

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit

## Ökologische Auswirkungen von Mobilfunk: Insektenvielfalt

### Verteilung, Vielfalt und Abundanz einiger Insekten in der Umgebung eines Mobilfunkmastes in Ilorin, Bundesstaat Kwara, Nigeria.

Adelaja OJ, Ande AT, Abdulraheem GD, Oluwakorode IA, Oladipo OA, Oluwajobi AO (2021). Distribution, diversity and abundance of some insects around a telecommunication mast in Ilorin, Kwara State, Nigeria. Bulletin of the National Research Centre. 2021 Dec;45(1):1-7. <https://doi.org/10.1186/s42269-021-00683-y>

Die nigerianische Umwelt war in den letzten drei Jahrzehnten Zeuge eines noch nie dagewesenen Zuwachses menschgemachter elektromagnetischer Strahlung (EMS), und dieser nimmt weiter zu. Die Situation in Nigeria wird zusätzlich durch zahlreiche konkurrierende Telekommunikationsunternehmen verschärft, von denen jedes die Verantwortung für die Bereitstellung seiner eigenen Sendekapazität trägt. Nach vielfältigen Berichten und Beobachtungen ist EMS ein wirksamer Faktor, der Ökosysteme schwächen kann, indem er koordinierte Aktionen und die Erbringung von Dienstleistungen durch fliegende Insekten stört. Leider ist ein allgemeiner Überblick über die Auswirkungen von EMS auf die Verbreitung, Vielfalt und Abundanz von Insekten in Nigeria noch nicht erarbeitet worden, obwohl dieser dringend erforderlich wäre.

#### Studiendesign und Durchführung:

Diese Forschungsarbeit wurde in der Hauptstadt Ilorin, Bundesstaat Kwara, im Savannengürtel von Nigeria durchgeführt. Als Standort wurde ein Telekommunikationsmast inmitten einer

#### Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 01/2023, 29. Jahrgang  
Online Veröffentlichung auf [www.EMFdata.org](http://www.EMFdata.org)  
Bestellung Printausgabe:  
[shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport](http://shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport), Bestellnr. 52301

#### Redaktion ElektrosmogReport

Dipl.-Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), M.Sc., Alain Thill (AT),  
M.Sc., Kontakt: [emf@katalyse.de](mailto: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](mailto: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 > Mobilfunkmasten und Insektenvielfalt

02 > WLAN und Genominstabilität

04 > WLAN Wirkung auf das Immunsystem

05 > Onkogene Wirkung von WLAN?

06 > L- und C -Band (WLAN)- Wirkung auf Gehirn

07 > L-Band HF beeinflusst Gedächtnis

08 > Mobilfunk und Kopfschmerzen

09 > Mobilfunkeinwirkung vor und nach Trächtigkeit

09 > NF-EMF und Stress

11 > Kommentar zu Krebs und Hochfrequenz

12 > Drahtlose Technologie und Umwelt

13 > Review Elektrohypersensibilität

Graslandvegetation ohne Wohnhäuser und menschliche Einflüsse in einem Umkreis von 10 km ausgewählt. Der Telekommunikationsmast im Untersuchungsgebiet ist eine Mobilfunk-Basisstation (GSM-1800), ein typischer Masttyp in Nigeria, mit einer Höhe von 300 m.

Es wurden fünf Probenahmestationen in 0-20 m, 20-40 m, 40-60 m, 60-80 m und mehr als 80 m Entfernung vom Mobilfunkmasten festgelegt. Die elektromagnetischen Strahlungsinintensitäten (Volt/Meter) wurden fünfmal täglich zwischen 8:00 und 18:00 Uhr an jedem Probenahmetag und pro Sammelpunkt mit einem Hochfrequenz-Messgerät (Modell AM-10) gemessen und notiert. Innerhalb jeder Probenahmestation wurden drei Sammelstellen von 2 m<sup>2</sup> ausgewählt. An allen Sammelstellen und Probenahmestationen wurden 22 Wochen lang einmal wöchentlich Insektenproben mit Hilfe von Malaise-Fallen entnommen. Die Fallen wurden an jeder Probenahmestelle aufgestellt und 24 Stunden lang stehen gelassen, danach wurden alle Insektensammlungen entnommen. Jede Sammlung wurde aus den Fallen entnommen, sortiert und feucht in 70 %igem Ethanol konserviert und später identifiziert. Drei Diversitätsindizes wurden verwendet, um die Unterschiede zwischen den ausgewählten Probenahmestellen zu bestimmen, darunter Simpsons Diversitätsindex, Shannon-Wiener Diversitätsindex und Evenness Index. Die durchschnittliche Dichte der gesammelten Insekten wurde bewertet. Außerdem wurde die Verteilung pro Station und Insektenart berechnet.

### Ergebnisse:

Die gemessenen Leistungsdichten betragen durchschnittlich 1,35 V/m, 1,58 V/m, 1,03 V/m, 1,04 V/m und 0,51 V/m, ausgehend von der Probenahmestation in unmittelbarer Nähe des Mobilfunkmastes und nach außen hingehend. Sieben Arten waren besonders häufig vertreten, darunter die Wanderheuschrecke, Honigbiene und Hausmücke. Von diesen sieben Arten wiesen alle, außer der Honigbiene, eine deutlich reduzierte Häufigkeit auf, je näher zum Mobilfunkmasten die Probenahme stattfand. Nur die Honigbiene wurde besonders häufig an der am stärksten bestrahlten Sammelstelle beobachtet. Alle berechneten Diversitätsindizes waren recht ähnlich, was darauf hindeutet, dass die beobachtete Abnahme der Anzahl an Insekten bei höherer EMS-Exposition nicht durch eine Umverteilung der einzelnen Arten erklärt werden kann, sondern tatsächlich praktisch alle erfassten Arten gleichsam höhere Strahlenwerte zu meiden scheinen.

### Schlussfolgerungen:

Ein stetiger exponentieller Anstieg der Nutzung drahtloser Telekommunikationstechnologien führt heute zu einer erheblichen Veränderung der EMS-Exposition, und verschiedene Organismen reagieren auf unterschiedliche Weise auf EMS-Intensitäten. Cammaerts und Johansson (2014) berichteten von tiefgreifenden visuellen und olfaktorischen Gedächtniseffek-

ten von elektromagnetischen Intensitäten  $\geq 1$  V/m auf Ameisen, die dazu führten, dass sie ihre Fähigkeit verloren, visuellen Hinweisen zu folgen. Insekten, die sich in der Nähe von Telekommunikationsmasten und in einem Umkreis von 100 m aufhalten, könnten mit einigen Herausforderungen konfrontiert sein. Die meisten der in der Studie gesammelten Honigbienen wurden an der Probenahmestation C gefunden, die die höchsten EMS-Werte aufwies. Es wurde berichtet, dass Honigbienen in der Natur unter anderem auf die Wahrnehmung elektrischer Felder angewiesen sind, um sich anzupassen und in der Umwelt zu überleben, und dass sie empfindlich auf die von Telekommunikationsmasten erzeugten elektrischen Felder reagieren. Es wurde jedoch über Verluste von Honigbienenvölkern infolge von EMS-Belastung berichtet, was einer der Faktoren sein könnte, die zu ihrem Rückgang beitragen, der aufgrund ihrer Rolle in der Umwelt ernste wirtschaftliche und ökologische Auswirkungen hat. In dieser Studie konnte festgestellt werden, dass die Abundanz, die Verteilung und die Vielfalt von Insekten durch EMS und deren Intensität beeinflusst werden, was zeigt, dass die meisten Insekten Gebiete mit geringerer EMS bevorzugen. (AT)



### WLAN und Genominstabilität

## WLAN-bedingte hochfrequente elektromagnetische Felder fördern die Dysregulation transponierbarer Elemente und genomische Instabilität in *Drosophila melanogaster*.

Cappucci U, Casale AM, Proietti M, Marinelli F, Giuliani L, Piacentini L (2022). WiFi Related Radiofrequency Electromagnetic Fields Promote Transposable Element Dysregulation and Genomic Instability in *Drosophila melanogaster*. *Cells*. 2022 Jan;11(24):4036. <https://doi.org/10.3390/cells11244036>

In den letzten Jahren gab es erhebliches Interesse an den biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen im Zusammenhang mit der Verwendung moderner drahtloser Geräte, die hochfrequente (HF) elektromagnetische Felder aussenden. Anhand von *Drosophila* als experimentellem Modell wurde nun erstmals gezeigt, dass die Exposition gegenüber HF-EMF geringer Intensität, wie sie von WLAN-Technologien erzeugt werden, eine Instabilität des Genoms in neuronalen Geweben sowohl durch den Verlust von Heterochromatin als auch durch die Dysregulation von transponierbaren Elementen verursacht. Als Heterochromatin wird verdichtetes Chromatin im Zellkern bezeichnet. Hier liegt die DNA in an Proteine gebundener Form vor. Dadurch bleibt die Erbinformation weitgehend inaktiv. Transponierbare Elemente (TEs), auch Transposons genannt, sind mobile DNA-

Elemente, die sich innerhalb des Genoms selbständig bewegen können. TEs machen einen großen Teil aller eukaryontischen Genome aus. Aufgrund ihrer mutagenen Wirkung wurden TEs zunächst als „Junk-DNA“ betrachtet, die potenziell die Integrität und Stabilität des Genoms gefährdet. In den letzten Jahren wurde jedoch ihre Funktion als Auslöser genetischer Variabilität und Motor der Evolution erkannt. Kürzlich wurde bekannt, dass emotionaler Stress auch die Aktivität von TEs im Hippocampus von Nagetieren auslösen kann, was darauf hindeutet, dass TEs eine potenziell entscheidende Rolle bei der Entwicklung von posttraumatischen Belastungsstörungen spielen. Eine unkontrollierte Transpositionsaktivität kann zu einer Instabilität des Genoms und einer veränderten Expression vieler Gene führen.

