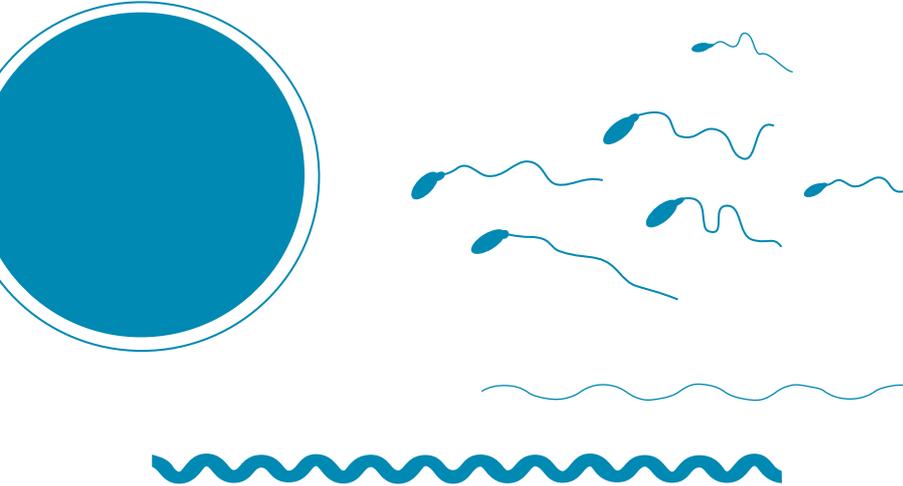


ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer
Felder für Umwelt und Gesundheit



WLAN führt zu degenerativen Veränderungen in Hoden Histomorphometrie und Spermienqualität bei männlichen Ratten, die mit 2,45 GHz befeldet wurden

Vijay S, Ibrahim SF, Osman K, Zulkefli AF, Mat Ros MF, Jamaludin N, Syed Taha SMA, Hairulazam A, Jaffar FHF (2025). Histomorphometry and sperm quality in male rats exposed to 2.45 GHz Wi-Fi. *Reproduction*, 169(5):e250048. <https://doi.org/10.1530/REP-25-0048>

Die allgegenwärtige Nutzung von WLAN wirft Fragen zu möglichen Auswirkungen auf die Gesundheit auf. Im besonderen Fokus steht hierbei die männliche Fertilität, da immer mehr Studien Hinweise für Beeinträchtigungen durch hochfrequente Mobilfunk- bzw. WLAN-Strahlung liefern. Die vorliegende Studie analysiert die Auswirkungen von 2,45-GHz-WLAN auf die männliche Fruchtbarkeit anhand eines Rattenmodells.

Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 18 männliche Sprague-Dawley-Ratten zufällig in 3 Gruppen (n = 6) unterteilt: scheinbefeldet, 4 h-Befeldung täglich, 24 h-Befeldung täglich. Die Exposition erfolgte über einen Zeitraum von 8 Wochen, als Strahlungsquelle diente ein kommerzieller WLAN-Router, welcher in 20 cm Abstand zu den Käfigen der Versuchstiere positioniert wurde. Die Wissenschaftler leiten aus der angegebenen maximalen Leistungsdichte des Routers von 0,141 W/m² einen Ganzkörper SAR-Wert von 0,41 W/kg für die Versuchstiere ab. Nach der Befeldung wurden Hoden, Nebenhoden, Samenbläschen, Samenkanälchen und Koagulationsdrüsen histologisch untersucht. Außerdem erfolgte eine semiquantitative Bestimmung

Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 03/2025, 31. Jahrgang

Online Veröffentlichung auf www.EMFdata.org

Bestellung Printausgabe:

shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport, Bestellnr. 52503

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

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 > WLAN und Veränderungen in Hoden

02 > Mobilfunk und WLAN schädigen Spermien

03 > Laptops/Tablets und männliche Fruchtbarkeit

05 > Mobile Geräte und Prostatakrebs

06 > WHO-Studie: Karzinogene Wirkung von Hochfrequenz

07 > Mobilfunk-Basisstationen: Gesundheitliche Auswirkungen

09 > WLAN: Wirkung auf Bienen und Hummeln

10 > Honigbienen im Faradayschen Käfig

11 > Mobilfunk verändert Gehirnwellen und Erregbarkeit

12 > Radikalpaar-Modell: Hinweis auf Wirkmechanismus

13 > Mechanismen der biologischen Wirkung von EMF

15 > EHS Grundlagenforschung

18 > Mobilfunk und Thermoregulation

19 > Kommentar zur BfS-Bewertung der Studie von Bozok et al.

der Spermatogenese (Johnson-Index) sowie eine quantitative Analyse der Spermienparameter (Konzentration, Motilität und Vitalität).

Ergebnisse:

Makroskopisch gab es kaum Unterschiede zwischen Kontrollen und befeldeten Gruppen, allerdings waren die Samenbläschen nach vierstündiger täglicher Befeldung signifikant vergrößert. Die Autoren beobachteten in den exponierten Gruppen histologische Veränderungen: Ödeme im Gewebzwischenraum (Interstitium) der Hodenkanälchen, Vakuolisierung im Epithelgewebe der Nebenhoden und Vergrößerung (Hyperplasie) der Samenbläschen. In den Koagulationsdrüsen wurden keine Beeinträchtigungen festgestellt. Die 24-stündige tägliche Befeldung führte zu einer statistisch signifikanten Verminderung des Durchmessers der Hodenkanälchen. Der Johnson-Index sank bei beiden befeldeten Gruppen im Vergleich zur Kontrolle statistisch signifikant. Ähnlich verhielt sich die Spermienkonzentration, diese sank statistisch signifikant dosisabhängig. Die Motilität war in der 4 h-Gruppe statistisch signifikant verringert, erholte sich bei der 24 h-Gruppe jedoch auf das Niveau der Kontrolle. Überraschenderweise stieg die Vitalität der Spermien bei der 24 h-Gruppe signifikant an.

Schlussfolgerungen:

Die mikroskopischen Resultate der Studie weisen auf degenerative Veränderungen der männlichen Geschlechtsorgane durch die WLAN-Befeldung hin. Die strukturellen Veränderungen verursachten Störungen der Spermatogenese und Spermienreifung. Dies deutet laut den Autoren darauf hin, dass 2,45-GHz-WLAN ein Risiko für die männliche Fruchtbarkeit darstellen könnte. Die paradoxe Zunahme der Spermienvitalität und die Erholung der Motilität bei der längeren täglichen Befeldung, legen nahe, dass kompensatorische Prozesse aktiviert werden.

Anmerkungen der Redaktion:

Die realitätsnahe Befeldung durch einen kommerziellen WLAN-Router im sub-thermischen Bereich und die Vielzahl an untersuchten Geweben erhöhen die Aussagekraft der Studie. Die achtwöchige Befeldung umfasst mehrere Spermatogeneszyklen und ist ebenfalls positiv zu bewerten. Leider wurden keine biochemischen Analysen von beispielsweise oxidativem Stress oder DNA-Schäden durchgeführt, welche die mechanistischen Hintergründe hätten beleuchten und die morphologischen Befunde untermauern können. Insgesamt reiht sich die Studie in die wachsende Anzahl derer ein (Jamaludin et al., 2025; Maluin et al., 2024; Kaur et al., 2023) mobile phones, televisions, microwaves, radio, and wireless devices, etc., have become an integral part of our daily lifestyle. All these technologies employ radiofrequency (RF, die darauf hinweisen, dass Hochfrequenz ein ernstzunehmendes Risiko für die männliche Fertilität darstellt. (RH)

Jamaludin N, Ibrahim SF, Jaffar FHF, Zulkefli AF, Osman K (2025). The Influence of 2.45 GHz Wi-Fi Exposure Duration on Sperm Quality and Testicular Histopathology: An Exploration of Peroxidative Injury. *Antioxidants*, 14(2), 179. <https://doi.org/10.3390/antiox14020179>

Kaur P, Rai U, Singh R (2023). Genotoxic Risks to Male Reproductive Health from Radiofrequency Radiation. *Cells*, 12(4), 1-20. <https://doi.org/10.3390/cells12040594>

Maluin SM, Jaffar FHF, Osman K, Zulkefli AF, Mat Ros MF, Ibrahim SF (2024). Exploring edible bird nest's potential in mitigating Wi-Fi's impact on male reproductive health. *Reproductive Medicine and Biology*, 23(1), 1-13. <https://doi.org/10.1002/rmb2.12606>



Mobilfunk & WLAN schädigen Spermien

Beeinflusst Elektrosmog im ART-Labor die Spermienqualität? Eine Querschnittsbeobachtungsstudie

Baldini GM, Lot D, Ferri D, Montano L, Tartagni MV, Malvasi A, Laganà AS, Palumbo M, Baldini D, Trojano G (2025). Does Electromagnetic Pollution in the ART Laboratory Affect Sperm Quality? A Cross-Sectional Observational Study. *Toxics*, 13(6), 510. <https://doi.org/10.3390/toxics13060510>

In den letzten Jahren hat die allgegenwärtige Nutzung mobiler Kommunikationsgeräte Fragen zu möglichen Einflüssen auf die männliche Fruchtbarkeit aufgeworfen. Diese Geräte sind auch in Laboren für *in vitro*-Fertilisationen präsent, wo ihr Einfluss auf die reproduktive Gesundheit, insbesondere auf die Qualität der Samenflüssigkeit, von besonderer Bedeutung sein könnte. Dementsprechend werden zu diesem Thema nach wie vor wissenschaftliche Debatten geführt. In solchen Laboren sind jedoch auch zahlreiche andere elektronische Geräte in Benutzung, welche elektromagnetische Felder produzieren. Die vorliegende Querschnittsstudie untersucht mögliche Auswirkungen verschiedener elektromagnetischer Quellen auf die progressive Motilität menschlicher Spermien *in vitro*.

Studiendesign und Durchführung:

Aus insgesamt 487 Probanden selektierten die Wissenschaftler 102 gesunde Männer zwischen 20 und 35 Jahren nach strengen Inklusionskriterien: genitale Anamnese, Doppler-Ultraschall des Hodensacks, negative Spermienkultur und hormonelle Tests. Nach einem initialen Seminogramm wurden die Spermienproben eines jeden Probanden in 7 Aliquots (Teilmengen) aufgeteilt. 6 von den 7 Aliquots wurden unterschiedlichen, im Fertilisationslabor vorkommenden, elektromagnetischen Quellen ausgesetzt: 1) PC-Monitor 2) Time-Lapse-Inkubator 3) iPhone 12 4) WLAN-Repeater 5) Inverses Mikroskop 6) Laptop. Die übrigbleibende Probe wurde keinem elektromagnetischen Feld aus-

gesetzt. Die Proben wurde in 10 cm Abstand zu den jeweiligen EMF-Quellen platziert, die Befeldungsdauer betrug 1 h. Die Intensität des elektromagnetischen Feldes wurde gemessen und in mV/m angegeben. Mobiltelefon (1610,6 mV/m Spitze; 295 mV/m Durchschnitt) und WLAN-Repeater (4259,2 mV/m Spitze; 241,5 mV/m Durchschnitt) erzeugten hierbei die stärksten Felder. Als Kontrollen für die Motilitätsparameter (progressiv, nicht-progressiv und immotil) wurden die restlichen befeldeten Gruppen herangezogen (Monitor, Mikroskop, Inkubator und Laptop).

Ergebnisse:

Die Basismotilität ohne Befeldung lag durchschnittlich bei 45,08 % progressiv, 16,4 % nicht-progressiv und 38,7 % immotil. Im Vergleich zu den anderen befeldeten Gruppen wurde eine statistisch signifikante Abnahme der progressiven Motilität sowohl beim Mobiltelefon als auch beim WLAN-Repeater dokumentiert. Die Verminderung betrug hier ca. 19,5 %. Korrespondierend nahm bei diesen beiden Gruppen der Anteil nicht-progressiver (ca. 9 %) und immotiler (ca. 10 %) Spermien statistisch signifikant zu.

Schlussfolgerungen:

Die Daten der vorliegenden Studie weisen nicht darauf hin, dass die elektromagnetischen Felder des Laborequipments von Fertilisations-Laboren die Beweglichkeit von Spermien signifikant einschränkt. Im Gegensatz dazu, beeinflussten drahtlose Kommunikationsgeräte, namentlich ein iPhone 12 und ein Ubiquiti UniFi 6-WLAN-Repeater, die Spermienmotilität statistisch signifikant negativ. Die Verringerung progressiv-motiler und damit fruchtbarer Spermien betrug hierbei knappe 20 %. Die Autoren weisen darauf hin, dass mögliche Störgrößen (Lebensstil, genetische Faktoren etc.) nicht mittels Regressionsanalyse kontrolliert wurden. Außerdem sei die Messapparatur nur in der Lage zwischen 50 MHz und 3,5 GHz zu messen, weswegen die Intensität des WLAN-Repeaters, der auch bei 5 GHz operiert, möglicherweise unterschätzt werde. Anhand ihrer Daten empfehlen die Autoren jedoch dringlich Mobiltelefone und WLAN-Geräte aus Fertilisationslaboren zu verbannen.

Anmerkungen der Redaktion:

Der systematische Aufbau, die stringente Kontrolle der Probanden, die standardisierten Messbedingungen (einheitlicher Abstand, Temperaturkontrolle) sowie die angemessene Stichprobengröße (n = 102), führen zu einer qualitativ hochwertigen Studie mit belastbaren Daten. Da es sich bei dem WLAN-Repeater um ein kommerzielles Produkt handelt, wiegt die Fehlmessung der Feldintensität nicht schwer. Die Empfehlung der Autoren, biologisches Material lediglich in der Abwesenheit von Mobiltelefonen/WLAN-Geräten zu behandeln, ist dementsprechend angemessen und sinnvoll. Obwohl es sich um eine *in vitro*-Studie handelt, sollten mögliche Implikationen für die allgemeine Bevölkerung nicht unterschätzt werden. (RH)



Laptops/Tablets und männliche Fruchtbarkeit

Die Nutzung von Laptops und Tablets und ihr Einfluss auf die Gesamtanzahl der beweglichen Spermien: Besteht ein Zusammenhang zwischen Laptops und Unfruchtbarkeit bei jamaikanischen Männern?

Sterling L, Carroll K, Harris LR (2024). Laptop and tablet use and their influence on total motile sperm count parameters: are laptops linked to infertility in Jamaican men? *Rev Int Androl.* 2024 Dec 1;22(4):25-32. <http://doi.org/10.22514/j.androl.2024.027>

Unfruchtbarkeit ist dadurch gekennzeichnet, dass es nach einem Jahr ungeschützten Geschlechtsverkehrs zu keiner Empfängnis kommt. Schätzungen zufolge sind weltweit 20 % der Paare im fortpflanzungsfähigen Alter von Unfruchtbarkeit betroffen, wobei die Hälfte dieser Fälle auf Unfruchtbarkeit des Mannes zurückzuführen ist. Wi-Fi ist mittlerweile allgegenwärtig und wird in einer Vielzahl von Geräten verwendet. Die von diesen Geräten ausgestrahlten Signale werden vom menschlichen Körper absorbiert und haben vermutlich schädliche Auswirkungen auf das männliche Fortpflanzungssystem. Laptops und Tablets werden, im Vergleich zu anderen häufig verwendeten drahtlosen Geräten, in größerer Nähe zum männlichen Fortpflanzungssystem verwendet. Die Autoren wollten den Zusammenhang zwischen der Gesamtzahl der beweglichen Spermien (TMSC), die ein besserer Prädiktor für die männliche Fruchtbarkeit ist, und der Nutzung von Laptops und Tablets bei jamaikanischen Männern untersuchen, die sich wegen Unfruchtbarkeit untersuchen lassen haben.

