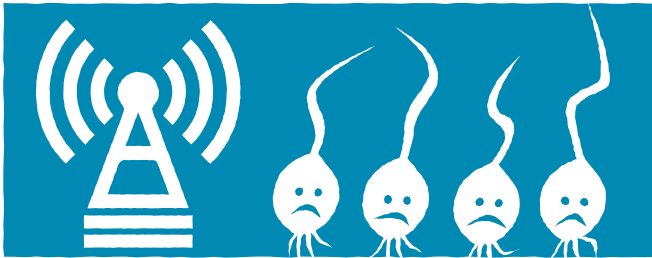


# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit



## Basisstationen und Pflanzen

### Eine Studie über die Auswirkungen von nicht-ionisierender Strahlung, die von Mobilfunkmasten ausgeht, in einem *Allium cepa* Testsystem

Sharma A, Sharma S, Bahel S, Katnoria JK (2024): A study on effects of cell phone tower-emitted non-ionizing radiations in an *Allium cepa* test system. Environmental Monitoring and Assessment. 2024 Mar; 196(3):261. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12435-2>

Die Ausbreitung von Energie im Raum in Form von Wellen oder Teilchen ist als elektromagnetische Strahlung (EMF) bekannt. Es wurden in der Vergangenheit verschiedene Experimente durchgeführt, um die Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung in verschiedenen Pflanzensystemen zu untersuchen. Obwohl einige Studien unter Laborbedingungen durchgeführt wurden, wurden bislang keine derartigen Feldstudien durchgeführt, um die Auswirkungen von EMF bei unterschiedlichen Leistungsdichten zu untersuchen. Angesichts des raschen Anstiegs der Nutzung von Mobiltelefonen und der zunehmenden Zahl von Mobilfunktürmen in Indien wurde die vorliegende Studie geplant, um die Auswirkungen von nicht-ionisierender Strahlung auf das Testsystem *Allium cepa* (Gemeine Zwiebel) zu untersuchen. Es wurden In-situ-Simulationen durchgeführt, um die Auswirkungen nicht-ionisierender Strahlung zu bewerten, die von drei Mobilfunkmasten (T1, T2 und T3) ausgesendet wird. Fünf Standorte (S1–S5) wurden in der Nähe von Mobilfunktürmen mit unterschiedlicher Leistungsdichte ausgewählt. Der Standort mit einer Leistungsdichte von Null wurde als Kontrolle betrachtet.

#### Studiendesign und Durchführung:

Bestimmte Standorte mit Mobilfunktürmen wurden über das Tarang Sanchar-Portal ermittelt. Die Leistungsdichte an verschiedenen Standorten in der Nähe von Türmen wurde manuell mit einem elektromagnetischen Strahlungsdetektor (PCE-EM

#### Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 02/2024, 30. 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. 52402

#### 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 > Basisstationen und Pflanzen

---

- 03 > EMF und Insekten

---

- 04 > UMTS-Strahlung, Zytokinese und Zelltod

---

- 05 > Mobilfunkstrahlung und Tumorentwicklung

---

- 06 > EMF-Auswirkungen auf Krebszellen

---

- 07 > WLAN und Krebszellen

---

- 09 > WLAN-Wirkung auf die Hörschnecke

---

- 10 > WLAN in vitro im Blut

---

- 11 > WHO-Review zur männlichen Fruchtbarkeit

---

- 13 > EMF und Neuritenwachstum

---

- 15 > Auswirkung von 5G auf die Darmflora

---

- 16 > THz-Wirkung in vitro auf Stammzellen

---

29, UK) erfasst. Fünf Standorte wurden nach den Kriterien einer hohen Leistungsdichte und eines geeigneten Versuchsaufbaus ausgewählt. An den Versuchsstandorten befanden sich Mobilfunkmasten, die Strahlung in verschiedenen Frequenzbändern, nämlich 800, 1800 und 2300 MHz, aussenden. Nach der Auswahl der Standorte wurde ein Versuchsaufbau erstellt, um Zwiebelknollen (*Allium cepa*) 7 Tage lang EMF mit unterschiedlichen Leistungsdichten an den Standorten (1–5) auszusetzen. Zwiebeln gleicher Größe, die auf einem lokalen Markt gekauft wurden, wurden in Coplin-Gläser mit doppelt destilliertem Wasser gelegt. Die Zwiebeln wurden für die Bewurzelung aufbewahrt, indem ihre basalen Teile für 3 Tage (Genotoxizitätsstudien) bis 7 Tage (oxidativer Stress und andere morphologische Studien) in destilliertes Wasser getaucht wurden. Für jeden Parameter und jeden Expositionsort wurden drei separate Zwiebeln analysiert. Das gesamte Experiment umfasste 72 Zwiebeln, wobei 12 Zwiebeln an jedem Standort für einen bestimmten Parameter vorgesehen waren. Verschiedene Parameter wie Wurzellänge, Frischgewicht, Trockengewicht, relativer Wassergehalt für morphologische Merkmale, antioxidative Enzyme wie Ascorbat-Peroxidase (APX), Superoxid-Dismutase (SOD), Glutathion-S-Transferase (GST), Guajakol-Peroxidase (POD) und Glutathion-Reduktase (GR) sowie der Proteingehalt für biochemische Untersuchungen und Prozent aberranter (physiologischer und klastogener) Wurzelspitzenzellen für die Genotoxizität wurden beobachtet.

### Ergebnisse:

Standort 1 zeigte eine mittlere Leistungsdichte von 1,05  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  oder 10,5  $\text{mW}/\text{m}^2$  in 20 m Entfernung. An Standort 2 wurde eine mittlere Leistungsdichte von 1,18  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  bzw. 11,8  $\text{mW}/\text{m}^2$  in einer Entfernung von 15 m gemessen. Standort 3 wies eine mittlere Leistungsdichte von 1,6  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  oder 16  $\text{mW}/\text{m}^2$  in einer Entfernung von 10 m auf. Standort 4 wies eine mittlere Leistungsdichte von 2,73  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  bzw. 27,3  $\text{mW}/\text{m}^2$  in einem Abstand von 5 m auf. Im Gegensatz dazu wies Standort 5 eine höhere mittlere Leistungsdichte von 12,9  $\mu\text{W}/\text{cm}^2$  bzw. 129  $\text{mW}/\text{m}^2$  in 1 m Entfernung auf. Eine signifikante Veränderung der Morphologie, der Wurzellänge, des Frischgewichts und des Trockengewichts von *Allium cepa* wurde unter der Exposition an verschiedenen Standorten beobachtet. Die Wurzellänge wurde bei allen Proben im Vergleich zur Kontrolle als verringert angesehen. Die mittleren Wurzellängen (cm) betragen 5,8; 4,5; 4,2; 3,8 und 2,1 für die Standorte 1, 2, 3, 4 bzw. 5 im Vergleich zur Kontrolle mit 6,4.

Der Post-hoc-Dunnett-Test ergab, dass die Wurzellängen an den Standorten 2, 3, 4 und 5 signifikante Unterschiede aufwiesen ( $p \leq 0,05$ ). Die Studie ergab, dass der Proteingehalt sowohl in den Wurzel- als auch in den Zwiebelproben bei einer 7-tägigen EMF-Exposition im Vergleich zur Kontrolle abnahm, und es wurde festgestellt, dass der Proteingehalt mit zunehmender Leistungsdichte dosisabhängig abnahm. Für die Standorte 1, 2, 3, 4 und 5 variierte der Proteingehalt (mg/g Frischgewebe) zwi-

schen 0,51; 0,5; 0,49; 0,35 und 0,21 für Wurzeln und 0,57; 0,57; 0,49; 0,46 bzw. 0,37 für Zwiebeln. Bei der Kontrollprobe lag der Proteingehalt (mg/g Frischgewebe) bei 0,58 (Wurzeln) und 0,61 (Zwiebeln). Die Post-hoc-Dunnett-Analyse ergab für alle Standorte signifikante Unterschiede im Proteingehalt der Wurzeln verglichen mit der Kontrolle, und im Proteingehalt der Zwiebeln an den Standorten 4 und 5. Die antioxidative Aktivität der Wurzel in Bezug auf APX, GST und POD zeigte signifikante Veränderungen (erhöhte Enzymaktivität) an den Standorten S4 und S5 sowie Glutathion-Reduktase (GR) am Standort S5 und SOD an S1 (38 %), S2 (38 %), S3 (38 %), S4 (45 %) und S5 (70 %) im Vergleich zur Kontrolle (18 %).

Ebenso zeigten die Zwiebeln signifikante Veränderungen (erhöhte Enzymaktivität) an den Stellen S4 und S5 für APX und an den Stellen S3, S4 und S5 für POD und S2, S3, S4 und S5 für SOD und S5 für GR und GST. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deckten auf, dass die Exposition von *Allium cepa*-Wurzelspitzen-Zellen bei elektromagnetischer Befeldung über 72 Stunden zu verschiedenen Abnormalitäten in verschiedenen Stadien des Zellzyklus führte. Dazu gehören physiologische Aberrationen (c-Mitose, Klebrigkeit, Vagabunden, Nachzügler, verzögerte Anaphase, abnorme Anaphase und abnorme Metaphase) und klastogene Aberrationen (Chromatinbrücken, Ringchromosomen und Chromosomenbrüche/Fragmente) in Wurzelspitzenzellen von *Allium cepa*. Die physiologischen Aberrationen (%) variierten wie folgt: Kontrolle (0,33 %), Standort 1 (1,16 %), Standort 2 (1,93 %), Standort 3 (4,21 %), Standort 4 (4,71 %) und Standort 5 (7,84 %); während die klastogenen Aberrationen wie folgt beziffert wurden: Kontrolle (0 %), Standort 1 (0 %), Standort 2 (0,12 %), Standort 3 (0,70 %), Standort 4 (0,79 %) und Standort 5 (1,74 %). Die Proben, die einer Strahlung mit maximaler Leistungsdichte ausgesetzt waren (Standort 5), zeigten eine maximale Induktion von oxidativem Stress und Genotoxizität.

### Schlussfolgerungen:

Die vorliegende Studie zeigte deutlich, dass die Pflanzenproben unter Exposition mit elektromagnetischer Strahlung, die von Mobilfunkmasten mit unterschiedlichen Frequenzen und maximalen Leistungsdichten erzeugt wurde, veränderte morphologische und biochemische Eigenschaften aufwiesen. Der erhöhte Gehalt an antioxidativen Enzymen wie APX, GST, GR, POD und SOD während der vorliegenden Studie deutet auf die Verstärkung von oxidativem Stress und Genotoxizität hin. Die schädlichen Wirkungen der Exposition mit nicht-ionisierenden Strahlen wurden auch durch einen reduzierten Proteingehalt in den Testproben im Vergleich zu den Kontrollproben beobachtet. Die Genotoxizitätsstudien zeigten, dass die Schädigung durch die Strahlenbelastung bei den Wurzelproben im Vergleich zu den Zwiebelproben hoch war, was darauf hindeutet, dass die Wurzelspitzenzellen von *Allium cepa* empfindliche Bioindikatoren für die Toxizität der Strahlenbelastung sind. Diese Studie ist die erste ihrer Art, die auf diesem Gebiet durchgeführt wurde. (AT)



## EMF und Insekten

# Biologische Wirkungen elektromagnetischer Felder auf Insekten: eine systematische Übersicht und Meta-Analyse

Thill A, Cammaerts MC, Balmori A (2023): Biological effects of electromagnetic fields on insects: a systematic review and meta-analysis. *Reviews on Environmental Health*. 2023 Nov 23. <https://doi.org/10.1515/reveh-2023-0072>

Insekten sind wichtige Bestandteile unserer Ökosysteme und spielen eine wesentliche Rolle bei der Bestäubung, der Zersetzung und der Nahrungskette im Allgemeinen. Ihre Populationen sind jedoch weltweit rückläufig, was Anlass zur Sorge über die möglichen Auswirkungen auf die Umwelt gibt. Faktoren wie der Einsatz von Pestiziden und moderne landwirtschaftliche Praktiken werden als wesentliche Ursachen für den Rückgang der Insektenpopulationen genannt. Die systematische Übersichtsarbeit und Meta-Analyse von Thill et al. untersucht die biologischen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) auf Insekten und wertet die vorhandene Literatur aus, um potenzielle Risiken im Zusammenhang mit der EMF-Exposition aufzudecken.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Studie verwendete einen systematischen Ansatz, um relevante Literatur über die Auswirkungen von EMF auf Insekten zu sammeln und zu analysieren. Es wurde eine Literaturrecherche in den Datenbanken EMF-Portal, Pubmed und Google Scholar durchgeführt, mit spezifischen Suchbegriffen im Zusammenhang mit Insekten und EMF-Exposition. Die Auswahlkriterien konzentrierten sich auf Studien, die nach 1980 veröffentlicht wurden und den Qualitätsbewertungsstandards entsprachen. Die Ergebnisse der Studien, die die Auswirkungen von EMF auf die Fortpflanzung von Insekten untersuchten, sowie alle Studien von häufig verwendeten EMF-Quellen (d.h. Basisstation, Handy, DECT, Signalgenerator, Spulensystem), wurden mit Hilfe von Meta-Analysetechniken zusammengefasst.