### Studiendesign und Durchführung:

Drosophila Fruchtfliegen wurden der elektromagnetischen Strahlung von WLAN in einer transversalen elektromagnetischen Zelle ausgesetzt (TEM-CELL). Das WLAN-Signal wurde von einem kommerziellen Router erzeugt und über ein Koaxialkabel direkt an die TEM-CELL weitergeleitet. Das elektrische Feld betrug 1,35 V/m und hatte eine Leistungsdichte von 4,83 mW/m<sup>2</sup>. Die Oregon-R-Fliegen wurden während ihrer gesamten Entwicklung (vom Embryo bis zum adulten Stadium) exponiert, 10 Tage lang. Anschließend wurde die Gesamt-RNA aus Fliegenköpfen, Eierstöcken oder Hoden gereinigt und die Expressionsprofile verschiedener TEs wurden mittels quantitativer RT-PCR analysiert. Western Blotting wurde für weitere Analysen verwendet. Zusätzlich wurden die Krabbel- und Kletterfähigkeiten der Larven untersucht. Hierfür wurden die Larven 1 Minute lang mit einem Smartphone gefilmt und ihr Krabbelverhalten wurde 30 Sekunden lang verfolgt. Die Geschwindigkeit und die zurückgelegte Strecke wurden mit der Software ImageJ berechnet. Zuletzt wurde das mutagene Potenzial von WLAN mittels somatischer Rekombination (sogenanntem MARCM Verfahren) in Zellkulturen untersucht.

### Ergebnisse:

Für die Fliegenköpfe und Eierstöcke wurde eine signifikante Hochregulierung für alle oder einige (Eierstöcke) der getesteten TEs gemessen. Für die Hoden wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen WLAN-exponierten und Kontrollfliegen gefunden. Es wurden keine statistisch signifikanten Unterschiede in den Hsp70-mRNA-Gehalten zwischen Kontroll- und WLAN-Proben in allen analysierten Geweben gefunden. Diese Ergebnisse deuten stark darauf hin, dass EMF eine TE-Aktivierung durch einen molekularen Mechanismus induzieren können, der unabhängig von der Hsp70-Induktion ist. Dies erlaubt es, mögliche thermische Wirkungen von HF-EMF auf die Dysregulierung von Transposons auszuschließen. Die hoch verdichtete Heterochromatinstruktur gewährleistet das

epigenetische Transkriptions-Silencing repetitiver Sequenzen, wie TEs. Um zu überprüfen, ob die hier gefundene Hochregulierung von TEs mit einer Störung der Heterochromatinstruktur und -funktion verbunden sein könnte, wurde ein Positionseffekt-Variations-Assay (PEV) durchgeführt. Die Ergebnisse des PEV-Assays deuten darauf hin, dass WLAN die TE-Hochregulierung durch eine allgemeine Heterochromatin-Dekondensation herbeiführt. Ein Verlust der Integrität des Heterochromatins kann zu Defekten der Genomstabilität führen und damit die Anfälligkeit für DNA-Schäden erhöhen. Um dies zu überprüfen, wurden Metaphasenchromosome von Larven untersucht. Dies ergab, dass die WLAN-Exposition abnormale Chromosomenkonfigurationen und einen höheren Grad an Chromatinkondensation hervorruft. Bei Drosophila fördert oxidativer Stress die Heterochromatinkondensation und die Instabilität des Genoms. Um zu überprüfen, ob eine WLAN-Exposition oxidativen Stress auslösen kann, wurde die Konzentration reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) in den Gehirnen von Drosophila-Larven untersucht. Es zeigte sich, dass eine langfristige Exposition mit WLAN einen moderaten, aber signifikanten Anstieg

## WLAN exponierte Larven entwickelten vermehrt Tumore.

der ROS-Konzentrationen verursacht. Es ist bekannt, dass DNA-Schäden und genomische Instabilität Apoptose verursachen, die wiederum die Hauptursache für Neurodegeneration ist. Ein typisches Merkmal der Neurodegeneration ist die Beeinträchtigung des Bewegungsverhaltens. Die Krabbelgeschwindigkeit der WLAN exponierten Larven war im Vergleich zu den Kontroll-Larven signifikant beeinträchtigt (0,86 ± 0,05 mm/s für die Kontrolle gegenüber 0,65 ± 0,05 mm/s für WLAN). Die exponierten Larven legten auch insgesamt kürzere Entfernungen zurück als die Kontrollen. Die Kontroll-Larven legten relativ gerade Wege zurück, während die exponierten Larven gezackte oder kreisförmige Wege aufwiesen. Es ist bekannt, dass Chromatinveränderungen und unkontrollierte TE-Mobilisierung eine stark mutagene Wirkung auf Genome haben können und wesentlich zur Entwicklung von Tumoren beitragen. (Es hat sich auch gezeigt, dass viele Signalwege von der Fruchtfliege bis zum Menschen konserviert sind.) WLAN exponierte Larven entwickelten vermehrt Tumore. Die Metastasierungsrate betrug 68 % bei WLAN exponierten Larven und 37 % bei den Kontrollen.

Die Krabbelgeschwindigkeit der WLAN exponierten Larven war im Vergleich zu den Kontroll-Larven signifikant beeinträchtigt (0,86 ± 0,05 mm/s für die Kontrolle gegenüber 0,65 ± 0,05 mm/s für WLAN). Die exponierten Larven legten auch insgesamt kürzere Entfernungen zurück als die Kontrollen. Die Kontroll-Larven legten relativ gerade Wege zurück, während die exponierten Larven gezackte oder kreisförmige Wege aufwiesen. Es ist bekannt, dass Chromatinveränderungen und unkontrollierte TE-Mobilisierung eine stark mutagene Wirkung auf Genome haben können und wesentlich zur Entwicklung von Tumoren beitragen. (Es hat sich auch gezeigt, dass viele Signalwege von der Fruchtfliege bis zum Menschen konserviert sind.) WLAN exponierte Larven entwickelten vermehrt Tumore. Die Metastasierungsrate betrug 68 % bei WLAN exponierten Larven und 37 % bei den Kontrollen.

### Schlussfolgerungen:

Weitere Studien sind erforderlich, um die molekularen und zellulären Mechanismen zu klären, die der Anfälligkeit verschiedener Gewebe für elektromagnetische Felder zugrunde liegen. Gegenwärtig sind die Studien zur Exposition gegenüber HF-EMF zwar zahlreich, aber immer noch nicht vollständig erschöpfend und oft uneinig und widersprüchlich. Die Arbeit der Autoren fügt sich in diesen verworrenen und sich entwickelnden wissenschaftlichen Kontext ein und schafft einen neuen Rahmen für die Diskussion der biologischen Wirkungen. (AT)



## WLAN Wirkung auf Immunsystem

# Immunreaktion auf 1,5 GHz und 4,3 GHz-Mikrowellenexposition bei Ratten: Transkriptomische und proteomische Analyse

Zhao, L., Yao, C., Wang, H., Dong, J., Zhang, J., Xu, X., Wang, H., Yao, B., Ren, K., Sun, L., & Peng, R. (2022). Immune Responses to Multi-Frequencies of 1.5 GHz and 4.3 GHz Microwave Exposure in Rats: Transcriptomic and Proteomic Analysis. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(13), 1-15. <https://doi.org/10.3390/ijms23136949>

Mit dem rasanten Wachstum der Mikrowellentechnologien wächst auch die Besorgnis über mögliche Gesundheitsrisiken durch hochfrequente Strahlung. Wir werden in unserem täglichen Leben gleichzeitig verschiedenen Hochfrequenzbändern ausgesetzt, unter anderem auch dem L-Band (1-2 GHz und C-Band (4-8 GHz), die häufig bei Kommunikationstechnologien (u.a. WLAN) verwendet werden. Aus diesem Grund ist es von Bedeutung, die biologischen Wirkungen und zugrundeliegenden Mechanismen zu erforschen, die durch Multifrequenz-Mikrowellen verursacht werden. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkungen von 1,5 und 4,3 GHz Hochfrequenz, einzeln und kombiniert, auf das Immunsystem von Ratten *in vivo*.

### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 100 männliche Wistar-Ratten in vier Gruppen unterteilt: schein-bestrahlt (sham), 1,5 GHz (L10), 4,3 GHz (C10) und kombinierte 1,5 und 4,3 GHz (LC10). Die Versuchstiere wurden mit einer durchschnittlichen Leistungsintensität von 10 mW/cm<sup>2</sup> befeldet bzw. schein-befeldet. (Für eine weitere Charakterisierung des Befeldungssetups verweisen die Autoren auf (Zhu et al., 2021), ebenfalls besprochen in der ElektrosmogReport-Ausgabe 01/23, Anm. d. Redaktion). Die Wissenschaftler untersuchten histopathologische Veränderungen des Thymus, Knochenmarks und der Milz 6 h, 7 Tage, 14 Tage und 28 Tage nach der Befeldung. Im peripheren Blut wurden Veränderungen der Leukozyten, Lymphozyten (6 h, 7 Tage und 14 Tage post Befeldung) und Cytokine (6 h und 7 Tage post Befeldung) analysiert. Außerdem wurden unterschiedlich abgelesene Gene mittels Transcriptomic-Ansatz und unterschiedlich gebildete Proteine mittels Proteomics-Ansatz im peripheren Blut und der Milz ermittelt. Die

Hochdurchsatz-Methoden wurden 7 Tage nach Befeldung durchgeführt. 8 unterschiedlich abgelesene Gene wurden mittels RT-qPCR überprüft. Außerdem wurde eine Raster-Elektronenmikroskopie des Milzgewebes durchgeführt.

### Ergebnisse:

Die Autoren fanden signifikante, pathologische Veränderungen in Thymus und Milz 6 h und 7 Tage nach der Befeldung, welche bis zum Tag 14 bzw. 28 nach Befeldung regenerierten. Die kombinierte Befeldung führte zu stärkeren Verletzungen des Gewebes. Die Untersuchung des peripheren Bluts ergab eine signifikante Herabregulierung der Leukozyten und Lymphozyten nach Befeldung. Eine Leukozyten-Subgruppenanalyse ergab eine Abnahme von T-Lymphozyten bzw. Zunahme von B-Lymphozyten, wobei diese Wirkung stärker von den kombinierten Frequenzen hervorgerufen wurde als von den einzelnen. Die einzelne L- und C-Band Befeldung führte nicht zu einer Veränderung der Cytokine, die kombinierte Befeldung hingegen veränderte eine Reihe von Cytokinen vorübergehend signifikant. Hochdurchsatz-Methoden zeigten signifikante Veränderungen von Genexpressionen auf mRNA- bzw. Protein-Level nach der Befeldung. Die Wirkung der kombinierten Frequenzen war auch hier stärker als die der einzelnen, mit Ausnahme der unterschiedlich gebildeten Proteine im peripheren Blut. Dort waren die Auswirkungen ähnlich. Die unterschiedlich exprimierten Gene waren in der Milz wesentlich höher als im Blut, während das Umgekehrte für die unterschiedlich exprimierten Proteine galt (Blut > Milz).

