

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit



## Gesundheitsschäden durch Mobilfunkbasisstationen Bewertung von oxidativem Stress und genetischer Instabilität bei Personen, die in der Nähe von Mobilfunkbasisstationen in Deutschland wohnen

Culati S, Mosgoeller W, Moldan D, Kosik P, Durdik M, Jakl L, Skorvaga M, Markova E, Kochanova D, Vigasova K, Belyaev I (2024): Evaluation of oxidative stress and genetic instability among residents near mobile phone base stations in Germany. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 279, 116486

Neuerdings wird aufgrund weiterer Forschungsergebnisse diskutiert, ob nicht-ionisierende Strahlung in der WHO-Klassifizierung als „wahrscheinlich krebserregend“, Gruppe 2a, eingestuft werden soll statt bisher „möglicherweise krebserregend“. In Städten und Gemeinden werden viele Mobilfunkbasisstationen errichtet, diese befinden sich nahe an den Bewohnern. Einige Studien hatten ergeben, dass das Krebsrisiko erhöht ist, wenn Menschen in der Nähe von Basisstationen leben, andere Studien konnten das nicht bestätigen. Die hier vorliegende Studie untersuchte, ob Mobilfunkstrahlung von Basisstationen bei Langzeiteinwirkung ein Krebsrisiko darstellt, wenn Menschen mehr als 5 Jahre entweder in der Nähe einer Basisstation oder weiter entfernt wohnen. Anhand von menschlichen Lymphozyten wurden oxidativer Stress, vorübergehende und permanente Zellschäden und verschiedene krebsbezogene Parameter (DNA- und Chromosomen-Schädigung, genetische Krebsmarker) untersucht.

### Studiendesign und Durchführung:

Dafür wurden mit 24 freiwilligen Teilnehmern (6 Frauen, 6 Männer zwischen 24 und 63 Jahren) 2 Gruppen zu je 12 Personen gebildet; die Kontrollgruppe (Gruppe C für Kontrolle, Entfernung  $767 \pm 241$  m) enthielt 6 männliche und 6 weibliche Probanden, die mit relativ starker Belastung (Gruppe E für Exposition, Entfernung  $125 \pm 35$  m) 5 Männer und 7 Frauen. (Die Gruppen-

### Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 03/2024, 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. 52403

### 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 > Gesundheitsschäden durch Mobilfunkbasisstationen

03 > 5G und das Mikrowellensyndrom

04 > HF-Wirkung auf Fruchtbarkeit

05 > Bluetooth-Headsets und Schilddrüsenknoten

06 > HF-Wirkung auf Gehirn und Verhalten

07 > EMF und Tierexperimente

08 > Elektrostatische Räuber-Beute-Beziehung

10 > Nachweis genetischer Instabilität

11 > EMF und Grenzwerte

12 > Kritik an COSMOS-Studie

13 > Kritik an WHO-Studie

15 > Elektrohypersensibilität und oxidativer Stress

zugehörigkeit wurde anhand der gemessenen Werte festgelegt, s. u.). Die Teilnehmer füllten einen Fragebogen aus, in dem Daten zu Alter, Geschlecht, Körpergewicht und -größe, Lebensstil, Ernährung, Medikamenteneinnahme, Anwendung ionisierender Strahlung, beruflichen und umweltbedingten Einwirkungen und Selbsteinschätzung der elektromagnetischen Empfindlichkeit abgefragt wurden. Ausgeschlossen wurden Personen mit akuten und chronischen Erkrankungen sowie Personen, die in den letzten 3 Monaten vor der Blutentnahme medizinische Behandlungen bekommen hatten.

Die ersten Messungen erstreckten sich auf statische sowie nieder- und hochfrequente elektrische und magnetische Felder im Schlafbereich der Teilnehmer (Radiowecker, Ventilatoren, Radio/TV, WLAN usw.). Statische Felder wurden nicht gefunden. Am nächsten Tag begannen weitere Messungen im Hochfrequenzbereich mit Datenloggern, die bis zu 7 Tage dauerten; gemessen wurden die Frequenzen von GSM, LTE, DECT und WLAN. Die Werte der beiden vorherrschenden Frequenzen 16,7 und 50 Hz wurden separat ermittelt. Nach den Messungen erfolgte die Blutabnahme. Die Blutproben wurden anonymisiert und noch am selben Tag im Partnerlabor aufbereitet. Die peripheren Lymphozyten wurden isoliert und zur Bestimmung von oxidativem Stress und verschiedenen DNA- und Leukämie-bezogenen Tests herangezogen. Für die Untersuchungen der DNA wurden Tests durchgeführt, die an verschiedenen Stellen der DNA angreifen (verschiedene Komettests für Einzelstrangbrüche und Alkali-labile Stellen bzw. oxidierte und alkylierte Stellen, Mikrokerne, Chromosomenaberrationen, DNA-Doppelstrangbrüche und spezifische Genanalysen, die auf veränderte Gene für Leukämieentwicklung hinweisen (MLL1-Gen, c-Abl und Bcr-Abl)). Die quantitative PCR für die MLL-Gene wurde im dreifachen Ansatz durchgeführt, die Qualität der RNA der Lymphozyten wurde, ebenfalls im dreifachen Ansatz, mit dem c-Abl-Gen kontrolliert. Die Auswertung wurde bei jedem Schritt doppelblind vorgenommen, d. h. Kurier und Personal des Partnerlabors kannten nur ID-Nummern der Proben. Die Überlebensrate der Lymphozyten betrug im Labor 95 %.

### **Ergebnisse:**

Fast alle persönlichen Daten der Teilnehmer waren zwischen den beiden Gruppen ähnlich (Alter, Geschlecht, Lebensstil usw.), nur der Abstand zu den Basisstationen war signifikant verschieden und die Aussage zur eigenen Elektrosensibilität war höher in Gruppe E, aber nicht-signifikant. Die Messungen der niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder und von DECT und WLAN in den Häusern ergaben relativ niedrige Werte und zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Im Gegensatz dazu waren die Werte für GSM ( $0,00\text{--}4,5\ \mu\text{W}/\text{m}^2$  zu  $7,1\text{--}295,8\ \mu\text{W}/\text{m}^2$ ) signifikant und für LTE ( $0,1\ \mu\text{W}/\text{m}^2\text{--}7,7\ \mu\text{W}/\text{m}^2$  gegenüber  $54,0\ \mu\text{W}/\text{m}^2\text{--}804,0\ \mu\text{W}/\text{m}^2$ ) hochsignifikant höher in der Gruppe E. Signale oberhalb von 2,5 GHz wurden nicht gefunden.

Die Lipidperoxidation (oxidativer Stress) war in der höher belasteten Gruppe nicht-signifikant erhöht. Bei den DNA-Analysen ergaben sich folgende Daten: die oxidative DNA-Schädigung war erhöht, die Einzelstrangbrüche signifikant erhöht, es gab keine Erhöhung von DNA-Verlusten oder -Verdoppelungen, von Brüchen oder Veränderungen von Genen, die mit Leukämien verbunden sind (MLL-Gengruppe). Bei der Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen und dem Mikrokerntest gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Die Rate der Chromosomenaberrationen, wie dizentrische Chromosomen, Chromatid-Lücken und DNA-Bruchstücke, waren signifikant erhöht gegenüber der Kontrollgruppe, ebenso die gesamten Chromosomenaberrationen. Die Bestimmung der Qualität der RNA bestätigte die Funktionsfähigkeit. Die Korrelationsanalyse ergab akzeptable Werte.

Da sich die Lebensumstände der Gruppen wie Alter, Geschlecht, Lebensstil usw. (Störfaktoren, Confounder) nicht oder kaum unterschieden, konnte keiner der Faktoren die signifikant erhöhten Chromosomenaberrationen beeinflusst haben, die in der stärker belasteten Gruppe vermehrt bei Langzeiteinwirkung von GSM und LTE auftraten. Das untermauert, dass Langzeiteinwirkung von GSM und LTE bei den gemessenen Intensitäten in den Wohnungen die Rate der Chromosomenaberrationen steigert.

### **Schlussfolgerungen:**

In dieser Studie wurden keine statistisch signifikanten DNA-Schädigungen und/oder oxidativer Stress bei den Probanden gefunden, die in der Nähe von Basisstationen wohnen. Es wurden auch keine statistisch signifikanten Wirkungen auf spezifische Genparameter festgestellt. Allerdings waren Chromosomenaberrationen signifikant erhöht bei Bewohnern mit höherer Einwirkung der hochfrequenten Felder von GSM und LTE über eine lange Zeit. Viele Faktoren können genetische Instabilität beeinflussen. In dieser Studie gab es keine bedeutenden Unterschiede zwischen den Gruppen in Bezug auf Alter, Geschlecht, Lebensstil und die weiteren Vorbedingungen der Teilnehmer, sodass das Ergebnis dieser Studie die Schlussfolgerung bekräftigt, dass die Chromosomenaberration auf die Langzeiteinwirkung der Strahlung von GSM- und LTE-Mobilfunkbasisstationen herrührt, die in den Wohnungen der Personen der Gruppe E gemessen wurde. Dass Chromosomenaberrationen, aber keine Mikrokerne gefunden wurden, kann ein Hinweis darauf sein, dass eine Schwelle für Mikrokerne existiert. Insgesamt deuten die hoch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen darauf hin, dass die Langzeiteinwirkung der Mobilfunkstrahlung von GSM- und LTE-Basisstationen die Ursachen für die genetische Instabilität sind. Die hier gefundenen Chromosomenaberrationen können einen plausiblen biologischen Mechanismus liefern für das erhöhte Krebsrisiko bei Personen, die höheren Feldern von Basisstationen ausgesetzt sind, wie frühere Studien ergeben hatten (Li et al. 2012; Eger et al. 2004; Wolf and Wolf 2004; Rodrigues et al. 2021). (IW)



## 5G und das Mikrowellensyndrom

# Zusammenfassung von 7 schwedischen Fallstudien zum Mikrowellensyndrom im Zusammenhang mit 5G-Strahlung

Hardell L, Nilsson M (2024): Summary of seven Swedish case reports on the microwave syndrome associated with 5G radiofrequency radiation. *Reviews on Environmental Health*, <https://doi.org/10.1515/reveh-2024-0017>

Das Mikrowellensyndrom wird seit 50/60 Jahren beschrieben als eine Reihe von Symptomen, die durch Frequenzen zwischen 300 MHz und 300 GHz hervorgerufen werden. 5G (3,5 GHz) wurde in Schweden und vielen anderen Ländern 2019/2020 eingeführt, das bis zu 100-mal schneller Daten übermitteln kann. Die Felder sind sehr viel komplexer und variieren noch stärker als bei den vorigen Generationen. Wissenschaftler haben bemängelt, dass keine Studien zur Gesundheitsgefährdung vor der Einführung durchgeführt worden sind. Es gibt bis jetzt nur wenige Studien zu 5G, keine davon hat Langzeitwirkung bei Menschen oder Tieren untersucht, es waren vor allem Laborexperimente mit 3,5 GHz und es gibt seit Einführung von 5G keine Studie, die die Auswirkungen der Strahlung unter realen Bedingungen untersucht hat. Die Studien ergaben oxidativen Stress in Leber, Niere, Muskeln und dem Plasma, degenerierte Nervenzellen im Gehirn und Verminderung der Knochenstärke. Eine Studie am Menschen ergab Veränderungen im EEG nach nur 26 Minuten Bestrahlung. Ziel der Studie war die 7 Fallstudien zusammenzufassen, um die Schwere der Symptome und ein Muster bezüglich der Erkrankungen herauszufinden.