Studiendesign und Durchführung:

156 Teilnehmer gaben ihre schriftliche Einwilligung und wurden in die Studie aufgenommen. Männer mit einer selbst angegebenen Krankengeschichte von Erkrankungen, die bekanntermaßen die Spermienqualität beeinträchtigen, wie frühere Diagnosen von Mumps, Hodenhochstand, Varikozele/Varikozele-Reparaturen und bestimmte diagnostizierte sexuell übertragbare Krankheiten, wurden von der Studie ausgeschlossen. Die Daten wurden im Zeitraum von Februar 2020 bis Juli 2021 erhoben. Der 25 Punkte umfassende Fragebogen zur Nutzung drahtloser Geräte, der von den leitenden Prüfarzten (Embryologe und Ingenieur für drahtlose Kommunikation) erstellt wurde, sollte die Häufigkeit der Nutzung von Laptops und Tablets erfassen. Die Spermaanalysen wurden gemäß den von der Weltgesundheitsorganisation festgelegten Richtlinien durchgeführt. Die Spermaanalysen wurden ohne vorherige Kenntnis der Verwendung drahtloser Geräte durchgeführt. Die primäre unabhängige Variable von Interesse war ein messbarer Indikator für die

Häufigkeit der Laptop- und Tablet-Nutzung. Sowohl die Laptop- als auch die Tablet-Nutzung wurde in drei Kategorien eingeteilt: geringe Nutzung <2 h/Tag, mittlere Nutzung 2–5 h/Tag und hohe Nutzung >5 h/Tag. Weitere unabhängige Variablen, die in die statistischen Analysen einbezogen wurden, waren das Alter, die Dauer der Versuche, schwanger zu werden, frühere Schwangerschaften und der Freizeitdrogenkonsum. Es wurden unbereinigte und bereinigte Analysen des TMSC und der damit verbundenen Einzelparameter (Spermavolumen, Spermienzahl und Spermienbeweglichkeit) für die Indizes der Laptop- und Tabletennutzung sowie für die zuvor ausgewählten Störfaktoren durchgeführt. Alle Analysen wurden mit SPSS durchgeführt.

Ergebnisse:

Von den 156 Teilnehmern, die ihr Einverständnis gaben, waren 68 % jünger als 40 Jahre, wobei das Alter zwischen 22 und 60 Jahren lag (Mittelwert (M) = 37,21, Standardabweichung (SD) = 7,27). Die meisten Probanden waren normalgewichtig, konsumierten Alkohol, und nur wenige gaben an, in ihrer Freizeit Drogen zu konsumieren. Die Verteilung der Laptop- und Tablet-Benutzer betrug 64 % (n = 100) bzw. 36 % (n = 57). Die Mehrheit der Teilnehmer gab an, ihre Laptops und Tablets an einem Schreibtisch zu benutzen (73 % bzw. 78 %). Die Teilnehmer, die eine hohe Laptop-Nutzung angaben, versuchten mit größerer Wahrscheinlichkeit seit einem oder mehreren Jahren, schwanger zu werden, und waren eher jüngeren Alters (<40 Jahre).

Der einzige statistisch signifikante Unterschied bestand zwischen Teilnehmern mit normalem und abnormalem Spermavolumen und denjenigen, die eine Laptop-Nutzung von 2 Stunden oder mehr pro Tag angaben, was einer mittleren und hohen Nutzung entsprach. Der einzige Spermparameter, der mit der Gerätenutzung in Verbindung stand, war das Volumen. Die Ergebnisse der nicht bereinigten logistischen Regressionsanalysen zeigten, dass bei mittlerer Laptop-Nutzung die Wahrscheinlichkeit, ein niedriges Spermavolumen zu haben, im Vergleich zu Nicht-Nutzern etwa 16-mal höher war ($p = 0,004$). Auch zwischen hoher Laptop-Nutzung und dem TMSC-Wert wurde ein signifikanter Zusammenhang festgestellt ($p = 0,052$). Die Beobachtung, dass die Laptop-Nutzung mit einem geringen Spermavolumen, einem Parameter der TMSC, zusammenhängt, ist von großer klinischer Bedeutung.

Schlussfolgerungen:

Die Studie ergab, dass bei Männern, die eine Fruchtbarkeitsuntersuchung durchführen lassen wollten, die Häufigkeit der Laptop-Nutzung das Spermavolumen verringerte, und bei Nutzern, die 2 bis 5 Stunden pro Tag am Laptop verbrachten, war die Wahrscheinlichkeit, dass bei ihnen ein niedriges Spermavolumen diagnostiziert wurde, etwa 16 Mal höher. Obwohl sowohl Laptops als auch Tablets hochfrequente elektromagnetische

Strahlung (HF-EMF) übertragen, können die Unterschiede in der relativen Größe und der Nähe der WLAN-Antennen beider Geräte zu Organen und Geweben zu Unterschieden in der Verteilung und Absorption von HF-EMF führen. Die Position von Tablets, die im Vergleich zu Laptops in der Regel weiter vom Schoß und den Fortpflanzungsorganen entfernt gehalten werden, kann zu einer geringeren HF-EMF-Exposition der Hoden führen. Dieser Unterschied in der Positionierung könnte zu der beobachteten geringeren Signifikanz der Auswirkungen der Tablet-Nutzung auf TMSC beitragen.

Zukünftige Studien sind erforderlich, um zu erforschen, was „sichere“ Entfernungen für den Betrieb von drahtlosen Geräten sind, und um zwischen HF-EMF-spezifischen thermischen Effekten

und nicht-thermischen Effekten auf Spermienparameter zu unterscheiden. Da jedoch die Mehrheit angab, ihren Laptop auf dem Schreibtisch und nicht auf dem Schoß zu benutzen, ist die Wahrscheinlichkeit einer nicht-thermischen HF-EMF-Exposition (deutlich) größer als die thermischer Effekte.

Das Ergebnis, dass eine erhöhte Laptop-Nutzung mit einer Verringerung des Spermavolumens korreliert, ist besorgniserregend.

Sekrete aus den Samenblasen und der Prostata machen etwa 90 % des Spermavolumens aus. In Tierstudien wurden signifikante pathologische Veränderungen an den Samenblasen nach Exposition mit Wi-Fi-Strahlung festgestellt. Obwohl der Zusammenhang zwischen erhöhtem Laptop-Konsum und TMSC nur annähernd signifikant war, hätte die Signifikanz möglicherweise mit einem größeren Stichprobenumfang erreicht werden können. Es gibt mehrere Berichte, die zeigen, dass afrikanisch-karibische Männer, insbesondere jamaikanische Männer, anders auf bestimmte äußere Faktoren reagieren, was zu einer ungewöhnlich hohen Inzidenz von Prostatakrebs im Vergleich zur weltweit gemeldeten Inzidenz führt. Insgesamt unterstützen diese Ergebnisse die Notwendigkeit weiterer kulturell relevanter zukünftiger Studien. Besonders besorgniserregend ist auch die Feststellung, dass es einen Zusammenhang zwischen der vermehrten Nutzung von Laptops und einer verlängerten Zeit des Empfängnisversuchs gibt.

Die Autoren schlagen vor, die Untersuchung der Nutzung drahtloser Geräte als Standardverfahren in die Untersuchung von Männern auf Unfruchtbarkeit aufzunehmen. Insbesondere Männern in den Gruppen mit mittlerer und hoher Nutzung sollte geraten werden, Schutzmaßnahmen zu ergreifen, um das Risiko einer übermäßigen EMF-Exposition durch diese Geräte zu minimieren. Einige Einschränkungen des Studiendesigns müssen erwähnt werden: Die Ergebnisse sind möglicherweise nicht allgemein auf die gesamte männliche Bevölkerung übertragbar, da sich die Untersuchung ausschließlich auf jamaikanische Männer konzentrierte, die sich einer Unfruchtbarkeitsuntersuchung unterzogen. Eine weitere erwähnenswerte Einschränkung ist, dass die HF-EMF-Emissionen während der Analyse nicht gemessen wurden. (AT)



Mobile Geräte und Prostatakrebs

Nutzung von Mobil- und Schnurlos- telefonen und der Zusammenhang mit Prostatakrebs

Hardell L, Carlberg M (2025). Use of Mobile and Cordless Phones and The Association with Prostate Cancer. *Fortune Journal of Health Sciences*. 2025;8:267-73. <https://doi.org/10.26502/fjhs.272>

In diesem Artikel stellen Hardell und Carlberg Hinweise für den Zusammenhang zwischen Hochfrequenz (HF)-Strahlungsexposition und dem Risiko für Prostatakrebs vor, die auf zwei früheren Fall-Kontroll-Studien basieren. Die erste Fall-Kontroll-Studie untersuchte die Nutzung von Mobil- und Schnurlos-telefonen und das Risiko für bösartige Hirntumore bei verstorbenen Patienten, wobei verstorbene Personen als Kontrollgruppe dienten. Die zweite Studie untersuchte Perfluoralkylsubstanzen (PFAS), Umweltkontaminanten und den Zusammenhang mit Prostatakrebs. Der Einschlusszeitraum war 2007–2011. Es wurde ein erhöhtes Risiko für bestimmte PFAS in der Fallgruppe mit Vererbung als Risikofaktor für Prostatakrebs festgestellt. Auch die Nutzung von Mobiltelefonen wurde untersucht. Prostatakrebs ist die häufigste bösartige Erkrankung in Schweden mit 12.066 neuen Fällen im Jahr 2022, die 30,9 % aller Krebserkrankungen bei Männern ausmachen. Die Risikofaktoren sind zahlreich und heterogen. Dazu gehören genetische, entzündliche und infektiöse, hormonbedingte, ernährungsbedingte, altersbedingte und ethnische Faktoren, die zur Anfälligkeit für Prostatakrebs beitragen.

Studiendesign und Durchführung:

Die erste Studie in diesem Artikel umfasste Patienten mit histopathologisch bestätigten Hirntumoren, die zwischen 1997 und 2003 diagnostiziert wurden. Sie waren alle verstorben. Die Kontrollgruppe wurde aus dem schwedischen Sterberegister gezogen. Die vorliegende Studie basierte auf Patienten in der Kontrollgruppe, die an Prostatakrebs gestorben waren, und auf Personen, die an anderen Krankheiten als Krebs gestorben waren (in dieser Studie als Kontrollen definiert). Dieser Teil umfasste die Nutzung von analogen 1G und digitalen 2G-Mobiltelefonen sowie von DECT. Die Kontrollgruppe bestand aus 619 verstorbenen Personen. In dieser Kontrollgruppe waren 51 Personen mit Prostatakrebs verstorben.

Die zweite Studie befasste sich mit Patienten mit Prostatakrebs, die zwischen 2007 und 2011 in die Abteilung für Onkologie des Universitätskrankenhauses Örebro in Schweden eingeliefert und für eine Studie über persistente organische Schadstoffe rekrutiert wurden. Sie wurden gebeten, eine Blutprobe für eine chemische Analyse abzugeben. Das Blut wurde vor einer Behandlung mit Zytostatika oder einer Strahlentherapie abgenommen.

In die neue Analyse, die auf beiden epidemiologischen Studien aufbaut, wurden 51 Probanden aus Studie I und 202 Probanden aus Studie II mit Prostatakrebs einbezogen; insgesamt 253. Die Kontrollpersonen umfassten 150 Personen aus der Studie I und 186 Personen aus der Studie II; insgesamt 336 Kontrollpersonen.

Die Exposition wurde anhand eines Fragebogens ermittelt, der per Post an jede Person oder an ihre nächsten Angehörigen geschickt wurde. In beiden Studien wurde ein ähnlicher Fragebogen verwendet. Hinsichtlich der Nutzung eines Mobiltelefons oder schnurlosen Telefons wurde nach der durchschnittlichen Nutzungsdauer (Minuten pro Tag) sowie nach der Dauer der Nutzung des schnurlosen Telefons gefragt. Die Technologie hat sich seit der ersten Einführung von Mobiltelefonen verändert, und der Fragebogen wurde so gestaltet, dass Informationen zu allen Geräten, angefangen bei analogen Mobiltelefonen (1G), digitalen Mobiltelefonen (2G und 3G) sowie DECT- und anderen schnurlosen Telefonen, erfasst wurden.

StataSE 12.1 wurde zur Berechnung von Odds Ratios (OR) und 95 % Konfidenzintervallen (CI) verwendet. Probanden, die angaben, keine mobilen oder schnurlosen Telefone zu benutzen, bildeten die Kontrollgruppe. Die Latenzzeit wurde definiert als das Jahr der ersten Nutzung eines Mobiltelefons bis zum Jahr der Diagnose. Die kumulative Anzahl der Nutzungsstunden wurde berechnet. Die Latenzzeit wurde anhand der Zeiträume >1–5 Jahre, >5–10 Jahre und >10 Jahre analysiert. Die kumulative Nutzung der verschiedenen Telefentypen wurde für 1–1.000, 1.001–2.000 und >2.000 Nutzungsstunden analysiert.

Ergebnisse:

In der gepoolten Analyse beider Studien ergab die Nutzung von Mobiltelefonen eine OR = 1,8 [1,01–3,1]. Das Risiko war am höchsten bei der Gruppe mit der längsten Latenzzeit, d. h. > 10 Jahre, und ergab OR = 2,8 [1,5–5,3]. Ähnliche Ergebnisse wurden sowohl für analoge und digitale Telefone als auch für schnurlose Telefone insgesamt gefunden. Auch die Verwendung von DECT-Telefonen erhöhte das Risiko, wenn auch nicht statistisch signifikant.

Ein statistisch signifikantes Risiko wurde in der Gruppe mit einer Exposition von mehr als 2000 Stunden für die gesamte Mobiltelefonnutzung mit OR = 2,4 [1,2–5,1] festgestellt. Für die gesamte Nutzung von Schnurlos-telefonen wurde das höchste Risiko in der Gruppe > 2.000 h mit OR = 2,2 [1,1–4,3] festgestellt.

Die Einstufung des Prostatakrebses ergab kein erhöhtes Risiko für die Gleason-Grade 2–6 (der Gleason-Score dient als Prognose-Wert beim Prostatakrebs aufgrund histologischer Befunde). Für die Gleason-Grade 7–10 wurden erhöhte ORs für alle Arten von schnurlosen Telefonen mit OR = 2,0 [0,7–6,0] gefunden. Eine getrennte Analyse von Mobiltelefonen und DECT ergab ähnliche Ergebnisse. Auch für PSA wurde die höchste OR in der Gruppe mit dem aggressivsten Tumor gefunden. So ergab PSA >10 für die Nutzung von Mobiltelefonen OR = 2,5 [0,7–8,9]. Die

Fälle wurden weiter unterteilt in niedriges Risiko, mittleres Risiko und hohes Risiko (anhand von PSA und Gleason-Score). Die Nutzung von Mobiltelefonen oder DECT wurde nicht mit Prostatakrebs im Niedrigrisikobereich in Verbindung gebracht. Für Prostatakrebs mit mittlerem und hohem Risiko wurden erhöhte ORs berechnet.

Vererbung und Mobiltelefonnutzung führten zu einem erhöhten Risiko von grenzwertiger statistischer Signifikanz mit OR = 2,8 [0,98–7,8]. Die höchsten Risiken wurden für alle Telefontypen bei Patienten mit erblicher Veranlagung für Prostatakrebs festgestellt.