### Schlussfolgerungen:

Das Immunsystem muss schnell auf externe und interne Reize reagieren können und spielt eine zentrale Rolle beim Schutz des Körpers vor Infektionen, aber auch Krebsentstehung und -ausbreitung. Die Daten der Autoren weisen darauf hin, dass Hochfrequenz eine Unterdrückung des Immunsystems und Schädigungen in wichtigen Geweben des Immunsystems hervorrufen kann. Die Auswirkungen kombinierter Frequenzen scheinen hierbei stärker als die der einzelnen. Die transkriptomischen und proteomischen Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Expression zahlreicher Gene durch die Hochfrequenz verändert wird. Unter anderem die von Genen, welche mit Immunaktivierung und Stoffwechsel in Verbindung stehen. Die im Vergleich zur Milz erhöhte Anzahl von unterschiedlich gebildeten Proteinen im Blut könnte laut den Autoren ein Hinweis darauf darstellen, dass die Hochfrequenz potenziell auf den gesamten Körper wirkt. (RH)

**Die einzelne L- und C-Band Befeldung führte nicht zu einer Veränderung der Cytokine, die kombinierte Befeldung hingegen veränderte eine Reihe von Cytokinen vorübergehend signifikant.**



### Onkogene Wirkung von WLAN?

## Elektromagnetisches 2,4 GHz-Feld beeinflusst die Reaktion des zirkadianen Oszillators in der Darmkrebs-Zelllinie DLD1 auf miR-34a-vermittelte Regulation

Olejárová, S., Moravčík, R., & Herichová, I. (2022). 2.4 GHz Electromagnetic Field Influences the Response of the Circadian Oscillator in the Colorectal Cancer Cell Line DLD1 to miR-34a-Mediated Regulation. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(21), 13210. <https://doi.org/10.3390/ijms232113210>

Das zirkadiane System ist ein Netzwerk endogener Oszillatoren, die sowohl im Gehirn als auch in peripheren Geweben lokalisiert sind und eine korrekte Synchronisation des Organismus mit einem 24-h Rhythmus ermöglichen. Die Regulierung von Genen der zirkadianen Uhr unterliegt unter anderem der Interaktion der Uhrgen-mRNA mit kleinen nicht-kodierenden RNAs (miRNAs). Mi-RNAs sind mit der Herunterregulierung von Genen assoziiert. Zu den Faktoren, die das zirkadiane System synchronisieren, gehören der Hell-Dunkel-Rhythmus, Verfügbarkeit von Nahrung, Bewegung, Temperatur, aber auch elektromagnetische Felder.

Künstliche elektromagnetische Felder nehmen stark zu, so hat beispielsweise die Intensität hochfrequenter elektromagnetischer Felder von 2017 bis 2020 um das 2,3-fache zugenommen, wobei WLAN den größten Anteil daran hat. Die Gene der zirkadianen Uhr (Uhrgene) können den Zellzyklus beeinflussen, und eine Deregulierung des zirkadianen Systems wurde mit der Entstehung von Krebs in Verbindung gebracht. Die vorliegende Studie untersucht, ob Hochfrequenz die miR-34a-vermittelte Regulierung von Uhrgenen in einer Darmkrebszelllinie (DLD1) *in vitro* beeinflussen und ob dies mit dem Wachstum der Krebszelllinie in Verbindung gebracht werden kann.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde *in vitro* in der humanen Kolon-Adenokarzinom-Zelllinie DLD1 durchgeführt. Die Zellen wurden mit einem kommerziellen WLAN-Router (2426-2448 MHz, durchschnittliche Leistungsdichte 0,12 W/m<sup>2</sup> [6,6 V/m]) über 24 h befeldet bzw. schein-befeldet. Um die Auswirkungen der Hochfrequenz auf die miR-34a Mikro-RNA untersuchen zu können, wurden die Zellen entweder mit einem Imitat des reifen dominanten Strangs (m-m), einem Imitat des miR-34a-Vorläufers (pre-m) oder mit dem reifen dominanten Strang plus miR-34a-Inhibitor

(m-m +i) transfiziert. Kontrollzellen wurden mit entsprechenden Negativkontrollen transfiziert (mNC). Die Wirkung der Hochfrequenz auf die Migration der Zellen wurde mit einem Kratz-Test durchgeführt. Außerdem wurde die Auswirkung auf den Stoffwechsel lebensfähiger, proliferierender Zellen mittels MTS-Test untersucht. Schließlich analysierten die Autoren die Expression der Uhr-Gene *cry1*, *cry2*, *per2*, *clock* und *bmal1* sowie der Gene *sirt1* und *survivin* auf mRNA-Ebene. (*Sirt1* und *survivin* sind mit Überlebensfähigkeit von Zellen sowie onkogenem Potenzial assoziiert (Anm. d. Redaktion)).

### Ergebnisse:

Bei den schein-bestrahlten Zellen führte die miR-34a-Verabreichung zu einer signifikanten Verminderung von *per2*, *bmal1*, *sirt1* und *survivin*. Die Befeldung der DLD1-Zellen führte zu einer Abschwächung bzw. dem Wegfall der miR-34a-Wirkung im Falle von *per2* und *survivin*. Gleichzeitig wurde eine signifikante Steigerung der *cry1*-Expression bei Zellen festgestellt, die mit miR-34a und Hochfrequenz behandelt wurden. Diese Hochfrequenzwirkung spiegelte sich auch beim Kratz- bzw. MTS-Test wider. Die Zellmigration (Wundverschluss) und Stoffwechselintensität der Zellkulturen wurden durch die Verabreichung der miR-34a unter Kontrollbedingungen signifikant vermindert, während dieser Effekt nicht bei befeldeten Zellen beobachtet wurde.

Zusätzlich wurden auch Hinweise auf einen signifikanten Einfluss der Hochfrequenz auf die *cry2* Expression gefunden.

### Schlussfolgerungen:

Die Daten der Wissenschaftler zeigen eine signifikante Veränderung der miR-34a-vermittelten Regulation von fünf der sieben untersuchten Zielgene durch die WLAN-Befeldung. Während die Uhrgene *per2* und *bmal1* im Kontext von Tumoren eher mit einer Tumorsuppression assoziiert sind, werden die Gene *cry1* und *survivin* mit Tumorpromotion in Verbindung gebracht. Die WLAN-Befeldung steigerte die Kapazität der miR-34a, Uhrgene mit onkogenem Potenzial – *cry1* und *cry2* – zu bilden und schwächte die *per2* und *bmal1* vermittelte, tumorsuppressive Wirkung von miR-34a. Auch die hemmende Wirkung von miR-34a auf das anti-apoptive Gen *survivin* wurde durch die WLAN-Bestrahlung verhindert. Zusammenfassend weisen die Ergebnisse darauf hin, dass WLAN die tumorunterdrückende Wirkung von miR-34a in eine neutrale bis leicht onkogene Wirkung verlagern kann. Die Analyse der Zellmigration bzw. der Stoffwechselintensität bestätigte diese Annahme. Die WLAN-Wirkung wird jedoch zum größten Teil nur unter gleichzeitiger Verabreichung von miR-34a beobachtet.

**Die Zellmigration (Wundverschluss) und Stoffwechselintensität der Zellkulturen wurden signifikant vermindert...**



### L- und C-Band Wirkung auf das Gehirn

## Auswirkungen von 1,5 und 4,3 GHz Mikrowellenstrahlung auf die kognitive Funktion und die Struktur des Hippocampusgewebes bei Wistar-Ratten

Zhu, R., Wang, H., Xu, X., Zhao, L., Zhang, J., Dong, J., Yao, B., Wang, H., Zhou, H., Gao, Y., & Peng, R. (2021). Effects of 1.5 and 4.3 GHz microwave radiation on cognitive function and hippocampal tissue structure in Wistar rats. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89348-4>

Hochfrequente Strahlung ist zu einem Bestandteil des alltäglichen Lebens geworden. Sie bringt viele Annehmlichkeiten, z.B. in Form von drahtloser Kommunikation mit sich, löst allerdings auch Diskussionen über negative gesundheitliche Auswirkungen aus. Das zentrale Nervensystem gilt als einer der empfindlichsten Angriffspunkte für Hochfrequenzbelastung. Mikrowellenstrahlung des L- und C-Bandes werden häufig für Kommunikation, z.B. bei Wettersatelliten, Radargeräten aber auch WLAN (IEEE 802.11a) genutzt. Studien zu den Auswirkungen von Mikrowellen- bzw. Hochfrequenzstrahlung konzentrieren sich meist auf eine Frequenz, tatsächlich sind wir jedoch einer Vielzahl von Frequenzen gleichzeitig ausgesetzt. Die vorliegende Studie untersucht die Wirkung von 1,5 und 4,3 GHz Hochfrequenz, sowohl einzeln als auch kombiniert, auf Verhalten und Hippocampus von Ratten *in vivo*.

### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt befeldeten die Autoren 140 männliche Wistar-Ratten, welche in 4 Gruppen unterteilt wurden: S (scheinbefeldet); L10 (1,5 GHz, 10 mW/cm<sup>2</sup> für 6 min., SAR-Wert: 3,7 W/kg), C10 (4,3 GHz, 10 mW/cm<sup>2</sup> für 6 min., SAR-Wert: 3,3 W/kg) und LC10 (1,5 GHz, 10 mW/cm<sup>2</sup> für 6 min + 4,3 GHz, 10 mW/cm<sup>2</sup> für 6 min., SAR-Wert: 3,7 für 6 min. + 3,3 für 6 min). Bei der LC-Gruppe wurde also die Befeldung im L- und C-Band nacheinander durchgeführt. Im Anschluss führten die Autoren unterschiedliche Analysen zu unterschiedlichen Zeitpunkten durch. Das Verhalten wurde mittels Morris'-Wasserlabyrinth 1, 2, 3, 7, 14 und 28 Tage nach Befeldung überprüft. Die elektrische Aktivität des Gehirns (EEG), Morphologie des Hippocampus und Nissl-Schollen-Gehalt der Neuronen wurden 1, 7, 14 und 28 Tage nach der Bestrahlung analysiert. Die Aktivität der Enzyme des Energiestoffwechsels LDH (Laktatdehydrogenase) und SDH (Succinatdehydrogenase) wurden nach Tag 1 und 7 bestimmt. Im Fall des Morris'-Wasserlabyrinths betrug die Anzahl der Versuchstiere pro Gruppe 15, bei den anderen Analysen 5.

