

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit



## HF während der Schwangerschaft schädigt nachhaltig Schäden an männlichen Fortpflanzungs- organen und Zellen nach pränataler Befeldung mit 3,5 GHz: Auswirkungen ein Jahr nach Geburt

Gelenli Dolanbay E, Mert T, Caliskan Bender G, Bektas H, Uslu U, Fernandez-Rodriguez CE, Dasdag S (2025). Male reproductive and cellular damage after prenatal 3.5 GHz radiation exposure: One-year postnatal effects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1554(1), 140–152. <https://doi.org/10.1111/nyas.70116>

Frühere Studien weisen auf einen Zusammenhang zwischen hochfrequenter Befeldung und verminderter Spermienqualität und Beweglichkeit sowie erhöhtem oxidativem Stress im Hodengewebe hin (1). Der BioInitiative Report (2012) betonte, dass Hochfrequenz epigenetische Veränderungen auslösen, DNA-Reparaturmechanismen stören und neue Mutationen induzieren kann, was die männliche Fruchtbarkeit einschränken kann. Es ist jedoch weitestgehend unerforscht, inwiefern eine Befeldung des männlichen Embryos das Fortpflanzungssystem beeinflusst. Die vorliegende Arbeit adressiert eine hoch relevante Lücke in der Literatur: mögliche persistente Schäden nach ausschließlich pränataler Hochfrequenzbefeldung und daraus resultierende Beeinträchtigungen der Spermatogenese im Erwachsenenalter.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Wissenschaftler befeldeten trächtige Wistar-Ratten entweder während der gesamten Trächtigkeit (3 Wochen; 3T) oder

### Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 01/2026, 32. 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. 52601

### Redaktion ElektrosmogReport

Roman Heeren (RH), M.Sc. | Alain Thill (AT), M.Sc.

### 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 > HF während der Schwangerschaft schädigt nachhaltig

---

- 03 > Pränatale Mobilfunkbefeldung: Schlechtere Prognose nach Sauerstoffmangel

---

- 04 > Linalool: Schutz vor pränatalen HF-Schäden

---

- 05 > Q10 schützt vor HF-induzierten Fruchtbarkeitsschäden

---

- 06 > WLAN schädigt generationenübergreifend

---

- 07 > Auswirkungen von 3,6 GHz auf Insekten

---

- 09 > Mobilfunk verändert Hirnaktivität

---

- 10 > Mobiltelefone und Brustkrebs

---

- 11 > Schilddrüsenkrebs und Verwendung von Mobilfunk

---

- 12 > Resonanzfrequenzen: Antivirale EMF?

---

- 13 > EMF und Vögel

---

- 14 > Industrie im Konflikt mit Wissenschaft

---

während der letzten zwei Wochen (2T) der Trächtigkeit 2 h pro Tag mit 3,5 GHz-GSM-Mobilfunk. Die gemessenen Feldstärken innerhalb des Käfigs betragen zwischen 24 V/m und 28 V/m, die Leistungsdichten zwischen 1,53 W/m<sup>2</sup> und 2 W/m<sup>2</sup>, die daraus resultierende maximale SAR, gemittelt über 10 g, betrug 0,038 W/kg. Die Kontrollen wurden scheinbefeldet. Nach Geburt wurden jeweils 6 männliche Nachkommen zufällig ausgewählt und bis zum Erwachsenenalter (12 Monate) ohne weitere Befeldung gehalten. Die Exposition erfolgte also lediglich in utero. Es folgten histologische (Johnson-Score, Durchmesser der Samenkanälchen sowie Epithelhöhe) und immunohistochemische (Marker für DNA-Doppelstrangbrüche, Autophagie und Apoptose) Analysen der Hoden sowie eine spermilogische Untersuchung der Nebenhoden. Die histologischen und immunohistochemischen Bewertungen wurden verblindet durchgeführt. Der statistische ANOVA-Test wurde mittels Holm-Bonferroni korrigiert.

### Ergebnisse:

Die histologischen Untersuchungen zeigten signifikante morphologische Veränderungen beider intrauterin-befeldeter Nachkommen im Vergleich zur scheinbefeldeten Kontrolle. Durchmesser der Hodenkanälchen, Höhe des Epithels und Johnson-Score waren reduziert. Während die Spermien mit physiologischer Morphologie bei der scheinbefeldeten Gruppe im erwarteten Bereich (74 %) lagen, war die Anzahl der gesunden Spermien bei den befeldeten Gruppen reduziert. Die Apoptose-Marker (TUNEL und apoptotischer Index) waren im Hodengewebe massiv erhöht. Auch der Marker für DNA-Doppelstrangbrüche  $\gamma$ -H2AX war statistisch signifikant gesteigert. Der Autophagie-Indikator Beclin-1 war bei der 3T-Gruppe statistisch signifikant gesteigert.

### Schlussfolgerungen:

Die pränatale Befeldung mit 3,5-GHz-Mobilfunk unterhalb internationaler Grenzwerte kann persistente strukturelle und zelluläre Veränderungen des testikulären Gewebes, Beeinträchtigungen der Spermatogenese, DNA-Schäden, erhöhte Autophagie und Apoptose hervorrufen, die bei den Nachkommen bis ins Erwachsenenalter bestehen bleiben. Obwohl die Befeldung der Versuchstiere lediglich intrauterin erfolgte, erholt sich das Gewebe nicht von den hervorgerufenen Schädigungen. Dies weist darauf hin, dass Mobilfunk während der kritischen Phase der Embryonalentwicklung ein erhebliches Risiko für die männliche Fruchtbarkeit darstellen kann. Die Autoren weisen darauf hin, dass es sich bei den morphologischen Veränderungen der Spermien wahrscheinlich nicht um Artefakte handelt, da die physiologische Spermienmorphologie bei den Kontrolltieren im erwarteten Bereich liegt (2). Des Weiteren vergleichen sie ihre Ergebnisse mit relevanten Studien der Vergangenheit und stellen fest, dass fast alle beobachteten gesundheitsschädigenden Wirkungen bereits beschrieben wurden (3–6). (Die meisten dieser Studien wurden in vergangenen Ausgaben des Elektrosmog-Reports rezensiert, Anm. d. Redaktion).

### Anmerkungen der Redaktion:

Die Studie besticht durch ihr klares Studiendesign (pränatale Befeldung), hohe Relevanz (Langzeit-Schäden), validierte Expositionsmessung, multimodale Endpunktanalyse und hohe wissenschaftliche Standards (Verblindung, Randomisierung, umfassende Statistik). Besonders besorgniserregend ist die Tatsache, dass die beschriebenen Langzeitschäden von chronischer Exposition mit niedrigen Feldstärken hervorgerufen werden, denen wir im alltäglichen Leben ausgesetzt sind. Die Untersuchung funktioneller Fruchtbarkeitsdaten, wie z.B. Spermienmotilität und weiterer molekularer Marker, die Rückschlüsse auf zugrundeliegende Mechanismen zulassen, wären wünschenswert gewesen. Insbesondere oxidative Stressmarker sind hier zu nennen, da die Autoren oxidativen Stress als Ursache der sterilisierenden Hochfrequenzwirkung diskutieren. (RH)

1. Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C et al. (2024). Effects of radiofrequency 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>
2. van der Horst G, Skosana B, Legendre A, Oyeyipo P, du Plessis SS (2018). Cut-off values for normal sperm morphology and toxicology for automated analysis of rat sperm morphology and morphometry. *Biotechnic & Histochemistry*, 93(1), 49–58. <https://doi.org/10.1080/10520295.2017.1380842>
3. Özgen M, Take G, Kaplanoğlu İ, Erdoğan D, Seymen C M (2023). Therapeutic effects of melatonin in long-term exposure to 2100 MHz radiofrequency radiation on rat sperm characteristics. *Revista Internacional de Andrologia*, 21(4), 100371. <https://doi.org/10.1016/j.androl.2023.100371>
4. Shahin NN, El-Nabarawy NA, Gouda AS, Mégarbane B (2019). The protective role of spermine against male reproductive aberrations induced by exposure to electromagnetic field – An experimental investigation in the rat. *Toxicology and Applied Pharmacology*, 370, 117–130. <https://doi.org/10.1016/j.taap.2019.03.009>
5. Li R, Ma M, Li L, Zhao L, Zhang T, Gao X et al. (2018). The protective effect of autophagy on DNA damage in mouse spermatocyte-derived cells exposed to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic fields. *Cellular Physiology and Biochemistry*, 48(1), 29–41. <https://doi.org/10.1159/000491660>
6. Xing F, Zhan Q, He Y, Cui J, He S, Wang G (2016). 1800MHz microwave induces p53 and p53-mediated caspase-3 activation leading to cell apoptosis in vitro. *PLoS One*, 11(9), e0163935. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163935>



## **HF verschlechtert die Prognose nach Sauerstoffmangel Auswirkungen pränataler Mobilfunkbe- feldung auf die MMP9-Expression: Fol- gen für entzündliche Prozesse, oxidati- ven Stress und sensorisch-motorische Beeinträchtigungen nach neonataler Hypoxie-Ischämie bei Ratten**

Khayat S, Fanaei H, Lakzaee N (2023). Effects of prenatal mobile phone radiation exposure on MMP9 expression: Implications for inflammation, oxidative stress, and sensory-motor impairment after neonatal hypoxia-ischemia in rats. *Toxicology Reports*, 11, 378–384. <https://doi.org/10.1016/j.toxrep.2023.10.007>

Die biologischen Wirkungen nicht-ionisierender Mobilfunkstrahlung sind aufgrund der ubiquitären Nutzung von großem Interesse. Die neonatale Hypoxie-Ischämie (unzureichende Versorgung des Gehirns mit Sauerstoff und Blut) ist die häufigste Ursache für Tod und Hirnschäden von Neugeborenen. Je nach Grad der neonatalen Hypoxie-Ischämie (HI) können langfristige Behinderungen wie Zerebralparese, geistige Behinderung, kognitive und motorische Störungen die Folge sein. (Bei milden Verläufen kann sich das Neugeborene jedoch auch normal entwickeln, Anm. d. Red.). Die Mangelversorgung des Gehirns führt zu einer Kaskade von Ereignissen wie Inflammation, oxidativem Stress und Energieversagen, die zu einer Hirnschädigung beitragen. Matrix-Metalloproteasen (MMP) spielen eine entscheidende Rolle in der Pathophysiologie der neonatalen HI. Während der Ereignisse kann eine Hochregulierung der MMP zu einer erhöhten Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke führen, was inflammatorischen Zellen und Molekülen Einlass zum Gehirn gewährt und die Kondition verschlimmert. Die vorgestellte Studie untersucht, ob pränatale Mobilfunk-Befeldung die Bildung von MMP moduliert und dadurch das Ausmaß der Hirnschädigungen beeinflusst.

