

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit



## Basisstationen und Vögel

### Gibt es eine Auswirkung elektromagnetischer Wellen von Basisstationen auf den Brut-erfolg von *Ciconia ciconia* in Algerien?

Sakraoui D, Ziane N, Ghalem R, Boukheroufa M, Habbachi W. Is there an effect of electromagnetic waves from base stations on the breeding success of *Ciconia ciconia* in Algeria? (2023): Biosystems Diversity. 2023 Nov 7;31(4):493-9. <https://doi.org/10.15421/012358>

Zahlreiche Laborstudien haben die schädlichen Auswirkungen von Hochfrequenz-Wellen auf physiologische Prozesse beim Menschen und auf die Gesundheit von Tieren aufgezeigt. Diese Studien wurden zumeist im Labor durchgeführt, wo alle Parameter kontrolliert werden können, aber die Arbeit im Freien ist komplexer und mit methodischen und technischen Schwierigkeiten verbunden. Experimente zur Untersuchung der Auswirkungen

**„Storchennester, die sich direkt an den Antennen befinden, haben einen sehr geringen Reproduktionserfolg.“**

elektromagnetischer Strahlung auf Lebewesen sind komplex, da eine große Anzahl von Variablen zu kontrollieren ist. Die Komplexität dieser Kontrolle macht es schwierig, die für eine Vervielfältigung erforderlichen „identischen Bedingungen“ zu erreichen. Vögel wurden ausgiebig genutzt, um die Bedeutung der Exposition gegenüber nichtionisierender Strahlung für die Umwelt zu analysieren. Ihre Fähigkeit, magnetische Reize aufzuspüren, wurde vielfach dokumentiert. In Algerien nistet der Weißstorch *Ciconia ciconia* häufig im Mittelmeerraum. Störche scheinen eine interessante Spezies zu sein, um die Auswirkungen zu untersuchen, die elektromagnetische Wellen von Basisstationen haben können. In der Untersuchungsregion sind sie neben Haussperlingen die einzige Spezies, die ihre Nester direkt auf Basisstationen bauen und viel Zeit im Nest verbringen. Ziel der Wissenschaftler war es, festzustellen, ob es einen Zusammenhang zwischen der Belastung durch elektromagnetische Wellen, die von Mobilfunk-Basisstationen ausgehen, und der Reproduktionsrate von Weißstörchen gibt.

## Impressum

ElektrosmogReport Ausgabe 04/2024, 30. Jahrgang

Online Veröffentlichung auf [www.EMFdata.org](http://www.EMFdata.org)

Bestellung Printausgabe:

[shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport](http://shop.diagnose-funk.org/Elektrosmogreport), Bestellnr. 52404

## Redaktion ElektrosmogReport

Dipl.-Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), M.Sc., Alain Thill (AT), M.Sc., Kontakt: [emf@katalyse.de](mailto:emf@katalyse.de)

## Herausgeber und V.i.S.d.P

Diagnose-Funk e.V. | Postfach 15 04 48 | D-70076 Stuttgart

[kontakt@diagnose-funk.de](mailto:kontakt@diagnose-funk.de)

## Spendenkonto:

Diagnose-Funk e.V. | IBAN: DE39 4306 0967 7027 7638 00

BIC: GENODEM1GLS | GLS Bank

Ermöglichen Sie mit Ihrer Spende die Aufarbeitung und Analyse der Forschungslage und die weitere Herausgabe des ElektrosmogReport

## INHALTSVERZEICHNIS

### SEITE

01 > Basisstationen und Vögel

02 > Basisstationen und Bienen

04 > Nahrungsergänzung kann vor HF-Wirkung schützen

05 > Antioxidans schützt männliche Fortpflanzungsorgane

06 > Mobilfunk und Gehirn

07 > Hochfrequenzwirkung auf Knochenhomöostase

08 > HF-Wirkung auf Quantenebene?

10 > Drahtlose Energieübertragungstechnologie birgt Risiken

11 > Mechanismen von HF-EMF

12 > EMF und Mikrotubuli

**Studiendesign und Durchführung:**

Die Beobachtungen im Felde erstreckten sich über zwei aufeinanderfolgende Jahre, 2020 und 2021. Die Wissenschaftler beobachteten die Eier und Küken der Art zwei Mal pro Woche mit einem Fernglas. Die Storchennester in drei Bezirken Algeriens (Ben M'hidi, Dréan, Berrahal) wurden gezählt, um die Weißstorchpopulation an jedem Ort zu schätzen. Die Beobachtungen begannen mit der Ankunft der Störche und erstreckten sich über die Zeit des Nestbaus und der Nestpflege sowie über den Zeitraum von der Eiablage bis zum Ausfliegen der Jungen.

Das zur Einteilung der Storchpopulation angewandte Protokoll ist eine Wiederholung einer früheren Studie von Balmori (2005), nur dass die Wissenschaftler hier drei Gruppen (0 m, weniger als 200 m, mehr als 300 m) anstelle von zwei Gruppen (-200 m, +300 m) verwendeten. Insgesamt wurden 140 Nester ausgewählt und in drei Gruppen eingeteilt: G1 besteht aus Nestern, die 0 m von den Basisstationen entfernt sind, d. h. auf der Basisstation stehen (27 Nester). G2 besteht aus Nestern, die weniger als 200 m von den Basisstationen entfernt sind (43 Nester). G3 besteht aus Nestern, die mindestens 300 m von einer Basisstation entfernt sind (70 Nester).

**Ergebnisse:**

Anzahl der Nestlinge: Die Anzahl der Jungstörche im Nest variierte zwischen 0 und 4 pro Nest an den drei Standorten. Nester ohne Jungtiere befanden sich ausschließlich auf den Basisstationen (G1), während Nester mit 4 Jungtieren am häufigsten in Nestern zu finden waren, die mehr als 300 Meter von den Antennen entfernt waren.

**Auswirkungen der Basisstationen auf den Bruterfolg:**

Im Jahr 2020 hatte die Gruppe G1 (27 Nester direkt an den Basisstationen) im Durchschnitt 0,592 Junge pro Nest, mit einem Prozentsatz von 51,9 % der Nester ohne Junge. Gruppe G2 (43 Nester in einer Entfernung von weniger als 200 m von den Antennen) hatte durchschnittlich 2,046 Junge pro Nest und keine Nester ohne Junge. Gruppe G3 (70 Nester in einem Abstand von mehr als 300 m von den Antennen) hatte im Durchschnitt 2,8 Junge pro Nest und keine Nester ohne Junge. Im Jahr 2021 bleiben die Tendenzen ähnlich. Gruppe G1 hatte durchschnittlich 0,814 Junge pro Nest, mit einem Prozentsatz von 40,7 % der Nester ohne Junge. Die Gruppe G2 hatte im Durchschnitt 2,186 Junge pro Nest, wobei kein Nest ohne Junge war. Die Gruppe G3 hatte im Durchschnitt 2,87 Junge pro Nest, aber keine Nester ohne Junge. Die Ergebnisse des gepaarten T-Tests zeigen keinen signifikanten Unterschied ( $P = 0,162$ ) zwischen den Jahren 2020 und 2021.

Hinsichtlich der durchschnittlichen Anzahl der Jungen pro Nest ergab die Varianzanalyse (ANOVA) einen hochsignifikanten Unterschied zwischen den drei Gruppen ( $F = 122,21$ ,  $p < 0,001$ ) für die Jahre 2020 und 2021. Die lineare Regressionsanalyse zwischen der Entfernung von den Basisstationen und der durch-

schnittlichen Anzahl der Jungen pro Nest zeigt eine sehr hochsignifikante Beziehung ( $p < 0,0001$ ).

**Schlussfolgerungen:**

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass die Nähe von Nestern zu Mobilfunkmasten die Reproduktion der Störche beeinflusst. Nester, die sich direkt an den Antennen befinden, haben einen sehr geringen Reproduktionserfolg. Je weiter die Nester von den Antennen entfernt sind, desto größer ist der Reproduktionserfolg, wobei Nester, die mehr als 300 m von den Antennen entfernt sind, eine höhere Rate aufweisen.