### Ergebnisse:

Die einzelne oder kombinierte Befeldung beider Frequenzen führte im Vergleich zur scheinbestrahlten Kontrollgruppe beim Wasserlabyrinth zu einer erhöhten durchschnittlichen Fluchlatenz (AEL). Auch EEG-Wellen wurden durch L und LC Hochfrequenz signifikant verändert. Die Hippocampusmorphologie wies insbesondere 7 Tage nach der Befeldung (L, C und LC) signifikante, pathologische Veränderungen auf. Die meisten Schädigungen waren 14 Tage nach Bestrahlung regeneriert, spätestens jedoch 28 Tage nach Bestrahlung. Es wurde ein Trend beobachtet, demzufolge die kombinierte LC-Befeldung stärkere pathologische Veränderungen hervorrief als die einzelnen Frequenzen. Der Gehalt der Nissl-Schollen wurde durch die Hochfrequenzeinwirkung (L, C und LC) 7 und 14 Tage nach Bestrahlung signifikant vermindert. Die Untersuchung der Enzymaktivität ergab eine signifikante Verringerung der LDH und SDH-Aktivität im Hippocampus für die kombinierte Bestrahlung, 7 Tage nach Befeldung. Die 1,5 GHz Belastung führte nach 7 Tagen zu einer Abnahme der SDH-Aktivität, die 4,3 GHz-Bestrahlung führte nicht zu einer Veränderung der Enzymaktivität.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass eine einmalige, kurzzeitige Hochfrequenzbefeldung signifikante Veränderungen der Lern- und Gedächtnisfähigkeiten sowie der Struktur und des Energiestoffwechsels des Hippocampus hervorrufen konnte. Die beobachteten EEG-Veränderungen der  $\theta$ -Wellen und  $\delta$ -Wellen deuten laut den Autoren auf eine Unterdrückung der elektrischen Gehirnaktivität hin. Die Nissl-Schollen, welche hauptsächlich aus rauem ER und freien Ribosomen bestehen, stellen wichtige strukturelle Merkmale von Neuronen dar. Die Autoren vermuten einen Zusammenhang zwischen der Abnahme der Nissl-Schollen und der Abnahme der Lern- und Gedächtnisfunktionen. Die beobachteten, negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Hochfrequenz scheinen bei den gewählten Versuchsbedingungen reversibel. Es wurden keine Hinweise auf eine spezifische Interaktion zwischen den 1,5 und 4,3 GHz Mikrowellen gefunden. (RH)

**Es wurde ein Trend beobachtet, demzufolge die kombinierte LC-Befeldung stärkere pathologische Veränderungen hervorrief als die einzelnen Frequenzen.**





## L-Band-Hochfrequenz beeinflusst Gedächtnis

# Die dosisabhängige Wirkung einer 1,5-GHz-Mikrowellen-Exposition auf das räumliche Gedächtnis und den NMDAR-Signalweg bei Wistar-Ratten

Wang, H., Song, L., Zhao, L., Wang, H., Xu, X., Dong, J., Zhang, J., Yao, B., Zhao, X., & Peng, R. (2022). The dose-dependent effect of 1.5-GHz microwave exposure on spatial memory and the NMDAR pathway in Wistar rats. *Environmental Science and Pollution Research*, 0123456789. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24850-4>

Studien haben gezeigt, dass Hochfrequenz/Mikrowellen das Gehirn, Herz und Fortpflanzungssystem schädigen können, wobei das Gehirn als das empfindlichste Organ gilt. Epidemiologische Studien liefern robuste Hinweise darauf, dass Hochfrequenz verschiedene neurologische Symptome, wie Schwindel, Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit und Gedächtnisverlust beim Menschen verursachen kann. Eine dosisabhängige Wirkung von L-Band-Hochfrequenz (1-2 GHz) ist jedoch noch nicht gut erforscht. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkung von 1,5 GHz-Hochfrequenz verschiedener Leistungsdichte auf das Gehirn von Ratten. Um eine mögliche Beeinträchtigung des Gedächtnisses auf molekularer Ebene zu erforschen, wurde der NMDAR-Signalweg beleuchtet. Dieser ist mit der Aufrechterhaltung synaptischer Plastizität und Regulierung der neuronalen Funktion assoziiert.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde an männlichen Wistar-Ratten durchgeführt, welche mit 1,5 GHz (L-Band) und verschiedenen Leistungsdichten (5 mW/cm<sup>2</sup>, 30 mW/cm<sup>2</sup>, 50 mW/cm<sup>2</sup>) einmalig für 6 Minuten bestrahlt bzw. schein-bestrahlt wurden. Die entsprechenden SAR-Werte im Gehirn geben die Wissenschaftler mit L5: 1,85 W/kg, L30: 11,1 W/kg und L50: 18,5 W/kg an. Das räumliche Gedächtnis- und Erinnerungsvermögen wurde mittels Morris'-Wasserlabyrinth überprüft (n = 10). Die Elektrophysiologie des Gehirns wurde durch ein EEG überprüft (n = 5). Außerdem wurde das Hippocampusgewebe histologisch untersucht (n = 5). Immunohistochemisch erfolgte die Analyse verschiedener Komponenten bzw. Downstream-Komponenten des NMDAR-Signalweges im Hippocampusgewebe (n = 3-5). Die Untersuchungen wurden zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Beendigung der Befeldung durchgeführt, um Lag-Phasen bzw. regenerative Effekte beleuchten zu können. Charakteristische Zeitpunkte waren 6 h,

1 Tag (d), 2 d, 3 d, 7 d, 14 d und 28 d, wobei nicht alle Analysen zu allen Zeitpunkten durchgeführt wurden.

### Ergebnisse:

Die L5-Gruppe verhielt sich im Vergleich zur schein-befeldeten S-Gruppe im Verhaltenstest unauffällig. Bei beiden anderen Gruppen wurden jedoch Hinweise auf signifikante Verhaltensänderungen der Tiere nach der Befeldung festgestellt. Ähnliche Ergebnisse wies auch das EEG auf: L5 war unauffällig, die EEG-Aktivität der L30- und L50-Gruppe hingegen war im Vergleich zur S-Gruppe gehemmt. Es wurde eine dosis-abhängige Wirkung festgestellt, je höher die Befeldung, desto stärker die Hemmung der Hirnströme. Die quantitative Analyse der Hippocampushistologie ergab eine dosisabhängige, signifikante Schädigung des Gewebes. Mit steigender Leistungsdichte wurden die Schäden drastischer. Hierbei wurden die ersten Schäden 6 h nach Befeldungsende sichtbar, die stärksten Auswirkungen wurden nach 7 d festgestellt, nach 14 d wurden regenerative Effekte sichtbar. 7 d nach Beendigung der Bestrahlungsperiode war auch die Ultrastruktur des Hippocampus dosisabhängig geschädigt (signifikante Steigerung der postsynaptischen Dichte). Außerdem wurden pyknotische Neuronen und hyperchromatische Veränderungen nach der Befeldung festgestellt. NMDAR-Downstream-Komponenten PSD-95 und CREB waren bei der L5- und L50-Gruppe 6 h nach Befeldung signifikant vermindert, 7 d nach Befeldung waren die Proteinkonzentrationen wieder normalisiert. Die NMDAR-Untereinheiten GluN1, GluN2A und GluN2B waren nach 6 h dosisabhängig und signifikant verringert, auch dies normalisierte sich 7 d nach Befeldungsende.

### Schlussfolgerungen:

In dieser Studie wurden Ratten mit 1,5-GHz-Hochfrequenz unterschiedlicher Intensitäten befeldet, um eine dosisabhängige Wirkung auf das räumliche Gedächtnis, strukturelle Schäden und molekulare Veränderungen zu untersuchen. Die Autoren fanden robuste Hinweise auf eine Beeinträchtigung des räumlichen Gedächtnisses, Hemmung der Hirnströme, Beeinträchtigung der Hippocampusstruktur/-ultrastruktur und eine Veränderung von Komponenten des NMDAR-Signalweges als Konsequenz der Hochfrequenzbefeldung. Ein dosisabhängiger Trend war erkennbar, die Hochfrequenzschädigungen waren reversibel, wobei auch hier eine höhere HF-Dosis zu längeren Regenerationszeiten führte. Die Autoren vermuten, dass sich zunächst die molekularen Parameter, dann die funktionellen Indizes und schließlich die Histologie verändern, was den allgemeinen Gesetzmäßigkeiten für das Auftreten und die Entwicklung von Krankheiten entspricht. (RH)

**7 Tage nach Beendigung der Bestrahlungsperiode war auch die Ultrastruktur des Hippocampus dosisabhängig geschädigt.**



### Mobilfunk und Kopfschmerzen

## Kopfschmerzen, Tinnitus und Hörverlust in der internationalen Kohortenstudie über Mobiltelefonnutzung und Gesundheit (COSMOS) in Schweden und Finnland.

Auvinen A, Feychting M, Ahlbom A, Hillert L, Elliott P, Schüz J, Kromhout H, Toledano MB, Johansen C, Poulsen AH, Vermeulen R (2019). Headache, tinnitus and hearing loss in the international Cohort Study of Mobile Phone Use and Health (COSMOS) in Sweden and Finland. *International journal of epidemiology*. 2019 Oct 1;48(5):1567-79. <https://doi.org/10.1093/ije/dyz127>

Einige bevölkerungsbasierte Querschnittsstudien haben über eine erhöhte Prävalenz von Kopfschmerzen, Schlafproblemen, Konzentrationsschwierigkeiten oder ein geringeres Wohlbefinden im Zusammenhang mit der Exposition gegenüber Mobiltelefonen berichtet, aber die mit dem Querschnittsdesign verbundenen Verzerrungen schränken ihre Interpretation ein. Bei Querschnittsstudien kann die zeitliche Abfolge von Ereignissen nicht unterschieden werden, so dass umgekehrte Kausalität und Nocebo-Effekte (nachteilige Wirkung aufgrund negativer Erwartungen) ein potenzielles Problem darstellen.