### **Studiendesign und Durchführung:**

Zwanzig trächtige Wistar-Ratten wurden randomisiert in zwei Gruppen unterteilt: Sham-Befeldung und Befeldung. Als Befeldungsquelle diente ein Mobilfunkfrequenz-Simulator mit 900 MHz und einer nominellen Ausgangsleistung von 2 W/kg; die maximal gemessene Leistungsdichte betrug 0,45 mW/m<sup>2</sup> in 20 cm Abstand zur Sendeantenne. Die Versuchstiere wurden während der gesamten Trächtigkeit 12 h/Tag befeldet. Unmittelbar nach dem Wurf wurden die männlichen Nachkommen in vier Versuchsgruppen unterteilt (n = 20). Sham (Operation ohne Verletzung der rechten Halsschlagader), Exp (Befeldung + OP ohne Verletzung der Halsschlagader), HI (Induktion von Hypoxie durch Verschluss der rechten Halsschlagader), HI/Exp (Befeldung + Induktion von Hypoxie durch Verschluss der rech-

ten Halsschlagader). 15 Tage nach Geburt wurden neurobehaviorale Tests durchgeführt (Klippenvermeidungstest, Negativer Geotaxis-Test). Anschließend erfolgten Entnahme und Analyse der Gehirne der Rattenjungen. Die Wissenschaftler bewerteten Infarktvolume und zerebrale Ödeme, Expression von MMP-2 und MMP-9 mRNA (RT-qPCR), TNF- $\alpha$  sowie oxidative und antioxidative Kapazität (TOC/TAC). Die statistische Analyse erfolgte mittels Bonferroni-korrigiertem ANOVA.

### **Ergebnisse:**

Alle molekularbiologischen Marker (MMPs, TNF- $\alpha$ , TOC/TAC) unterschieden sich nicht signifikant zwischen Sham- und Exp-Gruppe. Im Gegensatz dazu waren die Unterschiede zwischen HI- und HI/Exp-Gruppe bei allen Markern bis auf MMP-2 statistisch signifikant. Auch bei den neurobehavioralen Tests, Infarktvolume und zerebralen Ödemen war die Kombination von HI und Befeldung im Vergleich zu lediglich HI, mit einem statistisch signifikant schlechteren Ergebnis verbunden: Infarktgröße und zerebrales Ödem waren gesteigert, während in den Verhaltens- bzw. sensomotorischen Tests schlechtere Leistungen erbracht wurden. Die exponierten Tiere ohne HI zeigten hierbei keine auffälligen Veränderungen.

### **Schlussfolgerungen:**

Die Daten der Publikation legen nahe, dass eine pränatale Mobilfunkbelastung mit einer schlechteren Prognose bei einer hypoxisch-ischämischen Enzephalopathie assoziiert ist. Es wurde in der Literatur beschrieben, dass eine unphysiologische Veränderung der MMP-9-Expression, wie sie auch hier beobachtet wird, irreparable neuronale Schäden hervorrufen kann (1,2). Mit den Daten der vorliegenden Studie übereinstimmend wurde in einer in vitro-Studie beschrieben, dass Mobilfunk in der Lage ist, die Expression von MMPs zu modulieren (3). Die Autoren stellen die Hypothese auf, dass die intrauterine Mobilfunkbefeldung im Kontext der HI zu einer erhöhten MMP-9-Expression führte, welche wiederum die Integrität der Blut-Hirn-Schranke schädigte. Dies führe zu Immunezellinfiltration, oxidativem Stress und proinflammatorischen Zytokinen, was wiederum die ischämische Schädigung und das zerebrale Ödem begünstige.

### **Anmerkungen der Redaktion:**

Zu den Stärken der vorgestellten Arbeit zählen das relevante Design mit angemessener Stichprobengröße (pränatale Exposition, Untersuchung der häufigsten neonatalen Todesursache), multiple biochemische und morphologische Endpunkte sowie verknüpfte neurobehaviorale Tests. Limitationen umfassen die Quantifizierung der absorbierten Dosis im Embryo, wobei insgesamt eine geringe Leistungsdichte gemessen wurde, und das Fehlen von Langzeitdaten. (RH)

1. Reinhard S M, Razak K, Ethell IM (2015). A delicate balance: role of MMP-9 in brain development and pathophysiology of neuro-

developmental disorders. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, 9, 280. <https://doi.org/10.3389/fncel.2015.00280>

2. Salah MM, Abdelmawla MA, Eid SR, Hasanin RM, Mostafa EA, Abdelhameed MW (2019). Role of Matrix Metalloproteinase-9 in Neonatal Hypoxic-Ischemic Encephalopathy. *Open Access Macedonian Journal of Medical Sciences*, 7(13), 2114-2118. <https://doi.org/10.3889/oamjms.2019.618>
3. Azimipour F, Zavareh S, Lashkarbolouki T (2020). The effect of radiation emitted by cell phone on the gelatinolytic activity of matrix metalloproteinase-2 and -9 of mouse pre-antral follicles during in vitro culture. *Cell Journal*, 22(1), 1-8. <https://doi.org/10.22074/cellj.2020.6548>



### Schutz vor pränatalen HF-Schäden

## Mütterliche Linalool-Gabe schützt vor Mobilfunk-induzierten Schädigungen jugendlicher Ratten: Eine Verhaltens- und elektrophysiologische Studie

Azimzadeh M, Noorbakhshnia M (2024). Maternal linalool treatment protects against radiofrequency wave-induced deteriorations in adolescent rats: A behavioral and electrophysiological study. *Scientific Reports*, 14(1), 17257. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68103-5>

Die pränatale Periode ist eine kritische Phase der Gehirnentwicklung und potenziell besonders anfällig gegenüber exogenen Stressfaktoren wie Mobilfunkstrahlung. Zahlreiche Studien geben Hinweise darauf, dass Mobilfunk Angstverhalten, kognitive Defizite, Störungen der Kalzium-Homöostase und eine erhöhte Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke hervorrufen kann. Die Blut-Liquor-Schranke und die Liquor-Gehirn-Schranke regulieren über komplexe Mechanismen das Gleichgewicht von Spurenelementen im Gehirn. Kupfer (Cu), Mangan (Mn), Eisen (Fe) und Zink (Zn) sind dabei von besonderer Bedeutung für eine physiologische Funktion und Entwicklung des Gehirns. Sie regulieren u.a. Genexpression, wirken als Enzymaktivatoren und schützen vor der Bildung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS). Eine Störung der Homöostase dieser Spurenelemente kann zu neurodegenerativen Erkrankungen wie Alzheimer oder Parkinson führen. Das in ätherischen Ölen natürlich vorkommende Monoterpen Linalool wird in der Naturheilkunde verwendet. Ihm wird eine antioxidative, entzündungshemmende und anxiolytische Wirksamkeit zugeschrieben. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkung von intrauteriner Mobilfunkbefeldung auf jugendliche Ratten und eine mögliche protektive Wirkung von Linalool.

### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 20 trächtige weibliche Ratten zufällig in 4 Gruppen eingeteilt (n = 5): 1. Kontroll-Gruppe (Saline) 2. Linalool-Gruppe (25 mg/kg Linalool) 3. befeldete Gruppe (Befeldung + Saline) 4. Befeldet + Linalool-Gruppe (Befeldung + 25 mg/kg Linalool).

Als Befeldungsquelle diente ein kommerzielles 900-MHz-GSM-Mobiltelefon (Nokia 1616) mit folgenden Herstellerangaben: SAR-Wert 1,19 W/kg (Kopf) bzw. 0,32 W/kg (Ganzkörper). Die tägliche Befeldungsdauer während der gesamten Trächtigkeit (21 Tage) betrug 1 h 40 min. Die Mobilfunkstrahlung wurde durch 100 verpasste Anrufe pro Tag erzeugt, das Mobiltelefon in 20 cm Abstand von den Käfigen platziert. 3 bis 5 Nachkommen pro Muttertier bildeten geschlechtsgetrennte Kohorten (n = 10) für die nachfolgenden Analysen. Am Tag 50 nach Geburt wurden Verhaltenstests (Elevated-Plus-Maze, Morris-Water-Maze, Light-Box-Dark-Box), am Tag 60 nach Geburt elektrophysiologische Tests an Neuronen des Gehirns durchgeführt. Hierbei wurden die Erregbarkeit (Input/Output-Protokoll) und die Langzeitpotenzierung (100-Hz-Stimulierung von Schaffer-Kollaterale) von Hippocampus-Neuronen untersucht. Im Anschluss erfolgte eine Quantifizierung der Spurenelemente Cu, Mn, Fe und Zn im Hippocampus. Die statistische Auswertung erfolgte durch ANOVA mit geeigneten Post-hoc-Tests. Alle Untersuchungen wurden geschlechtsspezifisch durchgeführt.

### Ergebnisse:

Bei den neurobehavioralen Tests zeigten die pränatal befeldeten Nachkommen (Gruppe 3) im Vergleich zur Kontrollgruppe (Gruppe 1) statistisch signifikante Veränderungen. Sowohl männliche als auch weibliche Tiere zeigten angstähnliche Verhaltensweisen, verschlechtertes räumliches Lernen und verschlechterte Gedächtnisleistungen. Weibliche Tiere waren davon stärker betroffen als männliche Tiere. Die maternale Linalool-Behandlung konnte diese schädliche Mobilfunkwirkung stark abschwächen, vielfach sogar auf das Niveau der unbefeldeten Kontrolltiere bringen. Die elektrophysiologischen Untersuchungen zeigten eine signifikant verschlechterte Erregbarkeit der Hippocampus-Neuronen, einhergehend mit einer mangelhaften Induktion und Aufrechterhaltung von Langzeitpotenzierung von Gruppe 3 im Vergleich zur Gruppe 1. Es wurden keine Unterschiede zwischen den Geschlechtern dokumentiert. Wiederum führte die maternale Verabreichung von Linalool zu einer wesentlichen Verbesserung des elektrophysiologischen Befundes auf das Niveau der Kontrollgruppe. Die hippocampale Homöostase der untersuchten Spurenelemente war statistisch signifikant gestört: Fe, Cu, Mn und das Cu/Zn-Verhältnis waren signifikant gesteigert, während Zn signifikant vermindert war. Mit Ausnahme von Zn wurde durch die mütterliche Linalool-Behandlung die Homöostase wiederhergestellt. Dadurch verbesserte sich auch das Cu/Zn-Verhältnis signifikant.

### Schlussfolgerungen:

Die pränatale Exposition mit einem kommerziellen Mobiltelefon kann im Rattenmodell substantielle, persistierende,

geschlechtsübergreifende Schäden verursachen. Diese Schäden beinhalten verschlechterte neuronale Erregbarkeit und synaptische Plastizität, übereinstimmend mit gestörtem Verhalten und verschlechterten kognitiven Leistungen. Die Autoren vermuten entweder oxidativen Stress oder eine erhöhte Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke als Grund für die veränderte Spurenelement-Homöostase. Das Cu/Zn-Verhältnis wird als Marker für Inflammation und oxidativen Stress genutzt. Die dokumentierte neuroprotektive Wirkung von Linalool könnte laut den Autoren, mit den antioxidativen Eigenschaften oder der Steigerung der synaptischen Plastizität zusammenhängen.

