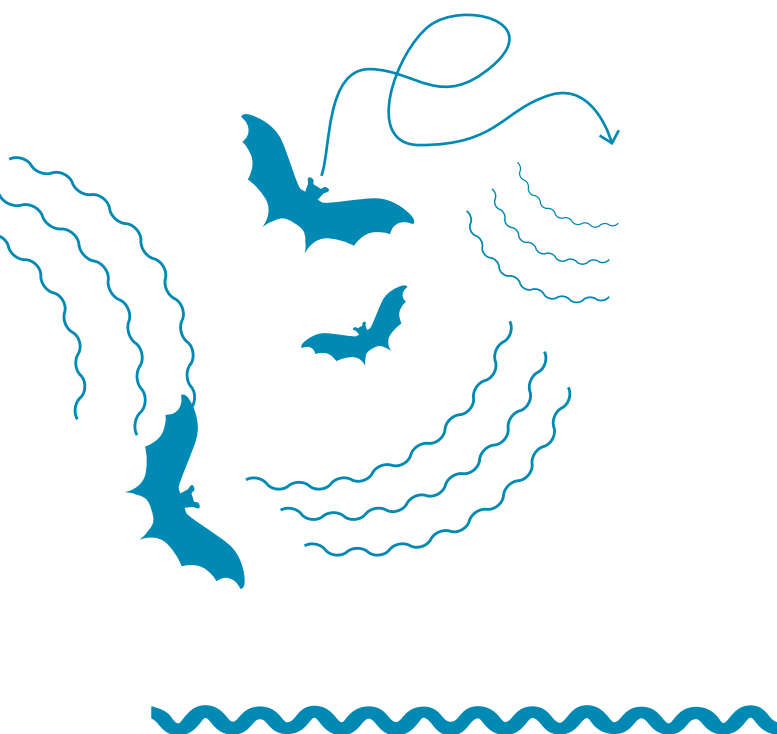


ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer
Felder für Umwelt und Gesundheit



EMF-Exposition stört Magnetkompass von Fledermaus Störende Auswirkungen einer kurzen Exposition gegenüber Hochfrequenz- rauschen auf die Navigation wandernder Fledermäuse

Lindecke O, Schneider WT, Vintulis V, Jordan N, Cellarius F, Marggraf LC et al. (2026). Disruptive effects of brief radiofrequency noise exposure on migratory bat navigation. *Science*, 392(6801), 977-979.
<https://doi.org/10.1126/science.adq4418>

Eine neue Studie der Universität Oldenburg untersucht die Auswirkungen derselben Frequenzen (die bei Vögeln als störend erkannt wurden) auf die Navigation von Fledermäusen. Zuvor wurde nachgewiesen, dass sehr schwache Breitbandsignale im Bereich von 50 bis 85 MHz den lichtabhängigen Magnetkompass von Singvögeln (der Cryptochrome in der Netzhaut verwendet) stören. Dieser Frequenzbereich liegt zwar nicht im Bereich der Mobilfunkfrequenzen, ist jedoch vorhanden und in städtischen Gebieten (im Vergleich zu Wildnisgebieten) stärker verbreitet, was zum Teil auf Stromleitungen und UKW-Rundfunk zurückzuführen ist. Die orientierungsstörenden Effekte wurden deut-

Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 03/2026, 32. Jahrgang

Online Veröffentlichung auf www.EMFdata.org

Bestellung Printausgabe:

shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport, Bestellnr. 52603

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 > EMF-Exposition stört Magnetkompass von Fledermaus

04 > Magnetischer Sinn von Brieftauben

06 > Handynutzung und Hirntumore: Epidemiologie spricht für Tumorpromotion

07 > Moduliertes HF-Feld schädigt Krebszellen ohne Wärme

08 > Pränatales 5G kann Nieren schädigen

09 > Wirkung von 5G und GSM auf Neuronen und Hautzellen

11 > WLAN und fötale Entwicklung

12 > 5G moduliert Stressproteine athermisch

13 > WLAN greift Hormonachse an

14 > WLAN-Frequenz schädigt Immunzellen

15 > Kombiwirkung von 5G und UV-B-Licht

17 > Basisstationen und begrünte Dächer

lich unterhalb der aktuellen ICNIRP-Referenzwerte festgestellt. Während eindeutig nachgewiesen wurde, dass der magnetische Kompass in der Netzhaut von Vögeln auf dem Cryptochrom CRY4 beruht, ist der magnetische Sinn von Säugetieren weniger erforscht. Einige Studien an Nagetieren und anderen Säugetieren deuten auf die Nutzung von CRY2 hin. Daher ist es wichtig zu verstehen, ob und wie wildlebende Säugetiere auf elektromagnetische Strahlung reagieren, die gemäß den ICNIRP-Richtlinien als für den Menschen unbedenklich gilt. Die Auswirkungen künstlicher elektromagnetischer Felder auf Menschen und Tiere wurden bislang vor allem bei unmittelbarer Exposition untersucht, und es bleibt zu klären, ob die Exposition auch nach dem Abklingen noch Verhaltensnachwirkungen hervorrufen könnte. Fledermäuse sind ein ideales Säugetier-Vergleichsmodell für solche Forschungen, da sie hinsichtlich der zurückgelegten Entfernungen und der ökologischen Herausforderungen, denen sie gegenüberstehen, viele Gemeinsamkeiten mit kleinen, nachtaktiven Zugvögeln aufweisen.

Studiendesign und Durchführung:

Die Experimente wurden im Laufe von vier Herbstzugzeiten an der Ostseeküste durchgeführt (2021–2024). Insgesamt wurden 165 erwachsene Fledermäuse der Art *Pipistrellus pygmaeus* an der ornithologischen Station Pape in Lettland gefangen. Die Wissenschaftler wählten für die Exposition zwei Standorte mit Blick auf die Ostsee aus, wobei die beiden Standorte etwa 100 m voneinander entfernt waren. Um zu verhindern, dass die Fledermäuse vor oder nach der experimentellen Behandlung den Himmel beobachten konnten, wurden sie sorgfältig abgedeckt und in schwarze Leinensäcke gesteckt, sofern sie sich nicht in den Expositionskäfigen befanden. In den Jahren 2021 und 2022 erfolgte die Exposition gegenüber elektromagnetischem Rauschen während der Kalibrierungsphase bei Sonnenuntergang. In der Saison 2023 wurde die EMF-Exposition nach Sonnenuntergang durchgeführt. Alle Fledermäuse konnten somit den Sonnenuntergang vom selben Standort aus beobachten. In der Saison 2024 beschränkte sich die EMF-Exposition auf die Startphase. In allen vier Saisonen wurde dieselbe Ausrüstung zur EMF-Exposition verwendet. In den ersten drei Saisonen blieb der Aufbau identisch. Die Fledermäuse wurden in einer nicht-magnetischen Box platziert, die 1 Meter von der Sendeantenne (doppelt gewickelte Magnetschleife) entfernt war. Die Sendeantenne war an einen Signalgenerator angeschlossen, der so eingestellt war, dass er elektromagnetisches Rauschen (0,01–300 MHz, Feldstärke 1 nT bzw. 0,3 V/m) aussendete. In der vierten Saison wurde der Versuchsaufbau so modifiziert, dass die Fledermäuse dem EMF-Rauschen erst nach ihrer Freilassung aus der Orientierungsvorrichtung – einer kreisförmigen Arena (umgebaute mongolische Jurte) – ausgesetzt waren. Nachdem die Fledermaus in die Jurte gesetzt worden war, setzte der Versuchsleiter das Tier von außerhalb der Jurte frei. Der Versuch ermöglichte es, die Orientierung der Tiere anhand der Spuren zu

erfassen, die sie auf einer 360°-dünnen Kreideschicht am Rand der runden Arena hinterlassen hatten, d. h. anhand der Fußabdrücke. Für alle Gruppen wurden die mittleren Orientierungen mithilfe der Oriana-Software für zirkuläre Statistik analysiert. Der Rayleigh-Test wurde angewendet, um zu beurteilen, ob die Datensätze in einer der getesteten Gruppen von einer gleichmäßigen kreisförmigen Verteilung abwichen. Um den Gesamteffekt auf die Navigation der Fledermäuse zu bewerten, wurde eine Analyse der Datenstreuung über alle Jahre der Studie hinweg durchgeführt. Hypothese: Die Autoren erwarteten, dass Fledermäuse in den Gruppen „Sonnenuntergang“ und „Abflug“ einen beeinträchtigten Orientierungssinn aufweisen und später in der Nacht in zufällige Richtungen abfliegen würden. (Die gleiche Forschergruppe hat in vorherigen Studien mit derselben Fledermausart gezeigt, dass diese ihren Magnetkompass bei Sonnenuntergang anhand der Position der Sonne kalibrieren muss, damit die Magnetfeldnavigation funktioniert.) Umgekehrt sagten sie voraus, dass sich Fledermäuse der Gruppe „nach Sonnenuntergang“ in eine ähnliche Richtung orientieren würden wie die Kontrolltiere, da sie während der kritischen Phase bei Sonnenuntergang und beim späteren Abflug in der Nacht unveränderten Zugang zu Umweltreizen hatten.

Ergebnisse:

Im ersten Jahr der Studie flogen die Fledermäuse der Kontrollgruppe in nördlicher Richtung ab; im zweiten, dritten und vierten Jahr betrug die mittlere Flugrichtung jeweils Südosten, Südwesten und Süden. In jeder der Kontrollgruppen der vier Migrationssaisonen wurden signifikante Abweichungen von einem gleichmäßigen Muster festgestellt, nicht jedoch in den jeweiligen behandelten Gruppen. In beiden Saisonen flogen Fledermäuse, die den natürlichen Sonnenuntergang unter EMF-Exposition beobachteten, anschließend in zufällige Richtungen los (gleichmäßige kreisförmige Verteilung). Entgegen der Hypothese zeigten die Fledermäuse kein orientiertes Startverhalten, nachdem sie den Sonnenuntergang unter natürlichen geomagnetischen Feldbedingungen erlebt hatten, gefolgt von EMF-Exposition und Freilassung innerhalb von 2 bis 6 Stunden nach der Exposition. Ihre Flugrichtungen waren nicht von einer Gleichverteilung zu unterscheiden, im Gegensatz zur Kontrollgruppe, deren Verteilung einer symmetrischen, südlich-ausgerichteten Verteilung ähnelte. Über alle Jahre der Studie hinweg wurde ein deutlicher Unterschied zwischen den kombinierten Kontroll- und Behandlungsgruppen beobachtet.

Schlussfolgerungen:

Die hier beschriebenen Experimente zeigen, dass die Exposition gegenüber leistungsschwachem elektromagnetischem Rauschen die Orientierung von Fledermäusen noch mehrere Stunden nach der Expositionsphase stört. Dies hat weitreichende Konsequenzen und wirft zahlreiche Fragen auf. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass ein Nachwirkungseffekt von schwachem

breitbandigem HF-Rauschen eine Rolle beim Bewegungsverhalten und bei der Navigationsentscheidung von Tieren spielen könnte. Die Tatsache, dass die Orientierung unabhängig davon gestört ist, ob die Exposition während der entscheidenden Kalibrierungsphase oder danach stattfand, deutet darauf hin, dass das Ergebnis auf einer Wechselwirkung zwischen der Wirkung auf den Magnetorezeptor und der anschließenden verhaltensbezogenen Interpretation dieser Wirkung beruht. Die genauen Mechanismen, wie eine kurze Exposition gegenüber elektromagnetischem Rauschen eine Störung des magnetischen Kompasses über mehrere Stunden hinweg hervorrufen kann, sind noch nicht geklärt. Nach einem einfachen, auf Cryptochrom basierenden Magnetkompass mit Radikalpaaren sollte dies eigentlich nicht möglich sein. Daher verdeutlicht diese Entdeckung eine Lücke zwischen den Vorhersagen der Quantenmechanik und dem Tierverhalten, zwischen Theorie und Experiment. Zumindest bei Fledermäusen sind die Auswirkungen der Exposition noch nahezu unerforscht, könnten jedoch bei einigen Phänomenen eine Rolle spielen, wie beispielsweise bei den sogenannten Invasionen von Zwergfledermäusen, die seit dem späten 20. Jahrhundert in europäischen Städten immer häufiger beobachtet werden. Als Einschränkung weisen die Autoren darauf hin, dass sie wandernde Fledermäuse in einem Flugraum ohne Orientierungshinweise getestet haben, d. h. ohne Zugang zu anderen Navigationshinweisen wie Sternen oder der natürlichen Geräuschkulisse. Daher könnte es sein, dass zusätzliche Orientierungshinweise in einer natürlichen Umgebung die durch Hochfrequenzstrahlung verursachte Desorientierung abmildern. Unabhängig vom konkreten Grund für den beobachteten Carryover-Effekt sind die potenziellen ökologischen Folgen der hier gezeigten Störung besorgniserregend, da sich die aktuellen Expositionsgrenzwerte ausschließlich auf Menschen beziehen, wodurch Wildtiere selbst innerhalb der Grenzen dieser Richtlinien gefährdet bleiben.