Diese Ergebnisse stimmen mit denen von Balmori (2005) überein, der 60 Weißstorchhorste untersuchte. Balmori zufolge brachten 40 % der 30 Nester, die weniger als 200 m von einer Mobilfunk-Basisstation entfernt waren, keine Küken zur Welt, während in einer anderen Kolonie mit 30 Nestern, die mehr als 300 m entfernt waren, nur 3,3 % keine Küken zur Welt brachten. (AT)

**Basisstationen und Bienen****Oxidative Stressreaktion von Honigbienvölkern (*Apis mellifera* L.) während langfristiger Exposition bei einer Frequenz von 900 MHz unter Feldbedingungen**

Vilić M, Žura Žaja I, Tkalec M, Tucak P, Malarić K, Popara N, Žura N, Pašić S, Gajger IT (2024): Oxidative Stress Response of Honey Bee Colonies (*Apis mellifera* L.) during Long-Term Exposure at a Frequency of 900 MHz under Field Conditions. *Insects* (2024): *Insects* 2024, 15(5), 372. <https://doi.org/10.3390/insects15050372>

Neben der breiten Nutzung von Mobiltelefonen und anderen Quellen, die hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) erzeugen, wächst auch die öffentliche Besorgnis über schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit von Menschen und Tieren. In der Tat, die Ergebnisse zahlreicher Studien haben gezeigt, dass die Exposition mit HF-EMF (Mobiltelefone, Router, Basisstationen) verschiedene nicht-thermische biologische Wirkungen wie oxidativen Stress, Funktionsstörungen des Immunsystems, genotoxische Wirkungen hat sowie Auswirkungen auf die Fortpflanzung und Fruchtbarkeit. Die genannten biologischen Wirkungen wurden *in vitro* und *in vivo* bei verschiedenen Tierarten nachgewiesen, darunter Säugetiere und Insekten. Die Honigbiene ist eines der wichtigsten Insekten für die Aufrechterhaltung des Gleichgewichts in natürlichen Ökosystemen. Man geht davon aus, dass die Honigbiene die wichtigste Rolle bei der Bestäubung aller Insektenarten aus der Ordnung der Hautflügler (Hymenoptera) spielt, da sie an

fast 80–85 % der Bestäubung der weltweiten Nutzpflanzen beteiligt ist. Frühere Studien über die Auswirkungen von HF-EMF auf Honigbienvölker untersuchten meist erwachsene Honigbienen im Labor oder unter unnatürlichen Bedingungen. Bis heute gibt es viele Unklarheiten über die Auswirkungen hochfrequenter Strahlung auf Honigbienvölker, da es an Studien unter Freilandbedingungen mangelt. Das Ziel dieser Studie war es, die folgenden Fragen zu beantworten: (a) Könnten HF-EMF eine Lipidperoxidation und Veränderungen bei drei lebenswichtigen antioxidativen Enzymen (CAT, GST und SOD) in verschiedenen Entwicklungsstadien der Honigbiene unter Feldbedingungen verursachen? (b) Besteht die Möglichkeit einer chronischen Auswirkung auf oxidativen Stress nach einem Jahr der Exposition?

### Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde an Honigbienen durchgeführt, die in ihrer natürlichen Umgebung HF-EMF von Mobilfunk-Basisstationen ausgesetzt waren. Insgesamt wurden fünfzehn (15) Honigbienvölker nach dem Zufallsprinzip ausgewählt. Das Experiment wurde an drei verschiedenen Orten durchgeführt: Fünf Honigbienvölker befanden sich in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen mit einer Frequenz von 900 MHz und einem durchschnittlichen elektrischen Feld von 1000 mV/m oder 2,65 mW/m<sup>2</sup>, der als hohe Intensität (HI) bezeichnet wird (67 bzw. 160 m von zwei Basisstationen entfernt). Fünf weitere Honigbienvölker befanden sich an einem Standort mit einem durchschnittlichen elektrischen Feld von 30 mV/m oder 0,002 mW/m<sup>2</sup>, genannt niedrige Intensität (LI), in etwa 800 m Entfernung von den Basisstationen. Fünf Honigbienvölker befanden sich an einem Standort mit einer Feldstärke von 70 mV/m oder 0,013 mW/m<sup>2</sup>, der als mittlere Intensität (MI) bezeichnet wird (in etwa 1600 m Entfernung). Alle Bienvölker wurden ein Jahr lang exponiert, wobei Proben dreimal (2 Wochen, 5 Monate und 1 Jahr) nach Beginn der Beobachtung entnommen wurden. Fünf bis sechs Tage alte Larven, Puppen im Stadium der violetten Augen und die Mitteldärme erwachsener Honigbienen (Sammelbienen) wurden von jedem Bienvolk gesammelt.

Die Aktivität der Glutathion-S-Transferase (GST), der Katalase (CAT) und der Superoxiddismutase (SOD) sowie der Grad der Lipidperoxidation (TBARS) wurden in Übereinstimmung mit einer zuvor veröffentlichten Studie derselben Autoren bestimmt.

### Ergebnisse:

Die GST-Aktivitäten in allen Honigbienenproben an Standorten mit unterschiedlichen elektrischen Feldstärken (30, 70 und 1000 mV/m) unterschieden sich statistisch nicht signifikant, wenn die Ergebnisse über den gleichen Beobachtungszeitraum verglichen wurden. Die CAT-Aktivität in den Larven war am HI-Standort (1000 mV/m) im Vergleich zu den MI- und LI-Standorten mit niedrigeren elektrischen Feldern im fünften

Monat der Exposition statistisch erhöht ( $p < 0,05$ ), während sie am LI-Standort (30 mV/m) im Vergleich zu den MI- (70 mV/m) und HI-Standorten (1000 mV/m) nach einem Jahr der Exposition erhöht war. Die CAT-Aktivität in den Mitteldärmen des erwachsenen Honigbienen-Volkes war signifikant höher ( $p < 0,05$ ) am HI-Standort (1000 mV/m) im Vergleich zum MI-Standort (70 mV/m) nach der zweiwöchigen Exposition sowie nach der einjährigen Exposition. Andererseits nahm sie am HI-Standort (1000 mV/m) im Vergleich zum LI (30 mV/m) nach der 5-monatigen Exposition ab.

Die SOD-Aktivitäten in allen Honigbienenproben (Larven, Puppen und Mitteldarm) unterschieden sich nicht signifikant, wenn die Ergebnisse zwischen den verschiedenen Standorten über den gleichen Beobachtungszeitraum verglichen wurden.

In den Larven war die TBARS-Konzentration (= Lipidperoxidation) am HI-Standort (1000 mV/m) im Vergleich zu den anderen beiden Standorten, MI (70 mV/m) und LI (30 mV/m), nach der zweiwöchigen Exposition signifikant erhöht, während nach der einjährigen Exposition die TBARS sowohl am HI- als auch am LI-Standort im Vergleich zum MI (70 mV/m) ebenfalls höher waren. Die TBARS in Larven von Honigbienen aus dem LI-Standort waren nach einem Jahr Exposition signifikant höher als nach zwei Wochen Exposition.

### Schlussfolgerungen:

Die Autoren dieser Studie hatten zuvor berichtet, dass GSM-900-MHz-Strahlung das antioxidative System von Honigbienvölkern nach kurzfristiger Exposition unter Laborbedingungen beeinflussen. Die in dieser Studie erzielten Ergebnisse liegen in Einklang mit der früheren Studie. Das bedeutet, dass die Aktivität der antioxidativen Enzyme und die Konzentration der Lipidperoxidationsprodukte, vom Entwicklungsstadium der Honigbienen, den elektrischen Umgebungsfeldstärken und der Expositionsdauer abhängen. Die Überproduktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) nach der Exposition mit GSM-HF-EMF wird von SOD, CAT und GST, den wichtigsten antioxidativen Enzymen in Honigbienen, abgefangen. Einer der Gründe für die beobachtete antioxidative Enzymaktivität in bestimmten Entwicklungsstadien könnte das physiologische Entwicklungsprofil dieser Enzyme und ihre Funktion in Honigbienen sein. Es ist nämlich bekannt, dass die Aktivitäten von SOD, CAT und GST in einer Larve vom ersten bis zum sechsten Tag leicht ansteigen und dann bis zum Ende der Honigbienenentwicklung abnehmen, wobei die CAT-Aktivität am stärksten abnimmt. Basierend auf den Ergebnissen, dass die TBARS-Werte (bei zweiwöchiger und einjähriger Exposition) und CAT (bei fünfmonatiger und einjähriger Exposition) in den Larven signifikant erhöht waren, stellen die Autoren die Hypothese auf, dass die Larven empfindlicher auf HF-EMF-Exposition reagieren als die Puppen. Der höhere TBARS-Gehalt könnte durch den Lipidgehalt der Larven erklärt werden, die

**„Die Autoren stellen die Hypothese auf, dass die Larven empfindlicher auf HF-EMF-Exposition reagieren als die Puppen.“**

tät der antioxidativen Enzyme und die Konzentration der Lipidperoxidationsprodukte, vom Entwicklungsstadium der Honigbienen, den elektrischen Umgebungsfeldstärken und der Expositionsdauer abhängen. Die Überproduktion reaktiver Sauerstoffspezies

(ROS) nach der Exposition mit GSM-HF-EMF wird von SOD, CAT und GST, den wichtigsten antioxidativen Enzymen in Honigbienen, abgefangen. Einer der Gründe für die beobachtete antioxidative Enzymaktivität in bestimmten Entwicklungsstadien könnte das physiologische Entwicklungsprofil dieser Enzyme und ihre Funktion in Honigbienen sein. Es ist nämlich bekannt, dass die Aktivitäten von SOD, CAT und GST in einer Larve vom ersten bis zum sechsten Tag leicht ansteigen und dann bis zum Ende der Honigbienenentwicklung abnehmen, wobei die CAT-Aktivität am stärksten abnimmt. Basierend auf den Ergebnissen, dass die TBARS-Werte (bei zweiwöchiger und einjähriger Exposition) und CAT (bei fünfmonatiger und einjähriger Exposition) in den Larven signifikant erhöht waren, stellen die Autoren die Hypothese auf, dass die Larven empfindlicher auf HF-EMF-Exposition reagieren als die Puppen. Der höhere TBARS-Gehalt könnte durch den Lipidgehalt der Larven erklärt werden, die

einen deutlich höheren Fettgehalt haben als die Puppen und daher empfindlicher auf oxidativen Stress reagieren. Im Gegensatz dazu konnte im Entwicklungsstadium der Puppen keine statistischen Unterschiede zwischen verschiedenen Standorten zu allen drei Probenahmezeitpunkten festgestellt werden. Ein möglicher Grund hierfür ist die Tatsache, dass das Puppenstadium aufgrund der höheren physiologischen Aktivität der Abwehrenzime in der Lage ist, die durch oxidativen Stress verursachten möglichen Zellschäden zu überwinden. Die CAT-, SOD- und GST-Aktivität zeigte keine Linearität in Bezug auf die Feldstärke und den Zeitpunkt der Probenahme. Da die Mechanismen von RF-EMF noch nicht gut bekannt sind, ist es schwierig zu sagen, welche Auswirkungen eine solche Strahlung auf die physiologischen Eigenschaften der Bienen haben könnte. (AT)