### Anmerkungen der Redaktion:

Die multimodale Auslegung der Studie (neurobehavioral, elektrophysiologisch, biochemisch) und die geschlechtsspezifische Analyse führen zu einer hohen Aussagekraft. Die beobachteten schädlichen Mobilfunkwirkungen werden durch frühere Studien in verschiedenen Spezies bestätigt (1–3). Es erfolgte zwar keine dosimetrische Überprüfung der Mobilfunkstrahlung, doch da sie durch ein kommerzielles Mobiltelefon hervorgerufen wurde, welches internationale Grenzwerte unterschreitet, handelt es sich um ein realitätsnahes Befeldungsszenario. Aufgrund der Schlichtheit der Befeldungsparameter ist eine Reproduktionsmöglichkeit ohne Weiteres gegeben. (RH)

1. Deniz ÖG, Kaplan S (2022). The effects of different herbals on the rat hippocampus exposed to electromagnetic field for one hour during the prenatal period. *Journal of Chemical Neuroanatomy*, 119, 102043. <https://doi.org/10.1016/j.jchemneu.2021.102043>
2. Qin TZ, Wang X, Du JZ, Lin JJ, Xue YZ, Guo L et al. (2024). Effects of radiofrequency field from 5G communications on the spatial memory and emotionality in mice. *International Journal of Environmental Health Research*, 34(1), 316–327. <https://doi.org/10.1080/09603123.2022.2149708>
3. Dasgupta S, Wang G, Simonich MT, Zhang T, Truong L, Liu H et al. (2020). Impacts of high dose 3.5 GHz cellphone radiofrequency on zebrafish embryonic development. *PLoS One*, 15(7), e0235869. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235869>



## Q10 schützt vor HF-induzierten Fruchtbarkeitsschäden Die protektive Wirkung von Coenzym Q10 bei durch HF-Befeldung induzierten Hoden- und Oxidationsschäden in einem 3,5-GHz-Expositionsmodell

Bektas H, Yildirim S, Cakir S, Dogu S, Altindag F (2026). Ameliorative role of coenzyme Q10 in RF radiation-associated testicular and oxidative impairments in a 3.5-GHz exposure model. *Bioelectromagnetics*, 47(1), e70043. <https://doi.org/10.1002/bem.70043>

In zahlreichen Studien wurde gezeigt, dass hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF), z.B. von drahtlosen Kommunikationsgeräten, auf zellulärer Ebene oxidative Stressreaktionen auslösen können. Mobilfunk könnte mit Ionenkanälen und Rezeptoren auf der Zellmembran interagieren, was zu einer erhöhten Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) führt und gleichzeitig die antioxidative Abwehr hemmt. Coenzym Q10 spielt eine Schlüsselrolle beim Elektronentransport in den Mitochondrien und ist für die ATP-Produktion unerlässlich. Es wirkt auch als starkes Antioxidans und schützt Zellmembranen und DNA vor oxidativen Schäden. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Wirkung von 3,5-GHz-GSM-Mobilfunk auf das männliche Fruchtbarkeitssystem sowie eine potenzielle schützende Wirkung von Q10 anhand eines Rattenmodells zu untersuchen.

### Studiendesign und Durchführung:

28 adulte männliche Wistar-Ratten wurden randomisiert in vier Gruppen (n = 7) unterteilt: 1) scheinbefeldet; 2) HF-befeldet; 3) scheinbefeldet + Q10; 4) HF-befeldet + Q10. Die Versuchstiere wurden über einen Zeitraum von 30 Tagen täglich 2 h einer GSM-modulierten 3,5-GHz-Befeldung ausgesetzt. Das numerische Modell zur Berechnung des SAR-Wertes wurde durch den Vergleich der simulierten und gemessenen Feldstärken validiert. Der Ganzkörper-SAR lag bei 0,17 W/kg, der hodenspezifische SAR bei 0,027 W/kg. Es wurde eine Temperaturüberwachung durchgeführt. Die Wissenschaftler bestimmten hormonelle (Testosteron, LH (luteinisierendes Hormon), FSH (follikel-stimulierendes Hormon)), oxidative (MDA (Malondialdehyd), GSH (Glutathion), TAS (totaler antioxidativer Status), TOS (totaler oxidativer Status)) und histopathologische Parameter. Die statistische Auswertung erfolgte über ANOVA mit adäquatem Post-hoc-Test.

### Ergebnisse:

Die GSM-Befeldung führte zu einer signifikanten Reduktion der untersuchten Hormone Testosteron, LH und FSH. Die Verabreichung von Q10 konnte die HF-Wirkung im Falle von LH und Testosteron signifikant abmildern, bei FSH wurde kein Effekt gefunden. Die oxidativen Stressmarker zeigten ebenfalls eine statistisch signifikante Wirkung der 3,5-GHz-Befeldung im Ver-

gleich zur Scheinbefeldung. MDA und TOS waren erhöht, während TAS reduziert wurde. GSH wurde nicht signifikant beeinflusst. Auch hier zeigte sich eine abmildernde Wirkung durch die Verabreichung von Q10. Histologisch zeigten sich Desorganisation der Samenkanälchen, eine Degeneration des Keimepithels und ein statistisch signifikant verminderter Johnsen-Score (Bewertung der Spermatogenese). Die Verabreichung von Q10 reduzierte die histologischen Schäden, eine vollständige Rückkehr auf Kontrollniveau wurde nicht flächendeckend erreicht.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass chronische GSM-modulierte 3,5-GHz-Befeldung oxidativen Stress im Hodengewebe mit konsekutiver Beeinträchtigung der Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse im Rattenmodell verursachen kann. Als Folge wurden histologische Veränderungen wichtiger Fortpflanzungsmerkmale beobachtet. Die Befeldungsparameter waren so gewählt, dass thermische Wirkungen ausgeschlossen werden können. Das Coenzym Q10 übt durch seine antioxidative Wirkung einen partiellen Schutz aus, insbesondere auf den Testosteronspiegel und die Redox-Balance. Insgesamt unterstreichen die Ergebnisse die Anfälligkeit des männlichen Fortpflanzungssystems für nicht-thermische Mobilfunk-Wirkungen. Die Autoren betonen, dass aufgrund der verwendeten GSM-Modulation keine Rückschlüsse auf die Wirkung realer 5G-Signale gezogen werden sollten.

### Anmerkungen der Redaktion:

Die Studie überzeugt durch ein integratives Design aus hormoneller, biochemischer und histologischer Analyse. Die klare Dokumentation nicht-thermischer Befeldungsbedingungen und die transparente Einordnung der Ergebnisse im Kontext der Signalmodulation (GSM vs. 5G) sind ebenfalls positiv hervorzuheben. Möglicherweise wurde die Mischung aus 5G-Trägerfrequenz (3,5 GHz) und GSM-Modulierung gewählt, da es aufgrund möglicher Interferenzen ohne Genehmigung verboten ist echte 5G-Signale zu senden. In jedem Fall reiht sich die Studie in die wachsende wissenschaftliche Evidenz ein, dass HF-EMF verschiedener Frequenzen schädigende Auswirkungen auf das männliche Fortpflanzungssystem besitzen (1-3). (RH)

1. Yu G, Tang Z, Chen H, Chen Z, Wang L, Cao H et al. (2020). Long-term exposure to 4G smartphone radiofrequency electromagnetic radiation diminished male reproductive potential by directly disrupting Spock3-MMP2-BTB axis in the testes of adult rats. *The Science of the Total Environment*, 698, 133860. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133860>
2. Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C et al. (2024). Effects of radiofrequency 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>
3. Kaur P, Rai U, Singh R (2023). Genotoxic risks to male reproductive health from radiofrequency radiation. *Cells*, 12(4), 594. <https://doi.org/10.3390/cells12040594>



### WLAN schädigt generationenübergreifend

## Von Erwachsenen zu Nachkommen: WLAN-Befeldung adulter Zebrafische beeinträchtigt Fortpflanzung sowie Entwicklung und Verhalten der Nachkommen

Mehta J, Khira R, Fumakiya S, Sharma P, Punekar A, Jain C et al. (2025). From adults to offspring: Wi-Fi RF-EMR exposure in adult zebrafish impairs reproduction and transgenerationally effects development and behavior of progeny. *The Science of the Total Environment*, 1008, 180982. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180982>

Die biologischen Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF), insbesondere von WLAN, ergeben ein komplexes und mitunter widersprüchliches Bild, was das Ziehen von eindeutigen Schlussfolgerungen erschwert. Trotz dieser Komplexität mehrt sich die Anzahl an Studien, die oxidativen Stress als Resultat von WLAN-Befeldung beschreiben. Modellorganismen wie Fische, Amphibien und Insekten besitzen ein mit Säugetieren vergleichbares, jedoch schwächeres antioxidatives Schutzsystem und limitierte Reparaturmechanismen. Dies gilt besonders für frühe Entwicklungsstadien bzw. Keimzellen, welche ohnehin als empfindlich gegenüber exogenen Stressoren gelten. Angesichts der anhaltenden wissenschaftlichen Debatte über die Wirkungen von Hochfrequenz und der erhöhten Sensibilität sind Modellorganismen wie Zebrafische (*Danio rerio*) wertvoll für die Bewertung von Stressfaktoren auf die Entwicklung. Trotz der großen Differenzen der Milieus Fruchtwasser und Süßwasser machen die hochkonservierten Entwicklungswege der Wirbeltierentwicklung den Zebrafisch zu einem validen Modell für die Bewertung von EMF-induzierten Auswirkungen auf die Entwicklung und Keimzellen, inklusive Übertragbarkeit dieser Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. Die vorliegende Studie analysiert eben diese Auswirkungen auf das Fortpflanzungssystem adulter Zebrafische sowie auf Entwicklung und Verhalten der Nachkommen.

### Studiendesign und Durchführung:

Adulte Zebrafische wurden über einen Zeitraum von bis zu 30 Tagen täglich 4 h dem WLAN-Feld eines kommerziellen Routers unter kontrollierten Laborbedingungen ausgesetzt. Der Arbeitszyklus des Routers basierte auf dem experimentell gemessenen WLAN-Arbeitszyklus während eines kontinuierlichen 1080p-Videostreams mit 6 Mbps (z.B. YouTube). Die Wissenschaftler führten umfangreiche dosimetrische Analysen durch. Der SAR-Wert bewegte sich zwischen 0,716 und 2,59 W/kg, die Leistungsdichte zwischen 1,9 und 6,8 W/m<sup>2</sup>, je nach Position innerhalb des Aquariums. Die Wassertemperatur wur-

de konstant gehalten, sodass thermische Effekte ausgeschlossen werden können. Kontrolltiere wurden scheinbefeldet. Nach 10, 20 und 30 Expositionstagen wurden die adulten Zebrafische zufällig zur Fortpflanzung angesetzt. Die daraus hervorgehenden Embryonen wurden ohne weitere Befeldung kultiviert. Das Fortpflanzungsexperiment wurde dreimal unabhängig wiederholt, um statistisch robuste Daten zu generieren. In den statistischen Modellen wurden Gelege bzw. Tank als Zufallseffekte einbezogen, um die tatsächlichen Auswirkungen der WLAN-Befeldung mit größerer Zuverlässigkeit bewerten zu können. Bei den Elterntieren erfolgten histomorphologische Untersuchungen der Ovarien und Hoden verblindet. Bei den Nachkommen wurden Schlupfrate, Mortalität, morphologische Auffälligkeiten sowie Verhaltenstests durchgeführt, um Stress, Angstverhalten und kognitive Funktionen bewerten zu können.