Anmerkungen der Redaktion:

Ein auf Cryptochrom basierender Magnetkompass ist in der Regel nur tagsüber (und bei trockenem Wetter) von Nutzen, da CRY durch das blaue oder rote Licht des Sonnenlichts (je nachdem ob es sich um Cry2 oder Cry4 handelt) aktiviert werden muss. Einige Insekten verfügen über einen Mechanismus, um diese Einschränkung zu umgehen, wobei die Details noch unbekannt sind [1]. Da sich das Erdmagnetfeld im Laufe geologischer Zeiträume oft katastrophal umgepolt hat, und da Sonneneruptionen und damit verbundene Phänomene das natürliche Erdmagnetfeld (und die Schumann-Resonanz) im Durchschnitt an einigen Tagen pro Jahr stark stören können, scheinen die meisten Tiere im Allgemeinen über zwei Arten von magnetischen Sensoren zu verfügen: solche auf Cryptochrom-Basis und solche auf Magnetit-Basis, sowie verschiedene andere (sensorische) Wege

wie sie ihren Magnetkompass kalibrieren können, z.B. am Stand der Sonne oder der Sternkonstellationen am Nachthimmel. Diese neue Studie an Fledermäusen lieferte ähnliche Ergebnisse wie frühere Studien an Zugvögeln. Sie legt nahe, dass Fledermäuse, ähnlich wie Vögel, Kryptochrom (genauer gesagt CRY2, das sowohl in Säugetieren als auch in Vögeln vorkommt, nicht aber CRY4, das nur in nicht-säugetierischen Arten wie Vögeln, Reptilien, Amphibien und Fischen zu finden ist) zur Navigation mittels eines Magnetkompasses nutzen. Mehrere Arten, darunter Schildkröten, Termiten [2] und Menschen [3, 4], besitzen sowohl einen Kryptochrom- als auch einen Magnetitkompass. Bedenklich ist, dass die Störung des Magnetsinns bei Zugvögeln, und wie hier, Fledermäusen, schon bei sehr geringen Feldstärken stattfindet – 1 nT, d. h. 0,3 V/m bzw. etwa 240 $\mu\text{W}/\text{m}^2$ für Radiowellen im UKW-Band und langwelligere Niederfrequenzen. Bedenklich ist auch, dass die Störung für mehrere Stunden nach der EMF-Exposition bestehen bleibt. Es wäre sicherlich lohnenswert, den Magnetsinn von Fledermäusen und anderen Säugetieren gezielt zu untersuchen, da der Mensch auch dieser Tiergruppe angehört. (AT)

- 1 Netusil R, Tomanová K, Chodáková L, Chvalová D, Doleel D, Ritz T et al. (2021). Cryptochrome-dependent magnetoreception in a heteropteran insect continues even after 24 h in darkness. *Journal of Experimental Biology*, 224(19), jeb243000. <https://doi.org/10.1242/jeb.243000>
- 2 Gao Y, Wen P, Cardé RT, Xu H, Huang Q (2021). In addition to cryptochrome 2, magnetic particles with olfactory co-receptor are important for magnetic orientation in termites. *Communications Biology*, 4, 1121. <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02661-6>
- 3 Chae KS, Kim SC, Kwon HJ, Kim Y (2022). Human magnetic sense is mediated by a light and magnetic field resonance-dependent mechanism. *Scientific reports*, 12, 8997. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12460-6>
- 4 Wang CX, Hilburn IA, Wu DA, Mizuhara Y, Cousté CP, Abrahams JN et al. (2019). Transduction of the geomagnetic field as evidenced from alpha-band activity in the human brain. *eNeuro*, 6(2), e0483-18.2019. <https://doi.org/10.1523/ENEURO.0483-18.2019>



Magnetischer Sinn von Brieftauben

Die Navigation von Brieftauben beruht bei bewölktem Himmel auf superparamagnetischen Makrophagen

Lisowski C, Quetting M, Klaus D, Lazarevski L, Seep L, Germer M et al. (2026): Homing pigeon navigation relies on superparamagnetic macrophages under overcast conditions. *Science*, 392(6801), 985–991. <https://doi.org/10.1126/science.ady2486>

Vögel gelten seit langem als hervorragendes Modellsystem für die Erforschung der Navigation. So können beispielsweise Singvögel, die nachts oder bei bewölktem Himmel ziehen, eine bei Sonnenuntergang festgelegte, magnetisch kalibrierte Flugrichtung über Hunderte von Kilometern hinweg beibehalten. Im Vergleich zu den Sinnessystemen anderer Wirbeltiere sind die Mechanismen der Magnetorezeption trotz jahrzehntelanger intensiver Forschung nach wie vor rätselhaft und Gegenstand heftiger Debatten. Bislang wurden drei Haupttheorien zur Magnetorezeption bei Tauben vorgeschlagen: Cryptochrom, Magnetit und ein strukturell noch nicht definierter Mechanismus, der auf spannungsgesteuerten Ionenkanälen basiert. Die Ergebnisse einer neuen deutschen Studie stützen einen vierten Mechanismus, der auf der kollektiven Wahrnehmungsfähigkeit superparamagnetischer Makrophagen beruht, die vorwiegend in der Leber vorkommen und die Wahrnehmung der geomagnetischen Richtung ermöglichen.

Studiendesign und Durchführung:

Um herauszufinden, welche Gewebe bei Tauben magnetische Eigenschaften aufweisen, untersuchten die Wissenschaftler Taubenorgane (Leber, Milz, Muskel sowie innerer und äußerer Schnabel) mittels Vibrationsmagnetometrie (VSM) – einem Messverfahren, mit dem sich die magnetischen Eigenschaften von Proben bestimmen lassen, indem die Stromstärke gemessen wird, die durch das Bewegen der Probe durch magnetisierte Spulen induziert wird. Anschließend wurde der Zelltyp, der magnetische Eigenschaften aufwies, mittels Immunhistochemie (unter Verwendung von zelltypspezifischen Antikörpern) isoliert und Eisen(III) mit Preußischblau angefärbt (da außer eisenbasierten Magnetitkristallen andere Eisenformen die einzigen stark magnetischen Elemente sind, die tatsächlich bei Tieren vorkommen – Nickel ist zwar ebenfalls magnetisch, aber mit der Biologie von Wirbeltieren nicht kompatibel). Der spezifische Typ der eisenakkumulierenden Zellen wurde isoliert, indem ihre Fähigkeit zur Bindung an magnetische Filtrationssäulen genutzt wurde, wie bereits zuvor von derselben Forschungsgruppe berichtet. Mithilfe von Gensequenzierung und Genexpressionsmustern wurden die eisenhaltigen Zellen und ihre genaue Funktion identifiziert. Ein für die in den vorangegangenen Schritten

identifizierten Lebermakrophagen spezifisches Toxin, Clodronat, wurde zunächst *in vitro* und anschließend an lebenden Tauben getestet, um zu überprüfen, ob Lebermakrophagen tatsächlich für den magnetischen Sinn der Tauben unerlässlich sind.

Vierunddreißig Tauben wurden einzeln darauf trainiert, über eine 19 km lange Strecke von West nach Ost nach Hause zu fliegen. Nach 10 erfolgreichen Trainingsflügen wurden die Vögel nach dem Zufallsprinzip entweder intravenös mit Clodronat-Liposomen ($n = 18$) oder mit Kontroll-Liposomen ($n = 16$) behandelt. Einen Tag später wurden die Tauben einzeln bei vollständig bewölktem Himmel freigelassen und mithilfe von Echtzeit-GPS-Geräten verfolgt.

Ergebnisse:

Bei der Taubenleber und -Milz wurde ein starker magnetischer Blockierungseffekt gemessen, bei Muskelgewebe und Schnabel ein schwächerer. Dies deutet auf das Vorhandensein superparamagnetischer Partikel in all diesen Organen hin. Bei Leber und Milz wurden diese Signale jedoch von wesentlich stärkeren ferrimagnetischen Signalen überlagert. Frühere Studien an anderen Tierarten (Pferd, Maus) hatten Ferritin-Nanopartikel in der Milz nachgewiesen, die überwiegend in Milzmakrophagen lokalisiert waren. In der vorliegenden Studie deuteten diese magnetischen Signale auf eine erhebliche Anreicherung von (eisenbasierten) Nanomagnetiten in der Taubenleber sowie auf eine deutlich geringere Anreicherung in der Milz hin. Die Preußischblau-Färbung überlappte sich mit der MHC-II-Färbung, die spezifisch für Immunzellen wie Makrophagen, dendritische Zellen und B-Lymphozyten ist. Nach der Isolierung der magnetischen Zellen mit einer (magnetisierten) Filtrationssäule konnten die Zellen mittels Gensequenzierung als Makrophagen identifiziert werden. Zudem wurde eine hohe Expression von Genen festgestellt, die mit dem Eisenstoffwechsel in Zusammenhang stehen; eines davon kodiert für einen Transkriptionsfaktor, der für die Entwicklung von Makrophagen in der roten Pulpa der Milz von Säugetieren essenziell ist. Dies deutete darauf hin, dass die sortierten MHC-II+-Zellen an der Erythrozytenclearance sowie an der Anreicherung von Eisen(III) und Ferritin beteiligt waren. Bei Tauben, denen das makrophagenspezifische Toxin Clodronat injiziert wurde, konnten bei Durchführung derselben Tests wie oben beschrieben (24 Stunden später) die zuvor gefundenen stark magnetischen Leberzellen nicht mehr nachgewiesen werden.

Zusammen mit weiteren Untersuchungen bestätigten diese Tests, dass die Taubenleber Makrophagen enthält, die Eisen anreichern, wodurch sie superparamagnetische Eigenschaften erhalten. In einem nächsten Schritt untersuchten die Autoren, wie genau Makrophagen (Navigations-)Signale an das Gehirn weiterleiten könnten. Mithilfe verschiedener Färbemethoden und mikroskopischer Techniken stellten sie fest, dass das Taubenhirn direkt mit peripheren Nervenfasern in der Leber verbunden ist. Innerhalb der Leber befanden sich Makrophagen häufig

in unmittelbarer Nähe ($\leq 2 \mu\text{m}$) zu Nervenfasern, was eine parakrine Signalübertragung oder direkten Zell-Zell-Kontakt ermöglichte.

Alle mit der Kontrollsubstanz behandelten Tauben fanden innerhalb von 70 Minuten den Heimweg, während keiner der mit Clodronat behandelten Vögel am selben Tag zurückkehrte, bei anhaltend bewölktem Himmel, sondern stattdessen eine zufällige räumliche Orientierung zeigte. Wichtig ist, dass Tauben mit Makrophagenmangel den Heimweg normal fanden, sobald sich die Wolkendecke auflöste und die Sonne sichtbar wurde.

Schlussfolgerungen:

Zusammengefasst deuten diese Ergebnisse darauf hin, dass Tauben die magnetische Richtung unabhängig von einem vermeintlichen visuellen (durch Cryptochrom vermittelten) Magnetsinnsystem wahrnehmen können und dass Makrophagen erforderlich sind, um die magnetische Richtung unter Bedingungen zu finden, unter denen Sonnen- und Orientierungspunkte nicht verfügbar sind. Die Autoren vermuten, dass Lebermakrophagen Veränderungen im Erdmagnetfeld wahrnehmen und diese Informationen über den Vagusnerv an das Gehirn weiterleiten. Die Studienautoren gehen davon aus, dass die magnetische Wahrnehmung ein Signal auf Ebene der Zellpopulation erfordert und nicht die Erkennung auf Einzelzellniveau, um die Schwelle für die neuronale Aktivierung zu erreichen. Lebermakrophagen sind für diese Rolle gut gerüstet, da sie während der Erythrozytenclearance Eisen(III) anreichern und eng mit autonomen Nerven verbunden sind.

Es bleibt unklar, ob Makrophagen magnetische Informationen mechanisch oder mithilfe eines löslichen Mediators bzw. Hormons weiterleiten. Der parakrine Weg ist für Makrophagen jedoch bereits bekannt, was andere Arten von Informationen betrifft, die sie an das Gehirn weiterleiten. Eine Stärke dieses neuen Modells besteht darin, dass es möglicherweise auch die Magnetorezeption bei Tieren erklären kann, denen funktionelle Cryptochrome fehlen oder die sich in Umgebungen mit wenig bis gar keinem Licht aufhalten, darunter Fledermäuse, blinde Maulwürfe und Haie.

