

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit



## Wirkung von DECT auf Pflanzenwachstum Reaktion von Oleander-Setzlingen auf langfristige nicht-ionisierende Bestrahlung

Stefi, A. L., Mitsigiorgi, K., Vassilacopoulou, D., & Christodoulakis, N. S. (2020): Response of young Nerium oleander plants to long-term non-ionizing radiation. *Planta*, 251, 1-17.

Aus Griechenland kommt eine neue, elegant durchgeführte Studie, welche das Wachstum von Jungpflanzen des Oleanders (*Nerium oleander*) unter dem Einfluss einer DECT-Basisstation untersucht hat. *Nerium oleander* ist eine mediterrane Pflanzenart, die eine bemerkenswerte Resistenz gegen verschiedene Umweltstressbedingungen entwickelt hat. Pflanzen sind bislang in der EMF-Forschung (und auch in der Erforschung schädlicher Einflüsse allgemein) recht unbeachtet, ein Phänomen der kognitiven Voreingenommenheit, welches als „Pflanzenblindheit“ bezeichnet wird. Es gibt bestehende Hinweise auf eine zerstörerische Wirkung von elektromagnetischer Strahlung auf Pflanzen, und die vorliegende Studie erhärtet die Beweislage.

### Studiendesign und Durchführung

Samen von wildwachsenden Oleandern wurden im Mai 2019 eingesammelt. Die Samen wurden im Gewächshaus zu Setzlingen hochgezogen, bei kontrollierten Bedingungen (Lichtintensität 5600 lx, Temperatur 22 °C, Feuchtigkeit 70%). Es fanden 4 Replikationen des Versuchs statt, da die beiden ersten Replikationen dermaßen unerwartete Befunde fanden, dass weitere Experimente angezeigt waren. Jedes Replikat wurde mit zwei Gruppen (bestrahlt / Kontrolle) zu je 9 Töpfen, mit 2 Setzlingen pro Topf durchgeführt. Es wurden zwei identische temperaturüberwachte Wachstumskammern verwendet; in einer der 2 Kammern wurde eine DECT-Basisstation aufgestellt, die dauerhaft an war und mit 1882 MHz betrieben wurde. Jede Wiederholung des Experiments dauerte 5 Wochen. Nach Ablauf dieser Zeit wurden die Setzlinge vom Bodensubstrat getrennt und gewaschen, um alle Bodenreste zu entfernen. Sodann wurden die Pflanzen 3 Tage bei 60° C getrocknet, und anschließend aufgetrennt in ober- und unterirdische Teile (Wurzeln)

### Impressum

ElektrosmogReport 02-2021, 27. 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. 52102

### 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

- [WISSENSCHAFT SEITE 01 > Wirkung von DECT auf Pflanzenwachstum](#)

---

- [02 > Wirkung von Mikrowellen auf Gehirnarchitektur bei Drosophila](#)

---

- [04 > Hochfrequenz und männliche Reproduktionsfähigkeit](#)

---

- [05 > Verringerte Zellteilung durch LTE](#)

---

- [06 > LTE-Hochfrequenz, Hirngewebe und Melatonin](#)

---

- [07 > Hochfrequenzwirkung-Wirkung auf Nervenzellen](#)

---

- [09 > Hochfrequenzwirkung auf Reispflanzen](#)

---

- [10 > Niederfrequente Felder und Herzratenvariabilität](#)

---

- [11 > Wirkung von 50 Hz auf sensorische Nerven von Insekten](#)

---

- [12 > Wirkung von 50 Hz auf Antioxidantien-System der Honigbiene](#)

---

- [13 > Review: Genetische Wirkungen von nicht-ionisierenden elektromagnetischen Feldern](#)

---

- [16 > Review: Verpasste Chancen für die Krebsprävention](#)

---

- [18 > Redaktionelle Anmerkung und hilfreiche Adressen](#)

---

- [19 > Nachruf auf Yuri Grigoriev](#)

und separat gewogen. Teile der Wurzeln und Blätter wurden für Rasterelektronenmikroskop (REM), Lichtmikroskop und Transmissionselektronenmikroskop (TEM) präpariert und gesichtet. Zusätzlich wurde die Aktivität der L-Dopa Decarboxylase (DDC) im Immunblot bestimmt, sowie die Gesamtmenge an reaktiven Sauerstoffspezies („reactive oxygen species“, ROS) durch Photometrie bestimmt. Die L-Dopa-Decarboxylase ist der limitierende Schritt in der Synthese von Dopamin, was neben seinen allgemein bekannten aktivierenden Funktionen bei Tieren, bei Pflanzen ein wichtiges Antioxidans darstellt, das toxische Nebenprodukte der Photosynthese neutralisiert. Des Weiteren wurde auch die Gesamtmenge der photosynthetischen Pigmente Chlorophyll a und Chlorophyll b gemessen.

### Ergebnisse

Die mikroskopische Struktur der Blätter war deutlich unterschiedlich ausgeprägt zwischen bestrahlten Pflanzen und Kontrollen: die DECT-exponierten Blätter wiesen mehr und wesentlich flachere Krypten auf – d.i. Höhlungen in der Blattoberfläche die zur Regulation des Gasaustauschs dienen. Auch war die sonnenzugewandte Blattoberfläche (Epidermis) dünner bei exponierten Blättern; diese bestand nur aus einer Zellschicht, wohingegen bei Kontrollen 2 Zellschichten vorhanden waren. Durchschnittliche Dicke der Epidermis: 19,75 µm (DECT), 51,75 µm (Kontrollen). Die Blattdicke war bei Kontrollen durchschnittlich 30 % höher als bei bestrahlten Pflanzen. Alle 3 Arten von Mikroskopuntersuchungen bezeugten strukturelle und morphologische Anomalien in den Blättern der exponierten Pflanzen.

Das Trockengewicht der Wurzeln und oberirdischen Teile (Stängel) unterschied sich deutlich. Unerwarteterweise führte die DECT-Bestrahlung zu beschleunigtem Wachstum: durchschnittlich um 30% höhere Biomasse für die Wurzeln, sowie um 35 % höhere Biomasse für die Stängel im Vergleich zur Kontrolle. Die Gesamtmenge an reaktiven Sauerstoffspezies war in den exponierten Pflanzen deutlich erhöht: durchschnittlich 45,5 % mehr ROS in den Stängeln sowie 104 % mehr ROS in den Wurzeln im Vergleich zur Kontrolle. Die Aktivität der L-Dopa Decarboxylase (DDC) war mehr als doppelt so hoch in exponierten Blättern und Wurzeln als in den nicht-exponierten Blättern und Wurzeln. Die Chlorophyll-Gesamtmenge war 10-50 % reduziert in exponierten Blättern, Chlorophyll a war durchschnittlich um 32 % verringert, Chlorophyll b um 20 % vermindert.

### Schlussfolgerung

In der vorliegenden Studie zeigten kultivierte Oleander-Setzlinge nach Langzeitexposition mit hochfrequenten EMFs einer DECT-Basisstation markante strukturelle Veränderungen, wie die Abflachung der Krypten und Verdünnung der Schichten der Epidermis. Gleichzeitig wurde erhöhter oxidativer Stress vorgefunden, der sich durch einen signifikanten Anstieg reaktiver Sauerstoffspezies sowohl in den Wurzeln als auch in den oberirdischen Teilen zeigte. Im Zusammenhang hierzu ist auch eine Abnahme der Gesamtmenge an photosynthetischen Pigmenten gemessen worden, sowie eine deutlich erhöhte Biosynthese von DDC, einem Enzym, das die Produktion von Dopamin katalysiert. Dopamin ist ein starkes Antioxidans, das dem oxidativen Stress entgegenwirkt. Die exponierten Pflanzen zeigten erstaunlicherweise eine höhere Wachstumsrate, trotz geringeren Anteils photosynthetischer Pigmente und schwerem oxidativem Stress. Diese einzigartige Reaktion von Oleander auf schwere abiotische Stressbedingungen könnte strukturellen Veränderungen zu verdanken sein, die eine leichtere Diffusion von CO<sub>2</sub> innerhalb der Blätter ermöglicht. Es wurde eine bedeutende Pflanzenreaktion auf einen neuartigen „Schadstoff“ dokumentiert. (AT)

tiver Sauerstoffspezies sowohl in den Wurzeln als auch in den oberirdischen Teilen zeigte. Im Zusammenhang hierzu ist auch eine Abnahme der Gesamtmenge an photosynthetischen Pigmenten gemessen worden, sowie eine deutlich erhöhte Biosynthese von DDC, einem Enzym, das die Produktion von Dopamin katalysiert. Dopamin ist ein starkes Antioxidans, das dem oxidativen Stress entgegenwirkt. Die exponierten Pflanzen zeigten erstaunlicherweise eine höhere Wachstumsrate, trotz geringeren Anteils photosynthetischer Pigmente und schwerem oxidativem Stress. Diese einzigartige Reaktion von Oleander auf schwere abiotische Stressbedingungen könnte strukturellen Veränderungen zu verdanken sein, die eine leichtere Diffusion von CO<sub>2</sub> innerhalb der Blätter ermöglicht. Es wurde eine bedeutende Pflanzenreaktion auf einen neuartigen „Schadstoff“ dokumentiert. (AT)



### Wirkung von Mikrowellen auf Gehirnarchitektur bei Drosophila

## Pilotstudie zur automatischen Identifizierung der Wirkung von EMF-Strahlung auf das Gehirn mit Hilfe von Computer-Sicht und maschinellem Lernen

Singh, A.; Singh, N.; Jindal, T.; Rosado-Muñoz, A. & Dutta, M. K (2021): A novel pilot study of automatic identification of EMF radiation effect on brain using computer vision and machine learning. *Biomedical Signal Processing and Control*, Elsevier, 2020, 57, 101821. doi:10.1016/j.bspc.2019.101821

Singh & Singh haben eine neue computergestützte Methode entwickelt, um Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern (EMF) auf Insekten (*Drosophila*) zu identifizieren. Die Autoren geben an, dass vielfältige Experimente an Ratten negative Auswirkungen von EMFs auf die Morphologie sowie Zellarchitektur verschiedener Gehirnstrukturen aufzeigen konnten. Exposition zu EMFs könnte zu neurologischen Veränderungen führen, die wiederum morphologische, chemische oder elektrische Eigenschaften des Nervensystems stören. Die Analyse der Auswirkungen auf Zellebene ist jedoch ein teurer und zeitaufwändiger Prozess. Das hierfür notwendige Arbeiten mit Insektengehirnen ist sehr störanfällig, da exakt verdünnte Zellsuspensionen hergestellt werden müssen. Deshalb haben die Autoren überlegt, dass es von Vorteil wäre, aus hochauflösenden Mikroskop-Bildern sofort auf Anomalien des Gehirns schließen zu können. Sie haben eine Methode der computergestützten automatischen Klassifizierung von Mikroskop-Bil-

den des Gehirns ausgearbeitet. Mit dieser Vorgehensweise konnte eine Genauigkeit von 94,66 % im richtigen Zuweisen der Bilder (bestrahlt oder unbestrahlt) erzielt werden, obschon mit dem bloßen Auge (unter dem Mikroskop) keine Unterschiede erkennbar waren.

### Studiendesign und Durchführung

Drosophila wurden während 5 Tagen mit einer 2.400-MHz-Hornantenne bei etwa 29 mW/m<sup>2</sup> bestrahlt, 12 Stunden täglich. Anschließend wurden die Fliegen getötet und die Gehirne unter dem Mikroskop seziiert. Die Gehirne wurden mit einer Mikroskopkamera Magcam DC5 (5.1 MP) aufgezeichnet, in 1944 x 2592 Pixel Auflösung. Die Bilder wurden nun auf verschiedene Weise bearbeitet, und eine Reihe von Bilderkennungsverfahren angewandt, die auf dem „machine learning“ Paradigma beruhen – also Programme, die lernfähig sind und sich von selbst an besondere Aufgaben im Laufe der Zeit so anpassen können, dass bessere Ergebnisse erzielt werden.

### Ergebnisse

Analyse der Bilder in RGB-Farben (Rot-Grün-Blau) war ergebnislos. Die Bilder wurden nun in HSV- und LAB-Farben konvertiert. Hier erwies sich die „lightness“-Komponente des LAB-Bildes, was der Helligkeit einzelner Bildpunkte entspricht, als maximal unterschiedlich zwischen den Bildern verschiedener Drosophila-Gehirne. Anhand kontrasterhöhter LAB-Bilder wurde nun eine Computer-Sicht-Methode angewandt („feature selection“), die 8 geometrische Parameter aus jedem Bild extrahierte: Fläche, Umlauf, Exzentrizität, äquivalenter Durchmesser, eulersche Zahl, konvexe Fläche, Solidität und Ausmaß. Von diesen 8 wiesen nur 2 deutliche und statistisch robuste Unterschiede zwischen bestrahlten und unbestrahlten Gehirnen auf: die Exzentrizität – ein Maß für die Gleichmäßigkeit der Form, sowie die eulersche Zahl – ein Maß für die „Löcherigkeit“ resp. Gleichmäßigkeit der Fläche. 4 Verfahren der automatischen Erkennung und Klassifizierung von Bildern wurden nun trainiert mit einer Datenbank aus 155 Bildern von Drosophila-Gehirnen (66 davon EMF-exponiert), mit oder ohne „feature selection“ (Merkmalsauswahl). Diese 4 Klassifizierungsverfahren wurden verwendet: Support vector machine (SVM), Naïve Bayes (NB), Artificial Neural Network (ANN) und Random Forest (RF). Von diesen 4 erzielte SVM die höchste Genauigkeit im korrekten Unterscheiden von bestrahlten und unbestrahlten Gehirnen: 76% Genauigkeit ohne feature selection, 94,66% mit feature selection.

### Schlussfolgerungen

Die Autoren dieser Pilotstudie haben eine neuartige Methode zur automatischen Identifizierung von EMF-bedingten Veränderungen der Gehirnmorphologie erarbeitet. „Ein auf Computer-Sicht basierender maschineller Lernalgorithmus wurde für die Klassifizierung von EMF-exponierten / nicht-exponierten Drosophila-Gehirnen verwendet. Geometrische Merkmale, die aus dem Gehirnbild extrahiert wurden, sind wichtig, um Veränderungen in der Morphologie des Drosophila-Gehirns zu erkennen. Die experimentellen Ergebnisse zeigen, dass alle vier Klassifikatoren eine gute Genauigkeit liefern, wenn Unterscheidungsmerkmale verwendet werden, die durch die Merkmalsauswahlmethode ausgewählt wurden. Die höchste Klassifizierungsgenauigkeit beträgt 94,66 % bei Verwendung des Support-Vector-Machine-Klassifikators.“ Die benötigte Rechenzeit für die Segmentierung des Gehirnbereichs und die Extraktion der geometrischen Merkmale aus den segmentierten Gehirnbildern betrug ungefähr 2 Sekunden pro Bild.