Die Nutzung von Mobiltelefonen und die Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (RF-EMF) wurden in einigen Studien mit Symptomen in Verbindung gebracht, aber die Studien weisen Mängel auf und ihre Ergebnisse sind uneinheitlich. Die Autoren führten eine prospektive Kohortenstudie durch, um den Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Mobiltelefon-Nutzung zu Beginn der Studie und der Häufigkeit von Kopfschmerzen, Tinnitus oder Hörverlust nach 4 Jahren zu untersuchen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Studienteilnehmer wurden aus den Teilnehmerdatenbanken der Mobilfunknetzbetreiber in Schweden und Finnland rekrutiert. Einladungsschreiben und Fragebögen wurden an eine Zufallsstichprobe von Mobilfunkteilnehmern verschickt. Die Teilnehmer hatten Mobiltelefon-Abonnements bei den großen Mobilfunknetzbetreibern in Schweden (n = 21 049) und Finnland (n = 3120), gaben ihr Einverständnis zur Erfassung ihrer Mobiltelefonanrufe aus den Aufzeichnungen der Betreiber bei Studienbeginn und füllten sowohl bei Studienbeginn als auch bei der Nachuntersuchung Fragebögen zu Symptomen, potenziellen Störfaktoren und weiteren Merkmalen ihrer Mobiltelefonnutzung aus. Der primäre Expositionsindikator war die vom Betreiber aufgezeichnete durchschnittliche Gesprächsdauer pro Woche während des 3-monatigen Zeitraums zu Studienbeginn. (Von der aufgezeichneten Gesprächsdauer wurde ein geschätzter Anteil der Gesprächszeit mit Freisprecheinrichtungen abgezogen, der

auf Selbstauskünften beruhte). Mit Hilfe von Fragebögen wurden Selbstauskünfte zu Kopfschmerzen, Tinnitus und Hörverlust eingeholt. Der wichtigste Endpunkt für Kopfschmerzen bestand in den selbstberichteten Kopfschmerzen, die laut dem Follow-up-Fragebogen mindestens einmal pro Woche auftraten.

### Ergebnisse:

Die Teilnehmer mit dem höchsten Dezil der aufgezeichneten Gesprächszeit bei Studienbeginn (durchschnittliche Gesprächszeit >276 Minuten pro Woche) zeigten eine schwache, suggestive Zunahme der Häufigkeit von wöchentlichen Kopfschmerzen bei der 4-Jahres-Nachbeobachtung (Odds Ratio 1,21, 95 % Konfidenzintervall 1,02-1,43). Es gab keinen offensichtlichen Gradienten der wöchentlichen Kopfschmerzen mit zunehmender Anrufdauer (P-Trend 0,06), aber bei Betrachtung der einzelnen nach Gesprächszeit eingeteilten Gruppen wurde eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Kopfschmerzen bei der Gruppe der Vieltelefonierer festgestellt. Der Zusammenhang zwischen Kopfschmerzen und Gesprächsdauer war beim Universal Mobile Telecommunications System (UMTS)-Netz stärker als bei der älteren Global System for Mobile Telecommunications (GSM)-Technologie, obwohl letztere eine höhere Exposition gegenüber HF-EMF aufweist. Tinnitus und Hörverlust zeigten keinen Zusammenhang mit der Gesprächszeit.

### Schlussfolgerungen:

Personen, die Mobiltelefone am häufigsten zum Telefonieren nutzten, berichteten bei der Nachuntersuchung etwas häufiger (OR = 1,21) über wöchentliche Kopfschmerzen als andere Nutzer. Die um mehrere potenzielle Störfaktoren bei Studienbeginn bereinigten Schätzungen (einschließlich Alter, Geschlecht, Schlafstörungen, Depressionen, Gesundheitszustand und täglicher Schmerzmittelkonsum) waren niedriger als die nicht bereinigten Ergebnisse (OR = 1,13). (Das Ausschließen von Personen, die über Kopfschmerzen in Verbindung mit Schlafstörungen, Depressionen oder anderen Gesundheitsproblemen berichteten, ist offensichtlich zu bemängeln, da diese Auswirkungen sehr wohl mit der Mobiltelefon-Exposition selbst in Verbindung stehen könnten, Anm. der Red.)

Tinnitus und Hörverlust wurden nicht mit der Anzahl der Anrufe in Verbindung gebracht. Diese Studie ist insofern interessant, als im Abschnitt über die Ergebnisse ein statistisch robuster Effekt beschrieben wird (d. i. eine leichte Zunahme der Wahrscheinlichkeit von Kopfschmerzen bei den Vieltelefonierern), der jedoch in der Zusammenfassung und in der Diskussion fast gänzlich verworfen wird, indem er mit „Störfaktoren“ wegdiskutiert wird. Die Studie wurde zum Teil von Nokia finanziert, der zweite und dritte Koautor sind Mitglieder der ICNIRP und einer ähnlichen Organisation mit Sitz in den Niederlanden, wie in der Studie angegeben wird. (AT)





### Mobilfunkeinwirkung vor und nach Trächtigkeit

## Auswirkungen einer kontinuierlichen pränatalen und postnatalen Exposition gegenüber elektromagnetischen Wellen des GSM-Standards auf Biomarker für oxidativen Stress in der Leber weiblicher Ratten

Salameh, M., Zeitoun-Ghandour, S., Sabra, L., Ismail, L., Daher, A., Bazzi, A., Khalil, M. & Joumaa, W.H., (2022). Effects of Continuous Prenatal and Postnatal Global System for Mobile Communications Electromagnetic Waves (Gsm-Emw) Exposure on the Oxidative Stress Biomarkers in Female Newborn Rat's Liver. SSRN Electronic Journal, 8(May), e12367. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4059779>

Der Mensch ist täglich verschiedenen Arten elektromagnetischer Strahlung aus unterschiedlichen Quellen wie z.B. Funk, Strom oder drahtloser Kommunikationsgeräte ausgesetzt. In Anbetracht der zunehmenden Nutzung drahtloser Kommunikationstechnologie erregen mögliche Gesundheitsrisiken für Schwangere und deren ungeborene Kinder die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit. Mensch- und Tierstudien liefern Hinweise darauf, dass elektromagnetische Felder während der Schwangerschaft oxidativen Stress in der Leber der Nachkommen auslösen können. Die vorgestellte Studie untersucht die Auswirkungen von prä- und postnataler 900 MHz-GSM-Befeldung auf oxidativen Stress in der Leber weiblicher Ratten *in vivo*.

### Studiendesign und Durchführung:

Die weiblichen Ratten wurden vom Tag der Befruchtung an bis 1 Tag (PND1), 9 Tage (PND9) oder 21 Tage (PND21) nach Geburt 24/7 befeldet. Die elektrische Feldstärke betrug  $25 \pm 0,4$  V/m, den leberspezifischen SAR-Wert gaben die Autoren mit 0,783 W/kg an. Es wurden Lipidperoxidation (MDA), Aktivität und Konzentration antioxidativer Schutzenzyme (SOD, CAT, GPx), Expression auf mRNA-Ebene von SOD1, CAT, GPx1, Nrf-2, ICAM-1 und Akt1, sowie Nrf-2 auf Proteinebene im Lebergewebe bestimmt. (ICAM-1, Akt1 und Nrf-2 sind u.a. mit Apoptose und entzündlichen Prozessen assoziiert, Anm. d. Redaktion).

### Ergebnisse:

Es wurde eine signifikante Steigerung der Lipidperoxidation in den Subgruppen PND9 und PND21 beobachtet. Die Hochfrequenzbefeldung veränderte die Aktivität von SOD im Zytosol bei PND1 und PND9 statistisch signifikant. Die CAT-Aktivität war bei allen drei Befeldungsdauern statistisch signifikant vermindert. GPx-Aktivität war lediglich bei PND21 statistisch signifikant verringert. Die Expressionsanalysen auf mRNA-Ebene zeigten signifikante Veränderungen durch die Hochfrequenz bei allen Proben, außer bei CAT PND21. Die Veränderungen der Expression sind zeitabhängig. So ist beispielsweise die mRNA von SOD1 in

der PND1-Gruppe signifikant erhöht, bei PND9 und 21 jedoch signifikant verringert. Ähnliches gilt auch für Nrf2, dessen mRNA bei der PND9-Gruppe signifikant vermindert ist, bei PND1 und PND21 jedoch erhöht. Die mRNA-Expression von Akt1 und ICAM-1 war in der Subgruppe PND1 signifikant und um ein Vielfaches erhöht, bei PND9 und PND21 jedoch vermindert. Die Proteinexpression von Nrf2 wurde lediglich in der Subgruppe PND9 untersucht und war hier nach Bestrahlung signifikant verringert.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Studie weisen auf eine altersabhängige Wirkung der GSM-Hochfrequenz auf den oxidativen Stress und antioxidative Schutzenzyme bei neugeborenen und jungen weiblichen Ratten hin, die bereits im Mutterleib befeldet wurden. Die beobachtete Erhöhung der Lipidperoxidation ab dem Tag 9 nach Geburt stimmt mit der Abnahme der Genexpression und Aktivität wichtiger antioxidativer Schutzenzyme, wie CAT und GPx überein. Darüber hinaus könne laut der Autoren die signifikante Verringerung der Nrf-2-Expression in diesem Stadium zu weiteren Komplikationen führen. Dies äußere sich z.B. in der Induktion pro-apoptotischer Prozesse sowie einer Störung der Immunantwort durch eine verminderte Expression von Akt1 bzw. ICAM-1. Die gleichzeitige Störung der Redoxhomöostase und der Immunantwort könnte, so die Wissenschaftler, zu schweren chronischen Krankheiten, wie Diabetes und Krebs führen. (RH)



### Niederfrequente EMF und Stress

## Neue Sichtweise auf den Einfluss des niederfrequenten elektromagnetischen Feldes (50 Hz) auf Stressreaktionen – Hormese-Effekt

Klimek A, Kletkiewicz H, Siejka A, Wyszowska J, Maliszewska J, Klimiuk M, Jankowska M, Seckl J, Rogalska J (2022). New view on the impact of the low-frequency electromagnetic field (50 Hz) on stress responses-hormesis effect. Neuroendocrinology, 2022 Nov 2. <https://doi.org/10.1159/000527878>