### Ergebnisse:

Insgesamt wurden 587 Studien identifiziert, von denen 130 die Einschlusskriterien für die Übersichtsarbeit erfüllten. 11 Studien wurden als von unzureichender Qualität eingestuft, so dass insgesamt 119 Studien beibehalten und in die Datenextraktion eingeschlossen wurden. Die Mehrheit der Studien konzentrierte sich auf Fruchtfliegen [*Drosophila*] (47 %) und Honigbienen (31 %) und nutzte verschiedene EMF-Quellen für Expositionsversuche. Die Meta-Analyse ergab signifikante Auswirkungen von EMF auf die Reproduktionsergebnisse bei *Drosophila* oberhalb von 2 V/m (-30 %,  $p < 0,01$ ), und dies auch zum Teil bei niedrigen Feldstärken unterhalb von 2 V/m (-18 %,  $p = 0,026$ ), was auf mögliche Risiken der EMF-Exposition für Insektenpopulatio-

nen hinweist. Die Effektstärke der HF-Technologien DECT, Handy, Signalgenerator sowie Basisstation ist sehr ähnlich und liegt bei etwa 1,5 (als Verhältnis der Mittelwerte der bestrahlten Gruppe zur Kontrolle), was im schlimmsten Fall einer Erhöhung von Erbschäden um 50 % oder einer Reduktion der Fruchtbarkeit um 33 % entspräche. Diese Befunde sind allerdings nur statistisch robust (d.h. können als gesichert betrachtet werden) für Handys ( $p < 0,0001$ ) und DECT-Geräte ( $p < 0,0001$ ).

Die Trends in der Literatur deuten auf ein wachsendes Interesse an diesem Thema hin und unterstreichen den Bedarf an weiterer Forschung. Die systematische Übersichtsarbeit und Meta-Analyse von Thill et al. liefert überzeugende Argumente für die biologischen Auswirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) auf Insekten und die zu erwartenden Auswirkungen auf Insektenpopulationen und Ökosysteme:

- > **Labornachweise:** Studien haben gezeigt, dass EMF-Exposition signifikante Auswirkungen auf die Physiologie und das Verhalten von Insekten in Laborsituationen haben kann. Zu diesen Auswirkungen gehören Störungen der Fortpflanzung, Entwicklungsfehler, verminderte Fruchtbarkeit und erhöhte Mutationsraten.
- > **Auswirkungen auf die Praxis:** Während Laborstudien wertvolle Erkenntnisse liefern, sind die weiteren ökologischen Auswirkungen der EMF-Exposition auf Insekten in natürlicher Umgebung noch nicht vollständig bekannt. Die Gesamtübersicht legt nahe, dass die Extrapolation von Ergebnissen aus Laborstudien auf Feldbedingungen das Bewusstsein für potenzielle Bedrohungen auf Insektenpopulationen schärfen sollte.
- > **Kumulative Auswirkungen:** Der Rückgang der Insektenpopulationen wird durch mehrere Faktoren beeinflusst, darunter der Einsatz von Pestiziden, die Zerstörung von Lebensräumen und vermutlich auch die zunehmende Präsenz von EMF durch vom Menschen geschaffene Technologien. Die kumulativen Auswirkungen dieser Stressfaktoren auf die Insektenpopulationen könnten weitreichende Folgen für die Dynamik der Ökosysteme und die biologische Vielfalt haben.
- > **Mögliche Auswirkungen:** Zu den erwarteten Auswirkungen von EMF auf Insekten gehören Störungen der Bestäubungsprozesse, verringerte Fruchtbarkeitsraten, veränderte Verhaltensmuster und ein möglicher Rückgang der Insektenpopulationen. In Anbetracht der wichtigen Rolle von Insekten für das Funktionieren von Ökosystemen könnten negative Auswirkungen auf Insektenpopulationen kaskadenartige Effekte auf die Pflanzenreproduktion, den Nährstoffkreislauf und die Nahrungsketten haben.

### Bedarf an weiterer Forschung:

Die Überprüfung der vorhandenen Literatur unterstreicht den Bedarf an mehr Feldstudien, um die ökologischen Folgen der EMF-Exposition auf Insekten besser zu verstehen.

**Schlussfolgerungen:**

Die Autoren unterstreichen die Bedeutung des Verständnisses der Mechanismen, durch die EMF die Biologie und das Verhalten von Insekten beeinflussen, und betonen die Notwendigkeit fortgesetzter Forschung, um die langfristigen Folgen der EMF-Exposition auf Insektenpopulationen zu bewerten. Insekten sind empfindlicher gegenüber Schadstoffen, einschließlich EMF, als Menschen. Obwohl ökologische Praktiken in Europa auf dem Vormarsch sind, werden wichtige Maßnahmen zum Schutz der Insektenpopulationen, wie das Verbot von Neonicotinoiden und die Reduzierung von Monokulturen, zu langsam umgesetzt. Es wäre hilfreich, wenn das Bewusstsein für die Notwendigkeit proaktiver Maßnahmen zur Minderung potenzieller negativer Auswirkungen künstlicher EMF auf die Biosphäre geschärft würde. (AT)

**Wirkung von UMTS-Strahlung**

## **Mobilfunkstrahlung stört Zytokinese und verursacht Zelltod, aber keine akute Chromosomenschädigung in Wangenschleimhautzellen. Eine kontrollierte Interventionsstudie am Menschen**

Kundi M, Nersesyan A, Schmid G, Hutter HP, Eibensteiner F, Misik M, Knasmülller S (2024): Mobile phone specific radiation disturbs cytokinesis and causes cell death but not acute chromosomal damage in buccal cells: Results of a controlled human intervention study. *Environmental Research* 251, 118634; <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118634>

Einige Studien am Menschen haben ergeben, dass Mobilfunkstrahlung Krebs verursachen kann, z. B. Gliome, Schwannome und wahrscheinlich auch Leukämie; die molekularen Mechanismen sind noch unbekannt. Deshalb wurde Hochfrequenzstrahlung als „möglicherweise Krebs erregend beim Menschen“ eingestuft (IARC, WHO). Studien zu Chromosomenschäden haben widersprüchliche Ergebnisse, z.B. aufgrund sehr unterschiedlicher Ansätze, oder andere basieren auf Fragebögen von Mobilfunknutzern, um die Strahlenbelastung zu beurteilen. Einer der am häufigsten benutzte Nachweis von Zellschäden ist der Mikrokern-Test an Lymphozyten oder Zellen der Wangenschleimhaut. Mikrokerne entstehen, wenn Chromosomen bzw. DNA z.B. durch Chemikalien, ionisierende oder nicht-ionisierende Strahlung geschädigt werden. Man findet dann DNA-haltige Partikel im Zytoplasma (ganze Chromosomen oder Teile davon), mögliche Anzeichen für Tumorentwicklung. Es gibt viel Kritik an vielen Studien bezüglich der Auswahl der Methoden oder der Durchführung. Die hier vorliegende Studie ist die erste mit Menschen

durchgeführte Interventionsstudie, die Chromosomenschäden und akute toxische Wirkungen unter kontrollierten Bedingungen untersuchte.

**Studiendesign und Durchführung:**

Von 42 Teilnehmern durchliefen 41 (29 Jahre  $\pm$  10 Jahre, 21 Männer, 20 Frauen) das gesamte Experiment. Die Teilnehmer sollten 3 Wochen vor Beginn und 3 Wochen nach Ende der Bestrahlung sowie während des Experiments eine Freisprechanlage benutzen. Alle Personen führten ein Tagebuch für 47 Tage mit Beginn 3 Wochen vor der Bestrahlung. Darin wurden u. a. alle Gespräche mit dem Mobiltelefon aufgezeichnet. Die Bestrahlung erfolgte über Headsets unter 4 verschiedenen Bedingungen: mit hoher und niedriger Dosis von UMTS-Signalen (1950 MHz) bestrahlt, einmal linke und einmal rechte Seite des Kopfes (20 Personen mit SAR 0,1 W/kg und 21 Personen mit SAR 1,6 W/kg, 2 Stunden täglich an 5 aufeinanderfolgenden Tagen; 2 Stunden täglich entspricht ungefähr der durchschnittlichen Nutzung des Mobiltelefons). Unmittelbar vor dem Experiment und 3 Wochen danach wurden Epithelzellen der Mundschleimhaut von beiden Wangen entnommen. Experiment und Auswertung wurden doppelblind durchgeführt. Die Auswahl, ob rechte oder linke Wange bestrahlt wird, erfolgte zufällig. Die Entnahme der Zellen 3 Wochen nach Ende des Experiments wurde gewählt, weil Mikrokerne erst nach einem Zellzyklus zu sehen sind, der bei Mundschleimhautzellen 14–21 Tage beträgt. Untersucht wurde am Ende auf Mikrokerne (Chromosomenbrüche und -verluste), Kernknospen (Genamplifikation) und zweikernige Zellen (mit 2 Kernen) lässt auf gestörte Zellteilung schließen sowie auf andere Anomalien der Zellen wie kondensiertes Chromatin, pyknotische Zellen u. a.

**Ergebnisse:**

Es gab bei beiden Feldstärken keine signifikanten Unterschiede in der Bildung von Mikrokernen und den Kernknospungen gegenüber den Ausgangswerten (beides Anzeichen für Chromosomeninstabilität, die Krebsentwicklung zur Folge haben kann, Anm. der Red.), aber bei 1,6 W/kg gab es einen signifikanten Anstieg von zweikernigen Zellen um 28 %, und karyorrhetischen Zellen um 57 % (zerfallene DNA im Zellkern) gegenüber 0,1 W/kg und von karyolytischen Zellen (Zellkernzerfall) gegenüber den Ausgangswerten. Das deutet auf gestörte Zellteilung, Auflösung des Zellkerns und Zelltod hin. Der Vergleich der Werte bezogen auf die bestrahlte Kopfseite (ipsilateral) im Vergleich zur Gegenseite (contralateral) ergab, dass an der bestrahlten Wange signifikant mehr karyolytische Zellen und Chromatinkondensation auftrat; auch zweikernige Zellen waren erhöht, aber nicht signifikant. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass in mehreren früheren Studien der Chromatinkondensation eine Schlüsselrolle bei den verschiedenen Arten von Zelltod (Apoptose und Nekrose) zugewiesen wurde. Die Beobachtung von karyorrhetischen Zellen weist auf akute Toxizität hin.

**Schlussfolgerungen:**

Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass die Einwirkung von UMTS-Mobilfunkstrahlung auf Zellen der Mundschleimhaut keine akuten Chromosomenschäden hervorruft, aber es entstehen akute Zellschäden, sichtbar vor allem an karyorrhektischen Zellen. Der signifikante Anstieg der 2-kernigen Zellen belegt gestörte Zytokinese. Es bildeten sich also Zellkernanomalien, die auf akute Zellschädigungen und gestörte Zellteilung hinweisen. Diese klaren Hinweise auf Störung des Zellzyklus und der Zytotoxizität kann auf lange Sicht Gesundheitsbeeinträchtigungen beim Menschen zur Folge haben. Die Autoren geben als Einschränkung der Studie die nur 2 Stunden dauernde tägliche Bestrahlung an (was möglicherweise bedeutet, dass längere Bestrahlung stärkere Auswirkungen haben kann, Anm. der Red.) (IW)

**Mobilfunkstrahlung und Tumorentwicklung****Wirkung von 900-MHz-Mobilfunkstrahlung auf Hodenimmunität und das Risiko für Keimzelltumoren in den Hoden**

Ok F, Emre M, Bisgin A, Jafarguliyev S, Boga I, Cetiner S, Yesyet G, Bagir E, Bayazit Y, Doran S (2024): Effect of 900 MHz radio-frequency electromagnetic radiation emitted from mobile phone on testicular immunity and the associated risk of testicular germ cell tumor. *Tumor Discovery* 3 (1): 1703; <https://doi.org/10.36922/td.1703>

Hochfrequenzstrahlung von Mobiltelefonen kann Zellschädigungen und entzündliche Veränderungen im Hoden hervorrufen, das ist vielfach belegt. Es ist aber unklar, ob es dadurch einen Zusammenhang mit der Entwicklung eines Keimzelltumors (Testicular germ cell tumor, TGCT) im Hoden kommen kann. Zytokine werden im Hoden gebildet, um die normale Funktion aufrechtzuerhalten. Unter Stressbedingungen (z. B. erhöhte ROS-Bildung) sorgen Zytokine für Entzündungsreaktionen unter Beteiligung von T-Lymphozyten. T-Lymphozyten treten in Erscheinung bei Keimzelltumoren in den Hoden, die die häufigsten Tumore bei jungen Männern darstellen, wobei Immunreaktionen ausgelöst werden. Diese Arbeit untersucht die Wirkung von Hochfrequenz auf die Genexpression von entzündlichen Zytokinen im Hoden und den möglichen Zusammenhang mit der Entwicklung von Keimzelltumoren.