Anmerkungen der Redaktion:

Diese neue Studie ist erfrischend, da sie in die gesamte wissenschaftliche „Trickkiste“ greift, und eine völlig neuartige, unerwartete Hypothese aufstellt und auch größtenteils experimentell beweisen kann. Das einzige Detail, was noch zu belegen ist, ist wie genau die Leber-Makrophagen die Information über die magnetische Orientierung an das Gehirn weiterleiten (mechanisch oder hormonell) bzw. wie diese Information im Gehirn abgeleitet wird. Da nun neben (retinalem) Cryptochrom und Magnetit (zumeist im Gehirn) eine weitere Art von Magnetkompass entdeckt wurde, bleibt auch zu sehen in welchen anderen Arten auch superparamagnetische Makrophagen (in der Leber, oder Milz) den Magnetsinn vermitteln. Auch sollten

weitere Experimente klären, ob dies vielleicht die tatsächliche Funktion des Magnetsinns bei manchen Arten darstellt, wo bislang angenommen wurde, dass es sich um einen Cryptochrom oder Magnetit-abhängigen Magnetsinn handelt. Zudem auch die Frage, welche Arten multiple Mechanismen der Magnetfeldsensibilität besitzen (z.B. scheinen einige Greifvogel- und Singvogelarten auch retinale Cryptochrome zu verwenden – ist die Brieftaube eine Ausnahme oder ist dies die Regel?), und auch genau welche Parameter von externen EMF diesen Magnetsinn stören können. (AT)

Handynutzung und Hirntumore – Epidemiologie spricht für Tumorpromotion

Interpretation epidemiologischer Studien zum Zusammenhang zwischen Mobiltelefon-Nutzung und Krebs

Kundi M, Hutter H-P (2026). Interpretation of epidemiological studies on the relationship between mobile phone use and cancer. *Epidemiologia*, 7(3), 86. <https://doi.org/10.3390/epidemiologia7030086>

Die Latenz maligner Hirntumore liegt im Mittel bei über 20 Jahren. Da die breite Handynutzung erst Mitte der 1990er-Jahre einsetzte, hatten praktisch alle in Fall-Kontroll-Studien erfassten Erkrankten bereits einen verdeckt wachsenden Tumor, als sie mit der Nutzung begannen. Eine tumorinitiierende Wirkung ist damit unwahrscheinlich. Die Autoren verfolgen deshalb die Hypothese, dass Mobilfunk das Wachstum bereits vorhandener Tumore beschleunigt und damit eine Diagnose früher erfolgt. Theoretisch sind drei verschiedene Wirkweisen auf einen bereits existierenden Tumor möglich: 1) Veränderung des Tumors hin zu einem aggressiveren Typ; 2) erneutes Wachstum eines regressiven Tumors; 3) schnelleres Wachstum des Tumors. Zentrales Element der Arbeit ist die Alters-Inzidenz-Funktion. Die Alters-Inzidenz-Funktion gibt für jedes Lebensalter an, wie viele Neuerkrankungen pro 100.000 auftreten. Beschleunigt ein Agens das Tumorwachstum, wird die gesamte Kurve auf der Altersachse nach links, zu jüngerem Alter hin, verschoben. Bei Erwachsenen steigt diese Kurve mit dem Alter. Was ohne Mobilfunknutzung erst mit 55 Jahren diagnostiziert würde, tritt bei Nutzern vielleicht bereits mit 52 Jahren auf. Im Kindes- und Jugendalter fällt die Kurve hingegen, d. h. mit steigendem Alter sinkt die Krebsinzidenz. Was ohne Nutzung erst mit 16 auffiele, wird mit 15 erfasst, sodass bei festem Vergleichsalter weniger Fälle registriert werden als bei Nichtnutzern (willkürliche Zahlenbeispiele, Anm. d. Red.).

Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren modellieren die Alters-Inzidenz-Funktion aus altersabhängiger Entartungswahrscheinlichkeit, Weibull-verteilter Latenz und Überlebenswahrscheinlichkeit (SEER-Daten 1992-2000) und prüfen drei Datensätze: eine Meta-Analyse von vier Fall-Kontroll-Studien bei Erwachsenen, die MOBI-Kids-Studie bei 10- bis 24-Jährigen und die „Million Women Study“ bei perimenopausalen Frauen. Das Ausmaß der Verschiebung wird als Anteil der Nutzungsdauer angegeben (32 % bedeuten bei 10 Jahren Nutzung 3,2 Jahre Verschiebung).

Ergebnisse:

Für Erwachsene reproduziert eine Verschiebung um 32 % das zusammengefasste (gepoolte) Chancenverhältnis (Odds Ratio,

OR) von 1,22. Bei MOBI-Kids ergibt eine Verschiebung von 20 % die überwiegend unter 1 liegenden Werte samt des signifikant erniedrigten Wertes in der mittleren Altersgruppe (15–19 Jahre). Für die „Million Women Study“, deren Kurve zunächst steigt und dann abfällt, liefert die 32-%-Verschiebung eine Hazard-Ratio von 0,98. Der publizierte Wert für Gliome lag bei 0,89.

Schlussfolgerungen:

Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass die Standarddeutung: $RR > 1$ bedeutet Risiko; $RR < 1$ bedeutet kein Risiko versagt, sobald ein Agens erst nach Beginn der Tumorentwicklung einwirkt. Alle drei Datensätze seien mit einer gesteigerten Tumorprogression vereinbar. Auch der häufig vorgebrachte Einwand, der starke Anstieg der Nutzerzahlen hätte einen sichtbaren Inzidenzanstieg nach sich ziehen müssen, greife nicht. Ein solcher Anstieg bliebe nach diesem Modell innerhalb der jährlichen Schwankungen der Inzidenz. Für den Strahlenschutz ziehen die Autoren konkrete Konsequenzen. Da eine tumorprogressive Wirkung nur so lange besteht, wie das vulnerable Gewebe dem Mobilfunk ausgesetzt ist, müssten sich Nutzungsempfehlungen gezielt auf die Verringerung von Dauer und Intensität der Belastung dieser Gewebe richten. Benannt werden Knochenmark, Hirnhäute und Hirngewebe. Daraus folgt eine dosimetrische Kritik, der SAR sei nur über die vulnerablen Gewebe von Relevanz, nicht jedoch anhängende Gewebetypen, über die der SAR derzeit gemittelt würde. Die Forschung solle sich ihrer Ansicht nach mehr auf zelluläres Wachstum und intrazelluläre Signalwege und weniger auf Genotoxizität richten.

Anmerkungen der Redaktion:

Die Kernaussage der Publikation bietet gewaltige Implikationen für die Interpretation epidemiologischer Studien. Wirkt Mobilfunk auf einen bereits bestehenden Tumor, hängt das Vorzeichen des Risikomaßes allein von der Steigung der Alters-Inzidenz-Funktion ab. D. h. steigt die Alters-Inzidenz-Funktion, wie bei den Erwachsenen zwischen 20 und 70 Jahren, spricht ein erhöhtes Chancenverhältnis für eine Tumorpromotion. Sinkt die Alters-Inzidenz-Funktion, wie im Falle der Jugendlichen zwischen 15 und 19, spricht ein vermindertes Chancenverhältnis für eine Tumorpromotion. Damit wird dem Argument, fehlende Inzidenztrends belegten Unbedenklichkeit, die Grundlage entzogen. Gleichzeitig wird die Forderung gestützt, dass die Befeldungsparameter, insbesondere der SAR-Wert, gewebespezifisch zu erfolgen habe und nicht über Nachbargewebe hinweg gemittelt werden dürfe. Die verbreitete Annahme, dass krebsauslösende Agenzien für die öffentliche Gesundheit bedeutsamer sind als krebsfördernde ist ein Trugschluss. Dies liegt daran, dass unentdeckt wachsende Krebsvorstufen ungleich häufiger vorkommen, als diagnostizierte Tumoren, sodass bereits eine geringe Verschiebung zugunsten einer malignen Entwicklung äußerst starke Auswirkungen auf Krankheitszahlen hat. (RH)



Moduliertes HF-Feld schädigt Krebszellen ohne Wärme

Nicht-temperaturbedingte Antitumor-Effekte amplitudenmodulierter Hochfrequenz: molekulare und funktionelle Synergien mit der Strahlentherapie

Veltsista PD, Walther W, Torke S, Ivanov A, Dieper A, Beule D et al. (2026). Non-temperature-induced anti-tumor effects of amplitude-modulated radiofrequency: Molecular and functional synergies with radiotherapy. *Cancers*, 18(10), 1613. <https://doi.org/10.3390/cancers18101613>

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) werden in der Onkologie als hyperthermische Methode eingesetzt, deren Wirkung auf eine Erwärmung des Gewebes jenseits der 41 °C beruht. Zunehmend rücken nicht-thermische Feldwirkungen in den Fokus, deren Wirkweise wenig charakterisiert sind. Ob eine Amplitudenmodulation solche Effekte in der Onkologie verstärkt und ob sie sich mit einer Strahlentherapie (ST) kombinieren lässt, ist Gegenstand der vorliegenden Studie. Die Autoren untersuchen amplitudenmodulierte Hochfrequenz (AMHF) im Vergleich zu unmodulierter HF jeweils allein und in Kombination mit ST unter stringenter Temperaturkontrolle in-vitro.

Studiendesign und Durchführung:

Jeweils zwei kolorektale (HT29, SW620) und zwei Glioblastom-Zelllinien (U138, U343) wurden mit einem Oncotherm-System (13,56 MHz; AMHF als bandbegrenztes 1/f-Rauschen, Modulationsindex 50 %) befeldet. Die Befeldung erfolgte mit einem SAR-Wert von 200-240 W/kg isotherm bei 42 °C über 65 min, temperaturgeregelt per Wasserdurchfluss und fortlaufend überwacht. Jede befeldete Gruppe wurde mit einer isothermen Wasserbad-Kontrolle (37, 42, 44 °C) gepaart, sodass ein Vergleich mit der 42-°C-Kontrolle thermische Wirkungen ausschließt. Bei der Co-Exposition mit ionisierender Strahlung (Strahlentherapie) wurden die Zellen unmittelbar vor der Befeldung mit 8 Gy γ -Strahlung bestrahlt. Proliferation, Apoptose (Annexin V) und Nekrose (YOYO-3) wurden über 96 h per Lebenszell-Bildgebung erfasst. Bei den SW620- und U138-Zelllinien erfolgte außerdem eine Transkriptom-Analyse mittels RNA-Sequenzierung.

Ergebnisse:

Die Zytotoxizität der Expositions-Kombinationen war zelllinienabhängig. Bei der HT29-Zelllinie war die Kombination aus ST und AMHF am effektivsten darin die Tumorzellen zu bekämpfen. Die Zellproliferation sank, im Vergleich zur 42 °C-Kontrolle, statistisch signifikant, während Apoptose und Nekrose signifikant zunahm, im Falle der Apoptose sogar stärker, als die supra-thermische 44 °C-Kontrollgruppe. Während AMHF und HF+ST keine statistisch signifikante Wirkung auf die Proliferation ausübten, steigerte HF alleine diese sogar und wirkte damit anti-

therapeutisch. Im Falle der SW620-Zelllinie wurde die Nekrose in allen vier Behandlungsszenarien statistisch signifikant über das Niveau der suprathermischen-Kontrolle gesteigert. Die Zellproliferation sank lediglich unter der HF+ST-Kombination. Im Falle der U138-Zelllinie könnten lediglich AMHF und HF+ST alle drei Zytotoxizitätsparameter (Proliferation, Apoptose, Nekrose) zugunsten einer Tumorregression beeinflussen. Weder HF alleine noch AMHF+ST wirkten statistisch signifikant auf die Proliferation. Bei der U343-Zelllinie war die AMHF-Monotherapie am wirksamsten, alle drei Parameter bestätigten Zytotoxizität. Alle anderen Kombinationen waren gar nicht oder deutlich weniger wirksam. Auf transkriptomischer Ebene (lediglich in SW620 und U138 untersucht) war eine noch deutlichere Zelllinienabhängigkeit zu beobachten. In SW620 löste AMHF die stärkste transkriptomische Antwort aus, mit Maximum unmittelbar nach der Exposition und Abklingen nach 24 h. HF und HF+ST wirkten nur mäßig und AMHF+ST war dazwischen verortet. Gegenüber der Hyperthermie-Referenz schaltete AMRF Genexpressionen an, die Wärme alleine nicht auslöste: Metall-Detoxifikation, mitochondriale Atmung, oxidative Phosphorylierung sowie Aminosäuremangel- und eIF2-Stressantwort. U138 hingegen zeigte kaum Veränderungen der Genexpression, obwohl starke phänotypische Zelltodantworten vorlagen.

