

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit



## WLAN, Bakterien und Antibiotikaresistenz

### Wirkung von WLAN-Strahlung auf Carbapenem-resistente Zellen von *Klebsiella pneumoniae*

Said-Salman I, Yassine W, Rammal A, Hneino M, Yusef H, Moustafa M (2021): Effects of Wi-Fi Radiofrequency Radiation on Carbapenem-Resistant *Klebsiella pneumoniae*. *Bioelectromagnetics* 42 (7), 575–582

In der Nähe von Telekommunikationsstationen wurden einige opportunistische Bakterien gefunden, die gegen viele Antibiotika resistent sind (multiresistent). Forschung in diesem Bereich ist von großem Interesse und nötig, um Schutzmaßnahmen gegen das Auftreten von Antibiotika-resistenten Organismen in der Umwelt ergreifen zu können. Der nicht-ionisierenden Strahlung von WLAN und Smartphones im Bereich 2,4 GHz sind Tiere, Pflanzen, Mikroorganismen und vor allem Menschen täglich ausgesetzt, da sie weltweit in Haushalt, Beruf und an öffentlichen Plätzen genutzt wird.

Organismen und Bakterien können durch nicht-thermische oder thermische Wirkungen beeinflusst werden, es können bakterielle Virulenzfaktoren wie Antibiotikaresistenz und Biofilmbildung entstehen, die eine Erkrankung nach Infektion begünstigen. Bakterien können sich als Reaktion auf Stress zusammenballen und einen Biofilm aus einer Polysaccharid-Matrix bilden. Der Weltgesundheitsorganisation (WHO) zufolge stellt die Antibiotikaresistenz eine weltweite Gesundheitskrise dar.

*K. pneumoniae* ist ein gramnegatives, opportunistisches Stäbchenbakterium, das Krankenhausinfektionen (nosokomiale Infektionen) hervorruft und immer virulenter geworden ist. Der Haupt-Mechanismus der Carbapenem-Resistenz ist, dass *K. pneumoniae* ein Enzym namens Carbapenemase (KPC) über das Gen blaKPC bildet, wodurch diese Art der Antibiotika unwirksam wird. Ziel dieser Studie ist, die Wirkung nicht-ionisierender und nicht-thermischer Strahlung auf die Virulenz der Mikroorganismen zu untersuchen, besonders in Bezug auf das Auftreten multiresistenter Bakterien. Die Forscher haben

#### Impressum

ElektrosmogReport 04-2021, 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. 52104

#### 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 > WLAN, Bakterien und  
Antibiotikaresistenz

03 > EMF stören Redox-Gleichgewicht

04 > Review: HF-Wirkung auf Spermien

05 > Review: HF-Wirkung auf männliche Hormone

06 > Review: Oxidativer Stress und die Mechanismen

07 > Review: Ionenkanäle, oxidativer Stress und  
DNS-Schäden

09 > Review: Kalzium-Signalisierung durch den  
spannungsabhängigen Anionenkanal

10 > Review: EMF-Wirkung auf Ionenkanäle

11 > Review: Elektrosensibilität

13 > Wirkung von EMF und Pestiziden auf Honigbienen

14 > Wirkung schwacher statischer Magnetfelder

16 > Kommentar: 5G, Gesundheit, Wirtschaft und Politik

18 > Register 2021

untersucht, ob WLAN-Strahlung die Eigenschaften der pathogenen Carbanemen-resistenten *K. pneumonia*-Zellen beeinflusst im Hinblick auf morphologische Veränderungen, Verhalten gegenüber Antibiotika und Biofilm-Bildung sowie die Expression von Genen, die mit der Biofilmproduktion und dem Quorum-sensing (QS) zu tun haben (*bcsA*, *mrkA*, and *luxS*). Quorum-sensing in Bakterien ist die Regulation der Genexpression als Reaktion auf ständig wechselnde Zelldichten. QS-Bakterien bilden chemische Signalmoleküle, deren Konzentration je nach Zelldichte ansteigt. So wird unter vielen anderen physiologischen Zellprozessen Virulenz, Antibiotika- und Biofilmherstellung gesteuert. Durch QS können sich Bakterien an Änderungen der Umweltbedingungen anpassen. Die Evolution von QS in Bakterien könnte einer der ersten frühen Schritte in der Entwicklung hin zu vielzelligen Organismen gewesen sein.