**Studiendesign und Durchführung:**

2 Gruppen von je 10 männlichen Wistar-Albino-Ratten wurden 8 Wochen lang 4 Stunden täglich einem 900-MHz-Generator ausgesetzt, die Antenne war 32 cm von den Tieren ent-

fernt angebracht. Das elektrische Feld betrug 26 V/m (entspricht 1,8 W/m<sup>2</sup>, die Red.), die SAR-Werte lagen zwischen 0,008 und 0,14 W/kg; die Körpertemperatur wurde permanent gemessen. Nach Beendigung der Bestrahlung wurden die Hoden entnommen und Gewicht und Volumen bestimmt. Die histopathologischen Untersuchungen betrafen Veränderungen an Samenkanälchen, Tunica albuginea und Leydig-Zellen und ob Ödeme im Interstitium auftraten. Weitere Tests waren DNA-Analysen zu Änderungen der Genexpression von den Entzündungszytokinen (Interleukine und Interferon- $\gamma$ ) IL-1, IL-4, IL-10 TNF- $\alpha$  und IFN- $\gamma$  sowie auf apoptotische und nekrotische Zellen.

**Ergebnisse:**

Das mittlere Gewicht der Hoden der bestrahlten Tiere war signifikant geringer als bei den Kontrollen. Das mittlere Volumen der Hoden war nach Bestrahlung ebenfalls signifikant geringer (0,95 cm<sup>3</sup> vs. 1,10 cm<sup>3</sup>). Bei den bestrahlten Tieren gab es signifikant mehr Schäden an den Samenkanälchen (1,5 vs. 0,0), der Durchmesser war signifikant geringer als bei den Kontrollen (762,5  $\pm$  83,4  $\mu$ m vs. 775,7  $\pm$  37,5  $\mu$ m). Die durchschnittliche Dicke der Tunica albuginea war signifikant geringer (22,3  $\pm$  4,61  $\mu$ m vs. 87,4  $\pm$  2,67  $\mu$ m). Die Ödeme im Interstitium waren in der bestrahlten Gruppe signifikant stärker ausgeprägt als in der Kontrollgruppe. Die Anzahl der Leydigzellen war in der Kontrollgruppe höher. Bei der Genanalyse zeigte sich die Genexpression des anti-entzündlichen Zytokins IL-4 und des immunitätsfördernden Interferons IFN- $\gamma$  signifikant erhöht, um mehr als das 6-fache bzw. fast das 10-fache. Die Vitalitätsanalyse (Annenin V) ergab kaum Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (43,6 % vs. 45,7 %), demnach gab es kaum Unterschiede bezüglich der Apoptose.

Die stark erhöhten Werte der IL-4- und IFN- $\gamma$ -Konzentrationen, die beide u. a. bei Tumorentwicklung und -bekämpfung eine Rolle spielen, könnten auf einen Zusammenhang mit der Entwicklung (Initiation) von Keimzelltumoren hindeuten. Es wird angenommen, dass das Risiko für TGCT aus einer Kombination von genetischen, hormonellen und umweltbedingten Faktoren besteht. Ein umweltbedingter Faktor kann Mobilfunkstrahlung sein, da das Telefon oft in der Nähe der Hoden getragen wird.

**Schlussfolgerungen:**

900-MHz-Mobilfunkstrahlung erzeugt strukturelle, histopathologische und entzündliche Veränderungen im Hoden. Die Strahlung reduziert Gewicht und Volumen der Hoden signifikant, erhöht Schädigung der Samenkanälchen und Ödeme im Interstitium und vermindert die Dicke der Tunica albuginea. Zudem wird die Expression der Gene IL-4 und IFN- $\gamma$  gesteigert, welche potenziell mit der Entwicklung von Keimzelltumoren in Hodengewebe im Zusammenhang stehen. Diese Zytokine könnten Regulatoren für die Initiation der Keimzelltumoren darstellen. Die in dieser Studie festgestellten stark erhöhten Expressionen von IL-4 und IFN- $\gamma$ , die die Progression von Krebs beeinflussen,

gibt Aufschluss über die mögliche Beteiligung an der Entstehung von Keimzelltumoren im Hoden. Das könnte eine zusätzliche Behandlungsmöglichkeit zusammen mit den bereits vorhandenen bieten. Zukünftige Studien sollten dem nachgehen. (IW)



### EMF-Muster und spezifische Auswirkungen auf Krebszellen

## Induktion von Apoptose in B16-BL6-Melanomzellen nach Exposition mit elektromagnetischen Feldern, die interzellulären Kalziumwellen nachempfunden sind

Rain BD, Plourde Kelly AD, Lafrenie RM, Dotta BT (2024): Induction of apoptosis in B16-BL6 melanoma cells following exposure to electromagnetic fields modeled after intercellular calcium waves. FEBS Open bio. 2024 Mar;14(3):515-24. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13760>

Ein dynamisches elektromagnetisches Feld (EMF) ist ein sich ausbreitendes Kraftfeld, das zeitliche Schwankungen in Intensität und Richtung aufweist. Im Laufe des letzten Jahrhunderts wurden große Anstrengungen unternommen, um künstliche EMF zu erzeugen, die den natürlich vorkommenden EMF nachempfunden sind. Die Modellierung der Intensitäten und zeitlichen Signaturen der natürlichen EMF-Umgebung in einem künstlichen Feld ermöglicht die Erzeugung von Mustern, die von denen biologischer Systeme nicht zu unterscheiden sind. Die Kalzium-Signalübertragung ist eine Form der zellulären Kommunikation, die für die Entwicklung, Erhaltung und Ausbreitung vieler biologischer Systeme von wesentlicher Bedeutung ist. Dieser Prozess ermöglicht es benachbarten Zellen, miteinander zu kommunizieren und dem gesamten System mit seiner Umgebung zu kommunizieren. Eine der ausgeprägtesten Formen der Kalzium-Signalübertragung sind interzelluläre Kalziumwellen (ICW). Interzelluläre Kalziumwellen sind natürlich vorkommende physiologische Prozesse, die mit einem Anstieg von  $\text{Ca}^{2+}$  innerhalb einer Zelle beginnen, der sich wellenförmig auf benachbarte Zellen ausbreitet. Eine Veränderung der intrazellulären Kalziumkonzentration [ $\text{Ca}^{2+}$ ] beeinflusst die Dauer und Intensität der  $\text{Ca}^{2+}$ -Welle. Veränderungen des intrazellulären  $\text{Ca}^{2+}$  erfolgen durch die Öffnung von spannungs- und ligandengesteuerten  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanälen, die einen Fluss von  $\text{Ca}^{2+}$  durch die Plasmamembran ermöglichen, oder durch die Freisetzung von  $\text{Ca}^{2+}$  aus internen Reserven wie dem endoplasmatischen Retikulum. Spannungsgesteuerte Kalziumkanäle (VGCC) sind  $\text{Ca}^{2+}$ -durchlässige Ionenkanäle, die sich an der Plasmamembran einer Zelle befinden. Es gibt drei Hauptkategorien von VGCC: mit niedriger

Spannung aktivierte (T-Typ), mit hoher/mittlerer Spannung aktivierte (P/R-Typ) und mit hoher Spannung aktivierte (L-Typ).

Der Einstrom von  $\text{Ca}^{2+}$  durch VGCC ist von zentraler Bedeutung für die Entwicklung, die Vermehrung und die Apoptose einer Zelle; daher ist die ordnungsgemäße Funktion dieser Kanäle für die zelluläre Homöostase erforderlich. B16-BL6-Zellen (aus Mäuse-Melanomtumoren) dienen aufgrund der hohen Prävalenz von spannungsgesteuerten  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanälen vom T-Typ als geeignetes Modell für  $\text{Ca}^{2+}$ -Wellen, während HEK293-Zellen nur sehr geringe Mengen an T-Typ-Kanälen aufweisen. Frühere Studien haben die Fähigkeit spezifischer gemusterter EMF zur Beeinflussung von T-Typ-Calciumkanälen gezeigt, die mit der Hemmung der Proliferation bösartiger Zellen in Zusammenhang stehen. Die Hypothese der Autoren war, dass ein nach ICW gemustertes EMF die Zahl der lebensfähigen B16-BL6-Zellen verringern und die Apoptose fördern würde.

### Studiendesign und Durchführung:

B16-BL6- und HEK293T-Zellen wurden von der American Type Culture Collection (Manassas, VA, USA) bezogen und auf 100 mm Kulturplatten kultiviert. Für die Experimente wurden die Zellen geerntet und etwa 200 000 Zellen in eine 60-mm-Versuchsplatte gegeben und vor den Behandlungen über Nacht kultiviert. Für einige Experimente wurden die Zellen unmittelbar vor der Schein- oder EMF-Exposition mit BAY K8644, einem VGCC-Aktivator, behandelt. Die Versuchsplatten (Ca-EMF oder Sinus-EMF) wurden in der Mitte eines Feldgenerators platziert. Das EMF wurde für 40 Minuten angelegt. Nach der Exposition wurden die Zellen für 48 Stunden in den Inkubator zurückgebracht.

Das in dieser Studie verwendete Ca-EMF wurde dem physiologischen Aktivierungsmuster von Kalziumwellen in Mäusezellen nachempfunden, das etwa 23 Spannungsspitzen in einem Zeitraum von 5 Sekunden aufweist. Das Muster des EMF wurde nach einer von Hennig durchgeführten Studie modelliert, in der die intra- und interzelluläre Kalziumwellenaktivität aufgezeichnet wurde (Sequenz von 500 aufgezeichneten Punkten). Aus diesen Aufzeichnungen wurde ein Diagramm erstellt, das die relativen Amplituden der Kalziumwellenaktivität anzeigt. Das sich daraus ergebende Muster dieses Diagramms wurde verwendet, um ein EMF mit identischen Amplituden-, Frequenz- und Zeitmerkmalen wie eine natürlich vorkommende Kalziumwelle zu erzeugen. Das EMF wurde mit einem Digital-Analog-Gerät erzeugt. Alle in dieser Studie verwendeten EMF wurden mit einer Intensität von 1 Mikrotesla emittiert, was mit den Intensitäten zahlreicher biomolekularer Signalwege übereinstimmt. 48 Stunden nach der Behandlung wurden die Zellen geerntet und mit einem Standard-Neubauer-Hämozytometer und einem inversen Phasenkontrastmikroskop gezählt. Alle Zellen wurden vor der Aufnahme 15 Minuten lang mit Acridinorange und Ethidiumbromid behandelt. Die Bilder wurden mit einem inversen Zeiss Axiovert 200 M Zoom-Mikroskop unter Verwendung der Bearbeitungssoftware ZEN 3.5 Blue Edition aufgenommen.

**Ergebnisse:**

Es wurde ein signifikanter Effekt zwischen den drei Behandlungsbedingungen (kein EMF, Sinus-EMF,  $\text{Ca}^{2+}$  EMF) und der Anzahl der gezählten lebensfähigen Zellen festgestellt. Ein t-Test für unabhängige Stichproben ergab, dass die Zellen, die der  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF-Bedingung ausgesetzt waren, signifikant weniger lebensfähige Zellen aufwiesen (-50,3 %) im Vergleich zu der Bedingung ohne EMF ( $p = 0,006$ ).

Die einmalige Exposition von B16-BL6-Zellen mit Sinus-EMF für 40 Minuten erhöhte die Anzahl der lebensfähigen Zellen um 40 % im Vergleich zur Kontrolle. Bei den B16-BL6-Zellen, die den Kalziumaktivator BAY K8644 erhielten, war die Wirkung bei der EMF-Arten stark vermindert, und es gab keinen signifikanten Unterschied in der Zahl der lebensfähigen Zellen im Vergleich zur Kontrolle. Darüber hinaus gab es keine signifikanten Auswirkungen auf lebensfähige Zellen, nicht lebensfähige Zellen oder Gesamtzellen, wenn die HEK293-Zelllinie verwendet wurde. Die Zellbildung mit Acridinorange und Ethidiumbromid-Farbstoff zeigte im Vergleich zur Kontrollbedingung eine erhebliche zelluläre Apoptose, präapoptotische Zellen, Kernfragmentierung und große Abstände zwischen den Zellen unter der  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF-Bedingung.