Die zufriedenstellenden Ergebnisse dieser Pilotstudie lassen auf vielfältige Anwendungen im Erforschen der Auswirkungen elektromagnetischer Felder und anderer schädlicher Einflüsse hoffen. Ein Vorteil im Vergleich zu zellanalytischen Methoden ist, dass nur wenig spezialisierte Instrumente oder Vorrichtungen benötigt werden – im Prinzip reicht ein gutes

**Die Methodik, die in dieser Studie insbesondere eine erhöhte Unordnung in der Form und „Löcherigkeit“ der Oberfläche des Gehirns als Unterscheidungskriterien identifiziert hat, kann vermutlich noch optimiert werden für verschiedene Stufen der Mikrostruktur.**

Mikroskop mit Digitalkamera, und sobald die Bilderkennung kalibriert und optimiert worden ist, liefert die Software in wenigen Sekunden genaue Bewertungen der Gehirnmorphologie. Die Standardmethoden bei der Messung schädlicher Auswirkungen von EMFs, wie z.B. das Messen von DNA-Strangbrüchen und Parameter von erhöhtem oxidativem Stress, bedürfen zeitaufwändiger und kostenintensiver Labormethoden. Die hier erstmals vorgeführte Methode kann vermutlich zur automatischen Klassifizierung von Mikroskop-Bildern

von Insekten und Pflanzen allgemein genutzt werden. Veränderungen der Morphologie oder Zellarchitektur sind normalerweise Indikatoren für schwerwiegende Störungen bzw. schädliche Auswirkungen. Die Methodik, die in dieser Studie insbesondere eine erhöhte Unordnung in der Form und „Löcherigkeit“ der Oberfläche des Gehirns als Unterscheidungskriterien identifiziert hat, kann vermutlich noch optimiert werden für verschiedene Stufen der Mikrostruktur. Zusätzliche Grundlagenforschung ist notwendig, um die Gründe und Auswirkungen der hier beobachteten veränderten Gehirnmorphologie zu verstehen. (AT)



## Hochfrequenz und männliche Reproduktionsfähigkeit

### Möglicher Einfluss einer pränatalen hochfrequenten elektromagnetischen 2,45 GHz-Feldexposition auf die Hoden von Wistar-Albino-Ratten

Almasiova V, Holovska K, Adraskova S, Cigankova V, Sevcikova Z, Racek A, Andrejckakova Z, Benova K, Toth S, Tvrdá E, Molnar J, Enikö R (2021): Potential influence of prenatal 2.45 GHz radiofrequency electromagnetic field exposure on Wistar albino rat testis. *Histol Histopathol.* 2021 Mar 25:18331. doi:10.14670/HH-18-331

Der flächendeckende Einsatz von mobilen Kommunikationsgeräten nimmt weltweit zu. Dementsprechend wurde sowohl das öffentliche als auch wissenschaftliche Interesse an der Aufklärung möglicher gesundheitlicher Auswirkungen geweckt. Embryonales bzw. fötales Gewebe ist sehr empfindlich gegenüber diverser schädlicher Einflüsse, einschließlich Strahlung. Es existieren eine Reihe von Studien, welche berichten, dass selbst die Belastung mit geringen Dosen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) während der Embryonalentwicklung, ernsthafte Folgen auf die spätere Gesundheit haben können. Hoden von Säugetieren gelten im Allgemeinen als sehr anfällige Organe gegenüber Stressfaktoren. Beeinträchtigungen der Hodenentwicklung während der embryonalen Phase können die Fähigkeit der Gonaden (männliche Keimdrüsen), Spermatozoen zu produzieren, nachhaltig negativ beeinflussen. Aus diesem Grund entschieden sich die Autoren der hier vorgestellten Studie, den Einfluss von 2,45 GHz Hochfrequenzstrahlung auf Reproduktionsparameter erwachsener männlicher Ratten zu untersuchen, welche lediglich während ihrer Embryonalentwicklung (in utero) bestrahlt wurden.

#### Studiendesign und Durchführung:

Insgesamt 6 trächtige Ratten (3 bestrahlt, 3 Kontrollen) wurden in einer Expositions-kammer für freilaufende Tiere bestrahlt. Die Kontrolltiere wurden unter Standardbedingungen gehalten und nicht bestrahlt (keine Scheinbestrahlung). Die Bestrahlung erfolgte von Tag 1 der Trächtigkeit bis zum Wurf mit 2,45 GHz, 2,8 mW/cm<sup>2</sup>, SAR = 1,82 W/kg für 2 Stunden täglich. Da die Bestrahlung intrauterin stattfand, konnte eine Temperaturerhöhung nicht ausgeschlossen werden. Dementsprechend können die Wissenschaftler nicht die Beteiligung einer thermischen Wirkung in dem Experiment

bestätigen oder ausschließen. Zwei männliche Nachkommen pro Muttertier wurden 75 Tage nach der Geburt geopfert und deren Hodengewebe untersucht. Es folgten morphologische Analysen, histochemische und immunohistochemische Untersuchungen.

#### Ergebnisse:

Die morphologischen Analysen offenbarten diffuse, moderate, degenerative Veränderungen der Hoden bei den bestrahlten männlichen Ratten. Es wurden Unregelmäßigkeiten in der Morphologie der Hodenkanälchen (Durchmesser, Epithelhöhle, Zwischenzellraum) sowie unreife Keimzellen im Lumen der Hodenkanälchen festgestellt. Die Hodenkanälchen sind das Gewebe, in dem im Rahmen der Spermatogenese die Spermien gebildet werden (Anm. der Redaktion). Eine elektronenmikroskopische Bewertung zeigte degenerative Veränderungen in verschiedenen Zelltypen, unter anderem waren Sertoli-, Leydig- sowie verschiedene Stadien der sich entwickelnden Keimzellen betroffen. Die histochemische Fluoro Jade - C-Untersuchung bestätigte degenerative Veränderungen innerhalb der Hodenkanälchen. Abschließend wurden oxidative Veränderung durch die Konzentration des Enzyms Superoxid-Dismutase (SOD2) bewertet. Dies fand mittels immunohistochemischer Methoden statt.

Die Hochfrequenzstrahlung verursachte eine erhöhte SOD2 Produktion in den Keimzellen, welche im Rahmen der Spermatogenese Zellteilung durchlaufen (Spermatogonien und Spermatozyten). Bei den Spermatozyten, welche die Meiose bereits durchlaufen hatten, wurden allerdings geringere Konzentrationen von SOD2 festgestellt.

#### Schlussfolgerungen:

Die Autoren schlussfolgern, dass Strahlungsbelastung (2,45 GHz, 2,8 mW/cm<sup>2</sup>, SAR = 1,82 W/kg, 2h/Tag), welche vor der Geburt stattfand, im späteren Verlauf des Lebens einen negativen Einfluss auf die Hodenstruktur sowie die Spermatogenese der Ratten besaß. Sie ziehen oxidative Schädigungen sowie eine beeinträchtigte Blut-Hoden-Schranke als mögliche Mechanismen in Betracht, wie die Gewebeschäden entstehen konnten. Diese Gewebeschäden manifestierten sich in Form von Keimzelldegeneration sowie morphologischen Veränderungen. Laut den Wissenschaftlern könnte die Elektronenmikroskopie Hinweise darauf liefern, dass die gestörte Spermatogenese aus einer fehlerhaften Konformation der Sertoli-Zellen, oder einer Kombination aus Entwicklungsstörungen von Sertoli-, Leydig- und Stammkeimzellen resultierte. (RH)



### Verringerte Zellteilung durch LTE

## Kontinuierliche Belastung mit elektromagnetischen 1,7 GHz LTE-Feldern erhöht intrazelluläre reaktive Sauerstoffspezies, was zu verringerter Zellteilung menschlicher Zellen führt und Seneszens induziert

Choi J, Min K, Jeon S, Kim N, Paek JK, Song K (2020): Continuous Exposure to 1.7 GHz LTE Electromagnetic Fields Increases Intracellular Reactive Oxygen Species to Decrease Human Cell Proliferation and Induce Senescence. *Sci Rep.* 2020;10(1):1-15. doi:10.1038/s41598-020-65732-4

Die Entwicklung drahtloser Kommunikationstechnologie hat dazu beigetragen, unser Leben effizienter und bequemer zu gestalten. Im Gegenzug sind wir ständig hochfrequenten elektromagnetischen Felder (HF-EMF) ausgesetzt und die Belastung der Umwelt durch Hochfrequenz hat stetig zugenommen. Die Auswirkungen der Hochfrequenzstrahlung auf den Menschen werden in der Wissenschaft zunehmend diskutiert. So werden beispielsweise zwei groß angelegte Tierstudien des US-NTP sowie des Ramazzini-Instituts, welche krebsfördernde Wirkungen von Mobilfunkstrahlung belegten, von der ICNIRP auf Grund von technischen Limitierungen angezweifelt.

Die physiologische Wirkung von Hochfrequenz auf Gewebe oder Zellen beinhaltet sowohl thermische als auch nicht-thermische Effekte. Studien zu 900 MHz-Hochfrequenz lassen vermuten, dass Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS), Störung der Kalzium Homöostase sowie Veränderung der Genexpression die Hauptmechanismen darstellen könnten, die zu nicht-thermischen Auswirkungen von HF-EMF führen. In der hier vorgestellten Studie werden die nicht-thermischen Wirkungen von 1,7 GHz LTE-Strahlung auf das Wachstum verschiedener menschlicher Zellen in vitro untersucht. Zu diesen Zellen gehören Mesenchymale Stammzellen aus Fettgewebe (ASC), Leberkrebs-Stammzellen (CSC), den Leberkrebs-Zelllinien Huh7 und Hep3B, der Neuroblastom-Zelllinie SH-SY5Y, der Gebärmutterkrebs-Zelllinie HeLa sowie den normalen Fibroblasten IMR-90.

### Studiendesign und Durchführung:

Als Expositionssystem diente eine konische Hornantenne, die Frequenz betrug 1,76 GHz. Das System wurde speziell dafür entwickelt, die Kulturbedingungen der Zellen zu kontrollieren, einschließlich Belüftung, Luftfeuchtigkeit und Temperatur. Das Bestrahlungssystem operierte bei 6,65 W (SAR = 1 W/kg) bzw. 13,30 W (SAR = 2 W/kg). Thermische Auswirkungen wurden durch ein ausgeklügeltes Kühlsystem ausge-

schlossen. Die Zellen wurden für 72 h bestrahlt bzw. scheinbe-  
strahlt und anschließend analysiert. Zellteilung, DNA-Schäden  
sowie Apoptose, Zellseneszens, Zellzyklus und Bildung reaktiver  
Sauerstoffspezies wurden in vitro untersucht. Bei Zell-  
seneszens handelt es sich um ein Phänomen, bei dem Zellen  
aufhören sich mitotisch zu teilen, ihr Zellzyklus wird gewisser-  
maßen eingefroren. (Anm. der Redaktion)

### Ergebnisse:

Die Autoren untersuchten die Auswirkungen der Bestrah-  
lung auf die Zellteilung. Dabei wurden zunächst die ASC und  
Huh7 Zellen analysiert. Im Vergleich zu den scheinbe-  
strahlten Kontrollen verminderte sich bei den ASC-Zellen die Zell-  
teilung um 12% respektive 54% nach Bestrahlung mit 1 W/kg  
bzw. 2 W/kg. In den Huh7-Zellen waren die Auswirkungen stär-  
ker: die Verminderung der Zellteilung lag hier bei 21% respek-  
tive 73%. Um die teilungseinschränkende Wirkung der Hoch-  
frequenz zu bestätigen, wurde das Experiment mit den Hep3B,  
HeLa, SH-SY5Y sowie IMR90 Zellen wiederholt. Vergleichbar  
mit den Huh7 lag hier die Abnahme der Zellteilung zwischen  
30 ~ 35% bei SAR 1 und 49 ~ 88% bei SAR 2. Diese Ergebnisse  
demonstrieren, dass eine kontinuierliche Belastung mit 1,7 GHz  
LTE-Hochfrequenz über 72 h die Zellteilung sowohl von Krebs  
als auch von normalen Zellen, unabhängig ihres Ursprungsge-  
webes, konsequent verminderte. Außerdem waren die ASC-  
Zellen weniger empfindlich gegenüber der Hochfrequenz als  
die anderen Zelltypen. Anschließend versuchten die Wissen-  
schaftler herauszufinden, wie die Hochfrequenzstrahlung  
die Zellteilung vermindern konnte. Bei den nachfolgenden  
Untersuchungen wurden lediglich die ASC und Huh7 Zellen  
berücksichtigt.

Um dem Mechanismus auf den Grund zu gehen, wurden  
DNA-Schäden und Apoptose untersucht. Beides konnte nicht  
durch die Hochfrequenzstrahlung hervorgerufen werden. Als  
nächstes widmeten sich die Autoren der Zellseneszens, welche  
das Voranschreiten des Zellzyklus verlangsamt oder verhindert  
und so Zellwachstum verringern kann. Es wurden eine Reihe  
von Markern untersucht, welche zeigten, dass beide Zellarten  
von Seneszens betroffen waren. In beiden Fällen war der Effekt  
bei SAR 2 stärker als SAR 1. Die Huh7-Zellen waren wesentlich  
sensitiver gegenüber der Strahlung als die ASC-Zellen. Dies  
stimmt mit den Beobachtungen bei der Zellteilung überein. Die  
Analyse der zellulären Seneszensmarker weist deutlich darauf  
hin, dass die verminderte Zellteilung als Folge von Hochfre-  
quenzstrahlung, auf die Induktion von Zellseneszens zurückzu-  
führen ist. Des Weiteren konnten die Autoren demonstrieren,  
dass die Zellzyklusverzögerung bei der G1/S-Transition statt-  
fand.