### **Nahrungsergänzung kann vor HF-Wirkung schützen**

## **Erforschung des Potenzials essbarer Vogelneester zur Abschwächung von WLAN-Wirkung auf die männliche Fruchtbarkeit**

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>

Essbare Vogelneester (EVN) besitzen eine Reihe von gesundheitsfördernden Eigenschaften, so z. B. hormonelle, antioxidative und zellteilungsanregende (proliferative) Wirkungen. Vor dem Hintergrund weltweit steigender männlicher Unfruchtbarkeit hat das Potenzial von EVN zur Abschwächung schädlicher Auswirkungen von Mobilfunk bzw. WLAN öffentliches und wissenschaftliches Interesse geweckt. Sowohl thermische als auch biologische Wirkungen der nicht-ionisierenden Strahlung auf den Menschen wurden dokumentiert. Die hochkomplexe Regulierung der Spermatogenese unterliegt dem Zusammenspiel verschiedener männlicher Fortpflanzungshormone, darunter „Gonadotropin-Releasing-Hormon“ (GnRH), follikelstimulierendes Hormon (FSH), luteinisierendes Hormon (LH), Testosteron und Östrogen. Studien haben jedoch gezeigt, dass das empfindliche Gleichgewicht dieses Prozesses durch Mobilfunk gestört werden kann. Diese Störung ist mit einem verminderten Testosteronspiegel, gestörter Spermatogonien-Proliferation, erhöhten Spermien-DNA-Schäden und Abnahme der Spermienqualität assoziiert. In der vorliegenden Studie wurde die Auswirkung von WLAN-Befeldung auf männliche Fortpflanzungshormone, spermatogene Proliferation und Spermienqualität in Ratten bewertet. Darüber hinaus wurde die potenziell schützende Wirkung von EVN als Nahrungsergänzungsmittel untersucht.

### **Studiendesign und Durchführung:**

Insgesamt 36 männliche Sprague-Dawley Ratten wurden in 6 Versuchsgruppen (n = 6) unterteilt: unbefeldete Kontrolle, unbefeldete EVN, unbefeldete E2 (17  $\beta$ -Estradiol), WLAN, WLAN EVN, WLAN E2. Als Befeldungsquelle wurde ein kommerzieller WLAN-Router, welcher mit 2,45 GHz operierte, genutzt. Dieser befand sich in ca. 20 cm Abstand zu den Rattenkäfigen und war über ein Ping-Protokoll in ständigem Austausch mit einem Raspberry Pi. Nach 8 Wochen endete die Befeldungsperiode. Das Gewicht der Hoden, Nebenhoden und Samenbläschen wurde als Organkoeffizient (Gewichtsverhältnis Versuchsgruppe/Kontrolle) bewertet. Es wurden Spermienparameter (Anzahl, Beweglichkeit und Überlebensfähigkeit) bestimmt. Außerdem wurden die Serumspiegel der Fortpflanzungshormone FSH, LH, Testosteron und Estradiol untersucht. Als letzten Schritt analysierten die Wissenschaftler die Expression von Östrogenrezeptoren (ER) und Markern spermatogener Proliferation auf Protein- und mRNA-Ebene.

### **Ergebnisse:**

Die WLAN-Befeldung resultierte nicht in signifikanten Veränderungen der Organkoeffizienten. Die Verabreichung von E2 hingegen führte zu einer signifikanten Verminderung des Organkoeffizienten der Samenbläschen. Die WLAN-Befeldung führte zu einer signifikanten Verschlechterung der Spermienparameter, welche im Falle der Spermienkonzentration durch die EVN-Supplementierung aufgehoben werden konnte. Bei den Fortpflanzungshormonen wurde nach Befeldung eine signifikante Abnahme im Falle von FSH und Testosteron beobachtet, während LH und E2 keine signifikanten Veränderungen aufwiesen. Die EVN-Zugabe konnte die WLAN-Wirkung kompensieren, sodass die reduzierten FSH- und Testosteronspiegel wiederhergestellt und die LH- und E2-Spiegel signifikant erhöht wurden. Die Östrogenrezeptor-Expression auf mRNA-Ebene war nach Befeldung verändert: ER $\alpha$  wurde signifikant vermindert, während ER $\beta$  signifikant erhöht war. Diese Veränderungen spiegelten sich jedoch nicht in der Proteinexpression wider. Es wurde ein ähnlicher Trend beobachtet, der jedoch keine statistische Signifikanz erreichte.

### **Schlussfolgerungen:**

Die Autoren der vorgestellten Publikation schlussfolgern aus ihren Ergebnissen, dass WLAN die Produktion männlicher Fortpflanzungshormone in der Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse und die Hodenfunktion bei der Spermatogenese beeinträchtigt. Folglich verringert WLAN die Spermienqualität und trägt zu männlicher Unfruchtbarkeit bei. Sie hypothesieren, dass die Verringerung des Testosteronspiegels und ER $\alpha$  mit einer Schädigung der Leydig-Zellen in Verbindung stehen könnte. Der ER $\beta$ -Anstieg könnte mit einer WLAN-induzierten Verschiebung des Spermien-Zellzyklus zusammenhängen. Die Supplementierung mit essbaren Vogelnestern scheint die schä-

digende WLAN-Wirkung einzuschränken. Sowohl Spermien- als auch Testosteron- und Gonadotropinspiegel wurden bei befeldeten Tieren signifikant erhöht. Dies könne auf eine Einflussnahme auf die östrogene Aktivität (Erhöhung des T/E2-Verhältnisses) sowie anti-oxidative bzw. anti-inflammatorische Eigenschaften des EVN zurückzuführen sein. (RH)



### Antioxidans schützt männliche Fortpflanzungsorgane

## Die histologische und biochemische Analyse von Hochfrequenzauswirkungen auf das Hodengewebe von Ratten sowie die Schutzwirkung von Melatonin

Yardim A, Sirav B, Tomruk A, Oruç S, Delen K, Kuzay D, Seymen CM, Take Kaplanoğlu G (2024): The histological and biochemical analysis of the effects of radiofrequency radiation on testis tissue of rats and the protective effect of melatonin. Turkish Journal of Medical Sciences, 54(4), 858-865. <https://doi.org/10.55730/1300-0144.5857>

Zunehmende Gesundheitsprobleme der Menschheit haben die Frage nach einem möglichen Zusammenhang zu Mobilfunkstrahlung aufgeworfen. Die Wechselwirkung von Hochfrequenz könnte strukturelle Veränderungen an Biomolekülen und Störungen von Regulationskaskaden biochemischer Prozesse beinhalten. Durch eine Mobilfunk-induzierte Depolarisierung der Mitochondrienmembran kann eine übermäßige Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) und Hydroxylradikale ausgelöst werden. Eine gängige These, wie Mobilfunk die männliche Fruchtbarkeit negativ beeinflussen kann, ist ein Angriff eben dieser Radikale auf das Fortpflanzungsgewebe. Es wird angenommen, dass die antioxidative Wirkung einer exogenen Melatoninbehandlung auf das Einwirken des Melatonins auf die Elektronentransportkette beruht. Die Entgiftung überproduzierter Radikale durch die Steigerung der Aktivität antioxidativer Schutzmechanismen kann eine wesentliche Wirkung auf das Fortpflanzungssystem haben. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkung von GSM-ähnlicher 2600-MHz-Hochfrequenz auf das männliche Fortpflanzungssystem und eine möglicherweise schützende Rolle von Melatonin im Modellorganismus Ratte.

### Studiendesign und Durchführung:

Männliche Wistar Albinoratten wurden in 6 Gruppen (n = 6) unterteilt: i. unbefeldete Kontrolle; ii. scheinbefeldete Kontrolle; iii. hochfrequenzbefeldet; iv. unbefeldet + Melatonin; v. scheinbefeldet + Melatonin; vi hochfrequenzbefeldet + Melatonin. Die elektrische Feldstärke innerhalb der Befeldungsapparatur betrug hierbei 21,74 V/m, resultierend in einem Ganzkör-

per-SAR von 0,616 W/kg (1 g Durchschnitt) bzw. 0,297 W/kg (10 g Durchschnitt). Befeldet wurde mit 2600 MHz über einen Zeitraum von 4 Wochen, 5 Tage pro Woche und 30 Minuten pro Tag. Die Wissenschaftler untersuchten histologische Veränderungen des Hodengewebes sowie oxidative und antioxidative biochemische Parameter (Malondialdehyd, Stickoxide, Glutathion und Glutathion-Peroxidase).