**Schlussfolgerungen:**

Dies ist das erste bekannte Experiment, bei dem ein komplexes EMF verwendet wurde, das dem physiologischen Feuern von interzellulären Kalziumwellen nachempfunden ist. Die Ergebnisse zeigen, dass ein dynamisches, physiologisch gemustertes EMF die Vermehrung bösartiger Zellen hemmt und den Zelltod auslösen kann. Eine einzige Exposition mit dem  $\text{Ca}^{2+}$ -modellierten EMF führte zu einem signifikanten Rückgang der durchschnittlichen Anzahl lebensfähiger Zellen um 50,3 %. Der vorgeschlagene Wirkmechanismus für dieses EMF mit spezifischer Frequenz umfasst die Erhöhung der Präsenz reaktiver Sauerstoffspezies, die unterschiedliche Aktivierung zellulärer Signalkaskaden und die Induktion eines schnellen  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstroms, die alle das Zellwachstum verringern und die Apoptose auslösen sollen. Zellen, die mit dem BAY K8644-Aktivator behandelt und dem  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF ausgesetzt wurden, zeigten keine signifikante Abnahme der durchschnittlichen Anzahl lebensfähiger Zellen im Vergleich zu den Gruppen ohne EMF und BAY K8644 ohne EMF. Der Kalziumaktivator BAY K8644 ist ein spannungsabhängiger L-Typ-Kalziumkanal-Agonist, der die Permeabilität des  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanals erhöht, was zu einem kurzen  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstrom führt. Die Fähigkeit von BAY K8644, die Wirkungen von  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF zu hemmen, deutet darauf hin, dass die Wirksamkeit des Feldes in seiner Fähigkeit liegt, die kinetischen Eigenschaften von spannungsabhängigen  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanälen vom L- und T-Typ zu verändern. Außerdem ist das Ausbleiben einer Wirkung bei HEK293-Zellen von Bedeutung. Dies ist ein starkes Indiz für die Spezifität des  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF-Mechanismus. Krebs ist eine direkte Folge von Veränderungen in den Mechanismen, die für die Vermehrung und

den Tod einer Zelle verantwortlich sind. Da die  $\text{Ca}^{2+}$ -Signalübertragung für beide Prozesse entscheidend ist, kann die Bedeutung der  $\text{Ca}^{2+}$ -Flüsse innerhalb und zwischen Zellen nicht hoch genug eingeschätzt werden. Die abnorme  $\text{Ca}^{2+}$ -Signalübertragung in bösartigen Zellen erfolgt durch die Veränderung und unterschiedliche Expression von  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanälen und -Pumpen. Da die Verabreichung des Aktivators die Wirkungen des  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF unterdrückte, wird angenommen, dass das Feld durch eine Erhöhung der Durchlässigkeit der T-Typ- $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle wirkt und so einen allmählichen  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstrom über den 40-minütigen Expositionszeitraum ermöglicht. Die konkurrierende Wirkung des Aktivators BAY K 8644 könnte die normale  $\text{Ca}^{2+}$ -Signalisierung der bösartigen Zellen durch veränderte L-Typ-Kanäle fördern, während das  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF eine unregelmäßige, gestörte Signalisierung durch T-Typ-Kanäle bewirkt. Die Autoren schlagen vor, dass diese beiden konkurrierenden Wirkungen zu erheblichen Interferenzen führen, wobei die verbleibende Wirkung vernachlässigbar ist. (Die Fähigkeit von  $\text{Ca}^{2+}$ -EMF, die Vermehrung und das Überleben bösartiger Zellen zu beeinflussen, deutet darauf hin, dass die Exposition gegenüber spezifischen EMF als potenzielle Krebstherapie dienen könnte. Beachtliche mögliche medizinische oder auch militärische Anwendungsbereiche ergeben sich im Zuge des zu erwartenden Paradigmenwechsels „EMF-Signal steuert Biologie“ (Anm. der Redaktion). (AT)

**WLAN und Krebszellen****Wirkungen eines 2,4 GHz hochfrequenten elektromagnetischen Feldes auf Glioblastom-Zellen (U-118 MG)**

Nowak-Terpilowska A, Górski R, Marszałek M, Wosinski S, Przemyski R, Bugaj M, Nowosielski L, Baranowski M, Zeyland J (2023): Effects of 2.4 GHz radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) on glioblastoma cells (U-118 MG). *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*. 2023; 30(4). <https://doi.org/10.26444/aaem/176405>

Mobile Telekommunikationsgeräte wie Mobiltelefone und Wi-Fi haben sich nahtlos in die Struktur der heutigen Telekommunikation integriert. Die Verbreitung von Drahtlosnetzwerken, einschließlich Wi-Fi-Hotspots, erhöht ebenfalls das Potenzial für eine übermäßige Strahlenbelastung im hochfrequenten elektromagnetischen (HF-EMF) Spektrum. Forschungen haben erhöhte EM-Strahlungswerte in städtischen Gebieten in verschiedenen Ländern ergeben. Mobiltelefone und Wi-Fi-Basisstationen strahlen hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) aus, die das Potenzial zur Karzinogenität beim Men-

schen haben. Der erste Bericht über den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und erhöhtem Hirntumorrisiko wurde vor etwa zwanzig Jahren veröffentlicht. In der Folgezeit haben umfangreiche Forschungsarbeiten die Auswirkungen von Mobiltelefonen auf das Auftreten von bösartigen und gutartigen Hirntumoren bestätigt. Mehrere Studien haben den Zusammenhang zwischen Mobiltelefonnutzung und Ohrspeicheldrüsentumoren, Non-Hodgkin-Lymphomen, Brustkrebs und Hodenkrebs aufgezeigt. Die Entstehung von Krebszellen wird in diesem Zusammenhang auf DNA-Schäden zurückgeführt, die durch die Einwirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder entstehen. Die genauen Mechanismen, die DNA-Veränderungen als Reaktion auf HF-EMF-Exposition zugrunde liegen, sind noch nicht umfassend untersucht worden. In Anbetracht der oben genannten Bedrohungen wäre die ideale Lösung die Entwicklung eines Schirms, der so beschaffen ist, dass er diese schädlichen Felder unterdrückt. Das patentierte ADR TEX, ein Nanokomposit aus „Advanced Dielectric Radiation Trap“ (ADR) aufgetragen auf eine Textilbasis, weist eine hohe dielektrische Absorption im Niederfrequenzbereich auf, benötigt keine Erdung und schirmt auch elektromagnetische HF durch Reflexion ab. Ziel der vorgestellten *In-vitro*-Studie war es, den Einfluss von HF-EMF (Wi-Fi-Frequenz) auf normale und krebsartige menschliche Zellen zu untersuchen.

### Studiendesign und Durchführung:

Es wurden Zellkulturen der Glioblastom-Zelllinie (U-118 MG) und der humanen embryonalen Nierenzelllinie (Hek-293) gezüchtet. Die Zellen wurden unter Standardbedingungen (DMEM, F-12, Antibiotika, FBS) gezüchtet, bis sie eine Konfluenz von 80 % erreichten. Nach Erreichen der entsprechenden Konfluenz wurden die Zellsuspensionen in Multi-Well-Gefäße (96-Well-Platte, 5000 Zellen/100 µl) überführt und 24 Stunden lang inkubiert. Vor dem Experiment wurden mit dem Trifield TF2 Messungen der elektromagnetischen Strahlung im Inneren des an das Netz angeschlossenen Inkubators durchgeführt. Es stellte sich heraus, dass die Leistungsdichte im Inneren der Kammer 0,35 mW/m<sup>2</sup> betrug. Aufgrund der Erzeugung elektromagnetischer Strahlung durch den Inkubator war es notwendig, einen dielektrischen Schirm in den Kontrollkombinationen zu verwenden, um die vom Gerät erzeugten EMF zu absorbieren. Die besten Ergebnisse wurden erzielt, indem ein Dielektrikum sowohl auf der Ober- als auch auf der Unterseite der Kontroll-Zellkulturplatte angebracht wurde. Die Leistungsdichte sank dann auf nur 0,01 mW/m<sup>2</sup>. Es wurden drei EMF-Expositionsbedingungen verwendet: Kammer mit Wi-Fi (20 mW/m<sup>2</sup>); Kammer mit von unten abgeschirmtem Wi-Fi (3,5 mW/m<sup>2</sup>); Kammer ohne Wi-Fi und ohne Schirm – Abstrahlung des Inkubators selbst (0,35 mW/m<sup>2</sup>); Kontrollkammer ohne Wi-

Fi + von oben und unten abgeschirmt (0,01 mW/m<sup>2</sup>). Jede der getesteten Zelllinien (Krebszellen und normale Zellen) wurde einem elektromagnetischen Feld mit einer Frequenz von 2,4 GHz ausgesetzt, von einem speziell für diesen Zweck entwickelten Gerät. Das Experiment wurde 72 Stunden lang durchgeführt. Die Lebensfähigkeit der Zellen wurde nach 24, 48 und 72 Stunden der Inkubation gemessen. Zur Analyse der Veränderungen in der Lebensfähigkeit der Zellen wurde das CCK-8 - Cell Counting Kit - 8 (Sigma) verwendet. Nach der angegebenen Kultivierungszeit wurde das CCK-8-Reagenz zu ausgewählten Proben gegeben. Die Absorptionsmessungen wurden bei 450 nm im ELx808-Plattenlesegerät (BioTek) durchgeführt. Es wurde beschlossen, ESP-Systeme und ein Gerät zu wählen, das sowohl ein einfacher IoT-Knoten als auch ein unabhängiger, vollständig konfigurierbarer Router sein kann. Dabei handelt es sich um ein kleines Modul, das die Verbindung mit einem drahtlosen Netzwerk (z. B. Arduino) ermöglicht, das bei Technologiebegeisterten sehr beliebt ist. Für die Zwecke dieser Studie wurde die Software in der Arduino-Umgebung erstellt. Das Gerät wurde so konfiguriert, dass es sich automatisch mit dem auf dem Router konfigurierten lokalen Wi-Fi-Netzwerk verbindet.

### Ergebnisse:

Die elektromagnetische Feld-Exposition verursachte eine signifikante Abnahme der Lebensfähigkeit von U-118 MG- und Hek-293-Zellen in den folgenden Tagen, verglichen mit der Kontrollgruppe. Die größte Abnahme trat nach 72 Stunden Inkubation auf. Die Auswirkung des elektromagnetischen Feldes war im Fall der U-118 MG-Krebszellen am stärksten, und die Abnahme ihrer Überlebensfähigkeit war im Vergleich zu den gesunden (normalen) Zellen der Hek-293-Linie viel größer. Die Lebensfähigkeit nach 24-stündiger Exposition mit Wi-Fi (bei 20 oder 3,5 mW/m<sup>2</sup>) verringerte sich auf 80 % für die Hek-293-Linie und 40 % für die U-118 MG-Krebszellen, verglichen mit den Kontrollen bei 100 %. Die Lebensfähigkeit nach 72 Stunden Exposition mit Wi-Fi (20 oder 3,5 mW/m<sup>2</sup>) verringerte sich bei der Hek-293-Linie auf 60 % und bei den U-118 MG-Krebszellen auf 30 %. Die Wirkung war bei direkter Exposition mit Wi-Fi (20 mW/m<sup>2</sup>) genauso stark wie bei Abschirmung der Expositions-kammer von unten mit ADR TEX (3,5 mW/m<sup>2</sup>). Die Verwendung eines dielektrischen Schirms hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Überleben der getesteten Zellen. Es ist anzumerken, dass dieser Schirm die elektromagnetische Strahlung, die von dem an das Stromnetz angeschlossenen Zellkultur-Inkubator ausgeht, wirksam absorbiert. Die Lebensfähigkeit nach 72 Stunden Exposition im Inkubator ohne Abschirmung (0,35 mW/m<sup>2</sup>) verringerte sich bei der Hek-293-Linie auf 90 % und bei den U-118 MG-Krebszellen auf 70 %. Die Analyse der Morphologie der U118- und Hek-Zellen unter dem Einfluss

**Es hat sich gezeigt, dass elektromagnetische Felder (EMF) in vitro krebshemmend wirken und den Zellstoffwechsel beeinflussen.**



des elektromagnetischen Feldes zeigte keine Veränderungen im Vergleich zur Kontrolle. Die Morphologie war für diese Art von Zellen normal.