Abschließend widmeten sich die Wissenschaftler der Frage,  
wie die Zellseneszens verursacht wurde. Sie konnten zeigen,  
dass insbesondere bei SAR 2 vermehrt reaktive Sauerstoff-  
spezies gebildet wurden. Das Signal des untersuchten Markers

war bei Huh7 stärker als bei ASC, was wiederum in Übereinstimmung ist mit der Ausprägung der verringerten Zellteilung. Um sicher zu gehen, dass es sich bei dem beobachteten Phänomen der ROS-Bildung nicht lediglich um eine Korrelation, sondern um einen mechanistischen Zusammenhang handelt, wurden die Zellen vor der Exposition mit Antioxidantien behandelt. Dies führte zu einer signifikanten Verminderung der ROS sowie zu der Wiederherstellung der Zellteilung. Dies weist deutlich darauf hin, dass intrazelluläre reaktive Sauerstoffspezies, welche durch Hochfrequenzbelastung entstehen, eine Schlüsselrolle bei der Verringerung der Zellteilung verschiedener menschlicher Zellen spielen.

### Schlussfolgerungen:

Die Autoren zeigten, dass die kontinuierliche Belastung mit 1,7 GHz LTE-Hochfrequenz über 72h bei einem SAR<sub>1</sub> = 1 W/kg und einem SAR<sub>2</sub> = 2 W/kg zu einer Verminderung der Zellteilung in allen untersuchten Zelltypen führte. Dabei war der Zellursprung (Gewebetyp, normale Zelle, Krebszelle) nicht von Bedeutung. Der SAR-Wert stand hierbei in direktem Zusammenhang zu der Ausprägung der verminderten Zellteilung. Des Weiteren konnte demonstriert werden, dass die verminderte Zellteilung durch eine ROS-induzierte Zellseneszenz verursacht wurde, nicht etwa durch DNA-Schäden oder Apoptose. Laut den Autoren sei es bemerkenswert, dass die signifikante ROS-Bildung in den Mitochondrien der Zellen nachgewiesen werden konnte, was darauf hindeutet, dass Hochfrequenzbelastung die Effizienz des Elektronentransportsystems der Mitochondrien negativ beeinflussen kann. Es seien weitere Studien notwendig um zu verstehen, wie HF-EMF das Elektronentransportsystem sowie die ROS-Bildungsrate verändert. Es sei jedoch nicht sinnvoll, die physiologischen Auswirkungen von Hochfrequenz direkt aus dieser zellbasierten Studie abzuleiten.

Die teilungshemmende Wirkung von 1,7 GHz LTE-Strahlung weist jedoch darauf hin, dass die Belastung für Kinder schädlicher sein könnte, da sich deren adulte Stammzellen sehr aktiv teilen. Außerdem könnte die Alterung von Körperzellen beschleunigt werden. Sie bemerken außerdem, dass Vorsicht mit Rückschlüssen auf die teilungsmindernde Wirkung von Hochfrequenz auf Krebszellen geboten wäre, da sowohl positive als auch negative Auswirkungen von HF-EMF auf Krebsentwicklung berichtet wurden. (RH)



### LTE-Hochfrequenz, Hirngewebe und Melatonin

## Die Wirkung von 2600-MHz-Strahlung auf Hirngewebe von männlichen Wistar-Ratten und die das Nervengewebe schützende Wirkung von Melatonin

Delen K, Sirav B, Oruç S, Seymen CM, Kuzay D, Yeğin K, Take Kaplanoglu G (2021): Effects of 2600 MHz Radiofrequency Radiation in Brain Tissue of Male Wistar Rats and Neuroprotective Effects of Melatonin. *Bioelectromagnetics* 42 (2), 159–172, <https://doi.org/10.1002/bem.22318>

Auf der Grundlage der Studien, die ein steigendes Risiko für Gliome durch Mobiltelefone gefunden haben, hat die International Agency for Research on Cancer (IARC) die Hochfrequenzstrahlung als möglicherweise Krebs erregend eingestuft. Das Gehirn ist der Strahlung direkt ausgesetzt, da es eine geringe antioxidative Enzymaktivität und hohen Sauerstoffverbrauch hat, ist Hirngewebe besonders empfindlich gegenüber oxidativer Schädigung. Viele Studien zeigten die verschiedensten Auswirkungen der Strahlung, andere fanden keine Schädigungen. Ein wesentlicher und oft nachgewiesener Faktor ist oxidativer Stress, der durch ein Ungleichgewicht von freien Sauerstoffradikalen und Antioxidanzien in Geweben und Zellen entsteht, dem durch Melatonin entgegengewirkt werden kann. Oxidativer Stress kann zu degenerativen Erkrankungen führen wie Alzheimer- und Parkinsonkrankheit und Amyotropher Lateralsklerose (ALS). Von oxidativem Stress nimmt man an, dass frühzeitige Alterung und früheres Eintreten von altersbedingten Erkrankungen, z. B. Herz-Kreislauf-Beschwerden und Krebs, entstehen. Antioxidative Substanzen, beispielsweise Pflanzenextrakte, Vitamine und Melatonin, können dem entgegenwirken.

Die Mechanismen der biologischen Wirkungen von Mobilfunkstrahlung sind noch nicht ganz klar, aber klar ist, dass unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte nicht-thermische Wirkungen auftreten. Diese Studie hatte zum Ziel, die degenerative Wirkung von 2600-MHz-Strahlung (Histologie, oxidative Schädigung und Apoptose) und die Wirkung von Melatonin auf Hirnrinde, Hippocampus und Astrozyten des Hirngewebes von männlichen Ratten zu untersuchen.

### Studiendesign und Durchführung:

36 männliche Ratten wurden auf 6 Gruppen verteilt: 1. Käfigkontrolle, 2. scheinbestrahlte Kontrolle, 3. Bestrahlte Gruppe mit 2600 MHz (30 min, 5 Tage pro Woche 30 Tage lang). Das Gleiche für die Melatonin Gruppe: 4. Käfigkontrolle, 5. scheinbestrahlte Kontrolle und 6. Bestrahlung mit Melatonin (jeweils tägliche subkutane Gabe von 10 mg/kg Melatonin, 30 Tage lang). Die Bestrahlung wurde mit einem Generator durch-

geführt. Das elektrische Feld in den Käfigen betrug 21,74 V/m, Hintergrund 0,88 V/m, Ganzkörper-SAR 0,616 W/kg, SAR für das Gehirn 0,44 W/kg für 1 g Gewebe bzw. 0,295 W/kg für 10 g Gewebe. Das Hirngewebe der Ratten wurde mikroskopisch auf strukturelle Veränderungen immunohistochemisch und histochemisch, auf oxidative Parameter (MDA, NOx, MPO, GSH, SOD und GSH-Px) und Apoptose untersucht.

### Ergebnisse:

Die Strahlung erzeugte statistisch signifikante Abnahme von GSH, GSH-Px und SOD-Konzentrationen im Hirngewebe, einen signifikanten Anstieg von MPO, MDA und NOx-Konzentrationen. Nicht signifikante Unterschiede gab es zwischen 1. der Käfig-Kontrolle und der scheinbestrahlten Gruppe, 2. Melatonin und Scheinbestrahlung, 3. Käfigkontrolle und Melatonin und 4. Scheinbestrahlung und Scheinbestrahlung mit Melatonin. Melatonin verminderte die oxidative Wirkung der Strahlung.

Die histologischen Untersuchungen der Gehirne ergaben einen Anstieg von Zelldeformationen und Apoptose im Hirngewebe bei den bestrahlten Gehirnen. Alle Kontrollgruppen und die Melatoningruppen zeigten normale Strukturen (Neuronen, Neuroglia und Blutgefäße). Bei den bestrahlten Gehirnen ohne Melatonin sah man in der Hirnrinde erweiterte Gefäße, Pyramidenneuronen mit abnormer Morphologie und apoptotische Neuronen. Im Hippocampus waren dieselben Veränderungen, zusätzlich waren die Neuronen anders verteilt, es gab weniger Neuronen und eine Zunahme von Astrozyten, erweiterte Blutgefäße und Ödeme um die Gliazellen. Die Melatoningabe bewirkte normale Strukturen, aber geweitete Gefäße waren vorhanden und in der Hirnrinde gab es abnorme Pyramidenzellen. Im Hippocampus zeigten sich geringe Veränderungen, insgesamt aber ähnliche Verhältnisse wie bei den Käfigkontrollen. Die immunohistochemische Untersuchung (GFAP-Färbung) bestätigte die schädigende Wirkung der Strahlung in Nerven- und Gliazellen.

In der Apoptose-Untersuchung konnte in den Kontroll- und Melatoningruppen eine geringe Zahl von geschädigten Nerven- und Gliazellen in Hirnrinde und Hippocampus nachgewiesen werden, in der bestrahlten Gruppe gab es signifikant höhere Zahlen apoptotischer Zellen, die meisten im Hippocampus. Melatonin verringerte die Zahl der Apoptose-Zellen signifikant in der bestrahlten Gruppe.

### Schlussfolgerungen:

2600 MHz ist Bestandteil der LTE-Mobilkommunikation. In dieser Studie führten 30 Minuten tägliche Bestrahlung über 30 Tage zu Abnahme der antioxidativen Parameter, Zunahme der oxidativen Parameter, Anstieg der Apoptose und Strukturveränderungen in Hirnrinde und besonders im Hippocampus von männlichen Ratten. Von außen zugeführtes Melatonin reduzierte die Schädigungen signifikant. Apoptose in Nervenzellen

kann zu neurodegenerativen Erkrankungen führen, Apoptose in Gliazellen birgt das Risiko von Hirntumoren. Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass beide Risiken bestehen, obwohl die Strahlung nur 30 Minuten an 5 Tagen/Woche 30 Tage lang einwirkte. Diese Studie erbrachte Anzeichen, dass Hochfrequenzstrahlung für oxidativen Stress im Hirngewebe verantwortlich ist, da die oxidativen Parameter erhöht und die antioxidativen verringert waren. Bestätigt wird das durch von außen zugeführte Melatoninbehandlung, die die oxidative Wirkung der Strahlung signifikant verringerte. Die Strahlung verursachte Apoptose und Degeneration der Zellstruktur im Hirngewebe, Melatoningabe führte aktiv zur Minderung der Degeneration. Die GFAP-Immunreaktionen und die Anzahl der Apoptosezellen sahen mit Melatoningabe normal aus. Als Vorsorgemaßnahme wird die Reduktion der Mobilfunkstrahlung empfohlen und tägliche Einnahme von Melatonin kann eine schützende Wirkung haben. (IW)



### HF-Wirkung auf Nervenzellen

## 1800 MHz Hochfrequenz beeinträchtigt Neuritenwachstum durch Hemmung des EPHA5-Signalwegs

Chen C, Ma Q, Deng P, Lin M, Gao P, He M, Lu Y, Pi H, He Z, Zhou C, Zhang Y, Yu Z, Zhang L (2021): 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Field Impairs Neurite Outgrowth Through Inhibiting EPHA5 Signaling. *Front Cell Dev Biol.* 2021;9(April):1-16. doi:10.3389/fcell.2021.657623

Wissenschaftliche Belege, dass eine dauerhafte Belastung mit Hochfrequenzstrahlung durch Mobiltelefone, Basisstationen und andere elektronische Geräte gefährliche und gesundheitliche Auswirkungen haben können, häufen sich. Zu diesen Auswirkungen gehören ein erhöhtes Tumorrisiko, Beeinträchtigung der neuronalen Entwicklung sowie ein erhöhtes Risiko für neurodegenerative Krankheiten. Insbesondere die Einflüsse auf die Gehirnentwicklung von Kindern geben Anlass für erhebliche Bedenken. Frühere Studien beschreiben mögliche Mechanismen, wie Hochfrequenz auf das Gehirn wirken kann: Beeinflussung der Blut-Hirn-Schranke, Induktion von Neuroinflammation, Veränderung der Aktivität spezifischer Kalziumkanäle, Induktion von Autophagie sowie Hervorrufen von oxidativem Stress. Auf Grund der unzureichenden Studienlage ist vieles jedoch unbekannt, insbesondere wie Hochfrequenz auf frühe Entwicklungsstadien wirkt. Dies beinhaltet z.B. die Differenzierung embryonaler neuraler Stammzellen (NSZ) und den Prozess des Neuritenwachstums. Um die Frage zu klären,

wie sich Hochfrequenz auf die Entwicklung neuronaler Zellen auswirkt, haben die Autoren Hochdurchsatz-RNA-Sequenzierungstechniken angewandt. Dies sollte Aufschluss geben, welche Signalwege bei Zellen, die sich aus embryonalen neuronalen Stammzellen entwickelt haben, durch 1800-MHz Belastung verändern.

### **Studiendesign und Durchführung:**

Bei dieser in vitro Studie wurden zwei verschiedene Zelltypen verwendet: embryonale neuronale Stammzellen (NSZ) isoliert aus Mausembryonen, sowie die Neuroblastomzelllinie Neuro-2A. Beide wurden in vitro zur Differenzierung in „funktionale“ Nervenzellen angeregt und anschließend bestrahlt. Bei den NSZ erfolgte die Bestrahlung 48h nach der Differenzierung, bei den Neuro-2A 24h nach Differenzierung. Die Zellen wurden in einer speziellen Apparatur bei einer Frequenz von 1800 MHz mit einem Gesprächsmodus-simulierenden GSM-Signal bestrahlt. Die Bestrahlung erfolgte diskontinuierlich (5 min. an, 10 min. aus) über 48h. Es wurde ein SAR-Wert von 4 W/kg gewählt. Die bestrahlten und scheinbe-strahlten Zellen wurden anschließend mit der angesprochenen Hochdurchsatz-RNA-Sequenzierung untersucht. Außerdem erfolgte eine Analyse des Neuritenwachstums, histochemische sowie immunohistochemische Methoden sowie ein Antikörper-Microarray (Phosphorylierungsanalyse).

### **Ergebnisse:**

Die Autoren untersuchten zunächst Veränderungen des Gesamttranskriptoms der differenzierten neuronalen Stammzellen (NSZ) nach Hochfrequenzbelastung mittels RNA-Sequenzierung. Dies kann Aufschluss darüber geben, welche Gene verändert abgelesen werden und damit welche Proteine vermehrt oder vermindert gebildet werden. Letztendlich gibt die Transkriptomanalyse eine Einsicht, wie die Proteinbiosynthese durch den Einfluss von Hochfrequenzstrahlung verändert wird (Anm. der Redaktion). Die Transkriptomanalyse zeigte veränderte Genexpression von Genen, welche eng mit der Axon- bzw. Dendritenentwicklung verbunden waren. Es folgte eine KEGG-Signalweganalyse welche zeigte, dass Signalwege, welche eng mit der Neuritenentwicklung (Dendriten und Axone) in Verbindung gebracht werden, betroffen waren. Darunter fällt z.B. eine modifizierte Signaltransduktion des PI3K-AKT-, mTOR- und cGMP-PKG-Wegs. Letztendlich weisen diese Daten darauf hin, dass Hochfrequenzstrahlung die Neuritenentwicklung beeinflusst.