Schlussfolgerungen:

Das wichtigste Ergebnis dieser Studie war ein erhöhtes Risiko für Prostatakrebs im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobiltelefonen. Das Risiko nahm mit der Latenzzeit zu und war am höchsten bei einer Latenzzeit von mehr als 10 Jahren. Die Literatur zu HF-Strahlung und Prostatakrebs ist spärlich. Die Ergebnisse dieser Studie werden durch Daten aus der UK Biobank Study gestützt (Zhang et al. 2024). Es wurde ein statistisch signifikant erhöhtes Risiko für Prostatakrebs mit einer Hazard Ratio (HR) = 1,19 [1,13–1,25] festgestellt. Die Dauer der Mobiltelefonnutzung ergab das höchste Risiko für >8 Jahre mit einem statistisch signifikanten Trend ($p < 0,001$). Die NTP-Studie unterstützt ein erhöhtes Risiko für Prostataneoplasien. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die vorliegende Studie ein erhöhtes Risiko für Prostatakrebs im Zusammenhang mit der Nutzung von Mobil- oder Schnurlostelefonen ergab. Das Risiko stieg mit der Latenzzeit und der kumulativen Nutzung in Stunden. Darüber hinaus war das Risiko in Fällen mit aggressiverem Krebs, basierend auf Gleason-Score, PSA und hohem Risikoprofil, am höchsten. (AT)

Zhang Y, Zhang Y, Ye Z, Yang S, Liu M, Wu Q, Zhou C, He P, Gan X, Qin X. Mobile phone use and risks of overall and 25 site-specific cancers: a prospective study from the UK Biobank study. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*. 2024 Jan 9;33(1):88-95.



Studie für die WHO bestätigt karzinogene Wirkung von HF Auswirkungen von hochfrequenter elektromagnetischer Befeldung auf Krebs in Tierversuchen, eine systematische Übersicht

Mevisen M, Ducray A, Ward JM, Kopp-Schneider A, McNamee JP, Wood AW, Rivero TM, Straif K (2025). Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on cancer in laboratory animal studies, a systematic review. In *Environment International* (Vol. 199, Issue February 2024). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109482>

Angesichts der wachsenden Exposition durch Mobilfunk, WLAN und anderer drahtlosen Kommunikationsanwendungen, ist die Frage nach einer möglichen krebserregenden Wirkung für die Menschheit von größter Relevanz. Die aktuelle Einstufung (aus dem Jahre 2011) von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern durch die IARC lautet „möglicherweise krebserregend“, basierend auf begrenzter Evidenz von Human- und Tierstudien. Für die vorliegende Übersichtsarbeit ist vor allem letzteres relevant. Die Begründung des IARC ist in ihrer Präambel wie folgt festgehalten: „Die Daten deuten auf eine karzinogene Wirkung hin, reichen jedoch für eine endgültige Bewertung nicht aus, da beispielsweise (b) ungeklärte Fragen hinsichtlich der Adäquanz der Konzeption, Durchführung oder Auswertung der Studien existieren ...“. Seit der Bewertung durch das IARC sind zahlreiche Studien erschienen, welche dringlich eine aktualisierte Bewertung erfordern. Ziel dieser von der WHO mitfinanzierten Übersichtsarbeit ist es, experimentellen Tierstudien zu dem Thema erhöhte Krebsinzidenz systematisch und qualitätsgesichert zu analysieren und die Stärke der Evidenz nach GRADE/OHAT einzuschätzen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren führten bis Juli 2023 eine umfassende Literaturrecherche in den Datenbanken MEDLINE, Web of Science und EMF-Portal durch. Chronische Karzinogenitäts-Bioassays (standardisierte Tierversuche über längere Zeiträume, $n = 10$), Initiations-/Promotions-Modelle (zusätzliche Verabreichung eines Tumoriators oder Tumorpromotors, $n = 24$) und Experimente mit tumorempfindlichen Tierlinien ($n = 18$) wurden in diese Übersichtsarbeit einbezogen, sofern die Befeldung durch SAR-Wert oder Feldstärken quantifiziert wurde. Die Selektion erfolgte nach zuvor publizierten PECOS-Kriterien, die Datenextraktion in HAWC, die Bias-Analyse über das OHAT-RoB-Tool und die Evidenzqualität nach GRADE. Aufgrund ihrer hohen Aussagekraft wurde den chronischen Karzinogenitäts-Bioassays besondere Relevanz zugesprochen. Lediglich Endpunkte (Tumorarten), die durch Karzinogenitäts-Bioassays bestätigt wurden, konnten eine Evidenzqualität von „hoch“ erreichen. Insgesamt wurden 52 Primärstudien, publiziert zwischen 1978 und 2020, in der Übersichtsarbeit analysiert.

Ergebnisse:

In den meisten Organsystemen wurden im Vergleich zu den jeweiligen Kontrollen keine Hinweise auf ein erhöhtes Krebsrisiko im Zusammenhang mit Mobilfunkbelastung gefunden. Die Organsysteme, in denen mindestens eine Studie über befeldungsbedingte Auswirkungen berichtete, wurden detailliert analysiert. Dies beinhaltet das Lymphsystem, Gehirn, Herz, Nebennieren, Leber und Lunge. Ein erhöhtes Auftreten von Krebs als Resultat von Mobilfunkbefeldung wurde im Herz (maligne Schwannome) und Gehirn (maligne Gliome) mit hoher Evidenzqualität festgestellt. Des Weiteren ergab die Analyse ein erhöhtes Auftreten von Tumoren im Lymphsystem (maligne Lymphome), Leber (Hepatoblastome), Lunge (bronchioaveoläre Neoplasien) und Nebennieren (Phäochromozytom) mit moderater Evidenzqualität. Eine quantitative Meta-Analyse wurde aufgrund geringer Anzahl von Studien mit ausreichend ähnlichem experimentellen Design nicht durchgeführt.

Schlussfolgerungen:

Robuste Hinweise auf krebserregendes Potenzial in Tiermodellen sind grundsätzlich für die Erkennung einer karzinogenen Gefahr für den Menschen relevant. Obwohl die Übertragung von Krebs-Bioassays auf den Menschen bei Mobilfunk komplex ist, handelt es sich dennoch um das beste Instrument zur Identifizierung des Krebsrisikos. Dies liegt unter anderem daran, dass die Latenzzeit von soliden Tumoren beim Menschen derart lang ist, dass epidemiologische Studien erst dann aussagekräftig sind, wenn die Technologien bereits seit 10, 20 oder mehr Jahren im Einsatz sind.

Anmerkungen der Redaktion:

Die Daten der Studie weisen eindeutig auf eine krebserregende Wirkung von Mobilfunk in Tiermodellen hin, welche, wie oben aufgeführt, das aktuell beste Instrument darstellen, um Krebsrisiken für den Menschen bewerten zu können. In diesem Kontext fordern die Autoren eine Anpassung der GRADE/OHAT-Kriterien für Tierstudien. U. a. sei eine Verblindung vor Studienbeginn irrelevant. Außerdem sei eine höhere Heterogenität bei Tiermodellen aufgrund der Verwendung von Inzucht-Stämmen, Nicht-Inzucht-Stämmen (genetisch heterogen), verschiedenen Tiermodellen etc. zu erwarten. Dadurch seien eine Reihe von Unregelmäßigkeiten erklärbar und es sei unnötig, die Evidenzqualität diverser Studien herabzustufen. Die beiden Studien, welche maßgeblich für die hohe Evidenz des verstärkten Krebsrisikos verantwortlich sind, wurden bereits 2018 publiziert (Falcioni et al., 2018; National Toxicology Program, 2018) animal experiments were deemed crucial because meaningful human exposure health data from epidemiological studies were not available. Male and female Sprague Dawley (Hsd:Sprague Dawley SD) und unter anderem im ElektrosmogReport (Juni 2019) besprochen. In der Studie von Falcioni et al. wurde mit einem Ganzkörper SAR-Wert zwischen 0,001 und 0,1 W/kg befeldet, was in der Größenordnung mit der Belastung des Menschen

übereinstimmt. Obwohl die Daten bereits seit ca. 7 Jahren verfügbar sind, wurden von Entscheidungsträgern keinerlei Konsequenzen gezogen. Dies scheint aufgrund der globalen Implikationen für die menschliche Gesundheit fahrlässig. (RH)

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M (2018). Report of Final Results Regarding Brain and Heart Tumours in Sprague-Dawley Rats Exposed from Prenatal Life until Natural Death to Mobile Phone Radiofrequency Field Representative of a 1.8 GHz GSM Base Station Environmental Emission. *Environmental Research*, 165, 496–503. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.037>

National Toxicology Program (2018). Toxicology and carcinogenesis studies in Sprague Dawley (Hsd:Sprague Dawley SD) rats exposed to whole-body radio frequency radiation at a frequency (900 MHz) and modulations (GSM and CDMA) used by cell phones. *National Toxicology Program Technical Report Series*, 595. <https://doi.org/10.22427/NTP-TR-595>



Mobilfunk-Basisstationen und unspezifische Gesundheitssymptome

Größere Häufigkeit von Symptomen in Verbindung mit einer Befeldung von Mobilfunk-Basisstationen in einer hügeligen, dicht besiedelten Stadt in Mizoram, Indien

Sailo L, Laldinpuii, Zosangzuali M, Weller S, Varte CL, Tochwawng L, McCredde JE, Zothansiamia (2025). Greater prevalence of symptoms associated with higher exposures to mobile phone base stations in a hilly, densely populated city in Mizoram, India. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 00(00), 1–20. <https://doi.org/10.1080/15368378.2025.2513900>

Die gesundheitsschädliche Wirkung von Mobilfunk-Basisstationen (MFBS) wurden in jüngerer Vergangenheit beschrieben (Gulati et al., 2024) (wir berichten im ElektrosmogReport 03/24, Anm. d. Red. (1)). Die vorliegende Studie untersucht die Prävalenz unspezifischer gesundheitlicher Symptome in Zusammenhang mit MFBS bzw. der Nähe des Wohnortes zu MFBS. Hintergrund sind Berichte über die Zunahme von Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Konzentrationsproblemen, Niedergeschlagenheit u. ä. nach der Installation von MFBS. Die Studie wurde zwischen 2023 und 2024 in der hügeligen Stadt Aizawl (Mizoram, Indien) durchgeführt.

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren wählten 30 Mobilfunk-Basisstationen aus, wobei 20 mit 900 MHz und 10 mit 1800 MHz operierten. 183 hoch-exponierte Bewohner der Stadt (< 300 m) und 126 Referenzbewohner (> 400 m) wurden demographisch abgestimmt für diese Studie rekrutiert. Dies beinhaltete auch Verhaltenscharak-

teristika wie z. B. Alkohol- und Tabakkonsum und Mobiltelefonnutzung. In 103 Haushalten wurde insbesondere im Wohnraum eine dosimetrische Messung der Hochfrequenz-Leistungsdichte vorgenommen. Die gemessenen Werte lagen zwischen 0,01 und 7,24 mW/m² und damit weit unter ICNIRP-Grenzwerten für MFBS (4500 mW/m² für 900 MHz; 9200 mW/m² für 1800 MHz). Je nach Entfernung zum nächsten Mobilfunkmast (1 – 50 m; 51 – 300 m; > 400 m) bzw. gemessener Leistungsdichte (0 – 3 mW/m²; 3 – 5 mW/m²; 5 – 8 mW/m²) wurden die Probanden in Subgruppen unterteilt. Die in vier Kategorien eingeteilten gesundheitlichen Symptome (1. stimmungs- bzw. energiebezogen; 2. kognitiv-sensorisch; 3. inflammatorisch; 4. anatomisch) wurden mittels Fragebogen erfasst. Ursprünglich als 4-stufige Skala geplant, wurden die Selbstauskünfte der Probanden schließlich dichotom (ja/nein) ausgewertet, weil die meisten Teilnehmer keine feineren Abstufungen angeben konnten. Es folgte eine umfangreiche statistische Auswertung der Daten.

Ergebnisse:

Bei allen vier Symptomkategorien (s. o.) wurden statistisch signifikante Korrelationen zwischen der Stärke der Exposition und der Häufigkeit des Symptomauftritts gefunden, z. B. Angststörungen, Kopfschmerzen, Brustschmerzen, Schlafstörungen, Konzentrations- und Verdauungsprobleme. Es wurde erwartungsgemäß eine stark negative Korrelation zwischen Distanz zur MFBS und Leistungsdichte dokumentiert, d. h. die gemessene Feldstärke nimmt im Mittel deutlich ab, je weiter ein Haushalt von den Masten entfernt ist. Allerdings gab es Überlappungen (eingeschränkte Sichtlinie, Topographie, Häuser), weswegen die Leistungsdichte besser mit dem Auftreten der Symptome korrelierte (hierarchische Regressionsanalyse), als die Entfernung zur MFBS. Die einbezogenen demographischen und verhaltensbedingten Variablen zeigten keine statistisch signifikante Auswirkung auf die Häufigkeit des Auftretens der jeweiligen Symptome, mit Ausnahme des Alters. Probanden über 40 klagten signifikant häufiger über anatomische Beschwerden. Bemerkenswerterweise berichteten stärker exponierte jüngere Probanden unter 40 statistisch signifikant über Entzündungssymptome (Allergien und erhöhte Infektionen).

Schlussfolgerungen:

Obwohl die maximal gemessene Leistungsdichte lediglich 7,2 mW/m² betrug (die Sendeleistung von MFBS auf ICNIRP-Basis liegen bei 4500 bzw. 9200 mW/m²), berichteten stärker exponierte Bewohner der indischen Stadt Aizawl signifikant häufiger über unspezifische Gesundheitssymptome. Dies korrelierte stark mit den gemessenen Leistungsdichten dosis-wirkungsabhängig. Insbesondere die Erkenntnis, dass Mobilfunk-Basisstationen bei jüngeren Menschen entzündliche Prozesse fördern könnten, sei besorgniserregend und müsse weiter untersucht werden. Laut den Autoren berücksichtigen die ICNIRP-Grenzwerte, die über 5 oder 30 Minuten gemittelt werden, nicht ausreichend kumulative Dosen, die in der realen Welt auftreten.

Anmerkungen der Redaktion:

Die Studie kann mit realen Expositionsmessungen, Berücksichtigung von Lebensstilen und umfangreicher statistischer Auswirkung aufwarten. Allerdings ist die Erhebung der Basisdaten durchaus als kritisch zu betrachten. Selbstberichtete, dichotome Symptomdaten sind anfällig für Wahrnehmungs- und Erinnerungsverzerrung; eine mögliche Informationsverzerrung ist nicht auszuschließen, da die technischen Assistenten nicht bezüglich des Befeldungsstatus (Abstand MFBS) verblinnet waren, auch wenn möglichst wenig Interaktion beim Ausfüllen der Fragebogen erfolgt sei. Außerdem bestand eine ungleiche Gruppengröße zwischen exponierten und Referenzpersonen. Auch die Gesamtgröße fällt hinsichtlich der Erhebung epidemiologischer Daten gering aus. Die Tatsache, dass keine biologischen Marker bestimmt oder ärztliche Untersuchungen stattgefunden haben, ist bedauernd, insbesondere im Kontext von erhöhten entzündlichen Prozessen bei jüngeren Menschen. Diese Daten hätten möglicherweise eine kausale Wirkungsbeziehung herstellen können, wie z. B. bei der ATHEM-3 Studie (Gulati et al., 2024). Auch wenn die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit aufgrund der detaillierten statistischen Betrachtung relevant sind, wären gewisse Modifikationen am Studiendesign wünschenswert gewesen. Allerdings hat dieselbe Arbeitsgruppe bereits Studien vorgelegt, in denen diese Anforderungen erfüllt sind (2) (3). (RH)

- (1) Gulati S, Mosgoeller W, Moldan D, Kosik P, Durdik M, Jakl L, Skovaga 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(May), 116486; DOI: 10.1016/j.ecoenv.2024.116486.

Besprochen auf EMF:data <https://www.emfdata.org/de/studien/detail?id=847>, siehe dazu:

Artikelserie zur ATHEM-3-Studie: <https://www.diagnose-funk.org/forschung/studien-reviews-berichte/studien-zu-mobilfunk-basisstationen/artikelserie-athem-3-studie>

- (2) Zosangzuali M, Lalremruati M, Lalmuansangi C, Nghakliana F, Pachuau L, Bandara P, Zothansiana (2021): Effects of radiofrequency electromagnetic radiation emitted from a mobile phone base station on the redox homeostasis in different organs of Swiss albino mice. [Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung, ausgesendet von einer Mobilfunk-Basisstation auf die Redox-Homöostase in verschiedenen Organen von Swiss Albino-Mäusen.] *Electromagnetic Biology and Medicine*, 40(3), 393–407; DOI:10.1080/15368378.2021.1895207.