### Ergebnisse:

Bei den befeldeten adulten Tieren fanden die Wissenschaftler Hinweise auf eine WLAN-induzierte Beeinträchtigung der Gametogenese (Keimzellbildung & -reifung): Die befeldeten weiblichen Tiere wiesen im Vergleich zu ihren Kontrollen einen signifikanten Anstieg atretischer Follikel auf, einhergehend mit einer gestörten Stromaarchitektur und einem Rückgang gesunder Eizellen. Auch bei den männlichen Tieren wurden ausgeprägte degenerative Veränderungen der Hoden beobachtet, darunter eine Desorganisation der Samenkanälchen sowie eine signifikante Verringerung der Spermatogonien und Spermien. Bei den Nachkommen wurden dosis-wirkungs-abhängige WLAN-Wirkungen beobachtet. Sowohl embryonale Mortalität als auch morphologische Missbildungen der Nachkommen waren statistisch signifikant gesteigert. Auch die neurobehavioralen Tests zeigten signifikante Veränderungen, wie eine reduzierte lokomotorische Aktivität, erhöhte Stress- und Angstreaktionen sowie reduzierte kognitive Leistung.

### Schlussfolgerungen:

Die Studie liefert konsistente Hinweise darauf, dass eine WLAN-Befeldung strukturelle Schädigungen der Fortpflanzungsorgane adulter Zebrafische hervorrufen kann, welche generationsübergreifend nachteilige Auswirkungen auf die Nachkommen haben können. Sowohl die Schädigungen der Parental- als auch die der Nachkommengeneration weisen eine dosis-wirkungs-abhängige Beziehung auf. Die Autoren diskutieren oxidativen Stress, mitochondriale Dysfunktionen und epigenetische Veränderungen als mögliche mechanistische Grundlage der WLAN-Schäden.

### Anmerkungen der Redaktion:

Die vorgestellte Arbeit zeichnet sich durch ein strukturiertes Design, definierte und kontrollierte Befeldungsparameter sowie eine multimodale Analyse (histologisch, entwicklungsbiologisch, neurobehavioral) aus. Die Realitätsnähe der Befeldung, nämlich

tägliches 4-stündiges Videostreaming über WLAN, in Kombination mit umfassender Dosimetrie, ist positiv hervorzuheben. Die zeitliche Staffelung erlaubt Aussagen zur Progression der Wirkung. Die unabhängige Wiederholung der Nachkommen-Experimente sowie die Verblindung bei den histologischen Untersuchungen steigern die Belastbarkeit der Befunde. Limitationen bestehen hingegen bei der Anzahl der untersuchten adulten Tiere. Auch wäre eine Untersuchung molekularer Marker oxidativen Stresses oder epigenetischer Veränderungen wünschenswert gewesen. Diese hätten mögliche Einblicke in mechanistische Hintergründe gewähren können. Dennoch liefert die Studie relevante Hinweise auf eine Vulnerabilität der Keimbahn gegenüber hochfrequenter Strahlung mit persistierenden Schädigungen der Nachkommen. (RH)



### EMF und Insekten

## Verhalten und Fortpflanzung von *Drosophila melanogaster*, die 3,6 GHz hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgesetzt waren

De Boose P, Ribas FO, Bell D, Bouga M, De Borre E, Fröhlich J et al. (2025). Behaviour and reproduction of *Drosophila melanogaster* exposed to 3.6 GHz radio-frequency electromagnetic fields. *PLoS One*, 20(12), e0336228. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0336228>

Angesichts der Tatsache, dass Insektenpopulationen und ihre Artenvielfalt bereits erheblich unter Druck stehen, ist es von entscheidender Bedeutung, zusätzliche potenziell schädliche Faktoren, die ihren Rückgang weiter verschärfen könnten, zu untersuchen. Es gibt bereits frühere Studien zur Exposition von *Drosophila* Fruchtfliegen mit Hochfrequenz-elektromagnetischen Feldern (HF-EMF). Eine Reihe von Studien der Panagopoulos-Gruppe an der Universität Athen untersuchten die Fruchtbarkeit bei Exposition mit relativ niedrigen, nicht-thermischen HF-EMF-Werten zwischen 0,1 und 6 GHz. Verwandte Studien untersuchten die Auswirkungen auf die Eierstöcke weiblicher *Drosophila* unter HF-EMF-Exposition im gleichen Frequenzbereich. (Anmerkung der Redaktion: diese etwa 10 früheren Studien verwendeten tatsächliche Geräte, die gepulste EMF aussenden, meist 1G, 2G oder DECT.) In der hier vorgestellten Studie hat ein europäisches Forscherteam erwachsene *Drosophila*-Fruchtfliegen unter Verwendung von RF-Dosimetrie und Tests zur Bewegungsaktivität, zirkadianem Rhythmus und Fruchtbarkeit bei 3,6 GHz untersucht. Numerische Simulationen quantifizieren erstmals die absorbierte Leistung bei dieser Spezies.

**Studiendesign und Durchführung:**

Drosophila Computermodelle wurden aus Mikro-CT-Scans erstellt. Diese dienen der Schätzung der eigentlichen Energieaufnahme im Gewebe. Für die Exposition wurde eine Richtantenne verwendet, die eine reine, ungepulste 3,6 GHz-Frequenz verwendet (wie die von 5G-NR, aber nicht variabel gepulst wie ein reales 5G-Signal), die von einem Signalgenerator gespeist wurde. Die Antenne war in 25 cm Abstand von den Fruchtfliegen montiert. In Verhaltensexperimenten wurden Fliegen 3,6 GHz HF-EMF ausgesetzt, wobei ihre Aktivität und ihre zirkadianen Rhythmen untersucht wurden. Die Fruchtfliegen wurden 5 Tage lang exponiert, 12 Stunden am Tag. In Fruchtbarkeitsexperimenten wurde die Reproduktionsleistung unter kontinuierlicher 3,6-GHz-Exposition getestet. Jeweils 10 männliche und 10 weibliche Fruchtfliegen wurden in 6 Teströhrchen eingebracht und während 48 Stunden exponiert. Die absorbierte Leistung wurde anhand von Simulationen und In-situ-Messungen des elektrischen Feldes geschätzt.

**Ergebnisse:**

In dieser Arbeit wurde ein digitales 3D-Modell verwendet, um die HF-EMF-Absorption bei erwachsenen Fruchtfliegen zu schätzen. Die maximale Absorption wurde bei etwa 90 GHz festgestellt, wobei 1 V/m 6 nW entsprach. Bei einer absorbierten Leistung zwischen 3,56 nW und 9,88 nW (elektrisches Feld ~5,5 bis 9 V/m) wurden keine Auswirkungen auf die Bewegungsaktivität und bei 1,91 mW keine Auswirkungen auf die Fruchtbarkeit über einen Zeitraum von 48 Stunden festgestellt.

**Schlussfolgerungen:**

Das erstellte digitale 3D-Modell der Drosophila ermöglicht eine bessere Dosimetrie von HF-EMF für die Untersuchung biologischer Auswirkungen. Berechnungen der absorbierten Leistung zeigen Schwankungen in Abhängigkeit von Frequenz, Polarisation und Entfernung von Antennen. In den Verhaltens- und Fruchtbarkeitsexperimenten, bei denen Fliegen einer HF-EMF von 3,6 GHz ausgesetzt wurden, konnten keine statistisch signifikanten Auswirkungen auf die Bewegungsaktivität, den Tagesrhythmus oder die Fortpflanzung festgestellt werden, was darauf hindeutet, dass bei diesen Expositionswerten keine biologischen Auswirkungen auftreten. Es wurde jedoch die Hypothese aufgestellt, dass keine signifikante Erwärmung stattgefunden hat. Das Modell ermöglicht eine genaue Simulation der HF-EMF-Exposition. Als Nächstes wollen die Forscher höhere Frequenzen und unreife Stadien (Larven oder Puppen) testen.

Anmerkung der Redaktion:

Dies ist eine methodisch sehr gut durchgeführte Studie, ein deutlicher Fortschritt in diesem Feld. Die 3D-Modellierung von Insekten zum Berechnen von Absorptionshotspots oder der all-

gemeinen Effizienz der Absorption je nach HF-EMF-Frequenz ist eine Bereicherung und erleichtert das Verständnis. Auch ist die internationale Zusammenarbeit erfreulich. Die Studie hat zwar teilweise leichte Unterschiede zwischen der bestrahlten Gruppe und Kontrollen gefunden, da diese laut Post-hoc-Tests jedoch nicht robust sind, wird sie als „no effect“ deklariert, was methodisch akzeptabel ist (aber vergleiche mit Cappucci 2022, welche deutliche Anzeichen von Schädlichkeit fanden und ein echtes WLAN-Signal bei 2,4 GHz verwendeten (1)). Das einzige auffällige Manko der Studie ist, dass diese nur eine reine 3,6-GHz-Frequenz vom Signalgenerator verwendete, jedoch kein echtes 5G-Signal, wie z. B. eine „5G small cell“ next-generation NodeB oder ein 5G-Endgerät. Die vielen vorherigen Studien, die De Boose et al. hier zitieren, vor allem von der Gruppe um Margaritis und Panagopoulos in Athen, haben alle reale 1G (GSM), 2G oder DECT Endgeräte verwendet, und eindeutige Anzeichen von geschädigter Fortpflanzung gefunden. Panagopoulos hat in mehreren Studien sowohl echte Signale von Endgeräten wie auch Helmholtzspulen und Signalgeneratoren im gleichen experimentellen Setup verwendet, und die echten Signale haben sich mehrfach als deutlich schädlicher erwiesen (2). Der genaue Mechanismus ist noch nicht identifiziert, aber Panagopoulos und Yakimenko haben einen potenziellen Mechanismus beschrieben, der schon mehrfach unabhängig bestätigt worden ist (3). Héroux hat kürzlich eine einsichtige Analyse in die Physik der thermischen Absorption veröffentlicht, und auch den sogenannten Scheitelfaktor („crest factor“) des Signals als maßgeblich für biologische Wirkungen postuliert (4). Es wäre erfreulich, wenn die nächsten Studien dieser europäischen Gruppe auch eine größere Spannweite an Frequenzen und insbesondere realistische Modulationen/eigentliche 5G-Signale verwenden könnten. (AT)

**„Frühere Studien [...] mit realen Endgeräten (GSM, 2G, DECT) fanden eindeutige Anzeichen von geschädigter Fortpflanzung.“**

1. 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*, 11(24), 4036. <https://doi.org/10.3390/cells11244036> (im ElektrosmogReport 1-2023 besprochen)
2. Panagopoulos DJ (2019). Comparing DNA damage induced by mobile telephony and other types of man-made electromagnetic fields. *Mutation Research / Reviews in Mutation Research*, 781, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.03.003> (im ElektrosmogReport 2-2022 besprochen)
3. Panagopoulos DJ, Yakymenko I, De Iulius GN, Chrousos GP (2025). A comprehensive mechanism of biological and health effects of anthropogenic extremely low frequency and wireless communication electromagnetic fields. *Frontiers in Public Health*, 13, 1585441. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1585441> (im ElektrosmogReport 3-2025 besprochen)
4. Héroux P (2025). The collision between wireless and biology. *Heliyon*, 11(10). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2025.e42267> (im ElektrosmogReport 4-2025 besprochen)