### Ergebnisse:

Die allgemeine histologische Hodenstruktur der schein- und unbefeldeten Gruppen, sowohl mit als auch ohne Melatonin-Verabreichung, war identisch. Es fiel jedoch auf, dass die mit Melatonin behandelte Gruppen in einigen Hodenkanälchen erhöhte Spermatozyten und im Lumen eine erhöhte Spermien-dichte aufwiesen. Die GSM-artige Befeldung führte nicht zu strukturellen Störungen der Hodenkanälchen. Es wurde jedoch eine starke Ödembildung im Keimepithel der Hodenkanälchen beobachtet, welche mit einer strukturellen sowie funktionellen Störung des Epithels einherging. Auch die tubulären Verbindungen zwischen den Zellen waren unterbrochen. Im Interstitium wurde eine ausgeprägte Vakuolisierung festgestellt. Außerdem waren spermatogene Zellpopulationen und Bindegewebs-elemente im Vergleich zu den Kontrollgruppen vermindert. Die Verabreichung von Melatonin führte zu einer Verbesserung der Mobilfunk-induzierten Schädigungen, es wurden jedoch weiterhin Ödeme und gestörte interzelluläre Verbindungen beobachtet. Im Vergleich zur befeldeten Gruppe ohne Melatoninzugabe wurde eine Regeneration der spermatogenen Zellpopulation im Interstitium festgestellt. Die oxidativen Stressparameter spiegelten die histologischen Befunde wider. Im Vergleich zu den Kontrollen wies die befeldete (iii) Gruppe signifikant erhöhte Lipidperoxidation und Stickoxid-Konzentrationen auf. Gleichzeitig waren Glutathion sowie Glutathion-Peroxidase signifikant vermindert. Die Melatoninbehandlung führte bei den befeldeten Tieren zu einer signifikanten Verbesserung der oxidativen Stressparameter.

### Schlussfolgerungen:

Die vorgestellte Studie untersuchte die Folgen von GSM-ähnlicher Hochfrequenz auf das Hodengewebe von Ratten und eine mögliche protektive Wirkung des Antioxidans Melatonin. Die Ergebnisse, sowohl der histologischen als auch der biochemischen Analyse, weisen auf eine fortpflanzungsschädigende Wirkung des Mobilfunks hin. Die Verabreichung exogenen Melatonins scheint die schädigenden Auswirkungen zu reduzieren. Des Weiteren weisen die Daten darauf hin, dass eine Melatoningabe die Spermienproduktion erhöht, so dass unklar ist, ob die produktionssteigernde und/oder die antioxidative Wirkung des Melatonins zur Kompensation der Hochfrequenz führt. Die Autoren merken an, dass weitere Studien nötig sind, insbesondere quantitative histologische Untersuchungen des Hodengewebes. (RH)



## Mobilfunk und Gehirn

# Hochfrequenzbefeldung induziert synaptische Dysfunktion in kortikalen Neuronen, welche Lern- und Gedächtnisleistung in neugeborenen Mäusen beeinträchtigt

Kim JH, Seok JY, Kim YH, Kim HJ, Lee JK, Kim HR (2024): Exposure to Radiofrequency Induces Synaptic Dysfunction in Cortical Neurons Causing Learning and Memory Alteration in Early Postnatal Mice. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(16). <https://doi.org/10.3390/ijms25168589>

Da die Nutzung von Mobiltelefonen in der Regel mit einem engen Kontakt zum Kopf verbunden ist, sind mögliche Mobilfunkwirkungen auf das Zentrale Nervensystem (ZNS) von besonderer Bedeutung. Trotz wissenschaftlicher Kontroversen häufen sich die Belege dafür, dass Mobilfunk schädliche Auswirkungen, wie z. B. Beeinträchtigung der intrazellulären Kalzium-Homöostase, neuronale Schäden sowie Störungen der Neurotransmitter im ZNS besitzen kann. Vorhergehende Studien haben belegt, dass die spezifische Absorptionsrate (SAR) von 5-jährigen Kindern doppelt so hoch ist wie die von 20-jährigen Erwachsenen. Daher kann die Mobilfunkbelastung für Kinder, deren ZNS sich noch in der Entwicklungsphase befindet, gravierendere Auswirkungen haben. In diesem Kontext besonders hervorzuheben ist die Großhirnrinde, welche an einer Reihe wichtiger Funktionen beteiligt ist, darunter Sinneswahrnehmung, motorische Kontrolle, höhere kognitive Prozesse und komplexe Verhaltensweisen. Dysfunktionen der Großhirnrinde sind mit neurodegenerativen Krankheiten wie z. B. Morbus Alzheimer und im Falle einer beeinträchtigten Entwicklung bei Kindern mit Aufmerksamkeits- bzw. Hyperaktivitätsstörungen (ADHS) und Autismus-Spektrums-Störung (ASS) assoziiert. Die vorliegende Studie untersucht den Einfluss von Mobilfunk auf die Synapsenentwicklung von Großhirnrinden-Neuronen von Mäusen. Der Fokus lag dabei auf veränderter Expression von wichtigen Genen und Proteinen, die an der Synapsenbildung beteiligt sind, darunter Neurexin, Neuroligin und die Cyclin-abhängige Kinase 5 (CDK5). Auch veränderte Verhaltensweisen der Mäuse wurden untersucht.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren befeldeten neugeborene Mäuse von Tag 1 nach Wurf 4 Wochen lang. Die ersten drei Wochen geschah dies in Beisein der Muttertiere. Die Jungtiere wurden mit 1850 MHz kontinuierlichen Wellen ohne Frequenzmodulation 5h/Tag befeldet. Der SAR-Wert betrug 4 W/kg. Dies entspricht in diversen Staaten der maximal zulässigen Belastung für normale Mobilfunknutzer, basierend auf den Empfehlungen von Organisationen zum Schutze vor nicht-ionisierender Strahlung wie CENELEC, ICNIRP und IEEE. (Die 4 W/kg beziehen sich allerdings auf Ex-

tremitäten, bei Kopf und Rumpf liegen die Maximalwerte bei 1,6 bzw. 2,0 W/kg, Anm. d. Red.). Die Wissenschaftler untersuchten die neuronale Entwicklung sowie Synapsenbildung mit Fokus auf dendritische Dornfortsätze mittels Elektronenmikroskopie. *In vitro* wurde an kultivierten primären Neuronen die Expression von PSD95, einem Schlüsselregulator der synaptischen Plastizität, sowie das Neuritenwachstum analysiert. Im Anschluss wurde die bereits angesprochene Gen- (nlg2, nlg3, nrxn1a) bzw. Proteinexpression (CDK5) von Schlüsselkomponenten der Synapsenbildung ausgewertet. Als Letztes wurden mögliche Verhaltensänderungen als Konsequenz der Hochfrequenzbefeldung mittels Morris-Wasserlabyrinth erfasst.

### Ergebnisse:

Die Autoren beobachteten bei den Neuronen der Großhirnrinde eine signifikante Verringerung der dendritischen Dornfortsätze, insbesondere der pilzartigen Dornfortsätze, die für ihre starke synaptische Signalübertragung bekannt sind, in den Neuronen der Großhirnrinde. Sowohl Dendritenbildung (PSD95) als auch Neuritenlänge- und Verzweigung waren in den kultivierten kortikalen Neuronen signifikant vermindert. Dies deutet darauf hin, dass Mobilfunk die synaptische Struktur und Dichte sowie das Neuritenwachstum hemmt. Die Expression (mRNA-Ebene) der synaptischen Zelladhäsionsproteine Neuroligin 2, Neuroligin 3 und Neurexin 1 $\alpha$ , welche für die Aufrechterhaltung der Synapsen und neuronalen Verbindung entscheidend sind, nahm im präfrontalen Kortex der befeldeten Mäuse signifikant ab. Auch die Expression (Protein-Ebene) von CDK5, welches entscheidend ist für zahlreiche Prozesse der neuronalen Entwicklung, einschließlich Wachstum und Reifung von Synapsen, Bildung von Dornfortsätzen und synaptischer Plastizität, war signifikant verringert. Der Verhaltenstest untermauerte die molekularbiologischen Erkenntnisse. Es wurde eine signifikante Beeinträchtigung des räumlichen Lernens und Gedächtnisses bei den jungen befeldeten Mäusen festgestellt.

### Schlussfolgerungen:

Insgesamt deuten die Ergebnisse der vorgestellten Publikation darauf hin, dass bei den gewählten Befeldungsbedingungen (kontinuierliches 1850-MHz-Feld, 4 W/kg SAR, 5 h/Tag, 4 Wochen), der Mobilfunk Synapsenbildung und -funktion beeinträchtigt sowie die Spiegel essenzieller synaptischer Moleküle reduziert, was in verminderten kognitiven Leistungen der neugeborenen Mäuse resultiert. Eine Dysregulation der synaptischen Adhäsionsmoleküle ist mit diversen kognitiven Krankheiten wie Autismus-Spektrums-Störungen, Schizophrenie und geistiger Behinderung assoziiert. CDK5 wird mit der Lern- und Gedächtnisprozessen in Verbindung gebracht. So sind beispielsweise CDK5-defizitäre Mäuse in Bezug auf räumliches Lernen stark eingeschränkt. Die Resultate unterstreichen das gesundheitsschädliche Potenzial von Mobilfunk während der Entwicklung, vor allem im Hinblick auf neurologische Entwicklungsstörungen wie Autismus-Spektrums-Störung. (RH)



### Hochfrequenzwirkung auf Knochenhomöostase

## Hochfrequenz hemmt RANKL-induzierte Osteoklasten-Differenzierung in RAW264.7 Zellen durch Modulation des NF-κB-Signalweges