### Schlussfolgerungen:

Aus der Literatur geht hervor, dass elektromagnetische Strahlung nicht immer negative Auswirkungen auf den Menschen hat, auch nicht auf die Entstehung von Krebs. Es stellt sich heraus, dass sie im Gegenteil eine zerstörerische Wirkung auf Krebszellen haben kann.

Es hat sich gezeigt, dass elektromagnetische Felder (EMF) *in vitro* krebshemmend wirken und den Zellstoffwechsel beeinflussen. Die krebshemmende Wirkung des elektromagnetischen Feldes wurde auch in den *In-vitro*-Studien der Autoren festgestellt, die herausfanden, dass ein HF-EMF-Feld von 2,4 GHz die Stoffwechselaktivität von Glioblastomzellen negativ beeinflusst. Es wurde festgestellt, dass dieses elektromagnetische Feld einen signifikanten Einfluss auf die Abnahme der Lebensfähigkeit von Glioblastom-Zellen U-118 MG und Hek-293 hatte, aber die Wirkung auf Krebszellen war deutlich stärker als auf normale Zellen. Einige Forschungsergebnisse sind sehr vielversprechend und deuten darauf hin, dass der therapeutische Einsatz eines elektromagnetischen Feldes mit der geeigneten Frequenz und Amplitude eine neue, wirksame und sichere Methode zur Behandlung von Hirngliomen werden könnte. Abschließend ist zu erwähnen, dass sich vor Beginn der Untersuchungen für die vorliegende Studie herausstellte, dass der an das Stromnetz angeschlossene Zellkulturbrutschrank recht starke elektromagnetische Strahlung erzeugt (Leistungsdichte 0,35 mW/m<sup>2</sup>). Es war notwendig, die getesteten Proben in der Kontrollkombination mit einer speziellen dielektrischen Abschirmung zu schützen, die auf der ADR-Technologie basiert. Diese Untersuchung zeigte deutlich den Einfluss der Strahlung auf die Stoffwechselaktivität der getesteten Zelllinien.

Bei Untersuchungen an lebenden Organismen in Brutschränken müssen die Proben daher vor schädlicher elektromagnetischer Strahlung, die von diesem Gerät erzeugt wird, geschützt werden, da sonst die erzielten Ergebnisse unzuverlässig sind. Wenn zum Beispiel die Wirkung von Medikamenten auf die Entwicklung von Krebszellen untersucht wird, weiß man bis zum Schluss nicht, ob das elektromagnetische Feld oder der getestete Faktor den Zellstoffwechsel beeinflusst hat. Die von ADR Technology konstruierte dielektrische Abschirmung, die in den Untersuchungen verwendet wurde, schützt wirksam vor den schädlichen Auswirkungen des elektromagnetischen Feldes, das durch den Zellkultur-Inkubator erzeugt wird. (Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen die von D. Panagopoulos zuvor geäußerten Bedenken der „Kontamination“ des Laborumfelds bzw. der verwendeten Geräte mit Elektromog, was zu Problemen bei der Replikation von Befunden zwischen verschiedenen Labors und Forschergruppen führt. Anm. der Redaktion). (AT)



### WLAN-Wirkung

## Wirkung von 2,45-GHz-Mikrowellen auf das Innenohr: eine histopathologische Studie zu 2,45-GHz-Strahlung und Hörschnecke

Tahir E, Akar Karadayı A, Gürgen SG, Korunur Engiz B, Turgut A (2024): Effect of 2.45 GHz microwave radiation on the inner ear: A histopathological study on 2.45 GHz microwave radiation and cochlea. The Journal of International Advanced Otolaryngology 20 (1): 35-43. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2024.118634>

Ein Cochlea-Implantat besteht aus einem Gerät im Innenohr und einem externen Sprach-Prozessor, der Menschen mit Hörverlust das Hören über verschiedene Frequenzen (900 MHz, 1,8 und 2,45 GHz) ermöglicht. Die Funktion dieser Geräte, die direkt in das Hörorgan eingesetzt werden, wirken sich auch auf das restliche Hörvermögen aus. Es ist gut bekannt, dass Mikrowellen zelluläre und molekulare Prozesse in Lebewesen schädigen. Aufgrund der Wärmewirkung muss den spezifischen Absorptionsraten (SARs) in verschiedenen Organen wie Gehirn, Gehör, Augen, Speicheldrüsen und Haut besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Der SAR-Wert gibt die Menge an Energie an, die die thermische Wirkung der Mikrowellenstrahlung im Gewebe erzeugt. Auch in menschlichen Cochlea-Implantaten kommt es nach SAR-Modellrechnungen zu Erwärmungen. Außer der Wärmewirkung können auch Zellteilung und DNA-Replikation über unklare nicht-thermische Mechanismen beeinträchtigt werden. Man hat biologische Wirkungen zwischen 915 und 2450 MHz entdeckt, die als auditorischer Effekt von Mikrowellen bezeichnet werden. Mobiltelefone und Bluetooth-Kopfhörer werden oft viele Stunden täglich nah am Ohr positioniert, deshalb ist es zwingend erforderlich, die schädliche Wirkung der Mikrowellenstrahlung auf das Hörorgan zu untersuchen, besonders das empfindliche Corti-Organ im Ohr. Im Corti-Organ werden mechanische Schwingungen in elektrische Pulse umgewandelt. Diese Studie untersuchte die dosisabhängige Wirkung elektrischer Felder von WLAN-Strahlung niedriger Dosis auf Ratten, vom ersten Tag der Trächtigkeit, 21 Tage im Mutterleib bis 45 Tage nach der Geburt. Histologische Untersuchungen sind die zuverlässigsten Wege zur Bestimmung der schädlichen Wirkungen von Mikrowellen auf die Hörschnecke. Es wurde gezeigt, dass Caspasen wichtige Regulatoren bei der Apoptose (programmierter Zelltod) sind, und dass Mikrowellen in Hirnzellen Apoptose über die klassische Mitochondrien-abhängige Caspase-3 auslösen. Mit der TUNEL-Methode können DNA-Strangbrüche im letzten Schritt der Apoptose identifiziert werden.

### Studiendesign und Durchführung:

12 trächtige Ratten und anschließend ihre neugeborenen männlichen Nachkommen wurden WLAN-Frequenz (2,45 GHz) verschiedener elektrischer Feldstärken ausgesetzt. Die Kon-

trollgruppe erhielt keine Feldbelastung. Für die histologischen Untersuchungen wurden 6 Gruppen gebildet: je Gruppe 2 trächtige Tiere und 5-7 männliche Nachkommen. Die elektrischen Feldstärken betragen 0,6 V/m, 1,9 V/m, 5 V/m, 10 V/m und 15 V/m und die SAR-Werte am Innenohr 0,325 mW/kg, 0,4 mW/kg, 2,3 mW/kg, 12 mW/kg und 32 mW/kg. Die elektrischen und magnetischen Feldstärken in der Umgebung reichten von 0,001–0,18 V/m und von 0,0011–0,095 A/m. Vom Zeitraum der 21-tägigen Trächtigkeit über den Tag der Geburt bis 45 Tage nach der Geburt erfolgte die Bestrahlung der Neugeborenen 1 Stunde täglich. Trommelfell und äußerer Gehörgang wurden unmittelbar nach der Bestrahlung mikroskopisch untersucht, Tiere mit Trommelfellperforation und akuten Ohrentzündungen wurden ausgeschlossen. Die Hirnstamm-Reaktion (Hörschwelle) wurde vor Beginn und unmittelbar nach der Bestrahlung ipsi- und contralateral gemessen. Am Ende der 45 Tage nach der Geburt wurde das Gewebe des Hörorgans entnommen und zu histologischen und immunohistochemischen Untersuchungen aufbereitet (Paraffineinbettung, TUNEL-Test für die Apoptoserate, DNA-Fragmentierung mit Caspase-3 und -9). Alle Auswertungen führten 2 Personen verblindet durch.

### Ergebnisse:

Es gab keine signifikanten Unterschiede der Hörschwellen zwischen vor und nach der Bestrahlung bei den Gruppen Kontrolle, 0,6 V/m, 1,9 V/m und 5 V/m, aber signifikante Unterschiede bei 10 V/m und 15 V/m nach Bestrahlung. Vor der Bestrahlung gab es keine signifikanten Unterschiede in der Hörschwelle, das zeigt, dass die Hörschwellen homogen sind. Nach Bestrahlung gab es signifikante Unterschiede ab 5 V/m und darüber. Die Reaktion des Hirnstamms zeigt, dass die Schwelle nach der Bestrahlung ab Dosis 5 V/m signifikant zunahm und bei 10 und 15 V/m Signifikanz erreicht. Mit Zunahme des elektrischen Feldes erhöhten sich dosis-abhängig auch DNA-Schädigung und Apoptose.

### Schlussfolgerungen:

2,45-GHz-WLAN-Strahlung steigert die Expression von Caspase-3 und Caspase-9 im Corti-Organ. Caspase-3 und Caspase-9 wurden gewählt, weil die beiden Enzyme den Verlauf der Apoptose wiedergeben. Apoptoserate und Immunaktivität in der Hörschnecke steigen dosis-abhängig an, selbst bei niedriger Dosis schädigt die 2,45-GHz-Strahlung das Innenohr und erzeugt Apoptose. Mit anderen Worten: WLAN-Strahlung schädigt das Hörorgan. Direkte Ursachen für Gehörschädigungen sind Entzündungen im Corti-Organ und Apoptose. Diese Studie hat keine direkte klinische Bedeutung, weitere Studien sollten folgen. (IW)



### Wirkung von 2,45-GHz-HF in vitro

## Die Befeldung mit 2,45-GHz-Hochfrequenz induziert unterschiedliche zelluläre Reaktionen in neuronenähnlichen Zellen und mononukleären Zellen des peripheren Blutes

Bertuccio MP, Aciri G, Ientile R, Caccamo D, Currò M (2023): The Exposure to 2.45 GHz Electromagnetic Radiation Induced Different Cell Responses in Neuron-like Cells and Peripheral Blood Mononuclear Cells. *Biomedicines*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/biomedicines11123129>

Eine Reihe von Studien, welche die Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die menschliche Gesundheit untersuchten, stellten Zusammenhänge zwischen Hochfrequenz und dem Auftreten verschiedener Krankheiten, wie Hirntumore, Kinderleukämie, männlicher Unfruchtbarkeit und neurodegenerativer Erkrankungen fest. Oxidativer Stress wird als ein Hauptfaktor angesehen, wie Hochfrequenz gesundheitsschädlich auf biologische Systeme wirken kann. Dementsprechend kann eine Hochfrequenzwirkung die Zunahme freier Radikale sein, welche Lipidperoxidation und die Beeinträchtigung antioxidativer Schutzmechanismen zur Folge hat. In Anbetracht der Korrelation zwischen Hochfrequenz und neurodegenerativen Erkrankungen entschieden sich die Autoren der vorliegenden Publikation neuronenähnliche SH-SY5Y-Zellen zu untersuchen. Außerdem wurden periphere mononukleäre Blutzellen (PBMC, z.B. Lymphozyten und Monozyten) analysiert, da das periphere Blut, aufgrund seiner exponierten Lage direkt unter der Haut, besonders von elektromagnetischen Feldern betroffen ist. Im Fokus der Studie lag die Auswirkung von 2,45-GHz-Befeldung auf die mitochondriale Funktionalität, da Mitochondrien eine Hauptquelle reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) und gleichzeitig stark von deren schädlichen Wirkungen betroffen sind.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Wissenschaftler befeldeten sowohl die SH-SY5Y-Zelllinie als auch die PBMC-Zellen über 2h, 24h und 48h in vitro mit 2,45 GHz und  $1,8 \pm 0,05$  V/m. Es wurde keine Veränderung der Proben temperatur gemessen. Die Kontrollen wurden scheinbefeldet. Im Anschluss wurde die Überlebensfähigkeit der Zellen (MTT-Assay), ROS (DCF-Assay), das mitochondriale Transmembranpotenzial ( $\Delta\Psi_m$ , Rhodamin 123) sowie das NAD<sup>+</sup>/NADH-Verhältnis bestimmt. Außerdem erfolgte eine Überprüfung der Transkription auf mRNA-Ebene der Gene mtTFA (Regulator der Menge mitochondrialer DNA), SOD1 (antioxidatives Schutzenzym Superoxid-Dismutase), LC3 (Autophagie-Marker) sowie BAX und BCL2 (Apoptose-Marker) mittels quantitativer „real-time“ PCR.