### Studiendesign und Durchführung:

Zur Untersuchung der Wirkung auf andere Antibiotika wurden Gentamycin und Colistin eingesetzt, als Strahlungsquelle diente ein 2,4-GHz-WLAN-Router, die Antenne stand in einem abgeschirmten Inkubator 30 cm von den Bakterienkulturen entfernt, die Temperatur betrug konstant  $36 \pm 1$  °C. Das Feld von  $6 \text{ V/m} = 0,05 \text{ W/m}^2$  wurde konstant an den Kulturen gemessen, die WLAN-Strahlung wirkte 1, 5, 10, 20, 24 und 48 Stunden kontinuierlich ein. Jede Kontrolle stand in einem Faraday-Käfig bei gleicher Temperatur. Die bei 37 °C geschüttelten 24-Stunden-Bakterienkulturen wurden im Elektronenmikroskop auf morphologische Veränderungen untersucht. Für die Bestimmung der Antibiotikaresistenz gegenüber Colistin und Gentamycin wurden die Zellen 1, 5, 10 und 20 Stunden bestrahlt; die Empfindlichkeit für Antibiotika wurde mit der Bestimmung der minimalen Hemmkonzentration durchgeführt (MHK). Die Messung der Biofilmbildung erfolgte mit Kristallviolett bei 595 nm. Für die RNA-Extraktion standen die Proben unter Schütteln über Nacht bei 37 °C, die WLAN-Bestrahlung dauerte 24 Stunden. Von jedem Ansatz gab es 3 Wiederholungen.

### Ergebnisse:

Die Antibiotikaresistenz gegen Gentamycin und Colistin zeigte nach 1, 5, 10 und 20 Stunden Bestrahlung lediglich

nach 5 Stunden Unterschiede im Vergleich zu den Kontrollen, und zwar erhöhte Empfindlichkeit bei beiden Antibiotika, eine nicht-lineare Reaktion. Davor und danach war die gewohnte Resistenz vorhanden. Elektronenmikroskopisch erschienen einige morphologische Veränderungen in den Zellmembranen der Bakterienzellen innerhalb der 24-Stunden-Bestrahlung. Das waren Störungen in Zellwand, Zellmembran und Protoplasma: Zytoplasma war ausgetreten und Zelltrümmer waren zu sehen. Die Bildung des Biofilms war signifikant 1,3- und 2,1-fach erhöht gegenüber den Kontrollen nach 24 bzw. 48 Stunden der WLAN-Bestrahlung. Die relative Expression der Gene *luxS*, *bcsA* und *mrkA* zeigte ebenfalls Unterschiede: signifikante Hochregulation der Gene der bestrahlten gegenüber den unbestrahlten Zellen.

### Schlussfolgerungen:

Die 24-Stunden-Bestrahlung der Zellen mit 2,4 GHz eines WLAN-Routers führte zu einer nicht-linearen Reaktion der Bakterienzellen von *Klebsiella pneumoniae* auf die Antibiotika Gentamycin und Colistin. Nach 5 Stunden Wachstum befinden sich die Bakterienzellen inmitten der exponentiellen Wachstumsphase mit entsprechender Genexpression. Die Ergebnisse bestätigen die Gültigkeit der Fenster-Theorie. Die Fähigkeit, Biofilme zu bilden, war bei den bestrahlten Zellen signifikant stärker ausgeprägt als bei den Kontrollen. Zudem gab es höhere Konzentrationen der mRNA von *bcsA*, *mrkA* und *luxS*. Biofilme schützen die Bakterien u. a. vor Änderungen des pH-Wertes, Nährstoffmangel und Antibiotika.