Ding C, Wang H, Yang C, Hang Y, Zhu S, Cao Y (2024): Radiofrequency field inhibits RANKL-induced osteoclast differentiation in RAW264.7 cells via modulating the NF-κB signaling pathway. *Electromagnetic Biology and Medicine*. <https://doi.org/10.1080/15368378.2024.2401554>

Der Knochen ist ein dynamisches Organ, welches einem ständigen Umbau unterliegt, der durch ein empfindliches Gleichgewicht zwischen osteoblastengesteuerter Bildung und osteoklastenvermittelter Resorption reguliert wird. Osteoklasten sind einzigartige mehrkernige Makrophagen, welche von hämatopoetischen Stammzellen abstammen und ausschließlich für den Abbau von Knochensubstanz verantwortlich sind. Diese empfindliche Homöostase ist von entscheidender Bedeutung für ein gesundes Knochengewebe und ist beispielsweise bei dem Krankheitsbild der Osteoporose gestört. Der RANK/RANKL-Signalweg ist besonders wichtig für den Knochenmetabolismus, da die Interaktion von RANKL mit RANK die Differenzierung von Vorläuferzellen in Osteoklasten initiiert. Die übermäßige Bildung reifer mehrkerniger Osteoklasten stellt ein Schlüsselergebnis beim Fortschreiten von Osteoporose dar. Vorhergehende Studien haben gezeigt, dass verschiedene Dosen gepulster elektromagnetischer Felder den Knochenverlust in osteoporotischen Ratten reduzieren konnten. Auf dieser Grundlage stellen die Autoren der hier vorgestellten Publikation die Hypothese auf, dass Hochfrequenz energieabhängige Wirkungen auf die Osteoklasten-Differenzierung haben könnte. Die Studie untersucht die Auswirkungen von Hochfrequenz auf die RANKL-induzierte Osteoklasten-Differenzierung in RAW264.7-Zellen sowie deren zugrundeliegende molekularbiologische Mechanismen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Mausmakrophagen Zelllinie RAW264.7 wurde mit drei verschiedenen Leistungsintensitäten ( $0,5 \text{ W/m}^2 = \text{LRF}$ ;  $1,5 \text{ W/m}^2 = \text{MRF}$ ;  $4,5 \text{ W/m}^2 = \text{HRF}$ ) 4 h/Tag über 5 Tage mit 900 MHz-Hochfrequenz befeldet. Als Kontrollen wurden scheinbefeldete Zellen verwendet. Für das Osteoklasten-Differenzierungsexperiment wurden die Zellen mit RANKL behandelt. Um die Rolle des pro-inflammatorischen Transkriptionsfaktors NF-κB bei der Vermittlung der Hochfrequenzwirkung zu bewerten, wurde die Zelllinie mit einem NF-κB-Inhibitor behandelt. Als Positivkontrolle für die HF-Auswirkung auf die Osteoklastenbildung nutzten die Autoren  $17\beta$ -Estradiol (E2). Es wurden Zellviabilität, Apoptose, Osteoklastenmarker sowie Signalwegskomponenten des RANK/RANKL-Signalweges bzw. NF-κB-Signalweges untersucht.

### Ergebnisse:

Weder niedrig ( $0,5 \text{ W/m}^2$ ) noch hoch dosierte ( $4,5 \text{ W/m}^2$ ) 900-MHz-Hochfrequenz hatte Auswirkungen auf die Zellviabilität der RANKL-induzierten Osteoklasten. Die mittlere Dosierung ( $1,5 \text{ W/m}^2$ ) zeigte jedoch eine mit E2 vergleichbare Inhibierung der Osteoklasten-Zellteilung. Im Gegensatz dazu zeigten die Ergebnisse des Apoptose- sowie Osteoklastenmarker-Tests, dass alle drei 900-MHz-Dosen in der Lage waren, Apoptose während der Osteoklasten-Differenzierung zu induzieren. Hochfrequenz besitzt also eine nennenswerte inhibitorische Wirkung auf die RANKL-induzierte Osteoklasten-Differenzierung. Die wirksamste Hemmung wurde jedoch auch hier bei der mittleren Hochfrequenzdosis beobachtet. Die Analyse der RANKL-Signalwegskomponenten RANK und TRCAP offenbarte eine signifikante Abnahme der mRNA- sowie Proteinspiegel nach Befeldung mit  $1,5 \text{ W/m}^2$ . Dies weist darauf hin, dass die Hochfrequenz die Bildung von Differenzierungsmarkern hemmen, und so die Differenzierungskapazität beeinträchtigen könnte. Als Letztes wurde die Wirkung der 900-MHz-Befeldung mit  $1,5 \text{ W/m}^2$  auf NF-κB untersucht. Die Befeldung beeinträchtigte eine Translokation von NF-κB in den Zellkern, was wiederum zu einer Hemmung des NF-κB-regulierten Transkriptionsfaktor NFATc1 führte. Die Ergebnisse weisen also darauf hin, dass die Hochfrequenz über den NF-κB-Signalweg und den Transkriptionsfaktor NFATc1 zu einer Beeinträchtigung von Genen, welche mit der Osteoklasten-Differenzierung in Verbindung stehen, führen könnte.

### Schlussfolgerungen:

Die Wissenschaftler fassen ihre Ergebnisse dahingehend zusammen, dass die Befeldung mit 900 MHz bei einer Leistungsdichte von  $1,5 \text{ W/m}^2$  die Differenzierung von RAW264.7-Zellen in Osteoklasten inhibieren kann. Auf molekularbiologischer Ebene scheint dafür die Verhinderung der NF-κB-Translokation in den Zellkern verantwortlich zu sein, mit nachfolgender Beeinträchtigung von Differenzierungsmarkern. Dies deutet darauf hin, dass Hochfrequenz einen potenziellen nicht-invasiven Ansatz zu wirksamer Osteoporose-Behandlung darstellen könnte. (Die Resultate der vorliegenden Publikation deuten darauf hin, dass 900-MHz-Befeldung moderater Intensität signifikante Auswirkungen auf die Differenzierung hämatopoetischer Stammzellen haben könnte. Obwohl die Autoren ihr Augenmerk auf einen medizinisch wertvollen Therapieansatz gerichtet haben, zeigen sie jedoch die biologischen Wirkungen sub-thermischer Hochfrequenz auf Differenzierungsvorgänge *in vitro*. Bemerkenswerterweise sprechen sie in Ihrer Publikation von einem „Fensterffekt“, welcher einer nicht-linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung folge, bei dem bestimmte Hochfrequenz-Intensitäten zu signifikanteren biologischen Wirkungen führe als niedrigere oder höhere Intensitäten. Derartige Phänomene könnten einen Erklärungsansatz darstellen, warum die Forschungslage zum Thema Hochfrequenz und Gesundheit einer gewissen Heterogenität unterliegt und müssen besser verstanden werden, um mögliche Gesundheitsrisiken für den Menschen abschätzen zu können, Anm. d. Red.) (RH)



### HF-Wirkung auf Quantenebene?

## Frequenzabhängige antioxidative Reaktionen in HT-1080-Zelllinie nach schwacher Hochfrequenzbefeldung

Gurhan H, Barnes F (2024): Frequency-Dependent Antioxidant Responses in HT-1080 Human Fibrosarcoma Cells Exposed to Weak Radio Frequency Fields. *Antioxidants*, 13(10), 1237. <https://doi.org/10.3390/antiox13101237>

Hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) interagieren mit biologischen Systemen, die ihrerseits geladene Ionen und polarisierte Moleküle enthalten. Dies kann sich auf Zellmembranen, Transmembranpotentiale und Zellzyklen auswirken. Jüngste Studien in der Quantenbiologie haben dieses Konzept erweitert und legen nahe, dass schwache Magnetfelder, einschließlich der Hochfrequenz-induzierten, biologische Prozesse auf Quantenebene modulieren können. Diese Modulation erfolgt insbesondere durch Mechanismen, die Spin-Zustände und Radikalpaar-Mechanismen betreffen. Diese Quanteneffekte könnten eine wichtige Rolle dabei spielen, wie Hochfrequenz zelluläre Prozesse, speziell Erzeugung reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) beeinflussen. Die Elektronentransportkette (ETK) in den Mitochondrien ist ein wesentlicher Bereich für die Entstehung von ROS, hauptsächlich durch die Aktivität redoxaktiver Moleküle, die sogenannte Hyperfeinwechselwirkungen aufweisen. Nach Grissom können Magnetfelder die Rate der Radikalpaar-Rekombination in biologischen Systemen modifizieren. Dies kann unter anderem durch Hyperfeinwechselwirkung-induzierte Interkombination (z. B. vom Singulett-Grundzustand in einen Triplett-Zustand) oder Spin-Orbit-Kopplung geschehen. Diese Radikalpaar-Rekombination redoxaktiver Moleküle kann ROS-Bildung und oxidative Stressreaktionen innerhalb der Zelle erheblich beeinflussen. Radikalpaare, die bei vielen chemischen Reaktionen als Zwischenprodukt gebildet werden, können entweder mit antiparallelen oder parallelen Spins auftreten. Eine HF-Befeldung mit der Frequenz einer Hyperfeinwechselwirkung kann die Zeit, die diese Radikalpaare im Triplettzustand verbringen erhöhen und damit die Wahrscheinlichkeit ihrer Dissoziation in freie Radikale steigern. Die Autoren wählten den Hochfrequenzbereich von 2-5 MHz, mit dem die *in vitro* Studie durchgeführt wurde, basierend auf den bekannten Hyperfeinresonanzen von Eisen-Schwefel-Clustern und anderen Schlüsselkomponenten der Elektronentransportkette innerhalb der Mitochondrien.