**Ergebnisse:**

Die Wissenschaftler beobachteten eine zeitabhängige Verringerung der Lebensfähigkeit der exponierten Zellen im Vergleich zu den schein-befeldeten Kontrollen. Die Analyse der Autophagie- bzw. Apoptose-Marker zeigte eine Aktivierung des Autophagie-Signalweges in den PBMC, während bei den SH-SY5Y-Zellen pro-apoptotische Ereignisse beobachtet wurden. Die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies war zu allen drei Zeitpunkten signifikant erhöht, allerdings wurde über die Zeit ein rückläufiger Trend beobachtet. Das mitochondriale Potenzial war in beiden Zelltypen nach 2 und 24 h signifikant vermindert, nach 48 h jedoch nur noch in den PBMC. Auch das Verhältnis von NAD<sup>+</sup>/NADH nahm im Vergleich zu den schein-befeldeten Zellen ab, wobei nur nach 2 und 24 h signifikante Werte erzielt wurden. Die SOD1-Transkription war nach 48-stündiger Befeldung in den SH-SY5Y-Zellen signifikant verringert, bei dem PBMC wurde keine signifikante Veränderung festgestellt. Bei mtTFA wurde ein zunehmender Trend festgestellt, der bei PBMC nach 48 h und bei SH-SY5Y nach 24 h statistisch signifikante Werte erzielte. Nach 48 h war die Menge an mtTFA-Transkript in den SH-SY5Y-Zellen jedoch signifikant vermindert.

**Schlussfolgerungen:**

Die Ergebnisse der Publikation weisen auf eine schädliche Wirkung der 2,45-GHz-Hochfrequenz bei einer niedrigen Feldstärke von 1,8 V/m hin. Die Abnahme der Zelllebensfähigkeit scheint bei den neuronähnlichen SH-SY5Y-Zellen durch Apoptose, bei den PBMC, welche eine zentrale Rolle bei der Immunantwort spielen, durch Autophagie verursacht. Der abnehmende Trend der gesteigerten ROS-Produktion könnte durch eine kompensatorische Wirkung von antioxidativen Schutzmechanismen erklärt werden. Die damit einhergehende Beeinträchtigung des mitochondrialen Potenzials sowie des NAD<sup>+</sup>/NADH-Stoffwechsels weisen auf eine Beeinträchtigung der Elektronentransportkette und des oxidativen Metabolismus hin. In Bezug auf die zwischen den Zelltypen unterschiedlichen Veränderungen der mtTFA und SOD1-Transkription verweisen die Autoren auf eine möglicherweise unterschiedliche Widerstandsfähigkeit der Zelltypen gegenüber den induzierten Stressfaktoren (oxidativer Stress,  $\Delta\Psi_m$ ). (RH)

**WHO-Review bestätigt negative HF-Wirkung auf männliche Fruchtbarkeit**

## **Auswirkungen von Hochfrequenzbefeldung auf die männliche Fruchtbarkeit: Eine systematische Übersicht experimenteller Studien an nicht-menschlichen Säugetieren und menschlichen Spermien in vitro**

Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C, Sciortino M, Villani P, Brinkworth MH, Chen G, McNamee JP, Wood AW, Belackova L, Verbeek J, Pacchierotti F (2024): Effects of radio-frequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure on male fertility: A systematic review of experimental studies on non-human mammals and human sperm in vitro. *Environment International*, 185, 108509. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108509>

Die Weltgesundheitsorganisation WHO koordiniert ein internationales Projekt, welches darauf abzielt, Hinweise auf mögliche gesundheitsschädliche Auswirkungen von Hochfrequenzbefeldung zu überprüfen. Auswirkungen auf die Gesundheit des Fortpflanzungssystems wurden als vorrangig zu behandeln kategorisiert. Bei der Spermatogenese handelt es sich um einen streng regulierten Prozess, der empfindlich auf chemische und physikalische Einflüsse reagiert. Der zumindest temporäre Trend der Verschlechterung menschlicher Spermienqualität in westlichen Ländern wurde als besorgniserregend eingestuft. Aus diesem Grund sind prospektive Untersuchungen zum besseren Verständnis der räumzeitlichen Verbreitung und zugrundeliegenden Umweltfaktoren in den Fokus gerückt. Es ist bekannt, dass Erwärmung die Spermatogenese beeinträchtigen kann, aber ob Hochfrequenz eine biologische Wirkung über einen hyperthermischen Effekt hinaus besitzt, ist noch umstritten. Die vorliegende Studie hat es sich zum Ziel gesetzt folgende zwei Fragen zu beantworten: 1) Welche Wirkung hat Hochfrequenzbefeldung auf die männliche Fruchtbarkeit nicht-menschlicher Säugetiere? 2) Welche Wirkung hat Hochfrequenzbefeldung auf in vitro exponierte, menschliche Spermien?

**Studiendesign und Durchführung:**

Die Autoren analysierten „peer-reviewte“, kontrollierte experimentelle Studien, welche in einer der drei Datenbanken NCBI Pubmed, Scopus und EMF Portal veröffentlicht wurden. Sowohl bei den Tier- als auch *In-vitro*-Versuchen wurden lediglich Studien einbezogen, die entweder schein-befeldete oder gleichtemperierte Kontrollen verwendeten. Ausschlusskriterien für die Tierversuchstudien beinhalteten unter anderem Co-Exposition von Hochfrequenz und anderen Agenzien, unzureichende Befeldungscharakterisierung (z.B. nicht-GSM-Mobiltelefone als Befeldungsquelle, wenn die Feldparameter nicht zusätzlich gemessen

oder berechnet wurden) und unzureichende Daten zur Ergebnisbewertung (z.B. qualitative, nicht-quantitative toxische Auswirkungen und als unzulässig erklärte Methoden oder als ungültig erklärte Endpunkte, wie Auswirkungen auf antioxidative Schutzenzyme bzw. Lipidperoxidation als Marker für oxidativen Stress. Auch genotoxische Wirkungen auf Hodenzellen wurden als nicht relevant für die Bewertung der männlichen Fruchtbarkeit angesehen). Als Ausschlusskriterien für die *In-vitro*-Studien an menschlichen Spermien galten unter anderem Studien an nicht-menschlichen Spermien oder anderen Zelltypen und unzureichende Befeldungscharakterisierung (siehe oben).

Von insgesamt 1335 identifizierten Tierstudien wurden 117 Veröffentlichungen in der Übersichtsarbeit analysiert. 76 Studien wurden in Ratten, 38 in Mäusen und jeweils eine Studie in Hamstern, Meerschweinchen und Kaninchen durchgeführt. Die Studien wurden zwischen 1962 und 2022 veröffentlicht. Von 869 *In-vitro*-Studien an menschlichen Spermien wurden 10 in der Übersichtsarbeit berücksichtigt. 3 der 10 Studien beinhalteten Auswirkungen auf Spermien weniger fruchtbarer Spender, der Rest untersuchte die Hochfrequenzwirkung auf die Spermien fertiler Spender. Die *In-vitro*-Studien wurden zwischen 1980 und 2016 veröffentlicht.

Die Autoren betrachteten 4 Aspekte als relevant für die Bewertung der männlichen Fruchtbarkeit anhand von Tierversuchen: i) Verringerung der Fruchtbarkeit, ii) Auswirkungen auf die Spermienqualität, bewertet anhand von WHO-Kriterien oder anderen Biomarkern iii) toxische Wirkung auf die Fortpflanzungsorgane, iv) hormonelle Auswirkungen anhand des Testosteronspiegels (Wirkungen auf andere Hormone wurden als nicht relevant angesehen, Anm. d. Redaktion). Als zuverlässige Indikatoren für die menschliche Spermienqualität wurden die WHO-Parameter für Spermienqualität sowie DNA- bzw. Chromatinveränderungen angesehen. Außerdem wurden Subgruppenanalysen zur Bewertung der Datenheterogenität sowie eine Dosis-Wirkungs-Analyse angefertigt. Die Autoren führten eine Bewertung des Verzerrungsrisikos (Risk of Bias) sowie der Zuverlässigkeit (Certainty assessment) durch. Unabhängig vom allgemeinen Verzerrungsrisiko wurde zusätzlich eine Bewertung der Publikationsverzerrung (Reporting bias) vorgenommen. In der statistischen Auswertung wurden nur Studien berücksichtigt, deren Verzerrungsrisiko als gering oder moderat bewertet wurde.

### **Ergebnisse:**

Zunächst wurden die 117 Tierstudien analysiert. Bezüglich des i) Aspektes, Verringerung der Fruchtbarkeit, wurden drei Endpunkte bewertet: 1) Rate der unfruchtbaren Männchen, 2) Anzahl der nicht-trächtigen Weibchen im Verhältnis zur Gesamtzahl der verpaarten Weibchen und 3) Wurfgröße. Bei dem zweiten Endpunkt wies die Meta-Analyse auf eine statistisch signifikante Auswirkung der Hochfrequenz auf die männliche Fruchtbarkeit hin. Eine Befeldung männlicher Exemplare mit

mehr als 5 W/kg führte zu einer signifikant verminderten Trächtigkeitsrate. Nach Befeldung wurden signifikant weniger weibliche Tiere trächtig als ihre Kontrollen. Die Rate der unfruchtbaren Männchen sowie die Wurfgröße waren nach Befeldung nicht signifikant verändert. Bezüglich des ii) Aspektes, Auswirkungen auf die Spermienqualität erfolgte eine Auswertung der 1) Spermienanzahl, 2) Spermienmorphologie, 3) Spermiovitalität und 4) Veränderungen der Spermien DNA/des Chromatins. Alle vier Kriterien wiesen auf eine statistisch signifikante schädigende Wirkung der Hochfrequenz auf die Spermienqualität hin. Bei der Überprüfung der iii) toxischen Wirkung auf die Fortpflanzungsorgane wurden 1) Gewicht der Hoden und Nebenhoden 2) Histomorphometrie der Hoden 3) Histologie der Hoden und Nebenhoden 4) Zellsterben im Hodengewebe 5) Spermienproduktion im Hoden analysiert.

Die statistische Auswertung zeigte wiederum eine signifikante schädigende Wirkung der Hochfrequenz bei allen fünf ausgewerteten Endpunkten. Die Überprüfung des Testosteronspiegels zeigte signifikante Verminderung als Konsequenz der Hochfrequenzbefeldung. Bei den *In-vitro*-Studien an menschlichen Spermien wurden Morphologie, Vitalität und DNA/Chromatin-Veränderungen ausgewertet, wobei sowohl Morphologie als auch Vitalität statistisch signifikante Verschlechterungen nach Befeldung aufwiesen. Es wurden keine Hinweise auf signifikante Veränderungen der DNA- bzw. Chromatinintegrität gefunden. Bei der Bewertung der Zuverlässigkeit (Certainty assessment) nach GRADE-Ansatz wurde, in Abhängigkeit davon, welche Kriterien erfüllt wurden, eine Herabsetzung auf mäßig, gering oder sehr gering vorgenommen. Obwohl eine Dosis-Wirkungs-Beziehung in der Übersichtsarbeit untersucht wurde, war der einzige Faktor, der zu einer Höherstufung der Zuverlässigkeit führte, eine Konsistenz zwischen verschiedenen Spezies. Zu einer Herabstufung führte unter anderem ein moderates Verzerrungsrisiko, Publikationsverzerrung und Inkonsistenz zwischen den Studien. Nach der Herabstufung der Evidenz durch die Zuverlässigkeitsbewertung ergibt sich eine moderate Sicherheit, dass Hochfrequenzbefeldung die Schwangerschaftsrate reduziert. Außerdem existiert eine moderate Sicherheit, dass die Wurfgröße nicht negativ durch die Hochfrequenz beeinflusst wird. Mit geringer Sicherheit wird die Evidenz bewertet, dass die Hochfrequenzbelastung die Spermienzahl verringert. Bei allen anderen Ergebnissen der Tier- und *In-vitro*-Studien wird die Sicherheit als sehr gering angegeben.