Die Stelle des Angriffs von Colistin auf die Zelle ist die bakterielle Zellwand, Gentamycin durchdringt

die Porin-Kanäle in der Zellwand gramnegativer Bakterien. Wenn Gentamycin an die 30s-Untereinheit der Ribosomen gebunden ist, wird die Proteinsynthese verhindert. Aufgrund der Ergebnisse dieser Experimente kann man schließen, dass WLAN-Strahlung einen Eingriff auf den Zellkörper der Bakterien haben könnte. Die Strahlung bewirkt Änderungen der Zellmembranen und fördert das Eindringen von Substanzen durch die Membran-Kanäle, was eine Änderung der Empfindlichkeit gegenüber Antibiotika herbeiführt. Die Daten legen nahe, dass WLAN-Strahlung Bakterien stresst, es kommt zu einer Veränderung der Empfindlichkeit gegenüber Antibiotika, der Morphologie und der Biofilm-Bildung. (IW)

**Die Strahlung bewirkt Änderungen der Zellmembranen und fördert das Eindringen von Substanzen durch die Membran-Kanäle, was eine Änderung der Empfindlichkeit gegenüber Antibiotika herbeiführt.**



### EMF stört Redox-Gleichgewicht

## Elektromagnetische Felder verändern das Redox-Gleichgewicht im Verdauungstrakt von Ratten

Sieroń K, Knapik K, Onik G, Romuk E, Birkner E, Kwiatek S, Sieron A (2021): Electromagnetic Fields Modify Redox Balance in the Rat Gastrointestinal Tract. *Front Public Heal.* 2021; 9 (September):1-10. doi:10.3389/fpubh.2021.710484

Im Laufe seines Lebens ist der Mensch konstant einem breiten Spektrum von elektromagnetischen Feldern (EMF) mit unterschiedlichen Eigenschaften ausgesetzt. Dabei nehmen anthropogen verursachte Felder immer weiter zu. Während niederfrequente EMFs hauptsächlich von Wechselstromleitungen bzw. Wechselstromgeräten generiert werden, werden hochfrequente EMFs von Mobiltelefonen, Mobilfunkbasisstationen und WLAN ausgestrahlt. Es konnte in der Vergangenheit demonstriert werden, dass beide Formen der EMFs oxidativen Stress verursachen bzw. die Redox-Balance stören können. Allerdings ist bisher nicht bekannt, welchen Einfluss nieder- bzw. hochfrequente EMFs auf das Redox-Gleichgewicht im Verdauungstrakt besitzen. Daher war es das Ziel der hier vorgestellten Studie, die Wirkung divergenter EMFs auf den oxidativen Status der Zunge, Speicheldrüse, Speiseröhre, des Magens sowie Dünn- und Dickdarms von Ratten zu untersuchen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Studie wurde an 10 Wochen alten männlichen Wistar-Ratten durchgeführt. 40 Exemplare wurden randomisiert in vier Gruppen unterteilt: 1) scheinbestrahlte Gruppe; 2) Niederfrequenz-Gruppe; 3) Hochfrequenz-Gruppe; 4) Nieder- & Hochfrequenz-Gruppe. Die Niederfrequenz-Befeldung erfolgte mit 50 Hz, 10 kV/m und 4,3 pT für 22h pro Tag. Als Hochfrequenz-Strahlungsquelle diente ein Nokia 5110. Über 8 Stunden täglich wurde alle 30 Minuten eine Einzelverbindung hergestellt (16 Verbindungen pro Tag). Die mittlere Leistungsdichte wurde detektiert: während der Initialisierung der Verbindung betrug sie 85,3  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ , während der Ver-

