

ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer
Felder für Umwelt und Gesundheit



Wirkung einer Mobilfunkbasisstation auf Kiefern

Die Auswirkungen einer Basisstation als elektromagnetische Strahlungsquelle auf den Blüten- und Zapfenertrag und den Prozentsatz der Keimung bei Pinus brutia

Ozel HB, Cetin M, Sevik H, Varol T, Isik B, Yaman B (2021): The effects of base station as an electromagnetic radiation source on flower and cone yield and germination percentage in Pinus brutia Ten. *Biologia Futura*, 72(3), 359-365. <https://doi.org/10.1007/s42977-021-00085-1>

Elektromagnetische Strahlung (EMS) ist ein wesentlicher, mittlerweile fast allgegenwärtiger Umweltfaktor, dem die meisten Lebewesen ausgesetzt sind. Die Anzahl der Studien, die die Auswirkungen von EMS auf Lebewesen untersuchen, ist begrenzt, und fast alle bislang durchgeführten Studien befassen sich mit den Auswirkungen einer kurzfristigen Exposition. Darüber hinaus konzentrieren sich die meisten Studien, die mit Pflanzen durchgeführt wurden, auf krautige Pflanzenarten. In dieser Studie wurden die Auswirkungen der Nähe zu einer Mobilfunk-Basisstation auf den Blüten- und Zapfenertrag und den Prozentsatz der Samenkeimung bei der Kiefernart *Pinus brutia*, einem im Mittelmeerraum häufigen Nadelbaum, untersucht.

Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde in der Provinz Bartın (Türkei) durchgeführt. Das Untersuchungsgebiet wurde 1994 aufgeforstet, indem 2 Jahre alte Röhrensetzlinge gepflanzt wurden. Die Plantage liegt auf einer Höhe von 300 m. Die Bodenstruktur ist klastisch, und der Boden, die Hanglage und die Exposition sind im Untersuchungsgebiet im Allgemeinen homogen. Die Basisstation im Untersu-

Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 02/2022, 28. Jahrgang
Online Veröffentlichung auf www.EMFdata.org
Bestellung Printausgabe:
shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport, Bestellnr. 52202

Redaktion ElektrosmogReport

Dipl. Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), M.Sc.,
Alain Thill (AT), M.Sc., Kontakt: emf@katalyse.de

Herausgeber und V.i.S.d.P

Diagnose-Funk e.V.
Postfach 15 04 48
D-70076 Stuttgart
kontakt@diagnose-funk.de

Spendenkonto:

Diagnose-Funk e.V.
IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00
BIC: GENODEM1GLS | GLS Bank
Ermöglichen Sie mit Ihrer Spende die Aufarbeitung und Analyse der Forschungslage und die weitere Herausgabe des ElektrosmogReport

INHALTSVERZEICHNIS

SEITE 01 > WISSENSCHAFT

Wirkung einer Mobilfunkbasisstation auf Kiefern

02 > Mobilfunk und Hirnentwicklung

04 > UMTS-Wirkung auf Rattenhirne

05 > Hochfrequenzwirkung auf neuronale Zelllinie

06 > Elektromagnetische Felder und Epilepsie

07 > Mobilfunkwirkung auf das ZNS

08 > 1800 MHz und Krebs

09 > Magnetkompass der Vögel

10 > Hochfrequenz reicht in tiefliegendes Gewebe

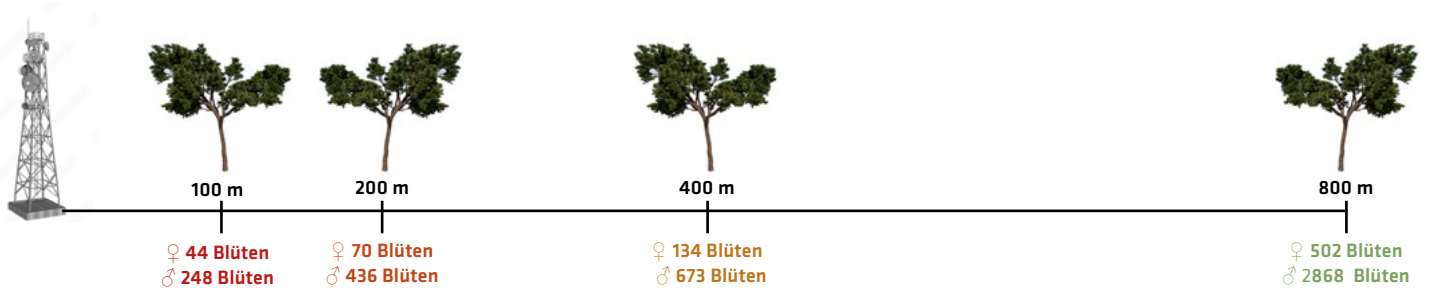
11 > Simulationsstudie zu 5G

12 > Cortisolwerte bei hohen Magnetfeldern

13 > Militärische Anwendungen von EMF

15 > NEUE PUBLIKATION 5G-Buch von I. Grigoriev

16 > Weitere Adressen



chungsgebiet wurde im Jahr 2005 errichtet. Im Rahmen der Studie wurden zunächst die Kiefern in einer Entfernung von 100 m, 200 m, 300 m, 400 m, 500 m, 600 m, 700 m und 800 m von der Basisstation identifiziert, und es wurden Messungen und Zählungen für diese Individuen durchgeführt. Das Untersuchungsmaterial wurde im Jahr 2019 von 27 Jahre alten Bäumen gesammelt. Bei insgesamt 30 Bäumen wurden im April weibliche und männliche Blüten gezählt sowie ein- und zweijährige Zapfen. Am Ende der Saison (November) wurden zusätzlich von den gleichen Bäumen reife Zapfen gesammelt.

Ergebnisse:

Die Ergebnisse der Studie zeigen, dass die Nähe zur Basisstation die Anzahl der Blüten und Zapfen bei *Pinus brutia* signifikant reduziert: die Werte, die bei Kiefern in einer Entfernung von 800 m von der Basisstation erzielt wurden, sind 11-mal höher bezüglich der Anzahl der Blüten und 7-mal höher was die Anzahl der Zapfen angeht, im Vergleich zu den Individuen in einer Entfernung von 100 m. Durchschnittliche Anzahl weiblicher Blüten: 44 Blüten bei 100 Meter Entfernung, 70 Blüten bei 200 m, 134 Blüten bei 400 m sowie 502 Blüten bei 800 m. Durchschnittliche Anzahl männlicher Blüten: 248 Blüten bei 100 Meter Entfernung, 436 Blüten bei 200 m, 673 Blüten bei 400 m sowie 2868 Blüten bei 800 m. Bei den Samen gibt es einen Unterschied um den Faktor drei in Bezug auf den Keimungsprozentsatz zwischen den Individuen, die sich am weitesten (91 % Erfolg bei 800 m Entfernung) und am nächsten (33 % Erfolg bei 100 m) zur Basisstation befinden.

Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Entfernung zur Basisstation die Anzahl der Blüten und Zapfen bei Individuen von *Pinus brutia* signifikant reduzierte. Es wurde ein großer Unterschied zwischen der Anzahl der Blüten und Zapfen bei Bäumen festgestellt, die in einer Entfernung von 100 m von der Basisstation wachsen, und solchen, die in einer Entfernung von 800 m wachsen. In der Literatur gibt es jedoch einige Studienergebnisse, die darauf hindeuten, dass die Exposition gegenüber EMS den Frucht- und Blütenertrag der Pflanzen nicht signifikant beeinträchtigt, sondern den Ertrag sogar erhöht. Diese Studien beziehen sich auf die Kurzzeitexposition. Aus diesem Grund wird empfohlen, Studien über die Ergebnisse der Langzeitexposition auf der Grundlage regelmäßiger Kontrollen durchzuführen. Bei Pflanzen wird berichtet, dass die Exposition mit elektromagne-

tischer Strahlung wichtige physiologische Prozesse wie Atmung, Stofftransport, photosynthetische Pigmente, die Photosynthese, die Funktion des Hormonsystems, das antioxidative System und den Zellteilungsprozess beeinträchtigen. Es wäre sinnvoll, die Studien zu diesem Thema auf verschiedene Lebewesen auszuweiten und die Studien so fortzusetzen, dass die Veränderungen in Bezug auf die biologische Vielfalt im Detail bewertet und alle Variablen berücksichtigt werden. Es wird empfohlen, dass sich künftige Studien auf die Schäden konzentrieren, die Elektromog bei Lebewesen auf zellulärer Ebene verursachen kann, auf die Veränderung dieser Schäden auf der Grundlage von Arten und Unterarten, insbesondere auf die Expositionszeiten und Schadensbeziehungen für den Menschen, und auf die notwendigen Maßnahmen, die zur Vermeidung dieser Schäden ergriffen werden müssen. (AT)



Mobilfunk und Hirnentwicklung

Elektromagnetische Wellen von Mobiltelefonen könnten Rattenhirne während der Entwicklung beeinflussen

Akakin D, Tok OE, Anil D, Akakin A, Sirvanci S, Seber G, Ercan F (2021): Electromagnetic Waves from Mobile Phones may Affect Rat Brain During Development. *Turkish Neurosurgery* 31 (3), 412–421; DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.31665-20.2

Viele Studien haben ergeben, dass elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen die Hirnaktivität und das Risiko für Hirntumore steigern, dass sie EEG, Schlaf, Aufmerksamkeit, Lern- und Gedächtnisfunktionen verändern. Als Ursachen kommen thermische und nicht-thermische Wirkungen der Strahlung in Betracht, die die Zellfunktionen stören. Insbesondere werden durch oxidativen Stress Nervenzellfunktionen beeinträchtigt. Mehrere Studien haben gezeigt, dass in weiteren Bereichen des Nervensystems Schädigungen durch Mobilfunkstrahlung auftreten können, z. B. an Gehör- und Gesichtsnerven. Zur weiteren Klärung der Mechanismen zogen die Forscher Funktionen des Proteins GFAP (Glial fibrillary acidic protein) heran. GFAP ist ein Faserprotein vor allem in Astrozyten, das u. a. wichtige Funktio-

Alle bestrahlten Gruppen wiesen Schädigungen der Nervenzellen gegenüber den unbestrahlten Kontrollen in Hirnrinde und Hippocampus auf.

nen bei der Struktur der Nervenzellen, bei der Blut-Hirn-Schranke und der Myelinisierung der Nervenzellen hat. Erhöhte Konzentrationen deuten auf Schädigungen hin. GFAP ist außerdem ein Tumormarker für Hirntumore. Trotz vieler experimenteller Studien sind die Mechanismen der Schädigungen durch Mobilfunkstrahlung noch nicht gut bekannt. Astrozyten sind an der elektrischen Aktivität, an der Übertragung an Synapsen und der Plastizität beteiligt. Durch Ausschütten von proentzündlichen Molekülen können sie im Hippocampus auf Verhalten und mentale Funktionen einwirken. Insbesondere in der frühen Entwicklung im Mutterleib sind die Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung wenig erforscht. Das Ziel der Studie war, morphologische und biochemische Veränderungen durch Mobilfunkstrahlung im Nervensystem, genauer in den beiden Regionen CA3 und dem Gyrus dentatus des Hippocampus von Ratten zu untersuchen.