### **Schlussfolgerungen:**

Diese von der WHO in Auftrag gegebene und mitfinanzierte Übersichtsarbeit weist darauf hin, dass Hochfrequenzbefeldung negative Auswirkungen auf die männliche Fruchtbarkeit besitzt. Im Gegensatz zu Verminderung der Trächtigkeitsrate, welche erst bei 5 W/kg statistisch signifikant wird und damit thermische Wirkungen nicht auszuschließen sind, ist der Abnahme der Spermienzahl SAR-Wert unabhängig signifikant. In Anbetracht

dessen, dass die männliche Fruchtbarkeit in westlichen Ländern abnimmt, sollten die Ergebnisse dieser Meta-Analyse von politischen Entscheidungsträgern beachtet werden. (Unter allen analysierten Endpunkten wird lediglich bei der Wurfgröße statistisch signifikant kein Zusammenhang zur Hochfrequenzbelastung beschrieben. Das lässt den Umkehrschluss zu, dass die restlichen Kriterien weiterhin im Verdacht stehen, die männliche Fruchtbarkeit einzuschränken. Dies sollte aufgrund des geltenden Vorsorgeprinzips ausreichen, um ein verantwortungsbewusstes Handeln von Entscheidungsträgern anzuregen, Anm. d. Redaktion). Verstärkend kommt hinzu, dass die Bewertung der Zuverlässigkeit äußerst stringent durchgeführt wurde. Viele Studien wurden aufgrund unzureichender Expositionscharakterisierung aus der Übersichtsarbeit ausgeschlossen, und ein großer Teil der einbezogenen Studien wurde aus ähnlichen Gründen als „moderat“ oder „hoch“ für ein Verzerrungsrisiko eingestuft. (Ob diese Einstufung immer sinnvoll ist, ist in Anbetracht verschiedener Ausschlusskriterien durchaus zu diskutieren. Warum nicht-GSM-Mobiltelefone eine gesonderte Dosimetrie erfordern, obwohl diese uns abseits von Laboren ubiquitär begegnen, könnte als fraglich bewertet werden. Ebenso könnte kritisch betrachtet werden, warum keine Studien einbezogen wurden, welche oxidativen Stress anhand von Lipidperoxidation und Erschöpfung antioxidativer Schutzenzyme untersuchen, zumal oxidativer Stress mechanistisch eine Verminderung der Fruchtbarkeit erklären könnte. Anm. d. Redaktion). (RH)



## **EMF-Muster und spezifische Auswirkungen**

### **Neuritenwachstum und elektrische Aktivität in PC-12-Zellen: Auswirkungen von H3-Rezeptor-inspirierten elektromagnetischen Feldern und inhärenten Schumann-Frequenzen**

Lefebvre LM, Plourde-Kelly AD, Saroka KS, Dotta BT (2024): Neurite Growth and Electrical Activity in PC-12 Cells: Effects of H3 Receptor-Inspired Electromagnetic Fields and Inherent Schumann Frequencies. *Biophysica*. 2024 Feb 7;4(1):74-82. <https://doi.org/10.3390/biophysica4010005>

Die Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) auf Zellen sind vielfältig und variieren je nach Art des EMF. Es wurde nachgewiesen, dass zelluläre Prozesse wie Apoptose, Zellregulation und Zellproliferation durch ein externes EMF beeinflusst werden. Neuere Forschungen haben auch untersucht, wie spezifische elektromagnetische Umgebungen die Geweberegeneration und Wundheilung durch Modulation von

Zellwachstum und -differenzierung verbessern können. Hier wollten die Autoren herausfinden, ob physiologisch gemusterte EMF die Wachstumsprozesse von PC-12-Zellen der Ratte in vitro fördern können. PC-12-Zellen werden aufgrund ihrer Fähigkeit, sich in neuronähnliche Zellen zu differenzieren, häufig in der neurowissenschaftlichen und zellbiologischen Forschung eingesetzt. Die Forschungsgruppe der Autoren hat zuvor gezeigt, dass die Anwendung von physiologisch gemusterten EMF das Wachstum von Neuriten in PC-12-Zellen in vitro induzieren kann. In Bezug auf Wachsein und Erregung wurde der tuberomammilläre Kern (TMN) des hinteren Hypothalamus aufgrund der Anwesenheit histaminerner Neuronen mit der Bewerkstelligung dieser Funktionen in Verbindung gebracht. Es wurde bereits wiederholt gezeigt, dass die Regulierung von Schlaf und Wachsein stark von den H1- und H3-Rezeptoren des TMN beeinflusst wird. Die Stimulierung des H1-Rezeptors führt zu Wachsein und die Blockierung des Rezeptors fördert den Schlaf, während die Blockierung des H3-Rezeptors zu verstärktem Wachsein führt. Obwohl es einige Hinweise darauf gibt, dass EMF zur Beeinflussung kortikaler Schaltkreise eingesetzt werden können, gibt es in diesem Bereich noch viel zu erforschen.

Dies gilt auch für die Frage, ob EMF Wirkungen auf spezifische subkortikale Rezeptoren, wie den H3-Rezeptor, einwirken können. Mehrere Studien haben das Vorhandensein des H3-Rezeptors in PC-12-Zellen der Ratte nachgewiesen, was sie zu einem geeigneten Modell für diese Studie macht. In diesem Experiment entwickelten die Autoren einen neuartigen EMF-Typ, der auf dem H3-Rezeptor basiert, und setzten PC-12-Zellen diesem physiologisch gemusterten EMF oder einem Sinuswellen-EMF aus, während sie gleichzeitig elektrophysiologische Messungen an den Zellen aufzeichneten. Die Verbindung zwischen Histamin, EMF und Neuritenwachstum steht im Mittelpunkt dieses Projekts. In diesem Experiment wollten die Autoren herausfinden, ob physiologisch gemusterte EMF (nach dem Vorbild des H3-Rezeptors) einen Einfluss auf das Neuritenwachstum haben und ob eine inhärente elektrische Aktivität auf die Differenzierung von PC-12-Zellen hinweist.

#### **Studiendesign und Durchführung:**

Für die Kultivierung von PC-12-Zellbeständen wurde ein RPMI-1640-Medium verwendet. Das Muster des EMF basierte auf der Aminosäuresequenz des Histamin-3-Rezeptors, die 445 Aminosäuren lang ist. Jede Aminosäure der Sequenz wurde dem entsprechenden Pseudopotenzial der Elektronen-Wechselwirkung (EIP-Wert) zugeordnet, wie in der Arbeit von Irena Cosic gezeigt. Das heißt, die Aminosäuresequenz wird in eine numerische Sequenz oder Melodie verwandelt. Die numerische Sequenz wird anschließend mithilfe der diskreten Fourier-Transformation (DFT) in den Frequenzbereich transformiert und ergibt das EMF-Muster, das eine komprimierte Form der ursprünglichen Sequenz darstellt. Je zwei Kulturplatten mit Zellen (pro Versuchsbedingung) wur-

den übereinander gestapelt und in der Mitte eines mit isoliertem Kupferdraht umwickelten Plastikbehälters – einer speziell angefertigten Helmholtz-Spule – platziert. Das Expositionsgerät wurde dann an einen Computer (Zenith) angeschlossen, wo das EMF-Muster gespeichert wurde. Wenn der Computer das EMF-Muster abspielt, überträgt er das elektrische Muster an das Expositionsgerät, was dazu führt, dass ein entsprechendes Magnetfeld mit einer Stärke von etwa  $1 \mu\text{T}$  emittiert wird. Die Expositionszeit betrug 40 Minuten, danach wurden die Zellen sofort wieder in den Inkubatoren gelagert. Jeder Punkt auf dem EMF-Muster war ein Wert zwischen 0 und 255 mV, der mit einem speziell angefertigten Digital-Analog-Wandler in Werte zwischen -5 und +5 mV umgerechnet wurde. Am zweiten Tag nach der EMF-Exposition wurde jede der Platten (Gesamtanzahl von  $n = 24$ ) mit einem Phasenkontrastmikroskop bei 100-facher Vergrößerung analysiert. Gezählt wurde die Anzahl der Zellen und ob die Zellen 0, 1 oder 2 und mehr Neuritenfortsätze aufwiesen. Darüber hinaus wurden elektrophysiologische Messungen der Zellen durchgeführt. Diese Messung fand zwei Tage nach der EMF-Exposition statt. Zwei Sätze von Kupferdrähten wurden um die Platten von Kontroll-, Sinus- oder H3-Gruppen gewickelt, wobei der zweite Draht nur mit einer Platte mit Medium geerdet war. Jeder Draht war mit einem Verstärker verbunden, der über USB mit einem Laptop verbunden war. Der Laptop überwachte dann die elektrophysiologische Aktivität der Zellen und des Mediums. Die spektrale Leistungsdichte („spectral power density“, SPD) wurde dann für jede Gruppe für Frequenzen zwischen 1 Hz und 128 Hz quantifiziert.

### Ergebnisse:

Die Spektralanalyse ergab, dass von den 128 untersuchten Frequenzen ( $n = 18$ ) nur eine mit dem Neuritenwachstum korreliert war: 71 Hz. Die Korrelation betrug  $R = 0,365$ . Anschließend wurde eine schrittweise multiple Regression durchgeführt, und die Ergebnisse zeigten eine starke Korrelation ( $R = 0,542$ ) zwischen dem vorhergesagten Prozentsatz der Zellen mit Neuriten und dem tatsächlichen Prozentsatz der Zellen mit Neuriten in der Schale, wenn zwei Frequenzen zusammen verwendet wurden: 71 Hz und 7,8 Hz. T-Tests zum Vergleich der spektralen Leistungsdichte bei bestimmten Frequenzen (z. B. 29 Hz, 30 Hz und 79 Hz) zwischen der H3-EMF- (+0,4 durchschnittlich), der Sinuswellen- (etwa 0) und der Kontrollgruppe (-0,3) zeigten eine signifikant höhere SPD in der H3-Gruppe im Vergleich zur Kontrolle ( $p < 0,050$ ).

Die elektrophysiologischen Daten für die Kontrollgruppe waren über alle 128 gemessenen Frequenzen hinweg recht kon-

sistent und zeigten in erster Linie eine konstant niedrige SPD. Die Daten der Sinuswellen-Gruppe blieben ebenfalls konsistent und zeigten typischerweise SPD-Werte, die um die Basislinie herum zirkulierten. Schließlich zeigte die H3-Gruppe auch signifikant höhere SPD-Werte über die drei oben genannten Frequenzen, was darauf hinweist, dass das H3-Rezeptor-modellierte EMF signifikant mehr zelluläre Aktivität bei 29,3 Hz, 30,3 Hz und 79,1 Hz hervorrief.

### Schlussfolgerungen:

Die präsentierten Daten zeigen zwei Hauptmerkmale: Die elektrische Aktivität der Zellen innerhalb bestimmter Frequenzbänder ist erhöht, wenn sie physiologisch gemusterten EMF ausgesetzt sind, und die Bildung von Neuriten aus diesen

Zellen korreliert mit den aufgezeichneten Werten von 71 Hz und 7,8 Hz.

Die Bedeutung der 71-Hz-Frequenz ist noch nicht vollständig geklärt; dennoch haben Studien zur Untersuchung von Bewusstseinsstörungen verblüffende Ergebnisse erbracht. Zhuang und Kollegen wiesen nach, dass die

Stimulation des Rückenmarks mit 70 Hz bei Patienten im Wachkoma eine positive EEG-Reaktion auslöste. Die Frequenz von 7,8 Hz deckt sich mit der Grundfrequenz der Schumann-Resonanz. In Anbetracht der Natur elektromagnetischer Felder und ihrer nachgewiesenen Wechselwirkung nicht nur mit Zellkulturen, sondern auch mit unserem Gehirn, könnte dies eine wichtige Erkenntnis sein, die darauf hindeutet, dass die Bildung und das Wachstum von Neuriten durch das Magnetfeld der Erde beeinflusst werden könnte. In Bezug auf dieses neuartige H3-EMF wurde nachgewiesen, dass höhere kortikale Rhythmen zwischen 20 und 60 Hz durch bestimmte pharmazeutische inverse Agonisten des H3-Rezeptors verstärkt werden können. Dies erklärt möglicherweise die erhöhte zelluläre Aktivität, die das H3-EMF bei diesen drei Frequenzen erzeugt, was darauf hindeutet, dass dieses EMF-Muster eine ähnliche inverse agonistische Wirkung auf die Rezeptoren haben könnte. Hier wurde eine Korrelation zwischen dem Prozentsatz der Zellen, die Neuriten aufweisen, und den direkt an diesen Zellen gemessenen Werten von 7,8 Hz und 71 Hz nachgewiesen. Die Einbeziehung der 71-Hz-Frequenz könnte auf eine Verbindung zur neuronalen Konnektivität oder sogar zum Bewusstsein im zentralen Nervensystem hinweisen. Letztendlich unterstützt die Studie die Vorstellung, dass entsprechend schwache EMFs die Entwicklung von Zellsystemen beeinflussen können. Die Gesamtergebnisse unterstützen die Idee, dass die elektrischen Frequenzprofile von sich entwickelnden Zellsystemen als Indikator für deren Fortschritt und die letztendlichen zellulären Ergebnisse dienen können. (AT)

## Die Studie unterstützt die Vorstellung, dass entsprechend schwache EMFs die Entwicklung von Zellsystemen beeinflussen können.