### Mobilfunk verändert Hirnaktivität

## Modulation der funktionellen Gehirnkonnektivität bei gesunden jungen Erwachsenen nach GSM-Befeldung: Eine Magnetoenzephalographie- und Magnetresonanztomographie-Studie

Iranfar S, Wallace J, Selmaoui B, Yahia-Cherif L (2025). Modulation of brain functional connectivity in healthy young adults following GSM radiofrequency exposure: A magnetoencephalography and magnetic resonance imaging study. *Neuroscience*, 591, 103–109. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.11.007>

Angesichts der weiten Verbreitung von drahtloser Kommunikationstechnologie und der räumlichen Nähe von Mobiltelefonen zum Kopf, ist die Frage nach möglichen Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) auf die physiologische Gehirnaktivität von hoher Relevanz. Frühere Befunde dokumentieren eine besondere Empfindlichkeit der Alpha-Gehirnwellen (8–12 Hz) gegenüber Mobilfunkstrahlung. (Alpha-Wellen treten typischerweise bei gesunden, wachen Erwachsenen während Ruhephasen mit geschlossenen Augen auf. Der Alpha-Rhythmus steht im Zusammenhang mit kognitiver und visueller Entspannung, Anm. d. Red.). Die bisherigen Untersuchungen der Hirnaktivität beschränken sich jedoch auf EEG-Analysen, bei denen vor allem untersucht wird, wie stark die Hirnaktivität in verschiedenen Frequenzbereichen ist. Um herauszufinden, ob Mobilfunk auch die Zusammenarbeit verschiedener Hirnareale beeinflussen kann, muss jedoch eine Magnetoenzephalographie (MEG) durchgeführt werden. Die vorliegende Studie ist die erste, die die Auswirkungen von Mobilfunk auf die Konnektivität zwischen verschiedenen Hirnarealen mittels MEG untersucht. Unter Konnektivität versteht man das Zusammenspiel und die Abstimmung zwischen verschiedenen Neuronenverbänden, wenn das Gehirn Informationen verarbeitet. Ein MEG kann bestimmen, wie gut die elektrischen Schwingungen verschiedener Hirnregionen zeitlich aufeinander abgestimmt sind und ob sie in einem synchronen Rhythmus arbeiten.

### Studiendesign und Durchführung:

32 gesunde Probanden (15 Männer, 17 Frauen, Durchschnittsalter 25 Jahre) durchliefen ein randomisiertes, doppelverblindetes, gegenläufiges Crossover-Prozedere mit zwei Sitzungen mit einer Woche Abstand. Jede Versuchssitzung umfasste Baseline-, Befeldungs- und Post-Befeldungsphase. Die Befeldungsphase dauerte insgesamt 25 min 30 s. Als Mobilfunk-Quelle dienten zwei Nokia 6650 (GSM; 900 MHz mit 217 Hz Modulation), wobei eines als „Scheingerät“ keine Mobilfunkstrahlung ausstrahlte. Der gemessene SAR-Wert, gemittelt über 10 g Gewebe, betrug 0,7 W/kg. Das Mobiltelefon wurde am linken Ohr der

Probanden platziert. Die MEG-Messung wurde vor und nach der Befeldungsphase durchgeführt. Die funktionelle Konnektivität wurde mittels ci-PLV berechnet, der die Phasensynchronisation quantifiziert. Das Gehirn wurde in 68 Regionen unterteilt, was in insgesamt 2278 (jede Region gegen jede Region) verglichenen Verbindungen resultierte. Die statistische Analyse erfolgte als Zwei-Wege-ANOVA mit Bonferroni-Korrektur.

### Ergebnisse:

Die Ergebnisse zeigen statistisch signifikante Modulationen der Konnektivität durch das Mobiltelefon. Nach der Bonferroni-Korrektur blieben im Vergleich von schein-befeldeter Gruppe zu befeldeter Gruppe drei Verbindungen innerhalb der rechten Hirnhälfte statistisch signifikant vermindert: 1) die Konnektivität zwischen dem rechten transversalen temporalen Kortex (rTTC) und dem rechten entorhinalen Kortex (rEC), 2) die Konnektivität zwischen rTTC und rechtem insularen Kortex (rIC), 3) die Konnektivität zwischen rTTC und dem rechten posterioren cingulären Kortex (rPCC). Die Modulationen traten überwiegend im Alpha-Frequenzbereich auf.

### Schlussfolgerungen:

Die Daten der Wissenschaftler zeigen signifikante Veränderungen der Konnektivitätswerte zwischen den kortikalen Bereichen der rechten Hirnhälfte, vorwiegend im und um den Temporallappen. Zu diesem Bereich gehören der TTC, auch Heschl-Gyrus genannt, eine Struktur, die an der Verarbeitung auditorischer Informationen beteiligt ist. Der EC spielt eine zentrale Rolle beim Gedächtnis, der IC ist an Bewusstsein und Emotionen beteiligt, während der PCC einen zentralen Knotenpunkt im Gehirn darstellt. Die Autoren mutmaßen, dass die Mobilfunkstrahlung die neuronale Aktivität im Ohr beeinflussen kann, da die auditive Verarbeitung weitestgehend kontralateral (auf der gegenüberliegenden Seite des Mobiltelefons, welches sich am linken Ohr befindet) erfolgt.

### Anmerkungen der Redaktion:

Die Stärken der vorliegenden Studie liegen vor allem im methodisch stringenten Studiendesign, welches Kofaktoren bzw. Artefakte minimiert. Besondere Bedeutung ist der Verwendung des MEG zuzuschreiben, welche eine Wissenslücke hinsichtlich der Mobilfunkwirkung auf unsere Gehirnaktivität adressiert. Als Limitationen sind die begrenzte Stichprobengröße und der Fokus auf akute Wirkungen zu nennen. Eine Langzeitstudie zu chronischen Wirkungen besäße ebenfalls große Relevanz. (RH)



## Mobiltelefone und Brustkrebs

# Hochfrequenzstrahlung von Mobiltelefonen und das Brustkrebsrisiko: Eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie mit einer zusätzlichen Verdachtsgruppe zum Vergleich

Tahmasebi S, Mortazavi SMJ, Pourghayoomi M, Sheikhzadeh P, Welsh JS, Seif F et al. (2025). Radiofrequency radiation from mobile phones and the risk of breast cancer: A multicenter case-control study with an additional suspected comparison group. *Journal of Research in Medical Sciences*, 30, 63. [https://doi.org/10.4103/jrms.jrms\\_679\\_25](https://doi.org/10.4103/jrms.jrms_679_25)

Obwohl mehrere große Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien den Zusammenhang zwischen Mobiltelefongebrauch und Hirntumoren untersucht haben, sind die Ergebnisse nach wie vor nicht eindeutig, und es gibt kaum Belege für andere bösartige Tumoren wie Brustkrebs. Die aktuellen Erkenntnisse aus großen Kohortenstudien stützen keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Mobiltelefongebrauch und einem erhöhten Risiko für Krebserkrankungen insgesamt. Um diese Wissenslücke zu schließen, führten die Autoren eine multizentrische Fall-Kontroll-Studie mit einer zusätzlichen Verdachtsgruppe in Strahlentherapiezentren im Iran durch.

### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 226 Frauen in die endgültige Analyse einbezogen: 77 bestätigte Brustkrebsfälle, 52 Verdachtsfälle und 97 Kontrollpersonen. Obwohl herkömmliche Fall-Kontroll-Studien oft eine größere Anzahl von Kontrollpersonen umfassen, führte die begrenzte Anzahl geeigneter Freiwilliger zu einem ungleichen Verhältnis. Durch logistische Regressionsmodelle wurde dieses Ungleichgewicht berücksichtigt, ohne die analytische Validität zu beeinträchtigen. Geschulte Interviewer führten einen strukturierten Fragebogen durch, der demografische Daten, Daten zur Reproduktion, zum Lebensstil und zur Umwelt umfasste, darunter die Dauer von Mobiltelefonaten, die Bildschirmzeit und die Platzierung des Telefons. Die Zusammenhänge wurden mithilfe einer multinomialen logistischen Regression analysiert, wobei sequenziell Anpassungen für demografische, reproduktive, umweltbezogene und lebensstilbezogene Variablen vorgenommen wurden. Es wurden zwei multivariable Modelle erstellt: Modell 1 ist bereinigt um Alter, Gewicht, Bildung und reproduktive Faktoren (z. B. Alter bei der Menarche). Modell 2 baut auf Modell 1 auf, plus Umwelt- und Lebensstilvariablen, darunter Schadstoffbelastung, Schlafgewohnheiten, Mobiltelefonnutzung und Bildschirmzeit.

### Ergebnisse:

Mehrere Lebensstilfaktoren unterschieden sich signifikant zwischen den Gruppen, darunter die Anzahl der Schwanger-

schaften ( $p < 0,001$ ), der Obst- und Gemüsekonsum ( $p < 0,001$ ), das Einkommensniveau ( $p = 0,017$ ), die Anwendung einer Hormontherapie ( $p = 0,015$ ), Operationen oder Biopsien in der Vorgeschichte ( $p = 0,007$ ), Exposition gegenüber Schadstoffen ( $p = 0,036$ ), Zeit im Freien ( $P < 0,001$ ), Gesprächsdauer ( $p = 0,004$ ), Bildschirmzeit ( $p = 0,003$ ), Einschlafschwierigkeiten ( $p = 0,003$ ) und frühes Aufwachen ( $P < 0,001$ ). Andere Variablen wie Drogenkonsum, Menopausenstatus, Fettaufnahme, Zuckerkonsum, Konsum von verarbeiteten Lebensmitteln, Strahlentherapie, Alkoholkonsum und körperliche Aktivität zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

Im vollständig angepassten Modell (Modell 2) zeigten einige bemerkenswerte Variablen ein höheres Risiko für bestätigten Brustkrebs und/oder Verdacht auf Brustkrebs:

- > Das Bildungsniveau steht in signifikantem Zusammenhang mit dem Fallstatus (High School OR = 5,11 [1,5–17,9],  $p = 0,011$ ).
- > Das Alter bei der Menarche war ein signifikanter Prädiktor für den Fallstatus (OR = 1,39 [1,0–1,9],  $p = 0,040$ ).
- > Die Exposition gegenüber Schadstoffen war stark mit dem Fallstatus assoziiert (OR = 7,29 [1,9–27,8],  $p = 0,004$ ).
- > Die Dauer von Mobiltelefonaten war signifikant, wobei mehr als 60 Minuten Telefonieren sowohl mit Fällen (OR = 3,49, 95 % KI: 1,0–11,9,  $p = 0,046$ ) als auch mit Verdachtsfällen (OR = 10,84 [2,3–51,4],  $p = 0,003$ ) assoziiert war.
- > Eine längere Bildschirmzeit (> 4 Stunden/Tag) war ebenfalls mit erhöhten Odds verbunden.