bindung 17,0  $\mu\text{W}/\text{m}^2$ . Gruppe 4 erhielt eine gleichzeitige Nieder- & Hochfrequenzbefeldung. Die Bestrahlung wurde über einen Zeitraum von 4 Wochen durchgeführt. Anschließend wurden die Versuchstiere getötet und Proben folgender Organe des Verdauungstraktes entnommen und homogenisiert: Zunge, Speicheldrüse, Speiseröhre, Magen, Dünndarm, Dickdarm. Anschließend erfolgte die Analyse einer ganzen Reihe von Oxidationsmarkern (Enzymaktivitäten der Superoxid-Dismutase (SOD), Mn-SOD, Cu,Zn-SOD, Katalase (KAT), Glutathion S-Transferase (GST), Glutathionperoxidase (GPx), Glutathionreduktase (GR); außerdem totale antioxidative Kapazität (TAK), totaler oxidativer Status (TOS), Malondialdehyd (MDA).

### Ergebnisse:

Sowohl nieder- als auch hochfrequente elektromagnetische Felder konnten in allen untersuchten Geweben des Verdauungstraktes Veränderungen der untersuchten Oxidationsmarker hervorrufen. Die Veränderungen der Stressparameter ist divergent und hängt von den physikalischen Eigenschaften der EMFs ab. Tatsächlich konnte die niederfrequente Befeldung pro-oxidative Prozesse stärker begünstigen als hochfrequente Befeldung. So wurde beispielsweise lediglich bei Gruppe 2 Veränderungen des MDA-Gehalts in Speicheldrüse, Speiseröhre und Dickdarm festgestellt. In vielen Fällen wurden die durch EMF hervorgerufenen reaktiven Sauerstoffspezies durch antioxidative Schutzmechanismen kompensiert.

### Schlussfolgerungen:

Die 4-wöchige Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern, mit ähnlichen Eigenschaften wie sie in der Umwelt vorkommen, konnte das Redox-Gleichgewicht im Verdauungstrakt beeinflussen. Möglicherweise könnte eine Verlängerung der Belastung zu einer Erschöpfung des antioxidativen Schutzsystems führen und so zu deutlicheren Veränderungen führen. Niederfrequente elektromagnetische Felder waren im Stande, den signifikantesten oxidativen Stress im Verdauungstrakt der Ratten hervorzurufen. Laut den Autoren sollte eine chronische Belastung mit diesen elektromagnetischen Feldern als potentieller Risikofaktor für Pathologien des Verdauungstraktes gelistet werden. Ohne Zweifel demonstrierte diese Studie den komplexen Charakter der Wirkung von Magnetfeldern auf biologische Systeme. (RH)

**Laut den Autoren sollte eine chronische Belastung mit diesen elektromagnetischen Feldern als potentieller Risikofaktor für Pathologien des Verdauungstraktes gelistet werden.**



## HF-Wirkung auf Spermien

# Aktuelle Erkenntnisse über die Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung auf die Spermienqualität: Eine aktualisierte systematische Übersicht und Meta-Analyse von Human- und Tierstudien

Yu G, Bai Z, Song C, Cheng Q, Wang G, Tang Z, Yang S (2021): Current progress on the effect of mobile phone radiation on sperm quality: An updated systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Environ Pollut.* 2021;282:116952. doi:10.1016/j.envpol.2021.116952