Besprochen auf EMF:data <https://www.emfdata.org/de/studien/detail?id=686>

- (3) Zothansiana, Zosangzuali, M, Lalramdinpuii, M, & Jagetia, G C (2017): Impact of radiofrequency radiation on DNA damage and antioxidants in peripheral blood lymphocytes of humans residing in the vicinity of mobile phone base stations. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 36(3), 295–305. [Wirkungen von hochfrequenten Feldern auf DNA-Schädigung und Antioxidantien in peripheren Blut-Lymphozyten von Menschen, die in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen wohnen] DOI: 10.1080/15368378.2017.1350584

Besprochen auf EMF:data <https://www.emfdata.org/de/studien/detail?id=738>



WLAN: Wirkung auf Bienen und Hummeln

Hochfrequente elektromagnetische Felder verringern den Besuch von Hummeln an Blumen.

Treder M, Glück M, England SJ, Traynor KS (2025). Radiofrequency electromagnetic fields reduce bumble bee visitation to flowers. *Environmental Pollution*. 2025 Jul 14:126836. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2025.126836>

Insekten sind anthropogenen elektromagnetischen Feldern ausgesetzt, vor allem in dicht bebauten Gebieten, wo sie weit verbreitet sind. Sie kommen in der Regel auf zwei Arten mit diesen Feldern in Berührung: wenn sich ihre Nester in exponierten Gebieten befinden oder wenn sie auf der Suche nach Nahrungsressourcen oder Nistmaterial solche Felder durchqueren. In diesem aufstrebenden Forschungsbereich zu den Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder (RF-EMF) auf Bestäuber, gibt es in letzter Zeit eine Vielzahl von Veröffentlichungen. Die Autoren der aktuellen Arbeit fragten, ob die Exposition gegenüber den üblicherweise verwendeten Wi-Fi-Frequenzen die Blütenbesuchsrate von Bestäubern an Pflanzen und damit ihr Nahrungsverhalten beeinflussen könnte. Wenn diese Strahlung Störungen oder negative Auswirkungen verursacht, könnte sie exponierte Bereiche in Städten für bienenartige weniger attraktiv machen und somit einen Störfaktor darstellen, der sich auf Bestäuber in hoch entwickelten Gebieten auswirken könnte.

Studiendesign und Durchführung:

Das Experiment wurde im Sommer 2023 und 2024 an der Landesanstalt für Bienenkunde, Universität Hohenheim, Deutschland, durchgeführt. Ziel war es, die kurzfristigen Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf die Besuchsraten und das Suchverhalten von Honigbienen und Hummeln zu untersuchen. Das bedeutet, dass die elektromagnetische Behandlung zwar auf die Pflanzen einwirkt, die Forscher aber ein Experiment durchführten, das die direkten Auswirkungen auf den Besuch der Bestäuber untersuchte. Insgesamt wurden 12 Blumentöpfe mit jeweils drei Pflanzen verwendet, 6 mit *Lavandula angustifolia* (n= 18) und 6 mit *Salvia*-Arten (n = 18). Um eine definierte Bestrahlung der Blumentöpfe zu gewährleisten, wurden die Töpfe in einem Abstand von 2 m zur Strahlungsquelle aufgestellt.

Ein Software Defined Radio (SDR) wurde verwendet, um realistische Wi-Fi-Strahlung bei 2,45 und 5,8 GHz zu simulieren. Die Strahlungsquelle entspricht technisch den kommerziell genutzten Wi-Fi-Geräten. Der neue Versuchsplan umfasste wiederholte Expositions- und Kontrollversuche, die in engen zeitlichen Abständen durchgeführt wurden. Durch den häufigen Wechsel zwischen kurzen Expositions- und Nichtexpositionsperioden alle vier Tage kontrolliert dieses Design störende Faktoren wie natür-

liche zeitliche Schwankungen. Dieser Wechsel fand während der gesamten Versuchszeiträume in den zwei Jahren statt, was zu insgesamt 21 Zeitphasen mit EMF-Exposition und 23 ohne EMF-Exposition führte.

Um die Auswirkungen auf die Blütenbesuchsrate verschiedener Bestäuber zu ermitteln, wurden die Insekten an 92 Tagen, verteilt auf die Jahre 2023 und 2024, erfasst. Alle Pflanzen in jedem Topf wurden gemeinsam beobachtet. Insgesamt wurden 1.307 Blumentopfbeobachtungen durchgeführt. Alle besuchenden Bestäuber wurden für genau 5 Minuten pro Blumentopf gezählt. Die Blütenbesuchsdaten wurden mit verallgemeinerten linearen gemischten Modellen (GLMM) analysiert.

Ergebnisse:

Die Autoren verzeichneten insgesamt 2.876 Blütenbesucher, wobei 50,4 % aller Blütenbesuche von Honigbienen (n = 1.450) und 32,5 % von Hummeln (n = 936) in den beiden Jahren der Studie erfolgten. Für die Bestäuber insgesamt wurde im Hauptmodell ein signifikanter negativer Effekt von EMF auf den Blütenbesuch festgestellt (EMF: 0,15, p = 0,0118). Eine genauere Betrachtung der Daten zeigt, dass dieser Effekt besonders deutlich für die Gruppe der Hummeln ist (EMF: 0,25, p = 0,0029), die signifikant häufiger (um 28 % erhöht) auf den Blüten zu finden waren, wenn die Pflanzen nicht bestrahlt wurden. Im Gegensatz dazu wurde dieser Effekt für die Gruppe der Honigbienen nicht gefunden (EMF: p > 0,05).

Schlussfolgerungen:

Die Nutzung elektromagnetischer Felder zur Übertragung von Informationen ist für die Menschen und den technischen Fortschritt von enormer Bedeutung. Da die Nutzung dieser Felder jedoch zunimmt, müssen wir verstehen, welche potenziellen Auswirkungen sie auf Insekten, insbesondere auf Bestäuber, haben. Der beschriebene experimentelle Ansatz skizziert ein geeignetes Design, um die schwachen Auswirkungen von EMF auf die Blütenbesuchsdaten von Bestäubern zu ermitteln. Dies erfordert eine große Stichprobengröße und Messungen über Tage und Monate, um Umweltvariabilität zu kontrollieren. Obwohl keine Auswirkung auf die Besuchshäufigkeit von Honigbienen gefunden wurde, stellten die Autoren fest, dass Hummeln ihre Besuche reduzierten, wenn die Pflanzen bestrahlt wurden. Dies deutet darauf hin, dass Hummeln möglicherweise Pflanzen in städtischen Gebieten meiden, wenn diese Pflanzen weit verbreiteten Wi-Fi-Frequenzen ausgesetzt sind. Eine solche Meidung verringert die Verfügbarkeit von Nahrungsressourcen und könnte sie dazu zwingen, auf andere Nektar- und Pollenquellen auszuweichen, was einen größeren Aufwand bei der Nahrungssuche und damit zusätzlichen Ernährungsstress für diese Bestäuber bedeuten könnte. Gleichzeitig kann sich dies auch negativ auf die Pflanzen auswirken, indem die Bestäubungsrate verringert wird.

Anmerkungen der Redaktion:

Es handelt sich hier um eine methodisch hervorragende Semi-Feldstudie, mit möglichst realitätsnahen Bedingungen. Es wäre interessant, weitere Anstrengungen in diese Richtung zu sehen, die auch weitere Insekten (wenngleich Honigbienen und Hummeln sicherlich die allgemein wichtigsten Bestäuber sind) oder Strahlungsquellen als das hier verwendete Wi-Fi-Signal verwenden, z.B. Hochspannung oder Mobilfunkbasisstationen. Möglicherweise lassen sich die hier vorliegenden Befunde schon so auf andere technische Hochfrequenzen übertragen, wobei nur die Frage zu klären wäre, welche Entfernung zu einer Basisstation der hier verwendeten Entfernung von 2 m zu einem WLAN-Router entsprechen würde. (AT)

**Honigbienen im Faradayschen Käfig**

Das Verhalten von Honigbienen in einem Faraday-geschirmten Bienenstock: Zwingende Schumann-Resonanz für das Überleben des Volkes.

Favre D, Johansson O (2025). Honeybees' Behaviour in a Faraday-Shielded Hive: Mandatory Schumann Resonance for Colony Survival. *International Journal of Research - GRANTHAALAYAH*, 13(4), 25–38. <https://doi.org/10.29121/granthaalayah.v13.i4.2025.6023>

Die zunehmende Belastung durch elektromagnetische Strahlung von Mobiltelefonen und Antennen trägt wahrscheinlich zur Störung oder zum Rückgang der Insektenpopulationen bei, wie verschiedene Studien nahelegen. Der Autor konnte in früheren Versuchen zeigen, dass Mobiltelefone und die elektromagnetische Umweltverschmutzung das Pfeifensignal der Arbeiterinnen in gestressten Honigbienenvölkern induzieren. Ein Faradayscher Schirm ist ein leitfähiges Gehäuse, das elektromagnetische Felder durch Umverteilung elektrischer Ladungen abschirmt. Er wird zur Abschirmung verschiedener Objekte (Elektronik usw.) vor Störungen verwendet. In Experimenten wurden verschiedene Tierarten in Faraday-Schilden untergebracht, darunter Nagetiere und Vögel. Bei Mäusen, die in Faraday-Käfigen untergebracht waren, wurde ein erhöhter Cortisolspiegel (ein Stresshormon) festgestellt, und sie zeigten ein gestörtes Schlafverhalten und eine geringere Fähigkeit, mit Stressfaktoren umzugehen. Diese Studien deuten darauf hin, dass sowohl die Anwesenheit als auch die Abwesenheit von EMF verschiedene biologische Prozesse bei unterschiedlichen Tierarten beeinflussen können. Um zu beurteilen, ob eine solche Umgebung verschiedene physiologische und verhaltensbezogene Auswirkungen auf Honigbienen haben kann, wurden Experimente durchgeführt, bei denen Honigbienenvölker in abgeschirmten Bienenstöcken gehalten wurden.

Studiendesign und Durchführung:

Faraday-abgeschirmte Bienenstöcke wurden gebaut, indem vorhandene Standardbienenstöcke auf allen Seiten mit Aluminiumblechen (0,07 mm dick) umgeben wurden. Der Einflugschlitz für die Honigbienen wurde durch vorgelagerte Metallstäbe separat abgeschirmt. Die Faraday-geschirmte Bienenbeute wurde im anechoischen Raum der Eidgenössischen Technischen Hochschule (EPFL) getestet, um eine Charakterisierung der Dämpfungsfaktoren bei 900 Megahertz (MHz) zu erhalten. Die Frequenzen der Schumann-Resonanz liegen typischerweise bei 7,83 Hz und werden mit sehr niederfrequenten (VLF) elektromagnetischen Wellen in Verbindung gebracht. Die Untersuchung von Honigbienenvölkern, die in zwei Faraday-Bienenstöcken gehalten wurden, fand in einer ländlichen Gegend der Schweiz, in der Nähe der Stadt Montreux und auf einer Höhe von 960 m statt. Die Experimente mit Honigbienen, die in Faraday-geschirmten Bienenstöcken gehalten wurden, begannen im Frühjahr 2013 und dauerten bis Mitte 2024 (Ende des Versuchs).

Ergebnisse:

Die Analysen ergaben, dass die Dämpfungsfaktoren des Faraday-geschirmten Bienenstocks je nach betrachteter Seite zwischen 8,6 und 28,8 dB lagen. Dies entspricht einer Verringerung der eingehenden EMF um 63 % bis zu 97 %. Während der ersten Jahre (2013–2022), die für die Untersuchung des Schicksals von Honigbienenvölkern in Faraday-geschirmten Bienenstöcken verwendet wurden, verhielten sich die Völker desorientiert, da die Königin nicht mehr in der Lage war, Eier zu legen und weibliche Arbeitsbienen zu gebären, insbesondere nach dem Winter. Die Arbeitsbienen konnten keine neuen Königinnen mit jungen Eiern aufziehen, indem sie sie mit Gelée Royale fütterten: neu gebaute Königinnenzellen wurden nicht mehr beobachtet. Nach dem Winter wurde beobachtet, dass aus den sechseckigen Zellen des Bienenstocks keine neuen Arbeitsbienen mehr hervorgingen. Aus den sechseckigen Zellen schlüpften mehr und mehr Drohnen (Männchen). Dies zeigte, dass einige Arbeitsbienen begannen, unbefruchtete Eier zu legen. Das Ergebnis war ein Rückgang der Gesamtpopulation. Um den beobachteten Bevölkerungsrückgang zu umgehen, wurde eine begattete Königin von einem renommierten Anbieter eingesetzt. Leider trug dies nicht zur Erhaltung lebensfähiger Honigbienenvölker bei. Auch das Einsetzen von Königinnenzellen oder jungfräulichen Königinnen aus einem anderen Bienenstock half nicht. Die Bienenvölker wurden stets mit ausreichend Nahrung, Platz und Schutz vor Schädlingen und Krankheiten versorgt, um ihre Widerstandsfähigkeit zu gewährleisten und ihnen die Möglichkeit zu geben, eine neue Königin aufzuziehen. Leider waren all diese Bedingungen und Verfahren erfolglos. Das langfristige Überleben, die Stabilität und die Produktivität der Bienenvölker wurden in einem Faraday-geschützten Bienenstock nie erreicht. Es stellte sich schließlich heraus, dass das Vorhandensein eines Schumann-Generators für das langfristige Wohlergehen der Honigbienen-

völker absolut entscheidend war. Mitte April 2022 wurden zwei Honigbienenstöcke aus „normalen“ Bienenstöcken in die Faraday-geschirmten Bienenstöcke umgesiedelt, und die Schumann-Generatoren wurden gleichzeitig in diese Faraday-geschirmten Bienenstöcke eingesetzt. Dies ermöglichte das Überleben der Bienenstöcke bis Mitte Juni 2024.

Schlussfolgerungen:

Die Honigbiene war eine der ersten Tierarten, für die die Existenz eines Magnetsinns vorgeschlagen wurde. Zwei Hauptthesen erklären, wie Bienenartige das geomagnetische Feld (GMF) erkennen: die ferromagnetische Hypothese und die biochemische Hypothese. Die Schumann-Resonanz ist ein natürliches elektromagnetisches Phänomen in der Erdatmosphäre, das zwischen der Oberfläche und der Ionosphäre auftritt. Sie besteht aus stehenden elektromagnetischen Wellen im extrem niederfrequenten Bereich (ELF). Natürliche elektromagnetische Felder, wie die primäre Schumann-Resonanz und ihre Oberschwingungen, scheinen tatsächlich als Umweltreize zu fungieren und biologische Rhythmen und die Entwicklung verschiedener Organismen zu beeinflussen. Der Versuchsaufbau mit Faraday-geschirmten Bienenstöcken sorgt für eine erhebliche Verringerung des externen elektromagnetischen Feldes und ist damit ein guter Schutz gegen die Schumann-Resonanz. Die Bienenkönigin, das zentrale Fortpflanzungsorgan eines Bienenvolkes, könnte in einem Faradayschen Käfig aufgrund des Fehlens eines entsprechenden geomagnetischen Inputs Auswirkungen erfahren. Obwohl die Bienenkönigin im Vergleich zu den Arbeiterinnen weniger direkt auf die Navigation angewiesen ist, könnte das Fehlen von geomagnetischen Feldern in einem Faradayschen Käfig kaskadenartige Auswirkungen auf ihre Gesundheit, ihr Verhalten und ihre Fortpflanzungsleistung haben. Indirekt könnten diese Auswirkungen das gesamte Bienenvolk destabilisieren, da das Wohlergehen der Königin für das Funktionieren und Überleben des Bienenstocks absolut entscheidend ist.