### Schlussfolgerungen:

Diese Studie liefert neue Erkenntnisse über die mögliche Rolle von Lebensstil- und Umweltfaktoren – insbesondere der Nutzung von Mobiltelefonen, der Bildschirmzeit und der nächtlichen Lichtexposition – bei der Entstehung von Brustkrebs. Das konsistenteste und robusteste Ergebnis war der signifikante Zusammenhang zwischen längeren täglichen Mobiltelefonaten und dem Brustkrebsrisiko. Frauen, die täglich mehr als 60 Minuten mit dem Mobiltelefon telefonierten, hatten ein 3,5-fach höheres Risiko für bestätigten Brustkrebs und ein mehr als zehnfach erhöhtes Risiko, als Verdachtsfall eingestuft zu werden, verglichen mit Frauen, die angaben, täglich weniger als 10 Minuten zu telefonieren. Diese dosisabhängige Beziehung stärkt die biologische Plausibilität eines Zusammenhangs zwischen langfristiger HF-EMF-Exposition und Brustkrebsentstehung.

In dieser multinomialen Analyse war eine längere Handynutzung mit einem erhöhten Risiko sowohl für Verdachtsfälle als auch für bestätigte Brustkrebsfälle verbunden. Dieser Zusammenhang begründet jedoch keine kausale Beziehung, da die Exposition nicht unabhängig gemessen wurde und potenzielle verbleibende Störfaktoren nicht ausgeschlossen werden können. Diese Ergebnisse sollten daher mit Vorsicht interpretiert werden, und es sind größere prospektive Studien mit objektiven Expositionsmessungen erforderlich, um zu klären, ob dieser Zusammenhang eine Kausalität oder lediglich eine Korrelation widerspiegelt. (AT)



## Schilddrüsenkrebs und Verwendung von Mobilfunk Zunehmende Häufigkeit von Schilddrüsenkrebs und Nutzung von Smartphones

Lin JC (2026). Increasing incidence of thyroid cancer and use of smartphones [Health Matters]. *IEEE Microwave Magazine*, 27(1),14–6. <https://doi.org/10.1109/MMM.2025.3613612>

James C. Lin, emeritierter Professor, ist eine führende Autorität auf dem Gebiet der Bioelektromagnetik. Als Mitglied von IEEE, AAAS, AIMBE und URSI war Lin von 2006 bis 2022 Chefredakteur der Fachzeitschrift *Bioelectromagnetics* und von 2004 bis 2016 Mitglied der Internationalen Kommission zum Schutz vor nichtionisierender Strahlung (ICNIRP). In einem neuen Überblick zum Thema „Gesundheit“ fasst Lin den aktuellen Wissensstand zum Zusammenhang zwischen Schilddrüsenkrebs und der Nutzung mobiler Telekommunikation zusammen. Die Schilddrüse befindet sich anatomisch gesehen beim Menschen in der vorderen Mitte des Halses. Sie produziert Schilddrüsenhormone, die für das Wachstum und den Stoffwechsel unerlässlich sind. Eine kürzlich aktualisierte Studie aus Schweden legt nahe, dass die Exposition gegenüber Mikrowellen- und HF-Strahlung durch die Nutzung von Mobiltelefonen oder Smartphones die Ursache für die erhöhte Inzidenz von Schilddrüsenkrebs sein könnte (1).

### Hardell und Carlsberg (2025):

Hardell und Carlsberg zeigen, dass die Inzidenz von Schilddrüsenkrebs in den letzten 40 Jahren und insbesondere in den letzten 20 Jahren in der erwachsenen Bevölkerung stetig gestiegen ist. Der steigende Trend zwischen den Jahren 2000 und 2020 entspricht einem Anstieg um den Faktor 1,85 bei Frauen im Alter von 20 bis 60 Jahren und einem Anstieg um den Faktor 1,3 bei Männern derselben Altersgruppe. Bei Smartphones der aktuellen Generation befindet sich die Hauptkommunikationsantenne in der Regel an der Unterseite. Wenn das Smartphone zum Telefonieren ans Ohr gehalten wird, befindet sich die Hauptantenne näher an der Schilddrüse, was zu einer höheren HF-Strahlenexposition der Drüse führen kann als bei älteren Mobiltelefonmodellen, bei denen sich die Antenne oben am Gehäuse befand. Die alleinige Beobachtung einer erhöhten Inzidenz von Schilddrüsenkrebs in der Bevölkerung lässt jedoch keinen direkten Kausalzusammenhang, beispielsweise mit EMF von Mobiltelefonen, zu.

### Luo et al 2019, 2020:

Daher verweist Lin auf eine ältere Studie von Luo et al. aus dem Jahr 2019 (2), die eine Kohorte von etwa 500 Krebsfällen und entsprechenden Kontrollpersonen umfasste. Im Vergleich zu Nichtnutzern von Mobiltelefonen wiesen mehrere Gruppen ein geringfügig erhöhtes Risiko für Schilddrüsen-Mikrokarzinome auf (mit erhöhten ORs zwischen 1,2 und 1,58). Zu diesen Gruppen gehörten insbesondere Teilnehmer, die seit mehr als 15 Jahren ein

Mobiltelefon benutzten (OR: 1,29), die mehr als 2 Stunden pro Tag ein Mobiltelefon benutzten (OR: 1,4), die die meisten kumulativen Nutzungsstunden hatten (OR: 1,58) und die die meisten kumulativen Anrufe hatten (OR: 1,2).

Eine neuere erweiterte Kohortenstudie unter Verwendung von Daten der UK Biobank (3) (Zhang et al. 2024) ergab ebenfalls eine OR von 1,26 für Männer, aber nur OR 0,90 für Frauen (häufige Mobiltelefonbenutzer im Vergleich zu Nichtbenutzern als Kontrollgruppe). Hier wurde die Exposition jedoch nur grob geschätzt.

Eine Folgestudie der Luo-Forschungsgruppe untersuchte die Frage der genetischen Anfälligkeit (4). Sie fanden heraus, dass Einzelnukleotidpolymorphismen (SNPs) innerhalb von DNA-Reparaturgenen die Auswirkungen von Mikrowellen- und HF-Strahlung durch die Nutzung von Mobiltelefonen modifizieren. Das Ergebnis zeigte, dass 10 SNPs einen P-Wert  $< 0,01$  für die Wechselwirkung bei allen Schilddrüsenkrebsarten aufwiesen. Die Träger von SNPs mit mangelnder Genreparatur wiesen ORs  $> 2$  für die Schilddrüsenkrebsinzidenz auf. Einfach ausgedrückt zeigte das Ergebnis, dass bei Vorliegen bestimmter genetischer Varianten die Handystrahlung signifikant mit Schilddrüsenkrebs korrelierte. Außerdem nahm die Korrelation zu, wenn die Dauer und Häufigkeit der Handystrahlung zunahm.

### Schlussfolgerungen:

Die Nutzung von Mobiltelefonen, insbesondere von Smartphones, hat seit der Jahrtausendwende erheblich zugenommen. In Schweden beispielsweise stieg die Nutzung von Mobiltelefonen zwischen 2001 und 2024 um mehr als das Zehnfache. Lin weist darauf hin, dass bekannt ist, dass die weit verbreitete Nutzung der Computertomographie für die diagnostische Radiologie in den letzten zwei Jahrzehnten zu einer offensichtlich erhöhten Krebsinzidenz aufgrund der Früherkennung geführt hat. Bemerkenswert ist, dass die Früherkennung auch zu einem späteren Rückgang der Inzidenz führen sollte, was in diesem Fall jedoch nicht eingetreten ist. Stattdessen zeigte die Studie eine kontinuierlich steigende Inzidenz von Schilddrüsenkrebs, ein Trend, der mit der zunehmenden Exposition der Schilddrüse gegenüber Mikrowellen und Hochfrequenzstrahlung durch die Nutzung von Smartphones im gleichen Zeitraum übereinstimmt. (AT)

1. Hardell L, Nilsson M, Carlberg M (2025). The increasing incidence of thyroid cancer in Sweden revisited. *Fortune Journal of Health Sciences*, 8(3), 716–722. <https://doi.org/10.26502/fjhs.328>
2. Luo J, Deziel NC, Huang H, Chen Y, Ni X, Ma S et al. (2019). Cell phone use and risk of thyroid cancer: a population-based case-control study in Connecticut. *Annals of Epidemiology*, 29, 39–45. <https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2018.10.004>
3. Zhang Y, Zhang Y, Ye Z, Yang S, Liu M, Wu Q et al. (2024). Mobile phone use and risks of overall and 25 site-specific cancers: A prospective study from the UK Biobank study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, 33(1), 88–95. <https://doi.org/10.1158/1055-9965.EPI-23-0766>
4. Luo J, Li H, Deziel NC, Huang H, Zhao N, Ma S et al. (2020). Genetic susceptibility may modify the association between cell phone use and thyroid cancer: A population-based case-control study in Connecticut. *Environmental Research*, 182, 109013. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109013>



## Antivirale EMF?

# Identifizierung der Resonanzfrequenzen von Viren für die mikrowellenbasierte Erkennung und Inaktivierung pathogener Viren

Kuang Z, Luginsland J, Hung CS, Stamps BW, Thomas RJ, Kelley-Loughnane N et al. (2025). Identifying resonant frequencies of viruses for microwave-based detection and inactivation of pathogenic viruses. *Scientific Reports*, 15(1), 43920. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-27669-4>

Die natürlichen Schwingungsfrequenzen biologischer Partikel enthalten wichtige Informationen über deren Struktur und Eigenschaften. Auf Resonanzfrequenzen basierende biophysikalische Methoden könnten eine interessante Alternative zu herkömmlichen Impfstoffen und antiviralen Medikamenten darstellen. In Zukunft könnte es möglich sein, speziell entwickelte Hochfrequenzemissionen zu nutzen, um pathogene Viren wie Covid-19 zu deaktivieren oder zumindest ihre Virulenz zu verringern, indem ihre Replikations- oder Andockmechanismen beeinflusst werden. Mit einem koplanaren Wellenleiter-basierten Sensor wurden zuvor zwei Resonanzfrequenzen direkt gemessen, und zwar 4 und 7,5 GHz für SARS-CoV-2 und 4,2 und 7,5 GHz für HCoV-229E. Die Messung der natürlichen Schwingungsfrequenzen eines einzelnen Virions in einer biologischen Umgebung ist jedoch eine Herausforderung. Die Zuordnung struktureller Merkmale zu den gemessenen Spektren ist noch schwieriger. Bislang ist nicht bekannt, zu welchen Komponenten des Virus die gemessenen Resonanzfrequenzen bei 4 und 7,5 GHz gehören. Die Autoren der hier vorgestellten Arbeit haben daher die dynamische Bewegung des SARS-CoV-2-Spike-Proteins mithilfe einer präzisen Molekulardynamiksimulation erforscht, welche alle Atome des Proteins berücksichtigt.

### Studiendesign und Durchführung:

Das Covid-Spike-Protein (S) ist eine der 4 strukturellen Komponenten des Virus. Die anderen Komponenten sind Nukleokapsid, Membran und Krone. Das S-Protein ist dreiteilig, mit drei identischen Aminosäureketten zu 1273 Aminosäuren. Das Molekül wurde in einer Computersimulation in einer physikalischen Simulationsbox abgebildet. Die Simulation der Molekulardynamik (MD) wurde zuerst abschnittsweise, in überlappenden Abschnitten der 3 Stränge/Ketten durchgeführt. Anschließend wurden die überlappenden Abschnitte integriert zum Gesamtmolekül. Ausgehend von einem zuvor equilibrierten System wurden drei unabhängige MD-Simulationen durchgeführt. Alle MD-Simulationen wurden mit dem NAMD 3.0-Paket durchgeführt.