Studiendesign und Durchführung:

Ratten wurden von Tag 14 der Trächtigkeit mit 1800-MHz-Strahlung eines Mobiltelefons bis zur Geburt behandelt, 1,79 W/kg für 2 Stunden täglich. Das Gerät war im Abstand von 1 cm über dem Käfig platziert. Nach der Geburt kamen je 6 männliche Tiere pro Gruppe in 5 Gruppen zum Einsatz: Unbestrahlte Kontrolle, 2 Gruppen für Stand-by- und 2 für Gesprächs-Modus, wovon je eine Gruppe nach der Geburt noch bis Tag 60 weiter bestrahlt wurde. Nach Ende des 2. Monats wurde den Tieren das Gehirn entnommen, und auf die Marker für oxidativen Stress MDA, GSH und das GFAP-Protein (mit β -Aktin-Kontrolle) untersucht. Histologisch wurden die Hirnrinde und die Hippocampus-Regionen Gyrus dentatus und CA3 nach Hämatoxylin-Eosin (HE)-Färbung unter dem Mikroskop ausgewertet. Vom Gewebe des Trigemini-Nervs wurden Querschnitte von einigen Bereichen nach Toluidinfärbung im Elektronenmikroskop durchsucht und die durchschnittliche Anzahl myelinisierter Axone für jedes Tier bestimmt.

Ergebnisse:

Alle bestrahlten Gruppen wiesen Schädigungen der Nervenzellen gegenüber den unbestrahlten Kontrollen in Hirnrinde und Hippocampus auf. Die MDA-Konzentrationen waren im Stand-by- und Gesprächsmodus signifikant erhöht außer in der fetalen Stand-by-Gruppe. Die GSH-Konzentrationen waren ebenso nur im fetalen Stand-By-Modus nicht-signifikant vermindert, in den 3 anderen Gruppen signifikant vermindert. Die Histopatho-

logie ergab in der Kontrollgruppe regelrechte Neuronen, während die bestrahlten Tiere signifikante Schädigungen aufwiesen: gesteigerte Degeneration in der Hirnrinde und in beiden Regionen des Hippocampus (CA3 und DG). Es gab perineurale Ödeme und Schrumpfung der Nervenzellen, pyknotische Zellkerne und dunkle Neuronen in der Gesprächsmodus-Gruppe. Die Degeneration der Neuronen war hier sehr viel stärker ausgeprägt, mit vielen Vakuolen in Hirnrinde und Hippocampus. Die GFAP-Werte waren in Hirnrinde und Hippocampus in allen 4 Gruppen erhöht gegenüber der Kontrollgruppe, signifikant nur bei der Langzeitbestrahlung im Gesprächsmodus (60 Tage). Die Untersuchung des Trigemini-Nerv-Gewebes im Mikroskop ergab in der Kontrollgruppe reguläre Morphologie der Axone, in den bestrahlten Gruppen zeigten sich mehr Bereiche degenerierter Axone, besonders nach der Langzeitbestrahlung. Im Elektronenmikroskop wurde sichtbar, dass die Degenerationen gegenüber der Kontrollgruppe zunahm (Vakuolenbildung, geschädigte Axone und Myelinscheiden), diese aber nur in der Gruppe der Langzeitbestrahlung signifikant waren.

Schlussfolgerungen:

Mobiltelefone können selbst im Stand-by-Modus die Entwicklung des Gehirns vom Embryo bis zum erwachsenen Tier beeinflussen. Die Ergebnisse legen nahe, dass 1800-MHz-Strahlung mit einem SAR-Wert von 1,79 W/kg in der fetalen und frühen postnatalen Phase der Entwicklung zur Schädigung des Trigemini-Nervs, zu Degeneration der Nervenzellen und der Aktivierung von Astroglia durch oxidativen Stress im Rattenhirn führt. Die Auswirkungen scheinen abhängig vom Modus des Mobilfunkgerätes zu sein, im Gesprächsmodus ist die Wirkung deutlicher. Besonders in der COVID19-Pandemie nutzen Kinder und Jugendliche Mobiltelefone für Schule und Freizeit zur Kommunikation, deshalb sollten sie sich der gesundheitlichen Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung bewusst sein und die Nutzungsdauer reduzieren. Diese Studie zeigt erstmals, dass die Ultrastruktur des Trigemini-Nervs in frühen Entwicklungsphasen durch Mobilfunkstrahlung beeinflusst wird, was bei langzeitiger Nutzung stärkere Auswirkungen haben kann. (IW)

Mobiltelefone können selbst im Stand-by-Modus die Entwicklung des Gehirns vom Embryo bis zum erwachsenen Tier beeinflussen.



UMTS-Wirkung auf Rattenhirne

Mögliche Wirkungen verschiedener Dosierungen von 2,1-GHz-EMF auf Lernen und Konzentrationen cholinerg Biomarker im Hippocampus von Wistar-Ratten

Gökçek-Saraç Ç, Akçay G, Karakurt S, Ateş K, Özen Ş, Deri N (2021): Possible effects of different doses of 2.1 GHz electromagnetic radiation on learning, and hippocampal levels of cholinergic biomarkers in Wistar rats. *Electromagnetic Biology and Medicine* 40 (1), 179–190; <https://doi.org/10.1080/15368378.2020.185125>

Mobilfunkstrahlung dringt beim Menschen 4–6 cm in den Kopf ein, deshalb gibt es einen akuten Bedarf an Kenntnissen über die neurobiologischen Mechanismen, die der Strahlungswirkung zugrunde liegen. Cholinerge Nervenzellen haben wichtige Funktionen bei vielen Vorgängen im Hippocampus, z. B. bei Lernen, Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Bewegung, Schlaf. Bei degenerativen Erkrankungen wie der Alzheimer- und der Parkinson-Krankheit kommt es zu einem Verlust cholinergischer Nervenzellen. Acetylcholin als primärer Neurotransmitter des cholinergen Systems wird über die Acetyltransferase (ChAT) aus Cholin und Acetyl-CoA synthetisiert. In den Synapsen wird Acetylcholin über den vesikulären Acetylcholintransporter (VAcHT) in synaptischen Vesikeln gespeichert und wird dann durch das Aktionspotenzial in den synaptischen Spalt ausgeschüttet. Durch Bindung an einen Rezeptor erfolgt eine biologische Antwort. Die Acetylcholinesterase (AChE) in der postsynaptischen Membran katalysiert die hydrolytische Spaltung des Acetylcholin-Moleküls in Essigsäure und Cholin. Die Biomarker des cholinergen Stoffwechselwegs sind an Verhaltensreaktionen beteiligt. Bei Demenz sind diese Reaktionen deutlich vermindert, was die Lern- und Gedächtnisfähigkeiten reduziert. Bei Ratten und Mäusen führt VAcHT-Mangel auch zu schlechter Objekt- und sozialer Erkennung. Da wenig über den Einfluss von hochfrequenten Feldern auf cholinerge Funktionen im Zusammenhang mit dem Hippocampus bekannt ist, sollten mit der kurzzeitigen Befeldung die cholinergen Biomarker und deren mRNA-Konzentrationen im Hippocampus untersucht werden.

Studiendesign und Durchführung:

Zum Einsatz kamen 3 Gruppen mit je 11 männlichen Ratten, die in scheinbestrahlter Kontrolle und je einer Gruppe bestanden, die mit einem elektrischen Feld von 45 V/m bzw. 65 V/m für eine Woche mit 2,1 MHz (Modulation 217 Hz) mit einem Signal-

generator für 2 Stunden/Tag befeldet wurden. Die Tiere befanden sich in einem abgeschirmten Raum in einem Karussell mit Röhren, in denen sie mit dem Kopf im Abstand von 4 und 8 cm von der Monopol-Antenne fixiert waren. Die SAR-Werte betragen bei 45 V/m 0,41 W/kg im Gehirn und 0,47 W/kg im ganzen Körper und bei 65 V/m 1,3 W/kg im Gehirn und 2,17 W/kg im ganzen Körper. Nach der Behandlung durchliefen die Tiere die beiden Verhaltenstests – Objekttest und Y-Labyrinth-Test – zur Bestimmung des Kurzzeitgedächtnisses und des räumlichen Lernens und Gedächtnisses. Die biochemischen Tests bestanden in der Bestimmung der Expressionen von Acetylcholinesterase (AChE), Cholin-Acetyltransferase (ChAT), vesikulärem Acetyl-Cholin-Transporter (VAcHT) und den dazugehörigen mRNA-Expressionen im Hippocampus-Gewebe.

Ergebnisse:

Im Objekt-Test erkundeten und berührten die mit 65 V/m befeldeten Tiere die neuen Objekte signifikant weniger im Vergleich zu den unbestrahlten Kontrolltieren, die Aktivität der mit 45 V/m behandelten war nicht-signifikant geringer. Im Y-Labyrinth waren Entdeckungszeit und Häufigkeit der Eintritte in den neuen unbekanntem Arm bei 45 V/m leicht erhöht, nach 65 V/m hochsignifikant bzw. signifikant verringert gegenüber der Kontrollgruppe. Die relativen Werte (mit β -Aktin-Kontrolle) für ChAT, AChE und VAcHT waren alle signifikant verringert, bei 65 V/m stärker als bei 45 V/m. Die quantitative mRNA-Expression (GAPDH-kontrolliert) ergab ein ähnliches Bild: die meisten der 3 Parameter (relative mRNA-Expression von AChE, ChAT und VAcHT) zeigten eine hochsignifikante Verminderung gegenüber den Kontrollen.

Schlussfolgerungen:

Da Mobiltelefone weit verbreitet sind, ist die Wirkung der Strahlung auf Gehirnfunktionen für Wissenschaftler von Interesse. Die Funktionen des Hippocampus sind gut bekannt und die Wirkung von Mobilfunkstrahlung ergab Beeinträchtigungen in Aktivität, Morphologie, Chemie und im Verhalten im Tierversuch. Beeinträchtigungen von Lernen und Gedächtnis sind vielfach belegt. Das cholinerge System spielt eine wichtige Rolle bei der Verarbeitung von Lernen und Gedächtnis im Hippocampus, was in Verhaltenstests zum Ausdruck kommt. Erstmals werden hier die möglichen Dosis-abhängigen Wirkungen kurzzeitiger Einwirkung von 2,1-GHz-Strahlung auf das Verhalten von Ratten und auf die Biomarker im Hippocampus AChE, ChAT und VAcHT sowie deren mRNA-Konzentrationen in männlichen Ratten gezeigt. Zur Aufklärung der Mechanismen, wie Mobilfunkstrahlung die Funktionen des cholinergen Systems von Säugtieren beeinflusst, ist weitere Forschung nötig. (IW)

... die Wirkung von Mobilfunkstrahlung ergab Beeinträchtigungen in Aktivität, Morphologie, Chemie und im Verhalten im Tierversuch.