### Studiendesign und Durchführung:

Die 7 Studien wurden 2023 mit 16 Personen durchgeführt, die kurz nach Einrichtung von 5G-Antennen in der Nähe ihrer Wohnungen Symptome entwickelt hatten. Die Befragungen erfolgten nach dem Fragebogen von Belpomme et al. (2015), dazu wurden Messungen in den Wohnräumen vorgenommen. Die Ergebnisse wurden mit einer Skala von 0–10 für die Stärke der Symptome (keine bis unerträgliche Symptome) dargestellt, die Auswirkungen auf Nervensystem und Sinnesorgane, Herz-Kreislauf- und Atmungsorgane, Haut, Muskulatur, Skelett, Verdauungsorgane und Harnwege enthält. Zu den Symptomen im Nervensystem zählen Schlafstörungen, Kopfschmerzen, Müdigkeit, Reizbarkeit, emotionale Symptome und Konzentrations- bzw. Aufmerksamkeitseinschränkungen.

### Ergebnisse:

In den 7 Fallstudien mit 16 Personen betrug die Entfernung von der Wohnung zu den Basisstationen zwischen 3 und 538 m. Die betroffenen Personen entwickelten eine Reihe von Symptomen, die als Mikrowellensyndrom oder Hochfrequenz-

Krankheit bezeichnet wird. In allen Fällen bestanden die Systeme 3G und 4G, deren Strahlung von den meisten Bewohnern toleriert wurde. Mit Einführung von 5G traten schnell schwere Symptome des Mikrowellensyndroms auf, was die stärkere Schädlichkeit von 5G-Strahlung gegenüber den vorigen Generationen aufzeigt. Die Messungen im Einzelnen:

1. 2 Personen, 62 und 63 Jahre alt, lebten schon lange in ihrer Wohnung und bekamen kurz nach der Installation von 5G (zusätzlich zu 3G/4G) auf dem Dach Symptome. Die Messungen an 3 Stellen im Schlafraum – 5 m unter der 5G-Basisstation – betrug 3 354 000, 1 690 000 und > 2 500 000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Sie zogen in einen kleinen Büroraum (3500  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) und die Symptome nahmen nach kurzer Zeit ab. Sie nahmen eine andere Wohnung.
2. 2 Männer arbeiteten in drei Büroräumen, dort befand sich eine Antenne auf dem Dach. Nachdem 5G hinzukam (Messwerte zwischen 463 und 1 800 000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) entstanden typische Symptome, die nach ein paar Wochen bzw. sofort nach Umzug in andere Räume (16  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  bzw. 2920  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ ) verschwanden.
3. Nach Installation von 5G in 60 m Entfernung von der Wohnung bekam eine 52-jährige Frau typische Gesundheitsprobleme, die Messungen ergaben Maximalwerte von 17 500 bis 2 500 000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Nach Umzug in eine andere Wohnung mit 96–2810  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  verschwanden fast alle Symptome nach kurzer Zeit, die nach Rückkehr in ihre Wohnung wieder auftraten.
4. Eine Familie mit 3 Personen lebte 50–70 m von zwei 5G-Basisstationen entfernt, 5G war auf 2 6-stöckigen Gebäuden installiert, die in Richtung der Wohnung im 4. Stock auf der anderen Straßenseite strahlten. Die Messungen wurden in den 3 Schlafräumen 10-fach an jeder Stelle durchgeführt. Die Werte: 320 000–1 200 200, 121 000–490 000 und 34 800–166 000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Die Tochter hatte die stärksten Symptome bis hin zu Panikattacken, obwohl die höchsten Werte im Zimmer des Sohnes auftraten.
5. Ein 49-jähriger bislang gesunder Mann bekam verschiedene Symptome, nachdem in 20 m Entfernung von seiner Wohnung eine 5G-Basisstation errichtet worden war. Die 10-fachen Messwerte betrug im Wohnzimmer > 3 180 000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ , im Schlafzimmer 105 000–240 000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Bei Aufenthalt in einer anderen Wohnung ließen die Symptome nach oder verschwanden, bei Rückkehr traten sie wieder auf.
6. Eine 82-jährige Frau mit Elektrohypersensibilität seit fast 40 Jahren bekam ein starkes Mikrowellensyndrom, nachdem 2 Basisstationen installiert wurden, 528 bzw. 489 m entfernt; ihr 83-jähriger Ehemann bekam geringere Symptome. Die Messwerte betrug 166 700  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  in der Küche und 147 100  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  im Wohnzimmer.
7. Eine gesunde Familie, Mutter, Vater und 3 Kinder, bekamen schnell Symptome, nachdem sie ein Ferienhaus in der Hauptsaison im Sommer für ein Wochenende bezogen hatten, in dessen Umgebung eine 5G-Basisstation stand, 125 m ent-

fernt. Alle Symptome verschwanden, nachdem die Familie wieder zu Hause war, wo keine 5G-Basisstation in der Nähe ist. In deren Umgebung betragen die Werte  $2500 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Man muss davon ausgehen, dass die Werte im Sommer wesentlich höher lagen, da in der Ferienzeit der Campingplatz nebenan voller Urlauber war. Spätere Messungen ergaben  $9000\text{--}43400 \mu\text{W}/\text{m}^2$  außerhalb des Ferienhauses, da war der Campingplatz fast leer.

Die Hauptsymptome betrafen das Nervensystem und das Gehör (Schmerzen, Geräusche, Gleichgewichtssinn), in erster Linie Schlafstörungen, die besonders bei den Kindern schwer verliefen, dann Kopfschmerzen. Weitere Auswirkungen waren Herz-Kreislauf- und Atemwegsprobleme, Veränderungen an Haut und Muskulatur und Verdauungs- und Harnwegsorganen. In vielen Fällen traten die Symptome bis zur höchsten Stufe auf (Stufe 10 auf der Skala von Belpomme).

### Schlussfolgerungen:

Diese 7 Fallstudien umfassten 16 Personen, die in unmittelbarer Nähe zu einer neu errichteten 5G-Basisstation lebten. In allen Fällen waren bis dahin 3G und 4G vorhanden. Die Personen entwickelten das Mikrowellensyndrom meist kurz nach dem Betrieb von 5G, z. T. bis zur höchsten Stufe 10 auf der Skala, und die Symptome ließen nach einiger Zeit in anderen Wohnräumen nach oder verschwanden ganz. Die gemessenen Werte lagen deutlich unterhalb der empfohlenen Grenzwerte von ICNIRP und FCC. Die angegebenen Symptome waren subjektiv und daher mit Vorsicht zu betrachten. Es scheint, dass ein etwas höherer Anteil von Symptomen des Nerven-, und Herz-Kreislauf-Systems und der Sinnes- und Atmungsorgane bei den Personen aufzutreten, die der höchsten Strahlung ausgesetzt waren. Allerdings ist die Anzahl der Personen gering, eine Studie mit mehr Personen wäre nötig. (IW)



## Hochfrequenzwirkung auf männliche Fruchtbarkeit Rosmarinsäure schützt Hoden von Ratten vor Hochfrequenz-Toxizität

Fatahi Asl J, Goudarzi M, Mansouri E, Shoghi H (2024): Rosmarinic Acid Protects the Testes of Rats against Cell Phone and Ultra-high Frequency Waves Induced Toxicity. Iranian Journal of Medical Sciences, 49(4), 237–246. <https://doi.org/10.30476/ijms.2023.97695.2952>

Aufgrund der kontinuierlichen Entwicklung neuer Technologien ist der Großteil der Menschheit Mobilfunk-Strahlung zu Hause oder am Arbeitsplatz ausgesetzt. Studien haben gezeigt,

dass die hochfrequente Mobilfunk- oder WLAN-Strahlung oxidativen Stress auslösen kann. Oxidativer Stress kann biochemische Veränderungen auslösen, welche wiederum zu Erkrankungen wie Parkinson, Alzheimer, multipler Sklerose und amyotropher Lateralsklerose führen können. Sowohl endogene als auch exogene Antioxidantien können diese negativen Mobilfunkwirkungen vermindern, indem sie oxidativen Stress durch die Neutralisierung von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) und freien Radikalen bewirken. Rosmarinsäure (RS) besitzt als Polyphenol starke antioxidative und entzündungshemmende Eigenschaften. Das Ziel der hier vorgestellten Studie war es, die schützende Wirkung von Rosmarinsäure auf Mobilfunk-induzierten (915 und 2450 MHz) oxidativen Stress im Hoden von Ratten zu bewerten.

### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 42 männliche Ratten ( $n = 7$ ) in 6 Gruppen unterteilt: Kontrolle, 915 MHz, 2450 MHz, Rosmarinsäure ohne Befeldung (RS), RS+915 MHz, RS+2450 MHz. Die Befeldung erfolgte 1 h täglich an 30 aufeinanderfolgenden Tagen. Die Leistungsflussdichten betragen  $9,8 \text{ W}/\text{m}^2$  für 915 und  $7,9 \text{ W}/\text{m}^2$  für 2450 MHz. Rosmarinsäure bzw. Saline (20 mg/kg) wurde 1 h vor der Befeldung peritoneal verabreicht. Es wurde eine Reihe von oxidativen Stressmarkern bzw. antioxidativen Schutzenzymen in den Hoden der Ratten untersucht: GSH (Glutathion), SOD (Superoxid-Dismutase), CAT (Katalase), GPx (Glutathion-Peroxidase), MDA (Malondialdehyd), Protein-Carboxylierung, Stickoxidgehalt und TAC (Gesamt-Antioxidative-Kapazität). Außerdem erfolgte eine histologische Untersuchung des Hodengewebes.

### Ergebnisse:

Bei allen analysierten Markern wurden gesundheitsschädliche Wirkungen beider Frequenzen im Vergleich zur Kontrolle festgestellt: Die Konzentrationen der antioxidativen Schutzenzyme bzw. GSH waren signifikant vermindert, damit übereinstimmend war auch die TAC signifikant verringert. Lipid- und Proteinperoxidation sowie Stickoxidkonzentration hingegen waren signifikant erhöht. Die histologische Untersuchung des Hodengewebes zeigte ebenfalls signifikante Auswirkungen der Hochfrequenzbefeldung beider Frequenzen im Vergleich zur Kontrolle. Es wurde eine Abnahme der Keimzellen im Epithelgewebe, einschließlich primärer Spermatozyten, Spermato gonien und Sertoli-Zellen in den Hodenkanälchen beobachtet. Des Weiteren verringerten sich tubulärer und luminaler Durchmesser sowie Höhe des Epithels der Hodenkanälchen signifikant. Die Verabreichung der Rosmarinsäure führte bei allen biochemischen Markern, mit Ausnahme der CAT-Aktivität bei 915 MHz, zu einer signifikanten Abmilderung der Hochfrequenzwirkung. Im Falle der histologischen Auswirkungen wurde bei 8 von 12 Parametern eine Verbesserung festgestellt. Hierbei wurde eine Hochfrequenz-Kompensation bei 5 von 6 Parametern der 915-MHz-Befeldung beobachtet. Im Falle der 2450-MHz-Befeldung wurden 3 von 6 Parametern kompensiert.