Schlussfolgerungen:

AMHF und AMHF+ST wirken nach Auffassung der Autoren biologisch, nicht-thermisch zytotoxisch auf die Tumorzelllinien. Als Mechanismus favorisieren sie eine feldbedingte Gleichrichtung an Ionenkanälen. Das hochfrequente Feld werde an den Kanälen gleichgerichtet und erzeuge eine anhaltende Gleichspannung über die Membran, die Ionenflüsse und insbesondere Kalzium-Influx antreibe und so Apoptose und Nekrose auch ohne Transkriptionsänderungen auslösen könne. Da Glioblastomzellen veränderte „Onkokanäle“ (Kir4.1, KCa3.1, TRPV4) besitzen, könnte dieser Effekt in U138 verstärkt sein und die Divergenz zwischen Phänotyp und Transkriptom erklären.

Anmerkungen der Redaktion:

Das temperaturgleiche Wasserbad-Design trennt HF- und Wärmewirkung sachgerecht. Dass AMRF allein eine stärkere Nekrose induziert als die supra-thermische Kontrolle ist ein starkes Argument gegen eine thermische Wirkweise. Die Autoren führen ihren Ionenkanal-Mechanismus als falsifizierbare Hypothese und nicht als Befund aus. Kritisch kann fehlende Verblindung in der Auswertung und der vom Gerätehersteller gestellte Versuchsaufbau gesehen werden. Für den Strahlenschutz ist die Arbeit mit Vorsicht zu betrachten. Der wirksame SAR von 200 – 240 W/kg liegt um Größenordnungen über jeder Alltagsbelastung durch WLAN oder Mobilfunk. Ein zytotoxischer Effekt bei diesen Intensitäten sagt nichts über die subtile Wirkung alltäglicher Felder aus. Relevant ist aber der grundsätzliche Nachweis, dass nicht-thermische HF-Wirkungen existieren. (RH)



Pränatales 5G kann Nieren schädigen

Pränatale 3,5-GHz-Hochfrequenzexposition induziert renale histologische Veränderungen und DNA-Schäden bei sechs Monate alten Ratten

Gelenli Dolanbay E, Canturk Tan F, Bektas H, Koc S, Varol S, Kilic O et al. (2026). Prenatal 3.5 GHz radiofrequency exposure induces renal histological changes and DNA damage in 6-month-old rats. *Histochemistry and Cell Biology*, 164, 56. <https://doi.org/10.1007/s00418-026-02504-7>

Der überwiegende Teil der tierexperimentellen Studien zu den Auswirkungen von Mobilfunk betrifft 3G, 4G und WLAN (900-, 1800- und 2450 MHz). Für das mit 5G breit ausgerollte 3,5-GHz-Band existieren wenig entsprechende Daten. Da sich das in der Entwicklung befindliche Nierengewebe als besonders empfindlich gegenüber Umweltnoxen erwiesen hat, untersucht die vorliegende Studie, ob eine ausschließlich pränatale Befeldung Auswirkungen auf das Nierengewebe der Nachkommen im Erwachsenenalter besitzt.

Studiendesign und Durchführung:

24 trächtige Wistar-Ratten wurden auf drei Gruppen aufgeteilt (n = 8): Scheinbefeldung, Befeldung in den letzten 2 Trächtigkeitswochen (D2T), Befeldung während der gesamten Trächtigkeit (D3T), jeweils 2 h täglich mit 3,5 GHz. Die Feldstärke im Käfig lag zwischen 24 und 28 V/m, der daraus resultierende SAR-Wert im Uterus betrug je nach Mittelung 0,066 W/kg bzw. 0,038 W/kg. Je ein zufällig gewählter männlicher Nachkomme pro Wurf wurde im Alter von 6 Monaten (Erwachsenenalter) untersucht. Bewertet wurde die Nierenhistologie (H&E), die Autophagie-Marker Beclin-1 und LC3 (Autophagie = Selbstverdau beschädigter Zellbestandteile) sowie DNA-Doppelstrangbrüche (Comet-Assay). Die Auswertung erfolgte verblindet.

Ergebnisse:

Im Nierengewebe zeigten sich im Vergleich zur scheinbefeldeten Kontrollgruppe signifikante pathologische Veränderungen, die bei der D3T-Gruppe stärker ausgeprägt waren als in der D2T-Gruppe. Vier der fünf untersuchten Histologieparameter waren auffällig: die Nierenkörperchen waren verkleinert (glomuläre Atrophie), in den Nierenkanälchen traten vermehrt Hohlräume auf (Vakuolisierung), die Kanälchen selbst waren erweitert und es fand sich vermehrt ausgefälltes Eiweißmaterial im Lumen der Nierenkanälchen (Zylinderbildung). Es lag allerdings keine statistisch signifikant veränderte Einblutung vor. Die Autophagie-Marker Beclin-1 und LC3 waren in beiden exponierten Gruppen statistisch signifikant erhöht. Der Comet-Assay wies statistisch signifikante Steigerungen der DNA-Schadens-Parameter auf.

Schlussfolgerungen:

Die Autoren werten ihre Ergebnisse als Hinweise darauf, dass die intrauterine Befeldung Strukturveränderungen in der Niere, inklusive genotoxischer Wirkung und veränderter Autophagie, bewirken könne. Von diesen in der Embryonalphase induzierten Veränderungen können sich die Versuchstiere im Laufe ihrer Entwicklung nicht erholen. Da der autophagische Umsatz jedoch nicht direkt gemessen wurde, seien die Markerbefunde jedoch mit Vorsicht zu interpretieren. Als Limitierung benennen die Autoren die Beschränkung auf männliche Nachkommen, die Verwendung eines einzigen Befeldungsprotokolls (eine Frequenz, Intensität, Dauer etc.) und das Fehlen funktioneller Analysen, einschließlich oxidativer Stressmarker. Zukünftige Arbeiten sollten diese funktionellen Analysen und verschiedene Frequenzen und Intensitäten beinhalten, um Aufschluss über Schwellenwerte (Dosis-Wirkungs-Beziehung) und grundlegende Mechanismen bieten zu können.

Anmerkungen der Redaktion:

Studiendesign und Verblindung, insbesondere das Befeldungs-Setup mit seiner geringen Feldintensität, sind positiv hervorzuheben. Die beobachteten deutlichen Effekte bei Feldstärken unterhalb des offiziellen Ganzkörpergrenzwertes von 0,08 W/kg sind für die Debatte um biologische Wirkungen und geltende Grenzwerte von erheblicher Tragweite. Die Arbeitsgruppe publizierte bereits 2025 mit derselben Tierkohorte Ergebnisse zu den Auswirkungen pränataler Befeldung auf die männliche Fruchtbarkeit [1], was die Verwendung lediglich männlicher Versuchstiere erklärt (siehe ElektromogReport 1/2026). Fragwürdig ist jedoch, wie in der histopathologischen Analyse p-Werte in der Größenordnung von 10^{-17} bei 8 Versuchstieren zustande kommen. Derartig hohe Signifikanzwerte legen nahe, dass einzelne Zellen oder Gewebeabschnitte als Referenzwerte dienten und nicht das gesamte Tier, was im Text nicht erwähnt wird. (RH)

- 1 Gelenli Dolanbay E, Mert T, Caliskan Bender G, Bektas H, Uslu U, Fernandez-Rodriguez CE et al. (2025). Male reproductive and cellular damage after prenatal 3.5 GHz radiation exposure: One-year postnatal effects. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1554(1), 140–52. <https://doi.org/10.1111/nyas.70116>



Wirkung von 5G und GSM auf Neuronen und Hautzellen

Auswirkungen einer gleichzeitigen In-vitro-Exposition gegenüber 5G-modulierten 3,5-GHz- und GSM-modulierten 1,8-GHz-Hochfrequenz-Elektromagnetfeldern auf die elektrische Aktivität neuronaler Netzwerke und den zellulären Stress in Hautfibroblasten

Hurtier A, Patrignoni L, Canovi A, Orlacchio R, Tjiou H, Gannes FP et al. (2025). Effects of simultaneous in-vitro exposure to 5G-modulated 3.5 GHz and GSM-modulated 1.8 GHz radio-frequency electromagnetic fields on neuronal network electrical activity and cellular stress in skin fibroblast cells. *Bioelectromagnetics*, 46(7), e70026. <https://doi.org/10.1002/bem.70026>

Der flächendeckende Ausbau von 5G-Mobilfunknetzen neben bestehenden GSM-Technologien hat die Notwendigkeit verstärkt, potenzielle biologische Auswirkungen einer gleichzeitigen Exposition gegenüber mehreren hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) zu untersuchen. Eine neue französische Studie untersuchte die Auswirkungen der gleichzeitigen Exposition gegenüber 5G-modulierten 3,5-GHz- und GSM-modulierten 1,8-GHz-Signalen auf die elektrische Aktivität von Neuronen, die Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) in den Mitochondrien sowie die zellulären Stressproteinreaktionen in Neuronen und Hautfibroblasten. Bei solchen Trägerfrequenzen zwischen 1 und 4 GHz, die typisch für GSM bis hin zu Low-Band-5G sind, beträgt die Eindringtiefe in biologisches Gewebe etwa 1 cm. Daher sollten die Hautzellen und das zentrale Nervensystem, insbesondere die Neuronen der Hirnrinde, im Mittelpunkt des Interesses stehen. Frühere Studien zur sequenziellen Exposition deuten darauf hin, dass die biologischen Auswirkungen einer Mehrfrequenz-Exposition möglicherweise ausgeprägter sind als die einer Einfrequenz-Exposition, und unterstreichen die Notwendigkeit, zu verstehen, wie HF-EMF bei mehreren Frequenzen zusammenwirken.

Studiendesign und Durchführung:

Primäre kortikale Neuronen und immortalisierte menschliche Hautfibroblasten wurden HF-EMF mit spezifischen Absorptionsraten (SAR) von 1 bzw. 4 W/kg für 15 Minuten bzw. 24 Stunden ausgesetzt. Die neuronale Aktivität wurde mithilfe von Multi-Elektroden-Arrays analysiert, die mitochondriale Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS) wurde mit MitoSOX Red gemessen. Die Aktivität von Stressproteinen wurde mittels Biolumineszenz-Resonanz-Energieübertragungs-Assays (BRET) untersucht, die auf die Proteine RAS, PML und HSF1 abzielten. BRET ist eine zellbasierte Technik, mit der Protein-

Protein-Wechselwirkungen und Konformationsänderungen von Proteinen in Echtzeit beobachtet werden können. HSF1 (Hitzeschockfaktor 1) ist ein stressreaktiver Transkriptionsfaktor, der als Reaktion auf Proteindenaturierung bzw. -schädigung die Expression von Hitzeschockproteinen wie HSP70 und HSP90 aktiviert. RAS-Proteine fungieren als molekulare Schalter, die die Zellproliferation und -teilung steuern. PML reguliert Apoptose, Seneszenz und antivirale Reaktionen.

Die EMF-Expositionsaufbauten basierten auf einem Zellkulturinkubator, der zu einem Expositionssystem in Form einer Hallkammer für die Exposition von Hautfibroblasten umgebaut wurde, sowie auf einer offenen transversalen elektromagnetischen Zelle (TEM-Zelle), die zur Exposition von Neuronen eingesetzt wurde. Die Signale zweier Signalgeneratoren wurden kombiniert und verstärkt und anschließend in der Hallkammer bzw. der TEM-Zelle emittiert. Das für diese Studie verwendete 3,5-GHz-Signal ist ein echtes 5G-NR-Signal und nicht nur eine reine 3,5-GHz-Sinusfrequenz (gilt auch für das GSM-Signal).

Ergebnisse:

Eine gleichzeitige Exposition bei 4 W/kg (2 W/kg pro Signal) führte zu keinen signifikanten Auswirkungen auf die Burst- und Feuerungsraten kortikaler Neuronen. Dies steht im Einklang mit früheren Ergebnissen der gleichen Forschergruppe, die zeigten, dass 5G-modulierte 3,5-GHz-Signale bei SAR-Werten von 1 und 3 W/kg die neuronalen Feuerungs- oder Burst-Raten in vitro nicht veränderten [1]. Bei deutlich höheren SAR-Werten (28 W/kg) zeigte diese frühere Studie jedoch eine deutliche Hemmung der neuronalen elektrischen Aktivität. Die zugrunde liegenden molekularen Mechanismen müssen jedoch noch aufgeklärt werden.

Die vorliegende Studie fand weder bei 1 noch bei 4 W/kg Auswirkungen auf die mitochondriale ROS-Produktion in Fibroblasten. In den BRET-Assays, wurden sowohl bei 1 als auch bei 4 W/kg geringe Auswirkungen auf die basalen Aktivierungsniveaus von RAS und PML beobachtet, ebenso wie auf die maximale Wirksamkeit von PMA und As₂O₃ bei der Aktivierung von RAS bzw. PML (bei 1 W/kg nur für RAS und sowohl bei 1 als auch bei 4 W/kg für PML).