Drahtlose Kommunikationsgeräte erzeugen nicht-ionisierende Strahlung, welche als hochfrequente elektromagnetische Strahlung bezeichnet wird. Die zunehmende Nutzung von diesen drahtlosen Kommunikationsgeräten, wie z.B. Mobiltelefonen, hat Bedenken über mögliche, gesundheitliche Auswirkungen aufkommen lassen. Unter anderem besteht die Sorge, ob hochfrequente Felder die Spermienqualität und damit die männliche Fruchtbarkeit negativ beeinflussen können. Laut den Autoren herrscht derzeit in der Öffentlichkeit Konsens, dass Hochfrequenzstrahlung ein Hauptrisikofaktor für eine verminderte Spermienqualität darstellt. Die Ergebnisse aktueller Forschungen zeigen jedoch kein einheitliches Bild, sodass die Frage, ob Mobilfunkstrahlung die Spermienqualität negativ beeinflussen kann, in der wissenschaftlichen Fachwelt ungelöst und diskutiert bleibt. Die Autoren der hier vorgestellten Übersichtsarbeit haben eine Meta-Analyse aktueller Forschungsarbeiten durchgeführt, um Licht in das Dunkel über den Zusammenhang zwischen Mobilfunkstrahlung und männlicher Fruchtbarkeit zu bringen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren führten eine Meta-Analyse von 39 Studien durch. Darunter befanden sich 5 Querschnittsstudien am Menschen, 8 in-vitro Studien an menschlichen Spermien sowie 26 Nagetierstudien. Ein Auswahlkriterium für die in-vitro Studien zu menschlichen Spermien sowie den Tierstudien war eine Strahlenbelastung mit einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von unter 2 W/kg.

### Ergebnisse:

Laut den Wissenschaftlern mangelt es momentan an relevanten epidemiologischen Studien am Menschen. Studien würden überwiegend anhand von Tiermodellen durchgeführt, von denen einige Mobiltelefone als Strahlungsquelle nutzten, während andere Simulatoren einsetzten. Nur wenige Studien befassten sich mit den Auswirkungen von 4G- oder 5G-Geräten und es wurden erhebliche Unterschiede zwischen den Bewertungsmethoden der tatsächlichen Strahlendosen festgestellt. Des Weiteren bewerteten die meisten Studien die Wirkung von Mobilfunk auf die Sper-

mienqualität an Hand von Parametern wie Dichte, Beweglichkeit, Lebensfähigkeit und Morphologie. Nur wenige untersuchten fortgeschrittene Spermienfunktionstests, den DFI-Test oder Tests zur Bewertung der Nachkommen. Fast alle ausgewählten Studien untersuchten die Auswirkungen von Ganzkörperbestrahlung, sehr wenige widmeten sich der lokalen Bestrahlung der Fortpflanzungsorgane. Bei der Auswertung aller Querschnittsstudien am Menschen konnten die Wissenschaftler keinen Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und Abnahme der Spermienqualität feststellen. Allerdings trug das Studienggebiet zur Heterogenität der Studien bei. Die Nutzung von Mobiltelefonen in Osteuropa sowie Westasien konnten mit einer verminderten Spermiedichte und -motilität in Verbindung gebracht werden. Die kombinierten Ergebnisse der in-vitro Studien an menschlichen Spermien zeigten, dass Hochfrequenzstrahlung von Mobiltelefonen reife Spermien beeinträchtigen kann. Es konnte eine Verminderung der Spermienmotilität sowie Überlebensfähigkeit demonstriert werden. Auch die Studien am Tiermodell konnten negative Auswirkungen von Hochfrequenz auf die Spermienqualität feststellen. Die gebündelten Ergebnisse zeigen eine Verringerung der Spermienmotilität sowie Überlebensfähigkeit bei Ratten. Bei Mäusen konnte eine verminderte Spermienkonzentration festgestellt werden. Untergruppenanalysen deuteten darauf hin, dass die Studienheterogenität bei fixierten Ratten abnahm. Eine weitere Untergruppenanalyse deutete darauf hin, dass Hochfrequenz bei Ratten, welche älter als 10 Wochen waren, auch zu einer Abnahme der Spermiedichte führte. Bei jüngeren Ratten wurden keine derart signifikanten Auswirkungen festgestellt.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse der Meta-Analyse zeigen, dass sowohl beim Menschen als auch in Tierversuchen verminderte Spermienqualität in Verbindung mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern gebracht werden kann. Laut den Autoren seien weitere Studien zur Auswirkung von Hochfrequenz auf die männliche Fruchtbarkeit von großer praktischer Bedeutung. Selbst geringe Auswirkungen, welche nur bei wenigen Promille der Mobilfunknutzer zu Problemen führten, könnten demnach dennoch zu einer globalen medizinischen Katastrophe führen. Die Wissenschaftler formulieren außerdem ihre persönliche Meinung, dass der SAR-Wert als Schlüsselindex für die Bewertung von Umweltrisiken obsolet sei. Sie führen verschiedene Gründe auf, unter anderem: unstimmige Berechnungen; lediglich Berücksichtigung thermische Mechanismen; keine Berücksichtigung tatsächlicher Dichte, Permeabilität und Dielektrizitätskonstante von Organen; nicht-standardisierte SAR-Messungen. Der SAR-Wert sei möglicherweise nicht mehr sicher genug, um die menschliche Gesundheit zu schützen. Aus diesem Grunde müsse die akademische Gemeinschaft andere, geeignetere Indizes ermitteln. Außerdem sollten interdisziplinäre Kooperationen eingerichtet werden, um den sicheren Grenzwert für die Hochfrequenzdosis von Mobiltelefonen neu zu definieren. (RH)