### Ergebnisse:

Es wurde eine Resonanzfrequenz von 7,3-7,4 GHz für das Spike-Protein festgestellt. Genauere Betrachtungen ergaben, dass diese Resonanz dem S2-Fragment entspricht, was der Teil des S-Proteins ist, der in der Lipidmembran des Virus verankert ist.

### Schlussfolgerungen:

Die detaillierte Simulation der Molekulardynamik, welche das Entdecken spezifischer Resonanzfrequenzen ermöglicht, erlaubt die Zuordnung des experimentell beobachteten SARS-CoV-2-Mikrowellenabsorptionspeaks bei ~ 7,5 GHz zur intrinsischen Schwingung des Spike-Proteins. Dies unterscheidet sich vom zuvor von anderen Forschergruppen vorgeschlagenen Dipolmodell der Virushülle und des Viruskerns. Neuartige physikalische Strategien wie Ultraschall und nicht-thermische Mikrowellen sind vielversprechend für die Virusinaktivierung, da sie auf die Resonanzfrequenzen bestimmter Virionstrukturen eingestellt werden können, ohne menschliche Zellen zu schädigen. Mikrowellenunterstützte Inaktivierung könnte Virionstrukturen durch nicht-thermische Effekte und strukturelle Resonanz-Energietransfer-Phänomene zerstören.

### Anmerkung der Redaktion:

Es ist erfreulich, dass diese und verwandte Studien großzügig mit dem Wort „nicht-thermisch“ umgehen, vermutlich da es hier um heilsame Anwendungen von EMF geht. Es sind allerdings bislang wenig Details vorhanden, welche Leistungsintensitäten in der Praxis notwendig wären, um gezielt Viren in lebenden Organismen zu deaktivieren. Dies könnte jedoch bahnbrechende medizinische Anwendungen erlauben. Da es nun möglich geworden ist, die spezifischen Resonanzfrequenzen von viralen Proteinen zufriedenstellend zu simulieren, sollte die praktische Anwendbarkeit nun in Tierexperimenten gründlich erforscht werden. Auf der Kehrseite stellt sich natürlich auch die Frage, mit welchen menschlichen oder tierischen Makromolekülen – wie z. B. die von Exosomen – schon bestehende Technologien möglicherweise in Resonanz gehen, und auch dies sollte gründlich erforscht werden. (AT)

1. Sadraei M, Kabakova I, Zhou J, Jin D (2024). Virus inactivation by matching the vibrational resonance. *Applied Physics Reviews*, 11(2). <https://doi.org/10.1063/5.0183276>



## EMF und Vögel

# Zum Einfluss von nichtionisierender Strahlung (NIS) auf Vögel: rechtliche Situation, wissenschaftlicher Stand und Empfehlungen für den Vogelschutz

Bächler E (2025). Zum Einfluss von nichtionisierender Strahlung (NIS) auf Vögel: rechtliche Situation, wissenschaftlicher Stand und Empfehlungen für den Vogelschutz. *Ornithologischer Beobachter*, 122(4). [https://www.ala-schweiz.ch/images/stories/pdf/ob/2025\\_122/Ornit-holBeob\\_2025\\_122\\_352\\_Baechler.pdf](https://www.ala-schweiz.ch/images/stories/pdf/ob/2025_122/Ornit-holBeob_2025_122_352_Baechler.pdf)

Ein neuer wissenschaftlicher Review fasst den aktuellen Kenntnisstand über die Auswirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) auf Vögel zusammen. Nichtionisierende Strahlung (NIS) kann in unmittelbarer Nähe das Körpergewebe von Vögeln, insbesondere von Embryonen und Nestlingen, erwärmen und schädigen. Dieser thermische Effekt ist wissenschaftlich unumstritten und erfordert gesetzlichen Schutz. Besonders kritisch ist die Installation von Sendern in Gebäuden, die als Nistplätze genutzt werden, wie Kirchtürmen. Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF-EF/MF, 1 Hz–100 kHz) entstehen durch Wechselströme oder gepulste Gleichströme, Hauptquellen sind Bahn- und Stromnetze (50 Hz). Bei Hochfrequenz (100 kHz bis 300 GHz) sind elektrische und magnetische Felder gekoppelt und breiten sich wellenförmig aus. Thermische Effekte treten nur bei hohen Feldstärken auf, während auch nicht-thermische Effekte wie Beeinträchtigungen der Magnetorientierung oder oxidativer Stress bei Vögeln wissenschaftlich belegt sind.

Zusammenfassung der Studienlage:

Niederfrequente elektrische und magnetische Felder (NF-EF/MF): Studien untersuchten teratogene Wirkungen von NF-EF/MF und Embryonalsterblichkeit. Bestimmte Genotypen reagieren stärker, während andere unempfindlich sind. Neben Missbildungen wurden erhöhte Aktivität des Enzyms Ornithindecarboxylase, oxidativer Stress und erhöhte Stressproteine (Hsp70) beobachtet (1) – bereits bei niedrigen Feldstärken nahe dem Anlagengrenzwert. Biologische Systeme reagieren auf schwache EF/MF und EMF, wobei Cryptochrom-Proteine als mögliche Rezeptoren diskutiert werden. Cryptochrome regulieren physiologische Prozesse wie Tagesrhythmen und oxidatives Gleichgewicht und sind bei Vögeln zentral für die Magnetfeldorientierung.

Hochfrequente elektromagnetische Wechselfelder (HF-EMF): Schwache HF-EMF bis etwa 100 MHz stören den magnetischen Kompass von Vögeln, doch ist der Einfluss auf Zugvögel unklar. Engels et al. wiesen Störungen bereits bei üblichen HF-EMF (20 kHz–5 MHz) nach, während Leberecht et al. (2022) Effekte bis 85 MHz und 5,6 nT bestätigten (2). Theoretisch liegt die Obergrenze für Beeinflussung bei 116 MHz. Andere Studien zeigen erhöhten oxidativen Stress bei Vögeln, etwa bei 1800 MHz oder 900 MHz.

Antioxidative Schutzmechanismen haben Grenzen, besonders bei jungen oder alten Individuen. Molekulare Nachweise athermischer Effekte, wie die Beeinflussung von Hsp70, unterstreichen die Relevanz.

Freilandstudien: Sakraoui et al. (2024) fanden bei Weißstörchen in Algerien niedrigere Überlebensraten in Nestern auf Mobilfunkantennen (3). Balmori und weitere Forscher korrelierten Bruterfolg von Weißstörchen und Haussperlingen mit Mobilfunkintensität (900/1800 MHz), doch andere Faktoren wurden nicht berücksichtigt (4). Eine neuere Studie fand keinen Effekt auf Haussperlinge, und in der Schweiz stiegen deren Bestände. Die Übertragbarkeit von Laboreffekten auf natürliche Bedingungen ist unklar, da Organismen Schäden teilweise kompensieren können, aber multifaktorielle Ursachen wie Genetik und Umwelt eine Rolle spielen.

## Schlussfolgerungen:

Vögel müssen gemäß Umweltvorschriften vor NIS geschützt werden, doch fehlen spezifische Regelungen. Die Schweizerische Vogelwarte empfiehlt, die NIS-Schutzverordnung auch auf Vögel anzuwenden, insbesondere bei Brutplätzen. Vogelembrionen sind bereits bei 0,5 °C Erwärmung gefährdet, während beim Menschen 1 °C toleriert wird. Grenzwerte für Menschen sind zu hoch für Vögel. Wissenschaftlich unbestrittene Risiken wie thermische Effekte werden teilweise ignoriert, etwa auf der Seite [www.5g-info.ch](http://www.5g-info.ch). Der Schutz von Flora und Fauna erfordert aktuellere, wissenschaftsbasierte Einzelfallprüfungen. (AT)

1. Mevissen M, Schürmann D (2021). Gibt es Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress durch elektromagnetische Felder? Eine Zusammenfassung neuerer relevanter Tier- und Zellstudien in Bezug auf gesundheitliche Auswirkungen. *Universitäten Bern und Basel, im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU), Schweiz*.
2. Leberecht B, Kobylkov D, Karwinkel T, Döge S, Burnus L, Wong SY et al. (2022). Broadband 75–85 MHz radiofrequency fields disrupt magnetic compass orientation in night-migratory songbirds consistent with a flavin-based radical pair magnetoreceptor. *Journal of Comparative Physiology*, 208(1), 97–106. <https://doi.org/10.1007/s00359-021-01537-8>
3. Sakraoui D, Ziane N, Ghalem R, Boukheroufa M, Habbachi W (2023). Is there an effect of electromagnetic waves from base stations on the breeding success of *Ciconia ciconia* in Algeria? *Biosystems Diversity*, 31(4), 493–499. <https://doi.org/10.15421/012358>
4. Balmori A (2009). Possible effects of electromagnetic fields from phone masts on a population of white stork (*Ciconia ciconia*). *Electromagnetic Biology and Medicine*, 24(2), 109–119. <https://doi.org/10.1080/15368370500205472>



### Industrie im Konflikt mit Wissenschaft

## Die Konstruktion der Kluft der Meinungen über die gesundheitlichen und biologischen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung vergrößern

Héroux P (2025). Building the gulf of opinions on the health and biological effects of electromagnetic radiation. *Frontiers in Public Health*, 13, 1589021. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1589021>

Paul Héroux ist Professor an der McGill University in Montreal, Kanada. Er ist auf Umweltgesundheit spezialisiert und beschäftigt sich mit Themen wie elektromagnetischen Feldern und deren Auswirkungen auf die Gesundheit. Er hat zahlreiche Forschungsarbeiten und Bücher zu diesen Themen veröffentlicht. Dieser Artikel untersucht unterschiedliche Ansichten zu den gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung, basierend auf den persönlichen Erfahrungen des Autors im Laufe der Zeit. Seit den 1980er Jahren gibt es Kontroversen über die gesundheitlichen Auswirkungen nicht-thermischer elektromagnetischer Strahlung im ELF- und HF-Bereich. Vertreter der Industrie und Umweltschützer stützen sich dabei auf unterschiedliche Expertenmeinungen und Interpretationen derselben wissenschaftlichen Literatur. Im Laufe der Zeit haben sich unterschiedliche Ansichten über die gesundheitlichen Auswirkungen technologischer elektromagnetischer Strahlung herausgebildet. Weltweit finden wissenschaftliche Tagungen statt, um die gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung zu erörtern, mit dem Ziel, die Wissenschaft voranzubringen und Meinungen zu bilden. Die Berichterstattung über Veranstaltungen, bei denen der Autor persönlich anwesend war, soll hier als Mittel dienen, die unterschiedlichen Meinungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung zu erklären.