Eine gemeinsame Exposition bei 1 und 4 W/kg führte zu einer Abnahme des RAS-Basal-BRET, die jeweils 13 % und 26 % der maximalen Wirksamkeit des spezifischen Toxins PMA auf die RAS-BRET-Sonde entspricht. In ähnlicher Weise löste die Exposition bei 1 und 4 W/kg eine geringe Erhöhung des Wertes der PML-BRET-Sonde aus, welche etwa 16 % bzw. 13 % der maximalen Wirksamkeit des spezifischen Toxins Arsentrioxid (As₂O₃) entspricht. Die maximale Wirksamkeit von PMA und As₂O₃ bei der Aktivierung von RAS bzw. PML (beides Toxine die diese Stressproteine maximal aktivieren) war jedoch leicht verringert.

Es konnten keine Auswirkungen der gemeinsamen 5G- und GSM-Exposition auf die Basalaktivität von HSF1 festgestellt werden.

Schlussfolgerungen:

Laut der Beschreibung ihrer Ergebnisse im Abstract liefert die gleichzeitige Exposition gegenüber 5G und GSM keine schlüssigen Belege für deutliche biologische Auswirkungen, und die beobachteten Abweichungen waren, sofern vorhanden, von geringer Amplitude und lagen wahrscheinlich im Bereich der experimentellen Variabilität. In ihrer Diskussion zeichnen die Autoren jedoch ein differenzierteres Bild. Sie stellen einen ausführlichen Vergleich zahlreicher ähnlicher Studien vor, darunter auch einige ihrer eigenen französischen Forschungsgruppe, und weisen darauf hin, dass viele Studien subtile Effekte festgestellt haben, die oft im Widerspruch zu denen früherer Studien stehen. Dies sehen sie als Beleg für hochkomplexe Wechselwirkungen von HF-EMF mit biologischen Systemen an, und bei den Studien, die Effekte festgestellt haben, ist bislang ungeklärt, wie diese entstehen.

Was die ROS-Produktion in den Mitochondrien betrifft, so fand die vorliegende Studie – in scharfem Kontrast zu ihren früheren Ergebnissen, bei denen allein 5G-modulierte HF-EMF bei 1 W/kg, nicht jedoch bei 4 W/kg zu einer Abnahme der mitochondrialen ROS-Spiegel in Fibroblasten führten [2] – weder bei 1 noch bei 4 W/kg Auswirkungen auf die mitochondriale ROS-Produktion in Fibroblasten. „Insgesamt könnten diese Beobachtungen darauf hindeuten, dass die Kombination aus 5G- und GSM-Signalen die Produktion mitochondrialer ROS und die Signalübertragung von Stressproteinen anders moduliert als die Exposition gegenüber einer einzelnen Frequenz. Die Heterogenität der Ergebnisse erschwert jedoch die Ableitung eindeutiger Schlussfolgerungen erheblich, da die festgestellten Effekte offenbar nicht nur von der Art des Signals (5G allein, GSM allein oder 5G + GSM) abhängen, sondern auch von der SAR, dem untersuchten Zelltyp und möglicherweise weiteren, noch nicht identifizierten Faktoren.“

Anmerkungen der Redaktion:

Es handelt sich um eine gründlich geplante und gut durchgeführte Studie, die Effekte geringer Amplitude feststellt (im Vergleich zu starken Toxinen, die die untersuchten Stressreaktionswege maximal aktivieren). Die Autoren spielen diesen Aspekt zwar etwas herunter, aber vielleicht spiegeln ihre Ergebnisse die Realität wider. Möglicherweise sind die Auswirkungen der 5G-GSM-Exposition auf isolierte Zellen nur schwach schädlich. Aber ist es klug, schwache Gifte zu ignorieren? Und warum zeigen viele In-vivo-Studien im Vergleich zu Zellkulturstudien stärkere schädliche Auswirkungen [3, 4]? Die Beschränkung auf eine reine Neuronenkultur ist ein mögliches Manko, da viele Studien mittlerweile gezeigt haben, dass Neuronen immer im Wechselspiel mit Astrozyten und anderen Gehirnzellen wie Mikroglia stehen, und isolierte Neuronen in vielen Situationen anders reagieren als eigentliches Gehirngewebe. Tri-Kulturen würden eine bessere Simulation von Gehirngewebe darstellen.

Das sehr differenzierte Bild, das die Studienautoren malen, und die Zusammenfassung vieler früherer experimenteller Ergebnisse, verdeutlichen, warum der Bereich der elektromagnetischen Felder bislang von Komplexität, Unübersichtlichkeit und unzulänglichen Kausalzusammenhängen geprägt ist. Diese Fragen werden wahrscheinlich erst geklärt werden, sobald die genauen Mechanismen, wie elektromagnetische Felder die Biologie beeinflussen, besser verstanden sind. (AT)

- 1 Patrignoni L, Hurtier A, Orlacchio R, Joushomme A, Pouletier de Gannes F, Lévêque P et al. (2024). Evaluation of mitochondrial stress following ultraviolet radiation and 5G radiofrequency field exposure in human skin cells. *Bioelectromagnetics*, 45(3), 110–29. <https://doi.org/10.1002/bem.22495>
- 2 Canovi A, Orlacchio R, Pouletier de Gannes F, Lévêque P, Arnaud-Cormos D, Lagroye I et al. (2023). In vitro exposure of neuronal networks to the 5G-3.5 GHz signal. *Frontiers in Public Health*, 11, 1231360. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1231360>
- 3 Souchelnytskyi S (2025). Human cells response to electromagnetic waves of radio and microwave frequencies. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 97(6), 5–22. <https://doi.org/10.15407/ubj97.06.005>
- 4 Weller SG, McCredden JE, Leach V, Chu C, Lam AK (2025). A scoping review and evidence map of radiofrequency field exposure and genotoxicity: assessing in vivo, in vitro, and epidemiological data. *Frontiers in Public Health*, 13, 1613353. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1613353>



WLAN und fötale Entwicklung

Eine Primärstudie zur fötalen Entwicklung und BDNF-Konzentration von Ratten unter dem Einfluss elektromagnetischer Felder

DastAmooz S, Broujeni ST, Sarahian N (2023). A primary study on rat fetal development and brain-derived neurotrophic factor levels under the control of electromagnetic fields. *Journal of Public Health in Africa*, 14(6), 2347. <https://doi.org/10.4081/jphia.2023.2347>

Der Wachstumsfaktor BDNF („brain-derived neurotrophic factor“), ein neurotropher Wachstumsfaktor, spielt eine wesentliche Rolle bei der Bildung synaptischer Verbindungen, der Reparatur von Nervenzellen, der Differenzierung und dem Auswachsen von Nervenzellen. Darüber hinaus treten Erkrankungen wie Depressionen und Adipositas aufgrund von Funktionsmutationen des BDNF-Rezeptors auf. Frühere Untersuchungen haben einen direkten Zusammenhang zwischen dem fetalen Wachstum und der Gehirngesundheit aufgezeigt. Diesen Studien zufolge moduliert BDNF die Muster der fetalen Entwicklung, insbesondere hinsichtlich des Gewichts. In der vorliegenden Studie wurden Messungen der Körpermaße und die Konzentration von BDNF bei den Nachkommen schwangerer Ratten verwendet, um festzustellen, ob sich WLAN-Exposition auf deren Wachstum auswirkten.

Studiendesign und Durchführung:

Zwanzig trächtige Albino-Wistar-Ratten wurden nach dem Zufallsprinzip in eine WLAN-Gruppe und eine Kontrollgruppe aufgeteilt; nach der Geburt wurden aus jeder Gruppe 12 männliche Föten zufällig ausgewählt. Die trächtigen Ratten wurden in getrennten, temperaturgeregelten Räumen untergebracht: in einem normalen/ungeschirmten Raum (WLAN-Gruppe), sowie in einem mit Aluminiumfolie abgeschirmten Raum (Kontrollgruppe). Ein handelsübliches 2,4-GHz-WLAN-Modem wurde auf einem Tisch in einem Abstand von einem Meter zu den Käfigen der WLAN-Gruppe aufgestellt. Die trächtigen Ratten wurden etwa 20 Tage lang (während der gesamten Trächtigkeit) täglich 6 Stunden lang WLAN ausgesetzt. Beginnend mit der Geburt, dann am 21. Tag nach der Geburt und schließlich am 56. postnatalen Tag wurden Körperlänge, Schwanzlänge und Körpergewicht gemessen. Zur Untersuchung der BDNF-Spiegel gegen Ende des Experiments wurde ein ELISA-Kit verwendet.

Ergebnisse:

Diese Studie ergab, dass das Körpergewicht von neugeborenen Ratten, die elektromagnetischen Feldern (WLAN) ausgesetzt waren, am 56. Tag nach der Geburt (~207 g) im Vergleich zur Kontrollgruppe (~230 g) um etwa 10 % geringer war; dieser

Befund war jedoch statistisch nicht signifikant. Im Gegensatz dazu war die Körperlänge der WLAN-Gruppe zum Zeitpunkt der Geburt signifikant größer als die der Kontrollgruppe: 51,0 mm gegenüber 45,6 mm. Auch die Schwanzlänge der WLAN-Gruppe (20,0 mm) zum Zeitpunkt der Geburt war signifikant größer als die der Kontrollgruppe (17,2 mm). Umgekehrt war die Schwanzlänge der Kontrollgruppe am 21. Tag nach der Geburt signifikant länger (um ca. 45 %) als die der WLAN-Gruppe: 67,3 mm gegenüber 46,3 mm; und am 56. Tag nach der Geburt 156,2 mm gegenüber 136,5 mm (14 % höher bei der Kontrolle). WLAN-behandelte Neugeborene wiesen 56 Tage nach der Geburt statistisch signifikant niedrigere BDNF-Konzentrationen ($6,8 \pm 0,2$ ng/ml) auf als die Kontrollgruppe ($7,08 \pm 0,16$ ng/ml), was jedoch nur eine Verringerung um 4 % darstellt.

Schlussfolgerungen:

Diese Studie war durch die geringe Stichprobengröße, das Fehlen von Messungen des Wachstumshormonspiegels, die kurze Expositionsdauer (6 Stunden am Tag für 20 Tage) und das Fehlen von BDNF-Messungen bei der Geburt der Neugeborenen eingeschränkt.

Anmerkungen der Redaktion:

Leptin und BDNF interagieren über komplexe Signalwege, die die Energiehomöostase, die Stimmung und die neurologische Entwicklung regulieren. Im erwachsenen Gehirn wirkt Leptin als starker Regulator der BDNF-Expression, insbesondere im Hippocampus. Bei Nagetieren kommt es zu einem postnatalen Leptinanstieg (welcher verringerte in-utero-Werte von BDNF kompensieren könnte), beim Menschen tritt dieser Anstieg jedoch nicht auf. Insgesamt bilden Leptin und BDNF eine entscheidende Fettgewebe-Gehirn-Achse, wobei die Leptin-Signalübertragung bei Erwachsenen die BDNF-Expression moduliert, während bei Föten die mütterlichen Spiegel beider Faktoren zur Programmierung der Stoffwechsel- und Nervenentwicklung beitragen. Die hier vorgestellten Befunde nach WLAN-Exposition (bei geringer nicht-thermischer Leistungsdichte von geschätzt 10 mW/m^2) sind interessant, zumindest die Unterschiede in der Körperlänge deuten auf eine relevante und problematische Beeinträchtigung des normalen Wachstumsprozesses hin. Inwiefern dies jedoch am BDNF-Spiegel liegt bleibt unklar, da dieser nur am 56. Tag gemessen wurde (da dafür die Ratten geopfert wurden), und zu diesem Zeitpunkt nur eine 4%-Verminderung im BDNF-Spiegel der WLAN-Gruppe zu messen war, welche wahrscheinlich irrelevant ist. Die Studie sollte wiederholt/repliziert werden mit einer höheren Anzahl an Versuchstieren, mehr Hormonmessungen (z.B. Leptin und Wachstumshormon), und es sollte zusätzlich das BDNF bei der Geburt und am 21. Tag ermittelt werden. Auch sollte das BDNF der trächtigen Weibchen gemessen werden, da in utero das BDNF im Blut der Mutter über die Plazenta die sich entwickelnden Föten erreicht, und somit bislang nicht klar ist, auf welcher Ebene (Mutter oder Föten) WLAN den BDNF-Level beeinflussen kann. (AT)



5G moduliert Stressproteine athermisch

Hitzeschockprotein-Expression im Rattenhoden nach 3,5-GHz- und 24-GHz-Befeldung

Syed Taha SMA, Jaffar FHF, Hairulazam A, Vijay S, Jamaludin N, Zulkefli AF et al. (2026). Testicular heat-shock protein expression in rats following 3.5 GHz and 24 GHz RF-EMF exposure. *International Journal of Molecular Sciences*, 27(8), 3452. <https://doi.org/10.3390/ijms27083452>

Die fünfte Mobilfunkgeneration (5G) nutzt Mittelband-Frequenzen (3,5 GHz) und zukünftig auch Millimeter-Wellen mit Frequenzen zwischen 24 und 28 GHz. Da das Hodengewebe besonders anfällig für Umwelt-Stressoren gilt und frühere experimentelle sowie epidemiologische Studien auf schädigende Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern hinwiesen, untersucht die vorliegende Studie die Auswirkung von 5G-Mittelband- und Millimeterwellen-Frequenzen auf molekulare Stressantworten in den Hoden von Ratten. (Im Fokus liegen hierbei Hitzeschockproteine, die ihres Namens zum Trotz durch ein breites Spektrum zellulären Stresses hochreguliert werden, beispielsweise durch oxidativen Stress oder Toxine. Eine Hauptaufgabe dieser Chaperone ist es anderen Proteinen bei der Faltung zu helfen und dadurch ihre korrekte 3D-Struktur einzunehmen, Anm. d. Red.).

Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt wurden 36 männliche Sprague-Dawley-Ratten über einen Zeitraum von 60 Tagen 1 h täglich oder 7 h täglich mit 3,5 GHz, 24 GHz oder scheinbefeldet ($n = 6$). Das 3,5-GHz-Signal stammt von einem Signalgenerator ohne Frequenzmodulierung. Das 24-GHz-Signal hingegen wurde durch einen kommerziellen Radar-Sensor zur Anwesenheitserkennung generiert. Hierbei liegt zwar eine Frequenzmodulierung vor, allerdings keine mobilfunktypische (weder zeitlich gepulst noch gebündelt). Die Quellen wurden 20 cm über den Käfigen angebracht. Die spezifische Absorptionsrate wurde mit einem Ratten-Voxelmodell simuliert und mittels Potenzgesetz auf 20 cm Abstand extrapoliert. Das Hodengewebe wurde histologisch und immunohistochemisch (Hitzeschockproteine HSP27, HSP70 und HSP90) untersucht. Die statistische Auswertung erfolgte je nach Befeldungsdauer mittels einfaktorieller ANOVA und Tukey-Test.

Ergebnisse:

Der Gesamt-SAR lag bei 20 cm Abstand im Falle von 3,5 GHz bei 0,06 W/kg, bei 24 GHz lediglich bei $1,80 \times 10^{-7}$ W/kg. Histologisch blieb die Struktur der Samenkanälchen weitestgehend erhalten, lediglich vereinzelte milde Veränderungen ohne durchgängige oder fortgeschrittene Schädigungen des Gewebes traten auf. Die Expression der Hitzeschockproteine war hingegen frequenz- und dauerspezifisch statistisch signifikant verändert.

Bei der 1 h täglichen Befeldung wurde eine signifikante Verminderung der HSP70-Bildung beider Frequenzen im Vergleich zur scheinbefeldeten Kontrolle beobachtet. Diese Wirkung war bei der 7-stündigen Befeldung nicht vorhanden. Diese induzierte jedoch selektiv bei 3,5 GHz eine signifikante Erhöhung von HSP90. HSP27 hingegen war nach 7-stündiger Befeldung selektiv bei 24 GHz signifikant gesteigert.

Schlussfolgerungen:

Die Autoren folgern, dass niederschwellige 5G-relevante Felder der Stresssignalwege in den Hoden verändern können, während das Gewebe strukturell intakt bleibt. Die HSP70-Antwort (Herunterregulierung nach 1 h pro Tag Befeldung, kein Unterschied nach 7 h pro Tag) sei eine atypische Stressantwort. Das Fehlen eines anhaltenden Unterschieds deute darauf hin, dass sich die Initialantwort normalisiert habe oder unter der Schwelle einer dauerhaften Induktion geblieben sei. Die nach 7 h pro Tag bei 3,5 GHz induzierte Steigerung von HSP90 spreche für eine proteostatische Anpassung an niederschwellige Stressreize und weniger für direkte Zellschädigungen, konsistent mit dem Mangel an histologischen Befunden. Da die Millimeterwellen hauptsächlich oberflächlich absorbiert würden und nicht in tiefere Gewebeschichten vordringen könnten, weise die nach 7 h pro Tag bei 24 GHz signifikant erhöhte HSP27-Bildung auf eine distinkte Stressadaptation hin.

Anmerkungen der Redaktion:

Da die molekularen Wechselwirkungen der 5G-Frequenz-Befeldung bei Intensitäten unterhalb der Grenzwerte für die Dauerexposition der Allgemeinbevölkerung liegen (SAR 0,08 W/kg), wird das Schutzkonzept in Frage gestellt. Reproduktionsbiologisch besonders relevant ist, dass HSP70 und HSP90 eng an der regulären Spermatogenese und nicht nur an einer Stressantwort beteiligt sind. Frühere Studien weisen darauf hin, dass Hochfrequenz die Expression von Hitzeschockproteinen auch in anderen Geweben verändern können [1], siehe ElektrosmogReport 03/2021. Möglicherweise unterschätzt die vorliegende Publikation sogar die biologische Wirksamkeit des 5G-Signals, da dieses unmoduliert (3,5 GHz) bzw. radarmoduliert (24 GHz) vorliegt. Jüngst publizierte Studien geben Anlass zur Vermutung, dass die biologische Wirksamkeit von Mobilfunk durch dessen Modulierungsmuster gesteigert wird [2], siehe ElektrosmogReport 02/2026. (RH)

- 1 Othman H, López-Furelos A, Leiro-Vidal JM, Ammari M, Sakly M, Abdelmelek H et al. (2021). Exposure to 2.45 GHz radiation triggers changes in HSP-70, glucocorticoid receptors and GFAP biomarkers in rat brain. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(10), 5103. <https://www.mdpi.com/1422-0067/22/10/5103>
- 2 Panagopoulos DJ, Litovsky R, Chamberlin K (2026). Recording the extremely low frequency pulsations of wireless communication electromagnetic fields. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 1-10. <https://doi.org/10.1080/15368378.2026.2654072>



WLAN greift Hormonachse an

Die Auswirkungen elektromagnetischer Hochfrequenzstrahlung bei 2,45 GHz auf Komponenten der Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse bei männlichen Ratten

Vijay S, Ibrahim SF, Osman K, Zulkefli AF, Mat Ros MF, Jamaludin N et al. (2026). The effect of 2.45 GHz radiofrequency electromagnetic radiation on components of the Hypothalamic-Pituitary-Gonadal Axis in male rats. *International Journal of Molecular Sciences*, 27(10), 4582. <https://doi.org/10.3390/ijms27104582>

Gehirn und Hoden sind über die Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse (HPG-Achse) miteinander verschaltet. Beide Organe gelten als anfällig gegenüber Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF). Die Verschaltung zwischen Gehirn und Hoden beginnt im Hypothalamus, wo das Gonadotropin-freisetzende-Hormon (GnRH) ausgeschüttet wird. Dies wird seinerseits durch das Neuropeptid Kisspeptin (Kp) gesteuert. GnRH veranlasst die Hypophyse zur Ausschüttung des luteinisierenden Hormons (LH) und des Follikel-stimulierenden Hormons (FSH), welche in den Hoden die Testosteronbildung und Spermatogenese steuern. Testosteron wiederum übt eine negative Rückkopplung auf Hypothalamus und Hypophyse aus, was die Freisetzung von Kp, GnRH, FSH und LH vermindert und so physiologische Testosteronspiegel und Spermatogenese aufrechterhält. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkung von 2,45-GHz-WLAN auf die Hormonkaskade, einschließlich des übergeordneten Kisspeptins in männlichen Ratten.

Studiendesign und Durchführung:

18 adulte männliche Sprague-Dawley-Ratten wurden in drei Gruppen randomisiert (n = 6): scheinbefeldete Kontrolle (inaktiver Router), 4 h tägliche Befeldung und 24 h tägliche Befeldung. Als Strahlungsquelle diente ein handelsüblicher WLAN-Router, dessen 2,45-GHz-Antennen 60 Tage lang befeldeten. Das 5-GHz-Band blieb abgeschaltet. Die Käfige wurden im Abstand von 20 cm zum Router positioniert, der über ein Ping-Protokoll (zehn Pings pro Minute) aktiv gehalten wurde. Die maximale Leistungsdichte des Routers wurde vom Hersteller mit 0,141 W/m² angegeben, der Ganzkörper-SAR mit 0,41 W/kg beziffert. Nach dem Ende der Befeldung wurde die Bildung von Kisspeptin auf mRNA-Ebene im Hypothalamus untersucht. Gleichzeitig erfolgte eine Bestimmung des Kisspeptin-Spiegels im Serum (Protein-ebene). Außerdem wurde die Konzentration von GnRH, FSH, LH und Testosteron im Serum sowie von Testosteron im Hodengewebe mittels ELISA quantifiziert. Die statistische Auswertung erfolgte über einfaktorielle ANOVA mit Tukey-Post-hoc-Test.

Ergebnisse:

Die GnRH-Konzentration im Serum war bei beiden befeldeten Gruppen statistisch signifikant erhöht. Die Testosteronkonzentration im Hodengewebe war bei der 24-h-Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant vermindert. Gleichzeitig wurde eine statistisch signifikante Verminderung des Serum-Testosteronspiegels der 24-h-Gruppe im Vergleich zur 4-h-Gruppe, nicht jedoch im Vergleich zur Kontrollgruppe beobachtet. Alle anderen untersuchten Parameter blieben ohne statistisch signifikanten Befund.

Schlussfolgerungen:

Die chronische Befeldung mit 2,45-GHz-WLAN unterhalb geltender Grenzwerte (kommerzieller WLAN-Router) kann selektiv in Komponenten der HPG-Achse eingreifen. Der GnRH-Anstieg bei unverändertem Kisspeptin weist nach Ansicht der Autoren auf eine Kisspeptin-unabhängigen, nicht-thermische Wirkung hin. Als möglicher Mechanismus wird oxidativer Stress im Hypothalamus diskutiert. Das Ausbleiben einer LH- und FSH-Antwort auf den GnRH-Anstieg erklären die Autoren mit einer Desensibilisierung der GnRH-Rezeptoren, da eine stoßweise Ausschüttung von GnRH essentiell ist für dessen physiologische Wirkung. Die Divergenz zwischen vermindertem testikulärem und erhöhtem Serum-Testosteron deutet nicht auf eine gesteigerte Synthese, sondern auf einen verzögerten Testosteron-Abbau in der Niere oder einen beeinträchtigten Hormontransport hin.

Anmerkungen der Redaktion:

Das Resultat, dass sub-thermische HF-EMF-Befeldung die HPG-Achse schädigen kann, ist keine neue Erkenntnis. Die vorliegende Studie reproduziert dahingehend existierende Publikationen [1–3]. Aus Sicht der Redaktion ist die Hypothese, dass möglicherweise der Testosteron-Abbau durch das WLAN beeinträchtigt wird, besonders interessant. Testosteron wird durch das Cytochrom P450 metabolisiert. Hochfrequenz ist mit mitochondrialer Dysfunktion und erhöhtem oxidativem Stress assoziiert. Kürzlich wurde Cytochrom b5 als essentieller Mediator biologischer EMF-Wirkungen identifiziert [4]. Die Autoren benennen jedoch auch transparent zahlreiche Limitationen ihrer Studie: kleine Stichprobengröße, fehlende Verblindung (auch wenn standardisierte Verfahren wie die genutzten kaum Interpretationsspielraum geben) und das Fehlen relevanter biochemischer Marker (oxidative Stressmarker, enzymatische oder kinetische Parameter für Testosteron-Abbau). Die Kisspeptin-Bestimmung im Serum ist zudem methodisch wenig aussagekräftig, da das zentral gebildete Kp die Blut-Hirn-Schranke nicht überwinden kann. (RH)

- 1 Jangid P, Rai U, Ahmed S, Singh S, Singh R (2025). Non-thermal biological effects of radiofrequency electromagnetic radiation: Mechanistic insights into male reproductive vulnerability in the era of ubiquitous exposure. *Reproductive Toxicology*, 138, 109087. <https://doi.org/10.1016/j.reprotox.2025.109087>

- 2 Jaffar FHF, Osman K, Hui CK, Zulkefli AF, Ibrahim SF (2022). Long-term Wi-Fi exposure from pre-pubertal to adult age on the spermatogonia proliferation and protective effects of edible bird's nest supplementation. *Frontiers in Physiology*, 13, 828578. <https://doi.org/10.3389/fphys.2022.828578>
- 3 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>
- 4 Kim J, Hwang Y, Kim S, Kwon D, Park J, Cho B, et al. (2026). Electromagnetic field-inducible in vivo gene switch for remote spatiotemporal control of gene expression. *Cell*, 189(11), 3465–3480.e23. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2026.03.029>