Um die Daten aus der Transkriptomanalyse zu bestätigen, wurden sowohl differenzierte NSZ als auch differen-

zierte Neuro-2A Zellen mit immunohistochemischen Methoden sowie Lebendzellverfahren untersucht. Dies offenbarte sowohl eine verminderte Länge der Neuriten als auch eine verringerte Anzahl an Verzweigungspunkten nach Bestrahlung. Diese Daten zeigen auf, dass die 1800-MHz-Strahlung eine signifikant hemmende Wirkung auf die Ausbildung von Neuriten besitzt. Die Autoren bemerkten, dass die Bildung eines bestimmten Eph-Rezeptors (EPHA5) sowohl in den differenzierten NSZ als auch Neuro-2A Zellen nach Bestrahlung reduziert war. Eph-Rezeptoren regulieren grundlegende Entwicklungsprozesse des Neuritenauswuchses und spielen damit eine wichtige Rolle bei der Gehirnentwicklung. Die Wissenschaftler demonstrierten, dass das Ausschalten von EPHA5 zu einer deutlichen Abnahme der Länge und Verzweigungspunkte von Neuriten führte (ohne Bestrahlung). Um zu bele-

## **Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Hochfrequenzstrahlung das Wachstum von Neuriten (Dendriten und Axone) hemmt.**

gen, dass die Hochfrequenzwirkung mit EPHA5 zusammenhängt, wurden die Zellen während der Bestrahlung mit „künstlichem“ rekombinanten EPHA5 behandelt. Dies konnte die hemmende Hochfrequenzwirkung auf das Neuritenwachstum neutralisieren. Diese Ergebnisse liefern den Hinweis, dass EPHA5 eine Schlüsselrolle bei der Hochfrequenzwirkung

auf das Neuritenwachstum spielt. Im Anschluss untersuchte die Arbeitsgruppe die nachgeschalteten Signalmechanismen der Eph-Rezeptoren. Die Antikörper-Microarray-Analyse konnte demonstrieren, dass CREB und RhoA nachgeschaltete Faktoren von EPHA5 waren. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass Hochfrequenzstrahlung das Auswachsen von Neuriten durch den EPHA5-vermittelten CREB/RhoA Signalweg hemmt.

### **Schlussfolgerungen:**

Die Auswirkungen von Hochfrequenz auf die Gehirnentwicklung sind noch nicht gut erforscht, insbesondere mechanistische Zusammenhänge sind noch nicht verstanden. In dieser in vitro Studie wurde ein Neuronenentwicklungsmodell aus künstlich differenzierten, neuronalen Stammzellen untersucht. Dieses Modell wurde mit einer Kombination aus Hochdurchsatz-RNA-Sequenzierung und Antikörper-Microarray analysiert, um die Auswirkung und Mechanismen von Hochfrequenz auf die Entwicklung von Nervenzellen besser zu verstehen. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass Hochfrequenzstrahlung das Wachstum von Neuriten (Dendriten und Axone) hemmt. Die Autoren identifizieren einen veränderten EPHA5-CREB/RhoA Signalweg als Schlüsselfaktor. Laut den Wissenschaftlern trägt dieses Ergebnis dazu bei, die Wirkung und Mechanismen von Hochfrequenz auf das Neuritenwachstum aufzudecken. (RH)





### Hochfrequenzwirkung auf Reispflanzen

## Elektromagnetische Bestrahlung bewirkt physiologische und molekulare Veränderungen in Reis.

Kundu A, Vangaru S, Bhattacharyya S, Mallick, Gupta B (2021): Electromagnetic Irradiation Evokes Physiological and Molecular Alterations in Rice. *Bioelectromagnetics* 42 (2), 173-185

Elektromagnetische Energie hat einen geringen aber messbaren Einfluss auf viele verschiedene Lebewesen. Zur Absorption der Energie in Pflanzen ist wenig bekannt. Das höhere Verhältnis von Oberfläche zu Volumen mit enormer Wasserionen-Konzentration bei Pflanzen liefert ein ideales Studienobjekt zur Untersuchung der Wechselwirkung mit nicht-ionisierender Strahlung. Verschiedene biologische Gewebe in Menschen und Pflanzen haben einigermassen hohe dielektrische Eigenschaften, sie absorbieren ziemlich viel elektromagnetische Energie von vielen hochfrequenten Feldern gleichzeitig. Da Pflanzen an ihren Standort gebunden sind, sind sie der Bestrahlung gleichmäßiger und stärker ausgesetzt als Tiere und Menschen. Reispflanzen eignen sich gut als Modell, weil sie ein kleines Genom haben und viel darüber bekannt ist. Dies ist die erste Studie, die bei niedrigeren Bestrahlungsintensitäten als die ICNIRP-Richtlinien festlegen, signifikante Ergebnisse bei Reispflanzen lieferte.

### Studiendesign und Durchführung:

In dieser Studie wurden Reispflanzen einer weit verbreiteten Sorte (Var. Satabdi) mit Mobilfunkstrahlung von 1837,50 MHz (2,75 W/m<sup>2</sup> für 6 Stunden/Tag, 15 dBm, 31,6 mW) bestrahlt und mit je 30 Samen die Keimungsrate bestimmt mit 6 unabhängigen Wiederholungen. Die Samen wurden im Sommer bei Raumtemperatur (Lufttemperatur am Tag 32 °C, nachts 27 °C) bestrahlt, die Kontrollen scheinbestrahlt. Nach der Bestimmung der Keimungsrate wurden die Keimlinge in Töpfe gepflanzt und ein Ansatz einmal kurzzeitig = 2,5 Stunden, ein Ansatz 12 und einer 32 Tage lang täglich 6 Stunden bestrahlt (je 3 Wiederholungen). In den 12- und 32-Tage-Pflanzen erfolgte die Bestimmung der Genexpression, dazu wurden in den 32-Tage-Pflanzen die Photosynthese-Pigmente bestimmt. Nach der Kurzzeitbestrahlung wurden Blätter von 12 Tage alten Pflanzen zur Bestimmung der relativen Genexpression von Genen mit bekannten Funktionen verwendet. Die abgeschirmte Kammer für die Scheinbestrahlung hatte eine Strahlungsintensität von 0,07 W/m<sup>2</sup>, 40-mal geringer als die bestrahlten Pflanzen. Allerdings haben einige Forscher Reaktionen von Pflanzen bei weniger als 0,07 W/m<sup>2</sup> bei verschiedenen Frequenzen gefunden. Untersucht wurden Keimungsra-

te und die Photosynthese-Pigmente Chlorophyll a und b sowie Carotinoide. Für die relative Expression von Stress-bezogenen Gen-Produkten wurden Calmodulin, Proteinase-Inhibitor (PIN), basic leucine zipper (bZIP1), Kalzium-abhängige Proteinkinase (CDPK), Phytochrom B, Phytochrom C und Teosinte branched 1 (TB1) bestimmt.

### Ergebnisse:

Die Keimungsrate betrug 76,67 % bei den bestrahlten und 83,9 % bei den scheinbestrahlten Pflanzen. Die periodische Bestrahlung bewirkte demnach eine signifikante Verminderung der Keimungsrate. Bei den 32 Tage alten Pflanzen bewirkte die Bestrahlung nicht-signifikant verminderte Pigment-Konzentrationen von Chlorophyll a und b sowie Carotinoiden; das Verhältnis von Chlorophyll a zu Chlorophyll b war herabgesetzt.

Bei den 12 Tage lang bestrahlten Reispflanzen ergab sich eine nicht-signifikante Hochregulation von PIN (1,53-fach) und CDPK1 (1,60-fach). Signifikante Steigerung der Expression zeigte sich bei Phytochrom B (10,60-fach) und Phytochrom C (6,09-fach).

Bei den 32 Tage lang bestrahlten Reispflanzen war PIN unverändert. Erhöht waren Calmodulin 2,35-fach, CDPK1 7,34-fach, Phytochrom B 1,17-fach und Phytochrom C 2,59-fach. Vermindert wurde die Expression der bZIP1- und TB1-Gene (2-fach bzw. 4,63-fach). TB1 wurde nur bei den 32-Tage-Pflanzen untersucht.

Die kurzzeitig für 2,5 Stunden bestrahlten 12 Tage alten Pflanzen zeigten sofort nach der Bestrahlung einen Überschuss an bZIP1-Genen, die Gene von Phytochrom B und Phytochrom C waren erhöht exprimiert. Die relative Genexpression der 12 Tage alten Pflanzen unmittelbar nach der 2,5-stündigen Bestrahlung: Calmodulin und PIN waren fast unverändert, andere waren deutlich hochreguliert, bei bZIP1 (262,88-fach), CDPK1 (3,53-fach, Phytochrom B (2,48-fach) und Phytochrom C (2,23-fach).

### Schlussfolgerungen:

Die Keimungsraten waren nach Bestrahlung mit 1837,5 MHz reduziert, was auf geringere Wasseraufnahme der Samen zurückgeht. Die Konzentrationen der Photosynthesepigmente Chlorophyll a, Chlorophyll b und Carotinoide waren nicht-signifikant reduziert. Die Stress-bezogenen Gene waren z. T. signifikant verändert. Beides, sofortige Reaktion nach einmaliger Kurzzeit-Bestrahlung (2,5 Stunden) und auch wiederholte Bestrahlung mit drahtlosen Kommunikationssystemen bedeutet abiotischen Stress für die Pflanzen, sichtbar an der Hoch- oder Herunterregulierung von bekannten Stress-empfindlichen Genen. Mit der Zeit und steigendem Alter kann in den Pflanzen eine gewisse Anpassung erfolgen.

Die Experimente wurden bei Feldstärken unterhalb der von der ICNIRP festgelegten Grenzwerte für elektromagnetische Felder durchgeführt. Die Reispflanzen zeigten dabei physio-

logische und molekulare Veränderungen. Zusammen mit den hohen dielektrischen Eigenschaften und weil die Reispflanzen an ihren Standort gebunden sind, wirkt die Strahlung stärker als bei Säugetieren. Die Richtlinien der ICNIRP für elektromagnetische Felder sollten überdacht werden, da auch unterhalb der Grenzwerte biologische Wirkungen zu beobachten sind. (IW)

## Niederfrequenz



### Niederfrequente Felder und Herzratenvariabilität Herzratenvariabilität und Magnetfeldbelastung bei Lokführern – eine Pilotstudie

Hansson Mild K, Bergling R, Hörnsten R (2021): Heart Rate Variability and Magnetic Field Exposure Among Train Engine Drivers—A Pilot Study. *Bioelectromagnetics* 42 (3), 259–264, <https://doi.org/10.1002/bem.22329>

Einige Studien haben gezeigt, dass Magnetfelder die Herzrate (HR) beeinflussen können. Der Sinusknoten, der im rechten Vorhof sitzt, reguliert den Herzrhythmus über beide Zweige des autonomen Nervensystems, den Sympathicus und den Parasympathicus. Die Herzratenvariabilität (HRV) zeigt an, wie sich die Zahl der einzelnen Herzschläge zeitlich verändert, d. h. anpassen kann. Das liefert Informationen über das autonome Nervensystem und ermöglicht Voraussagen über verschiedene Herzerkrankungen (Herzrhythmusstörungen und Herzschlag). Verminderte Variabilität erhöht das Risiko von Herzerkrankungen, während hohe Variabilität ein Zeichen für ein gesundes Herz ist. Die Untersuchung der HRV kann mit tragbaren EKG-Geräten durchgeführt werden. Die Analyse der EKG-Aufzeichnungen ist in verschiedene Bandbreiten unterteilt. Die Variabilität der niedrigen Frequenzen (0,003–0,15 Hz) gehört hauptsächlich zum Sympathicus, die höhere Frequenzvariabilität (0,15–0,4 Hz) wird nur über den Parasympathicus gesteuert. Studien haben gezeigt, dass niederfrequente Magnetfelder die HRV beeinflussen. Im Schlaf kann die Variabilität vor allem bei den niederen Frequenzen (0,0–0,1 Hz) signifikant reduziert sein, während sie bei hohen Frequenzen (0,15–0,4) gesteigert sein kann. Ein Magnetfeld von 16 Hz hatte eine stärkere Wirkung im Schlaf als 60 Hz, es scheint das zentrale Nervensystem betroffen zu sein. Eine Studie mit 140.000 männlichen Arbeitern in Elektrizitätswerken in den USA ergab einen signifikanten Anstieg der Sterberate durch Rhythmusstörungen und

Herzmuskel-Infarkte nach langjähriger Arbeit unter erhöhten Magnetfeldern. Eine Studie mit russischen Zugführern ergab ein erhöhtes Risiko für diejenigen Fahrer, die hohen Magnetfeldern besonders im Frequenzbereich unter 10 Hz ausgesetzt waren. Bei Schweizer Zugführern fand man einen Anstieg von Herzmuskelfinfarkten im Vergleich zur allgemeinen Bevölkerung (Kohortenstudie mit 18700 Angestellten der Schweizer Bahn). Das erhöhte Risiko betrug 25 % und der Anstieg war am höchsten bei jungen Fahrern. Das Personal war Magnetfeldern im 2-stelligen  $\mu\text{T}$ -Bereich ausgesetzt, die gleichen Werte wie bei Schwedischen Eisenbahnen. Eine Studie ergab bei kurzzeitiger Dauerexposition (50 Hz, 28  $\mu\text{T}$ ) Einfluss auf HR und HRV. Bei Schichtarbeitern tritt häufiger eine HRV-Reduktion im Schlaf auf als bei Tagarbeitern. Schichtarbeiter haben generell ein erhöhtes Risiko für Herz-Kreislauf-Erkrankungen.