Anmerkungen der Redaktion:

Die vorliegende Studie bezeugt deutlich, dass es für besorgte Imker, deren Beuten in der Nähe einer Basisstation oder Hochspannungsleitung stehen, keine gute Idee wäre, ihre Bienenstöcke stark abzuschirmen, wie hier mit einem Faradayschen Käfig. (AT)



Mobilfunk verändert Gehirnwellen und Erregbarkeit Auswirkungen von Mobilfunkbefeldung auf Gehirnwellen und kortikale Erregbarkeit: eine Übersichtsarbeit (Scoping Review)

Torkan A, Zoghi M, Foroughimehr N, Yavari A, Jaberzadeh S (2025). Effects of Mobile Electromagnetic Exposure on Brain Oscillations and Cortical Excitability: Scoping Review. *Sensors*, 25(9), 1–20. <https://doi.org/10.3390/s25092749>

Mobiltelefone sind ein fester Bestandteil des alltäglichen Lebens geworden. Mit jeder neuen Mobilfunkgeneration steigen Sendeleistung und Frequenzbereiche, bis hin zum Millimeterwellenbereich (> 26 GHz). Vor diesem Hintergrund gewinnt die Frage an Bedeutung, ob und wie Mobilfunkstrahlung die Hirnfunktion beeinflussen kann. Die vorliegende „Scoping Review“ trägt den aktuellen Forschungsstand zu der Wirkung von Mobilfunk auf Gehirnwellen (EEG) und kortikaler Erregbarkeit (TMS) bei gesunden Erwachsenen zusammen. Im Gegensatz zu einer systematischen Übersichtsarbeit wird keine quantitative oder Metaanalyse durchgeführt.

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren durchsuchten die vier Datenbanken MEDLINE, Pubmed, Web of Science und Scopus nach englischsprachigen Primärstudien an gesunden erwachsenen Menschen. Ausschlusskriterien waren Tiermodelle, Patientengruppen oder Studien ohne quantitative EEG- oder TMS-Erhebung. Charakterisiert wurden Mobilfunkfrequenz (0,45 bis 3,5 GHz), Sendeleistung oder SAR-Wert, Expositionsdauer (1 Min bis 8 h), Studiendesign (Verblindung, cross-over) und Details (z. B. Augen auf oder geschlossen). Bewertet wurden die Auswirkungen des Mobilfunks auf die EEG-Signale (EEG-Band-Amplitude und Konnektivität) bzw. die corticospinale und corticocorticale Erregbarkeit (TMS). Insgesamt wurden 80 relevante Studien identifiziert, wovon 78 EEG-Studien und lediglich 2 TMS-Studien waren. Datenextraktion und Darstellung folgten PRISMA-Richtlinien.

Ergebnisse:

Innerhalb der 78 EEG-Studien unterscheiden die Autoren dazwischen, ob die Probanden während der Messungen die Augen offen oder geschlossen hatten. 22 der 33 Studien mit offenen Augen zeigten signifikante Veränderungen der Hirnwellen durch die Mobilfunkbefeldung. Waren die Augen der Probanden während des Versuchs geschlossen, wurden bei 35 von 48 Studien signifikante Auswirkungen beobachtet. Die Art der Modifikation war jedoch heterogen. Je nach Studiendesign wurden sowohl Steigerungen als auch Verringerungen der EEG-Amplitude in allen Bändern beobachtet. Am häufigsten traten jedoch

Steigerungen der alpha- und beta-Band-Amplituden auf. Insgesamt wurden mehr Steigerungen als Verringerungen dokumentiert. In beiden TMS-Studien wurden signifikante Veränderungen der Erregbarkeit (Intracortical Facilitation) beschrieben.

Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Übersichtsarbeit (Scoping Review) weisen darauf hin, dass Mobilfunk in der Lage ist, neuronale Schwingungen und kortikale Erregbarkeit zu modulieren. Die Autoren identifizieren klaffende Lücken im Forschungsstand, insbesondere im Hinblick auf aktuelle Risikobewertungen, nicht-thermische Wirkungen und 5G-mm-Wellen-Applikationen. Zu letzteren gäbe es kaum experimentelle Studien. Als Limitationen nennen die Autoren unter anderem die sehr geringe Anzahl der inkludierten TMS-Studien, was die Datenlage zur kortikalen Erregbarkeit wenig belastbar erscheinen lässt. Außerdem seien die enorme Anzahl und Diversität der Bewertungsparameter zwischen den verschiedenen EEG-Studien eine Einschränkung. Dadurch werde eine Metaanalyse unmöglich. Des Weiteren könnte eine unpräzise Charakterisierung der Probanden (Alter, Geschlecht) und das Fehlen vordefinierter Effektgrößen unter Berücksichtigung von Stichprobengrößenkalkulationen die Aussagekraft der Daten einschränken. Die Wissenschaftler empfehlen eine Reihe von Verbesserungen für zukünftige Studien zu dem Thema, darunter mehr 5G-Studien, vor allem zu mm-Wellen, bessere Differenzierung der Probanden (Alter, Geschlecht etc.) und standardisierte experimentelle Parameter (Feldstärken, Kontrollen, Verblindung, cross-over-Design, technische Details der EEG/TMS-Messung).

Anmerkungen der Redaktion:

Der Einsatz von PRISMA-Scoping-Kriterien verleiht der Arbeit Struktur und Nachvollziehbarkeit. Die systematische Kategorisierung, inkl. Charakterisierung des hochfrequenten Feldes, die hohe Anzahl an doppeltverblindeten Primärstudien und die transparente Benennung der methodischen Limitationen erhöhen die Aussagekraft der Übersichtsarbeit ebenfalls. (RH)



Berechnungen weisen auf Wirkmechanismus hin

Radikalpaar-Modell für Magnetfeldeffekte auf die NMDA-Rezeptoraktivität

Nair PS, Zadeh-Haghighi H, Simon C (2024). Radical pair model for magnetic field effects on NMDA receptor activity. *Scientific Reports*, 14(1), 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-54343-y>

Die Wirkungen magnetischer Felder auf biologische Systeme wurden u. a. im Kontext von Magnetorezeption, der „inneren“ Uhr und Genotoxizität untersucht. Bei dem sogenannten Radikalpaar-Mechanismus (RPM) handelt es sich um ein quantenmechanisches Phänomen, welches vielversprechend erscheint, um einige dieser Wirkungen erklären zu können, darunter auch verschiedene Phänomene im Gehirn. Nach diesem Modell wandeln sich die Elektronen bestimmter kurzlebiger Molekülverbindungen (Radikalpaar) unter dem Einfluss quantenmechanischer Wechselwirkungen (Zeeman oder Hyperfein) und gelangen dabei in eine Überlagerung (Superposition) von Singulett- und Triplett-Zuständen. (Im Singulett-Zustand sind die Elektronenspins im Radikalpaar entgegengesetzt, im Triplett-Zustand gleichgerichtet. In organischen Systemen sind Singulett-Zustände reaktiver und Triplett-Zustände reaktionsträger, Anm. d. Red.). Die Reaktionsgeschwindigkeit und Ausbeute der aus diesen Zuständen gebildeten Endprodukte werden durch Magnetfelder beeinflusst, was den Grund für verschiedene experimentelle Beobachtungen darstellen kann. Zu den Phänomenen, die mithilfe dieses Mechanismus modelliert wurden, zählen unter anderem die Auswirkungen sehr schwacher Magnetfelder auf die Neurogenese sowie die Umstrukturierung von Mikrotubuli. Frühere *in vitro* Studien haben gezeigt, dass statische Magnetfelder in der Lage sind sowohl intrazelluläre Ca^{2+} -Konzentrationen, als auch die Konzentrationen von NMDA-Rezeptoren in Neuronen signifikant zu steigern. Diese Rezeptoren sind für Lern- und Gedächtnisprozesse unentbehrlich und spielen eine Rolle bei zahlreichen neurologischen Erkrankungen. Die Autoren hypothesieren, dass ein RPM-Modell die beobachteten Wirkungen erklären könnte: Unter Einfluss eines Magnetfeldes ändern sich die Quantenzustände von Protein-Oxyradikalen und Magnesiumradikalen und damit die Wahrscheinlichkeit, dass sie in reaktive Singulett-Konfigurationen übergehen.

Studiendesign und Durchführung:

In der vorliegenden Publikation werden die Auswirkungen eines statischen Magnetfeldes (0,15 bis 100 mT) auf die NMDA-Rezeptoraktivität untersucht, indem die Produktmengen möglicher Radikalpaarreaktionen berechnet werden. Dies wird mit den Ergebnissen der oben genannten *in vitro*-Studien (100 mT) verglichen. Die Autoren gehen davon aus, dass die beobachtete erhöhte NMDA-Rezeptoraktivität (erhöhte intrazelluläre Ca^{2+} -Konzentrationen) auf enzymatischen Phosphorylations-

prozessen beruht, welche durch einen Ionen-Radikal-Mechanismus katalysiert werden. Dementsprechend werden Serin- bzw. Tyrosin-Oxyradikale mit hydratisierten Magnesiumradikalen als Radikalpaare berechnet. Sie simulieren die Wahrscheinlichkeit, mit der die Radikalpaare in die reaktive Singulett-Konfiguration übergehen. Dadurch könnten die experimentell beobachteten Wirkungen erklärt werden.

Ergebnisse:

Die Berechnungen ergaben sowohl für Serin- als auch Tyrosin-Radikale einen Anstieg der Singulett-Konfiguration um einen Faktor von 1,24 bei 100 mT. Dies ist vergleichbar mit dem Faktor der experimentell beobachteten Ca^{2+} -Zunahme, welcher durchschnittlich bei 1,5 (durchgängige Befeldung) bzw. 1,4 lag (repetitive Befeldung). Eine Simulation der natürlichen Isotopenhäufigkeit von ^{25}Mg (10 %) führte zu geringfügigen aber messbaren Unterschieden in der Singulett-Ausbeute.

Schlussfolgerungen:

Die experimentell beobachtete Erhöhung der intrazellulären Ca^{2+} -Konzentrationen in kultivierten Neuronen stimmt quantitativ mit der berechneten Erhöhung der RPM-Singulett-Ausbeute überein, wenn auch nicht exakt. Laut den Wissenschaftlern ist es plausibel, dass es durch Vielzahl an Prozessen, welche an der Ionenaufnahme beteiligt sind, zu einer Verstärkung der Wirkungen kommen könnte. Der Radikalpaar-Mechanismus sei ein vielversprechendes Modell, die Wirkungen magnetischer Felder auf die NMDA-Rezeptoraktivität mechanistisch zu erklären. Die Existenz von Serin-Radikalen in biologischen Systemen sei jedoch noch nicht abschließend erbracht worden. Es sei eine Reihe von Experimenten nötig, um die entsprechenden Radikale in Feldabhängigkeit nachzuweisen.

Anmerkungen der Redaktion:

Die Resultate der Studie weisen darauf hin, dass der Radikalpaar-Mechanismus eine Grundlage dafür bildet, wie elektromagnetische Felder auf biologische Systeme, in diesem Fall auf den NMDA-Rezeptor in Neuronen, wirken können. Zweifelsohne sind diverse Ansätze nötig, um diesen Wirkmechanismus experimentell nachzuweisen. Sollte sich jedoch herausstellen, dass der radikalpaar-basierte Wirkmechanismus experimentell Bestand hat, wäre dies eine bahnbrechende Erkenntnis, wie uns elektromagnetische Felder beeinflussen können. Insbesondere im Hinblick auf die Bedeutung von NMDA-Rezeptoren für Lern- und Gedächtnisleistung stellt dies einen brisanten Ansatz dar. (RH)



Mechanismen der biologischen Wirkung von EMF

Ein umfassender Mechanismus der biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von anthropogenen extrem niederfrequenten und drahtlosen elektromagnetischen Kommunikationsfeldern.

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*. 2025 Jun 4;13:1585441. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1585441>

Die Exposition gegenüber anthropogenen elektromagnetischen Feldern (EMF), insbesondere denen der drahtlosen Kommunikation (wireless communications, WC) oder der Mobiltelefonie (MT), hat enorm zugenommen. Dies ist ein beispielloses Phänomen in der biologischen Evolution, da sich alle anthropogenen EMF, die vollständig polarisiert und kohärent sind, und insbesondere die EMF der drahtlosen Kommunikation, erheblich von den natürlichen EMF unterscheiden. Mehrere experimentelle Befunde bringen die Exposition von Labortieren oder Zellen gegenüber anthropogenen ELF oder HF/WC-EMF mit oxidativem Stress (OS) in Verbindung, der auf eine Überproduktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) und genetische Schäden/Veränderungen (DNA-Schäden, Chromosomenschäden, Mutationen usw.) zurückzuführen ist. In mehreren dieser Studien wurden OS und/oder DNA-Schäden mit daraus resultierendem Zelltod in den Fortpflanzungszellen verschiedener Tiere festgestellt, was zu einer verminderten Fortpflanzung oder zum Tod von Embryonen führte. Die in den Fortpflanzungszellen gefundenen genetischen Schäden erklären andere Befunde, die einen Zusammenhang zwischen der EMF-Exposition und der Unfruchtbarkeit von Insekten, Vögeln und Säugetieren (einschließlich Menschen), Fehlgeburten oder dem Rückgang von Vogel- und Insektenpopulationen (insbesondere Bienen) in den letzten 20 Jahren herstellen.

In einigen Studien wurden keine Auswirkungen von ELF- oder HF/WC-EMF festgestellt, insbesondere in Studien, die EMF-Expositionen durch Generatoren mit unveränderlichen Parametern und ohne Modulation verwendeten. Im Gegensatz dazu wurden in mehr als 95 % der Studien, in denen reale MT/WC-Expositionen von handelsüblichen Geräten (Mobil-/Kabellos-Telefone, Wi-Fi usw.) mit hoher Signalvariabilität verwendet wurden, Auswirkungen festgestellt. Unabhängig von realen oder simulierten Expositionen werden in der Mehrzahl der experimentellen Studien (etwa 70 %) entweder mit Hochfrequenz (kombiniert mit ELF) oder reinen ELF-EMF Wirkungen festgestellt. Vom Menschen erzeugte EMF mit Frequenzen bis

zur unteren Grenze des Infraroten können chemische Bindungen nicht direkt aufbrechen und keine Ionisierung verursachen. Wie sind dann vom Menschen erzeugte EMF bei Umweltintensitäten in der Lage, DNA und andere biologische Moleküle zu ionisieren? Was ist die einzigartige Eigenschaft, die vom Menschen erzeugte EMF in die Lage versetzt, im Gegensatz zu natürlichen EMF, einschließlich Licht, schädliche biologische/gesundheitliche Wirkungen hervorzurufen? Es hat sich gezeigt, dass diese einzigartige Eigenschaft in der Polarisierung und Kohärenz in Verbindung mit der Variabilität niedriger Frequenzen (ULF/ELF) liegt.

In der vorliegenden Arbeit liefern Panagopoulos & Yakymenko et al. eine aktualisierte Beschreibung, wie vom Menschen verursachte EMF auf nicht-thermischer Ebene in der Lage sind, eine Funktionsstörung der spannungsgesteuerten Ionenkanäle (VGICs) in den Zellmembranen auszulösen, wodurch eine Überproduktion von ROS und Oxidativer Stress ausgelöst wird, die wiederum für die meisten bekannten negativen biologischen / gesundheitlichen Auswirkungen, einschließlich DNA-Schäden und damit zusammenhängende Pathologien, verantwortlich sind.