### HF-Wirkung auf männliche Hormone

## Auswirkung von Strahlung, welche durch drahtlose Geräte ausgesandt wird, auf männliche Fortpflanzungshormone: eine systematische Übersicht

Maluin SM, Osman K, Jaffar FHF, Ibrahim SF (2021): Effect of Radiation Emitted by Wireless Devices on Male Reproductive Hormones: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2021;12(September):1-8. doi:10.3389/fphys.2021.732420

Die Belastung mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung diverser drahtloser Geräte nimmt durch den Fortschritt der Technik immer weiter zu. Die Hoden stellen Hochfrequenz gegenüber ein besonders gefährdetes Organ dar, da sie sowohl gegenüber oxidativem Stress als auch Hitzeentwicklung empfindlich reagieren. Die Empfindlichkeit gegenüber oxidativem Stress ist auf die hohe Zellteilungsrate und den mitochondrialen Sauerstoffverbrauch sowie schwache antioxidative Schutzmechanismen zurückzuführen. Sowohl Hitze als auch oxidativer Stress werden mit einer Störung des Keimzellzyklus sowie erhöhter Apoptose der Spermien in Verbindung gebracht. Der Verlust von Keimzellen kann sich auf den Hormonhaushalt auswirken, da sie eine der wichtigsten Komponenten der sogenannten Hypothalamus-Hypophysen-Gonaden-Achse sind. Das komplizierte Zusammenspiel der an dieser Achse beteiligten Hormone, insbesondere des Gonadolibarins, des follikelstimulierenden Hormons (FSH), des luteinisierenden Hormons (LH) sowie des Testosterons und Östrogens ist für die männliche Fruchtbarkeit von wesentlicher Bedeutung. Die hier vorgestellte Übersichtsarbeit beschäftigt sich mit wissenschaftlichen Erkenntnissen zu den Auswirkungen von Mobilfunk- und WLAN-Strahlung auf die Hypothalamus-Hypophysen-Achse und die männlichen Fortpflanzungshormone.

### Studiendesign und Durchführung:

Von ursprünglich 368 recherchierten Artikeln wählten die Autoren 19 als für diese Übersichtsarbeit geeignet aus. Es wurden Mobilfunkstudien mit Frequenzen zwischen 850 und 1850 MHz sowie WLAN-Studien mit 2,45 GHz berücksichtigt. 14 der 19 Studien beschrieben die Auswirkung von Mobilfunk auf männliche Fortpflanzungshormone anhand von Nagetieren als Modellorganismen. Das Studiendesign unterschied sich jedoch in vielerlei Hinsicht, unter anderem beim Alter der Tiere, Variationen in der Frequenz sowie der Strahlungsquelle, Strahlungsdauer sowie Abstand zwischen Strahlungsquelle und Versuchstier. 2 Nagetierstudien untersuchten die Auswirkung von

2,45 GHz WLAN-Strahlung. 3 Kohortenstudien beschäftigten sich mit der Wirkung von Mobiltelefonen auf den Menschen.