#### Studiendesign und Durchführung:

In dieser Pilotstudie wurde die Herzrate bei männlichen Lokomotivführern getestet, die während eines Arbeitstages sehr hohen Magnetfeldern ausgesetzt sind. Die Zugführer wurden einen Tag lang (von 10.00 bis 10.00 Uhr) mit Magnetfeld-Messgerät und EKG-Gerät ausgestattet, um zu sehen, ob die Untersuchungsmethode in der Praxis für eine größere Studie geeignet ist. 7 Zugführer der Tagschicht nahmen teil, der jüngste war 40 und der älteste 55 Jahre alt, Durchschnitt 48,5 Jahre. Die Vergleichsgruppe bestand in 7 Männern mit leichter Arbeit in der Industrie (gesund, 8-Stunden-Tag, Nichtraucher, 29 bis 53 Jahre, Durchschnitt 39 Jahre). Die Teilnehmer trugen ein Holter-EKG- und ein Emdex-Magnetfeld-Messgerät (adaptiert an 16  $\frac{1}{3}$  Hz) über 24 Stunden. Zugführer haben häufig Nachtschicht, für die Studie wurden nur Tagschichten gefahren, die 4 Stunden dauern, dann kommt eine Pause. Manchmal übernachteten sie außer Haus, die Geräte blieben die ganze Zeit in Betrieb, wobei die Teilnehmer besondere Ereignisse aufschrieben. Die EKG-Aufzeichnungen wurden in einer Uniklinik ausgewertet.

#### Ergebnisse:

Die Magnetfeldmessungen ergaben durchschnittliche Feldstärken von 2,8–8,45  $\mu\text{T}$  in der Tagschicht und durchschnittlich 1,09–2,22  $\mu\text{T}$  über den ganzen Tag. Das sind beträchtlich höhere Werte als in den meisten anderen Berufen. Von den 7 Zugführern hatten 4 geringe Veränderungen im EKG, einer hatte relativ viele supraventrikuläre Extrasystolen (SVES), zwei hatten eine SVES, von denen einer zusätzlich einen atrio-ventrikulären Block hatte und einer hatte eine einzige ventrikuläre Extrasystole (VES). Keiner hatte subjektive Herzprobleme während der Aufzeichnungen und die Änderungen erforderten keine medizinische Behandlung.

Am Tag hatte die Kontrollgruppe eine leicht höhere Herzrate als die Zugführer. Die HRV ist am Tag bei den Zugführern im niederfrequenten Bereich (0,003–0,15 Hz, Sympathicus-domi-

niert) leicht niedriger und im hochfrequenten Bereich (0,015–0,4 Hz, Parasympathicus-dominiert) höher als bei der Kontrollgruppe. Nachts war die HRV bei den Zugführern geringer als bei der Kontrollgruppe. Das Verhältnis von niedrigen zu hohen Frequenzen zeigte bei den Zugführern eine verringerte Variabilität am Abend und in der Nacht. Im niederfrequenten Bereich gab es bei der HRV keinen Unterschied, ob die Teilnehmer fahren oder nicht fahren.

### Schlussfolgerungen:

Die HRV-Werte ergaben keine Anspannung der Fahrer während einer Tagschicht, nachts gibt es Anhaltspunkte, dass die Fahrer Schwierigkeiten haben zu entspannen. Als Zugführer hat man sehr unregelmäßige Arbeitszeiten. Die Studie zeigt, dass die Aktivität des Sympathicus nicht erhöht ist. Eine Erklärung könnte sein, dass die Zugführer am Tag sitzen oder stehen und später können sie sich wesentlich mehr bewegen.

Diese Pilotstudie hat gezeigt, dass die angewandte Methode mit den verwendeten Geräten bei Zugführern gut durchgeführt werden kann und für eine größere Studie mit einer größeren Gruppe geeignet ist. Mit der geringen Teilnehmerzahl dieser Pilotstudie konnte keine statistische Auswertung erfolgen, sie zeigt aber, dass eine HRV-Studie mit einer größeren Zahl von Personen, die beruflich hohen Magnetfeldern ausgesetzt sind, interessant ist. (IW)



### Wirkung von 50 Hz auf sensorische Nerven von Insekten

## Elektromagnetisches Feld und TGF- $\beta$ verstärken die kompensatorische Plastizität nach Verletzung des sensorischen Nervs amerikanischer Schaben.

Jankowska, M.; Klimek, A.; Valsecchi, C.; Stankiewicz, M.; Wyszowska, J. & Rogalska, J. (2021): Electromagnetic field and TGF- $\beta$  enhance the compensatory plasticity after sensory nerve injury in cockroach *Periplaneta americana*. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, 2021, 11, 1-11

Zumeist finden Experimente im Bereich des Bioelektromagnetismus entweder schädliche oder nützliche Effekte, oft abhängig von der Dauer und auch der Art der verwendeten elektromagnetischen Felder (EMF). Eine Forschergruppe aus Polen hat nun beides zugleich vorgefunden, und scheint hiermit auch komplexe Wirkmechanismen, wie sie in rezenten Jahren zunehmend aufgeklärt werden, zu bestätigen. Dies ist zu begrüßen, da ein gründliches Verstehen der potenziellen medi-

zischen Anwendungen elektromagnetischer Felder zugleich auch zu besserer Aufklärung und realistischeren Schutzmaßnahmen der allgemein vernachlässigten negativen gesundheitlichen Auswirkungen von EMFs führen sollte.

Untersucht wurden die Fluchreflexe von amerikanischen Schaben (*Periplaneta americana*) nach Nerven-Durchtrennung bei einem ihrer beiden Hinterleibsanhänge (Cerci), die als Luftdrucksensoren dienen. Die Wiederherstellung der Funktion nach einer sensorischen Nerven-Verletzung wird kompensatorische Plastizität genannt. Die Studie untersuchte die Auswirkungen der Anwendung eines Zellwachstum-regulierenden Zytokins (Transforming Growth Factor beta, TGF- $\beta$ ), bzw. eines niederfrequenten elektromagnetischen Feldes (50 Hz, 7 mT) auf den Prozess der kompensatorischen Plastizität des Fluchsystems der Schabe.

### Studiendesign und Durchführung

Es wurden amerikanische Schaben (*Periplaneta americana*) aus eigener Zucht verwendet. Die Tiere wurden in vier Gruppen aufgetrennt: unverletzte Kontrollen („non-injured“ NI-Ctr), verletzte Kontrollen (I-Ctr), EMF-exponierte (I-EMF) und mit TGF- $\beta$  behandelte verletzte Schaben (I-TGF).

Die bioelektrischen Aktivitäten der Nerven (prä- und postsynaptische Teile) wurden unter Windstimulation der Cerci vor und nach der Durchtrennung des rechten Cercus aufgezeichnet; dies sowohl bei Insekten, die EMF-exponiert oder mit TGF- $\beta$  behandelt wurden. Verhalten und Bewegungen der Schaben wurden per Digitalkamera aufgezeichnet und mit der idTracker-Software bearbeitet. Als EMF-Quelle diente eine eigens angefertigte Helmholtzspule (7 mT), die mit Netzfrequenz (50 Hz) betrieben wurde. Die EMF-Exposition wurde bis zu 3 Wochen lang durchgeführt, bei 1 Stunde täglich.

### Ergebnisse

Die Ablation des rechten Cercus verursachte einen Anstieg der Aktivität des linken präsynaptischen Teils der sensorischen Bahn. EMF-Exposition führte zu einer Hyperaktivität des linken Cercus-Nerven – etwa 100% erhöhte Aktivität im Vergleich zur unverletzten Kontrolle.

Der linke Cercus übernahm nun innerhalb mehrerer Wochen zunehmend – durch kompensatorische Plastizität – die Wahrnehmung für Reize von der rechten Seite, die vormals vom rechten Cercus wahrgenommen wurden. Die Wahrnehmung von Reizen von der rechten Seite pendelte sich nach 2 Wochen bei 50% des Empfindlichkeits-Levels für Reize von der linken Seite ein. Bei Behandlung mit EMF oder TGF- $\beta$  jedoch stieg die Empfindlichkeit der Wahrnehmung im Laufe von 3 Wochen auf über 80%.

Das Verhalten der Schaben war 24 h nach Durchtrennung des Cercus-Nerven, gemessen an der täglich zurückgelegten Distanz, deutlich erhöht (doppelt) im Vergleich zu unverletzten Kontrollen, und kehrte nach 3 Wochen auf den Startwert

(unverletzt) zurück. Hingegen blieb bei EMF-exponierten Schaben die Motilität nach 3 Wochen 40% höher als für die verletzten und unverletzten Kontrollen. EMF-Exposition bewirkte also hyperaktives Verhalten.

### Schlussfolgerungen

Die Exposition mit EMF und TGF- $\beta$  induzierte eine Erhöhung der Aktivität in beiden Teilen der sensorischen Bahn. Dies deutet auf verstärkende Effekte von EMF und TGF- $\beta$  auf die Fähigkeit der Insekten hin, Reize nach einer Cercus-Abtastung zu erkennen. Daten aus Lokomotionstests bestätigten die elektrophysiologischen Ergebnisse. EMF und TGF- $\beta$  erhöhen die kompensatorische Plastizität, vermutlich durch erhöhte neuronale Aktivierung und/oder Freisetzung von Wachstumsfaktoren. Die hier verwendete EMF-Exposition scheint allgemein neuronal aktivierend zu wirken und löst Hyperaktivität des untersuchten Cercus-Nerven und des Verhaltens aus, vermutlich durch direktes Eingreifen in molekulare Prozesse der neuronalen Signalübertragung. Drosophila-Versuche (Fogle 2015, Sherrard 2018) belegen eine Aktivierung spannungsgesteuerter Kaliumkanäle durch niederfrequente EMF, was wiederum zu einer erhöhten Feuerrate an Aktionspotentialen und Aktivierung der nachgeschalteten, synaptischen spannungsgesteuerten Calciumkanäle (VGCC) führt (Anm. der Redaktion).

Das neue an dieser Studie ist, dass gezieltes Stimulieren der neuronalen Aktivität durch ein EMF zwar auffällige Verhaltensstörungen bewirkt, aber auch eine beschleunigte Kompensation des Wahrnehmungsdefizits aufgezeigt wurde. Dies lässt medizinische Anwendungen im Bereich der Neurorehabilitation von Schlaganfallpatienten erhoffen – und auch eine genauere Beurteilung der biologisch akzeptablen Schwellenwerte für künstliche EMF.

Die Übernahme der Funktion eines Cercus durch den zweiten beweist die Existenz von kompensatorischer Plastizität im Fluchsystem der Schabe, was sie zu einem guten Modell für die Untersuchung kompensatorischer Plastizität macht. Die Autoren der Studie empfehlen weitere Forschung über EMF als nützlichen Faktor in der Neurorehabilitation. (AT)



### Wirkung von 50 Hz auf Antioxidantien-System der Honigbiene

## Veränderungen im Antioxidantien-System der Honigbiene nach 12-stündiger Exposition mit einem 50 Hz elektromagnetischen Feld von variabler Intensität.

Migdał, P.; Murawska, A.; Strachecka, A.; Bieńkowski, P. & Roman, A. (2021): Changes in the Honeybee Antioxidant System after 12 h of Exposure to Electromagnetic Field Frequency of 50 Hz and Variable Intensity. *Insects*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020, 11, 713. doi:10.3390/insects11100713

In den letzten Jahren wurden auf globaler Ebene immer mehr Berichte über ein Phänomen namens CCD (Colony Collapse Disorder) gemeldet. Neben Pestiziden, Krankheiten und anderen Umweltstressoren werden auch elektromagnetische Felder als eine der möglichen Ursachen für CCD genannt. Eine der ersten Verteidigungslinien des Körpers gegen schädliche Faktoren ist das antioxidative System. Aus diesem Grund beschloss die Autoren, Indikatoren der antioxidativen Kapazität im Blut (Hämolymphe) der Honigbiene nach Exposition gegenüber unterschiedlich starken elektrischen Feldern zu messen. Es ist bekannt, dass die Exposition mit EMF oxidativen Stress verursacht. Oxidativer Stress ist ein Zustand, in dem das antioxidative Abwehrsystem nicht in der Lage ist, die schädlichen Wirkungen der freien Radikale (reactive oxygen species, ROS) zu verhindern. In diesem physiologischen Zustand wird die Aktivität von Enzymen wie Superoxiddismutase (SOD) und Katalase (CAT) hochreguliert, um einen Organismus vor Schäden durch ROS zu schützen. SOD katalysiert die Spaltung von Superoxidradikalen zu Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) und CAT katalysiert die Zersetzung von  $H_2O_2$  zu Wasser ( $H_2O$ ) und molekularem Sauerstoff ( $O_2$ ). Die Lebensspanne eines Organismus hängt in gewissem Maße von der Effizienz des antioxidativen Systems ab (je besser die Neutralisierung von ROS, desto länger kann der Organismus leben). Die Analyse der SOD- und CAT-Aktivität gibt Aufschluss über den oxidativen Stress des Organismus. Die antioxidative Kraft der Hämolymphe kann durch die Eisenionen-reduzierende Antioxidationskraft (Ferric reducing ability of plasma, FRAP) beurteilt werden. Die FRAP-Analyse gibt genaue Informationen über die allgemeine Stimulation des antioxidativen Systems.

### Studiendesign und Durchführung

Es wurden zehn Bienenstöcke für den Versuch verwendet. Diese wurden vorbehandelt gegen Varroa-Milben, sowie auf Nosema-Sporen getestet. Versiegelte Brutzellen wurden entnommen und im Inkubator ausgebrütet. Die geschlüpften Arbeiterinnen wurden in Holzkästchen zu je 100 Bienen über-

tragen. Die Holzkäfige waren mit Zuckersaft-Fütterungen ausgerüstet. Das Experiment lief zwei Wochen lang (15. bis 30. Juli). Es wurden vier verschiedene elektrische Feldstärken (bei 50 Hz Netzfrequenz) verwendet: 5,0 kV/m, 11,5 kV/m, 23,0 kV/m, und 34,5 kV/m. Eine Feldstärke von 5 kV/m entspricht in etwa den Feldstärken die in 20 Meter Abstand einer Ultrahochspannungsleitung (220 oder 400 kV) auf Bodenhöhe – bzw. in 2 m Bodenabstand – vorzufinden sind, eine Intensität von 11,5 kV/m entspricht der Situation in wenigen Metern Abstand der Hochspannungsleitung (ebenfalls in 2 m Bodenabstand). Das E-Feld wurde mittels eines Plattenkondensators generiert. Für jede Feldstärke wurden 10 Holzkäfige zu je 100 Bienen sowie 10 Kontrollen verwendet. Nach 12-stündiger Exposition wurde den Bienen Hämolymphe entnommen. Aus dieser wurde die Aktivität von SOD (Superoxiddismutase), CAT (Katalase) und das FRAP (gesamtes antioxidatives Potenzial) ermittelt.