Biochemie der radikalen Sauerstoffspezies:

Eine wichtige Quelle für ROS in allen Zellen ist die Elektronentransportkette (ETC) in der inneren Membran der Mitochondrien, die unter normalen Bedingungen wahrscheinlich 50-90 % der gesamten zellulären ROS-Produktion ausmacht. Es wurde festgestellt, dass der Elektronenaustritt aus der ETC in Spermatozoen unter WC-EMF-Exposition aus Komplex III stammt, da dies parallel zur Verwendung von Komplex-III-Inhibitoren getestet wurde. Bei der Betrachtung der mitochondrialen Ursachen von OS spielt Ca^{2+} eine Schlüsselrolle. Ein physiologischer Anstieg des mitochondrialen Ca^{2+} kann die ATP-Produktion anregen, wenn der Energiebedarf hoch ist, was jedoch auch zu einer erhöhten ROS-Bildung führen kann. Eine übermäßige Ca^{2+} -Akkumulation kann zu mitochondrialer Dysfunktion und einem Rückgang der ATP-Produktion führen, vor allem aber die ROS-Produktion und apoptotische Faktoren weiter erhöhen. Ca^{2+} kann auf die Mitochondrien einwirken, indem es wichtige mitochondrienspezifische Dehydrogenasen reguliert. Daher ist eine sorgfältige Kontrolle des Ca^{2+} -Spiegels in den Mitochondrien ein Schlüsselfaktor für die ROS-Homöostase, wobei eine durch EMF induzierte Störung der Ca^{2+} -Kanäle möglicherweise zu einer ROS-Überproduktion führt.

NADPH/NADH-Oxidasen (NOXs) katalysieren die Produktion des freien Superoxidanions, indem sie Elektronen aus NAD(P)H auf Sauerstoff übertragen. NOXs werden auch durch zytosolisches Ca^{2+} aktiviert und besitzen neben ihrem H^+ spannungsgesteuerten Kanal eine Ca^{2+} -Bindungsstelle. NOXs können unter basalen Bedingungen 10-30 % der gesamten ROS-Produktion

in Neuronen ausmachen. Ihr Beitrag kann jedoch bei neuronaler Aktivierung oder Entzündung erheblich ansteigen. Die NOXs wurden als ein wichtiges Ziel für vom Menschen verursachte EMF identifiziert.

Stickstoffmonoxid-Synthasen (NOS) sind spezifische Enzyme, die in allen tierischen und pflanzlichen Zellen vorkommen und freie Stickstoffmonoxid-Radikale ($NO\bullet$) produzieren. Es wurde festgestellt, dass ein Anstieg der Ca^{2+} - und $NO\bullet$ -Konzentrationen in den Zellen sehr schnell (innerhalb weniger Sekunden) durch EMF-Exposition ausgelöst wird, wobei die Induktion von DNA-Schäden durch Peroxynitrit durch NOS-Hemmer und Antioxidantien blockiert wird.

Darüber hinaus beeinträchtigt eine Störung der spannungsabhängigen Na^+ -, K^+ -, Mg^{2+} - und Ca^{2+} -Ionenkanäle (VGICs) die Funktion der Na^+/K^+ -Pumpe (ATPase) und der Ca^{2+} -Pumpen in den Plasmamembranen aller Zellen. Zusätzlich zu ihrer Rolle als Ionenpumpe fungiert die Na^+/K^+ -ATPase als Signalregulator, der Signale von der Plasmamembran zu den intrazellulären Organellen überträgt und als Normalisator des Na^+/K^+ -Gleichgewichts in den Zellen fungiert, z. B. nach einer Störung der VGIC. Es ist seit langem bekannt, dass die Aktivität der Na^+/K^+ -ATPase durch ELF EMF beeinträchtigt wird und dass Veränderungen ihrer Aktivität mit der ROS-Produktion in den Mitochondrien zusammenhängen. Martin Pall stellte einen Zusammenhang zwischen der

Das ROS-Regulierungssystem ist eng mit dem Ca^{2+} -Signalsystem verknüpft. Eine Funktionsstörung der Ca^{2+} -Kanäle in der Plasma- oder Mitochondrienmembran führt zu einer Unterbrechung des Signalsystems und zu einem Anstieg der ROS-Konzentration in der Zelle.

EMF-induzierten Dysfunktion der spannungsgesteuerten Kalziumkanäle und der $NO\bullet/ONOO^-$ -Überproduktion fest. Peroxynitrit kann auch in Gegenwart von H^+ leicht zu $OH\bullet$ und NO_2^- zersetzt werden.

Das von den Mitochondrien oder den NOX produzierte Superoxidanion-Radikal ($O_2\bullet^-$) wird von der Superoxiddismutase (SOD) im Zytosol oder in den Mitochondrien katalysiert und in Wasserstoffperoxid (H_2O_2) umgewandelt. H_2O_2 kann an jeden

beliebigen Ort in der Zelle gelangen, auch in den Zellkern, wo es in das höchst potente Hydroxylradikal ($OH\bullet$) umgewandelt werden kann, das jedes biologische Molekül, einschließlich der DNA, schädigen kann.

Anthropogene EMF und VGICs:

Normalerweise wechseln VGICs zwischen offenem und geschlossenem Zustand durch Membranspannungsänderungen $dV \geq 30$ mV, die Kräfte auf ihre Spannungsfühler ausüben. Genauer gesagt reagieren VGICs auf Änderungen zwischen -30 und -100 mV. VGICs können auch auf sehr schwache polarisierte, kohärente und langsam schwankende EMF bis hinunter zu $\sim 10^{-5}$ V/m über die erzwungene Oszillation reagieren, die solche EMFs auf bewegliche Ionen in unmittelbarer Nähe (<1 nm) zu den Sensoren auslösen (ion forced-oscillation: IFO). Der IFO-VGIC-Mechanismus postuliert, dass die biologische Aktivität eines EMF proportional zu seiner maximalen Intensität und umge-

kehrt proportional zu seiner Frequenz ist, was bedeutet, dass die in der Literatur berichteten Wirkungen durch niederfrequente (ULF/ELF/VLF) und nicht durch hochfrequente (reine Hochfrequenz/Mikrowellen) EMF hervorgerufen werden. Außerdem wird festgestellt, dass pulsierende EMF deutlich bioaktiver sind als entsprechende kontinuierliche (nicht pulsierende) EMF. VGICs reagieren nicht einfach auf das Vorhandensein eines unveränderlichen (statischen) elektrischen Feldes, da sie sich sonst ständig chaotisch öffnen/schließen würden und kein Leben erhalten werden könnte. Aus diesem Grund ist das geomagnetische Feld (GMF) unter normalen Bedingungen nicht besonders bioaktiv, wird aber bioaktiv, wenn sich die normale Intensität während magnetischer Stürme um etwa 20 % ändert. Jede Funktionsstörung der Ionenkanäle wirkt sich auf die ansonsten sorgfältig kontrollierten intrazellulären Ionenkonzentrationen aus und stört das elektrochemische Gleichgewicht und die Homöostase der Zelle, einschließlich des intrazellulären Redoxstatus, der ein Index für den ROS-Gehalt in der Zelle ist. Das ROS-Regulierungssystem ist eng mit dem Ca^{2+} -Signalssystem verknüpft. Eine Funktionsstörung der Ca^{2+} -Kanäle in der Plasma- oder Mitochondrienmembran führt zu einer Unterbrechung des Signalsystems und zu einem Anstieg der ROS-Konzentration in der Zelle. Daher führt eine Fehlfunktion der Ionenkanäle zu einer Überproduktion von ROS, und die ROS verstärken die Fehlfunktion der Ionenkanäle weiter. Offensichtlich haben wir es hier mit einem Teufelskreis zu tun, bei dem eine VGIC-Dysfunktion zu OS in den Zellen führt, was wiederum die Ionenkanäle noch mehr stört und zu noch ausgeprägteren OS führt.

Schlussfolgerungen:

Alle vom Menschen erzeugten EMF sind vollständig polarisiert und kohärent, mit niederfrequenten (ELF/ULF/VLF) Intensitätsschwankungen in der überwiegenden Mehrheit der Fälle, d. h. sie besitzen elektrische und magnetische Nettopfelder, die (mit ELF/ULF/VLF-Raten) in einzelnen Richtungen und in Phase schwingen. Diese Bedingung führt zu parallelen und kohärenten Niederfrequenz-Zwangsschwingungen von mobilen Ionen und anderen geladenen/polaren Molekülen in lebendem Gewebe. Nach dem IFO-VGIC-Mechanismus werden die in der Literatur beschriebenen nichtthermischen biologischen/gesundheitlichen Wirkungen speziell durch die niederfrequenten Anteile eines HF-Signals und nicht durch hochfrequente EMF selbst induziert. Dies erklärt, warum die nicht-thermischen Wirkungen, die zuvor den HF-EMF zugeschrieben wurden, bei fehlender niederfrequenter Modulation/Pulsation verschwinden. Daraus folgt (nach Ansicht der Autoren), dass reine Hochfrequenz/Mikrowellen-EMF nur eine Erwärmung von biologischem Gewebe bewirken können. Für Zellen, deren genomische DNA durch EMF-induzierte ROS irreparabel geschädigt ist, sind die möglichen Folgen Zellseneszenz oder Zelltod, was zu Alterung, organischen/neurodegenerativen Krankheiten und/oder Fortpflanzungsproblemen, Krebs oder mutierten Nachkommen führen kann.

Vom Menschen verursachte EMF, insbesondere die schädlichsten, die von Mobilfunkantennen/Geräten und Hochspannungsleitungen ausgehen, sind zu einer neuen Realität im modernen Leben geworden, der Milliarden von Menschen täglich ausgesetzt sind. Obwohl sie deutlich weniger zytotoxisch sind als Radioaktivität oder bestimmte giftige Chemikalien, stellen sie ein evolutionär neuartiges und äußerst hartnäckiges tägliches zytotoxisches Agens dar, gegen das die bestehenden Reparaturmechanismen möglicherweise nicht wirksam genug sind. Vor allem bei Personen, die bereits genetisch oder epigenetisch geschädigt sind. Nach Ansicht der Autoren ist eine Voraussetzung für die therapeutische Wirkung angewandter EMF die Simulation natürlicher EMF oder physiologischer endogener zellulärer Signale. Die Grundfrequenz der natürlichen atmosphärischen elektromagnetischen „Schumann“-Resonanzen (7,83 Hz) und ihre Obertöne werden in der Gehirnaktivität von Mensch und Tier nachgewiesen, und die physikalischen Parameter der elektromagnetischen Gehirnaktivität und der atmosphärischen Blitze weisen bemerkenswerte Ähnlichkeiten auf. Daher vermuten die Autoren, dass die therapeutischen Wirkungen gepulster EMF bei pulsierenden Frequenzen, die mit den Schumann-Frequenzen oder den endogenen ionischen Oszillationen in den Zellen übereinstimmen, optimal sein dürften und biologisch verträglich oder positiv wirken sollten. Anmerkung der Redaktion: Wenn diese Annahme richtig ist, könnte dies eine Möglichkeit sein, die toxischen Wirkungen von ELF-gepulsten EMF deutlich zu reduzieren, indem man die niederfrequenten Anteile im Signal möglichst ähnlich den natürlichen Schumann-Resonanzen gestaltet. (AT)



EHS Grundlagenforschung

Hautfibroblasten von Personen, die selbst als elektrosensibel diagnostiziert wurden, weisen zwei unterschiedliche Untergruppen mit verzögerter Nukleosynthese des ATM-Proteins auf.

Sonzogni L, Al-Choboq J, Combemale P, Massardier-Pilonchéry A, Bouchet A, May P, Doré JF, Debouzy JC, Bourguignon M, Dréan YL, Foray N (2025). Skin Fibroblasts from Individuals Self-Diagnosed as Electro-sensitive Reveal Two Distinct Subsets with Delayed Nucleosynthesis of the ATM Protein in Common. *International Journal of Molecular Sciences*. 2025 May 16;26(10):4792. <https://doi.org/10.3390/ijms26104792>

Elektromagnetische Überempfindlichkeit (EHS) und ihr kausaler Zusammenhang mit Hochfrequenzen stellen eine wichtige Frage der öffentlichen Gesundheit dar. Der Begriff „elektroma-

genetische Überempfindlichkeit“ (EHS) wurde erstmals vorgeschlagen, um die Gruppe von Symptomen zu beschreiben, die einige Personen auf die Exposition gegenüber EMF zurückzuführen. Bis heute besteht in der Literatur ein Konsens darüber, dass EMF als nicht-ionisierende Strahlung eine viel geringere Energiemenge auf lebende Materie überträgt als ionisierende Strahlung. Die WHO empfahl, in jede klinische Studie über EHS eine Selbsteinschätzung mit abgestufter Intensität der Symptome oder Beschwerden mittels eines Fragebogens aufzunehmen. Die Autoren bevorzugten die Verwendung von Hautfibroblasten, die im Vergleich zu Lymphozyten und anderen Zelltypen mehrere Vorteile aufweisen, wie z. B.: Fibroblasten sind am repräsentativsten; Hautbiopsien sind einfach durchzuführen; Fibroblasten sind stabil und langlebig in Zellkultur. Da sich gezeigt hat, dass sowohl die zelluläre als auch die klinische (Röntgen-)Strahlenempfindlichkeit mit gestörter Reparatur von DNA-Doppelstrangbrüchen (DSB) in Verbindung steht, die vom ATM-Kinaseprotein, einem Hauptakteur der Stressreaktion, abhängen, erschien es von großem Interesse, die Funktionalität der ATM-abhängigen DSB-Erkennungs- und Reparaturwege in Hautfibroblasten von EHS-Patienten zu untersuchen. Um die erste molekulare Definition von EHS zu erhalten, wurde eine medizinische Studie mit dem Namen DEMETER (französisches Akronym für Molekulare Definition der menschlichen Elektrosensibilität) mit einer Kohorte von 26 selbstdiagnostizierten elektrosensiblen Freiwilligen durchgeführt.

Studiendesign und Durchführung:

Im Rahmen der klinischen Studie DEMETER erklärten sich 26 erwachsene Freiwillige, bei denen EHS diagnostiziert wurde, bereit, einen Fragebogen zur Selbsteinschätzung zu beantworten und sich einer Hautbiopsie zur Herstellung einer primären Fibroblastenzelllinie zu unterziehen. Die Hautproben wurden zwischen 2018 und 2021 entnommen. Eine weitere Sammlung von Fibroblasten-Zelllinien aus dem Labor, COPERNIC genannt, und die dazugehörige strahlenbiologische Datenbank, die von Krebspatienten zur Verfügung gestellt wurde, die mit Strahlentherapie (RT) behandelt wurden und in ihrem Fragebogen keine EHS-Symptome beschrieben hatten, wurden als Nicht-EHS-Kontrollen verwendet. Von den COPERNIC-Spendern wurden 10 als strahlenresistent eingestuft (Gruppe I), was bedeutet, dass sie nach einer Röntgen-Bestrahlung mit 2 Gy nur minimale Anzeichen von genetischen Schäden aufwiesen (strahlenresistente Nicht-EHS-Kontrollen; 75–85 % der Normalbevölkerung sind strahlenresistent). 186 wurden als strahlenempfindliche Nicht-EHS-Kontrollen eingestuft (Gruppe II). Sowohl die DEMETER- als auch die COPERNIC-Zellen wurden am selben Ort und unter denselben Bedingungen kultiviert.