### Auswirkung von 5G auf die Darmflora

## Auswirkungen von 5G-Hochfrequenz auf das fäkale Mikrobiom- und Metabolomprofil bei Mäusen

Wang X, Zhou G, Lin J, Qin T, Du J, Guo L, Lai P, Jing Y, Zhang Z, Zhou Y, Ding G (2024): Effects of radiofrequency field from 5G communication on fecal microbiome and metabolome profiles in mice. *Scientific Reports*, 14(1), 1-11. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-53842-2>

Die Einführung von 5G-Kommunikationsgeräten, die momentan im Bereich bis 6 GHz operieren, hat dazu geführt, dass mögliche gesundheitsschädliche Wirkungen in den Fokus der Öffentlichkeit gerückt sind. Eine Reihe von Studien berichten von potenziell schädlichen Wirkungen von Mobilfunk, es existieren jedoch wenig biologische Studien zu Frequenzen jenseits der 4 GHz. Die Darmflora spielt eine wichtige Rolle für die menschliche Gesundheit. Zahlreiche Publikationen konnten demonstrieren, dass die Darmflora nicht nur gastrointestinale Funktionen, sondern auch die Physiologie des zentralen Nervensystems und damit das Verhalten beeinflussen kann. Die Autoren der vorliegenden Studie beschrieben in der jüngeren Vergangenheit, dass 4,9-GHz-Hochfrequenzbefeldung (eine häufig genutzte Frequenz bei 5G) imstande war, depressionsähnliches Verhalten in Mäusen auszulösen. Die im Folgenden vorgestellte Studie untersuchte die Auswirkung von 4,9-GHz-Hochfrequenz auf das Mikrobiom- und Metabolomprofil im Mäusekot, um Rückschlüsse auf die Folgen von 5G-Mobilfunk auf die Interaktion zwischen Wirt und Darmflora ziehen zu können.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Wissenschaftler befeldeten 9-wöchige Mäuse ( $n = 8$ ) mit einer Frequenz von 4,9 GHz und einer durchschnittlichen Leistungsdichte von  $50 \pm 2,5 \text{ W/m}^2$ , über einen Zeitraum von 21 Tagen 1 h pro Tag (Laut den Autoren wurde diese relativ hohe Leistungsdichte nach der IEEE/ICES-Norm C95.1 für Personen in beschränkt zugänglichen Arealen gewählt. Im Vergleich dazu liegen die Werte, die laut BfS bei 5G-Mobilfunksendeanlagen nicht überschritten werden sollen, bei  $10 \text{ W/m}^2$ , Anm. d. Redaktion). Nach der letzten Befeldung wurden Kotproben gesammelt und anschließend mikrobiell und metabolomisch untersucht. Um die Vielfalt des Darmbioms zu bestimmen, wurde über die Chao- und Shannon-Indizes die Alpha-Diversität bestimmt. Außerdem wurde eine Hauptkomponentenanalyse der gewichteten Bray-Curtis-Dissimilarität zur Erfassung der Beta-Diversität durchgeführt. Das Mikrobiom wurde mittels 16S-rRNA-Sequenzierung analysiert. Die Quantifizierung der Metabolite wurde mittels Hochdurchsatz-Flüssigkeitschromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung durchgeführt. Die bioinformatische Untersuchung wurde auf der Majorbio Cloud Plattform durchgeführt.

### Ergebnisse:

Es wurde eine Abnahme der Alpha-Diversität des Darmbioms in den Kotproben befeldeter Mäuse festgestellt, die jedoch keine statistische Signifikanz erreichte. Die Bestimmung der Beta-Diversität zeigte jedoch eine unterschiedliche Zusammensetzung der mikrobiellen Darmflora zwischen befeldeter und schein-befeldeter Gruppe. Auf der Phylum-Ebene sind „Firmicutes“ und „Bacteroidetes“ die dominierenden Mikroben der Maus-Darmflora. „Bacteroidetes“ waren im Kot der Schein-Gruppe signifikant angereichert, während „Firmicutes“ bei der befeldeten Gruppe signifikant überrepräsentiert waren. Das Verhältnis von „Bacteroidetes“ zu „Firmicutes“ war nach Befeldung signifikant verändert. Ein Kladogramm wies ebenfalls auf Unterschiede der phylogenetischen Verteilung des Mikrobioms zwischen Schein- und befeldeter Gruppe hin. Auch die Untersuchung auf der Gattungsebene wies signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen auf. Insgesamt lassen die Resultate auf eine veränderte Zusammensetzung der Darmflora nach Befeldung schließen. Über einen Metabolomik-Ansatz wurden 141 herunterregulierte und 117 hochregulierte Metaboliten in der befeldeten Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe identifiziert, 57 davon konnten einem funktionellen KEGG-Stoffwechselweg zugeordnet werden. Die KEGG-Analyse zeigte, dass die unterschiedlichen Metaboliten signifikant im Arginin-/Prolinstoffwechsel, Tryptophan-Stoffwechsel und Pyrimidin-Stoffwechsel angereichert waren. Eine Korrelationsanalyse zeigte eine signifikante Übereinstimmung zwischen veränderten Metaboliten und Mikroben.

### Schlussfolgerungen:

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die 4,9-GHz-Befeldung zu signifikanten, korrelierenden Veränderungen der Darmflora und des metabolischen Profils bei Mäusen geführt hat. Die Funktionen von Mikroorganismen des menschlichen Verdauungstraktes beinhalten Stoffwechsel, Verdauung, Absorption der Nährstoffe und Immunregulierung, um physiologische Körperfunktionen aufrechtzuerhalten. Die veränderten Metaboliten sind in Aminosäure-Stoffwechselwegen angereichert, welche unter anderem Auswirkungen auf physiologische Funktionen des Gehirns besitzen können. So ist beispielsweise verringerte NAAG (N-Acetylaspartylglutaminsäure) mit kognitiven Defiziten bei Patienten mit neurodegenerativen Erkrankungen assoziiert. Tryptophan ist der einzige Grundstoff für den Neurotransmitter Serotonin. Zum jetzigen Zeitpunkt vermuten die Autoren jedoch lediglich einen Zusammenhang zwischen gestörtem Darmmikrobiom, Stoffwechsel und depressionsähnlichem Verhalten, was die Arbeitsgruppe in einer früheren Studie über 4,9-GHz-Auswirkungen beobachtet hatte. Sie hypothesieren, dass das Ungleichgewicht des Stoffwechselprofils mit veränderter Immunregulation bzw. entzündlichen Prozessen zusammenhängen könnte, weitere Studien seien jedoch notwendig. (RH)



## THz-Wirkung in vitro

# Die biologischen Auswirkungen von Terahertzwellen-induzierten Schädigungen neuronaler Stammzellen

Wang Y, Xiong Y, Chen M, Liu F, He H, Ma Q, Gao P, Xiang G, Zhang L (2023): The biological effects of terahertz wave radiation-induced injury on neural stem cells. *IScience*, 26(10), 107418. <https://doi.org/10.1016/j.isci.2023.107418>

Bei Terahertz (THz)-Wellen handelt es sich um elektromagnetische Wellen mit einer Wellenlänge von 30 bis 3000  $\mu\text{m}$  und einer Frequenz von 0,1 bis 10 THz. In den letzten Jahren wurde eine Vielzahl von Anwendungen der THz-Technologie in verschiedenen Bereichen entwickelt, einschließlich Biologie, Medizin, Militär bzw. Sicherheitskontrollen, zerstörungsfreie Materialprüfung, Kommunikation und Datenübertragung. Ein Anwendungsbeispiel ist das kontaktlose Scanning bei Sicherheitskontrollen. Mit wachsenden Ansprüchen an Bandbreite und Datenkapazität ist die Nutzung von THz-Technologie im Zuge einer 6G-Entwicklung angedacht (D-Band, 0,1 – 0,17 THz). Die Erforschung biologischer Auswirkungen von THz-Feldern bildet die Grundlage und Voraussetzung für eine adäquate Bewertung der Sicherheit der THz-Technologien. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass THz-Felder den physiologischen Zustand von Zellen verändern können, inklusive Stressreaktion und Zellteilung. Eine abnormale Zusammensetzung des Spindelapparates und eine Fehlsegregation von Chromosomen wurden beobachtet, ebenso wie Hinweise auf DNA-Schädigungen. Da Stammzellen empfindlich gegenüber Umwelteinflüssen sind, können diese als ein geeignetes Modell für die Erforschung der THz-Wirkung auf biologische Systeme angesehen werden. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkung von 0,22-THz-Wellen auf murine neuronale Stammzellen (mNSZ) und humane neuronale Stammzellen (hNSZ).

### Studiendesign und Durchführung:

Die mNSZ bzw. hNSZ wurden mit 25  $\text{mW}/\text{cm}^2$  oder 50  $\text{mW}/\text{cm}^2$  über 5 oder 10 Minuten bei einer Frequenz von 0,22 THz befeldet. Die Kontrollzellen erfuhren die gleiche Prozedur, wurden jedoch nicht befeldet. Mittels Durchflusszytometrie wurden Zellteilung und Apoptose der NSZ analysiert. Die Bestimmung von DNA-Schäden erfolgte immunohistochemisch ( $\gamma\text{H2A.X}$ ).


### Ergebnisse:

Im Vergleich zu den Kontrollen führte sowohl bei den mNSZ als auch den hNSZ die Befeldung mit 25  $\text{mW}/\text{cm}^2$  zu einer signifikanten Verringerung der Zellproliferation, wobei eine Dosis-Wirkungs-Beziehung festgestellt wurde. Die 10-minütige Befeldung führte zu einer stärkeren Beeinträchtigung der Proliferation als die 5-minütige. Selbst im Vergleich zur 5-minütigen Befeldung führte die 10-minütige zu einer signifikanten Reduk-

tion der Zellteilung. Ein ähnliches Bild zeigte sich bei der höheren Feldintensität 50  $\text{mW}/\text{cm}^2$ . Es wurde eine signifikante zeitabhängige Verminderung der Zellproliferation beobachtet, wobei im Vergleich zwischen 5- und 10-minütiger Befeldung ebenfalls eine signifikante Abnahme der Zellteilung stattfand. Im Vergleich der beiden Intensitäten bei 5-minütiger Befeldungsdauer führte sowohl bei den mNSZ als auch den hNSZ die höhere Dosis zu signifikant weniger Zellproliferation. Im Vergleich 25  $\text{mW}/\text{cm}^2$  (10 min) und 50  $\text{mW}/\text{cm}^2$  (10 min) wurde bei hNSZ, nicht jedoch den mNSZ eine statistisch signifikante Abnahme der Zellteilung dokumentiert. Insgesamt zeigten die hNSZ im Vergleich zu den mNSZ eine geringere Proliferationsrate.

### Schlussfolgerungen:

Die Resultate der Studie weisen darauf hin, dass THz-Befeldung die Physiologie neuronaler Stammzellen stören kann, was zu einer Hemmung der Zellteilung sowie erhöhten DNA-Schäden und Apoptose führt. Darüber hinaus wurde eine Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen den gesundheitsschädigenden Wirkungen der THz-Befeldung, insbesondere über die Befeldungsdauer festgestellt. Die Auswirkungen auf humane neuronale Stammzellen waren gravierender als die auf murine neuronale Stammzellen. Dies deutet darauf hin, dass es notwendig ist, zumindest *In-vitro*-Experimente an menschlichen Zellen durchzuführen, um humanspezifische Wirkungen untersuchen zu können. (RH)



Alle Ausgaben des ElektrosmogReport von 1995 – 2024 und die Register finden Sie online auf [www.EMFdata.org](http://www.EMFdata.org)

### Adressen für weitere Informationen

- > Diagnose-Funk e.V. - Umwelt und Verbraucherorganisation zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e.V., Deutschland: [www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org), [kontakt@diagnose-funk.de](mailto:kontakt@diagnose-funk.de)
- > Microwave News, USA: [www.microwavenews.com](http://www.microwavenews.com), [louis@microwavenews.com](mailto:louis@microwavenews.com)
- > Prof. Joel Moskowitz, Director of the Center for Family and Community Health at the School of Public Health, Berkeley (USA), EMF-Homepage: <https://www.saferemr.com/>
- > Prof. Devra Davis (USA): <https://ehtrust.org/>, [info@ehtrust.org](mailto:info@ehtrust.org)
- > Prof. Igor Belyaev, Biomedical Research Center of the Slovak Academy of Science, Department of Radiobiology: <https://kurzelinks.de/jmi4>
- > Blog von Prof. Dariusz Leszczynski (Finnland): [www.between-rockandhardplace.wordpress.com](http://www.between-rockandhardplace.wordpress.com)

### Datenbanken

[www.emfdata.org](http://www.emfdata.org) / [www.emf-portal.de](http://www.emf-portal.de) / [www.orsaa.org](http://www.orsaa.org)