**Schlussfolgerungen:**

Die Autoren schlussfolgern, dass Hochfrequenz in der Lage sein kann, Morphologie und Funktion von Hoden zu beeinträchtigen. Männliche Unfruchtbarkeit könne durch Hochfrequenzbelastung verursacht werden, indem antioxidative Schutzmechanismen überlastet und oxidativer Stress ausgelöst werde. Es sei festgestellt worden, dass Rosmarinsäure als Antioxidans die Hoden vor dieser Mobilfunkwirkung schütze, und für die Aktivitätssteigerung der antioxidativen Schutzenzyme sowie Verminderung der oxidativen Stressindikatoren verantwortlich sei. Aufgrund der schützenden Wirkung der Rosmarinsäure sei sie ein vielversprechender Kandidat, um eine schädigende Mobilfunkwirkung zu kompensieren und histologische Parameter zu verbessern. (RH)

**Bluetooth-Headsets und Schilddrüsenknoten**

## **Epidemiologische Untersuchung der Auswirkungen der Nutzung von Bluetooth-Headsets auf Schilddrüsenknoten unter Verwendung der additiven Shapley-Erklärungsmethode**

Zhou N, Qin W, Zhang JJ, Wang Y, Wen JS, Lim YM (2024): Epidemiological exploration of the impact of bluetooth headset usage on thyroid nodules using Shapley additive explanations method. *Scientific Reports*. 2024 Jun 21;14(1):14354. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-63653-0>

Schilddrüsenknoten sind abnormale Wucherungen in der Schilddrüse, die sich in der Regel als örtlich begrenzte Schwellungen im Schilddrüsengewebe manifestieren. Die meisten dieser Knoten sind gutartig und asymptomatisch und erfordern keinen Eingriff. Bei den Fällen, die als bösartig diagnostiziert werden, handelt es sich überwiegend um kleine, langsam wachsende Tumore, die mit einem konservativen Ansatz sicher behandelt werden können. Ziel dieser Studie ist es, den möglichen Zusammenhang zwischen der Nutzung von Bluetooth-Headsets und der Entwicklung von Schilddrüsenknoten zu untersuchen. Die Prävalenz von Schilddrüsenknoten in der Weltbevölkerung ist bemerkenswert hoch, wobei eine Studie aus dem Jahr 2023 eine Inzidenzrate von bis zu 67 % schätzt. Diese Rate spiegelt einen rasch zunehmenden Trend wider, der durch frühere epidemiologische Daten bestätigt wird. In China ergab eine nationale epidemiologische Erhebung aus dem Jahr 2021 eine Gesamtprävalenz von 37 %. Obwohl Schilddrüsenknoten überwiegend gutartig sind, stellt die zunehmende Prävalenz aufgrund des potenziellen Risikos einer bösartigen Erkrankung ein globales Gesund-

heitsproblem dar. Die hohe Inzidenz von Schilddrüsenknoten ist nach wie vor Gegenstand laufender Untersuchungen. Eine vorherrschende Hypothese führt die erhöhte Entdeckungsrate von Schilddrüsenknoten auf die weit verbreitete Einführung fortschrittlicher Diagnosetechnologien in den letzten Jahren zurück, was darauf hindeutet, dass dieser Anstieg der Prävalenz teilweise ein Artefakt der verbesserten Entdeckungsmöglichkeiten sein könnte. Die Aufmerksamkeit richtet sich jedoch auch auf verschiedene Verhaltens- oder Umweltfaktoren wie Rauchen, Fettleibigkeit und Jodmangel. Während man sich über die Empfindlichkeit der Schilddrüse gegenüber ionisierender Strahlung einig ist, deuten neue Erkenntnisse darauf hin, dass Hochfrequenzstrahlung in ihren potenziellen Auswirkungen auf die Schilddrüsenfunktion nicht übersehen werden sollte. Die additiven Shapley-Erklärungen (SHAP) stellen eine innovative Methode zur Interpretation von Modellen des maschinellen Lernens dar, die das Konzept der Shapley-Werte aus der klassischen Spieltheorie integriert, um tiefe Einblicke in die Modellvorhersagen zu ermöglichen. Shapley-Werte werden verwendet, um den marginalen Beitrag jedes Merkmals zur Modellausgabe bei verschiedenen Merkmalskombinationen zu messen.

**Studiendesign und Durchführung:**

Die Daten für diese Studie stammen aus dem Stichprobenservice von WenJuanXing, einer professionellen Online-Plattform. Der in dieser Studie verwendete Fragebogen enthielt Fragen zum Alter, zum Vorhandensein von Schilddrüsenknoten, zur Verwendung von Bluetooth-Headsets, zur Art des Tragens von Bluetooth-Headsets (In-Ear-Stil, Nackenbügel-Stil, Ohrschützer-Stil), zu den primären Nutzungsszenarien von Bluetooth-Headsets, zur täglichen Nutzungsdauer (weniger als 1 Stunde, 1 bis 3 Stunden, 3 bis 5 Stunden, 5 bis 8 Stunden, 8 bis 12 Stunden, kontinuierliches Tragen), zu den üblicherweise mit dem Bluetooth-Headset verbundenen Geräten, zum Typ des Computer-Betriebssystems und zum Typ des Mobiltelefon-Betriebssystems.

In der Phase der Datenvorverarbeitung wurde eine Reihe von Maßnahmen ergriffen, um die Qualität und Konsistenz der Daten zu gewährleisten. Eine umfassende deskriptive statistische Analyse wurde für den gesamten Datensatz durchgeführt. Außerdem wurde eine Korrelationsanalyse speziell für den Datensatz der Nutzer von Bluetooth-Headsets durchgeführt. In dieser Studie verwendeten die Autoren die Technik des Propensity Score Matching (PSM), um die Unterschiede zwischen den Datensätzen auszugleichen. Die Modellierung in extrem unausgewogenen Datenumgebungen kann das Risiko einer Überanpassung des Modells erhöhen, wobei das Modell dazu neigt, die zahlreicheren Kategorien zu identifizieren und ebenso wichtige Minderheitskategorien zu übersehen.

Ein spezifischer (Post-PSM-)Datensatz wurde zusammen mit der SHAP-Methode auf der Grundlage des XGBOOST-Modells (effizientes Training von Machine-Learning-Modellen) verwen-

det, um die Faktoren, die das Risiko von Schilddrüsenknoten beeinflussen, und ihre komplexen Zusammenhänge gründlich zu analysieren. Die SHAP-Methode berechnet den durchschnittlichen marginalen Beitrag jedes Merkmals über alle möglichen Kombinationen hinweg, wodurch eine faire Verteilung der Merkmalsbedeutung gewährleistet und die Bewertung der Merkmalsbeiträge konsistent und interpretierbar wird.

### Ergebnisse:

Insgesamt wurden 1000 Fragebögen verteilt, von denen 600 gültige Fragebögen zurückgewonnen wurden. Diese 600 gültigen Fragebögen bildeten den vollständigen Datensatz, der für die deskriptive statistische Analyse sowie für die Bewertung der Zuverlässigkeit und Gültigkeit des Fragebogens verwendet wurde. Innerhalb des vollständigen Datensatzes bildeten die Befragten, die Bluetooth-Headsets benutzten, eine Stichprobe von 393 Fällen (65,5 % der Befragten). Diese Teilmenge wurde für das Propensity Score Matching (PSM) verwendet. Der standardisierte Datensatz nach der PSM-Verarbeitung umfasste eine Stichprobe von 96 Fällen und wurde für weitere deskriptive Statistiken, Modellierung und SHAP-Analyse verwendet.

Es wurde deutlich, dass Informationen bezüglich des Modells und Herstellers der angeschlossenen Geräte den kommerziellen Markt erheblich beeinflussen und das Kaufverhalten und den psychologischen Zustand der Verbraucher tiefgreifend verändern könnten. Um die Integrität ihrer Ergebnisse zu wahren und ihre Verantwortung gegenüber der Öffentlichkeit zu demonstrieren (und möglicherweise rechtlichen Konsequenzen zu entgehen, Anm. der Red.), entschieden sich die Autoren dafür, die Analyse bezüglich der Arten der angeschlossenen Geräte aus dieser vorläufigen Untersuchung auszuschließen.

Die SHAP-Analyse zeigte einen deutlich positiven Einfluss der Variablen Alter und tägliche Nutzungsdauer auf Schilddrüsenknoten. Der beim Merkmal Alter beobachtete Trend entspricht dem weithin akzeptierten medizinischen Konsens, dass ein höheres Alter ein signifikanter Risikofaktor für die Entwicklung von Schilddrüsenknoten ist. Dieser Zusammenhang wird in dieser Analyse quantitativ untermauert, was die Rolle des Alters als Determinante bestätigt. Was das Merkmal „Tägliche Nutzungsdauer“ betrifft, so deuten die beobachteten positiven SHAP-Werte auf einen Zusammenhang zwischen einer längeren Nutzung von Bluetooth-Headsets und einem erhöhten Risiko für Schilddrüsenknoten in diesem Datensatz hin.

### Schlussfolgerungen:

Die Analyse der Altersfaktoren in dieser Studie ergab einen signifikanten Trend: Die Anfälligkeit für Schilddrüsenknoten nimmt mit dem Alter zu. Dieses Phänomen kann zum Teil auf die allmähliche Abnahme der körpereigenen Selbstreparaturfähigkeiten und der zellulären Regenerationsmechanismen mit zunehmendem Alter zurückgeführt werden, was zu kumulativen Effekten auf Zellschäden und erhöhten Gesundheits-

risiken führt. Darüber hinaus ergab die Analyse der täglichen Nutzungsdauer von Kopfhörern einen kritischen kumulativen Effekt: Eine längere tägliche Nutzung von Bluetooth-Kopfhörern kann das Risiko von Schilddrüsenknoten erhöhen. Durch präzise Modellvorhersagen und die Analyse der Wichtigkeit von Variablen bietet diese neue Forschungsarbeit eine wissenschaftliche Grundlage für die Formulierung von Maßnahmen im Bereich der öffentlichen Gesundheit und für die Wahl der persönlichen Gesundheitsgewohnheiten. Zukünftige Forschung sollte die biologischen Mechanismen dieses Zusammenhangs weiter untersuchen und zusätzliche potenzielle Einflussfaktoren berücksichtigen, um umfassendere Gesundheitsberatung und Präventionsmaßnahmen anzubieten. (AT)



### Hochfrequenzwirkung auf Gehirn und Verhalten

## Multifrequente Hochfrequenz induziert angstähnliches Verhalten und entzündliche Reaktionen in der Großhirnrinde von Mäusen

Jing X, Menghua L, Lihui Z, Qian W, Xueli W, Xuelong Z, Zhihui L, Guofu D, Changzhen W (2024): Multi-frequency electromagnetic radiation induces anxiety in mice via inflammation in the cerebral cortex. *Environmental Science and Pollution Research*, 31(24), 35161–35172. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33447-y>

Das Leben in heutiger Infrastruktur ist untrennbar mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern verbunden, welche als Träger von Informationen genutzt werden. Einige Studien zeigen, dass diese elektromagnetischen Felder bei bestimmten Frequenzen schädliche Auswirkungen auf das Gehirn bzw. zentrale Nervensystem haben, wie z. B. Schäden an der Großhirnrinde oder Manipulation der Blut-Hirn-Schranke. Außerdem wurde herausgefunden, dass Hochfrequenz Wirkungen auf Emotionen hat und beispielsweise Angst oder Depressionen auslösen kann. Es existieren jedoch nur wenige Studien, welche die Wirkung von Hochfrequenz verschiedener Wellenlängen untersuchen. Eine Störung der Neurotransmitter-Homöostase kann zur Manifestation emotionaler Störungen wie Angst oder Depressionen führen. Darüber hinaus hat die Forschung gezeigt, dass Hochfrequenzbefeldung in Veränderungen von Neurotransmitterspiegeln in verschiedenen Gehirnregionen resultieren kann. Der CREB-BDNF-TrkB-Signalweg ist einer der am besten untersuchten Signalwege in der Erforschung des emotionalen Zustandes Angst. BDNF (brain-derived neurotrophic factor) und sein spezifischer Rezeptor TrkB (Tyrosinkinase B) regulieren die neuronale Entwicklung sowie synaptische Formierung und Plastizität. Bei bestimmten neurologischen Erkrankungen wie Alzheimer



oder Angststörungen sind die Konzentrationen des Transkriptionsfaktors CREB (cAMP response element-binding protein) und BDNF verringert. Die Autoren der vorliegenden Studie untersuchten die emotionalen Veränderungen bei Mäusen, welche unterschiedlichen Hochfrequenz-Wellenlängen ausgesetzt waren. Außerdem wurden mögliche zugrundeliegende Mechanismen (Neurotransmitter, CREB-BDNF-TrkB-Signalweg, entzündliche Reaktionen) erforscht.

### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt 20 männliche Mäuse (n = 10) wurden mit 0,9/1,5/2,65 GHz täglich für jeweils 40 Minuten befeldet bzw. scheinbefeldet, was sich auf eine Gesamtbefeldungsdauer von 2 h pro Tag aufsummiert. Die Befeldungsperiode betrug 4 Wochen und der Ganzkörper SAR-Wert 4,0 W/kg. Die Kontrollen wurden scheinbefeldet. Angst- bzw. depressionsähnliches Verhalten wurden mittels offenem Feldtest (OFT), erhöhtem Plus-Labyrinth (EMP) und Schwanz-Aufhängungstest (TST) untersucht. Die Neurotransmitter-Konzentrationen in der Großhirnrinde wurden über einen ELISA (enzyme-linked immunosorbent assay) bestimmt. Die Analyse der Signalwegskomponenten CREB, BDNF, TrkB sowie die des Entzündungsmarkers NF-κB erfolgte mittels Protein-Immunoblot. Abschließend wurden entzündliche Prozesse histochemisch und eine Reihe von Entzündungsmarkern über quantitative PCR untersucht.

### Ergebnisse:

Im Vergleich zu den scheinbefeldeten Kontrollen zeigten die Multifrequenz-befeldeten Tiere signifikant gesteigertes angstähnliches Verhalten beim OFT und EPM. Es wurde jedoch kein depressionsähnliches Verhalten im TST beobachtet. Drei von vier in der Großhirnrinde analysierten Neurotransmitter wiesen signifikante Konzentrationsverringerungen auf, nämlich GABA (Gamma-Aminobuttersäure), Dopamin und Serotonin. Der Acetylcholin-Spiegel hingegen wies keine signifikanten Veränderungen auf. CREB, BDNF und TrkB wiesen im Vergleich zu den scheinbefeldeten Kontrollen eine signifikant verminderte Expression auf, während das NF-κB-Level signifikant gesteigert war. Die histologische Untersuchung des Gewebes zeigte eine signifikant gesteigerte Anzahl an inflammatorischen Zellen. Damit übereinstimmend war die Expression der pro-entzündlichen Faktoren IL-6, IL-1β und TNF-α signifikant erhöht, während das anti-inflammatorische Cytokin IL-4 signifikant herunterreguliert war. Die Expression des anti-inflammatorischen IL-10 war nicht signifikant verändert.

### Schlussfolgerungen:

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse darauf hin, dass Hochfrequenzbefeldung mit verschiedenen Frequenzen eine angstähnliche Reaktion bei Mäusen auslösen kann. Diese Reaktion könnte durch eine Störung der Neurotransmitter-Homöostase und das Auslösen einer entzündlichen Reaktion über den

CREB-BDNF-TrkB-Signalweg hervorgerufen werden. Es scheinen insbesondere Aminosäure-Neurotransmitter von der Befeldung betroffen. Die Autoren vermuten, dass die Reduktion von BDNF und TrkB durch das verringerte CREB-Level ausgelöst wird und dadurch die Regeneration der Synapsen eingeschränkt wird. Des Weiteren scheint die Befeldung mit multiplen Hochfrequenzen pro-inflammatorische Signale anzuregen, während anti-inflammatorische gehemmt werden, was wiederum zu einer milden aber signifikanten Entzündung der Großhirnrinde führt. (RH)



### EMF und Tierexperimente

## Kritische Rolle der Auswahl von Modellorganismen bei der Bewertung der Auswirkungen schwacher städtischer elektromagnetischer Felder: Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit

Sincak M, Adamkova P, Demeckova V, Smelko M, Lipovsky P, Oravec M, Luptakova A, Sedlakova-Kadukova J (2024): Critical role of model organism selection in assessing weak urban electromagnetic field effects: Implications for human health. *Bioelectrochemistry*. 2024 Jun 29:108756. <https://doi.org/10.1016/j.bioelechem.2024.108756>

In der heutigen Gesellschaft sind elektrische und elektronische Geräte zu einem integralen Bestandteil unseres täglichen Lebens geworden, sodass wir uns ein Leben ohne sie kaum noch vorstellen können. In Studien, die sich mit den Auswirkungen elektromagnetischer Felder (EMF) befassen, werden häufig uneinheitliche und widersprüchliche Ergebnisse berichtet, was auf unterschiedliche Parameter der untersuchten Felder und die Auswahl der Modellorganismen zurückzuführen ist. Die allgegenwärtige Präsenz elektromagnetischer Strahlung in Verbindung mit unserem begrenzten Wissen über ihre Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit gibt in der Öffentlichkeit Anlass zur Sorge. Die Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf die menschliche Gesundheit wurden in den letzten Jahren anhand verschiedener Modellorganismen untersucht. Frühere Studien haben die Auswirkungen von Magnetfeldern auf Hefe untersucht und dabei hervorgehoben, dass die Exposition bei statischen Magnetfeldern metabolische Veränderungen hervorrufen kann, die sich auf wichtige subzelluläre Funktionen auswirken, die Integrität der DNA beeinflussen und genetische Veränderungen verursachen. Während die meisten Studien über positive EMF-induzierte Veränderungen des Wachstums und der Lebensfähigkeit berichten, haben einige Autoren negative Wirkungen dokumentiert, und einige haben keine erkennbaren Wirkungen gefunden. Die Bewertung der Parameter von Blut- und

Immunzellen scheint ein umfassenderer Ansatz zu sein, um die Auswirkungen von Magnetfeldern auf die menschliche Gesundheit zu untersuchen und zu verstehen. Makrophagen werden in zwei Kategorien eingeteilt: die klassisch aktivierten, spindelförmigen, pro-inflammatorischen M1 und die kugelförmigen, anti-inflammatorischen M2. Makrophagen sind verantwortlich für die Phagozytierung fremder Antigene, die Aufrechterhaltung der Gewebemöostase und die Beteiligung an der Wundheilung sowie an der Entwicklung einer nicht-funktionellen Angiogenese bei verschiedenen Krebsarten und chronischen Entzündungen. Studien haben gezeigt, dass ein Magnetfeld mit einer Frequenz von 50 Hz und einer Intensität von 0,5 mT in der Lage ist, Makrophagen in Richtung des proinflammatorischen M1-Phänotyps zu polarisieren, der durch die Produktion von entzündlichen Zytokinen wie IL-1 $\beta$ , IL-6 und TNF $\alpha$  gekennzeichnet ist. Bislang wurde in keiner Übersichtsarbeit oder experimentellen Studie festgestellt, dass schwache städtische elektromagnetische Felder eine Bedrohung für die menschliche Gesundheit oder für die Komponenten des Gefäß- und Immunsystems darstellen. Das städtische elektromagnetische Feld bezieht sich auf die elektromagnetische Strahlung in der städtischen Umgebung, die von verschiedenen Quellen wie Stromleitungen, elektronischen Geräten, Kommunikationssystemen und drahtlosen Netzen ausgeht. Das reale elektromagnetische Feld in städtischen Umgebungen umfasst oft nicht nur die industrielle Frequenz von 50 Hz, sondern auch deren dominante Oberwellen, wie z. B. die Frequenz von 150 Hz. Einigen Messungen zufolge kann das Verhältnis zwischen diesen Frequenzen bis zu 4:1 betragen.

### Studiendesign und Durchführung:

Das Wachstum, Überleben und die Proteinzusammensetzung (SDS-PAGE) der Hefe *Saccharomyces cerevisiae* und Morphologie von Makrophagen (menschliche monozytäre Zelllinie) wurden nach Exposition in einem künstlichen magnetischen Wechselfeld (niederfrequentes EMF von 20  $\mu$ T) untersucht. Das Magnetfeld (Simulation des städtischen Magnetfeldes) wurde durch Einspeisung von elektrischem Strom in das Spulensystem von Tektronix AFG 1022 induziert.

Für die Hefe-Kulturen wurden zwei Sätze von Experimenten durchgeführt, die jeweils unterschiedliche elektromagnetische Feldbedingungen von 50 Hz oder 50 und 150 Hz verwendeten, zusammen mit entsprechenden Kontrollgruppen. Die experimentellen Kulturen wurden für 24 h exponiert und anschließend für weitere 24 h unter Laborbedingungen gehalten (Erholungsphase). Messungen des pH-Werts, des Redox-Potenzials, Zellzählungen und die Bewertung der Lebensfähigkeit wurden sowohl nach 24 als auch nach 48 Stunden durchgeführt.

Differenzierte M2-Makrophagen wurden 2 Stunden lang Magnetfeldern mit einer Frequenz von 50 Hz oder 50 und 150 Hz und einer Amplitude von 20  $\mu$ T ausgesetzt. Für die morphologische Analyse wurden polarisierte Makrophagen-Teilmengen mit dem IncuCyte® ZOOM-Reader visualisiert.

### Ergebnisse:

Bei Hefe war die einzige beobachtete Veränderung nach 24 Stunden Exposition die Verlängerung der exponentiellen Wachstumsphase um 17 Stunden. Wahrscheinlich haben die Hefezellen die Veränderung des externen Magnetfeldes wahrgenommen, was zu einem langsameren Durchlaufen der Wachstumsphasen führte, während sie sich an dieses neue Feld gewöhnten.

Umgekehrt zeigten die Makrophagen morphologische Veränderungen vom entzündungshemmenden zum entzündungsfördernden Typ innerhalb von nur 2 Stunden nach der Exposition im elektromagnetischen Feld. Diese Veränderung wurde unmittelbar nach 2 Stunden der Exposition beobachtet und hielt für die nächsten 12 Stunden an. Die phänotypische Veränderung zurück zu M2-Makrophagen trat 24 Stunden nach der Exposition in beiden getesteten Magnetfeldern auf.