Hochfrequenzwirkung auf neuronale Zelllinie

Langfristige Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern verringert die Proliferation von Neuroblastom-Zellen durch Akt/mTOR-vermittelte zelluläre Seneszenz

Kim JH, Jeon S, Choi HD, Lee JH, Bae JS, Kim N, Kim HG, Kim KB, Kim HR (2021): Exposure to long-term evolution radiofrequency electromagnetic fields decreases neuroblastoma cell proliferation via Akt/mTOR-mediated cellular senescence, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 84:20, 846-857, DOI: 10.1080/15287394.2021.1944944

Die öffentliche Sorge über die schädlichen Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf den menschlichen Körper nimmt weiter zu. Bei Tieren wurde über eine Vielzahl biologischer Wirkungen nach Hochfrequenzbelastung berichtet. Diese beinhalten u.a. Hinweise auf neurologische Veränderungen im Gehirn, gestörte Kalzium-Homöostase und verminderte Fortpflanzungsfähigkeit. Zu den zellulären Wirkungen der Hochfrequenz gehören Autophagie, Apoptose, Reaktionen auf DNA-Schadensantwort, mitochondriale Fehlfunktion, Veränderungen der Zellteilung und des Zellzyklus. Es existieren Hinweise, dass die verringerte Zellteilung auf eine hochfrequenzinduzierte zelluläre Seneszenz zurückzuführen ist. Als zelluläre Seneszenz wird ein Phänomen bezeichnet, bei dem sich Zellen aufhören zu teilen. Dies kann z.B. die Konsequenz von DNA-Schäden durch reaktive Sauerstoffspezies sein. Die Zellen bleiben metabolisch aktiv, unterliegen jedoch einem Zellzyklus-Arrest, wodurch eine Zellteilung ausgeschlossen wird. (Dies kann verhindern, dass sich geschädigte Zellen weiter vermehren und beispielsweise Tumore entstehen, Anm. d. Redaktion). Im Allgemeinen erfordert die Nutzung von Mobiltelefonen einen unmittelbaren Kontakt mit dem Kopf, was eine Hochfrequenzbelastung in unmittelbarer Nähe des Gehirns impliziert. Es ist daher denkbar, dass Hochfrequenzbelastung neuronale Zellen besonders beeinflusst. Die hier vorgestellte Studie beleuchtet mögliche biologische Auswirkungen von Hochfrequenz auf die Funktion der neuronalen Zelllinie SH-SY5Y (menschliche Neuroblastomzelllinie). Die Wirkung von Hochfrequenz auf Zellproliferation, Zellzyklus, DNA-Schäden, Apoptose und Seneszenz wurde analysiert.

Studiendesign und Durchführung:

Die menschliche Neuroblastomzelllinie SH-SY5Y wurde mit 1760 MHz LTE-Hochfrequenz bestrahlt. Die Befeldung erfolgte mit 4 W/kg SAR, 4 Stunden täglich über 4 Tage. Das Expositionssignal wurde durch eine konische Hornantenne mit Breit-

bandcharakteristik auf die Zellen übertragen. Als Kontrolle wurden scheinbestrahlte Zellen verwendet. Eine Temperaturerhöhung wurde ausgeschlossen. Nach der Bestrahlung wurden die Zellen mittels Durchflusszytometrie, Immunohistochemie sowie Zellteilungs-Assay untersucht.

Ergebnisse:

Es wurden keine signifikanten morphologischen Unterschiede nach Befeldung festgestellt. Allerdings war die Überlebensfähigkeit signifikant um bis zu 20% vermindert. Die Daten wiesen darauf hin, dass dies durch eine verminderte Zellteilung verursacht wurde. Diese wurde wiederum durch eine Zellzyklus-Verzögerung in der G0/G1-Phase der Zellen induziert. Anschließend untersuchten die Forscher verschiedene Marker für Apoptose und DNA-Schäden, welche jedoch keine Hinweise für Apoptose bzw. DNA-Schäden lieferten. Um den mechanistischen Hintergrund für die verringerte Zellteilung zu beleuchten, untersuchten die Wissenschaftler den Akt/mTOR Signalweg. Es ist bekannt, dass der Akt/mTOR Signalweg eine Schlüsselrolle bei diversen zellulären Prozessen, wie Zellteilung, Apoptose und Zellmigration spielt. Tatsächlich demonstrierten die Daten eine hochfrequenzverursachte zelluläre Seneszenz, welche durch den Akt/mTOR-Signalweg vermittelt wird. Danach wurden direkte Zellzyklusregulatoren (p53, p21, p27), welche mit den Schlüsselproteinen der Zellzyklus-Kontrolle Cyclin-CDK interagieren, analysiert. Die Ergebnisse gaben Grund zur Annahme, dass die Zellzyklus-Verzögerung durch einen Expressionsanstieg der Zellzyklusregulatoren, auf Grund von hochfrequenter Befeldung, verursacht wurde. Der Cyclin-CDK-Komplex reguliert maßgeblich die Progression des Zellzyklus. Um zu untersuchen, ob der Anstieg der Cyclin-CDK-Inhibitoren p21 und p27 mit der Verzögerung des Zellzyklus in Zusammenhang stehen könnte, wurde die Expression verschiedener CDKs sowie Cyclin-D bestimmt. Die Autoren fanden heraus, dass die Hochfrequenzbelastung die Bildung von Cyclin-D, CDK4, CDK2 sowie aktiviertem Retinoblastom-Protein vermindern könnte, und dadurch den G1-S-Übergang des Zellzyklus verzögert.

Schlussfolgerungen:

Die Resultate der Autoren weisen darauf hin, dass Hochfrequenz (1760 MHz, 4 W/kg SAR, 4 Stunden/Tag, 4 Tage) die Zellteilung und damit das Zellwachstum von SH-SY5Y-Zellen neuronalem, menschlichen Ursprungs verringert. Die Verzögerung der Zellzyklus-Progression in der G0/G1-Phase wurde durch Veränderungen des Akt/mTOR-Signalweges verursacht. Verschiedene molekulare Zellzyklusregulatoren bzw. -mediatoren wurden untersucht und bestätigten die These. Die Hochfrequenz rief den Zustand der zellulären Seneszenz hervor, ohne DNA-Schäden zu verursachen. (RH)



Elektromagnetische Felder und Epilepsie

Elektromagnetische Aktivität: ein möglicher Akteur bei Epilepsie

Guo Y, Liu Y, Wang, X (2020): Electromagnetic activity: a possible player in epilepsy. *Acta Epileptologica*, 2(1), 1-6.
<https://doi.org/10.1186/s42494-020-00019-9>

Epilepsie ist eine häufige neurologische Erkrankung, die durch wiederkehrende Anfälle gekennzeichnet ist, mit einer weltweiten Prävalenz von 0,7 %. Verschiedene Faktoren können bei Patienten mit Epilepsie Anfälle auslösen, wie Alkoholkonsum und Hyperventilation. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass auch elektromagnetische Aktivitäten in der Umwelt bei Epilepsiepatienten Anfälle auslösen können. Zur Diagnose und Behandlung von Epilepsie wurden jedoch auch Geräte zur neuronalen Modulation eingeführt, die elektromagnetische Felder erzeugen. Künstliche elektromagnetische Strahlung wird von der Weltgesundheitsorganisation als viertgrößte Quelle von Umweltverschmutzung angesehen, gleich nach Luftverschmutzung, Wasserverschmutzung und Lärm. Die repetitive transkranielle Magnetstimulation (rTMS) ist eine nicht-invasive neuro-elektrophysiologische Technik, die z.B. zur Behandlung von Depressionen, Schizophrenie, der Parkinson-Krankheit und Epilepsie eingesetzt wird.

Studiendesign und Durchführung:

Dieses systematische Review baut auf einer Literaturrecherche in PubMed, Medline und EMBASE auf.

Ergebnisse:

Störungen der natürlichen elektromagnetischen Aktivität – sogenannte geomagnetische Stürme (GMS) – erhöhen nachweislich in Tierstudien die Anfälligkeit für Epilepsie. Michon et al. setzten chronisch epilepsiekranken Ratten künstlichen Magnetfeldern aus, die verschiedene Intensitäten erhöhter geomagnetischer Aktivität simulierten und zeigten, dass die exponierten Ratten ein erhöhtes Auftreten von Anfällen am nächsten Tag erfuhren. Bureau et al. fanden heraus, dass wenn die Intensität der künstlichen geomagnetischen Aktivität 20–25 nT überstieg, die Anfälle schneller auftraten als bei durchschnittlicher täglicher geomagnetischer Aktivität. Ob geomagnetische Stürme auch Auswirkungen auf Epileptiker haben, ist jedoch noch unbekannt.

In einer Reihe von Studien wurde berichtet, dass rTMS episodische epileptische Anfälle auslösen kann bei gesunden Personen und Epileptikern. Dhuna et al. fanden heraus, dass einer von 8 Epilepsiepatienten, die rTMS erhielten, einen epileptischen Anfall entwickelte. Eine Meta-Analyse aus dem Jahre 2017 ergab,

dass rTMS bei 30% der Epileptiker zu einer 50%igen Anfallsreduktion führt. Der genaue Mechanismus der rTMS ist nach wie vor unbekannt; aktuelle Studien deuten darauf hin, dass rTMS epileptische Anfälle unterdrückt, indem sie die synaptische Übertragung, die neuronale Erregbarkeit und die Funktion der Ionenkanäle verändert oder die ephaptischen Interaktionen unterbricht, die für die neuronale Synchronisation entscheidend sind.

Der Frequenzbereich des menschlichen Elektroenzephalogramms (EEG) stimmt mit dem Frequenzbereich der Schumann-Resonanz (0–45 Hz) überein. Das Schumann-Resonanzsignal bietet einen beständigen externen Taktgeber, der zur Stabilisierung der elektrischen Aktivität des Gehirns beiträgt. Die Hauptfrequenz der Hirnaktivität kann 8–13 Hz erreichen, was mit den natürlichen elektromagnetischen Wellen der Erde übereinstimmt (d.i. die Schumann-Resonanz); dies scheint ein Ergebnis der Anpassung des menschlichen Gehirns an die Umwelt im Laufe der Evolution zu sein. Geomagnetische Stürme können auch Veränderungen in der EEG-Aktivität des Gehirns hervorrufen. Eine Studie an 10 gesunden Probanden zeigte, dass eine verlängerte Exposition mit GSM-Mobilfunk die interhemisphärische Kohärenz in den Alpha-2- (zwischen 8 und 10 Hz) und Alpha-3-Bändern (zwischen 10 und 12 Hz) erhöht, was zeigt, dass die GSM-Wellen die kortikale Erregbarkeit und die Ausbreitung von neuraler Synchronisationsaktivität beeinflussen können. Darüber hinaus ist die ältere Bevölkerung empfindlicher auf das GSM-Mobilfunksignal als jüngere Menschen. Epileptische Patienten zeigen nach Exposition mit GSM-Mobilfunk eine signifikant höhere interhemisphärische Kohärenz der Alpha-Rhythmen (einschließlich Alpha 2 und Alpha 3) im Vergleich zu gesunden Kontrollpersonen, was darauf hindeutet, dass Epileptiker noch empfindlicher auf die elektromagnetischen Wellen des Mobiltelefons reagieren und eher hochsynchroner Aktivität in ihren Neuronen aufweisen.