Es gibt Hinweise darauf, dass die Exposition durch elektromagnetische Felder (EMF) die Biologie von Säugetieren beeinträchtigt. Vorhandene Daten deuten darauf hin, dass die Exposition gegenüber EMF als leichter Stressor gelten kann. Dies könnte zu Störungen der neuroendokrinen Stresssysteme führen, insbesondere der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse (HPA). Die HPA-Achse wird hauptsächlich durch negative Rückkopplungsmechanismen reguliert. Stress veranlasst den Hypothalamus (HYP) zur Ausschüttung des Corticotropin-Relea-

sing-Hormons (CRH), das die Hypophyse durch Aktivierung von CRH-Rezeptoren (CRH-R1) zur Ausschüttung von adrenocorticotrophem Hormon (ACTH) anregt. Freigesetztes ACTH wirkt auf die Nebennieren, um Glucocorticoide (Corticosteron bei Ratten) freizusetzen. Corticosteron (CORT) löst physiologische Reaktionen über zwei Typen nuklearer Rezeptoren aus: Mineralocorticoidrezeptoren (MRs) und Glucocorticoid Rezeptoren (GRs). Beide Rezeptoren sind besonders häufig im Hippocampus (HIP) zu finden. In einigen Fällen sind hohe Dosen chemischer oder umweltbedingter Faktoren für biologische Systeme schädlich, während niedrige Dosen endogene Überlebenssysteme ankurbeln, ein Phänomen, das als Hormese bekannt ist. Folglich können EMF die Anfälligkeit des Organismus für nachfolgende Stressfaktoren und damit für Krankheiten in zwei Richtungen verändern: kompensatorisch oder schädlich. Wichtige Vermittler dieses Phänomens können Kortikosteronrezeptoren, MRs und GRs sein, von denen bekannt ist, dass sie die Funktion des Hippocampus modulieren und die Plastizitätsprozesse in diesem Bereich bestimmen.

### **Studiendesign und Durchführung:**

Die Experimente wurden an 179 männlichen Wistar-Ratten mit einer in der Magnettherapie verwendeten Spule als EMF-Quelle durchgeführt. Die Spule und die variable Stromversorgung erzeugten sinusförmige EMF bei 50 Hz und mit Intensitäten von 1 oder 7 mT. Die Ratten wurden für drei Perioden alle 3 Wochen exponiert. Jede Periode umfasste eine 7-tägige Exposition, 1 Stunde pro Tag, bei 1 mT oder 7 mT. Nach jeder Expositionsperiode wurde eine Untergruppe von Ratten aus den exponierten Gruppen durch Enthauptung getötet, um die Auswirkungen einer einmaligen oder wiederholter EMF-Exposition zu bewerten. Der Einfluss von EMF auf die Konzentrationen der Hormone der HPA-Achse und die relative mRNA-Transkriptionshäufigkeit der Rezeptoren in relevanten Gehirnstrukturen, Organen und Geweben wurde bestimmt: CRH im Hypothalamus, CRH-R1 und ACTH in der Hypophyse, MC2R und CORT in den Nebennieren, ACTH und CORT im Plasma sowie MRs und GRs im Hippocampus. Mittels RT-qPCR wurde die relative mRNA-Transkriptionshäufigkeit von GRs, MRs, MC2R und CRH-R1 in den entnommenen Organen bestimmt. Ein Open Field (OF) Test wurde verwendet, um die Reaktion der Tiere auf eine neue, stressige Umgebung zu untersuchen. Bei der OF-Apparatur handelte es sich um einen quadratischen Kasten (100 cm × 100 cm), der von Wänden umschlossen war und in dem eine Halogenlampe über der Mitte als einzige Lichtquelle angebracht war. Gemessen wurde das Verhalten der Fortbewegung in der Nähe der Wände, wobei der zentrale Bereich gemieden wurde; alle Verhaltenssitzungen wurden aufgezeichnet und mit der Software EthoVision 11 ausgewertet.

### **Ergebnisse:**

EMF-Exposition veränderte Hormonkonzentrationen der HPA-Achse und Rezeptor-mRNA-Häufigkeit in einer dosisab-

hängigen Weise. Es gab eine signifikante Auswirkung der EMF-Dosis, wobei ein höheres EMF-Niveau zu einer stärkeren Erhöhung von CORT in den Nebennieren und im Plasma führte ( $p < 0,001$ ). Obwohl es keinen Effekt der Anzahl der Expositionen gab, wurde ein Trend zu geringeren Reaktionen auf wiederholte EMF-Exposition bei 1 mT festgestellt. Umgekehrt gab es bei dem 7 mT EMF keinen Rückgang von CORT bei wiederholter Exposition. Die EMF-Intensität wirkte sich auf die ACTH-Konzentration im Plasma aus, wobei das höhere EMF-Niveau eine größere Erhöhung der Hormonkonzentration bewirkte ( $p < 0,001$ ). In der 1-mT-Gruppe waren die ACTH-Konzentrationen in der Hypophyse nach der ersten und zweiten Exposition signifikant erhöht. Nach der dritten Exposition kam es jedoch zu einer Abschwächung der ACTH-Induktion, und die ACTH-Konzentration ging auf den Kontrollwert zurück. Bei Ratten, die bei einem EMF von 7 mT exponiert wurden, stieg die ACTH-Konzentration mit jeder weiteren Exposition an. Insgesamt war die GR mRNA-Häufigkeit im Hippocampus der EMF-exponierten Gruppen niedriger als die Kontrollwerte mit einem Dosis-Wirkungs-Effekt. Verhaltensanalyse: Insgesamt war das Aktivitätsniveau bei Ratten, die bei EMF von 7 mT exponiert wurden, höher als bei 1 mT und den Kontrolltieren. Die in den Ecken verbrachte Zeit unterschied sich nicht zwischen der Kontroll- und der 1mT-Gruppe. Ratten, die bei einem EMF von 7 mT exponiert wurden, verbrachten im Vergleich zu den anderen Gruppen signifikant weniger Zeit in den Ecken.

### **Schlussfolgerungen:**

Diese Studie zeigt, dass die Auswirkung einer wiederholten EMF-Exposition auf die Aktivität der HPA-Achse von der EMF-Intensität abhängt. Der Anstieg der Hormonkonzentrationen der HPA-Achse bei Ratten, die einem EMF von 1 mT ausgesetzt waren, war nach der ersten EMF-Exposition maximal und wurde mit jeder weiteren Exposition abgeschwächt. Dies könnte einen adaptiven Prozess widerspiegeln, der darauf abzielt, die Aktivität der HPA-Achse als Reaktion auf moderaten Stress zu verringern. Der EMF-induzierte Anstieg der ACTH-Freisetzung ging nur nach der ersten Exposition mit einem parallelen Rückgang der MC2R mRNA-Transkript Abundanz einher. Die Daten deuten auf eine negative Rückkopplung auf die MC2R-Expression hin. Es hat sich gezeigt, dass selbst eine geringe EMF-Intensität (1 mT) eine Stressreaktion der HPA-Achse hervorruft, wenn auch nur relativ schwach und vorübergehend. In der Gruppe, die einer hohen EMF-Intensität (7 mT) ausgesetzt war, waren die Konzentrationen der Hormone der HPA-Achse signifikant höher im Vergleich zur Kontrolle und der niedrigen EMF-Dosis (1 mT), und es gab keine Gewöhnung bei wiederholter Exposition. Diese Ergebnisse stimmen mit anderen Studien überein, die die Unterschiede im Verlauf einer wiederholten Exposition gegenüber einer Art von Stressor in Abhängigkeit von der Intensität des Stressreizes gemessen haben. Eine schwache/mittlere Herausforderung für den Organismus führt zu einer Hemmung der Aktivi-

tät der HPA-Achse auf den nächsten zweiten Stimulus als Folge einer Rückkopplungshemmung. Eine wiederholte Exposition mit EMF von 1 mT ruft eine schwache und vorübergehende Stressreaktion hervor. Wenn die Stressreize jedoch intensiv genug sind, kann die Rückkopplungshemmung außer Kraft gesetzt werden. Die zunehmende Aktivierung der HPA-Achse bei jeder weiteren Exposition mit 7 mT EMF könnte dieses Phänomen widerspiegeln. Diese Studie ist die erste, die eine hormonelle, bidirektionale Wirkung von 50-Hz-EMF bei Wirbeltieren fand: Anpassung bei niedrigem EMF, aber Sensibilisierung bei einer höheren magnetischen Flussdichte. (AT)



### Kommentar zu Krebs und Hochfrequenz

## Krebsentstehung durch die chronische Belastung mit hochfrequenter Strahlung

Lin, J. C. (2022). Carcinogenesis from chronic exposure to radio-frequency radiation. *Frontiers in Public Health*, 10. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1042478>

In den letzten Jahrzehnten hat die Beliebtheit mobiler Kommunikation exponentiell zugenommen und man geht davon aus, dass dies auch in absehbarer Zukunft so bleiben wird. Die Befriedigung der Nachfrage würde zwangsläufig zu einer höheren Exposition des Menschen gegenüber Mikrowellen- bzw. Hochfrequenzstrahlung führen. Abgesehen von ihrer primären Rolle als Träger, der die Kommunikationstechnologie ermöglicht, kann Hochfrequenz zusätzliche Auswirkungen besitzen, die wichtige Funktionen lebender Organismen beeinflussen können. Die dadurch verursachten biologischen Veränderungen würden sich in verschiedenen Bereichen manifestieren. Sie sind möglicherweise nicht sofort nach der Belastung erkennbar. In einigen Fällen könnten sie sich erst Jahre später äußern – die Veränderungen könnten sich Jahre bis Jahrzehnte nach wiederholter Belastung niedriger Intensität entwickeln. Die Auswertungen wissenschaftlicher Studien durch die IARC im Jahre 2011 führten zu dem Schluss, dass insbesondere Daten aus Tierversuchen unzureichend, epidemiologische Studien zu Gliomen und Akustikusneurinomen jedoch hinreichend robust sind, um eine Einstufung als möglicherweise krebserregend beim Menschen zu rechtfertigen. Vor kurzem haben zwei weitverbreitete Organisationen zum Schutz vor nicht-ionisierender Strahlung, die ICNIRP und ICES, ihre Leitlinien und Standards überarbeitet. Diese Richtlinien zeigen ohne jeden Zweifel die feste Überzeugung dieser Organisationen, dass bei Hochfrequenz nichts als Hitze zu befürchten sei. Neben der Frage nach einer sicheren Langzeitexposition (nicht kürzer als 6 oder 30 Minuten) bleibt vor allem

die Frage offen, wie es zu einer so unterschiedlichen Bewertung derselben wissenschaftlichen Erkenntnisse durch die IARC auf der einen und ICNIRP und ICES auf der anderen Seite kommen kann. Der Autor des hier vorgestellten Ausblicks beendet seine Einleitung mit dem Satz „Scientists may not always be consistent, coherent, or as transparent as promoted“.