### Schlussfolgerungen:

Die Modulation der Makrophagenplastizität, d. h. die Umwandlung von M2-Makrophagen in pro-inflammatorische M1-Makrophagen durch den Einfluss elektromagnetischer Felder, verspricht eine therapeutische Wirkung bei der Behandlung von Tumoren, indem sie eine aktive Immunantwort im Organismus aufrechterhält. Die Besorgnis über die Entstehung von pro-inflammatorischen M1-Makrophagen im städtischen Alltag konzentriert sich in erster Linie auf die ständige Förderung von Entzündungsreaktionen in einem ansonsten gesunden Organismus, die zu chronischen Autoimmunerkrankungen führen können. Das reale urbane elektromagnetische Feld stellt ein potenzielles Risiko dar, auch innerhalb eines kurzen Zeitraums. Makrophagen scheinen auf das Vorhandensein eines elektromagnetischen Feldes stärker zu reagieren, was sie im Vergleich zu Hefen zu einem geeigneteren Modellorganismus für die Beschreibung des Einflusses der elektromagnetischen Umwelt auf den Menschen macht. (AT)



### Elektrostatische Räuber-Beute-Beziehung

## Beutetiere können Raubtiere elektrostatisch in der Luft wahrnehmen

England S, Robert D (2024): Prey can detect predators via electroreception in air. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 121 (23), e2322674121; <https://doi.org/10.1073/pnas.2322674121>

Das Räuber-Beute-Verhältnis ist eine Abfolge von Leben und Tod und wesentlicher Treiber der Evolution, deshalb ist es von Vorteil, wenn sich Räuber und Beute gleichermaßen in ihrem Gebiet gegenseitig erfassen können. Landlebende Tiere und Pflanzen sind praktisch immer elektrisch geladen und



diese elektrischen Ladungen werden in die Umgebung abgegeben. Tiere laden sich elektrostatisch auf, wenn sie sich durch die Landschaft bewegen. Diese elektrischen Kräfte können möglicherweise aus einer gewissen Entfernung von den Raub- und Beutetieren räumlich und zeitlich entdeckt werden. Hier wird der Fall von landlebenden Beutetieren beschrieben, die ihren Räuber elektrostatisch wahrnehmen (Elektrorezeption, die bei Honigbienen gut bekannt ist). Die räuberischen Wespen sind geladen, die Raupen als Beute empfangen diese Felder und reagieren mit Abwehrverhalten. Für dieses Experiment wurden verschiedene Techniken entwickelt, um das elektrostatische Wechselspiel zwischen fliegenden Insekten und Raupen von 3 Schmetterlingsarten genauer untersuchen zu können. Gemessen wurden die elektrischen Ladungen der Tiere und das Verhalten der Beutetiere.

### Studiendesign und Durchführung:

Raupen der Schmetterlinge Pfauenauge (*Aglais io*, n=44) und Jakobskrautbär (*Tyria jacobaeae*, n=28) wurden in verschiedenen Bereichen im Freien um Bristol und Bitton in Großbritannien gesammelt und in Käfigen mit den entsprechenden Futterpflanzen gehalten. Ein seltener Nachtfalter, eine Spinner-Art (*Telochurus recens*, n=38), wurde gekauft. Alle Raupen kamen zunächst in ein elektrisch und akustisch abgeschirmtes Gehege, um jede Gewöhnung an diese Einflüsse zu vermeiden. Anschließend wurden sie in Gruppen aufgeteilt. Die Wespen (*Vespula vulgaris*, n=612) wurden an den Wurzeln eines gefallenen Baumes in einem Waldstück in der Nähe von Bristol zwischen dem 20. und 26. August 2020 gesammelt, ein einziges Individuum diente zur Bestimmung der Art. Zur Bestimmung der elektrischen Ladung der Wespen war eine Ringelektrode vor dem Eingang des Nestes aufgestellt, so dass jede Wespe beim Ein- oder Ausflug erfasst wurde. Auf ähnliche Weise wurden die Ladungen der Beutetiere gemessen, indem die auf ihren Futterpflanzen sitzenden Raupen abgenommen und durch den Sensor fallen gelassen wurden. Die elektrischen Ladungen der Schmetterlingsraupen wurden im Labor in picoCoulomb (pC) gemessen. Für die Verhaltensexperimente mit *T. jacobaeae* und *T. recens* kam ein Gerät zum Einsatz, das das elektrische Feld der Wespen im Flug aussendet (Flügelschlagfrequenz 180 Hz). Die Beute erfasst die Stärke des elektrischen Feldes je nach Entfernung des Räubers. Die Raupen von *T. jacobaeae* und *T. recens* reagieren auf die Gefahr mit einrollen, und sie strecken sich wieder, wenn die Gefahr vorüber ist und beginnen zu laufen. Im Test wurde die Zeit aufgezeichnet, die jede Raupe brauchte, sich zu entrollen und loszulaufen. Die Raupen von *A. io* reagieren mit anderer Abwehr, sie klettern, schlagen um sich und beißen in die Elektrode. Für die Aufklärung der zuständigen Strukturen für den Mechanismus der Elektrorezeption kam Elektronenmikroskopie zum Einsatz. Verschiedene Borsten kamen dafür in Frage. In den Tests auf die elektromechanischen Reaktionen der Borsten von *T. jacobaeae* und *T. recens* wurde die Vibration der Borsten mit einem Laser-Doppler-Vibrometer erfasst.

### Ergebnisse:

Der Sensor zur Erfassung der elektrostatischen Ladung der Räuber befand sich am Einflugloch des Wespennests, die Wespen konnten frei einfliegen. Die Messungen ergaben, dass die 612 Wespen eine beträchtliche Ladung haben, durchschnittlich  $8,81 \pm 12,81$  pC; ein Wert, der auch bei anderen Landtieren vorkommt. Somit sind Wespen Quellen elektrischer Felder, die von dafür empfänglichen Beutetieren wahrgenommen werden können. Die Raupen (Beute) waren nicht stark geladen im Vergleich zu anderen Tieren ihrer Größe: Die Werte der 28 Tiere von *T. jacobaeae* ergaben  $0,48 \pm 1,15$  pC, die 38 Exemplare von *T. recens*  $1,64 \pm 1,23$  pC und die 44 Tiere von *A. io*  $-1,67 \pm 7,05$  pC. Ein Computerprogramm berechnete, dass das elektrische Feld in einigen Zentimeter Entfernung zwischen Räuber und Beute im Bereich von Kilovolt/m liegt. Das Verhalten der Raupen nach einwirken elektrischer Pulse war signifikant verschieden von dem der Kontrolltiere: Die Raupen der beiden Arten *T. jacobaeae* und *T. recens* brauchten signifikant länger als die Kontrolltiere, sich zu entrollen und loszulaufen, wenn das elektrische Feld eingeschaltet war. Die Raupen von *A. io* verbrachten signifikant mehr Zeit mit Schlagbewegungen als die Kontrolltiere und sie Bissen in die Elektrode bei Anwesenheit des elektrischen Feldes. Die elektromechanischen Tests ergaben interessanterweise, dass die Vibrationen von 3 verschiedenen Borsten von *T. jacobaeae* und *T. recens* nicht auf die Trägerfrequenz von 180 Hz, sondern auf die 2. Oberwelle von 360 Hz des Flügelschlags der Wespen mit Abwehr reagieren.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse zeigen, dass alle 3 Raupenarten die elektrischen Felder der Raubwespen wahrnehmen können. Das Verhalten der Raupen zeigt, dass dieses elektrische Feld allein ausreicht, eine Abwehrreaktion hervorzurufen. Daher kann man darauf schließen, dass die statische Elektrizität sehr wahrscheinlich ein Auslösereiz für das Erkennen des Räubers ist und als Bedrohung wahrgenommen wird. Das fliegende räuberische Insekt stört das elektrische Feld in seiner Umgebung und liefert dem Beutetier Informationen über die Anwesenheit und die Richtung des Räubers. Außerdem werden die mechanisch empfindlichen Borsten der Raupen durch die elektrostatischen Kräfte ausgelenkt und auf die Frequenz des Flügelschlags des räuberischen Insekts eingestellt. Das heißt, Elektrorezeption allein ist ausreichend für die Erkennung von Anwesenheit, Ort und Flügelschlag des elektrisch geladenen räuberischen Insekts. Die Raupe muss keine eigene Ladung zur Erkennung des Räubers haben. Das weist darauf hin, dass elektrisches Rauschen von Hochspannungsleitungen und elektrischen Geräten negative Wirkungen auf Raupen hat. Man hat beobachtet, dass Raupen in Anwesenheit der hier verwendeten Frequenzen weniger Futter aufnehmen, gestresst sind und ihre Entwicklung beschleunigt wird, was die Fitness und Überlebensrate vermindert.

Mit diesem Experiment wurde die Rolle der Elektrorezeption

erstmals bei einem Räuber-Beute-Zusammenwirken bei Landtieren beschrieben (bisher nur bei im Wasser lebenden Tieren), das eröffnet eine neue Forschungsrichtung. Stammesgeschichtliche Analysen ergaben, dass sich die 3 Schmetterlingsarten vor etwa 100 Millionen Jahren, in der mittleren Kreidezeit, getrennt haben. So kann man davon ausgehen, dass auch andere Schmetterlingsraupen und andere Gliederfüßer wie Hummeln, Schwebfliegen u. a. elektrische Felder nutzen. Eine wichtige Erkenntnis ist, dass die Raupen nicht unbedingt ein elektrisches Feld erzeugen müssen, um die elektrische Ladung der Räuber erkennen zu können. Diese Studie zeigt auf, dass landlebende Tiere Elektrorezeption zur Erkennung von Räufern nutzen können. Das bedeutet, dass natürliche Elektrizität eine ökologisch wichtige Funktion hat und die Räuber-Beute-Beziehung weiter erforscht werden sollte. (IW)



### Nachweis genetischer Instabilität

## Das Schicksal von Mikrokernen und Mikrokern-haltigen Zellen nach Behandlung von HeLa-Zellen mit verschiedenen gentoxischen Substanzen

Reimann H, Stopper H, Hintzsche H (2023): Fate of Micronuclei and micronucleated cells after treatment of HeLa cells with different genotoxic agents. *Archives of Toxicology* 97, 875–889; <https://doi.org/10.1007/s00204-022-03433-9>

Während der Zellteilung entstehen zu einem bestimmten Anteil außerhalb des normalen Zellkerns kleine zusätzliche Kerne, die Mikrokerns. Sie entstehen während der Kernteilung bei der Mitose. Sie enthalten einzelne Chromosomen oder Bruchstücke davon, enthalten Chromatin, sind von einer Membran umgeben und liegen im Zellplasma. Sie sind ein Zeichen für genetische Instabilität. Deshalb wird deren Nachweis seit Jahrzehnten für das Vorhandensein von geschädigenden Chemikalien, z. B. Pestiziden, eingesetzt. Mikrokerns in Lymphozyten im peripheren Blut weisen auf ein Krebsrisiko hin. Trotz des langzeitigen Einsatzes des Tests kennt man die Bedeutung von Mikrokernen und Mikrokern-haltigen Zellen für den Organismus (z. B. für Tumorentstehung, Abbau der Mikrokerns, Apoptose u. a.) nicht genau. Mikrokerns bieten eine Erklärung, warum nur bestimmte Regionen im Genom von Schädigungen betroffen sind. In der Literatur sind die Ergebnisse uneinheitlich. Das Ziel dieser Arbeit war zu klären, ob die Bildung von Mikrokernen und Mikrokern-haltigen Zellen Substanz-abhängig ist oder ob allgemeine Vorgänge unabhängig von der einwirkenden Substanz zur Mikrokernbildung führen. Zudem wurde untersucht, was mit Mikrokernen und Mikrokern-haltigen Zellen im weiteren Verlauf passiert.

### Studiendesign und Durchführung:

Für die Untersuchungen wurde die Zelllinie HeLa-H2B-GFP eingesetzt, die die Histone 2B stabil exprimiert und ein Protein enthält, das grün fluoresziert. Zunächst musste je eine Dosis für gentoxische Chemikalien gefunden werden, bei der Mikrokerns entstehen aber noch keine Zellschädigung eintritt. Die verwendeten Chemikalien sind Doxorubicin (20, 30 und 40 nM), tert-Butylhydroperoxid (TBHP, 50, 100 und 150 µM), Röntgenstrahlung (0,5, 1 und 2 Gy), Methylmethansulfonat (MMS, 20, 25 und 30 µg/ml) und Vinblastin (1, 2 und 3 nM). Die einzeln bis mehrfach vorkommenden Mikrokerns wurden zusammen mit mitotischen und apoptotischen Zellen in 1000 Zellen als doppelter Ansatz im Fluoreszenzmikroskop bestimmt, die Mikrokerns in 1000 zweikernigen Zellen. Die Festlegung der Größe der Mikrokerns erfolgte als klein bzw. groß, wenn sie vom Mittelwert 4,69 µm<sup>2</sup> abwichen. Der Test auf DNA-Schädigung wurde mit der γH2AX-Färbung über 5 Tage als Dreifach-Ansatz durchgeführt. Untersucht wurde auch auf Fehler bei der Zellteilung wie Zelltod, Teilung nach Fusion von 2 oder mehr Kernen oder multipolare Zellteilung.