Schlussfolgerungen:

Laut den Autoren sollten die folgenden Fragen in Zukunft untersucht werden: Erstens sollte geklärt werden, ob elektromagnetische Aktivität die Epilepsie oder die Anfallsschwelle beim Menschen beeinflussen kann. Bisher gibt es nur eine kleine Anzahl von Fallberichten und Tierstudien zu diesem Thema. Zweitens: Obwohl sich positive Auswirkungen der rTMS auf die Anfallshäufigkeit gezeigt haben, sind aufgrund der Variabilität der rTMS-Stimulationsprotokolle noch weitere gut konzipierte Studien erforderlich, um die langfristige Effizienz und Sicherheit dieses therapeutischen Ansatzes zu validieren. Drittens: Um elektromagnetische Aktivität besser zu verstehen und einzusetzen, sollte sich weitere Grundlagenforschung auf die neuronalen Netzwerke sowie auf die zellulären und molekularen Mechanismen konzentrieren, die den Wirkungen von elektromagnetischen Feldern zugrunde liegen. (AT)



Mobilfunkwirkung auf das ZNS

Die Auswirkung von 4,5-G-Mobilfunkstrahlung (LTE Advanced-Pro-Netz) auf den Sehnerv

Özdemir E, Çömelekoglu Ü, Degirmenci E, Bayrak G, Yildirim M, Ergenoglu T, Yilmaz BC, Engiz BK, Yalin S, Koyuncu DD, Ozbay E (2021): The effect of 4.5 G (LTE Advanced-Pro network) mobile phone radiation on the optic nerve, Cutaneous and Ocular Toxicology, DOI: 10.1080/15569527.2021.1895825

Die heutzutage weltweit am weitesten verbreitete Mobilfunktechnologie wird als „LTE-Advanced Pro“ (4,5 G) bezeichnet. Mobiltelefone, welche mit LTE-Advanced Pro operieren, nutzen hochfrequente elektromagnetische Felder mit einem Frequenzband von 800–2600 MHz für ihre Dienste. Mögliche gesundheitsschädliche Auswirkungen von Hochfrequenz beinhalten u.a. Schäden am zentralen sowie peripheren Nervensystem, Fortpflanzungssystem und Herzkreislaufsystem. Die Augen bzw. der Sehnerv werden durch erhöhte „screen-time“ immer stärker durch Mobilfunkstrahlung belastet. Es existieren jedoch bis jetzt keine Studien über die Auswirkungen von Hochfrequenz auf den Sehnerv. Die hier vorgestellte Studie untersucht, welchen Effekt Mobilfunkstrahlung (LTE Advanced Pro) auf den Sehnerv besitzt.

Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde an insgesamt 32 männlichen Wistar Albino-Ratten durchgeführt, welche zufällig in zwei Gruppen (bestrahlt und scheinbestrahlt) eingeteilt wurden. Als Strahlungsquelle diente ein LTE-Advanced Pro kompatibles Mobiltelefon mit einem Ganzkörper-SAR-Wert von 0,54 W/kg. Dieses wurde auf einem Plexiglaszylinder positioniert, in welchem sich die Ratten während der Bestrahlung befanden, sodass der Abstand zwischen den Augen der Versuchstiere und dem Display zwischen 23 und 37 cm betrug. Dies entspricht in etwa dem Abstand zwischen menschlichem Auge und Telefondisplay. Die Befeldung erfolgte 2 Stunden täglich über einen Zeitraum von 6 Wochen. Um eine kontinuierliche 4,5-G-Verbindung des Telefons sicherzustellen, wurde während der zweistündigen Bestrahlungsperiode ein Skype-Sprachanruf initiiert. Display sowie Lautsprecher des Telefons blieben ausgeschaltet. Bei aktivem Mobiltelefon betrug der mittlere Wert des elektrischen Feldes in der Testkammer $4,67 \pm 0,82$ V/m. Die errechnete maximale Ganzkörper-SAR betrug 0,01 W/kg. Die Auswirkungen der Bestrahlung wurden mittels visuell evozierten Potenzialen (VEP), biochemischen (Oxidationsmarker) sowie mikroskopischen Analysen überprüft. Bei den visuell evozierten Potenzialen wird die Reizweiterleitung als Folge eines visuellen Stimulus überprüft. Das Verfahren

wird in der Neurologie sowie Augenheilkunde eingesetzt. Hierbei wurden die Amplituden sowie die Latenzzeit der Potenziale P2, N2 und P3 mittels EEG gemessen.

Ergebnisse:

Es gab keine Unterschiede in der Temperatur der Körperoberfläche zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Tieren. Die VEP-Analyse zeigte signifikante Unterschiede in der Reizweiterleitung nach Bestrahlung. Die Amplituden von N2, P3, P2-N2 sowie N2-P3 waren um respektive 67%, 79%, 53% und 73,5% vermindert. Die P2-Amplitude wies keine Veränderung auf. Auch die Latenzzeiten waren weitestgehend unverändert, lediglich die P3-Latenzzeit war nach Befeldung verringert. Die Konzentration bzw. Aktivität der Oxidationsmarker MDA, SOD und CAT stiegen respektive um 118%, 108% und 116% als Konsequenz der Bestrahlung. Eine Pearson-Korrelationsanalyse zeigte eine starke Korrelation zwischen Veränderungen der VEP-Wellenamplituden und den oxidativen Stressmarkern. Die licht- und elektronenmikroskopischen Befunde zeigten keine strukturellen Veränderungen des Sehnervs, der myelinisierten Nervenfasern oder Gliazellen. In einer morphometrischen Analyse wurden jedoch ein verminderter Axondurchmesser (10,2%), eine verringerte Myelin-Dicke (25,7%) sowie ein erhöhter G-Quotient (37%) beobachtet.

Schlussfolgerungen:

Die vorliegende Studie weist darauf hin, dass 4,5-G-Mobilfunkstrahlung für 2 Stunden am Tag über einen Zeitraum von 6 Wochen oxidative Schädigungen des Sehnervs verursachen kann. Diese führen wiederum zu morphometrischen und funktionellen Veränderungen sowie einer Degeneration des Sehnervs. Laut den Autoren unterstützt die Korrelation der VEP-Wellenamplituden mit den oxidativen Stressmarkern diese These. Der Sehnerv übermittelt alle visuellen Informationen an den visuellen Kortex und eine Schädigung dieses Nervs kann zu schwerem, dauerhaftem Sehverlust führen. Weitere Studien seien allerdings nötig, um das Risikopotenzial von Hochfrequenz im Bereich Augentoxizität (bzw. Nervenschädigung, Anm. d. Redaktion) zu überprüfen. (RH)

4,5-G-Mobilfunkstrahlung kann für 2 Stunden am Tag über einen Zeitraum von 6 Wochen oxidative Schädigungen des Sehnervs verursachen.



1800 MHz und Krebs

Molekulare Mechanismen der bösartigen Transformation von Balb/c-3T3-Zellen nach Langzeitbestrahlung mit 1800 MHz

Ding Z, Xiang X, Li J, Wu S (2022): Molecular Mechanism of Malignant Transformation of Balb/c-3T3 Cells Induced by Long-Term Exposure to 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Radiation (RF-EMR). *Bioengineering* 9, 43; <https://doi.org/10.3390/bioengineering9020043>

Es gibt bisher keine schlüssigen Erkenntnisse, ob hochfrequente Felder Krebs erzeugen oder im Wachstum beschleunigen. Das Ziel dieser Arbeit war, die Krebs erregende Wirkung von kontinuierlicher 1800-MHz-Strahlung nach Langzeitbestrahlung von Balb/c-3T3-Fibroblasten zu untersuchen und die molekularen Mechanismen aufzuklären. Aus vielen Untersuchungen ist bekannt, dass 3 klassische Lipide, Fettsäuren, Phospholipide und Cholesterol, in Krebszellen und Tumoren dramatisch ansteigen und aktiv synthetisiert werden. Expression und Aktivität der Fettsäure-Synthase sind in fast allen gesunden Geweben extrem niedrig, aber sehr hoch in einigen aggressiven Tumoren. Cholin Kinase, ein wichtiges Enzym in der Biosynthese von Phosphatidylcholin, ist stark erhöht ebenso wie Cholesterol, welches Zellwachstum, Tumorprogression und Medikamentenresistenz zu steigern scheint.

Die Wissenschaftler konnten den Mechanismen der Krebszellentwicklung näher kommen und identifizierten den Mevalonat-Stoffwechselweg als einen entscheidenden Regulator bei Auf- und Abbau von Lipiden in Tumorzellen. Die Mevalonsäure ist der Ausgangsstoff für die Synthese von Isoprenoiden und Terpenen/Terpenoiden, zu denen u. a. Cholesterolin, Vitamin K und die Steroidhormone (z. B. Cortisol, Corticosteron, weibliche und männliche Geschlechtshormone) gehören. Die Überaktivität des Mevalonat-Weges führt zur Zellentartung.

Studiendesign und Durchführung:

Um die Anzahl der Zellpassagen möglichst klein zu halten, wurde die spezifische Absorptionsrate (SAR) auf 8,0 W/kg festgelegt, damit die Transformation zu bösartigen Zellen beschleunigt wird. Die Balb/c-3T3-Fibroblasten wurden in 3 Gruppen unterteilt, scheinbestrahlte Kontrolle und 2 Bestrahlungsgruppen. Die Bestrahlung erfolgte über 40 und 60 Tage 4 Stunden pro Tag mit kontinuierlicher 1800-MHz-Strahlung. Nach der Bestrahlung wurden mit den Zellen verschiedene Tests durchgeführt, um die Entstehung von Krebszellen zu belegen. Ein Teil der Zellen wurde auf Mäuse mit Immunschwäche (SCID-Mäuse, severe combined immune deficient mice) übertragen mit HeLa-Zellen als positive Kontrolle, andere Zellen für den Zelltransformati-

ons-, den Zellwanderungs- (Transwell Assay) und den Klonbildungstest (Soft Agar Clone Formation) aufbereitet. Zur Bestimmung der beteiligten Gene und Klärung der Signalwege kam der mRNA-Microarray-Test zum Einsatz.

Ergebnisse:

Bei den Tieren, die bestrahlte Zellen übertragen bekommen hatten, entstanden sichtbare Tumoren in den Fibroblastenzellen. Das Tumorstadium in den SCID-Mäusen war nach 4 Wochen Wachstum durch die 1800-MHz-Bestrahlung signifikant erhöht, das Gewicht der Tumore nach 60 Tagen etwas höher als nach 40 Tagen, bei der positiven Kontrolle (HeLa-Zellen) war es deutlich höher. Die Kontrolltiere zeigten kein Tumorstadium. In den Gewebeschnitten der Tumore war nach HE-Färbung signifikante Zellentartung (Karzinogenität) zu sehen.

Im Transformationstest zeigten die scheinbestrahlten Fibroblastenkulturen keine Zellansammlungen, während bei den bestrahlten Zellen ein starker Anstieg im Zellwachstum die Transformation belegte; nach 40 Tagen signifikant gegenüber der Kontrolle, nach 60 Tagen hochsignifikant sowohl gegenüber der Kontrolle als auch gegenüber dem 40-Tage-Ansatz. Die Fähigkeit zur Zellwanderung war nach 24 Stunden bei den Kontrollen nicht-signifikant erhöht, nach 4 Wochen hatten sich nach Bestrahlung (Fibroblasten und HeLa-Zellen) viele neue Klone gebildet. Bösartige Entartung fand sich bei beiden bestrahlten Gruppen einschließlich der positiven Kontrolle: Nach 40 Tagen hatten die Klone scharf abgegrenzte, nach 60 Tagen diffuse Konturen. Die Kontrollkulturen waren frei von Klonen.