### Ergebnisse

Die Superoxid-Dismutase zeichnete sich durch eine vierfach höhere Aktivität in den Untersuchungsgruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe aus, und diese Befunde waren statistisch signifikant. Die Katalaseaktivität war unverändert für 5 V/m im Vergleich zur Kontrolle, für alle höheren Feldstärken jedoch doppelt so hoch wie die Kontrolle. Das gesamte antioxidative Potenzial (FRAP) war für die 34,5 kV/m-Gruppe maximal und für die 11,5 kV/m-Gruppe am niedrigsten; in beiden anderen Expositionsgruppen lagen keine signifikanten Unterschiede zur Kontrolle vor. Es wurde ein Zusammenhang zwischen unterschiedlichen E-Feld-Intensitäten und Veränderungen im antioxidativen System gefunden.

### Schlussfolgerungen

Die Autoren folgern, dass eine 12-stündige Exposition bei Feldstärken, welche Honigbienen auch in ihrem natürlichen Umfeld begegnen können (5 kV/m), die Aktivität von SOD signifikant erhöht. Dieser Umstand alleine, falls in weiteren Studien bestätigt, genüge, um Hochspannungsleitungen in die Liste der Umweltstressoren einzuschließen, die am Bienensterben („colony collapse disorder“, CCD) beteiligt sind – neben Pestiziden und Chemikalien. Die Katalaseaktivität und das gesamte antioxidative Potenzial waren erst für Feldstärken ab 11,5 kV/m deutlich verändert. Dies entspricht Abständen von nur einigen Metern von einer Hochspannungsleitung (mit 12 h Exposition), was im Felde normalerweise nicht vorkommen sollte. Die Autoren listen etliche vergleichbare Studien mit Insekten und EMF oder Pestiziden auf, welche generell Auswirkungen dieser Stressoren auf das antioxidative System fanden. Die in dieser Studie beobachteten Auswirkungen von Hochspannungsleitungen auf die Superoxid-dismutasen-Aktivität sollten in weiteren Versuchen gründlicher erforscht werden; vor allem die kumulierte Wirkung mehrerer Umweltstressoren, die gleichzeitig vorliegen, steht im Verdacht, schwerwiegende Folgen nach sich zu ziehen. (AT)

## Neue Reviews



### Hochfrequente, niederfrequente und statische Felder

## Genetische Wirkungen von nicht-ionisierenden elektromagnetischen Feldern

Lai H (2021): Review: Genetic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Electromagnetic Biology and Medicine*; <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1881866>

Diese 161 Seiten umfassende Übersichtsarbeit befasst sich mit den Wirkungen von statischen, nieder- und hochfrequenten Feldern auf genetische Prozesse (Genexpression) und direkte Schädigung der DNA. Untersuchungsgegenstände sind biologische Systeme wie In vitro- und In vivo-Experimente an Tier- und Zellmodellen unter sehr verschiedenen Bedingungen bezüglich der Frequenzen, Feldstärken, Wellenformen und Einwirkzeiten. Viele Studien fanden Wirkungen bei Feldstärken, wie sie in der normalen Umgebung oder am Arbeitsplatz vorkommen. Die Art der Gene, die verändert exprimiert werden, z. B. Gene für das stoppen des Zellzyklus, für Apoptose, Stressreaktionen und Hitzeschockproteine, passen zu den Ergebnissen vieler Experimente, die elektromagnetische Felder (EMFs) als Ursache für genetische Schäden haben. Die Mechanismen sind weitgehend unbekannt, sehr wahrscheinlich sind freie Radikale beteiligt. Synergistisches Zusammenwirken, besonders mit chemotherapeutischen Gemischen, erhöht die Möglichkeit, EMFs als Adjuvantien (Stoffe, die eine Wirkung verstärken) zur Krebstherapie einzusetzen, um die Wirksamkeit zu erhöhen und die Nebenwirkungen der traditionellen Anti-Krebsmittel zu mindern. Andere Daten wie Anpassungen und Schädigungen des Spindelapparates der Mitose nach EMF-Einwirkung unterstützen zusätzlich die Vorstellung, dass EMFs Auswirkungen auf genetische Abläufe in allen Lebewesen haben.

Für Studien zu statischen und niederfrequenten Feldern ist es relativ leicht, ein zuverlässiges Befeldungssystem einzurichten, die meisten Systeme sind zufrieden stellend, anders als in Studien zu Hochfrequenz, für die es keine perfekten Richtlinien gibt. Vorzugsweise sollten Feldstärke und Spezifische Absorptionsrate (SAR) angegeben werden. Diese fehlen oft, wenn Geräte wie Mobiltelefone in einer Studie eingesetzt werden. Dann sind die Werte kaum mit Simulationsgeräten zu vergleichen. Manche Forscher lassen unabhängige Variablen außer Acht. Die meisten Forscher haben die biologischen Messungen mit Verstand und Kenntnissen über die Methodologie sachkundig durchgeführt, bei manchen erkennt man, dass sie nicht mit der Methode vertraut waren. Ein Beispiel ist der Komet-

Test, mit dem man DNA-Strangbrüche nachweist. Verschiedene Versionen des Tests mit unterschiedlicher Empfindlichkeit und anderen Aspekten der DNA-Strangbrüche können irreführende Ergebnisse erzielen. Das Problem könnte gelöst werden, wenn immer angegeben wird, wo die Schwelle für Strangbrüche liegt, wenn menschliche Lymphozyten mit Röntgenstrahlen behandelt wurden.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Literaturrecherche erfolgte bis Januar 2021. Die herangezogenen Studien wurden unter verschiedenen Aspekten betrachtet, getrennt nach hoch- und niederfrequenten sowie statischen Feldern. Grundsätzlich gibt es zwei Arten von Studien: direkte genetische Schädigungen und Auswirkungen auf die Genexpression. Weiter wurden die Studien unter den Aspekten sehr niedrige Intensitäten, Wechselwirkungen mit anderen Einwirkungen aus der Umgebung und die Bedeutung der Wellenform und des Zelltyps betrachtet. Die Tabellen in Anhang 1 und 2 enthalten genetische Veränderungen durch Hochfrequenz, statische und niederfrequente Felder, Anhang 3 enthält Studien zur Genexpression in allen 3 Bereichen (HF, NF und statische Felder), Anhang 4 behandelt Wirkungen bei sehr geringen Feldstärken und Anhang 5 die Bedeutung der Wellenform und des Zelltyps.

### Ergebnisse:

31 % der Studien in Anhang 1 und 2 benutzten den Komet-Test. In diesen beiden Anhängen zeigte die Mehrheit der Studien genetische Auswirkungen der elektromagnetischen Felder, 66 % für Hochfrequenz (237 mit und 124 ohne Wirkung) und 79 % für niederfrequente und statische Felder (168 mit und 45 ohne Wirkung). Daraus kann man schließen, dass geschädigende Wirkungen gesichert sind. Die häufigsten Befunde sind DNA-Strangbrüche, Bildung von Mikrokernen und Veränderungen der Chromosomenstruktur. Es ist nicht ganz klar, ob diese Veränderungen zu Mutationen führen und an der Krebsentstehung mitwirken. Bei Hochfrequenz scheint das weniger der Fall zu sein als bei statischen und niederfrequenten Feldern. Eine Vermutung ist, dass niederfrequente Felder das Krebszellwachstum fördern, nachdem die Zellentartung eingeleitet wurde. Dies geschieht durch Veränderung der Signalwege, die für die Bildung freier Radikale und Einleitung der Apoptose verantwortlich sind.

### Hitzeschockproteine und freie Radikale

Bezüglich der Genexpression durch EMFs zeigten sich bei Niederfrequenz und statischen Feldern viel mehr verschiedene Reaktionen als bei Hochfrequenz. Am häufigsten sind Gene für Stressreaktionen betroffen, in vitro und in vivo, in Pflan-

zen und Tieren. Eine andere Erscheinung ist die vermehrte Bildung von Hitzeschockproteinen, besonders HSP70, welches ein wichtiges Protein bei der Protein-Faltung ist und die Zelle vor Umweltstress schützt. Viele Experimente haben die Wirkung von EMFs auf freie Radikale gezeigt. Es ist vorstellbar, dass der Anstieg von freien Radikalen in den Zellen zur Schädigung von Makromolekülen einschließlich der DNA führen kann. Freie Radikale beeinflussen genetische Prozesse und die Bildung von Reaktiven Sauerstoff- und Stickstoffmolekülen. Es gibt allerdings auch genetische EMF-Wirkungen ohne Beteiligung freier Radikale sowie Änderungen der Bildung freier Radikale ohne genetische Wirkung.

### Niedrige Feldintensitäten

Betrachtung niedriger Feldintensitäten ist ein wichtiges Themenfeld, weil die meisten Lebewesen ständig niedrigen Intensitäten ausgesetzt sind; dies besonders im niederfrequenten Bereich. Die Intensitäten in der Umgebung liegen im Bereich von Mikrottesla ( $\mu\text{T}$ ) und überschreiten kaum  $10 \mu\text{T}$ , die meisten Zell- und Tierstudien wurden im Millitesla ( $\text{mT}$ )-Bereich durchgeführt. Im Hochfrequenzbereich zeigt der Überblick in verschiedenen Ländern eine durchschnittliche Feldintensität von  $0,00259 \text{ mW/cm}^2$  und einen Median von  $0,000545 \text{ mW/cm}^2$ . Die Magnetfelder im menschlichen Umfeld liegen im Durchschnitt bei  $0,00062 \text{ mT}$ . Im beruflichen Bereich können

wesentlich höhere Feldstärken vorkommen; in einem Kraftwerk können die Mitarbeiter  $0,0126 \text{ mT}$  ausgesetzt sein und in der Nähe einer Hochspannungslleitung können  $0,0482 \text{ mT}$  auftreten. Neben genetischen Wirkungen können andere physiologische Abläufe durch niedrige Intensitäten beeinflusst werden, z. B. verzögerte Entwicklung von Fröschen bei  $88,5\text{--}1873,6 \text{ MHz}$ -Strahlung von Mobilfunksendern zwischen

$0,00859\text{--}0,00325 \text{ mW/cm}^2$ ; Verlangsamung des Tag-Nacht-Rhythmus bei Schaben durch  $0,000429 \text{ mT}$ , veränderte elektrische Aktivität im Ischiasnerv von Ratten bei  $1800 \text{ MHz}$  unter  $0,00421 \text{ W/kg}$ ; verzögertes Wachstum von Rosen bei  $900 \text{ MHz}$  und  $0,00072 \text{ W/kg}$ ; vermindertes Gedächtnis bei Ratten bei  $900 \text{ MHz GSM}$  und  $0,0006 \text{ W/kg}$ . Die Nebennieren von Ratten werden bei  $171 \text{ MHz}$  und  $0,0006 \text{ W/kg}$  stimuliert, menschliche Monozyten zeigten stärkere immunologische Reaktionen.

### Statische Magnetfelder

Bei den Statischen Feldern fand man verminderte Anzahl lebender und beweglicher Spermien bei Mäusen bei  $50 \text{ Hz}$  und  $0,0005\text{--}0,077 \text{ mT}$  und freie Radikale, die schon bei  $0,0005 \text{ mT}$  bei  $50 \text{ Hz}$  auftraten. Zudem entwickelten sich Mechanismen, durch die statische Magnetfelder von Organismen schon bei sehr niedrigen Werten erkannt werden, z. B. werden 26

**Es gibt genügend Gründe anzunehmen, dass genetische Veränderungen durch elektromagnetische Felder möglich und vorhanden sind.**

nT (0,000026 mT) von Honigbienen und 2–3 nT von Singvögeln wahrgenommen. Diese Fähigkeit, sehr niedrige statische und niederfrequente-Felder wahrzunehmen, ist nicht überraschend, weil Lebewesen in Millionen Jahren der Evolution gelernt haben, zu überleben. Andererseits sind diese Funktionen sehr empfindlich gegenüber Störungen durch künstliche elektromagnetische Felder. Überraschend ist allerdings, dass künstliche hochfrequente Felder bei sehr geringen Intensitäten auch biologische Wirkungen haben, da diese erst in den letzten Dekaden auftreten. Das deutet darauf hin, dass elektromagnetische Felder im Allgemeinen über einen unbekanntem grundlegenden Mechanismus einwirken.

### Synergien verschiedener Umweltfaktoren

EMFs können mit anderen Substanzen synergistisch zusammenwirken und genetische Veränderungen hervorrufen. Das sind bei HF chemische Mutagene, UV-, Gamma- und Röntgen-Strahlung, 17-beta-Estradiol und viele andere Stoffe. Die meisten Agenzien sind Mutagene. H. Lai listet neben verschiedenen Strahlungsarten eine sehr große Zahl von chemischen Stoffen auf, die bei HF-, NF- und statischen Feldern in Studien Wirkungen gezeigt haben. Jeder Mensch kommt im normalen Leben mit vielen Umweltfaktoren gleichzeitig in Kontakt, auch mit Mutagenen. Andererseits werden einige Chemikalien in der Krebstherapie eingesetzt und Strahlung wird zur Verstärkung der Krebsbekämpfung und zur Linderung der Nebenwirkungen hinzugefügt. Diese Synergismen sollten weiter erforscht werden. Es gibt aber auch Studien, die keine signifikanten Wechselwirkungen gefunden haben.

### Fünf Merkmale

Während der Nutzung eines Mobiltelefons ist das Gehirn mit relativ hoher Strahlenintensität belastet (Spitzen von 4–8 W/kg). Viele Arbeiten haben genetische Wirkungen bzw. DNA-Schädigung weit darunter gefunden (Anhang 4). Andere Studien haben ergeben, dass die Wirkung von EMFs von der Wellenform und dem Zelltyp abhängt (Anhang 5). Das könnte der Grund sein, warum in manchen Studien widersprüchliche Ergebnisse bei den nicht-thermischen Wirkungen herauskommen. Schon in den 1970er-Jahren wurde bekannt, dass der Kalziumausstrom aus den Zellen von der Modulation der Trägerfrequenz abhängt. Andere biologische Wirkungen (neurologische und genetische) zeigten auch Abhängigkeit von der Wellenform. Bezogen auf die Zelltyp-Spezifität kann man sagen:

1. Zellen mit aktivem Stoffwechsel sind empfindlicher gegenüber EMF-Wirkung mit Anstieg der Produktion von freien Radikalen in den Mitochondrien,
2. Zellen mit höherer antioxidativer Aktivität sind weniger empfindlich,
3. Elemente wie Eisen könnten über die Fenton-Reaktion eine Rolle spielen (Hirnzellen sind empfindlicher, sie haben einen relativ hohen Gehalt an freiem Eisen, eingelagert in DNA-Moleküle),
4. Der Zellzyklus wird häufig durch EMFs angehalten, das könnte eine Reaktion der DNA-Reparatur sein nach Schädigung durch EMFs. Wenn nicht repariert werden kann, tritt Zelltod ein, meistens durch Apoptose, die häufig nach EMF-Schädigung abläuft. Das passt zu Studien zur Genexpression, die die Aktivierung von Reparatur- und Zelltod-Genen nach Einwirkung von EMFs zeigen.
5. Wenn genetisch geschädigte Zellen überleben, kann Krebs entstehen; wenn sie absterben, ist die Krebsgefahr reduziert. Aber es können andere Schäden auftreten, z. B. kann der Tod von Hirnzellen nach Feldeinwirkung zu neurodegenerativen Erkrankungen führen (Alzheimer, Parkinson, Amyotrophe Lateralsklerose, Demenz und Funktionsstörungen der Muskulatur). Besonders bei beruflicher Exposition wurden solche Auswirkungen gefunden.