### Ergebnisse:

Bei den Kontrollzellen waren fast keine spontanen Mikrokerns zu finden, während in allen Mikrokern-haltigen Zellen ein signifikanter Anstieg pro Zelle auftrat. Die Anzahl der Mikrokerns war in der nachfolgenden Generation (F1) signifikant höher als in den behandelten Zellen bei der mittleren und hohen Dosierung von Doxorubicin, bei der hohen von MMS. Die Generationen F2–F5 zeigten signifikanten Anstieg bei allen Dosierungen. Am häufigsten beobachtet wurden Mikrokernsraten zwischen 74,7 und 88,9 % und Wiedereingliederung der Mikrokerns zwischen 10,8 und 24,3 %. Abbau war nur selten zu sehen (0,1–4 %). Auch Freisetzung war sehr selten und es gab keine klare Dosis-Abhängigkeit. Die Größe der Mikrokerns war in den Kontrollzellen fast gleich verteilt, ähnlich war es bei den mittleren Dosen von TBHP und MMS und nach Bestrahlung. Doxorubicin produzierte mit 58,8 % den höchsten Anteil aller gezählten Mikrokerns, gefolgt von Vinblastin mit 55,3 % großen Mikrokerns. Zusammengefasst zeigen die Ergebnisse, dass Mikrokerns entweder fortbestehen oder bei der Zellteilung wieder in den Zellkern eingegliedert werden. Sie werden jedenfalls nicht abgebaut oder ausgetrieben.

Im Beobachtungszeitraum 96 Stunden sollten in den HeLa-H2B-GFP-Zellen normalerweise 4–5 Zellteilungen, d. h. Verdoppelungen abgelaufen sein. Bei den Kontrollzellen ohne Mikrokernzellen erfolgte auch fast eine Verdoppelung für F1–F4. Bei den Mikrokern-haltigen Zellen geschah die Verdoppelung nur für F0–F1, danach nahm die Zellteilung ab bis teilweise nahezu 0 % erreicht war, bei allen eingesetzten Chemikalien. Die Anzahl der toten Zellen stieg in fast allen mikrokernhaltigen Zellen signifikant an, bei den meisten in F1 und F2; bei Vinblastin nur bei der höchsten Dosis 3 nM in F1. Ruhende Zellen (Seneszenz) stiegen

außer bei den Kontrollzellen ohne Mikrokerne bei allen Ansätzen signifikant an, am höchsten bei der höchsten Dosis.

Die DNA-Schädigung in den Mikrokernen stieg innerhalb von den 5 Tagen Untersuchungszeitraum bei fast allen Proben gegenüber den Mikrokern-freien Kontrollzellen an, aber nur in 2 Proben signifikant. Fehler bei der Zellteilung wie Zelltod, Teilung nach Fusion von 2 oder mehr Kernen oder multipolare Zellteilung passierten nur sehr selten in den Mikrokern-freien Zellen, in den Kontrollzellen mit Mikrokerneln nur zu 2,4 %, aber waren signifikant erhöht in Mikrokern-haltigen Zellen zu unterschiedlichen Anteilen und Dosierungen. Ebenso gab es Teilung nach Fusion und multipolare Teilung zu unterschiedlichen Anteilen, nur bei der Strahlung gab es eine Dosisabhängigkeit. Insgesamt bewegten sich die Prozentsätze zwischen 2 und 11,5 %.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass trotz des Zelltods und vielen Zellteilungsfehlern, die in manchen Mikrokern-haltigen Zellen vorkommen, eine große Anzahl von Mikrokern-haltige Zellen nach Verabreichung von gentoxischen Substanzen überleben können und Tochterzellen mit und ohne Mikrokerne produzieren können. Da Mikrokern-DNA einen hohen Anteil an Schädigung aufweist, kann man annehmen, dass selbst nach Wiedereingliederung kein normaler Status zurückgewonnen werden kann, während Fortbestehen des Mikrokerns zu Fortbestehen der DNA-Schädigung führt. Trotzdem können bei Wiedereingliederung und Fortbestehen des Mikrokerns stabile normale Zellen entstehen. Ebenso kann genetische Instabilität erzeugt werden, ein gut bekannter Faktor für Krebsentstehung. In diesen Experimenten fanden sich keine klaren Substanz-abhängigen Auswirkungen, da ähnliche Trends bei allen hier angewendeten gentoxischen Substanzen in Mikrokernen und Mikrokern-haltige Zellen zu sehen waren. (IW)



### EMF und Grenzwerte

## RF-Sicherheitsgrenzwerte und Empfehlungen

Lin JC (2023): RF health safety limits and recommendations [Health Matters]. IEEE Microwave Magazine. 2023 May 8;24(6):18-77. <https://doi.org/10.1109/MMM.2023.3255659>

James C. Lin, ehemaliger Vorsitzender des IEEE Committee on Man and Radiation, ehemaliger Vizepräsident des U.S. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) und ehemaliges Mitglied der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP), hat kürzlich seine aktuellen Ansichten zum Thema Radiofrequenz-Gesundheitssicherheit zusammengefasst.

In seinem Artikel werden die Bekanntmachungen und Vorschriften der amerikanischen Federal Communications Commission (FCC), die Richtlinien der International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP) und die Norm des International Committee on Electromagnetic Safety (ICES) in Bezug auf die Exposition des Menschen gegenüber elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern (EMFs) diskutiert. Die biologischen Auswirkungen der Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung sind seit Mitte des 20. Jahrhunderts Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen. Erste Studien hatten gezeigt, dass die Exposition durch die Erwärmung des Gewebes im Körper sowohl positive als auch negative biologische Wirkungen beim Menschen hervorrufen kann.

Die Einführung des Konzepts der spezifischen Absorptionsrate (SAR) und ihres frequenzabhängigen Zusammenhangs mit der einfallenden Leistungsdichte bildet die Grundlage für den maximal zulässigen Expositionswert. Es wurde zu einer zwingenden Begründung für die Angabe quantitativer Ergebnisse aus Laborexperimenten und Beobachtungsstudien. Die SAR kann verwendet werden, um die Hochfrequenz- und Mikrowellenstrahlung mit spezifischen Reaktionen des Körpers in Verbindung zu bringen; sie erleichtert das Verständnis biologischer Phänomene und ist unabhängig von den Mechanismen der Wechselwirkung. Weitere Fortschritte trugen wesentlich zur Verfeinerung des oben genannten Expositionsgrenzwertes bei. So empfahl der U.S. National Council on Radiation Protection and Measurements (NCRP) in seinem Bericht über biologische Wirkungen und Expositionskriterien für Mikrowellen- und HF-Strahlung die ausschließliche Verwendung von SAR zur Quantifizierung der Verteilung und Absorption von HF- und Mikrowellen in biologischem Material. Außerdem wurde SAR in der Ausgabe 1992 der von der IEEE Standards Association entwickelten Expositionstandards verwendet, die auch vom American National Standards Institute (ANSI) anerkannt wurden.

In der Folge veröffentlichte die neu gegründete ICNIRP 1998 ihre empfohlenen Leitlinien. Sie folgt größtenteils den Empfehlungen von ANSI/IEEE1992 und FCC1996, mit der Ausnahme, dass sie für die lokale Absorption einen SAR-Wert von 2 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebemasse, festlegt, ohne jedoch eine klar dargelegte biophysikalische Grundlage oder wissenschaftliche Begründung zu liefern (davor gemittelt über 1 g). Im Jahr 2006 veröffentlichte der ICES eine überarbeitete Expositionsnorm, in der er den SAR-Wert der ICNIRP von 2 W/kg, gemittelt über 10 g Gewebemasse, für die lokale Absorption übernahm. Dies geschah offenbar als Schritt in Richtung einer weltweiten Harmonisierung der Normen.

### Bewertung der kürzlich überarbeiteten Grenzwerte für den Schutz der Gesundheitssicherheit:

Ein kürzlich erschienener Artikel zeigt, dass die derzeitigen Expositionsgrenzwerte Hunderte von wissenschaftlichen Studien ignorieren, die gesundheitsschädliche Auswirkungen bei

Expositionen unterhalb der offiziellen Grenzwerte fanden (ICBE-EMF 2022). Der Artikel der Internationalen Kommission für die biologischen Wirkungen elektromagnetischer Felder argumentiert, dass die Expositionsgrenzwerte, die auf wissenschaftlichen Erkenntnissen aus den 1980er Jahren beruhen, Kinder, Menschen mit elektromagnetischer Überempfindlichkeit, Industriearbeiter und die Öffentlichkeit nicht ausreichend gegenüber HF-Strahlung schützen. Die ICNIRP hat ihre Bestimmung von 1998 über Grenzwerte für die Impulsexposition aus den überarbeiteten Leitlinien von 2020 gestrichen. Folglich gibt es in der ICNIRP 2020 keine spezifischen Beschränkungen für Pulsmodulationen jeglicher Art mehr. Es ist zu beachten, dass die zeitlich gemittelte SAR über einen Zeitraum von 6 Minuten nicht ausreicht, um die Auswirkungen von pulsmodulierten Expositionen zu erfassen, einschließlich des akustischen Mikrowelleneffekts, der ohne messbaren Temperaturanstieg und bei niedrigen SAR-Werten auftritt. Die überarbeiteten Expositionsgrenzwerte sehen keine Anpassungen für mögliche Auswirkungen aufgrund einer Langzeitexposition des Menschen vor. Es besteht der Eindruck, dass die wissenschaftlichen Erkenntnisse zur chronischen Toxikologie und Karzinogenität in Bezug auf HF-Expositionen unterhalb der in den bestehenden Expositionsrichtlinien und -normen festgelegten Basisgrenzwerte nicht ausreichend berücksichtigt werden. Die in den jüngsten Überarbeitungen der Grenzwerte für die gesundheitliche Unbedenklichkeit vertretenen Positionen scheinen die ausführlichsten Tierstudien (die Studien des NTP und des Ramazzini-Instituts an Ratten) als nicht relevant einzustufen. Während die Standards auf die Tierstudien verweisen, haben sie sich dafür entschieden, vermeintliche „zufällige Unterschiede“ durch experimentelle Behandlungen oder Komplikationen durch thermisch induzierte Körperkerntemperaturerhöhungen von bis zu 1 °C zu beanstanden. Dabei übersehen die Normen den Fehler, einen Anstieg der Körperkerntemperatur um 1 °C als Ursache für Krebs vorzuschlagen. Vage Ausdrücke wie „wesentliche Einschränkungen“ geben nicht an, warum die Autoren der Normen der Meinung waren, dass „Schlussfolgerungen bezüglich HF-EMFs und Krebsentstehung“ bei der Formulierung der empfohlenen HF-Grenzwerte nicht möglich waren. Ausgehend von der veröffentlichten Diskussion, die die Normen begleitet, liegt der Verdacht nahe, dass es eine Tendenz zur Skepsis gegenüber gesundheitsschädlichen Ergebnissen und eine ebenso starke Tendenz zur weniger kritischen Akzeptanz harmloser Befunde gibt.