Die mRNA-Analysen zeigten bei den signifikanten genetischen Veränderungen (≥ 2 -fach) nach 40 Tagen Bestrahlung 624 Hoch- und 655 Herunterregulationen und nach 60 Tagen 679 Hoch- und 2070 Herunterregulationen. Die signifikant veränderte Expression der Gene (d. h. Bildung von Proteinen ≥ 5 -fach) betraf hauptsächlich die biologischen Abbauprozesse von Lipid-, Steroid-, Cholesterol- und Isoprenoid-Stoffwechsel, während bei der Biosynthese hauptsächlich Terpenoid-Grundgerüst-, Cholesterol- und Steroid-Stoffwechsel betroffen waren. Daraus kann man schließen, dass die zum Fettstoffwechsel gehörigen biologischen Prozesse am Krebsgeschehen stark beteiligt sind. Dabei war der Fettabbau über den Mevalonat-Weg der Schlüssel-Prozess, der zur Zellentartung führt.

Schlussfolgerungen:

Bestrahlung von Balb/c-3T3-Fibroblasten mit 1800 MHz (SAR 8,0 W/kg, 4 Stunden täglich) führt nach 40 und 60 Tagen zur Entstehung von Krebszellen. In mehreren Experimenten konnte erhöhtes Zellwachstum, erhöhte Wanderungsfähigkeit der Zellen und starke Tumorbildung in den Mäusen nachgewiesen werden. Es konnte geklärt werden, dass durch die Strahlung hauptsächlich die biologischen Prozesse und Stoffwechselwege des Fettabbaus betroffen sind. Der Mevalonat-Weg ist der entscheidende Prozess. (IW)



Magnetkompass der Vögel

Breitbandige 75–85 MHz-Hochfrequenzfelder stören die Orientierung des Magnetkompasses bei nachtaktiven Singvögeln, was auf einen flavinbasierten Radikalpaar-Magnetorezeptor zurückzuführen ist

Leberecht B, Kobylkov D, Karwinkel T, Döge S, Burnus L, Wong SY, ... & Mouritsen H (2022). Broadband 75–85 MHz radiofrequency fields disrupt magnetic compass orientation in night-migratory songbirds consistent with a flavin-based radical pair magnetoreceptor. *Journal of Comparative Physiology A*, 1–10. <https://doi.org/10.1007/s00359-021-01537-8>

Der Magnetkompass von nachtaktiven Singvögeln ist ein Neigungskompass, der lichtabhängig ist und das visuelle System der Vögel einbezieht. Die Fähigkeit der Vögel, sich mit Hilfe ihres Magnetkompasses zu orientieren, hängt von der Wellenlänge des Umgebungslichts ab. Darüber hinaus stören sehr schwache breitbandige Hochfrequenzfelder von ~100 kHz bis ~10 MHz ihren Magnetkompass. Dieser Befund unterstützt einen quantenmechanischen, auf Radikalpaaren basierenden Mechanismus der Magnetorezeption. Die genaue Identität der magnetisch empfindlichen Radikale in Cryptochrom ist in vivo unklar, aber ihre Bildung scheint einen gebundenen Flavin-Adenin-Dinukleotid (FAD)-Chromophor und eine Kette von vier Tryptophan-Resten (TrpH) innerhalb des Proteins zu erfordern. Jeder mutmaßliche Magnetit-basierte Sensor sollte nicht von HF-Feldern mit der niedrigen Intensität und dem niedrigen Frequenzbereich, die in den Verhaltensexperimenten verwendet wurden, beeinflusst werden. (Für den Magnetit-Sensor beträgt der Schwellenwert in Tierexperimenten 20–25 nT – hier wurden nur 8 nT verwendet).

Bei Singvögeln sind mindestens sechs verschiedene Cryptochrom-Varianten bekannt: Cry1a, Cry1b, Cry2a, Cry2b, Cry4a und Cry4b. Cry4a von nachtaktiven Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*) hat sich kürzlich in vitro als magnetisch empfindlich erwiesen. Ein wichtiger Punkt, der aus Berechnungen hervorgeht, ist, dass jedes Radikal eine „Grenzfrequenz“ hat, oberhalb derer es nicht mehr in Resonanz mit einem HF-Feld steht und daher nicht mehr von diesem beeinflusst werden kann. Diese Obergrenzen wurden auf ~120 MHz für FAD-- und ~100 MHz für TrpH+ geschätzt, welches die vermuteten Magnetfeldempfindlichen Radikale in Cryptochrom sind. Man kann davon ausgehen, dass FAD--TrpH+ für alle Frequenzen im Bereich von 1–120 MHz weitgehend gleich empfindlich ist und von Frequenzen oberhalb von 120 MHz nahezu unbeeinflusst bleibt.

Studiendesign und Durchführung:

Quantenchemische Berechnungen legten nahe, dass elektromagnetisches Rauschen im Frequenzbereich von 75–85 MHz Informationen über die Identität der beteiligten Radikale liefern könnte. Es wurden Verhaltensexperimente mit Mönchsgrasmücken (*Sylvia atricapilla*) in nichtmagnetischen Käfigen durchgeführt, wobei die Vögel in Trichter gesetzt wurden. Die Verhaltensexperimente wurden unter zwei statischen Magnetfeldbedingungen durchgeführt, dem normalen Magnetfeld (NMF) und einem veränderten Magnetfeld (VMF), bei dem die horizontale Komponente des Feldes um 120° gegen den Uhrzeigersinn gedreht wurde. Statische Magnetfelder wurden durch ca. 2 × 2 m große rechteckige Spulen erzeugt. Während der Zugzeit zeigen nachts ziehende Singvögel eine „Zugruhe“, die sich durch Herumspringen und Flügelschlagen im Käfig äußert. In Zeiten nächtlicher Zugruhe springen die Vögel in die Richtung, in die sie ziehen wollen. Durch die schrägen Seiten der Trichter rutschen sie wieder nach unten und hinterlassen Spuren auf kratzempfindlichem Thermopapier, mit dem die Trichter ausgekleidet sind. Auf diese Weise konnte die beabsichtigte Zugrichtung der Vögel aufgezeichnet werden. Für jeden Vogel wurde der Mittelwert der Orientierung aller Tests in einer bestimmten Behandlungsbedingung berechnet.

Ergebnisse:

Hier wurde gezeigt, dass breitbandige 75–85-MHz-Hochfrequenzfelder einen nachtaktiven Singvogel daran hindern, seinen Magnetkompass zu benutzen. Im normalen Oldenburger Erdmagnetfeld (NMF) ähnelte die Gruppenorientierung der Vögel, die nicht mit 75–85 MHz-HF-Feldern exponiert worden waren, der Frühlingszugrichtung, wie sie natürlicherweise zu beobachten ist. Wurde die horizontale Komponente des Magnetfeldes um 120° gegen den Uhrzeigersinn gedreht, passten die Vögel ihre Orientierung entsprechend an. Bei Vögeln, die mit 75–85 MHz-HF-Feldern mit einer Intensität von 2,53 pT/√Hz (etwa 8 nT) exponiert wurden, war die Gruppenorientierung zufällig, sowohl unter NMF- als VMF-Bedingungen.

Schlussfolgerungen:

Bei der Anwendung von 75–85 MHz war die mittlere Orientierung der Mönchsgrasmücken als Gruppe sowohl unter den NMF- als auch unter den VMF-Bedingungen nicht vom Zufall zu unterscheiden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass mindestens eine der Komponenten des Radikalpaares, das am sensorischen Prozess der Magnetorezeption der Vögel beteiligt ist, eine beträchtliche Anzahl starker Hyperfein-Wechselwirkungen enthalten muss. Dies deutet darauf hin, dass ein Flavin-Tryptophan-Radikalpaar der magnetische Sensor sein könnte. Es wird interessant sein, weiter zu untersuchen, ob die Schwelle, oberhalb derer die Vögel nicht mehr auf HF-Felder reagieren, tatsächlich im Bereich von 120 MHz liegt. (AT)



Hochfrequenz reicht in tiefliegendes Gewebe

Millimeterwellen- und Mikrowellenstrahlung haben durchdringende Wirkung: Die Biologie und Physik

Pall ML (2021): Millimeter (MM) wave and microwave frequency radiation produce deeply penetrating effects: the biology and the physics. *Rev Environ Health*. 2021;(Mm). doi:10.1515/revh-2021-0090

Künstlich erzeugte elektromagnetische Felder (EMF) sind hochgradig kohärent und werden bei spezifischen Frequenzen, Vektorrichtungen, Phase und Polarität erzeugt. Solche kohärenten EMF erzeugen wesentlich stärkere elektrische und magnetische Kräfte als natürliche, inkohärente EMF. Die meisten, jedoch nicht alle natürlichen EMF sind inkohärent. Die viel stärkeren Kräfte, welche durch künstliche EMF erzeugt werden, sind von großer Bedeutung im Hinblick auf unsere Fähigkeit, solche EMF für drahtlose Kommunikation zu benutzen, aber auch für deren biologische Auswirkung. Es existiert ausführliche Literatur über die Kohärenz künstlicher EMF sowie der Bedeutung dieser Kohärenz für Kommunikation und nicht-thermische biologische Wirkungen. Diese Literatur wird allerdings von der großen Mehrheit der Wissenschaftler, die sich mit EMF-Wirkung befassen, nicht wahrgenommen. Die Ausbreitung elektromagnetischer Felder im Vakuum oder der Luft ist durch eine feste Beziehung zwischen elektrischem Feld und magnetischem Feld gekennzeichnet. Elektrische Felder werden jedoch viel leichter von vielen Medien absorbiert als magnetische Felder, was zu einer Störung dieser festen Beziehung führt. Biologische Gewebe besitzen Magnetfeldern gegenüber eine sehr hohe Permeabilität, was dazu führt, dass sie in großem Maße von ihnen durchdrungen werden. Biologische Gewebe absorbieren also die elektrische Komponente von mm-Wellen oder Mikrowellenstrahlung, nicht jedoch deren magnetische Komponente. Das elektrische Feld von mm-Wellen-EMF wird beinahe vollständig vom äußersten 1 mm des Körpers absorbiert. Die schnell auftretende Absorption elektrischer Felder in biologischem Gewebe hat die Telekommunikationsindustrie und andere Wissenschaftler zu der Annahme verleitet, dass sich die biologische Wirkung von mm-Wellen auf die äußeren 1 mm des Körpers beschränkt. Bei der etwas niedrigerfrequenten Mikrowellenstrahlung (in dieser Publikation definiert als 400 MHz–5 GHz) wird von 1–3 cm ausgegangen. In dieser Übersichtsarbeit werden zwei verschiedene, mögliche Mechanismen erörtert, wie zeitvariable mm-Wellen Magnetfelder mit durchdringender biologischer Wirkung erzeugen können.

Studiendesign und Durchführung:

Die Datenbanken EMF Portal, Web of Science und Google Scholar wurden genutzt, um relevante Publikationen zu recherchieren.