Der oft gesagte Einwand, Studien könnten nicht wiederholt werden, ist nicht stichhaltig. Viele Studien, die unter verschiedenen Bedingungen das gleiche Ergebnis haben, sind genauso aussagekräftig; davon abgesehen, dass es kaum Wiederholungsstudien gibt, auch wenn sie als solche bezeichnet werden. Da die Verteilung der Strahlungsenergie im Gewebe nicht homogen ist, entstehen hohe Spitzenwerte. Deshalb müssen bessere SAR-Berechnungen entwickelt werden zur Feststellung von SAR-Spitzen im Gehirn. Jede EMF-Wirkung hängt ab von der absorbierten Energie und wie die Energie räumlich und zeitlich ausgesendet wird. Viele Faktoren können ein Ergebnis beeinflussen, die nichts mit dem Studiendesign zu tun haben. Dazu kommt, dass man wissen muss, ob eine Wirkung kumulativ ist, ob sie kompensiert wird und wann die Homöostase zusammenbricht. Da es bisher keinen allgemein akzeptierten Wirkungsmechanismus gibt, sind Schlussfolgerungen aus Experimenten schwierig. Wenn die Energie der Strahlung nicht ausreicht, um chemische Bindungen zu brechen, sind indirekte und sekundäre Wirkungen auf andere chemische Vorgänge in den Zellen wirksam. Der Autor nimmt an, dass die biologischen EMF-Wirkungen auf vielen sich gegenseitig beeinflussenden Wirkungen beruhen.

### Schlussfolgerungen:

Es gibt genügend Gründe anzunehmen, dass genetische Veränderungen durch elektromagnetische Felder möglich und vorhanden sind, was etwa 70 % der Studien aus Anhang 1 und 2 belegen. Einige genetische Schäden können sich nachteilig auf die Gesundheit auswirken. Die Mechanismen müssen geklärt werden, aber auch ohne die zu kennen sollte man akzeptieren, dass die Daten gesichert sind. (IW)



## Krebsprävention

# Verpasste Chancen für die Krebsprävention: Historische Erkenntnisse über Frühwarnungen mit Schwerpunkt auf Hochfrequenzstrahlung

Hardell L, Carlberg M. (2021): Lost opportunities for cancer prevention: Historical evidence on early warnings with emphasis on radiofrequency radiation. *Rev Environ Health*. 2021. doi:10.1515/reveh-2020-0168

Im Jahr 1969 rief die IARC (International Agency for Research on Cancer) bei der WHO (Weltgesundheitsorganisation) ein Programm zur Bewertung von Krebsrisiken durch Chemikalien ins Leben. Dieses Programm wurde im späteren Verlauf auf chemische Gemische, radioaktive Strahlung und Viren erweitert. Bis zum heutigen Tag hat dieses Programm zu 125 Monographien geführt. Wie die Geschichte zeigt, verstrich in den meisten Fällen eine lange Zeit zwischen den ersten Berichten von erhöhtem Krebsrisiko, bis hin zu Klassifizierung eines Stoffes als krebserregend. Somit wurden Präventivmaßnahmen nicht rechtzeitig ergriffen, was mitunter zu schweren Folgen für die Gesellschaft führte. Die Folgen können sich in Form von erhöhten Fallzahlen von Krankheiten, die zu Leid, Behandlungskosten, Berufsverlust sowie vorzeitigem Tod manifestieren. Falsch-positive Bewertungen von Umwelteinflüssen sind hingegen sehr selten. Aus diesem Grund sollten Frühwarnungen nicht vernachlässigt werden. Im Folgenden diskutieren die Autoren einige historische Beispiele, gefolgt von einem Überblick über die aktuelle Kontroverse von Hochfrequenzstrahlung und Krebsrisiko.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren zogen historische sowie aktuelle Literatur für diese Publikation zu Rate.

### Ergebnisse:

Hinsichtlich spezifischer beruflicher Belastung, beschrieb der englische Arzt Percivall Pott im Jahr 1775 als erster ein erhöhtes Krebsrisiko. Er beobachtete, dass Männer, welche als Schornsteinfeger tätig und dabei Ruß ausgesetzt waren, ein erhöhtes Risiko besaßen, an Hodenkrebs zu erkranken. Dies gilt als erster Bericht über einen Umweltfaktor, der Krebs verursacht. Mehr als 200 Jahre später wurde Ruß im Jahr 1985 von der IARC als humankarzinogen, Gruppe 1, (krebserregend) eingestuft.

### Krebs durch Asbest

Ein anderes Beispiel für eine Substanz, deren Toxizität lange ignoriert wurde, ist Asbest. Die ersten Berichte zu negati-

ven Auswirkungen von Asbest gehen ins Jahr 1899 zurück. Südafrikanische Forscher veröffentlichten 1960 einen Bericht, über ein erhöhtes Mesotheliomrisiko nach beruflicher oder umgebungsbedingter Belastung mit Asbest. Der US-amerikanische Arzt Dr. Irving Selikoff gab der breiten Öffentlichkeit einen Einblick über eine eklatant erhöhte Krebssterblichkeit amerikanischer Isolierarbeiter, die Asbest ausgesetzt waren. Dies führte zu einem langjährigen Kampf zwischen einer multinationalen Industrie, welche ihr Produkt verteidigen wollte und öffentlichen Gesundheits- und Aufsichtsbehörden. Im Jahr 1977 wurde Asbest von der IARC als humankarzinogen, Gruppe 1, eingestuft. Beinahe 20 Jahre, nachdem klare Hinweise für das karzinogene Potential von Asbest festgestellt wurden. Jahre der Prävention wurden verschenkt, was letztendlich zu einer erhöhten Mortalität führte.

### Krebs durch Tabak

Tabak besitzt eine lange Geschichte von Berichten über dessen schädliche Auswirkung auf die Gesundheit. Es existieren Beobachtungen aus dem 18ten Jahrhundert, welche ein erhöhtes Risiko an Lippenkrebs zu erkranken beschreiben. Eine deutlich erhöhte Inzidenz an Lungenkrebs zu erkranken wurde erstmals 1940 von Müller berichtet. Dieser Bericht, sowie andere Krebsstudien aus den 1940er Jahren in Deutschland und den Niederlanden, wurden weitestgehend ignoriert. In den 1950er Jahren belegten mehr und mehr Studien Gesundheitsrisiken durch Tabakkonsum für unter anderem Lungenkrebs, Herzinfarkte sowie andere Gefäßerkrankungen. Tabak wurde 1986 von der IARC als krebserregend beim Menschen, Gruppe 1, eingestuft. „Greenwashing“ durch die Industrie und ihre verbündeten Experten konterkariert präventive Maßnahmen seit Langem.

### Krebs durch DDT

Ein weiteres Beispiel ist das Insektizid DDT (1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4-chlorphenyl)ethan). Bereits 1962 wurden Berichte veröffentlicht (torpediert von der Chemieindustrie), dass sich DDT in der Nahrungskette anreichert. In den 1970er Jahren wurde die Verwendung von DDT in den meisten Ländern verboten. DDT wurde 2018 von der IARC als wahrscheinlich krebserregend für den Menschen, Gruppe 2A, eingestuft. Vorher galt eine Einstufung als möglicherweise krebserregend beim Menschen, Gruppe 2B. DDT wird in einigen Ländern immer noch eingesetzt, z.B. zur Malariabekämpfung. Auch bei Phenoxyherbiziden, unter anderem bekannt als Agent Orange, wurden die Frühwarnungen ignoriert. 1977 wurde ein Bericht veröffentlicht, welcher den Zusammenhang von Krebs und dem Versprühen von Phenoxyherbiziden dokumentierte. Diese Herbizide beinhalten 2,4-D (2,4-Dichlorphenoxyessigsäure) und 2,4,5-T (2,4,5-Trichlorphenoxyessigsäure). Diese Stoffe wurden 1977 (2,4,5-T) bzw. 2018 (2,4-D) von der IARC als möglicherweise krebserregend, Gruppe 2B, eingestuft. 2,4,5-T ist jedoch produktionsbedingt



mit dem Stoff TCDD (2,3,7,8-Tetrachlordibenzodioxin) kontaminiert. TCDD ist eine der giftigsten Chemikalien weltweit. TCDD wurde erst nach 20 Jahren von möglicherweise krebserregend, Gruppe 2B, (1977) nach krebserregend beim Menschen, Gruppe 1, (1997) hochgestuft.

### **Krebs durch Glyphosat**

Ein weiteres Herbizid, dessen krebserregende Wirkung verharmlost wird ist Glyphosat. 1970 wurde Glyphosat vom US-Konzern Monsanto als Generalherbizid entwickelt. 1996 kamen gentechnisch veränderte, glyphosatresistente Nutzpflanzen auf den Markt, was den globalen Einsatz verfünffachte.

Glyphosat hat sich zum weltweit am meisten genutzten Pflanzenschutzmittel entwickelt. Im März 2015 wurde Glyphosat von der IARC als wahrscheinlich krebserregend beim Menschen, Gruppe 2A, eingestuft. Außerdem kam die IARC zu dem Schluss, dass es starke Hinweise auf Genotoxizität von Glyphosat gebe. Im Gegensatz dazu ignorierte die Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit (EFSA) ohne Erklärung jeglichen Zusammenhang von Glyphosat und Krebs. Alle Befunde zur krebserregenden Wirkung in Tierstudien wurden als Zufallsfunde abgetan, mechanistische Belege zur Genotoxizität wurden negiert. 2016 wurde eine Übersichtsarbeit angeblich unabhängiger Wissenschaftler verfasst, welche zu dem Schluss kam, dass es unwahrscheinlich sei, dass Glyphosat ein karzinogenes Risiko beim Menschen darstelle. Während eines Gerichtsverfahrens in den USA bezüglich Glyphosatbelastung und Non-Hodgkin Lymphomen wurde aufgedeckt, dass die Autoren nicht unabhängig waren und Monsanto in die Organisation, die Übersichtsarbeit selbst sowie in die Überarbeitung der Übersichtsarbeit involviert war. Tatsächlich wurden die Autoren über die Beratungsfirma Intertek bezahlt. Die Verteidigung ihres Produkts durch das Herunterspielen von Risiken scheint eine von Monsantos Strategien zu sein. Der deutsche Chemieriese Bayer kaufte Monsanto im Jahr 2018. Bisher wurden in drei Prozessen rund 200 Millionen US-Dollar von den Jurys zugesprochen. 2017 verlängerte die EU-Kommission den Einsatz von Glyphosat bis 2022.

### **Krebs durch HF-EMF**

Momentan existiert eine kontroverse Diskussion zwischen dem Zusammenhang von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) und erhöhtem Krebsrisiko. Bereits 2011 wurde Hochfrequenz von der IARC als möglicherweise

krebserregend beim Menschen, Gruppe 2B, eingestuft. Die Einschätzung wurde von Beginn an von der Industrie und voreingenommenen Agenturen heruntergespielt und verharmlost, obwohl sich die Hinweise auf schädliche Auswirkungen häufen. In diesem Artikel beschreiben die Autoren weitere Daten von Hochfrequenz und deren Karzinogenität. Die sogenannte „attributable fraction“ (AF, zuordenbarer Anteil) ist eine Größe in der statistischen Auswertung und gibt die Anzahl der Fälle an, die verhinderbar gewesen wären. Folgende Daten beziehen sich auf Fall-Kontrollstudien dreier Arbeitsgruppen, welche ein signifikant erhöhtes Krebsrisiko (Gliome und akustische Neurinome) nach Belastung mit Hochfrequenz dokumentier-

## **Das Krebsopfer sowie dessen Angehörige sind die großen Verlierer in Bezug auf Leid, Lebensqualität und letztendlich verminderte Lebenserwartung.**

ten. In der Gruppe mit der längsten Belastung wären 211 Gliomfälle (alle Belastungsgruppen, 4,88%) und 42 Fälle von akustischen Neurinomen (ipsilaterale Belastung, 4,63%) vermeidbar gewesen. Der höchste, vermeidbare Anteil wurde bei ipsilateralem Mobilfunknutzen und Gliomen (6,03%, 150 Individuen) gefunden. Die Arbeitsgruppe beschreibt außerdem steigende Tumorraten unbekanntem Typs (D43) im Gehirn oder zentralen Nervensystem, dokumentiert im schwedischen Patientenregister sowie im Register der Todesursachen zwischen 1998 und 2019. Die höchsten Raten (durchschnittliche Veränderung gegenüber dem Vorjahr in %) kamen sowohl bei Männern als auch Frauen in der Altersgruppe zwischen 20 – 39 Jahren vor. Die Wissenschaftler stellen die Hypothese auf, dass die steigende Anzahl von Hirntumoren in dieser Altersgruppe mit der Nutzung von schnurlosen Telefonen korreliert, wenn man eine angemessene Latenzzeit (7 – 9 Jahre bei Gliombildung) einbezieht.