### Ergebnisse:

85 % (12 von 14) der Studien zu Mobilfunkstrahlung am Tiermodell zeigten eine signifikante Abnahme des Testosteronspiegels nach Bestrahlung. Als Gründe dafür wurden negative Auswirkungen auf die Leydigzellen in Form von oxidativem Stress, Apoptose sowie Veränderungen der Proteinkinase C angeführt. Keine der Studien untersuchte die Wirkung von Mobilfunk auf den männlichen Östrogenspiegel. Lediglich 6 Studien analysierten die Serumspiegel der Gonadotropinhormone LH und FSH. Die Befunde dieser 6 Studien waren nicht übereinstimmend: 2 Artikel fanden erhöhte LH- und FSH-Spiegel, 2 zeigten verminderte LH- und FSH-Spiegel und 2 beschrieben keine Veränderungen nach Mobilfunkbestrahlung. Die Auswirkung von Mobilfunk ist somit nicht definierbar, es scheint sich jedoch möglicherweise ein Trend je nach Expositionsniveau abzuzeichnen. Beide Studien, welche verminderte Gonadotropinhormonspiegel feststellten, besaßen eine höhere Mobilfunkintensität, als die beiden Studien, welche einen erhöhten Hormonspiegel aufzeigten. Die beiden Studien, welche sich mit der WLAN-Wirkung beschäftigten, besaßen ebenfalls widersprüchliche Ergebnisse. Die Studienanzahl als solche war außerdem zu gering um aussagekräftige Rückschlüsse ziehen zu können. Ähnlich verhielt es sich mit den epidemiologischen Humanstudien. Da in diesem Fall nur drei Artikel zur Verfügung standen, waren Rückschlüsse nicht möglich. Außerdem wurde der altersabhängige Rückgang des Testosterons in diesen Kohortenstudien nicht berücksichtigt.

### Schlussfolgerungen:

Die zum momentanen Zeitpunkt vorhandenen Daten, sowohl von Tierversuchsmodellen als auch vom Menschen, zu der Auswirkung von Hochfrequenzstrahlung auf die männlichen Fortpflanzungshormone sind inkonsistent und aufgrund der Heterogenität schwer zu interpretieren. Im Falle von Tiermodellen sind ein verbessertes Studiendesign, einschließlich Tierausswahl, Dosimetrieanalyse sowie Expositionsbeurteilung von Nöten, um die Heterogenität zu vermindern und eine korrekte Interpretation der biologischen Ergebnisse zu ermöglichen. Trotzdem stimmen die meisten Tierstudien darin überein, dass die langfristige Belastung mit Hochfrequenz männliche Fortpflanzungshormone, insbesondere Testosteron, beeinflussen kann. Aus diesem Grund empfehlen die Autoren langfristigen und übermäßigen Gebrauch von drahtlosen Kommunikationsgeräten zu vermeiden, um nachteilige Auswirkungen von Hochfrequenz zu verringern. Wirkung und Mechanismus von Hochfrequenzstrahlung auf die Hypothalamus-Hypophysen-Hoden-Achse sind noch fraglich, es bedarf weiterer Forschung. (RH)



## Oxidativer Stress und die Mechanismen

# Review: Oxidativer Stress und NADPH-Oxidase: Zusammenhang zwischen elektromagnetischen Feldern, Kationen-Kanälen und biologischen Wirkungen

Georgiou CD, Margaritis LH (2021): Review: Oxidative Stress and NADPH Oxidase: Connecting Electromagnetic Fields, Cation Channels and Biological Effects. *International Journal of Molecular Sciences* 22, 10041. <https://doi.org/10.3390/ijms221810041>