Ergebnisse:

In zahlreichen Studien wird über die durchdringende Wirkung von nicht-thermischen, nicht-gepulsten, kontinuierlichen mm-Wellen-EMF berichtet. Dies beinhaltet Auswirkungen auf Nagetiere (Gehirn, Herzmuskel, Leber, Niere, Knochenmark), veränderte EEGs beim Menschen sowie therapeutische Ansätze (z. B. verbesserte Knochenmarksfunktion, verbesserte Heilung von Magengeschwüren, verbesserte Herzfunktion). Die betroffenen Organe befinden sich weit mehr als 1 mm unterhalb der Körperoberfläche. In-vitro-Studien finden Auswirkungen von nicht-gepulsten mm-Wellen bei Intensitäten von $1 \mu\text{W}/\text{cm}^2$. 5G-Mobilfunk hingegen verwendet eine außerordentlich starke Impulsmodulation, um die außerordentlich hohen Informationsmengen bewerkstelligen zu können. Es ist bekannt, dass EMF mit Impulsmodulation in den meisten Fällen wesentlich stärkere biologische Auswirkungen haben als nicht-gepulste EMF. Wie können jedoch EMF geringer Intensität und vermeintlich geringer Penetrationstiefe solche Wirkungen erzeugen? Der Autor postuliert zwei mögliche Mechanismen, welche beide eine Konsequenz von stark durchdringenden, zeitvariablen magnetischen Kräften darstellen.

1. Die Magnetfelder üben starke Kräfte auf die Ionen aus, welche in den wässrigen Phasen unseres Körpers gelöst sind, und bewegen diese Ionen sowohl im extrazellulären Medium als auch in intrazellulären wässrigen Phasen, wodurch wiederum ein elektrisches Feld innerhalb des Körpers erzeugt wird. Dies entspricht in etwa dem Funktionsprinzip eines Dynamos. Dieses elektrische Feld kann dann wiederum auf die Ladung der Spannungssensoren spannungsgesteuerter Kalziumkanäle wirken (VGCC, im Späteren mehr zu spannungsgesteuerten Kalziumkanälen).
2. Da die Plasmamembranen, und damit auch die Spannungssensoren der VGCC, von Zellen in ständiger Bewegung sind, können auch statische Magnetfelder zeitvariable Kräfte auf die Ladungen der VGCC-Spannungssensoren ausüben.

Durch mm-Wellen erzeugte Magnetfelder könnten demnach direkt auf die positiven Ladungen der Spannungssensoren wirken und dadurch deren Aktivierung bewirken. Fakt ist, dass durch diverse EMF (mm-Wellen, Mikrowellen, Niederfrequenz) verursachte Wirkungen durch Kalziumkanalblocker verhindert oder stark abgeschwächt werden können. Nach einer Belastung mit EMF kommt es im Gewebe bzw. den Zellen zu einem starken, schnellen Anstieg der Kalzium-Signalübertragung, der durch einen rapiden Anstieg des intrazellulären Kalziumspiegels verursacht wird. Dieser erhöhte Kalziumspiegel kann zu einer Reihe von pathophysiologischen Wirkungen wie z.B. oxidativem Stress, Entzündungsreaktionen und mitochondrialer Dysfunktion führen. Abgesehen von dieser mechanistischen Betrachtung der mm-Wellen-Wirkung, zeigt der Autor einen Zusammenhang zwischen elektromagnetischer Hypersensibilität (EHS) und mm-Wellen auf. Eine Reihe von Studien

beschreiben EHS oftmals mit neurologischen/neuropsychiatrischen bzw. kardiologischen Wirkungen als Konsequenz von mm-Wellen-Belastung. In Anbetracht, dass es sich bei 5G-Mobilfunk um mm-Wellen-EMF mit extremer Impulsmodulation handelt, welche in den meisten Fällen wesentlich stärkere biologische Wirkungen nach sich ziehen, könnte von sehr schädlichen Auswirkungen von 5G ausgegangen werden.

Schlussfolgerungen:

Der Autor dieser Übersichtsarbeit zeigt einen potenziellen Mechanismus auf, wie mm/Mikro-Wellen-EMF, zu denen auch 5G-Mobilfunk gehört, Auswirkungen in tieferliegenden Geweben haben könnten, obwohl das elektrische Feld in der obersten Schicht des Körpers absorbiert wird. Den Schlüssel zu diesem Mechanismus stellen spannungsgesteuerte Kalziumkanäle dar, welche von magnetischen Kräften des EMF aktiviert werden. (RH)



Simulationsstudie zu 5G

Bewertung der menschlichen Exposition durch Mobilfunkantennen in 5G-Netzen

Bonato M, Dossi L, Gallucci S, Benini M, Tognola G, Parazzini M (2022): Assessment of Human Exposure Levels Due to Mobile Phone Antennas in 5G Networks. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2022, 19, 1546. <https://doi.org/10.3390/ijerph19031546>

Die aktuelle weltweite Einführung von Mobilfunknetzen der 5. Generation (5G) stellt den nächsten Schritt der mobilen Kommunikation dar und sorgt für höhere Datenraten, geringere Übertragungslatenzen bei hoher Gerätedichte. Die Autoren der hier vorgestellten Simulationsstudie haben beschlossen, sich auf die ersten lizenzierten Frequenzen Italiens, nämlich 26,5–27,5 GHz zu konzentrieren. Die Einführung dieser neuen mm-Wellen-Frequenzen erfordert die massive Installation von sogenannten MIMO-Basisstationen (Multiple-Input-Multiple-Output) und Antennen mit dreidimensionaler Richtwirkung. Die Internationale Kommission für nicht-ionisierende Strahlung ICNIRP nimmt an, dass die Penetrationstiefe der 5G-Strahlung so gering ist, dass lediglich die äußersten Gewebe (z.B. Haut und subkutanes Fettgewebe) von den mm-Wellen betroffen sind. Aus diesem Grund werden die grundlegenden Beschränkungen für Geräte, welche oberhalb von 6 GHz operieren, in den ICNIRP Richtlinien als „absorbierte Leistungsdichte“ in W/m^2 angegeben. Üblicherweise gilt der SAR-Wert, welcher in W/kg angegeben wird. Die absorbierte Leistungsdichte S_{ab} wird über eine Fläche von 4 cm^2 oder 1 cm^2 , je nach Frequenzbereich, gemittelt. Trotz des wach-

senden Interesses an diesem Thema existieren wenige Simulationsstudien zur Abschätzung der Belastung des Menschen im mm-Wellen-Frequenzbereich. Die vorliegende Studie versucht eine Abschätzung der menschlichen Belastung mit 5G-Strahlung mit computergestützten Methoden, unter Berücksichtigung zukünftiger 5G-Mobilfunkgeräte in Italien.

Studiendesign und Durchführung:

Antennen- und Hautmodell wurden in der Software Sim4Life implementiert. Bei dem Antennenmodell handelt es sich um eine phasengesteuerte Antenne mit „Beamforming“-Fähigkeit. Die Gesamtgröße der aus 8 Elementen bestehenden Antenne liegt bei $44,4 \times 5,55 \times 0,246\text{ mm}$, was dem in einem Mobiltelefon verfügbaren Platz entspricht. Um die Bedeutung eines detaillierten Hautmodells zu untersuchen, wurden drei verschiedene Hautmodelle implementiert. Das erste Hautmodell entspricht einem einschichtigen, homogenen Gewebe mit konstanten dielektrischen Eigenschaften. Das zweite, dreischichtige Hautmodell (Stratum corneum, Epidermis/Dermis, subkutanes Fettgewebe) bewegt sich näher an der Realität, da Schichtdicke sowie unterschiedliche dielektrische Eigenschaften der jeweiligen Schichten berücksichtigt werden. Das dritte, vierschichtige Hautmodell beinhaltet zusätzlich noch Muskelgewebe unterhalb des subkutanen Fettgewebes. Die Autoren simulieren drei verschiedene Bestrahlungsszenarien. Im ersten Szenario soll die Belastung des Mobilfunknutzers ermittelt werden. Der Abstand zwischen Antenne und Hautmodell wird auf 15 mm festgelegt. Im zweiten Szenario soll die Belastung eines Passanten untersucht werden, der sich in der Nähe des Mobilfunknutzers aufhält. Hierbei beträgt der Abstand zur Antenne 25 cm. Im dritten Szenario werden beide Abstände (Nutzer und Passant) gleichzeitig bewertet. Für jedes der drei Hautmodelle wird in jedem der drei Szenarien die maximale absorbierte Leistungsdichte S_{ab} in W/m^2 , gemittelt über 4 und 1 cm^2 , berechnet. Die Gesamteingangsleistung der Array-Antenne wird auf 30 dBm (1 W) festgesetzt.

Ergebnisse:

Bei allen drei Szenarien erzielte das homogene Hautmodell wesentlich geringere Belastungsniveaus als die mehrschichtigen Modelle in ihren äußeren Hautschichten. Für Stratum Corneum bzw. Epidermis/Dermis wurden, je nach Szenario, in den mehrschichtigen Modellen zwischen 55% und 18% mehr Belastung hervorgerufen. Die maximale simulierte absorbierte Leistungsdichte aller Szenarien und Hautmodelle betrug $39,6\text{ W/m}^2$. Die tieferliegenden Hautschichten (subkutanes Fettgewebe bzw. Muskelgewebe) zeigten hingegen eine Reduktion der absorbierten Leistungsdichte zwischen 21% und 97%.

Schlussfolgerungen:

Die Simulation zeigt deutlich, dass ein homogenes Hautmodell für die Abschätzung der Auswirkung von 5G-Strahlung

ungeeignet ist, da die Belastungswerte unterschätzt werden. Da der Passant im dritten Szenario ähnlich hohe bzw. teilweise sogar höhere Expositionen erreichte als der Mobilfunknutzer, müssen in Zukunft für die Gewährleistung einer sicheren Umwelt auch Personen in der Nähe eines Endgerätes evaluiert werden. Diese können, obwohl unbeteiligt an der Mobilfunknutzung, vom Primärstrahl der Antenne getroffen werden. Die Autoren geben an, dass die Eingangsleistung der 5G-Antennen realer Mobilfunkgeräte jedoch etwa 23 dBm (200 mW) betragen wird. Dies gehe aus den Spezifikationen des „3rd Partnership Project“ sowie Literaturstudien hervor. Die Verwendung dieser Eingangsleistung, anstatt den 30 dBm (1W), werde die simulierten Expositionswerte um den Faktor 5 reduzieren. Damit würden ICNIRP-Richtlinien eingehalten. Die Autoren betonen außerdem mehrfach, dass die Penetrationstiefe von 5G-mm-Wellen nicht ausreicht, um in tiefere Gewebeschichten zu gelangen. Die ICNIRP scheint diese Ansicht der Autoren zu teilen.

Kommentar der Redaktion:

Es bleibt zunächst die Frage offen, warum die Simulation nicht mit 23 dBm (200 mW) durchgeführt wurde, wenn denn bekannt ist, welche Eingangsleistung zukünftige Mobilfunkgeräte haben werden. Ob mm-Wellen tatsächlich nur eine derart geringe Penetrationstiefe bei realen organischen Geweben haben, ist keineswegs sicher, sondern wird in der Wissenschaft diskutiert. Es existieren z.B. Hinweise darauf, dass Schweißdrüsen in der Haut im mm-Wellen-Bereich als Antennen fungieren könnten, sodass die Penetrationstiefe wesentlich größer sein könnte als angenommen (Betzalet al., wir berichten im ElektrosmogReport Mai 2018). Abgesehen davon gibt es Anhaltspunkte dafür, dass die gelösten Stoffe in lebenden Zellen die Wasserstoffbrückenbindung des Wassers beeinflussen und damit die Absorption des elektrischen Feldes vermindern. Die in dieser Ausgabe des ElektrosmogReports (02/2022) vorgestellte Übersichtsarbeit von Martin L. Pall gibt Aufschluss darüber, wie eine große Durchdringungstiefe von 5G-Mobilfunk erklärt werden könnte. Ob unter der Berücksichtigung dieser Daten die ICNIRP-Richtwerte ausreichen, scheint fraglich. Abgesehen davon werden zulässige Werte in Sicherheitsrichtlinien normalerweise auf nicht mehr als 1% des niedrigsten Wertes festgelegt, bei dem Auswirkungen festgestellt wurden. In Anbetracht dieser Anforderung würde selbst die vorliegende Simulationsstudie Anlass zur Sorge geben. (RH)

Die Simulation zeigt deutlich, dass ein homogenes Hautmodell für die Abschätzung der Auswirkung von 5G-Strahlung ungeeignet ist, da die Belastungswerte unterschätzt werden.