### **Schlussfolgerungen:**

Diese Übersichtsarbeit gibt einen Einblick in verpasste Möglichkeiten zur Krebsprävention am Beispiel von Asbest, Tabak, Pestiziden und nun auch Hochfrequenzstrahlung. Das Krebsopfer sowie dessen Angehörige sind die großen Verlierer in Bezug auf Leid, Lebensqualität und letztendlich verminderte Lebenserwartung. Die Strategie, Zweifel an Krebsrisiken bestimmter Einflüsse zu säen, wurde bereits vor Jahrzehnten etabliert. Nun wird sie von der Telekommunikationstechnologie in Bezug auf Hochfrequenzstrahlung und Risiken für Mensch und Umwelt adaptiert und implementiert. Die Industrie besitzt wirtschaftliche Mittel, Zugang zu Politikern sowie Zugang zu Medien, während besorgte Menschen ungehört bleiben. (RH)

## Redaktionelle Anmerkung

Die im ElektrosmogReport 1/2021 besprochene Arbeit: Shih YW, O'Brien AP, Hung CS, Chen KH, Hou WH, Tsai HT. (2020): Exposure to radiofrequency radiation increases the risk of breast cancer: A systematic review and meta - analysis. doi:10.3892/etm.2020.9455 wurde von der Redaktion der Fachzeitschrift zurückgezogen. Die Autoren waren mit der Zurückziehung dieses Artikels nicht einverstanden. Die Redaktion des ElektrosmogReport fragte bei den Autoren an, bekam aber bis jetzt keine Rückmeldung. Ihre Gegendarstellung liegt uns auch nicht vor. Die Redaktion von „Experimental and Therapeutic Medicine“ stellt den Vorgang wie folgt dar:

„Nach der Veröffentlichung der oben genannten systematischen Übersichtsarbeit und Meta-Analyse machte ein interessierter Leser die Redaktion darauf aufmerksam, dass es möglicherweise eine Reihe von Bedenken im Zusammenhang mit den acht Quellenpapieren gab, auf denen die Studie basiert hatte. Zwei der Studien basierten auf elektromagnetischen 50 Hz-Feldern und nicht auf hochfrequenter Strahlung; außerdem verwendete eine Referenz eine ungenaue Risikoabschätzung für die falsche Exposition (Schichtarbeit statt HF), und eine der Studien konzentrierte sich auf männlichen Brustkrebs (die anderen befassten sich alle mit weiblichem Brustkrebs). Auf diese Probleme wurden die Autoren aufmerksam gemacht, die als Reaktion auf die Leserkommentare eine Gegendarstellung verfassten. Unabhängig davon führte das Editorial Board eine unabhängige Untersuchung der Behauptungen des Lesers durch und kam zu dem Schluss, dass die schiere Anzahl der möglicherweise erforderlichen Korrekturen die Veröffentlichung eines Corrigendum nicht ohne weiteres möglich gemacht hätte. Unter Berücksichtigung aller Faktoren hat der Herausgeber von Experimental and Therapeutic Medicine daher entschieden, dass der Artikel aufgrund der zahlreichen Unsicherheiten, die sowohl mit der Art und Weise, wie die Metaanalyse durchgeführt wurde, als auch mit den für die Studie ausgewählten Quellenpapieren verbunden sind, aus der Zeitschrift zurückgezogen werden sollte. Es ist anzumerken, dass die Autoren mit der Zurückziehung dieses Artikels nicht einverstanden waren. Der Herausgeber entschuldigt sich bei der Leserschaft des Journals für alle Unannehmlichkeiten, die durch die Zurückziehung dieses Artikels entstanden sind.“

## Adressen, unter denen man weitere seriöse Informationen bekommt

Diagnose:Funk - Umwelt- und Verbraucherorganisation zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e. V.  
<https://www.diagnose-funk.org/>

Telefon: 069/36 70 42 03

Telefonzeiten: montags und dienstags zwischen 8 und 10 Uhr

E-Mail: [info@diagnose-funk.de](mailto:info@diagnose-funk.de)

Kompetenzinitiative zum Schutz von Mensch, Umwelt und Demokratie e. V.

<https://kompetenzinitiative.com>,

E-Mail: [sekretariat@kompetenzinitiative.net](mailto:sekretariat@kompetenzinitiative.net),

Tel. 06897-766176

Microwavenews

<https://microwavenews.com/>

E-Mail: [louis@microwavenews.com](mailto:louis@microwavenews.com)

Pandora - Stiftung für unabhängige Forschung,

<https://stiftung-pandora.eu/>

Telefon: +49 3303 21 83 00,

Fax: +49 3303 40 46 82,

E-Mail: [info@stiftung-pandora.eu](mailto:info@stiftung-pandora.eu)

BRHP-Blog von Prof. Dariusz Leszczynski zu Wissenschaft und Politik

<https://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)



Louis Slesin, MicrowaveNews, New York

## Yuri Grigoriev, ein weltweit führender Strahlenbiologe, ist im Alter von 95 Jahren gestorben

Gekürzter Artikel aus den MicrowaveNews. Auf der Homepage von diagnose:funk steht die ausführliche übersetzte Fassung mit vielen im Text erwähnten Dokumenten: <https://www.diagnose-funk.org/1716>



Bildquelle: <https://microwavenews.com/news-center/yuri-grigoriev-dies-95>

Yuri Grigoriev, ein russischer Biophysiker und eine einzigartige Persönlichkeit in der Welt der elektromagnetischen Gesundheit und Sicherheit in den letzten 50 Jahren, starb am 6. April 2021 im Alter von 95 Jahren in Moskau.

Im Gegensatz zu vielen seiner Kollegen im Westen vertrat Yuri Grigorjew die Ansicht, dass die Mikrowellenbiologie komplexer ist als eine einfache Gewebeerwärmung. Seine Ansichten basierten zum Teil auf seinen eigenen Forschungen, die die Bedeutung der Modulationseigenschaften zeigten. Er ist auch für seine unerschütterliche Unterstützung der sowjetischen und später russischen Gesundheitsstandards bekannt, die auf den Schutz vor Langzeiteffekten ausgelegt und viel strenger sind als die in den meisten anderen Ländern. Die gegensätzlichen Auffassungen darüber, was die Standards sein sollten, waren seit Beginn des Kalten Krieges eine Quelle von Ost-West-Spannungen. Sie halten bis heute an.

„Professor Grigoriev war einer der ersten Wissenschaftler, der Schlussfolgerungen über die Rolle der Modulation bei biologischen HF-Effekten und über die erhöhte Empfindlichkeit von Kindern gegenüber HF zog“, sagte Igor Belyaev, der Leiter der Abteilung für Radiobiologie am Biomedizinischen Forschungszentrum der Slowakischen Akademie der Wissenschaften in Bratislava.

### Ein Leben mit Höhen und Tiefen

Grigoriev wurde 1925 in der Ukraine geboren; seine Familie zog nach Moskau, als er sieben Jahre alt war. Er wurde 1944

in Leningrad (heute Sankt Petersburg) zum Medizinstudium zugelassen, vorher hatte er im Zweiten Weltkrieg in einem Feldlazarett an der Front gedient - wo er sich mit Typhus infizierte. Grigoriev wurde Strahlenbiologe und erlangte 1953 seinen Dokortitel. Eine seiner ersten Aufgaben war am Institut für Biophysik in Moskau, wo er die Auswirkungen ionisierender Strahlung bei medizinischen Anwendungen (zum Beispiel in der Strahlentherapie) untersuchte. Ein späteres Projekt befasste sich mit dem Schutz der Kosmonauten vor der hochenergetischen kosmischen Strahlung, die in der Raumfahrt auftritt.

Im April 1977 wurde Grigoriev zum Leiter eines neuen Forschungslabors am Institut für Biophysik in Moskau ernannt, das sich mit der Erforschung der biologischen Auswirkungen nieder- und hochfrequenter Strahlung befasste. Gleichzeitig wurde er zum stellvertretenden Direktor des gesamten Instituts ernannt.

Grigorievs Expertise über ionisierende Strahlung sollte ihn später nach Tschernobyl führen, ein paar Wochen nach der Reaktorschmelze 1986, um bei der Versorgung der Arbeiter zu helfen. „Wir landeten in Kiew, stiegen in einen Hubschrauber und flogen im wahrsten Sinne des Wortes in die Hölle“, erinnerte er sich später.

1997, fünf Jahre nach der Gründung der ICNIRP durch Repacholi, gründete Grigoriev eine russische Version, das Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection (RNCNIRP). Er war der erste Vorsitzende.

### Eine zufällige Entdeckung

Grigorievs Wechsel von der ionisierenden zur nicht-ionisierenden Seite des elektromagnetischen (EM) Spektrums geschah zufällig. In den 1950er Jahren war er Mitglied einer Forschungsgruppe, die die Auswirkungen von Röntgenstrahlen auf die elektrische Aktivität im Gehirn von Kaninchen untersuchte. Zu ihrer Überraschung beobachteten sie einige dramatische Veränderungen in den EEGs der Kontrolltiere - nämlich dann, wenn die Röntgenquelle ausgeschaltet war. Sie waren überzeugt, dass ein nahegelegener Transformator dafür verantwortlich war und dass EMFs eine „direkte Wirkung“ auf das Gehirn haben könnten. Über diese Erkenntnisse wurde 1960 im Bulletin of Experimental Biology and Medicine berichtet. Es war die erste von Grigorievs vielen Arbeiten über EM-Strahlung.

### Modulationen - studiert und ignoriert

Eines von Grigorievs bekanntesten Experimenten war eine Variation einer frühen Frey-Studie. Im Jahr 1968 zeigte Frey, der auch das Mikrowellenhören entdeckte, dass gepulste Strahlung das schlagende Herz eines Frosches beeinflusst. Grigoriev führte in den 1970er Jahren eine ähnliche Studie durch, wobei er 9,3 GHz mit niederfrequenter (<10 Hz) Amplitudenmodulation statt gepulster Modulation verwendete. Grigoriev sah einen viel größeren Effekt mit der AM als mit einfachen unmodulierten Sinuswellen.

Etwa zur gleichen Zeit sahen Ross Adey und Suzanne Bawin am UCLA Brain Research Institute in Los Angeles ein ähnliches „Fenster“, in dem die Strahlung die Bewegung von Kalzium-Ionen durch Zellmembranen beeinflusste. Sie fanden einen maximalen Effekt bei 16 Hz AM. Diese Arbeit wurde später von Carl Blackman in einem EPA-Labor in North Carolina repliziert. In einer großen Literaturübersicht von 1981 - sie wurde mehr als 1.000 Mal in späteren Arbeiten zitiert - hob Adey die Bedeutung der Modulation hervor:

„Es gibt eindeutige experimentelle Beweise, dass Felder von [10 Hz - 450 MHz] direkt mit dem Hirngewebe interagieren. Ein auffälliges Merkmal einiger dieser beobachteten Wechselwirkungen mit schwachen HF-Feldern ist ihre Beziehung zur Modulation im ELF-Bereich und nicht zur Radioträgerfrequenz.“

Dieser Befund wurde von denjenigen, die in den USA Expositionsstandards festlegen, und von der ICNIRP weitgehend abgelehnt. Selbst wenn es sich um einen echten biologischen Effekt handelt, so die Argumentation, bedeutet dies nicht unbedingt, dass es einen gesundheitlichen Effekt gibt. Der Subtext ist, dass, wenn Modulationen berücksichtigt würden, würde dies die Existenz von nicht-thermischen Effekten implizieren, und das wäre inakzeptabel. Grigoriews Arbeit mit Froschherzen schnitt nicht besser ab. Schlimmer noch, sie wurde ignoriert. Wie er in einem Bericht aus dem Jahr 2003 beklagte: „Leider sind die Ergebnisse der in Russland durchgeführten Untersuchungen über eine biologische Wirkung modulierter EMF bis heute im Westen und in den USA nicht bekannt.“

Trotzdem ließ Grigoriew nicht locker. In einem gemeinsamen Papier aus dem Jahr 2007 hielten er und Igor Belyaev ein Plädoyer: „Die Erkenntnisse über die Rolle der Modulation sind extrem wichtig für die Betrachtung von nicht-thermischen Mikrowellenexpositionen und sollten gründlicher untersucht werden, wobei die spezifischen Modulationsarten, die in der mobilen Kommunikation verwendet werden, verwendet werden sollten.“

### **Plädoyer für strenge Expositionsgrenzwerte**

Grigoriew hatte wahrscheinlich den größten Einfluss beim Setzen der Standards für die russischen Expositionsgrenzwerte. Diese waren schon immer viel strenger als die in den USA und den meisten westlichen Ländern.

Die Diskrepanz zwischen den beiden Standards ist seit 50 Jahren eine Quelle der Uneinigkeit zwischen den USA, der Sowjetunion und Russland. So schrieb 1979 Don McRee vom National Institute of Environmental Health Sciences (NIEHS): „Das große Volumen der sowjetischen und osteuropäischen Forschung war eine treibende Kraft in den Vereinigten Staaten, die Besorgnis über die biologischen Auswirkungen von Mikrowellenstrahlung hervorrief.“

Das US-Militär war bereit, alles zu tun, um sicherzustellen, dass ein Standard nach russischem Vorbild niemals im Westen eingeführt würde. Sollte dies geschehen, so befürchteten die Planer, würde dies den Einsatz vieler militärischer Systeme,

insbesondere von Radargeräten, einschränken und die Streitkräfte für Entschädigungsforderungen von verletzten Arbeitern haftbar machen.

Ein gemeinsames amerikanisch-sowjetisches Mikrowellenprogramm wurde 1975 ins Leben gerufen, um zu sehen, ob die Wissenschaftler ihre Differenzen ausräumen könnten. McRee leitete die U.S.-Delegation. Sie machten keine großen Fortschritte. In einem E-Mail-Austausch für diesen Artikel fragte ich Frey nach der Einstellung zur sowjetischen Forschung in den USA zu dieser Zeit. „Die Sowjets haben gute Arbeit geleistet“, antwortete er. „Ich habe eine Menge davon in der Sowjetunion gesehen. Es wurde in den USA grob falsch berichtet und falsch dargestellt.“ Die Kluft zwischen den russischen und US-amerikanischen/ICNIRP-Grenzwerten besteht bis heute.

### **Ein letzter Weckruf**

Grigoriew ist tot, aber er hat noch einen letzten Auftritt. In seinen letzten Lebensjahren wurde Grigoriew mehr und mehr zum Aktivist und forderte die Anwendung des Vorsorgeprinzips, insbesondere wenn Kinder elektromagnetischer Strahlung ausgesetzt sein könnten. „Der Mensch hat die Schwarze Pest besiegt“, würde er sagen, „aber er hat neue Probleme geschaffen - EMF-Verschmutzung.“ Er nannte die Ausbreitung von HF-Quellen „außer Kontrolle“. Bevor er starb, beendete Grigoriew ein Buch, das die Herausforderungen bei der Einführung von 5G-Netzwerken detailliert beschreibt.

**„Professor Grigoriew war einer der ersten Wissenschaftler, der Schlussfolgerungen über die Rolle der Modulation bei biologischen HF-Effekten und über die erhöhte Empfindlichkeit von Kindern gegenüber HF zog“** Igor Belyaev