WLAN-Frequenz schädigt Immunzellen

2,45-GHz-Hochfrequenz programmiert die Mitochondrien-Lysosomen-Kommunikation um und modulieren Überleben und Tod von Makrophagen unter LPS- und/oder SARS-CoV2-Spike-Protein Co-Exposition

Sueiro-Benavides RA, Leiro-Vidal JM, Rodríguez-González JA, Ares-Pena FJ, López-Martín E. (2026). Radiofrequency fields at 2.45 GHz reprogram mitochondria-lysosome crosstalk and modulate the survival/death of macrophages exposed to LPS and/or the SARS-CoV-2 Spike Protein. *International Journal of Molecular Sciences*, 27(9), 3813. <https://doi.org/10.3390/ijms27093813>

Makrophagen sind Schlüsselkomponenten der angeborenen Immunantwort und reagieren empfindlich auf oxidativen Stress. Ob nicht-ionisierende hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) die Immunantwort auf bakterielle oder virale Reize verändern können, ist bislang kaum untersucht. Bakteriell-Lipopolysaccharid (LPS) aktiviert über den TLR4-Rezeptor die Bildung von Stickstoffmonoxid (NO), das Mitochondrien, Lysosomen und Zellüberleben steuert. Das Covid-Spike-Protein (CSP) kann dieselben Signalwege verstärken. Da die Kommunikation zwischen Mitochondrien und Lysosomen sowohl ROS- und RNS-Signalwege als auch Abbauprozesse beinhaltet, gelten diese Organellen als empfindliche Empfänger kombinierter Hochfrequenz- und Entzündungsreize in Makrophagen. Die vorliegende Studie untersucht, wie sich eine Co-Belastung mit 2,45-GHz-Hochfrequenz und LPS/CSP auf RAW 264.7 Makrophagen auswirkt.

Studiendesign und Durchführung:

Die murine Makrophagen-Zelllinie RAW 264.7 wurde in-vitro über 6, 24 und 48 h in einer GTEM-Kammer mit unmodu-

lierten 2,45 GHz befeldet. Die Temperatur wurde konstant bei $37 \pm 0,2$ °C gehalten, sodass thermische Artefakte ausgeschlossen werden konnten. Der mittlere SAR-Wert betrug 0,174 W/kg bei einer Feldstärke von 102,8 V/m und einer Leistungsdichte von 28 W/m². Gleichzeitig wurden die Zellen mit LPS, CSP oder deren Kombination behandelt (im Folgenden als behandelte Zellen bezeichnet, im Gegensatz zu befeldeten Zellen, Anm. d. Red.). Folgende Parameter wurden analysiert: Zellvitalität (Trypanblau, Propidiumiodid); lysosomale und mitochondriale Aktivität (Fluorometrie); NO-Bildung (Griess-Reaktion) sowie Anteil apoptotischer bzw. nekrotischer Zellen. Die statistische Auswertung erfolgte über zweifaktorielle ANOVA mit Bonferroni- bzw. Holm-Sidak-Post-hoc-Test.

Ergebnisse:

Nach 6 h Befeldung wiesen alle drei Vitalitätsbestimmungen (Trypanblau-Test sowie zwei Propidiumiodid-Tests) konsistent eine befeldungsbedingte Minderung der Vitalität in den unbehandelten Kontrollen nach. (Der Propidiumiodid-Assay wurde parallel zu den lysosomalen und mitochondrialen Aktivitätsbestimmungen durchgeführt, Anm. d. Red.). Nach 24 h (Trypanblau) wurde eine Behandlungsabhängigkeit festgestellt: Die Kombination aus CSP und LPS senkte die Vitalität im Vergleich zur Vergleichsgruppe (CSP+LPS scheinbefeldet). Nach 48 h kehrte sich dies bei identischer Behandlung um, die Vitalität der befeldeten CSP+LPS-Zellen war im Vergleich zu den scheinbefeldeten CSP+LPS-Zellen signifikant erhöht, deren Vitalität brach ein. Die Befeldung wirkte zunächst schädigend, dann schützend. Die auf die Zellzahl bezogene Bildung von Stickoxid war nach 24 h in den LPS und CSP+LPS-Gruppen im Vergleich zur unbehandelten Kontrolle stark und signifikant gesteigert. Lediglich bei der LPS-Gruppe wurde eine Feldabhängigkeit beobachtet. Die befeldete Gruppe bildete signifikant mehr Stickoxid als die unbefeldete. Dieses Bild änderte sich nach 48 h. Bei allen behandelten und befeldeten Gruppen nahm die NO-Produktion signifikant ab. Die lysosomale Aktivität, welche lediglich nach 6 h erfasst wurde, stieg unter Befeldung bei allen Gruppen unabhängig von der Behandlung stark und statistisch signifikant an. Der Lysosomen-Inhibitor blockierte befeldete wie scheinbefeldete Zellen gleichermaßen, was den Befeldungseffekt als spezifisch bestätigt. Die mitochondriale Aktivität wurde nach 6 h lediglich unter LPS statistisch signifikant durch die Befeldung gesenkt. Nach 24 h nahm sie über alle Gruppen hinweg ohne Befeldungsunterschied ab. Nach 48 h schützte die Befeldung bei allen drei Behandlungen vor Apoptose statistisch signifikant (und eklatant, anhand der Balkendiagramme lässt sich mindestens eine Halbierung der apoptotischen Zellen ablesen, Anm. d. Red.). Bei der Nekrose zeigte sich nach 24 h ein ähnlicher Trend, wobei lediglich bei LPS eine statistisch schützende Wirkung der Hochfrequenz belegt wurde. Nach 48 h war der Feldeinfluss uneinheitlich, wobei ein Anstieg der nekrotischen Zellen teils auf über 60 % behandlungs- und nicht befeldungsabhängig erfolgte.

Schlussfolgerungen:

Nach Auffassung der Autoren wirkt die 2,45-GHz-Befeldung nicht als unspezifisches Toxin, sondern programmiert das Zusammenspiel von Mitochondrien, Lysosomen, NO und Zelltod (Apoptose & Nekrose) zeit- und reizabhängig um. Laut den Autoren deutet der NO-Abfall nach 48 h auf eine Erschöpfung der antioxidativen Schutzmaschinerie, die durch das Zusammenspiel von EMF und Entzündungsreiz überfordert werde, hin. Die Verschiebung der Schwellen an mitochondrialen und lysosomalen Kontrollpunkten – zunächst zugunsten der Apoptose, später der Nekrose – zeige, dass HF-EMF die Entscheidung über Leben und Tod der Immunzelllinie mitbestimmen statt die Zellen unmittelbar zu schädigen.

Anmerkungen der Redaktion:

Die Arbeit besticht durch ihr sauber kontrolliertes Expositionssystem, definierte Dosimetrie in der GTEM-Kammer und eine aktive Thermoregulation, lassen keine Einwände hinsichtlich thermischer Effekte zu. Weiterhin ist die Verwendung zweier orthogonaler Vitalitätsassays und mehrerer Funktionsmarker über teilweise drei Zeitpunkte hinweg positiv hervorzuheben. Auf den Kernbefund der Autoren – die Befeldung tötet Zellen nicht unspezifisch ab, sondern moduliert gemeinsam mit dem Entzündungsreiz die Reaktion der Zellen – weisen der Anstieg der lysosomalen Aktivität nach 6 h und die Vorzeichenumkehr der Vitalität bei der CSP+LPS-Co-Behandlung (Schädigung nach 24 h, Schutz nach 48 h) hin. Die Autoren beschreiben dies als „zeit- und reizabhängig“, ohne einen Wirkpfad anzubieten. Mit dem Befund der Stickoxid-Analyse (maximale NO-Produktion nach 24 h) reproduzieren die Wissenschaftler ihre Ergebnisse aus dem Jahr 2020 [1]. Darüber wurde im ElektrosmogReport 01/2021 berichtet. Dies deutet darauf hin, dass, wie bereits von anderen Wissenschaftlern postuliert, Hochfrequenz auf Stickoxid-Signalwege einwirken kann [2]. Überzeichnet ist hingegen der Bezug auf die mitochondriale Aktivität, bei der lediglich ein einziger signifikanter Feldeffekt dokumentiert wird. Ein weiterer Deutungsfehler betrifft die frühen Vitalitätsdaten. Der beschriebene selektive Vitalitätsverlust wird dadurch, dass alle unbehandelten Kontrollen (weder bakterieller noch viraler Stressor) ebenfalls betroffen sind, entkräftet. Es bleibt der für die Debatte um nicht-thermische Wechselwirkungen einschlägige Befund, dass 2,45-GHz-Befeldung in die zelluläre Überlebensantwort eingreifen kann. (RH)

- 1 Sueiro-Benavides RA, Leiro-Vidal JM, Salas-Sánchez AA, Rodríguez-Gonzalez JA, Ares-Pena FJ, Martín MEL (2021). Radiofrequency at 2.45GHz increases toxicity, pro-inflammatory and pre-apoptotic activity caused by black carbon in the RAW 264.7 macrophage cell line. *Science of the Total Environment*, 765, 142681. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142681>
- 2 Pall ML (2018). Wi-Fi is an important threat to human health. *Environmental Research*, 164, 405–16. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.01.035>

**Kombiwirkung von 5G und UV-B-Licht**

Untersuchung des mitochondrialen Stresses nach Bestrahlung mit ultraviolettem Licht und Exposition gegenüber 5G-Hochfrequenzfeldern in menschlichen Hautzellen

Patrignoni L, Hurtier A, Orlacchio R, Joushomme A, Poullietier de Gannes F, Lévêque P et al. (2024). Evaluation of mitochondrial stress following ultraviolet radiation and 5G radiofrequency field exposure in human skin cells. *Bioelectromagnetics*, 45(3), 110–129. <https://doi.org/10.1002/bem.22495>

Die Haut ist nicht nur das größte, sondern auch das auffälligste Organ des menschlichen Körpers. Ihre Hauptfunktion besteht darin, eine Schutzbarriere gegen äußere Reize zu bilden. Neben hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) wirken bekanntermaßen auch andere physikalische Umwelteinflüsse, nämlich ultraviolette Strahlung (UV-R), auf die Haut ein. Geringe Mengen an UV-Strahlung wirken sich nachweislich positiv auf die Gesundheit aus und spielen eine wesentliche Rolle bei der Vitamin-D-Synthese. Eine übermäßige Exposition ist jedoch eindeutig mit negativen Auswirkungen wie DNA-Mutationen verbunden. Die vorliegende Studie wurde von derselben französischen Forschungsgruppe wie Hurtier 2025 [1] durchgeführt (siehe Bericht im vorliegenden Elektrosmog-Report). Die Forscher untersuchten die Auswirkungen eines 24-stündigen, 5G-modulierten 3,5-GHz-Signals auf Hautzellen bei drei verschiedenen SAR-Werten. Zu diesem Zweck wurden menschliche Fibroblasten und Keratinozyten verwendet, die zuvor entweder UV-B-Strahlung ausgesetzt waren oder nicht.

Studiendesign und Durchführung:

Die UV-B-Strahlung bei 312 nm wurde technisch erzeugt. In einem vorherigen Schritt wurde die UV-B-Dosis gemessen, die etwa 50 % der maximalen Wirkung auslöste, und diese UV-B-Dosis wurde für alle Experimente verwendet. Auf diese Weise lässt sich feststellen, ob eine 5G-Exposition die Wirkung der UV-B-Bestrahlung auf Hautzellen beeinflussen, d. h. verstärken oder abschwächen kann. In dieser Studie wurde eine echte 5G-NR-modulierte Frequenz von 3,5 GHz verwendet. Der Aufbau für die 5G-EMF-Exposition bestand aus einem umgebauten Zellkulturinkubator, genau wie in der oben genannten Studie [1]. Die mit UV-B bestrahlten Zellen wurden unmittelbar nach der UV-B-Bestrahlung 24 Stunden lang einer 5G-Exposition ausgesetzt, und zwar bei einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von entweder 0,25, 1 oder 4 W/kg.

Zur Messung des mitochondrialen Stresses in menschlichen Fibroblasten und Keratinozyten wurde die MitoSOX Red-Sonde verwendet. Veränderungen des mitochondrialen Membran-

potentials und der Apoptose wurden mithilfe des MitoStatus TMRE-Farbstoffs überwacht. Für jede Versuchsreihe wurden Positivkontrollen verwendet, um die Ergebnisse zu validieren. Alle Messungen wurden unter Blindbedingungen durchgeführt.