### Adair 1990:

Robert Adair, ein Kernphysiker, konzentrierte sich im Ruhestand auf die gesundheitlichen Auswirkungen von ELF-Magnetfeldern, beeinflusst durch die Arbeit seiner Frau Eleanor Adair zu den gesundheitlichen Auswirkungen von HF-Strahlung. Adair argumentierte 1991 auf einer Tagung zur Bioelektromagnetik, dass die gesundheitlichen Auswirkungen von niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF) der konventionellen Physik, einschließlich der Quantenmechanik, widersprechen. Er kritisierte Lednevs quantenbasierten Mechanismus als „Spinnerei“. Im April 1991 einigten sich Physiker auf einer EPA-Tagung (environmental protection agency) darauf, Verweise auf Adairs Artikel aus ihren Empfehlungen zu streichen. Adairs Ideen fanden jedoch auf der Tagung zur Bioelektromagnetik großen Anklang. Die Teilnehmer, darunter Vertreter und Forscher der Industrie, stellten sei-

ne industriefreundlichen Kommentare aufgrund von Finanzierungsanreizen und der Art der Podiumspräsentationen nicht in Frage. Das für Adair wichtigste Argument, das in seiner Zusammenfassung enthaltene Beispiel, erwies sich im Nachhinein als falsch. Der Physiker Adair hatte Gleichstrom- und Wechselstromfelder verwechselt, was ein Versehen in der Diskussion war. Adair präsentierte seine Argumente dennoch mit Nachdruck und beeinflusste damit möglicherweise diejenigen, die bereits skeptisch gegenüber den biologischen Auswirkungen von ELF waren. Physiker der EPA stellten seine Schlussfolgerungen in Frage.

### Armstrong 1994:

Héroux hatte 1991 ein elektromagnetisches Dosimeter entwickelt, und 1994 veröffentlichte er mit Armstrong eine Studie über den „Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber gepulsten elektromagnetischen Feldern und Krebserkrankungen bei Mitarbeitern von Elektrizitätsversorgungsunternehmen in Quebec, Kanada und Frankreich“. Héroux's Dosimeter war geeignet zur Messung von elektrischen und magnetischen Feldern mit Netzfrequenz sowie gepulsten elektromagnetischen Feldern (PEMF) oder hochfrequenten Transienten (HFT). Die PEMF-HFT-Erkennungsfunktion wurde hinzugefügt, um den Frequenzbereich der gemessenen Felder zu erweitern. Die Studie konzentrierte sich zunächst auf Frequenzen von 60 und 50 Hz. Armstrong stellte einen starken Zusammenhang zwischen PEMF-HF-Exposition und Lungenkrebs bei Mitarbeitern von Versorgungsunternehmen fest. Die beiden Forscher beantragten zusätzliche 50.000 Dollar für die Untersuchung eines möglichen Zusammenhangs zwischen PEMF-HFT und Krebs, was jedoch abgelehnt wurde. Sie mussten alle Dosimeter und Daten an das Versorgungsunternehmen zurückgeben und durften sie nie wieder verwenden. Nach der Publikation mit Armstrong wurde Héroux gebeten, seine Krebsforschungsergebnisse vor dem IEEE-Ausschuss unter dem Vorsitz von Eleanor Adair zu präsentieren. Er fühlte sich aufgrund der bekannten Skepsis von Frau Adair eingeschüchtert. Der Ausschuss beschloss, eine Gruppe zur Untersuchung zu bilden. Héroux hob seine Hand in der Hoffnung, ausgewählt zu werden, da er über mehr Insider-Informationen zum Dosimeter verfügte und Teil des epidemiologischen Teams gewesen war. Der Autor wurde jedoch von der weiteren Arbeit des IEEE zu PEMF-HFTs ausgeschlossen, möglicherweise aufgrund von „confirmation bias“, also mangelndem Vertrauen in scheinbar zu (Industrie-)unabhängige Forscher. Es folgten begrenzte Forschungsarbeiten unter Verwendung dänischer Dosimeter. Die Unsicherheit hinsichtlich der Dosimeterwerte führte dazu, dass sich die Versorgungs- und Telekommunikationsbranche von den Bedenken hinsichtlich der Krebsrate distanzieren. 1995 beauftragte EPRI zwei Unternehmen mit der Entwicklung eines PEMF-HFT-Dosimeters. Das Projekt scheiterte jedoch vor der Herausforderung, ein kompaktes Gerät für epidemiologische Studien zu entwickeln. Die Industrie hat es möglicherweise vermieden, sich auf Transienten zu konzentrieren, da

diese das thermische Rauschen überschreiten könnten. Die Forschung zu PEMF-HFTs und Mobiltelefonen ist anspruchsvoll und kostspielig. Ungewisse Ergebnisse können die Sicherheitsperspektiven verändern und weitere Untersuchungen für Unternehmen und Regierungsbehörden unattraktiv machen, was man in einem kapitalistischen System schwer den Unternehmen vorwerfen kann. Forscher wie Robert Becker verwendeten PEMF zur Geweberegeneration. Héroux verwendete gezielt den Begriff „Hochfrequenz-Transienten“, um negative Assoziationen mit den therapeutischen Anwendungen von PEMF zu vermeiden. Armstrong ersetzte HFT durch PEMF, was zu Beckers Unmut über mögliche Krebsrisiken führte. PEMFs werden heute noch verwendet, der Begriff HFT ist jedoch in Vergessenheit geraten. Die Dichotomie von Morbidität und Therapie hängt mit dem biologischen Kontext, der Expositionsintensität, der Dauer und der Pulsrate zusammen. HF-Modulationen und Scheitelfaktoren bestimmen maßgeblich die biologischen Ergebnisse.

#### **Lai 1997, Phillips 2009:**

Lai und Singh präsentierten 1997 auf einer Konferenz ihre Ergebnisse zu DNA-Strangbrüchen durch Magnetfelder. Motorola kritisierte Lai's Arbeit und forderte weitere Forschung. Lai war von der Branche geächtet worden, die seine Entlassung von seiner Universitätsstelle forderte. Die Industrie lehnte die Befunde von biologischen Studien aufgrund von Unsicherheiten oft ab. Dies führte zu Misstrauen zwischen Ingenieurwesen und Biowissenschaften. Die Skepsis der Industrie war wahrscheinlich auf wirtschaftliche und politische Faktoren zurückzuführen, nicht auf die wissenschaftliche Validität. Die interdisziplinäre Kommunikation bleibt bis heute eine Herausforderung. Unterschiedliche Meinungen zu den gesundheitlichen Auswirkungen elektromagnetischer Strahlung, Kontrolle der Debatte durch die Industrie, Fokus auf Wärme, Vernachlässigung biologischer Aspekte, voreingenommene Teilnahme an wissenschaftlichen Tagungen, widersprüchliche Interpretationen aufgrund von Bildung und Beschäftigung.

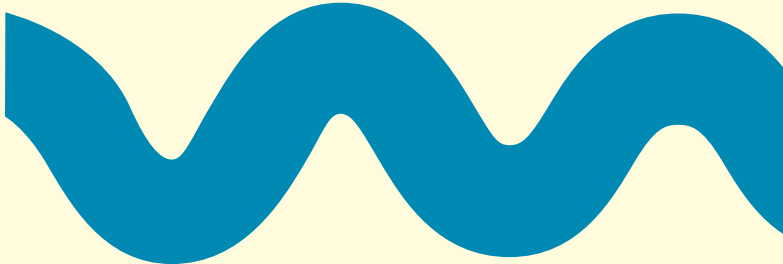
**„War es also gerechtfertigt, dass die Industrie die Kontrolle über die Debatte übernahm und sie auf die Wärmewirkung beschränkte, da sie ein akutes Interesse an den Ergebnissen hatte?“**

Der Autor besuchte 2009 eine Konferenz, wo Dr. Phillips seine (auf Lai und Singh's Methodik aufbauende) Studie zu „elektromagnetischen Feldern und DNA-Schäden“ vorstellte. Der Comet-Assay, den Héroux's Vorgesetzter als untauglich dargestellt hat-

te, hat sich nachträglich als sehr zuverlässig erwiesen. Phillips zitierte von Francis Crick: „... Wissenschaftler, die theoretisch gegensätzliche Positionen vertreten, können sich an fruchtbaren Debatten beteiligen, um das Verständnis der zugrunde liegenden Prinzipien zu verbessern und die Wissenschaft im Allgemeinen voranzubringen ... Es gibt

jedoch externe Faktoren aus Wirtschaft und Politik, die dies verhindern.“

Héroux beendet seine Überlegungen mit folgenden Fragen: „Bietet die spezifische Absorptionsrate, eine Wärmemaßzahl, mehr Klarheit als elektrische und magnetische Felder? Sollte die technische Sichtweise des Problems die biologischen Aspekte überlagern? Können Menschen wirklich als Salz- und Zuckermessung simuliert werden, wie es bei SAR-Messungen der Fall ist? Was ist mit den Problemen, dass schwierige Spuren nicht weiterverfolgt werden (Armstrong), dass die Überbringer unwillkommener Beobachtungen unter Druck gesetzt werden (Lai) und dass die Methoden der Biologie untergraben oder unterschätzt werden (Phillips)? [...] Die Frage der gesundheitlichen Auswirkungen von EMF wurde zu bestimmten Zeiten als entscheidend für die Interessen der Industrie angesehen, während sie für die biomedizinische Gemeinschaft möglicherweise weniger dringlich erschien. War es also gerechtfertigt, dass die Industrie die Kontrolle über die Debatte übernahm und sie auf die Wärmewirkung beschränkte, da sie ein akutes Interesse an den Ergebnissen hatte? War es gerechtfertigt, dass die Industrie ihre thermische Agenda über das IEEE bei so vielen Regierungen weltweit bekannt machte? War es gerechtfertigt, dass die Industrie die Entwicklung der EMF-Forschung kontrollierte und ihr Fachwissen im Bereich Elektromagnetismus nutzte, um diesen Bereich zu dominieren, obwohl die wichtigsten Elemente in der Biologie und Medizin zu finden waren?“ (AT)



## Adressen für weitere seriöse Informationen

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

Deutschland:  
[diagnose-funk.org](http://diagnose-funk.org), [info@diagnose-funk.de](mailto:info@diagnose-funk.de)

Microwave News, USA:  
[microwavenews.com](http://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):  
Institutshomepage: [publichealth.berkeley.edu/people/joel-moskowitz](http://publichealth.berkeley.edu/people/joel-moskowitz)  
EMF-Homepage: [saferemr.com](http://saferemr.com)

Prof. Devra Davis (USA):  
[ehtrust.org](http://ehtrust.org), [info@ehtrust.org](mailto:info@ehtrust.org)

Prof. Igor Belyaev, Biomedical Research Center of the Slovak Academy of Science, Department of Radiobiology:  
[biomedcentrum.sav.sk/research-departments/department-of-radiobiology/?lang=en#1511872382060-6857c1c8-f447](http://biomedcentrum.sav.sk/research-departments/department-of-radiobiology/?lang=en#1511872382060-6857c1c8-f447),  
[kurzelinks.de/jmi4](http://kurzelinks.de/jmi4)

Blog von Prof. Darius Leszczynski (Finnland):  
[betweenrockandhardplace.wordpress.com](http://betweenrockandhardplace.wordpress.com)

## Datenbanken

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