### Schlussfolgerungen:

Die neu überarbeiteten Grenzwerte für die HF-Belastung (ICNIRP 2020) zielen vor allem darauf ab, die kurzfristige Erwärmung (6 bis 30 min) der HF-Strahlung zur Erhöhung der Gewebetemperaturen zu begrenzen. Diese Grenzwerte zeigen auch die feste Überzeugung, dass bei HF-Strahlung nur Wärme zu befürchten ist. (Diese Sichtweise ist biophysikalisch mittlerweile nicht mehr haltbar, Anm. der Redaktion). Die überarbeiteten

Grenzwerte für die HF-Exposition berücksichtigen nur die Wärmebelastung durch HF-Strahlung. Sie sind nicht für eine langfristige Exposition bei niedrigen Werten geeignet. Anstelle von Fortschritten in der Wissenschaft beruhen sie auf Annahmen, die auf veralteten Expositionsmetriken beruhen. Darüber hinaus basieren die Grenzwerte auf veralteten Informationen und lassen wichtige Tierdaten außer Acht. Schließlich gehen die Richtlinien nicht angemessen auf die Schlussfolgerungen wissenschaftlicher Organisationen wie der IARC ein. Daher sind viele der empfohlenen Grenzwerte unter dem Gesichtspunkt der wissenschaftlichen Rechtfertigung für die Sicherheit und den Schutz der öffentlichen Gesundheit fragwürdig. (AT)



### Kritik an COSMOS-Studie

## COSMOS: Eine methodisch unzulängliche Kohortenstudie über die gesundheitlichen Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung

Moskowitz JM, Frank JW, Melnick RL, Hardell L, Belyaev I, Héroux P, Kelley E, Lai H, Maisch D, Mallery-Blythe E, Philips A (2024): COSMOS: A methodologically-flawed cohort study of the health effects from exposure to radiofrequency radiation from mobile phone use. *Environment International*, 190(June), 15–17. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108807>

Die im Folgenden vorgestellte Publikation stellt eine Kritik an der Kohortenstudie über die gesundheitlichen Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung COSMOS (Cohort Study of Mobile Phone Use and Health) dar und richtet sich an die Editoren des Journals „Environment International“. In der COSMOS-Studie, welche Zwischenergebnisse einer über 25 Jahre andauernden Kohortenstudie präsentiert, wurden Teilnehmer aus Dänemark, Finnland, den Niederlanden, Schweden und Großbritannien rekrutiert. Diese Teilnehmer wurden in populationsbasierten Krebsregistern beobachtet, um die Inzidenzen von Hirntumoren (Gliomen, Meningeomen und Akustikusneurinomen) zu bewerten. 264.574 Teilnehmer akkumulierten hierbei 1.836.479 Personennjahre. Die Autoren der COSMOS-Studie ziehen das Fazit: „Unser bisheriges Ergebnis und weitere wissenschaftliche Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen nicht mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von Hirntumoren assoziiert ist“. Laut Moskowitz et al. liefere die Studie aufgrund eklatanter methodischer Mängel keine zuverlässige Bewertung des Tumorrisikos im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen.

**Studiendesign und Durchführung:**

Die Kritik von Moskowitz et al. bezieht sich auf die Präsentation von Zwischenergebnissen einer über 25 Jahre dauernden Kohortenstudie (Feychting et al., 2024)<sup>1</sup>.

**Ergebnisse:**

Zu Beginn der Studie wurden im Rahmen von COSMOS Daten über die Häufigkeit und Dauer von Mobiltelefonaten auf der Grundlage von Selbstauskünften erhoben. Dies ist ein dürftiger Indikator für die Mobilfunkstrahlung, da die Expositionslevel in Abhängigkeit der Netztechnologie und Stärke des Mobilfunkmastes um 4 Größenordnungen variiert. Diese Variabilität wurde nicht berücksichtigt. Außerdem wurden andere Hochfrequenzquellen, wie z. B. DECT-Telefone, WLAN-Router oder Mobilfunkmasten nicht erfasst. Auch die Tatsache, dass sich die Mobilfunktechnologie nebst Nutzung über die Dauer der Studie veränderte, wurde nicht aufgegriffen. Laut Moskowitz et al. trugen diese zufälligen und systematischen Messfehler zu einer erheblichen Fehlklassifizierung der drei Vergleichsgruppen in Bezug auf die Mobilfunkexposition bei und verzerrten die Ergebnisse aufgrund der Kohortendesigns gegen null. Auch die Entscheidung von Feychting et al. die Kontrollgruppe (mangels einer unbefeldeten Kontrollgruppe) auf die unteren 50 % der Mobilfunknutzer, anstatt beispielsweise der unteren 10 %, zu legen, wurde scharf kritisiert. Dies sei nicht vertretbar und durch die Wahl der Referenzgruppe seien die Ergebnisse wiederum gegen null verzerrt. Ein weiterer Kritikpunkt ist die unzureichende Anzahl von Probanden, die über mehr als ein Jahrzehnt nach Beginn der Mobilfunkbelastung beobachtet wurden. Da die meisten Krebsarten beim Menschen eine Latenzzeit von vielen Jahren bis Jahrzehnten besitzen, ist eine Stratifizierung der Gesamtdauer zwischen dem Beginn der Exposition und dem Datum der Krebsdiagnose von elementarer Bedeutung. Die aussagekräftigen Latenzzeiten betragen hierbei mehr als ein Jahrzehnt. Da es Hinweise darauf gibt, dass die Latenzzeit sich ortsbezogen ändert (ipsilateral vs. kontralateral bei Gliomen) und dieser Unterschied in hohem Maße auf krebserrregendes Potenzial des Mobilfunks hinweist, fordern Moskowitz et al. eine Dokumentation der Tumorlokation. Außerdem fechten Moskowitz et al. die statistische Aussagekraft der Publikation an. Feychting et al. räumen ein, dass „die statistische Aussagekraft für Meningeome und Akustikusneurinome begrenzt war“. Moskowitz et al. sind der Meinung, dass auch die statistische Aussagekraft für Gliome mit nur 149 Fällen in 1,836 Millionen Personenjahren ebenfalls begrenzt sei. Zum einen seien die Konfidenzintervalle für das Gefährdungsverhältnis groß. Zum anderen wurde im COSMOS-Designpaper von einer jährlichen Inzidenzrate von 15 pro 100.000 ausgegangen, während die Gliom-Inzidenzrate in der aktuellen Studie 8,11 pro 100.000 betrug. Als letzten Kritikpunkt merken Moskowitz et al. an, dass die COSMOS-Studie zumindest teilweise von der Telekommunikationsindustrie finanziert worden ist, was zu einer Verzerrung

führe. Obwohl Feychting et al. berichten, dass eine „Firewall“-Vereinbarung „vollständige wissenschaftliche Unabhängigkeit“ garantiere, wurde das Studiendesign vor der Annahme dieser Vereinbarung mit Ericsson ausgehandelt.

**Schlussfolgerungen:**

In Anbetracht der oben beschriebenen schwerwiegenden methodischen Schwächen des COSMOS-Zwischenberichts empfehlen Moskowitz et al., dass die Autoren ihre Schlussfolgerung „Unsere bisherigen Ergebnisse und weitere wissenschaftliche Erkenntnisse deuten darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen nicht mit einem erhöhten Risiko für die Entwicklung von Hirntumoren assoziiert ist“ zurückziehen. (Damit sind Moskowitz et al. nicht allein, auch (Kundi, 2024)<sup>2</sup> kritisiert die methodischen Schwächen, insbesondere bezüglich der Tumortalenzzeit) (RH)

<sup>1</sup> Feychting M, Schüz J, Toledano MB, Vermeulen R, Auvinen A, Harbo Poulsen A, Deltour I, Smith RB, Heller J, Kromhout H, Huss A, Johansen C, Tettamanti G, Elliott P. (2024): Mobile phone use and brain tumour risk – COSMOS, a prospective cohort study. *Environment International*, 185(January), 108552. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108552>

<sup>2</sup> Kundi M. (2024): Letter to the editor. *Environment International*, 187(April), 108665. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108665>

**Kritik an WHO-Studie**

## **Baut die WHO eine Verharmlosung von Hochfrequenz-Risiken auf einer fehlerhaften Übersichtsarbeit auf? Eine Fallstudie zeigt, wie aus Daten, die Risiken aufzeigen, die Schlussfolgerung „keine Risiken“ gezogen wird**

Nordhagen EK, Flydal E (2024): WHO to build neglect of RF-EMF exposure hazards on flawed EHC reviews? Case study demonstrates how “no hazards” conclusion is drawn from data showing hazards. *Reviews on Environmental Health*, 1-12. <https://doi.org/10.1515/reveh-2024-0089>

Die vorliegende Publikation von Nordhagen & Flydal kritisiert eine der ersten Veröffentlichungen der WHO-Initiative zur Bewertung von Risiken menschengemachter Hochfrequenz. Die Übersichtsarbeit von (Cordelli et al., 2023)<sup>1</sup> untersucht experimentelle Studien zu Schwangerschaft und Geburt (weibliche Fruchtbarkeit) bei nicht-menschlichen Säugetieren. Die Arbeit von Cordelli et al. ist ein umfangreiches Werk, welches unter

Einsatz von „State-of-the-Art“ statistischen und technischen Methoden, eine Meta-Analyse von 14 Endpunkten durchführt. Cordelli et al. kommen zu dem Schluss, dass die analysierten Daten „keine hinreichend sicheren Schlussfolgerungen lieferten, um Entscheidungsträger auf regulatorischer Ebene zu informieren“. Nordhagen & Flydal analysieren gründlich Qualität, Gültigkeit und Schlussfolgerungen der Übersichtsarbeit.

### **Studiendesign und Durchführung:**

Wie oben erwähnt bezieht sich die Analyse von Nordhagen & Flydal auf die Übersichtsarbeit von (Cordelli et al., 2023). Um ihren Arbeitsaufwand beherrschbar zu gestalten, wählten Nordhagen & Flydal repräsentative Teile der Übersichtsarbeit aus: Einige mit übergreifenden Konsequenzen für die gesamte Meta-Analyse und andere, die sich auf Details eines bestimmten Endpunktes beziehen. Insbesondere der Endpunkt „fötales Gewicht“, welcher auf der größten Studienanzahl beruht, liegt hierbei im Fokus.