Ergebnisse:

Diese Studie fand einen statistisch signifikanten Rückgang (um etwa 15 %) des Gehalts an mitochondrialen ROS in Fibroblasten, die 5G bei 1 W/kg ausgesetzt waren. Die ROS-Produktion wurde jedoch nach einer HF-EMF-Exposition der Fibroblasten bei 0,25 oder 4 W/kg nicht verändert.

Es konnte kein Unterschied zwischen Scheinexposition und alleiniger HF-EMF-Exposition der Keratinozyten gemessen werden, unabhängig von der SAR.

HF-EMF-Exposition der Keratinozyten erhöhte die UV-B-induzierte ROS-Produktion statistisch signifikant um 28 %, 20 % oder 16 % bei jeweils 0,25, 1 oder 4 W/kg, und zwar sowohl bei den zuvor mit UV-B bestrahlten als auch bei den einer Scheinexposition gegenüber HF-EMF ausgesetzten Zellen. Die niedrigste Dosis (0,25 W/kg) zeigte die stärkste Wirkung. Die Autoren sehen darin einen Hinweis auf einen hormetischen (U-förmigen) Dosis-Wirkungs-Verlauf, was plausibel erscheint [3].

Schlussfolgerungen:

Diese Arbeit zeigt eine Wechselwirkung zwischen UV-B-Strahlung und HF-EMF-Exposition hinsichtlich der ROS-Produktion in menschlichen Keratinozyten. Im Gegensatz dazu wurde festgestellt, dass eine HF-EMF-Exposition allein die mitochondriale ROS-Produktion nicht erhöht. Wie in Studien nahegelegt, die eine prooxidative Wirkung von HF-EMF belegen, wird die ROS-Produktion als schnelle und vorübergehende Reaktion angesehen, die mit der Zeit aufgrund der Aktivierung antioxidativer Stoffwechselwege abnimmt. Darüber hinaus wurde kein Zusammenhang mit einer Veränderung des UV-B-induzierten mitochondrialen Membranpotentials oder der Apoptose beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass der durch HF-EMF verursachte Anstieg der UV-B-induzierten ROS-Produktion nicht ausreichte, um das mitochondriale Membranpotential, die Apoptose oder die Nekrose negativ zu beeinflussen. Die Autoren fassen ihre Ergebnisse zusammen und fügen eine ausführliche Übersicht über verwandte Studien bei, wobei sie zu dem Schluss kommen, dass es nach wie vor nur wenige und heterogene Arbeiten gibt, die die Auswirkungen von HF-EMF auf Hautmodelle in vitro oder in vivo untersucht haben. Diese Heterogenität zeigt sich sowohl hinsichtlich der Versuchsbedingungen – wie Zelltyp, HF-EMF-Frequenz, Vorhandensein oder Fehlen einer HF-EMF-Signalmodulation und Expositionsdauer – als auch hinsichtlich der biologischen Ergebnisse in Bezug auf die ROS-Produktion. Dies verhindert derzeit eine eindeutige Schlussfolgerung. Weitere Studien an 3D- oder in-vivo-Hautmodellen sind erforderlich, um eine endgültige Antwort zu finden.

Anmerkungen der Redaktion:

Eine interessante und gut durchgeführte Studie, auch wenn die Ergebnisse seltsam und bislang nicht erklärbar sind. Da Menschen für gewöhnlich UV-B Strahlung von der Sonne regelmäßig ausgesetzt sind, ist die kombinierte Betrachtung mit Mobilfunkstrahlung ein guter Ansatz. Die Forscher geben an, in Zukunft realistischere Modelle als isolierte Zellen betrachten zu wollen, z.B. mehrschichtige/3D-Hautmodelle. Dies ist wichtig, da In-vivo-Studien im Vergleich zu Zellkulturstudien generell stärkere schädliche Auswirkungen feststellen [2, 3]. (AT)

- 1 Hurtier A, Patrignoni L, Canovi A, Orlacchio R, Tjiou H, Gannes FP et al. (2025). Effects of simultaneous in-vitro exposure to 5G-modulated 3.5 GHz and GSM-modulated 1.8 GHz radio-frequency electromagnetic fields on neuronal network electrical activity and cellular stress in skin fibroblast cells. *Bioelectromagnetics*, 46(7), e70026. <https://doi.org/10.1002/bem.70026>
- 2 Souchelnyskyi S (2025). Human cells response to electromagnetic waves of radio and microwave frequencies. *The Ukrainian Biochemical Journal*, 97(6), 5–22. <https://doi.org/10.15407/ubj97.06.005>
- 3 Weller SG, McCredden JE, Leach V, Chu C, Lam AK (2025). A scoping review and evidence map of radiofrequency field exposure and genotoxicity: assessing in vivo, in vitro, and epidemiological data. *Frontiers in Public Health*, 13, 1613353. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2025.1613353>



Basisstationen und begrünte Dächer

Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Ökosysteme von Gründächern: Ein bislang unerforschtes Thema.

Czerwiński M, Recuero Virto L, Vian A, Thielens A (2026). Radiofrequency electromagnetic field effects on green roof ecosystems: An unexplored topic. *Environmental Reviews*, 34, 1-14. <http://dx.doi.org/10.1139/er-2026-0053>

Eine neue interdisziplinäre Übersichtsarbeit fasst die vorhandene Literatur zur Ökologie von Gründächern und den Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Pflanzen und Insekten, sowie zu Messungen der Leistungsdichte auf Dachflächen zusammen. Die Verbreitung von Gründächern geht Hand in Hand mit dem weltweiten Ausbau der Mobilfunktechnologien.

Studiendesign und Durchführung:

In Phase 1 führten die Autoren eine narrative Synthese empirischer HF-EMF-Messungen auf städtischen Dächern durch, die den Frequenzbereich von 0,7 bis 3,8 GHz abdeckte. Diese basierte auf einer umfassenden Literaturrecherche, bei der 20 Artikel beibehalten wurden. In Phase 2 führten die Wissenschaftler eine thematische Synthese der veröffentlichten Erkenntnisse zu den biologischen und ökologischen Auswirkungen von HF-EMF auf Pflanzen und Insekten durch. Nach der Literaturrecherche wurden 34 Studien berücksichtigt.

Ergebnisse:

Die Literaturrecherche zeigt, dass die HF-EMF-Werte auf Dächern deutlich höher sind als in Bodennähe; einige Studien geben einen Faktor von bis zu 150 an (d. h. auf dem Dach sind die Werte 150-mal höher als am Boden), andere nennen einen 30- bis 100-fachen Unterschied, während die 2 neuesten Studien einen durchschnittlich 16-fachen Unterschied finden. Diese Werte variieren je nach Höhe des Gebäudes (und der Basisstation) über dem Boden, den städtebaulichen Gegebenheiten sowie hinsichtlich der verwendeten Mobilfunktechnologie (1G bis 5G) und der verwendeten Frequenzbänder. Insgesamt zeigen die zitierten Studien, dass die HF-EMF-Belastung auf Dächern in der Nähe von Telekommunikationsantennen stark variiert und oft Werte von mehreren zehn Milliwatt pro Quadratmeter oder mehr erreicht. Belastungswerte über 10 000 mW/m² treten nur in sehr geringer Entfernung direkt vor Telekommunikationsantennen auf; bei einer Standardantenne mit 900 MHz beträgt diese Entfernung je nach Strahlungsleistung und Antennengewinn 1–4 m. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass thermische Effekte bei Pflanzen und Tieren auf Gründächern wahrscheinlich geringfügig und selten sind. Fliegende Insekten können jedoch in unmittelbarer

telbare Nähe zu sendenden Antennen gelangen und thermisch relevante Dosen erhalten. Angesichts der begrenzten Anzahl hochwertiger Studien, die sich mit Wirbellosen unter HF-EMF-Exposition befassen, kommen mehrere Übersichtsarbeiten zu dem Schluss, dass es schwierig ist, endgültige Schlussfolgerungen zu diesem Thema zu ziehen. Zwei weitere aktuelle Übersichtsarbeiten erkennen zwar ebenfalls die Mängel einiger Studien sowie die Diskrepanzen zwischen den im Labor verwendeten HF-EMF-Expositionen und den realen Umweltbedingungen an, sprechen jedoch mit größerer Sicherheit davon, dass die HF-EMF-Exposition von Insekten mit nichtthermischen, schädlichen biologischen Auswirkungen verbunden ist. Es ist seit langem bekannt, dass HF-EMF einen echten Umweltreiz für Pflanzen darstellt. Über die quantitativen Zusammenhänge zwischen der Reaktion der Pflanzen und den HF-EMF-Expositionsbedingungen ist jedoch nur sehr wenig bekannt. Die gesammelten Erkenntnisse reichen nicht aus, um die Form des Zusammenhangs zwischen der Stärke der Pflanzenreaktion und der EMF-Leistungsdichte zu definieren.

Schlussfolgerungen:

Ökosysteme auf Gründächern in der Nähe von Basisstationsantennen können erhöhten HF-EMF-Werten ausgesetzt sein, die deutlich über denen in Bodennähe liegen. Die Reaktionen von Pflanzen auf die HF-EMF-Belastung sind besonders relevant, da Pflanzen die grundlegende Komponente eines Ökosystems auf einem Gründach darstellen. Diese Reaktionen lassen sich grob in zwei Kategorien einteilen. Die erste Kategorie umfasst Stresseffekte, insbesondere eine erhöhte Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) und Veränderungen in der zytosolischen Kalzium (Ca²⁺)-Signalübertragung. Die zweite Kategorie umfasst direkte morphologische Effekte wie einen Rückgang der photosynthetischen Pigmente sowie kürzere Wurzeln oder Stängel. Chronische ROS- und Ca²⁺-Stresssignale führen zu phänotypischen Anpassungen, die in der Literatur zum Thema Pflanzenstress gut dokumentiert sind. Diese Anpassungen gehen mit einem langsameren Wachstum einher und fördern die vegetative Vermehrung auf Kosten der Samenproduktion. Da Bienen einige Pflanzenarten auf Gründächern bestäuben, stellen diese Verhaltenseffekte einen zusätzlichen Weg dar, über den HF-EMF die Funktionsweise von Gründach-Ökosystemen beeinflussen können, unabhängig von direkten Auswirkungen auf die Pflanzen.

Dementsprechend liefern die Autoren überzeugende Argumente und schlagen konkrete Möglichkeiten vor, städtische Gründächer als Modellsysteme für die ökologischen Auswirkungen von HF-EMF aus Basisstationen zu nutzen, was offenbar darauf hindeutet, dass solche Forschungsvorhaben bereits geplant sind oder bereits laufen.

Anmerkungen der Redaktion:

Es ist erfreulich zu sehen, dass Wissenschaftler mit unterschiedlichem Hintergrund – in diesem Fall zwei Botaniker, die

über Erfahrung mit den Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf Pflanzen verfügen, und ein Biophysiker, der sich auf die Modellierung der Absorption elektromagnetischer Strahlung (bei Insekten) spezialisiert hat – zusammenarbeiten und sich für einen noch wenig erforschten Forschungsbereich einsetzen. Die Argumente, dass städtische Dächer (ökologisch und in anderer Hinsicht) relevante und gut geeignete Modelle oder Systeme zur Untersuchung der Auswirkungen von EMF sind, sind überzeugend, und hoffentlich werden die Autoren tatsächliche (Semi-)Feldstudien in solchen städtischen Dachumgebungen durchführen. Ein kleiner Nachteil, der erwähnt werden sollte, ist, dass die Strahlungswerte auf städtischen Dächern zwar im Durchschnitt deutlich höher sind als am Boden, eine Reihe aktueller Studien und Übersichtsarbeiten jedoch stärkere Auswirkungen

von EMF bei niedrigeren Dosen (z. B. 5 V/m) im Vergleich zu wesentlich höheren Dosen (z. B. 40 V/m) festgestellt haben [1, 2]; daher wäre es ratsam, bei zukünftigen Experimenten einen breiten Bereich von EMF-Leistungsdichten bzw. Feldstärken zu verwenden. (AT)

- 1 Brzozek C, Mate R, Bhatt CR, Loughran S, Wood AW, Karipidis K (2024). Investigating the impact of anthropogenic radiofrequency electromagnetic fields on animals and plants in the environment: Analysis from a systematic map. *International Journal of Environmental Studies*, 81(5), 2343-2358. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2375861>
- 2 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2026). Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf Pflanzengesundheit und Wachstum: Vorhaben 3622EMF404. Ressortforschungsberichte zum Strahlenschutz-261/26. <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2026060160272>

Adressen für weitere seriöse Informationen

Diagnose-Funk – 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/departments-of-radiobiology/?lang=en#1511872382060-6857c1c8-f447, kurzlinks.de/jmi4

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

Datenbanken

emfdata.org
emf-portal.de
orsaa.org