### Studiendesign und Durchführung:

Die menschliche Fibrosarkom-Zelllinie HT-1080 wurde in einem abgeschirmten Inkubator befeldet. Alle Zellen, Kontrollen wie auch HF-befeldete Zellen, erhielten ein künstliches statisches Magnetfeld von 45  $\mu$ T, was dem Erdmagnetfeld in Boulder, Colorado entspricht. Die HF-Zellen wurden zusätzlich mit 20

nT Hochfrequenz, zwischen 2 und 5 MHz befeldet. Dabei wurde die Frequenz in 0,5-MHz-Schritten erhöht (2,0 MHz, 2,5 MHz, 3,0 MHz etc.). Das Befeldungsexperiment lief über einen Zeitraum von 4 Tagen. Anschließend wurden oxidative und antioxidative Parameter (Superoxid-Dismutase (SOD), reduziertes Glutathion (GSH),  $H_2O_2$ -Aktivität (Peroxidase), Superoxid-Anion) sowie Überlebensfähigkeit der Zellen bestimmt.

### Ergebnisse:

Die zellulären SOD-Konzentrationen waren bei der kombinierten SMF+HF-Befeldung im Vergleich zur SMF-Befeldung alleine bei allen Frequenzen außer 3,0 und 3,5 MHz signifikant erhöht. Die Ausprägung der SOD-Erhöhung war frequenzabhängig. Auch die zellulären GSH-Spiegel waren frequenzabhängig signifikant verändert. Bei 2,0 und 2,5 MHz war GSH signifikant vermindert, während bei 4,0 MHz ein erheblicher Anstieg zu verzeichnen war. Die  $H_2O_2$ -Konzentrationen waren bei 2,0, 4,5 und 5,0 MHz im Vergleich zur Kontrolle signifikant erhöht, bei 3,5 MHz verringert. Beim Superoxid-Anion wurde ein signifikanter Anstieg bei 2,0 und 3,0 MHz beobachtet, während bei 4,0 und 4,5 MHz eine signifikante Verringerung festgestellt wurde. Die Überlebensfähigkeit der Zellen bewegte sich beinahe sinusförmig, war bei 2,0 signifikant schlechter als die der Kontrollen bei 2,5 und 3,0 besser, bei 3,5 wiederum signifikant verschlechtert und bei 4,0 und 4,5 wiederum besser als die der Kontrollen. Die im Vergleich zu den Kontrollen stärkste Verminderung der Überlebensfähigkeit war bei 3,5 MHz zu beobachten, die stärkste Steigerung bei 4,0.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse zeigen, dass Hochfrequenz *in vitro* im nT-Bereich frequenzabhängig und signifikant die Aktivitäten wichtiger antioxidativer Moleküle bzw. oxidativer Stressmarker modulieren kann. Bei 2,0 bzw. 2,5 MHz weisen die Fibrosarkom-Zellen im Vergleich zu den Kontrollen signifikanten oxidativen Stress auf, gekennzeichnet durch erhöhte SOD-Spiegel und GSH-Mangel. Gleichzeitig wird eine signifikante Zunahme der mitochondrialen Superoxid-Radikale festgestellt. Die Autoren sehen sich in ihrer These bestätigt, dass Hyperfein-Resonanzeffekte bei diesen Frequenzen die mitochondriale Superoxid-Anion-Bildung verstärken können, was eine gesteigerte antioxidative Zellantwort erfordert. Im Gegensatz dazu führe die Befeldung bei 4,0 MHz zu einer Steigerung der zellulären Überlebensfähigkeit, gepaart mit einer Abnahme des mitochondrialen Superoxids. Dies weise auf eine verbesserte mitochondriale Funktion und ein optimiertes Gleichgewicht zwischen ROS-Produktion und antioxidativen Mechanismen hin. Bei einer angewandten HF-Feldstärke von lediglich 20 nT reiht sich diese Studie in die immer größer werdende Reihe von Belegen ein, die darauf hindeuten, dass elektromagnetische Felder niedriger Intensität biologische Wirkungen durch nicht-thermische Mechanismen ausüben. (RH)





## Drahtlose Energieübertragungstechnologie birgt Risiken Hochfrequenz verändert Zellzahl und ROS-Balance möglicherweise durch die Regulierung von NADPH-Stoffwechsel und Apoptose

Chow S-C, Zhang Y, Ng RWM, Hui S-YR, Solov'yov IA, Lui W-Y (2024): External RF-EMF alters cell number and ROS balance possibly via the regulation of NADPH metabolism and apoptosis. *Frontiers in Public Health*, 12(August), 1–11. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2024.1425023>

Die Popularität Qi-zertifizierter kabelloser Ladegeräte in der Unterhaltungselektronik sowie Fertigungsbetrieben hat viel Aufmerksamkeit erregt. Die AirFuel Alliance, die von einer Gruppe Unternehmen gegründet wurde, beabsichtigt die Nutzung drahtloser Energieübertragungstechnologie (wireless power transfer – WPT) für Anwendungen im mittleren Distanzbereich auszuweiten. Das ISM-Frequenzband (industrial, scientific and medical) könnte mit 6,78 MHz operieren und für den Mittelstrecken-Bereich genutzt werden. Da derzeitige Sicherheitsrichtlinien ausschließlich thermische Wirkungen von Hochfrequenz auf Gewebe berücksichtigen, sind mögliche nicht-thermische biologische Wirkungen weitgehend unerforscht. Im Hinblick auf Gesundheitsvorsorge ist eine Untersuchung biologischer Auswirkungen von Hochfrequenz in diesem Bereich vor der Implementierung von WPT-Technologien geboten. Eine im Jahr 2016 durchgeführte Studie hat gezeigt, dass schwache hochfrequente Felder (10  $\mu$ T bei 7 MHz) Zellwachstum und reaktive Sauerstoffspezies (ROS) beeinflussen konnten. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, die molekularen Mechanismen zu erforschen, wie schwache Hochfrequenz im Mittelstrecken-WPT zelluläre Prozesse beeinflussen kann. Die vorliegende Studie untersucht die Auswirkung von 6,78-MHz-Hochfrequenz bei 10  $\mu$ T *in vitro* an Endothelzellen menschlicher Nabelschnurvenen (HUVEC) mittels RNA-Sequenzierung und Proteomanalysen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die HUVEC wurden der angesprochenen Hochfrequenz (10  $\mu$ T bei 6,78 MHz) für 72 h ausgesetzt, die Kontrollzellen scheinbefehdet. Die Wissenschaftler untersuchten Zellzahl, Apoptose, ROS sowie veränderte Genexpression auf RNA- und Proteinebene im Transkriptomik- bzw. Proteomik-Ansatz. Bei ausgewählten Kandidaten veränderter Genexpression wurden die Omik-Daten mittels quantitativer PCR überprüft. Basierend auf den Omik-Daten wurde außerdem eine KEGG-Analyse angereicherter Signalwege durchgeführt. (Die KEGG-Analyse angereicherter Signalwege ist eine bioinformatische Methode, bei der statistisch überprüft wird, ob bestimmte Signalwegskomponenten im Vergleich zum normalen Expressionsprofil überrepräsentiert sind. Anm. d. Red.).

### Ergebnisse:

Die Hochfrequenzbefeldung führte zu einer signifikanten Steigerung der Zellzahlen bei signifikant verminderter Anzahl apoptotischer Zellen. Die ROS-Homöostase wurde mit einer signifikanten Abnahme des Superoxid-Anions gestört. Insgesamt wurden 101 unterschiedlich exprimierte Gene (Transkriptomik) und 136 unterschiedlich exprimierte Proteine (Proteomik) identifiziert. In Bezug auf ihre molekulare Funktion waren die unterschiedlich exprimierten Gene (UEG) und unterschiedlich exprimierten Proteine (UEP) hauptsächlich in Oxidoreduktase-Aktivitäten, Aldoketo-Reduktase-Aktivitäten (NADP) und Malatenzym-Aktivitäten angehäuft. Die KEGG-Analyse ergab, dass zahlreiche kanonische Signalwege des Energiestoffwechsels (Pyruvat-Stoffwechsel und Pentosephosphatweg), Fokalkontakt-Signalwege, Folat-Biosynthese und PI3-Akt-Signalwege sowohl auf transkriptioneller als auch auf translationaler Ebene signifikant angereichert waren. Schlüsselgene der NADPH/NADH Homöostase, darunter ME1 (Malatenzym 1) und NNT (Nicotinamid Nukleotid Transhydrogenase), wurden durch die Hochfrequenzbefeldung signifikant in ihrer Expression verändert. Die Komponenten des Folat-Biosynthese-Signalweges AKR1B, AKR1C und SPR waren nach der Befeldung signifikant hochreguliert. Tatsächlich ist der Folat-Biosyntheseweg nicht nur wahrscheinlich für die NADPH-Produktion, sondern als Schlüsselkomponente für das Gleichgewicht von BH4/BH2 (Tetrahydrobiopterin/Dihydrobiopterin) verantwortlich. Es ist bekannt, dass ein höheres BH4/BH2 Verhältnis die Entgiftung von ROS begünstigt und dadurch oxidativen Stress verringert sowie Zellproliferation fördert.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Studie weisen darauf hin, dass die Hochfrequenz (10  $\mu$ T bei 6,78 MHz) diverse Signalwege und Enzyme moduliert, die unter anderem den NADPH-Spiegel und ROS-Homöostase regulieren bzw. Apoptose direkt und indirekt hemmen. Es ist bekannt, dass unkontrolliertes Wachstum und die Überwindung von Apoptose charakteristische Merkmale aller Krebszellen sind, unabhängig von Ursache oder Art. Es gibt zahlreiche Belege dafür, dass die Regeneration und Aufrechterhaltung eines hohen NADPH-Spiegels eine wichtige Rolle bei der Tumorentstehung spielt. Die beiden Enzyme ME1 und NNT, welche direkt am Zitratzyklus bzw. der Elektronentransportkette beteiligt sind, waren nach der Befeldung signifikant erhöht. Diese beiden Enzyme sind bei diversen Krebsarten dysreguliert und mit der Entwicklung, Verlauf sowie Prognose assoziiert. Die Aldo-Keto-Reduktasen (AKR) sowie die Septapterin-Reduktase (SPR) sind entscheidende Enzyme der BH4-Biosynthese. Zahlreiche Studien haben gezeigt, dass AKRs und BH4-Synthese antioxidative Eigenschaften besitzen und somit Zellen vor Ferroptose schützen. Einen weiteren Fall von Hochregulierung tumorigener Faktoren stellt die Veränderung des PI3K-Akt-Sig-

