

Recherche des aktuellen Standes der Forschung.

Brennpunkt: Ukrainische Forschergruppe legt Review vor Mobilfunkstrahlung weit unterhalb der Grenzwerte führt zu oxidativem Stress in Zellen (2015), 24 Seiten, 5,00 Euro

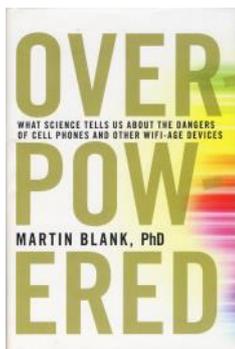
Übersetzung der Studie von Yakymenko et al..

Brennpunkt: Neue US - Studie bestätigt: Risiken für Kinder durch die Strahlenbelastung von Smartphones, TabletPCs und WLAN sind besonders hoch (2014), 24 Seiten, 4,00 Euro

Übersetzung des Reviews von Morgan, Kesari, Davis: Warum Kinder Mikrowellenstrahlung stärker absorbieren als Erwachsene: Die Konsequenzen.

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

Per Mail: versand@diagnose-funk.de



Ein neues Standardwerk

Martin Blank (2014): OVERPOWERED. What science tells us about the dangers of cell phones and other WiFi - age devices. Seven Stories Press, New York

Prof. Martin Blank (USA), ehemaliger Vorsitzender der Bioelectromagnetics Society, dokumentiert die Geschichte und den aktuellen Stand der Forschung zur nicht-ionisierenden Strahlung, und aus eigenem Erleben den Einfluss von Politik und Industrie in den USA auf die Forschungsergebnisse. Das Buch ist nur im englischen Original, jetzt auch als Taschenbuch, erhältlich, und gut verständlich geschrieben. Bestellung im Buchhandel.

www.mobilfunkstudien.org

diagnose:funk Datenbank mit Studien, Artikeln und Videos