### **Ergebnisse:**

Als ersten Kritikpunkt merken Nordhagen & Flydal an, dass Studien in die Übersichtsarbeit aufgenommen wurden, deren Feldstärken so hoch sind, dass sie thermische Wirkungen vermuten lassen. Damit jedoch eine Bewertung für Schwangere und deren ungeborene Kinder stattfinden kann, sollten die Bedingungen der experimentellen Studien Alltagssituationen bestmöglich imitieren. Das bedeutet, dass nur Studien mit niedrigem, nicht-thermischen SAR-Wert relevant sind. Mehr als die Hälfte der von Cordelli et al. ausgewählten Studien befanden jedoch mit einem SAR-Wert von mehr als 5 W/kg und damit im thermischen Bereich. Abgesehen davon, dass ICNIRP- und IEEE/ICES-Standards vor thermischen Wirkungen schützen und derartig hohe SAR-Werte für das alltägliche Leben von Schwangeren irrelevant sind, führt die Einbeziehung von thermischen Studien zu einer gesteigerten Heterogenität der Meta-Analyse. Diese Heterogenität impliziert einen Unsicherheitsfaktor für das Gesamtergebnis. Weiterhin wird kritisiert, dass die Gleichungen, welche für die relative Gewichtung der Einzelstudien verwendet werden, nicht dokumentiert sind. Die Intransparenz der Gewichtung macht es unmöglich, sie nachzuvollziehen und reduziert damit die Glaubwürdigkeit der Metastudie. Als nächstes analysieren Nordhagen & Flydal die „Risk of Bias“ (RoB)-Bewertung und stellen fest, dass diese thermische, irrelevante Studien favorisieren, während nicht-thermische Studien diskreditiert werden. Die RoB-Bewertung ist somit selbst voreingenommen oder „biased“. Dies bewirkt, dass die Anzahl an thermischen Studien vergrößert wird, wodurch wieder die Relevanz sowie Sicherheit (certainty assessment) der Meta-Analyse verringert und die Heterogenität erhöht wird. Letztendlich resultieren daraus kleine gepoolte Effektgrößen, welche als unsicher bewertet werden. Nordhagen & Flydal äußern bereits zu diesem Zeitpunkt das Statement, dass die Ergebnisse der Meta-Analyse als irrelevant

für die Bewertung von Gesundheitsrisiken Schwangerer betrachtet werden sollten. Sie führen allerdings noch eine detaillierte Überprüfung des Endpunktes „fötales Gewicht“ durch. Dabei erachten sie lediglich Studien mit sub-thermischen Feldstärken (33 von 62 Publikationen) als relevant. Nordhagen & Flydal stellen bei 19 (58 %) der 33 nicht-thermischen Studien eine inkorrekte Handhabung durch Cordelli et al. fest. Diese beinhalteten unsachgemäßes Zitieren von Daten (z. B. fehlerhafte Gewichtsangaben sowie vertauschen von Kontroll- und Versuchsgruppe), Verschiebung von Statistiken durch nicht dokumentierte Abweichungen in Gleichungen, die sich auf Konfidenzintervalle auswirken, und „Cherry Picking“ von Daten verschiedener Experimente (z. B. wurde lediglich auf das Gewicht männlicher Föten eingegangen, obwohl die weiblichen einen größeren Gewichtsverlust aufwiesen). Außerdem kritisieren Nordhagen & Flydal, dass Veränderungen biochemischer Parameter (Enzyme, freie Radikale, genetische Schäden, Auswirkungen auf Zellstrukturen) überhaupt nicht beachtet wurden. Durch die Auswahl der Endpunkte werde die Mehrheit aktueller Forschungsergebnisse praktisch ignoriert. Auch selbstverständliche Korrelationen seien nicht beachtet worden, wie z. B., dass das Gewicht des Gehirns mit dem Körpergewicht der Föten korreliere, was wiederum mit der Wurfgröße korreliere. Doch selbst Cordelli et al. finden gesundheitsschädliche Hochfrequenzwirkungen, in der Kategorie „spätere Auswirkungen auf die Gesundheit der Nachkommen“. Die Mehrzahl der analysierten Endpunkte weist hier mäßige bis erhebliche schädliche Auswirkungen auf und sind damit von größter Bedeutung für die Zielsetzung der Übersichtsarbeit. Diese schädlichen Auswirkungen werden jedoch heruntergespielt und es werden keine eindeutigen Empfehlungen an regulative Behörden gegeben.

### **Schlussfolgerungen:**

Nordhagen & Flydal führen einen Teil der eklatanten Mängel darauf zurück, dass alle Autoren der Übersichtsarbeit dem wissenschaftlichen Lager angehören, welches lediglich thermische Wirkungen anerkennt. Die WHO-Initiative wird von 21 Experten organisiert, von denen alle bis auf drei entweder mit der ICNIRP, der IEEE/ICES, einem kleinen, sich selbst referenzierenden Netzwerk von Autoren verbunden sind. Laut Nordhagen & Flydal sei jedoch die systematische und offenkundig verfälschende Auswahl von Daten und das Auslassen für den Menschen relevanter Befunde nicht durch einen „Conformation Bias“ oder eine verblendete „lediglich-thermische“ Tradition zu erklären. Diese Verfehlungen scheinen, so die Autoren, das Ergebnis eines höchst bewussten Vorgehens zu sein. (RH)

<sup>1</sup> 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. (2023): Effects of Radio-frequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on pregnancy and birth outcomes: A systematic review of experimental studies on non-human mammals. *Environment International*, 180, 108178. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108178>





## Elektrohypersensibilität

# Überempfindlichkeit gegenüber vom Menschen verursachten elektromagnetischen Feldern (EHS) korreliert mit der Immunreaktivität auf oxidativen Stress: ein Fallbericht

Thoradit T, Chabi M, Aguida B, Baouz S, Stierle V, Pooam M, Tousaints S, Akpovi CD, Ahmad M. Hypersensitivity to man-made electromagnetic fields (EHS) correlates with immune responsiveness to oxidative stress: a case report (2024). *Communicative & Integrative Biology*. 2024 Dec 31;17(1):2384874. <https://doi.org/10.1080/19420889.2024.2384874>

Es gibt immer mehr Hinweise darauf, dass die Exposition gegenüber schwachen elektromagnetischen Feldern (EMF), wie sie durch moderne Telekommunikations- oder Haushaltsgeräte erzeugt werden, physiologische Folgen hat, einschließlich der sogenannten Elektrohypersensibilität (EHS), die zu gesundheitlichen Beeinträchtigungen führt. EHS beschreibt eine Reihe von gesundheitlichen Beschwerden, die durch elektromagnetische Felder (EMF) verursacht werden. Zu den Symptomen gehören Kopfschmerzen, Müdigkeit, Herzrhythmusstörungen, Gedächtnis- und Konzentrationsstörungen sowie systemische Schmerzen. Die genaue Ursache und wirksame Behandlungsmöglichkeiten für EHS sind bisher unbekannt. Es ist jedoch mittlerweile bewiesen, dass schwache, nicht-thermische EMF oxidativen Stress verursachen, auch wenn der Mechanismus, der dazu führt, allgemein noch nicht bekannt ist.

### Fallbericht:

Die Autoren stellen die Fallstudie eines 25-jährigen EHS-Patienten vor, der nach eigenen Angaben starke Kopfschmerzen, allgemeine Müdigkeit, Herzrhythmusstörungen, Aufmerksamkeits- und Gedächtnisdefizite sowie allgemeine systemische Schmerzen innerhalb von Minuten nach Kontakt mit Telekommunikationsgeräten (z.B. WLAN, Mobiltelefon) und Hochspannungsleitungen (in weniger als 50 m Abstand) erleidet. Mildere Symptome werden beim Patienten durch meteorologische Bedingungen wie Gewitter und Regen ausgelöst. Außerdem hat sich der Schweregrad der Symptome in den letzten 4 Jahren immer weiter erhöht. Aus diesem Grund ist der Patient jetzt nicht mehr in der Lage, in einem normalen Arbeitsumfeld zu arbeiten, und wohnt in einem isolierten Haus auf dem Lande. Trotz umfangreicher medizinischer Tests wurden bislang keine physiologischen Anomalien festgestellt, die seine Symptome erklären konnten.

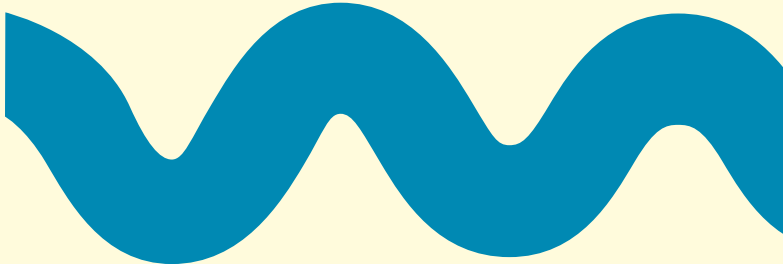
### Ergebnisse:

Tests auf zerebrale, kardiovaskuläre und andere physiologische Anomalien verliefen negativ, ebenso wie serologische

Tests auf Entzündungen, Allergien, Infektionen, Autoimmunerkrankungen und hormonelles Ungleichgewicht. Alle Standard-Laborwerte waren im normalen Bereich. Weitere Untersuchungen zeigten jedoch Defizite an zellulären Antioxidantien (Vitamin C, Beta-Carotin, Coenzym Q10) und eine erhöhte Aktivität radikalfangender Enzyme (Superoxiddismutase), was auf systemischen oxidativen Stress hindeutet. Besonders auffällig war ein starker Anstieg (40-fach erhöht) der zirkulierenden Antikörper gegen oxidiertes Low-Density-Lipoprotein (LDLox), der oxidierten Form des LDL-Cholesterols. LDLox ist ein toxisches Lipid-Nebenprodukt von oxidativem Stress, das in hohen Konzentrationen zu Atherosklerose und Entzündungen beitragen kann. Im Gegensatz dazu waren die im Blutkreislauf gemessenen LDLox-Werte bei diesem Patienten nicht erhöht. Dies lässt darauf schließen, dass erhöhte LDLox-Konzentrationen, die die Bildung von Anti-LDLox-Antikörpern auslösen, bei dem Patienten wahrscheinlich nur vorübergehend auftraten. Da eine bekannte primäre Wirkung von EMF-Exposition die Erhöhung der zellulären Oxidantienkonzentration ist, wird vorgeschlagen, dass die Pathologie des Patienten möglicherweise durch eine erhöhte LDLox-Synthese verursacht wird, die eine übersteigerte Autoimmunreaktion auslöst. Interessant ist auch die Beobachtung, dass in der näheren Familie des Patienten mehrere Personen eine genetische Disposition gegenüber Schwermetallen aufweisen. Nach (womöglich unsachgemäßer - Anm. der Redaktion) medikamentöser Ausleitung der Schwermetalle mit Chelatbildnern ist bei all diesen Personen eine gewisse Überempfindlichkeit gegenüber EMF aufgetreten. Der Patient selbst war im Alter von 13 Jahren mit dem Chelatbildner DMPS behandelt worden, seine EHS ist mehrere Jahre später aufgetaucht. (Da der Hauptdetoxifikationsweg für Schwermetalle über Antioxidantien wie Glutathion stattfindet, liegt hier möglicherweise eine genetische Schwäche des antioxidativen Systems vor, was erklären könnte, wieso manche Menschen EHS entwickeln, die meisten Menschen jedoch nicht, Anm. der Redaktion).

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass oxidativer Stress eine mögliche zugrunde liegende Pathologie bei EHS sein könnte. Dies könnte eine Erklärung dafür bieten, warum Patienten mit EHS Symptome zeigen, die denen von Autoimmun- oder allergischen Reaktionen ähneln. Die Autoren schlagen vor, dass eine erhöhte Sensitivität gegenüber oxidativem Stress, möglicherweise aufgrund von Defiziten in zellulären Antioxidantien, eine Rolle bei der Entwicklung von EHS spielt. Die Studie diskutiert mögliche therapeutische Ansätze, einschließlich Antioxidantien-Therapien und Photobiomodulationstherapie, um oxidativen Stress zu reduzieren. Bei dem Patienten zeigte sich eine gewisse Linderung der mildereren Symptome durch die Anwendung einer Infrarot-LED-Lichttherapie, nicht jedoch durch die Gabe von Antioxidantien. Diese Fallstudie bietet einen testbaren mechanistischen Rahmen für die Pathologie von EHS mit therapeutischen Implikationen. (AT)



## Adressen für weitere seriöse 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), [info@diagnose-funk.de](mailto:info@diagnose-funk.de)

Microwavenews, 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):  
Institutshomepage: <https://publichealth.berkeley.edu/people/joel-moskowitz/>  
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:  
<http://www.biomedcentrum.sav.sk/research-departments/department-of-radiobiology/?lang=en#1511872382060-6857c1c8-f447>,  
<https://kurzelinks.de/jmi4>

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