nalweges dar. Die Bildung von Effektoren wie PKN, CCND1 und VEGF, welche mit Tumorwachstum bzw. Gefäßbildung assoziiert sind, waren signifikant erhöht. Laut den Autoren deutete die Hochregulierung diverser pro-tumorigener Faktoren in der Tat darauf hin, dass die Anwendung von Hochfrequenz im Mittelstrecken-Bereich (z. B. drahtlose Energieübertragung) ein Gesundheitsrisiko darstelle. Die Studie liefere robuste Belege dafür, dass die gegenwärtigen Sicherheitsstandards, welche ausschließlich auf thermischen Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern beruhen, unzureichend seien und eine sofortige Reaktion inklusiver Änderung bestehender Richtlinien angemessen sei. (RH)



### Mechanismen von HF-EMF

## Beeinträchtigung der mikrotubulären Struktur nach GSM-modulierter RF-Strahlungsexposition

Čermak AM, Ilić K, Pavičić I. Microtubular structure impairment after GSM-modulated RF radiation exposure (2020): Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2020 Sep 1;71(3):205-10. <https://doi.org/10.2478/aiht-2020-71-3267>

Zahlreiche biologische Wirkungen, die durch Hochfrequenz (HF)-Strahlung verursacht werden sollen, sind hinsichtlich ihrer Bedeutung für Lebewesen zweifelhaft. Es wurde jedoch festgestellt, dass HF-Strahlung mit verschiedenen Apoptosewegen in lebenden Zellen interagiert. In einer Reihe von Studien wurden auch ihre genotoxischen und anderen Wirkungen auf den Zellzyklus, die Enzymaktivität, die Genexpression, die DNA, den oxidativen Stress und die Chromosomen untersucht. Damit HF-Energie physiologische Funktionen beeinträchtigt oder eine Krankheit bei Menschen oder Tieren auslöst, muss es einen physikalischen Mechanismus geben. Dieser sollte erklären, wie die Kräfte, die durch elektrische und magnetische Felder oder geladene Teilchen ausgeübt werden, Moleküle, chemische Reaktionen, die Zellmembran oder die biologische Struktur verändern. Dieser Mechanismus könnte mit der Mikrotubuli-Dynamik verbunden sein. Es ist bekannt, dass der Auf- und Abbau von Mikrotubuli zu bestimmten Zeiten im Zellzyklus stattfindet und dass der dynamische Austausch von geladenen Tubulin-Untereinheiten die Bewegung von zytoplasmatischen Vesikeln und Organellen wie Mitochondrien oder Chromosomen während der Mitose beeinflusst.

Die dynamische Instabilität der Mikrotubuli-Anordnung steuert einen Großteil der Zellproliferation, sodass es nahe liegt, dass Mikrotubuli geeignet sein könnten für die Erforschung bioelektromagnetischer Effekte. Ziel der Studie war es, zu untersuchen, ob schwache 915 MHz GSM-modulierte HF-Strahlung

die Mikrotubuli-Struktur beeinträchtigt und das normale Zellwachstum beeinflusst.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Zelllinie der chinesischen Hamsterfibroblasten (V79) wurde aufgrund ihrer bekannten Eigenschaften und ihrer häufigen Verwendung in zytotoxischen Studien verwendet. V79-Zellen wurden einem GSM-modulierten Feld in einer Gigahertz Transversal Electromagnetic Mode Zelle (GTEM-Zelle, ETS-Lindgren) für 1, 2 und 3 h ausgesetzt.

Ein Signalgenerator Anritsu 2721B kombiniert mit einem Leistungs- und Signalmodulator Polaris RF 2722 (RF Micro Devices) erzeugte das elektromagnetische Feld (EMF). Die elektrische Feldstärke wurde auf 10, 20 und 30 V/m (265 mW/m<sup>2</sup>, 1,06 W/m<sup>2</sup>, 2,39 W/m<sup>2</sup>) eingestellt, und die durchschnittliche spezifische Absorptionsrate (SAR) wurde auf 0,23, 0,8 und 1,6 W/kg berechnet.

Jedes Expositionsprotokoll wurde an drei unabhängigen Zellproben durchgeführt. Zusätzlich zur Negativkontrolle wurden mit Colchicin behandelte, bestrahlte Zellen als Positivkontrolle verwendet. Colchicin ist ein antimittotischer Wirkstoff, der sich an freie Tubulin-Untereinheiten anlagert und die Polymerisation und Zerstörung von Mikrotubuli unterdrückt. Die Temperatur des Nährmediums wurde kontinuierlich mit einem Temperatursensor gemessen. Die Temperatur stieg während der Bestrahlung nicht an und wurde bei 36,3 °C gehalten, was der physiologischen Zelltemperatur entspricht. Mikrotubuläre Proteine in bestrahlten Zellproben sowie negativen und positiven Kontrollzellproben wurden mit indirekter immunzytochemischer Analyse bestimmt. Dazu wurde ein Komplex aus einem primären IgG-Anti-β-Tubulin-Antikörper, der in der Maus hergestellt wurde, um mikrotubuläre Proteine zu markieren, und einem sekundären Antikörper, der ein Konjugat aus Anti-Maus-IgG und Fluorescein-Isothiocyanat darstellt, verwendet.

Die Schädigung der Mikrotubuli wurde durch Bestimmung der strukturellen Unterschiede in den bestrahlten Zellen bewertet. Die als körnige fluoreszierende Cluster identifizierten Veränderungen wurden mit denen verglichen, die in positiven Kontrollzellen beobachtet wurden. Diese körnige Struktur deutet darauf hin, dass die Mikrotubuli-Fasern stark verstreut und daher geschädigt sind. Um die Zellproliferationsrate zu messen, wurden die Zellen jeder Gruppe auf 24-Well-Platten ausgesät und sechs Tage nach der Exposition unter einem Lichtmikroskop gezählt.

### Ergebnisse:

Eine dreistündige Bestrahlung führte zu einer erheblichen Schädigung der Mikrotubuli (unabhängig von der Feldstärke, also in etwa gleich starker Effekt bei 10 V/m als bei 30 V/m). Bei kürzeren Bestrahlungen entwickelten sich die Mikrotubuli normal und unterschieden sich nicht von den Negativkontrollen.

Drei Tage nach der dreistündigen Befeldung war die Zellzahl

signifikant niedriger als bei der Negativkontrolle ( $p < 0,05$ ). Eine zweistündige Exposition bei 20 und 30 V/m (entsprechend 0,8 und 1,6 W/kg SAR) führten ebenfalls zu einer signifikant niedrigeren Proliferationsrate am Tag 3 nach der Exposition. Am Tag 4 nach der Exposition kehrten die Zellzahlen jedoch in jeder exponierten Gruppe auf den Normalwert zurück.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse zeigen, dass 915-MHz-GSM-Strahlung mikrotubuläre Proteine von V79-Zellen in einer zeitabhängigen Weise beeinträchtigt. Dies bestätigt die Hypothese, dass elektromagnetische Felder im GSM-Frequenzbereich die Mechanismen, die das Zytoskelett-Netzwerk antreiben, stören könnten, da dieser Prozess auf der elektrischen Ladung der Tubulin-Untereinheiten basiert. Mikrotubuli als Teil des Zytoskeletts erfüllen die Grundvoraussetzungen für das Einsetzen einer sogenannten „Fröhlich-Resonanz“ (synchronisierte elektromagnetische Oszillationen innerhalb eines Systems). In einer gesunden Zelle ist dieses körpereigene elektromagnetische Feld perfekt ausbalanciert, aber externe elektromagnetische Felder können es stören. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Auswirkungen der Strahlung auf die Mikrotubuli nicht wesentlich von der elektrischen Feldstärke und der entsprechenden SAR abhängen. Um diese Vorgänge besser zu verstehen, müssen noch weitere Untersuchungen gemacht werden. (AT)