Cortisolwerte bei hohen Magnetfeldern

Bestimmung der Cortisol-Ausschüttung bei Arbeitern, die chronisch niederfrequenten Magnetfeldern von Hochspannungsleitungen und Umspannwerken ausgesetzt sind

Touitou Y, Selmaoui B, Lambrozo J (2022): Assessment of cortisol secretory pattern in workers chronically exposed to ELF-EMF generated by high voltage transmission lines and substations. *Environment International* 161, 107103; DOI: 10.1016/j.envint.2022.107103

Cortisol ist ein Glucocorticoid-Hormon, das in der Nebennierenrinde gebildet wird und bei Stress vermehrt ausgeschüttet wird. Bei Labortests und Tierversuchen wurden biologische Wirkungen nachgewiesen, z. B. veränderte Konzentrationen des Schlafhormons Melatonin. Hier wurde untersucht, welche Wirkung chronisch einwirkende hohe 50-Hz-Felder auf die Ausschüttung (Sekretion) von Cortisol haben. Cortisol ist ein gutes Untersuchungsobjekt, da es einen ausgeprägten stabilen Tag-Nacht-Rhythmus hat. Die IARC hat niederfrequente Felder 2002 als möglicherweise krebserregend (Gruppe 2B) eingestuft. Ein möglicher Mechanismus ist nach Einwirken von niederfrequenten Feldern die Stressantwort, die durch einen Anstieg der Corticosteron-Ausschüttung sowie Auftreten von Depressionen und/oder ängstliches Verhalten von Nagetieren gekennzeichnet ist. Die Wirkung der Niederfrequenz auf die Nebennieren steht im Zusammenhang mit der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennierenrinden-Achse, einem System von endokrinen Drüsen, deren Hormone u. a. an Stressreaktionen beteiligt sind. Deshalb fanden es die Wissenschaftler interessant, an gesunden Menschen die Wirkung der Magnetfelder auf die Ausschüttung von Cortisol zu untersuchen. Diese Arbeit ist die erste, die die Langzeiteinwirkung der Felder bei Menschen (1–20 Jahre) betrachtet.

Studiendesign und Durchführung:

29 gesunde Männer zwischen 30 und 48 Jahren (Durchschnittsalter 38,0 ± 0,9) nahmen an der Studie teil. Sie waren Nichtraucher, konsumierten keinen bis wenig Alkohol und Kaffee, nahmen keine Medikamente, hatten keine Schlafstörungen, sie sollten keine Flüge bis 3 Wochen vor Beginn der Studie gehabt haben und 48 Stunden vorher keinen Bereitschaftsdienst. Es gab 2 Gruppen: Die Magnetfeldgruppe bestand aus 14 Männern, die in einem Umspannwerk arbeiten und deren Wohnsitz in der Pariser Innenstadt nahe an Umspannwerken und Hochspannungsleitungen liegt. Viele waren also eine lange Zeit (1–20 Jahre) hohen Feldstärken ausgesetzt. Vor Beginn des Experiments erfolgte eine medizinische Untersuchung mit Bestimmung der endokrinen Referenz- und der Blutwerte. Die Magnetfeldstärke wurde mit einem Emdex-Dosimeter gemes-

sen, das die Probanden 7 Tage lang durchgehend am Körper trugen. Die Felder wurden rund um die Uhr aufgezeichnet, tagsüber während der Arbeit und nachts zu Hause. Am letzten Tag wurden von 20.00 Uhr bis 8.00 Uhr am nächsten Morgen stündlich Blutproben genommen (13 Proben). Die Bestimmung der Cortisolwerte im Serum der Blutproben erfolgte in einer Serie mit dem ELISA-Test. Die 15 Kontrollpersonen hatten ähnliche Daten bei Tag-Nacht-Rhythmus, Alter, Größe und sportlicher Aktivität. Die Cortisol-Werte der Kontrollgruppe (15 Personen) wurde mit denen der Magnetfeldgruppe verglichen, wobei diese Gruppe nochmal unterteilt wurde in 5 Personen mit Magnetfeldern von 0,1–0,3 μT und 9 Personen $> 0,3 \mu\text{T}$.

Ergebnisse:

Die an 14 Personen mit dem Emdex-Gerät gemessenen individuellen Feldstärken ergaben einen geometrischen Durchschnitt von 0,1–2,6 μT , das arithmetische Mittel betrug 0,72 μT . Das arithmetische Mittel der Werte am Wohnort und tagsüber betrug 0,82 μT bzw. 0,64 μT . Bei der Kontrollgruppe reichte der individuelle geometrische Wochendurchschnitt von 0,004–0,092 μT ; das arithmetische Mittel betrug 0,04 μT . Der Vergleich der Mittelwerte zeigte einen statistisch signifikanten Unterschied zwischen geometrischem und arithmetischem Durchschnitt. Bei der Cortisolausschüttung zeigte sich, dass die chronisch einwirkenden hohen Magnetfeldstärken signifikante Veränderungen herbeiführten. Die Werte der Kontrollgruppe hatten einen typischen Verlauf mit einem Minimum der Konzentrationen bei 00.00 Uhr und dem Wiederanstieg bis zu Spitzenwerten von 6.00–8.00 Uhr. Die Werte der beiden Expositionsgruppen unterschieden sich signifikant, der Verlauf war bis 6.00 Uhr ungefähr gleich, dann setzte ein abrupter Abfall der Cortisol-Konzentration bis 8.00 Uhr ein.

Schlussfolgerungen:

Die allgemeine Bevölkerung ist elektrischen und magnetischen Feldern von 5–50 V/m bzw. 0,01–0,2 μT ausgesetzt. Diese Studie ergab, dass chronische Einwirkung von niederfrequenten Magnetfeldern (0,1–2,6 μT) in der Nähe von Umspannwerken und Hochspannungsleitungen den Zeitpunkt der höchsten Cortisol-Konzentrationen im Serum veränderte, wobei die allgemeine Cortisolausschüttung unbeeinflusst blieb. Man kann von einer Desynchronisation des Tag-Nacht-Rhythmus ausgehen. Da hier nur der Zeitraum über Nacht betrachtet wurde und dies die erste Studie dieser Art ist, sollten weiteren Studien mit Hochrisikogruppen wie Kindern, älteren Personen und Krebspatienten durchgeführt werden, in denen untersucht wird, welchen Feldstärken sie in ihrem Wohnumfeld ausgesetzt sind. Vor allem bei Krebspatienten ist der Tagesrhythmus der Cortisol-Ausschüttung verändert. Weitere Forschung sollte zu den Auswirkungen von Intensität, Dauer der Einwirkung, Alter der Personen und anderen Parametern betrieben werden, um mehr Kenntnisse über Höhe, Angriffspunkte und Natur der Wirkung niederfrequenter Magnetfelder auf Menschen zu erhalten. (IW)



Militärische Anwendungen von EMF

Kann der Frey-Effekt „waffentechnisch“ genutzt werden?

Foster KR, Garrett DC, Ziskin MC (2021): Can the Microwave Auditory Effect Be "Weaponized"? *Frontiers in public health*, 9. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.788613>

Mysteriöse Vorfälle auf amerikanisches diplomatisches Personal und Geheimdienstmitarbeiter begannen im Jahr 2016. Seitdem wurden fast 200 Vorfälle gemeldet – aus Guangzhou, London, Moskau, Wien und Washington (D.C.). Die pathologischen Erscheinungen und Symptome werden als Havanna-Syndrom bezeichnet, benannt nach der kubanischen Stadt, in der die ersten Fälle gemeldet wurden. Zu den Berichten aus Havanna gehören das Hören von lauten, hohen Tönen, die Lokalisierung der Quellen als über oder hinter dem Kopf kommend. Auch beschrieben ist das Erleben eines gerichteten Tons, der aufhört, wenn man sich entfernt, wobei das Abdecken der Ohren jedoch keinen Unterschied macht. Manche hören den Ton, aber andere im selben Raum hören ihn nicht. Hinzu kommt das Hören seltsamer Töne in einem Teil eines Raums, aber nicht in anderen Bereichen des gleichen Raums. Unter der Annahme, dass die berichteten Symptome und Berichte übereinstimmen, bietet der Mikrowellen-Audioeffekt (auch „Frey-Effekt“) eine wissenschaftliche Erklärung für das Havanna-Syndrom.

Der Frey-Effekt:

Die Absorption von kurzen Mikrowellenimpulsen im Hirngewebe führt zu einer schnellen elastischen Ausdehnung der Hirnsubstanz und löst eine akustische Druckwelle (Schallwelle) aus (Frey-Effekt). Das sind sogenannte akustische Transienten (AT), die sich im Kopf bis zum Innenohr ausbreiten (hörbar bei Leistungen ab 800 kW/m² bei 1,245 GHz, z.B. in direkter Nähe von einem Radar). Pulse im Millimeterwellenbereich (30–300 GHz) erzeugen aufgrund der geringeren Eindringtiefe der Energie viel größere akustische Wellen als Pulse im niedrigen GHz-Bereich. Im Kopf werden die Schallwellen vom Schädel reflektiert und regen die akustische Resonanz des Schädels an, die bei erwachsenen Menschen bei etwa 7–10 kHz liegt (Piepston). In den letzten Jahren wurden sehr leistungsstarke gepulste Mikrowellengeneratoren von niedrigen GHz- bis zu Millimeterwellenfrequenzen entwickelt (Leistung in Gigawatt), viele davon im Rahmen von geheimen Verteidigungsprojekten der USA. James C. Lin und Beatrice Golomb haben vorgeschlagen, dass der Frey-Effekt mit dem so genannten Havanna-Syndrom zusammenhängen könnte. Die Tatsache, dass bei den betroffenen Personen bislang keine Mikrowellenexposition festgestellt werden konnte, stützt diese Hypothese jedoch nicht.