Die Bestrahlung erfolgte an einem klinischen 6-Megavolt-Röntgenbestrahlungsgerät im Krebsbekämpfungszentrum Léon-Bérard (Lyon, Frankreich) mit einer Dosis von 2 Gy und einer Dosisleistung von 6 Gy.min⁻¹. Die Wasserstoffperoxid-

Behandlung bestand aus der Zugabe der angegebenen H₂O₂-Konzentration direkt in das Kulturmedium für 30 Minuten. Die Anzahl der spontanen Doppelstrangbrüche (DSB), der wichtigsten DNA-Schäden, und die Anzahl der spontanen Mikronuklei (MN), ein Hauptmerkmal der genomischen Instabilität, wurden bei jeder DEMETER-Fibroblasten-Zelllinie bewertet. Spontane DSB wurden mittels Immunfluoreszenz untersucht. Die Anzahl der MN pro 100 Zellen wurde auf denselben mikroskopischen Objektträgern ermittelt. Schließlich wurden die aus den ersten beiden Schritten (Fragebogen und biologische Daten) gezogenen Schlussfolgerungen kombiniert, um spezifische molekulare Merkmale von EHS zu ermitteln. Im vorliegenden Bericht werden nur die Daten des Fragebogens zur Selbsteinschätzung und die Daten, die nach der Exposition von DEMETER- und COPERNIC-Zellen gegenüber Röntgenstrahlen und H₂O₂, zwei gut dokumentierten Stressauslösern von DNA-Strangbrüchen, gewonnen wurden, dargestellt.

Ergebnisse:

Die DEMETER-Studie basierte auf einer Kohorte von 26 EHS-Betroffenen.

1. Der Fragebogen und die biologischen Daten ergaben zwei Untergruppen von Spendern (1 und 2), die jeweils einem Phänotyp mit niedrigem Hintergrund an Symptomen und hoher Empfindlichkeit auf EMF (low background highly responsive, LBHR) und einem Phänotyp mit hohem Hintergrund und geringer Empfindlichkeit (HBLR) zugeordnet wurden. Die Gruppen wurden quantitativ durch die selbst eingeschätzte Intensität der Symptome im Zusammenhang mit verschiedenen EMF-Quellen definiert.
2. Der Fragebogen zu den Symptomen nach Exposition gegenüber anderen Quellen als EMF (Lebensmittel und Chemikalien) ergab, dass der HBLR-Phänotyp mit einer gewissen Immunschwäche verbunden ist. Der Fragebogen zeigte auch, dass der HBLR-Phänotyp besonders mit Müdigkeit, Schlafstörungen und der Abnahme der intellektuellen Kapazität verbunden ist, während der LBHR-Phänotyp besonders mit Beeinträchtigungen des Herz- und Verdauungssystems, Stimmungsinstabilität, Nervosität, Kopfschmerzen, Tinnitus und Hautreaktionen verbunden ist. Die LHBR-Gruppe wies deutlich weniger Mikronuklei und Doppelstrangbrüche auf als die HBLR-Gruppe.
3. Anhand der Anzahl spontaner Doppelstrangbrüche (DSB) oder Mikrokerne (MN) als Endpunkte wurden zwei Untergruppen von DEMETER-Freiwilligen, nämlich A und B, definiert. Dieselben EHS-Personen wiesen durchweg entweder sowohl erhöhte DSB als auch MN auf, oder beide lagen im unteren/normalen Bereich. Darüber hinaus wurde jede der Untergruppen A und B in einer der beiden oben beschriebenen Unter-

gruppen 1 und 2 mit einer Übereinstimmungsquote von 64 % gefunden.

4. Da die DEMETER-Fibroblasten, die mit dem HBLR-Phänotyp assoziiert sind, spektakuläre Mengen an spontanen DNA-Brüchen aufweisen, untersuchten die Autoren, ob DEMETER-Fibroblasten perinukleäre ATM-Kronen, einen Marker für Alterung, aufweisen, was sich bestätigte. Nach der Bestrahlung mit Röntgenstrahlen zeigten alle DEMETER-Fibroblasten (26/26) einen verzögerten strahleninduzierten ATM-Zellkern-Transfer (radiation-induced ATM nucleoshuttling, RIANS). Verzögerte RIANS ist eine zelluläre Reaktion, die durch eine systematische Verzögerung der Bewegung des ATM-Proteins zu den Stellen der DNA-Doppelstrangbrüche (DSB) nach der Strahlenbelastung gekennzeichnet ist. Die Verwendung von RIANS-Biomarkern zeigte, dass die beiden oben beschriebenen Phänotypen DEMETER-Spendern mit einem hohen Krebsrisiko (LBHR) oder einem hohen Risiko für eine beschleunigte Alterung (HBLR) entsprachen. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass EHS systematisch mit einer verzögerten RIANS verbunden sein könnte. Es bedeutet auch, dass einige X-Proteine, ATM-Substrate, im Zytoplasma aller DEMETER-Zellen überexprimiert sein sollten. Mutationen könnten für die schädlichen X-Proteine verantwortlich sein und somit eine mögliche Ursache für EHS darstellen. EHS könnte mit dem Management von DNA-Strangbrüchen zusammenhängen.
5. Die molekulare Definition der Untergruppen A und B wurde durch andere Biomarker konsolidiert: Untergruppe A wurde mit einer frühen Bildung von strahleninduzierten MRE11-Foci in Verbindung gebracht, während Untergruppe B sowohl mit der spontanen Bildung von perinukleären pATM-Kronen als auch mit der späten Bildung von strahleninduziertem MRE11 in Verbindung gebracht wurde (92,3 % Überlappung). Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Untergruppe A aus Spendern mit einem hohen Krebsrisiko bestand, während die Untergruppe B aus Spendern mit einem hohen Risiko für eine beschleunigte Alterung zusammengesetzt war.
6. Durch die H₂O₂-Behandlung von DEMETER-Zellen können Einzelstrangbrüche (SSB) und DSB zur Bildung von hochgradig geschädigten Zellen führen, die nachweislich den letzten Schritt der perinukleären pATM-Kronen darstellen. Die bei der H₂O₂-Behandlung beobachteten Unterschiede zwischen der Untergruppe B (HBLR-Phänotyp) und den Kontrollen nahmen mit der Anwendung einer antioxidativen Behandlung deutlich ab, was wiederum das Modell untermauert, dass EHS mit dem Management von SSB und/oder DSB zusammenhängen könnte.

Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Studie beruhen auf einer kleinen Kohorte von 26 EHS-Patienten (DEMETER-Kohorte). Es sollte jedoch angemerkt werden, dass die Feststellung, dass 26/26 EHS-Patienten einen verzögerten strahleninduzierten ATM-Zellkern-Transfer (RIANS) aufweisen, darauf hindeutet, dass eine größere Kohorte diese endgültige Schlussfolgerung nicht drastisch verändert hätte. Das Vorhandensein von spontanen SSB, DSB oder MN in EHS-Patienten-Zellen spiegelt wahrscheinlich einen enormen oxidativen Stress und eine erhebliche genomische Instabilität wider. Während eine hohe Spontanrate von DSB oder MN nicht notwendigerweise spezifisch für EHS ist, können Fibroblasten der DEMETER-Untergruppe B einen höheren endogenen Stress mit mehr DSB pro Zelle (HB-Phänotyp) auslösen als Fibroblasten der Untergruppe A (LB-Phänotyp), was auf eine stärkere Beeinträchtigung bei der Bewältigung von SSB und/oder DSB und bei deren Reparatur hindeutet.

Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit den Immunschwäche-Reaktionen, die speziell bei der Untergruppe HBLR beobachtet wurden, aber auch mit der Wirksamkeit eines antioxidativen Medikaments nach H₂O₂-Behandlung. Die im vorliegenden Bericht durchgeführte strahlenbiologische Charakterisierung deutet stark darauf hin, dass alle DEMETER-Fibroblasten eine verzögerte RIANS zeigten. Eine solche Aussage kann nicht das Ergebnis eines Zufalls sein, wenn man die biologischen und mathematischen Zwänge berücksichtigt, die mit verzögerten RIANS verbunden sind. Ein solcher RIANS-Status bedeutet, dass bei EHS-Patienten, die wegen einer Krebserkrankung mit einer Strahlentherapie behandelt wurden, ein hohes Risiko für unerwünschte Gewebereaktionen nach der Behandlung bestehen könnte. Die Befunde der mit Röntgenstrahlen bestrahlten Zellen deuten darauf hin, dass bei DEMETER-Spendern das Risiko einer Gewebereaktion des Grades 2-4 nach der Strahlentherapie besteht, was nicht zu vernachlässigende Sekundäreffekte darstellt. Weitere Untersuchungen sind erforderlich (und schon unterwegs), um zu überprüfen, ob eine EMF-Exposition von Zellen von EHS-Personen einer solchen Röntgen-dosis entspricht. (AT)



Stört Mobilfunk die Thermoregulation?

Elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen: Ein Risiko für die Erhaltung der Energiehomöostase?

Seewooruttun C, Mai TC, Corona A, Delanaud S, de Seze R, Bach V, Desailoud R, Pelletier A (2025). Electromagnetic fields from mobile phones: A risk for maintaining energy homeostasis? *Annales d'Endocrinologie*, 86(3), 101782. <https://doi.org/10.1016/j.ando.2025.101782>

Der ubiquitäre Nutzen von Mobiltelefonen und anderen drahtlosen Kommunikationsgeräten führt zu einer dauerhaften Befeldung mit nieder-intensivem Mobilfunk. Während gut dokumentiert ist, dass hohe SAR-Werte zu thermischen Effekten führen, wird kontrovers diskutiert, ob niedrige Feldstärken, wie sie im täglichen Mobilfunkbetrieb auftreten, nicht-thermische Mechanismen auslösen können. Die vorliegende narrative Übersichtsarbeit beschäftigt sich mit dem wenig untersuchten Phänomen der mobilfunkabhängigen Thermoregulation. Es finden sich in der Literatur Hinweise, dass Mobilfunk in Tiermodellen Kältereaktionen auslösen und dadurch den Energiehaushalt beeinflussen kann.

Studiendesign und Durchführung:

Diese Übersichtsarbeit folgt keinem systematischen Ansatz, sondern fasst Daten von experimentellen Studien aus Tiermodellen narrativ zusammen. Sie soll einen umfassenden Überblick über physiologische und molekulare Mechanismen gewähren, durch die Mobilfunk die thermoregulatorischen Funktionen des Körpers beeinflussen kann.

Ergebnisse:

Obwohl Mobilfunk mit der Erwärmung von Gewebe assoziiert ist und die geltenden Richtlinien davor schützen sollen, haben Tierversuche paradoxerweise gezeigt, dass hochfrequente Strahlung niedriger Intensität Kältereaktionen auslösen kann. So wurden im Vergleich zu Kontrolltieren niedrigere Schwanztemperaturen, einhergehend mit gesteigerter Vasokonstriktion dokumentiert. In Thermalpräferenztests bevorzugten befeldete Tiere wärmere Bereiche als die Kontrolltiere. Versuchstiere, die mit einem SAR-Wert von 0,16 W/kg befeldet wurden (also weit unterhalb thermischer Feldstärken, Anm. d. Red.), zeigten sogar eine Erhöhung ihrer Körperkerntemperatur. Auch auf zellulärer Ebene wurden Veränderungen in der Thermogenese beobachtet. Das braune Fettgewebe stellt den Hauptakteur der „non-shivering“ (also nicht durch Zittern der Muskulatur hervorgerufenen, Anm. d. Red.) Thermogenese dar. Die Untersuchung des braunen Fettgewebes ergab keine konsistenten Veränderungen klassischer Thermogenesemarker wie UCP1 oder PGC1- α . Es wurden jedoch diverse Biomarker gefunden, die auf eine Umwandlung von weißen in braunes Fettgewebe schließen lassen.

Schlussfolgerungen:

Sowohl Verhaltens- bzw. physiologische Tests, als auch biochemische Marker, sprechen für eine Störung der thermischen Homöostase durch Mobilfunk niedriger Intensität. Diese Imbalance kann sogar so weit gehen, dass die Körperkerntemperatur steigt. Die Kombination aus verändertem Verhalten (Thermopräferenz), autonomen Anpassungen (Vasokonstriktion) und molekularen Veränderungen (Fettgewebe Umwandlung) weisen auf eine Modulation der Energiehomöostase hin. Laut den Autoren scheinen diese Anpassungsreaktionen die Gesundheit der Versuchstiere kurzfristig nicht negativ zu beeinflussen. Die Studienlage zu Langzeitversuchen ist jedoch äußerst spärlich. Insgesamt fordern die Wissenschaftler eine genauere Untersuchung der Beeinflussung thermoregulatorischer Effekte, insbesondere unter Berücksichtigung der Schilddrüse. Die von der Schilddrüse ausgeschütteten Hormone regulieren den Stoffwechsel des Körpers, so auch Prozesse, welche die Energieproduktion in den Zellen und Wärmeproduktion durch Thermogenese beeinflussen.

Anmerkungen der Redaktion:

Diese narrative Übersichtsarbeit ist *per definitionem* nicht in der Lage ihre Kernaussagen zu quantifizieren, auch PRISMA-Richtlinien werden nicht berücksichtigt. Das Ziel der Autoren war aber auch nicht die Generierung quantifizierter Daten, sondern ein Überblick auf ein spannendes und wenig untersuchtes Forschungsfeld. In diesem Kontext ist es positiv hervorzuheben, dass Hinweise für eine veränderte energetische Homöostase auf drei verschiedenen Ebenen (Verhalten, autonome Anpassung, molekulare Marker) gefunden werden. Eine tiefergehende Untersuchung der Materie, wie von den Autoren gefordert, scheint angemessen. (RH)



Kommentar zur Bewertung der Studie von Bozok et al.

von Klaus Scheler

Einleitung

Die Studie von Bozok et al. (2023) [1] „The effects of long-term prenatal exposure to 900, 1800 and 2100 MHz electromagnetic field radiation on myocardial tissue of rats“ untersuchte erstmalig die langfristigen Auswirkungen einer Befeldung von trächtigen Sprague-Dawley-Ratten (weiße Ratten) mit gängigen Mobilfunkfrequenzen auf das Herzmuskelgewebe ihrer neugeborenen männlichen Jungtiere.

Insgesamt wurde mit 6 Gruppen (zu n = 3) von trächtigen Sprague-Dawley-Ratten experimentiert: 1. Gruppe: Kontrollgruppe (nicht befeldet), 2. Gruppe: 900 MHz, 24 h/Tag, 3. Gruppe: 1800 MHz, kontinuierlich 6 h/Tag, 4. Gruppe: 1800 MHz, kontinuierlich 12 h/Tag, 5. Gruppe: 1800 MHz, 24 h/Tag, 6. Gruppe: 2100 MHz, 24 h/Tag. Insgesamt wurden die Tiere über einen Zeitraum von 20 Tagen befeldet. Nach 60 Tagen wurden die Jungtiere getötet und das Herzmuskelgewebe histopathologisch und biochemisch untersucht. Die Wissenschaftler beobachteten bei den Jungtieren aus den befeldeten Gruppen eine atypische Myokardmorphologie in Form von pyknotischen Nuclei (degenerierten Zellkernen), zytoplasmatischer Vakuolisierung [2], eosinophil gefärbtem Zytoplasma und eine Vergrößerung der myokardialen Muskelfasern.

Insbesondere nahmen die Herzmuskelschäden bei gleicher Befeldungsdauer (24 h/Tag) mit steigender Frequenz (900, 1800, 2100 MHz) zu, ebenso mit steigender Befeldungsdauer (6 h/Tag, 12 h/Tag, 24 h/Tag) bei gleicher Frequenz von 1800 MHz, so dass bei letzterem Ergebnis von einer Dosis-Wirkungs-Relation ausgegangen werden kann. Bei den Jungtieren aus der Kontrollgruppe traten die Schädigungen nicht auf: Ihr Herzgewebe zeigte eine typische Struktur der Herzmuskelzellen mit regelmäßigen Zellgrenzen und intaktem Endomysium.