### EMF und Mikrotubuli

## Keine beobachtbare nicht-thermische Wirkung von Mikrowellenstrahlung auf das Wachstum von Mikrotubuli

Hammarin G, Norder P, Harimoorthy R, Chen G, Berntsen P, Widlund PO, Stojic C, Rodilla H, Swenson J, Brändén G, Neutze R (2024): No observable non-thermal effect of microwave radiation on the growth of microtubules. *Scientific reports*. 2024 Aug 7;14(1):18286. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-68852-3>

Die Frage, ob es negative Auswirkungen auf die Gesundheit haben kann, wenn man ständig Hochfrequenzstrahlung (HF) ausgesetzt ist, ist Gegenstand erheblicher Diskussionen und Kontroversen. Besonders groß ist das öffentliche Interesse an der weit verbreiteten Nutzung von Mobiltelefonen und deren Basisstationen. Eine bekannte Wirkung von Mikrowellen ist die Erwärmung. So konzentrieren sich die Richtlinien für kabellose Geräte auf die thermische Reaktion. Da die thermischen Wirkungen sehr stark sind, werden die nicht-thermischen Wirkungen der Mikrowellenstrahlung möglicherweise übersehen. Bisher waren die Studien über nicht-thermische Wirkungen von Mikrowellen auf Zellen nicht reproduzierbar, und es wurden Erklä-

rungen für dieses Problem angeboten. Tubulin ist ein Protein, das ein wesentlicher Bestandteil des eukaryontischen Zytoskeletts ist und in Lösung als Dimer aus zwei globulären Proteinen,  $\alpha$ - und  $\beta$ -Tubulin, vorliegt. Diese Dimere fügen sich in Gegenwart von Guanosinribose-5-phosphat (GTP, einem wichtigen zellulären Stoffwechselprodukt) zu dynamischen polymeren Röhren zusammen, die einen Durchmesser von etwa 24 nm haben und bis zu mehreren Mikrometern lang sein können. Mikrotubuli sind von entscheidender Bedeutung für die zelluläre Organisation, die Motilität, den Transport und die Mitose. Mikrotubuli sind auch dynamisch instabil, da sie ständig auf- und abgebaut werden, was zu Phasen schnellen Wachstums führt, die von Phasen schneller Verkürzung unterbrochen werden.

Da Mikrotubuli hochgradig polar sind und man sich in gewisser Hinsicht vorstellen kann, dass sie ähnliche Eigenschaften wie Radioantennen haben, allerdings auf einer Mikrometerskala, wurde vermutet, dass sie empfindlich auf nicht-thermische Effekte von Mikrowellenstrahlung reagieren. Um die nicht-thermischen Einflüsse von HF-Strahlung auf das Wachstum von Mikrotubuli zu untersuchen, haben die Autoren der hier besprochenen Studie die Polymerisation von Tubulin als Reaktion auf elektromagnetische Strahlung bei 3,5 GHz, 20 GHz und 29 GHz gemessen, was den Frequenzen entspricht, die für Mittel- und Hochband 5G verwendet werden, aber nur als reine Frequenzen, d. h. ohne die typische 5G-Signalmodulation (gepulst).

### Studiendesign und Durchführung:

Elektromagnetische Felder wurden innerhalb einer Durchflusszelle mithilfe eines Wellenleiters angelegt, der von einem Signalgenerator (Anritsu MG3694C) gespeist wurde. Eine auf einem Parallelplatten-Wellenleiter basierende Durchflusszelle wurde eigens gebaut, um die EMF auf die Probe zu übertragen. Die Frequenzen 3,5 GHz, 20 GHz und 29 GHz wurden mit einer maximalen Leistung von 166 mW abgestrahlt, was ein elektrisches Feld von 600 V/m (SAR 300 W/kg) für 3,5 GHz, 1800 V/m (SAR 2700 W/kg) für 20 GHz und 1900 V/m (SAR 2900 W/kg) für 29 GHz ergab, aber es wurden auch niedrigere Leistungen verwendet. Die Bestrahlung dauerte nur wenige Sekunden.

Eine Infrarotkamera charakterisierte die räumliche Verteilung der Probenerwärmung, wobei die optische Dichte (O.D.) der Probe an dem Punkt gemessen wurde, an dem die Erwärmung durch das Mikrowellenfeld am stärksten war. Die gleichzeitige Messung der optischen Dichte und der Temperatur der Probe ermöglichte es, sowohl thermische als auch nicht-thermische Reaktionen zu charakterisieren. Tubulin wurde aus dem Gehirn von Schweinen extrahiert und gereinigt. Es wurde mit einem Protokoll gereinigt, welches Tubulin frei von Mikrotubuli-assoziierten Proteinen (MAPs) produziert. Ein Mikrospektrophotometer wurde für Lichtabsorptionsmessungen der Trübung von Mikrotubuli unter dem Einfluss von 3,5 bis 29 GHz Mikrowellenstrahlung verwendet. Die Tubulinpolymerisation wurde durch Messung des Anstiegs der Absorption bei 365 nm mit der Zeit überwacht.

### **Ergebnisse:**

Die Wissenschaftler stellten fest, dass die Wachstumskurven der Mikrotubuli in Proben, die mit 20 GHz und 29 GHz bestrahlt wurden, von den Wachstumskurven abweichen, die bei derselben Temperatur ohne Mikrowellenexposition beobachtet wurden, während Proben, die mit 3,5 GHz bestrahlt wurden, diese Diskrepanz nicht aufweisen. Diese scheinbaren nicht-thermischen Effekte konnten jedoch mit zusätzlichen Kontrollstudien als rein thermische Effekte bewiesen werden, da eine Erhitzung der Tubulinprobe mit Laser oder Infrarotlicht die gleichen veränderten Wachstumskurven verursachte.

### **Schlussfolgerungen:**

Mit dieser Arbeit sollte festgestellt werden, ob die Anwendung von Mikrowellenfeldern die Kinetik von Mikrotubuli über die bekannten Effekte der Erwärmung hinaus beeinflusst. Tubulin ist hochgradig polar, und es gibt mehrere Studien, die zeigen, dass sich Mikrotubuli in kontinuierlichen oder oszillierenden elektromagnetischen Feldern ausrichten können. Die Autoren stimmen mit der Schlussfolgerung einer früheren Studie überein, in der 2,45-GHz-Mikrowellenstrahlung verwendet wurde, dass Mikrowellen die Geschwindigkeit der Tubulinpolymerisation zu Mikrotubuli nicht verändern. Die maximale Feldstärke, die in dieser Studie verwendet wurde (~ 2 kV/m), liegt acht Größenordnungen über der Signalstärke, die typischerweise mit Mobiltelefonnetzen verbunden ist (~ -60 dBm). Es ist möglich, dass die Messungen nahe daran waren, subtile nicht-thermische Wirkungen der Mikrowellenstrahlung aufzudecken, dass es ihnen aber an statistischer Empfindlichkeit mangelte.

(Diese Studie verwendete einen ähnlichen Signalgenerator wie die auch in dieser Ausgabe besprochene Cermak (2020) Studie, die auch EMF-Auswirkungen auf Mikrotubuli untersuchte. Diese Studie nutzte jedoch nur reine Mikrowellen, während die Studie von Cermak (2020) auf GSM modulierte, also gepulste Mikrowellen verwendete. Darüber hinaus wurden in dieser Studie sehr hohe Leistungen verwendet (600 bis 1900 V/m), die die Probe in der Durchflusskammer innerhalb von ein paar Sekunden um mehrere Grad erhitze, wobei die Autoren vorgaben, eigentlich an nicht-thermischen Wirkungen interessiert zu sein. Cermak 2020 verwendeten deutlich geringere Leistungen (10 bis 30 V/m), die zu keiner messbaren Temperaturerhöhung führten, und die Bestrahlung dauerte 2 oder 3 Stunden an. Diese Studie (Hammarin 2024) untersuchte isolierte Mikrotubuli in Pufferlösung, wohingegen Cermak 2020 lebende Zellen untersuchte, und die Auswirkungen auf Mikrotubuli pharmakologisch blockierten als Positivkontrolle. Isolierte Mikrotubuli besitzen möglicherweise nicht die gleichen Eigenschaften wie die in einer zellulären Architektur eingebetteten Mikrotubuli. Wenn sie tatsächlich Teil eines „Rechenschaltkreises“ sind, wäre ihre isolierte Beobachtung vergleichbar mit Experimenten an isolierten Transistoren, welche nur als Teil eines Schaltkreises über die

Fähigkeit zur Berechnung oder logischen Steuerung verfügen. Der Titel dieser Studie ist somit irreführend, denn der Erkenntnisgewinn ist minimal und schließt nicht-thermische Wirkungen von gepulsten Mikrowellen auf Mikrotubuli nicht aus, Anm. der Redaktion.) (AT)

## **Adressen für weitere seriöse Informationen**

Diagnose-Funk e.V. - Umwelt und Verbraucherorganisation zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e.V., Deutschland:  
[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org), [info@diagnose-funk.de](mailto:info@diagnose-funk.de)

Microwavenews, USA:  
[www.microwavenews.com](http://www.microwavenews.com), [louis@microwavenews.com](mailto:louis@microwavenews.com)

Prof. Joel Moskowitz, Director of the Center for Family and Community Health at the School of Public Health, Berkeley (USA):  
Institutshomepage: <https://publichealth.berkeley.edu/people/joel-moskowitz/>  
EMF-Homepage: <https://www.saferemr.com/>

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

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

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

## **Datenbanken**

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