### Studiendesign und Durchführung:

In dem vorliegenden Artikel kritisiert der emeritierte Professor James Lin die überarbeiteten Richtlinien von ICNIRP und ICES und gibt einen Ausblick, wie seiner Meinung nach mit der Faktenlage rund um das Thema Krebs und Hochfrequenz verfahren werden sollte.

### Ergebnisse/Schlussfolgerungen:

Zunächst beleuchtet der Autor Tierversuche an Ratten zum Thema Karzinogenität bis 2016, bei denen die Befeldungsdauer mindestens 2 Jahre betrug. Unabhängig von Studiendesign, Qualität oder methodischen Schwächen berichten mehr Studien, dass keine krebserregende Wirkung beobachtet wurde. Ein auffälliger Mangel bestand laut Lin darin, dass bei vielen Studien keine adäquaten Käfigkontrollen vorlagen oder relevante Daten nicht in statistische Analysen einbezogen wurden. Dementsprechend stimmt er mit der Einschätzung der IARC zu dem damaligen Zeitpunkt überein. Diese Schwächen besaßen die großangelegten Studien des US NTP bzw. des Ramazzini Instituts jedoch nicht. Zwei vergleichbar gut durchgeführte Studien, welche denselben Rattenstamm verwendeten, zeigten übereinstimmende Ergebnisse in Form von signifikant erhöhtem Schwannomarisiko durch 3G-Mobilfunk.

Die überarbeiteten Richtlinien von ICES und ICNIRP bezeichnen diese Resultate als Zufallsprodukte bzw. führen sie auf eine Erhöhung der Körpertemperatur von bis zu 1 °C, bei 0,1 W/kg zurück. Dies würde im Umkehrschluss allerdings auch bedeuten, dass eine Erhöhung der Körpertemperatur um 1 °C als vermeintlich krebserregend behandelt werden müsste. Auch Ergebnisse epidemiologischer Studien werden mit dem Argument abgeschmettert, dass diese Unstimmigkeiten und Einschränkungen, wie z.B. Erinnerungs- und Selektionsbias beinhalteten. Lin bezeichnet die Tendenz von Organisationen, Studien, welche Zusammenhänge finden, zu verunglimpfen und jene, welche keine Zusammenhänge finden, zu akzeptieren, als spürbar und besorgniserregend.

Der Autor merkt an, dass der in der NTP-Studie gewählte höchste SAR-Wert, bei dem eine erhöhte Karzinogenität bei Ratten festgestellt wurde, im Wesentlichen derselbe ist, wie der Wert, der von ICNIRP und ICES für ihre grundlegenden Beschränkungen gewählt wurde. Die NTP- bzw. Ramazzini-Studie komplementieren seiner Meinung nach die IARC-Bewertung der humanen epidemiologischen Studien und böten genug Substanz für eine Einstufung von Hochfrequenz als „wahrscheinlich krebserregend“. Er hält es für sinnvoll zu erwähnen, dass die

derzeit zulässige Leistung für Mobiltelefone etwa 5 Größenordnungen höher ist als die eines Mobiltelefonprototyps, der 3,5  $\mu\text{W}$  für Sprachanrufe benötigt, indem er Hintergrund-Hochfrequenz nutzt. Es sei absehbar, dass zukünftige Entwicklungen auch andere Telefonfunktionen, einschließlich Datenübertragung, über Hintergrund-Hochfrequenz bzw. „Energy Harvesting“ ermöglichen. Drahtlose Kommunikationstechnologie hat ihren direkten Nutzen für die Menschen in der modernen Gesellschaft gezeigt. Was jedoch ihre Auswirkungen auf die Gesundheit des Menschen betrifft, der unnötigerweise über einen langen Zeitraum, vielleicht sogar sein ganzes Leben, Hochfrequenz ausgesetzt ist, darüber steht das Urteil noch aus. Lin fordert einen Umgang mit Hochfrequenz nach dem Credo „as low as reasonably achievable“ – so niedrig wie vernünftigerweise realisierbar. (RH)



### Drahtlose Technologien und Umwelt

## Die drahtlose Technologie ist ein Umweltstressfaktor, der ein neues Verständnis und neue Ansätze in der Gesundheitsversorgung erfordert.

McCredden JE, Cook N, Weller S, Leach V (2022). Wireless technology is an environmental stressor requiring new understanding and approaches in health care. *Frontiers in Public Health*. 2022 Dec 20;10:4893. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.986315>

Elektromagnetische Signale von alltäglichen drahtlosen Technologien sind ein allgegenwärtiger Umweltstressor, der biologische Systeme beeinflusst. Die Autoren untermauern diese Behauptung auf der Grundlage der Beweise, die in der ODEB-Datenbank der „Oceania Radiofrequency Scientific Advisory Association“ (ORSAA) gesammelt wurden und sich auf die biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder und Strahlung konzentrieren. Die Datenlage über die Auswirkungen des allgegenwärtigen Elektrosmogs auf die Gesundheit deutet darauf hin, dass er wie ein Stressor wirkt, der die biologischen Systeme des Menschen zunehmend belastet. Während es jedoch in den letzten Jahren einige positive Veränderungen bei den Gesundheitsthemen der WHO gegeben hat, die die Auswirkungen von Wasser- und Luftverschmutzung, Umwelt-hormonen, Quecksilber und Klimawandel mit einbeziehen, wurde der Untersuchung der elektromagnetischen Verschmutzung als Umweltstressor nur sehr wenig Aufmerksamkeit geschenkt. ORSAA hat die weltweit größte kategorisierte Datenbank wis-

senschaftlicher Studien über die biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Menschen, Tiere und die Umwelt entwickelt. ODEB umfasst derzeit über 4.000 von Fachleuten begutachtete Veröffentlichungen (davon über 2.400 zu Hochfrequenz). ODEB ist eine echte relationale Datenbank mit umfangreichen Suchfunktionen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Experimente, die die Exposition durch reale Geräte (mit Intensitäten unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte) untersuchten, und die epidemiologischen Studien, die das Leben in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen untersuchten, wurden aus der ODEB extrahiert und die Anzahl der Arbeiten, die Auswirkungen zeigten, wurde mit der Anzahl verglichen, die keine Auswirkungen zeigte. Die Teilmenge dieser relevanten Arbeiten, bei denen es sich um epidemiologische Studien handelte ( $n = 251$ ), wurden alle akzeptiert, da sie naturgemäß die Auswirkungen von Signalen aus der „realen Welt“ auf Anwohner in der Nähe von Basisstationen untersuchen. Von den 1.343 relevanten experimentellen Arbeiten in der ODEB wurden 237 aufgrund mangelhafter Berichterstattung abgelehnt, so dass 1.106 experimentelle Arbeiten übrigblieben.

### Ergebnisse:

Die Ergebnisse zeigten, dass zwei Drittel der experimentellen und epidemiologischen Arbeiten signifikante biologische Wirkungen aufwiesen. Die Bandbreite der biologischen und gesundheitlichen Kategorien, in denen Auswirkungen gefunden wurden, wurde anschließend untersucht. Dabei wurden Hunderte von Arbeiten gefunden, die zeigen, dass grundlegende biologische Prozesse betroffen sind, wie z. B. durch Proteinschäden, biochemische Veränderungen und oxidativen Stress. Diese Studie richtet sich an Angehörige der Gesundheitsberufe und politische Entscheidungsträger, die in ihrer Ausbildung noch nicht mit diesem Thema in Berührung gekommen sind. Um diese Leserschaft zu informieren, werden einige der wichtigsten biologischen Wirkungskategorien und plausible Wirkungsmechanismen aus der gesichteten Literatur beschrieben: Das biologische System des Körpers besteht aus

**Die Ergebnisse zeigten, dass zwei Drittel der experimentellen und epidemiologischen Arbeiten signifikante biologische Wirkungen aufwiesen.**

Bausteinen wie Atomen, Molekülen und Kristallen. Diese Bestandteile des Lebens enthalten alle eine Vielzahl geladener Komponenten, die mit verschiedenen Frequenzen schwingen. Synchronisierte Schwingungen zwischen einer großen Anzahl geladener Komponenten können sehr große elektromagnetische Kräfte erzeugen, die die Moleküle und andere biologische Komponenten veranlassen, bei

bestimmten Frequenzen miteinander in Resonanz zu treten. Ein oszillierendes elektrisches Feld kann eine unangemessene Bewegung von Calcium-Ionen durch Zellmembranen verursachen. Ein Beispiel ist die unangemessene Öffnung der spannungsgesteuerten Kalziumkanäle. Die störende Bewegung von Ladungen, die

durch die Schwingungsfrequenz einer Hochfrequenzwelle erzeugt wird, kann andere geladene Moleküle auf unerwartete Weise bewegen. Ein Ergebnis ist die Umverteilung von Ladungen in Proteinmolekülen, die zu Veränderungen in der Proteinstruktur und anschließenden Pathologien führt. Andere Folgen sind Schäden an Zellen, Mitochondrien, zellulärer Stress, Schäden an Proteinen und DNA. Dies kann wiederum zu oxidativem Stress und Entzündungen führen. Die Daten der ODEB bestätigen die oben genannten Forschungsergebnisse, indem sie zeigen, dass die Art des verwendeten Signals – real oder simuliert – die Studienergebnisse beeinflussen kann. Der Zusammenhang zwischen der Art des Signals und dem Ergebnis der biologischen Wirkung war statistisch signifikant, was darauf hindeutet, dass die Art des Signals in der Berichterstattung klar angegeben werden muss.