In ElektrosmogReport 3/2023 [3] wurde die Studie besprochen und ihre Ergebnisse als konstruktiver Beitrag zur Problematik der Wirkung von HF-EMF auf den Herzmuskel bewertet. Fast gleichzeitig zum Erscheinen der Studie im EMF-Portal [4] erschien eine Bewertung vom Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) [5], das die Studie rundum abwertet mit dem Fazit „Aus diesem Grund liefert die Studie keinen verlässlichen Beitrag zum aktuellen Kenntnisstand hinsichtlich HF-EMF und Effekten auf das Herz.“

Die angeführten Gründe für die Studienabwertung werden dem Anliegen und den Aussagen der Studie nicht gerecht. Die Kritik ist daher zurückzuweisen, wie folgende Gegendarstellung im Einzelnen zeigt.

Verfälschte Darstellung der veröffentlichten Fakten

1. Das BfS behauptet in seiner Beurteilung, es sei nicht ersichtlich, ob die Zuordnung der trächtigen Ratten zu den verschiedenen Expositionsgruppen zufällig war. Diese Aussage ist unzutreffend: Die Studie war eine „randomized study“, wie klar unter dem Abschnitt „Methods“ der Studie zu lesen ist. Also war die Zuordnung zufällig, wie es auch üblich ist wegen der allgemein akzeptierten sonst möglichen Verzerrung.
2. Zusätzlich behauptet das BfS, es wären trächtige Ratten auf die Käfige verteilt worden. Das stimmt nicht: Den weiblichen Ratten wurde in jedem Käfig eine männliche Ratte zugeteilt zwecks Paarung. D.h. die Schwangerschaftszeiten begannen daher nicht gleichzeitig. Erst nach Eintritt der Schwangerschaft wurde bestrahlt. Daher ist auch die folgende Kritik des BfS haltlos: „Es wird nicht erwähnt, ... ob die Exposition der Tiere gleichzeitig ... stattfand.“ [5] Das Vorgehen ist in der Veröffentlichung indirekt beschrieben.
3. Das BfS behauptet außerdem, es sei nicht ersichtlich, ob „die [nicht exponierten] Tiere denselben Umgebungsbedingungen ausgesetzt waren wie die exponierten Tiere.“ Auch das ist der Veröffentlichung in dem Abschnitt „Animal care and welfare“ weitgehend zu entnehmen, zumal auf die Beachtung und Prüfung der Health Guidelines for the Care and Use of Laboratory Animals verwiesen wird.
4. Die kritisierte geringe Zahl der untersuchten Tiere wird in dem Abschnitt „Discussion“ gut begründet: „However, animal welfare should not be ignored in these animal studies. Thus, we used a minimal number of pregnant rats (n:3) per exposure group and we examined a minimal number of male pups (n:6) from these litters in our study.“

Vernachlässigung des Gesamtzusammenhangs

Das BfS kritisiert weiter, dass die in der Studie untersuchten Substanzen MDA, ein Biomarker für Lipidperoxidation (Zellmembranschädigung), und Glutathion (GSH), ein Antioxidans in der Zelle, keine validen Biomarker für ROS (reaktive Sauerstoffspezies, Sauerstoffradikale) seien und folgert daraus: „Die Aussage der Autoren, dass ihre Ergebnisse eine Rolle von HF-EMF bei der Entstehung von oxidativem Stress¹ unterstützen, ist daher aus Sicht des BfS auf Basis der verwendeten Methoden nicht ableitbar.“

An dieser Kritik zeigt sich, dass nicht berücksichtigt wurde, welche Rolle die Messung von MDA und GSH im Gesamtzusammenhang der Untersuchungen in der Studie spielt. Dieser wird im Folgenden zunächst kurz dargestellt.

1 Oxidativer Stress liegt vor, wenn die Bildung von oxidativen ROS so hoch wird, dass sie durch die antioxidativ wirkenden Substanzen in der Zelle nicht mehr kompensiert werden kann. Dies führt zu Schäden an der Zelle.

Die kritisierte Aussage der Autoren beruht unter anderem – wie eingangs erwähnt – auf ihrem Untersuchungsergebnis einer Dosis-Wirkungs-Relation zwischen HF-EMF-Exposition und verschiedenen Herzmuskelschädigungen, die bei Nicht-Exposition gerade nicht auftreten. Außerdem wurde die Konsistenz dieser Befunde zu ähnlichen Ergebnissen von anderen Studien dargelegt. Damit sind wesentliche Bradford-Hill-Kriterien [6] erfüllt und somit weitgehend gesichert, dass die HF-EMF-Exposition als *Ursache* für die Herzmuskelschädigungen angesehen, also ein Kausalzusammenhang angenommen werden kann. Da in anderen Studien bei Einwirkungen von HF-EMF auf Organe immer wieder vermehrt ROS festgestellt wurden, bot es sich für die Autoren an, entsprechende ROS-Marker wie MDA und GSH auf biochemischer Ebene zu untersuchen und so den Kausalzusammenhang weiter abzusichern. Die Befunde der MDA- und GSH-Werte zeigten (bis auf eine Ausnahme) analog zu den Herzmuskelschädigungen eine (statistisch signifikante) Dosis-Wirkungs-Relation: Der MDA-Wert, d.h. die Lipidperoxidation (Zellmembranschädigung), stieg signifikant mit der Dauer der Bestrahlung (Dosis) an, der GSH-Wert, d.h. die Konzentration des antioxidativ wirkenden Glutathion in der Zelle, nahm entsprechend ab.

In der Kritik des BfS wurde ausgeführt, dass der MDA-Marker in erster Linie ein Marker für Lipidperoxidation und nicht unbedingt ein Marker für ROS ist, da MDA auch auf anderem Wege entstehen kann [7]. Man kann also von MDA nicht ohne Weiteres, also nicht automatisch auf ROS schließen, aber stets von ROS auf Lipidperoxidation und damit auf entsprechende MDA-Werte. Ähnlich verhält es sich mit den GSH-Werten, da GSH nur bei in-vitro-Versuchen als valider Biomarker für ROS gilt.

Die Aussage der Autoren der Studie, dass HF-EMF die Entstehung von ROS unterstützt, mag daher formal aus den MDA- / GSH-Daten *allein* (!), d.h. losgelöst von den genannten Befunden, nicht zwingend ableitbar sein. Das war auch gar nicht das Anliegen der Autoren. Aber im Zusammenhang mit der Tatsache, dass in der Kontrollgruppe keine Schädigung der Herzmuskelzellen und damit keine Lipidperoxidation in den Zellen aufgetreten ist und zudem bestrahlte Gruppen und Kontrollgruppe sonst gleichen Untersuchungsbedingungen ausgesetzt waren, bleibt HF-EMF als einzige relevante Größe übrig, um die gemessenen MDA- und GSH-Werte und darüber hinaus die Dosis-Wirkungs-Relation zu erklären. Die Befunde sind damit – wie die Autoren schreiben – im Einklang mit der Annahme, dass durch HF-EMF-Exposition ROS vermehrt auftreten.

Da das BfS diese Folgerung der Autoren ohne Berücksichtigung dieses Gesamtzusammenhangs der Argumentation ablehnt, wird die Bewertung des BfS als nicht nachvollziehbar und unberechtigt zurückgewiesen.

Fehlende Abwägung der Relevanz von Einflussgrößen

Es wurde vom BfS weiter kritisiert, dass einige Einflussgrößen (Verblindung gegeben? Alter der trächtigen Ratten? Ort und Art der Platzierung der Käfige, z.B. alle Gruppen im gleichen Raum? Kontrollgruppe mit abgeschalteter Antenne ausgestattet?) in der Veröffentlichung nicht erwähnt wurden. Diese hätten die Kritiker des BfS von den Autoren der Studie in Erfahrung bringen können. Die Bewertung, dass daher (!) ein „erhebliches Verzerrungsrisiko“ [5] nicht ausgeschlossen werden könne, ist eine suggestive, zweckgefärbte Folgerung: Denn das Vorliegen eines Verzerrungsrisikos ist einfach nicht beurteilbar, wenn man nichts über die Berücksichtigung dieser Einflussgrößen weiß. Genauso gut könnte man umgekehrt folgern, dass (trotz der nicht dokumentierten Einflussgrößen) eine erhebliche Relevanz der Studie nicht ausgeschlossen werden kann.

Grundsätzlich erlaubt Nichtwissen eine neutrale Folgerung nur in der Form: „Kann (abschließend) nicht beurteilt werden, ohne weitere Details zu kennen.“ Nichtwissen erlaubt nicht den folgenden Schluss: Gewisse Einflussgrößen wurden nicht beachtet und daher lässt sich Abwertung rechtfertigen. Es könnte ja auch sein, dass alle Fragen zu den fehlenden Einflussgrößen positiv beantwortet werden können. Wenn alle Kritikpunkte ausgeräumt werden können oder sich als marginal erweisen, dann könnte/müsste man sagen, dass eine erhebliche Relevanz der Studie vorliegt.

Bei jeder Studie können Einflussgrößen im Spiel sein, die – aus welchen Gründen auch immer – nicht beachtet oder nicht dokumentiert wurden. Auch wenn dies zum Anlass für Kritik genommen werden kann, wird vor allem ein Aspekt ignoriert, der wesentliche Bedeutung für die Bewertung der Aussagekraft einer Studie hat: Die zahlreichen Einflussgrößen haben nicht alle die gleiche Relevanz für die Aussagekraft einer Studie. Und die Verzerrung der Ergebnisse bei der Nichtberücksichtigung von Einflussgrößen muss nicht automatisch erheblich sein, sie kann sogar marginal sein.

Eine ausgewogene Bewertung der Aussagekraft einer Studie muss sich damit unter anderem mit einer Abwägung der Relevanz der verschiedenen beachteten und nicht beachteten Einflussgrößen auseinandersetzen. Solange die Relevanz der verschiedenen Einflussgrößen nicht dargelegt und deren Abwägung für eine Bewertung nicht durchgeführt wird, kann von einer ausgewogenen Bewertung nicht gesprochen werden.

Eine Abwertung der Studienergebnisse (allein) auf dem Fehlen der Dokumentation von Einflussgrößen aufzubauen, ohne ihre Relevanz im Rahmen der Studie abzuwägen und die konstruktiven Teile der Studie zu würdigen, gleicht der Abwertung einer Blume, die noch keine Blüte aufweist.

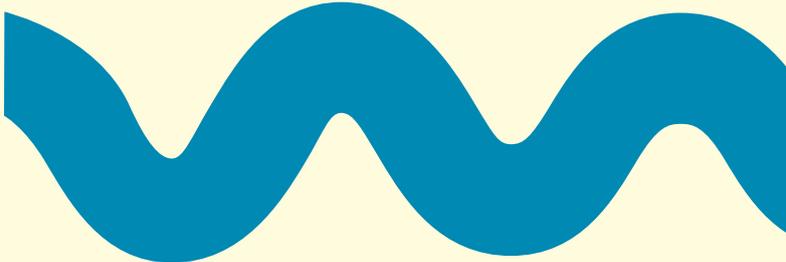
Zusammenfassung

1. Fakten, die in der Studie veröffentlicht wurden, wurden nicht beachtet, die Kritik ist daher an vielen Stellen unberechtigt und kann nur zurückgewiesen werden.
2. Die Kritik des BfS beruht weiterhin auf einer mangelnden Berücksichtigung des Gesamtzusammenhangs der in der Studie dargelegten Argumentation. Es werden Einzelbeobachtungen aus dem Zusammenhang gerissen, die Folgerungen der Autoren erscheinen dadurch nicht mehr zwingend. Nur so ist es dem BfS möglich, seine Scheinkritik zu formulieren.
3. Weiterhin gründet sich die Abwertung der Studie auf wenige nicht in der Studie dokumentierte Einflussgrößen (siehe oben). Das BfS weiß nicht, ob oder wie sie berücksichtigt wurden. Es unterstellt aber, dass ihre Relevanz für die Aussagekraft der Studie erheblich sei. Das BfS erkennt zwar, dass die fehlenden Informationen zu diesen Einflussgrößen notwendig sind, „um die Qualität der Studie angemessen zu beurteilen“ [5]. Trotz dieses Nicht-Wissens beurteilt das BfS die Aussagekraft der Studie negativ. Nicht-Wissen als Wissen auszugeben und auf diese Weise die Studienergebnisse abzuwerten, ist eine scheinlogische Täuschung des Lesers.
4. Es fehlt die Abwägung und Bewertung der Relevanz aller Einflussgrößen, insbesondere der dokumentierten und untersuchten Einflussgrößen. Aufgrund fehlender Kenntnis von wenigen Informationen über das Design der Studie lässt sich keine Kritik des Studienergebnisses, schon gar nicht eine abwertende, begründen.

Die abschließende umfassende Abwertung der Studie beruht somit auf Scheinargumenten. Es wird darüber hinaus ein Bewertungsschema des BfS deutlich, das auf einer Maximalforderung, auf einem Alles-oder-Nichts-Schema beruht: Denn das BfS legt fest, a) welche Einflussgrößen adäquat zu berücksichtigen sind, b) welche Zusammenhänge mit welchen Methoden zu belegen sind und c) dass die Studie abzuwerten ist, sobald eine oder mehrere Einflussgrößen nicht berücksichtigt oder nicht dokumentiert wurden oder Zusammenhänge nicht mit letzter Sicherheit belegt sind. Solch ein Vorgehen missachtet allgemein anerkannte Bewertungsgrundsätze des Bewertens und Abwägens aller (!) berücksichtigten und ggf. nicht berücksichtigten Aspekte (siehe oben) und führt zwangsläufig zu einer einseitigen und daher verzerrten, fragwürdigen und anfechtbaren Bewertung. Außerdem ist mit Hilfe eines Alles-oder-Nichts-Schemas einem Missbrauch des Bewertungsverfahrens für parteiliche Zwecke Tür und Tor geöffnet.

Quellen

- [1] Bozok S, Karaagac E, Sener D, Akakin D, Tumkaya L (2023). The effects of long-term prenatal exposure to 900, 1800, and 2100 MHz electromagnetic field radiation on myocardial tissue of rats. *Toxicol Ind Health*. 2023 Jan; 39(1):1-9. doi: 10.1177/07482337221139586. Epub 2022 Nov 16. PMID: 36383165. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36383165/>
- [2] Vivien Hornawsky (2025). Vakuole: Definition, Bildung und Funktionen. Vgl. <https://www.medi-karriere.de/wiki/vakuole/>
- [3] ElektrosmogReport 3/2023, veröffentlicht auf EMF:data unter <https://www.emfdata.org/de/studien/detail&id=798>, siehe auch unter <https://www.diagnose-funk.org/aktuelles/artikel-archiv/detail&newsid=2002>
- [4] EMF-Portal. Hinweis auf die Studie von Bozok et al.: <https://www.emf-portal.org/de/article/49027>
- [5] Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF) (2023): Spotlight on „The effects of long-term prenatal exposure to 900, 1800, and 2100 MHz electromagnetic field radiation on myocardial tissue of rats“ by Bozok et al. in *Toxicology and Industrial Health* (2022). https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2023060938290/4/SL_Bozok_2022_EffectsOf-Longterm_Deu.pdf
- [6] Wikipedia (deutsch). Bradford-Hill-Kriterien: [https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84tiologie_\(Medizin\)#Bradford-Hill-Kriterien](https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%84tiologie_(Medizin)#Bradford-Hill-Kriterien)
- [7] Wikipedia (englisch). Thiobarbituric acid reactive substances (TBARS): <https://en.wikipedia.org/wiki/TBARS>



Adressen für weitere seriöse Informationen

Diagnose-Funk e.V. - Umwelt und Verbraucherorganisation zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e.V.,
Deutschland:
diagnose-funk.org, info@diagnose-funk.de

Microwave News, USA:
microwavenews.com, 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
EMF-Homepage: saferemr.com

Prof. Devra Davis (USA):
ehtrust.org, 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,
kurzelinks.de/jmi4

Blog von Prof. Darius Leszczynski (Finnland):
betweenrockandhardplace.wordpress.com

Datenbanken

emfdata.org
emf-portal.de
orsaa.org