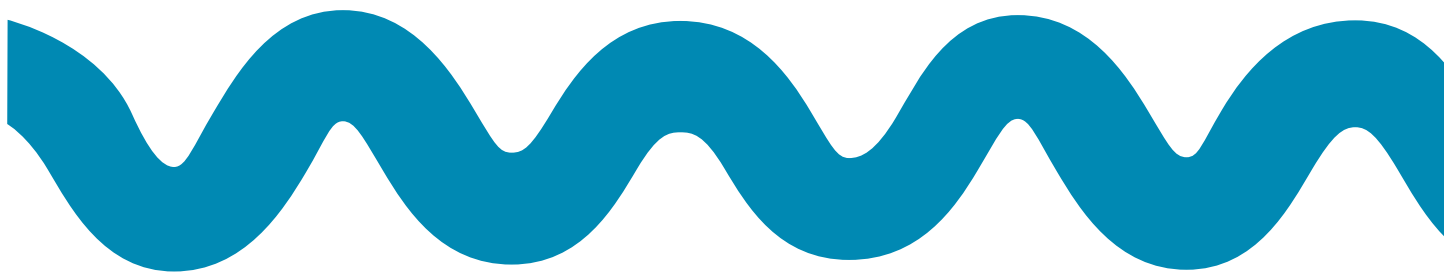
Manche Forscher des Havanna-Syndroms haben über die Ver-

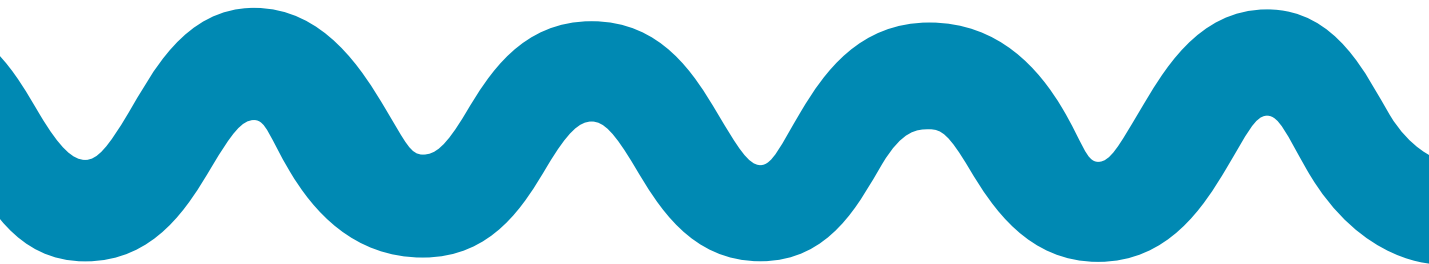
wendung von Schallwaffen spekuliert, da oft von Betroffenen ein Piepsen oder akustisches Knurren beschrieben wurde. Die Schwellenwerte für die Schädigung von Hirngewebe durch Ultraschall sind wesentlich höher als für AT-induzierte Druckwellen im Schädel. So wird beispielsweise Ultraschall klinisch zur Schmerzlinderung (Neuromodulation) eingesetzt, ohne dass bei den Patienten nennenswerte unerwünschte Wirkungen festgestellt wurden. Es bleibt die Frage, ob der Frey-Effekt als "Waffe" eingesetzt werden kann, d. h. ob er dazu dienen könnte, eine Person zu belästigen oder zu schädigen. Aus Gründen der Größe des Effekts und der Praktikabilität scheint dies laut den Autoren unwahrscheinlich zu sein, aber der Mangel an öffentlich zugänglichen Informationen über bestehende Hochleistungs-Hochfrequenz-Technologien und die Ungewissheit über die Schwellenwerte für schädliche Wirkungen erlauben momentan keine vollständige Klärung dieser Frage.

Schlussfolgerungen:

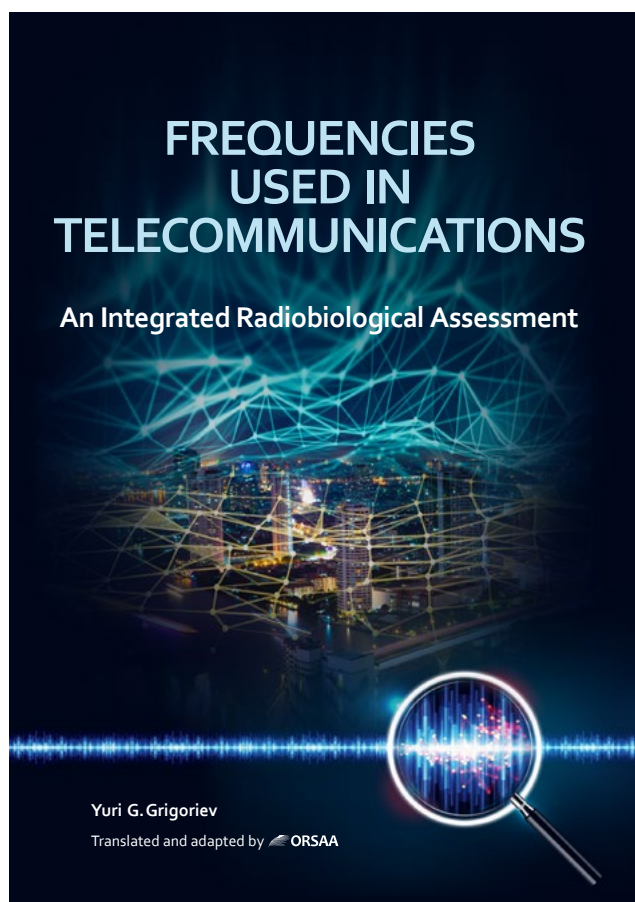
Bestehende Mikrowellensysteme können Impulse mit ausreichender Leistungsdichte erzeugen, um unerwartete und vielleicht beängstigende Höreindrücke hervorzurufen, aber die Geräte sind groß und würden sehr auffällig sein. Das (inzwischen veraltete) AN/FPS-67B-Radarsystem zum Beispiel erzeugt eine ausreichende Leistung von 1,9 Megawatt (11 J pro Impuls). Ein Ingenieur beschrieb einem der anwesenden Autoren "offensichtliche und ablenkende, aber nicht beunruhigende" akustische Reaktionen, während er sich im Hauptstrahl und 45 m von der Antenne entfernt befand. Die große Antenne (37 x 15 m)

und die wahrscheinlichen elektromagnetischen Störungen durch die Pulse würden die Anwesenheit eines solchen Senders sehr deutlich machen. Hochfrequente Mikrowellen, insbesondere Millimeterwellen (30–300 GHz), haben Eigenschaften, die sie für "heimliche", unbemerkte Angriffe besser geeignet machen. Millimeterwellen verursachen weniger (oder gar keine) Störungen bei gewöhnlicher Elektronik und können mit gewöhnlichen Hochfrequenz-Messgeräten nicht entdeckt werden; die Geräte sind kleiner und können möglicherweise viel näher am Ziel platziert werden, was höhere Expositionswerte erlaubt. Pulse von Millimeterwellen mit einer bestimmten Leistungsdichte induzieren viel stärkere AT-Schallwellen als gleich leistungsstarke Pulse mit niedrigerer Frequenz, aber dies wird durch die viel geringere Eindringtiefe der Energie und die starke Dämpfung durch den Schädel ausgeglichen. Ob es mm-Wellen-Sender gibt, die in der Lage sind, die hier betrachteten extremen Impulse zu erzeugen, ist nicht öffentlich bekannt, und es liegen auch keine Beweise dafür vor, dass sie bei den Vorfällen in Havanna eine Rolle gespielt haben. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die im Gehirn induzierten Schallwellen wahrscheinlich unterhalb der Schwellenwerte für eine Schädigung des Gehirns liegen, obwohl es denkbar ist, dass sie je nach Dauer und Wiederholungsrate der HF-Impulse unangenehme audiovestibuläre Störungen und/oder Hörreaktionen hervorrufen könnten. In jedem Fall bleiben die Möglichkeiten von Hochleistungs-Mikrowellenquellen in geheimen Forschungsprogrammen verborgen, und die Schwellenwerte für schädliche Wirkungen sind nur unzureichend definiert. (AT)





Neu: Buch über nicht-ionisierende Strahlung von Yuri G. Grigoriev



Prof. Yuri G. Grigoriev veröffentlichte kurz vor seinem Tod das Buch *Frequencies used in Telecommunications – An Integrated Radiobiological Assessment*, Grigoriev war Jahrzehnte Vorsitzender der russischen Strahlenschutzkommission RCNIRP und galt als einer der bedeutendsten Strahlenbiologen. Seine Forschungen und sein Urteil hatten in der Wissenschaft, der WHO und in der Politik Gewicht (s. Nachruf im ElektromogReport 2021-2). Das Buch ist eine brillante Darstellung der Studienla-

ge und bezieht die Erkenntnisse russischer Forschungen, die bei uns nahezu unbekannt sind, mit ein. Das Buch wurde von der australischen Wissenschaftlergruppe ORSAA ins Englische übersetzt. Im Vorwort heisst es:

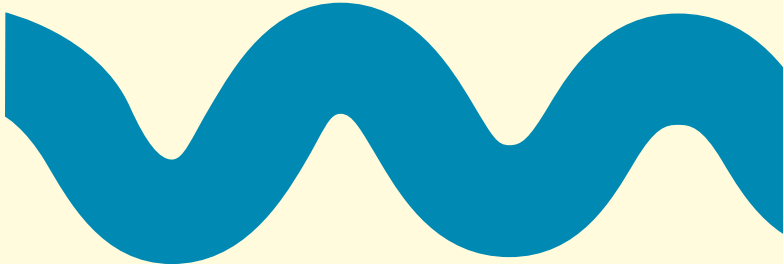
„In Russia, as in many countries, there have been active discussions over the past few years about a promising proposal for optimizing cellular communications. This has culminated in the worldwide implementation of the new 5G technological standard which will guarantee fast transmission of vast amounts of data. For this purpose, millimeter wave (MMW) electromagnetic radiation will be used.

The techno-economic advantages are far-reaching and widely reported by the media around the world. However, the degree of risk this type of electromagnetic radiation poses to public health and the environment remains unclear.

Scientists and medical professionals have appealed to the United Nations and the European Union regarding the necessity for preliminary medical and biological research before implementing the 5G standard. Unfortunately, these appeals have not been acted upon. A number of countries who question the need for the 5G implementation are pondering the health consequences of the densification of EMF pollution.

This book by Yuri. G. Grigoriev, et.al, *The 5G Health Risk- An Integrated Radiobiological Assessment*, examines the potential health implications of the implementation of the 5G standard within the cellular communication system. In contrast to the already existing 2G, 3G and 4G wireless technologies, which use electromagnetic fields in the radio frequency range, the 5G standard additionally utilizes millimeter waves to incorporate the network connections of the Internet of Things (IoT).“

Das Buch steht auf der Datenbank www.emfdata.org und kann dort als PDF heruntergeladen werden (in die Suchmaske Grigoriev eingeben).



Adressen für weitere seriöse Informationen

Diagnose:Funk – Umwelt- und Verbraucherorganisation
zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e. V.
www.diagnose-funk.org

Telefon: 069/36 70 42 03

Telefonzeiten: montags und dienstags zwischen 8 und 10 Uhr

E-Mail: info@diagnose-funk.de

Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch
Umwelt und Demokratie e. V.

www.kompetenzinitiative.com

E-Mail: sekretariat@kompetenzinitiative.net

Tel. 06897-766176

Microwavenews

www.microwavenews.com

E-Mail: louis@microwavenews.com

Pandora – Stiftung für unabhängige Forschung

www.stiftung-pandora.eu

Telefon: +49 3303 21 83 00

Fax: +49 3303 40 46 82

E-Mail: info@stiftung-pandora.eu

BRHP–Blog von Prof. Dariusz Leszczynski zu Wissenschaft
und Politik

www.betweenrockandhardplace.wordpress.com

Datenbanken

www.emfdata.org

www.emf-portal.de

www.orsaa.org