### Schlussfolgerungen:

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es eine umfangreiche Evidenzbasis gibt, die zeigt, dass die Exposition gegenüber alltäglichen drahtlosen Kommunikationsgeräten und der unterstützenden Infrastruktur eine erhebliche Belastung für die biologischen Systeme des Menschen darstellt. Hochfrequenzsignale von alltäglichen Geräten und der Mobilfunk-Infrastruktur stellen einen Umweltstressfaktor dar, der gut dokumentiert ist und verschiedene negative biologische Auswirkungen hat. Es wurden plausible Mechanismen vorgeschlagen, bei denen Schäden zunächst auf zellulärer Ebene auftreten können, und es ist bekannt, dass diese Mechanismen spätere gesundheitliche Auswirkungen haben können. Diese Beweise sind überzeugend genug, um eine Aktualisierung der medizinischen Ausbildung und Praxis zu rechtfertigen. (AT)



### Review Elektrohypersensibilität

## Warum Elektrohypersensibilität und damit verbundene Symptome durch nicht-ionisierende, vom Menschen erzeugte elektromagnetische Felder verursacht werden: Ein Überblick und eine medizinische Bewertung

Belpomme D, Irigaray P (2022). Why electrohypersensitivity and related symptoms are caused by non-ionizing man-made electromagnetic fields: An overview and medical assessment. *Environmental Research*. 2022 May 7:113374. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113374>

Ein Großteil der Kontroverse über die Ursache der Elektrohypersensibilität (EHS) ist darauf zurückzuführen, dass es keine anerkannten klinischen und biologischen Kriterien für eine allge-

mein akzeptierte Diagnose gibt. Derzeit liegen jedoch genügend Daten vor, um EHS als eine klar definierte und objektiv charakterisierte, pathologische neurologische Störung anzuerkennen. Da die Autoren gezeigt haben, dass EHS bei Patienten häufig mit multipler chemischer Sensitivität (MCS) assoziiert ist und dass beide individualisierte Störungen einen gemeinsamen pathophysiologischen Mechanismus für das Auftreten von Symptomen aufweisen, können EHS und MCS als neurologische Syndrome identifiziert werden.

Im Gegensatz zu den derzeitigen wissenschaftlich unbegründeten Behauptungen widerlegen die Autoren zweifelsfrei die Hypothese eines Nocebo-Effekts zur Erklärung der Entstehung von EHS und seiner Präsentation.

Zusammenfassung der durch EMF hervorgerufenen pathophysiologischen Veränderungen und gesundheitlichen Auswirkungen:

Es gibt objektive pathophysiologische Veränderungen und gesundheitliche Auswirkungen, die durch die Exposition durch elektromagnetische Felder (EMF) bei EHS-Patienten und vor allem bei gesunden Probanden beobachtet werden

1. EHS kann nicht als Folge eines Nocebo-Effekts betrachtet werden, d.h. als eine psychiatrische Krankheit. Befunde zeigen, dass EMF mit somatischen Anomalien wie geringgradiger Entzündung und einer Störung/Öffnung der Blut-Hirn-Schranke (BHS) verbunden sind. Darüber hinaus wurde gezeigt, dass EHS in etwa 25 % der Fälle mit MCS assoziiert ist, das bereits als somatische Erkrankung gilt.
2. Das Auftreten von EHS ist eine Folge der künstlichen elektromagnetischen Umweltverschmutzung.
3. Die Intoleranz gegenüber EMF-Exposition, einschließlich des Auftretens von EHS, ist nicht auf bestimmte Regionen oder Länder beschränkt, sondern ein weltweites Phänomen mit pandemischer Ausbreitung.
4. Viele unabhängige Provokationsstudien belegen, dass EMF den Organismus biologisch schädigen können und auch bei gesunden Menschen Noxen sind. Aufgrund der Anwendung falscher Methoden gibt es nur eine begrenzte Anzahl von Studien, die pathophysiologische Veränderungen bei EHS-Patienten zeigen.
5. Mehrere EHS-assozierte Symptome wie Schlafstörungen, depressive Tendenzen und Suizidrisiko wurden in unabhängigen epidemiologischen Studien als Folge einer dosisabhängigen EMF-Exposition nachgewiesen.
6. Viele EHS-Patienten sind durch eine geringgradige Entzündung, nitroso-oxidativen Stress, eine Störung/Öffnung der BHS und Veränderungen der Neurotransmitter im Gehirn gekennzeichnet; all dies wurde auch in Tierstudien nachgewiesen.
7. Die meisten EHS-Patienten weisen in ihrer Anamnese eine übermäßige Exposition gegenüber EMF auf, was bestätigt, dass EMF-Exposition ein plausibler Auslöser für die Entstehung von EHS sein kann.

8. Viele unabhängige In-vitro- und In-vivo-Studien zeigen, dass vom Menschen verursachte EMF mit körpereigenen elektrischen Feldern interagieren können, die die zellulären biologischen Funktionen im normalen Organismus steuern. Wenn sie auf den gesamten menschlichen Organismus einwirken, verzerren künstliche EMF die physiologischen endogenen EMF. Sie verzerren auch die entsprechenden zellulären Funktionen, was zu negativen biologischen/gesundheitlichen Auswirkungen führt.
9. Technologische EMF und die entsprechenden elektromagnetischen Strahlungen (EMS) sind vollständig polarisiert und kohärent und unterscheiden sich somit physikalisch von natürlichen EMF/EMS, die nicht polarisiert sind. Dies kann für ihre schädlichen Wirkungen verantwortlich sein.
10. Der pathophysiologische Mechanismus, durch polarisierte und kohärente (anthropogene) EMF neurotoxische Wirkungen hervorrufen zu können, ist inzwischen erwiesen und durch viele Tierversuche belegt.
11. Auf molekularer Ebene hat sich gezeigt, dass chronische EMF-Exposition niedriger Intensität direkt auf die DNS einwirkt und genetische Schäden und/oder epigenetische Veränderungen verursacht. Zusätzlich hierzu könnte die EMF-Exposition Veränderungen in der Genregulation und Proteinfehlfaltungen hervorrufen. Es ist noch unklar, ob diese verschiedenen genetischen und/oder epigenetischen Mecha-

nismen an der Entstehung von EHS beteiligt sind, aber wie in vielen Studien gezeigt wurde, könnte die Produktion freier Radikale in den Zellen nach EMF-Exposition an diesen Veränderungen beteiligt sein. Es hat sich gezeigt, dass EHS in 80 % der Fälle mit der Produktion von freien Radikalen reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) und/oder reaktiver Stickstoffspezies (RNS) verbunden ist.

#### **Schlussfolgerungen:**

Durch die Verwendung verschiedener Biomarker im Blut und Urin sowie geeigneter Bildgebungsverfahren haben die Autoren zuvor nachgewiesen, dass EHS eine pathologische Störung des Gehirns ist, die objektiv diagnostiziert und behandelt werden kann. Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass EHS und MCS, obwohl sie sich in ihrer Ätiologie und Pathogenese unterscheiden, eine ähnliche klinische und biologische Signatur aufweisen, so dass sie aus medizinischer Sicht als Teil eines bestimmten, einzigartigen, mit Umweltintoleranz verbundenen neurologischen Syndroms betrachtet werden müssen. EHS und MCS sind jedoch von der WHO noch immer nicht angemessen anerkannt worden. Die Autoren appellieren an alle Regierungen und internationalen Gesundheitsinstitutionen, insbesondere an die WHO, die wachsende EHS-assozierte Pandemie-Plage dringend zu berücksichtigen und EHS als eine hauptsächlich neue, echte, kausal mit EMF verbundene Pathologie anzuerkennen. (AT)





**Buch-Neuerscheinung:**

**Renate Haidlauf: Die unerlaubte Krankheit. Wenn Funk das Leben beeinträchtigt.**

**Bestellung:**

<https://shop.diagnose-funk.org/Die-unerlaubte-Krankheit>  
oder [versand@diagnose-funk.de](mailto:versand@diagnose-funk.de)

In diesem ElektrosmogReport ist der Review von Belpomme / Irigaray zu Elektrohypersensibilität besprochen. Welche Lebensschicksale diese Beeinträchtigung verursacht, behandelt dieses neue Buch.

Mindestens zwei Prozent der Bevölkerung in Deutschland sind elektrohypersensibel – durch Funk erkrankt. Das entspricht über 1,2 Millionen Erwachsenen. In diesem Buch berichten 50 Betroffene, wie sie auf Funk reagieren und welche Konsequenzen das hat für ihre Familien, ihr Wohnumfeld, den Beruf und ihr ganzes Leben. „Unerlaubte Krankheiten“ ziehen sich durch die Geschichte des Industriezeitalters. Menschen erkrankten durch Asbest, fast hundert Jahre lang verschloss man die Augen davor. Es durfte nicht sein, weil es ein lukratives Produkt infrage stellen würde. So ging es im Bergbau mit PCB-verseuchten Ölen, mit giftigen Stäuben und Dämpfen im Druckgewerbe, mit der Strahlung von militärischen Radaranlagen, die bei Soldaten Krebs verursachte. Man erkannte die Zusammenhänge mit den gefährlichen Stoffen nicht an, in jahrzehntelangen Gerichtsverfahren wurden die Betroffenen zermürbt, in den wenigsten Fällen erhielten sie eine Abfindung. In den letzten Jahren hat sich der Anteil der Menschen mit Kopfschmerzen und Schlafschwierigkeiten enorm erhöht. Sie suchen ärztlichen Rat, doch man findet keine Ursachen. Parallel dazu stieg auch die Funkbelastung durch WLAN, Sendemasten, Bluetooth etc. Solange Schmerzgeplagte und Schlaflose noch keinen Zusammenhang mit Funk erkennen, ist ihr Kranksein „erlaubt“. Stellen sie jedoch fest, dass ihre Beschwerden nachlassen, wenn sie WLAN, Smartphones u.a. vermeiden, dann wird ihr Urteilsvermögen schnell angezweifelt.



Renate Haidlauf: Die unerlaubte Krankheit. Wenn Funk das Leben beeinträchtigt

368 Seiten | DIN A5, 1. Auflage November 2022, Artikelnummer: 905 | ISBN: 978-398205852 | Preis 16,90 Euro incl. 7% USt. zzgl. Versandkosten.



# Hinweis: Alle Ausgaben des ElektrosmogReport und das Gesamtregister finden Sie online auf [www.EMFdata.org](http://www.EMFdata.org)

**616**

Studien dieser Datenbank zeigen Effekte durch Funkstrahlung  
(hochfrequente elektromagnetische Felder)