Oxidativer Stress (OS) in Lebewesen entsteht durch die Produktion von reaktiven Sauerstoff- oder Stickstoffmolekülen (ROS und RNS), deren Auslöser künstliche elektromagnetische Felder sein können. Elektromagnetische Felder stören das elektrochemische Gleichgewicht in biologischen Membranen, wobei abnorme Kationenbewegungen und Beeinflussung der spannungsabhängigen Ionenkanäle in den Membranen entstehen. Das kann oxidativen Stress auslösen und führt zur Beeinträchtigung aller Zellfunktionen einschließlich Schädigung der DNA und anschließender Krebsentstehung. Die biochemischen Feinheiten der biologischen Mechanismen beim Entstehen von oxidativem Stress sind weitgehend unklar. Am besten untersuchte Mechanismen sind die Funktionsänderungen der Ionenkanäle. Die bekannteste Hypothese für diese Mechanismen sind die Schwingungskräfte von hoch- und niederfrequenten Feldern (HF 900, 1800, 1900, 2450 MHz, NF 0–3000 Hz) auf jedes freie Ion auf beiden Seiten von biologischen Membranen, wodurch die Ionen, besonders Kationen, zu unnormalen Raten durch die Membranen geschleust werden. Solche abweichenden Kationenbewegungen können die biochemischen Eigenschaften von Membranen verändern und Funktionsstörungen der Kationen-Kanäle verursachen, vor allem die spannungsgesteuerten Kanäle betreffend. Dadurch kann der oxidative Stress ansteigen und die meisten Zellfunktionen und die DNA schädigen, auch können Erkrankungen wie Krebs begünstigt werden. In dieser Arbeit werden 3 wichtige Fragen untersucht:

1) die wichtigsten Mechanismen der OS-Erzeugung durch das Einwirken elektromagnetischer Felder auf die spannungsgesteuerten Kanäle im Zusammenwirken mit der ROS-erzeugenden NADPH-Oxidase (NOX) und den spannungsabhängigen Calcium-Kanälen, 2) die zugrunde liegende OS-Biochemie und 3) die daran beteiligten biologischen Schlüsselwirkungen.

**Die Störung des elektrochemischen Gleichgewichts**, der Funktion der Zellmembranen der Kationen-Kanäle und der Bildung von OS durch EMFs kann folgende Mechanismen umfassen: Die durch EMFs erzeugten Vibrationen an den Zellmembranen können auf die Ionenkanäle einwirken und den Transport

freier Ionen wie  $K^+$ ,  $Na^+$  und  $Ca^{2+}$  verändern. Ob die Kanäle geöffnet oder geschlossen werden hängt von einem bestimmten Wert ab, der auf die Spannungssensoren einwirkt. Eine kleine Spannungsänderung von 30 mV im Membranpotential kann den Durchlass bewirken. Solche Änderungen können schon durch Austausch eines einzigen Ions entstehen und bei äußerst geringen Intensitäten der Felder entstehen.

Wenn EMFs einwirken, werden die Kanäle in der Plasmamembran aktiviert, es werden  $Ca^{2+}$ -Ionen im Überschuss freigesetzt und es kommt zu krankhaften Auswirkungen durch die Entstehung von ROS wie Stickstoffoxid ( $NO^*$ ), Superoxid-Radikal ( $O_2^{\cdot-}$ ) und Peroxynitrit ( $ONOOH$ ). Das Enzym NADPH-Oxidase (NOX) sitzt in der Plasmamembran und ist wahrscheinlich an der OS-Produktion beteiligt, wenn die Ionenkanäle EMFs ausgesetzt sind. Normalerweise soll das Enzym über die ROS-Produktion eindringende Mikroorganismen beseitigen. Insbesondere produziert NOX das Superoxid-Radikal ( $O_2^{\cdot-}$ ), das zu Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) umgebildet wird, welches sich dann bewegen und außerhalb oder innerhalb von Zellen in das biologisch höchst wirksame Hydroxylradikal ( $\cdot OH$ ) umgewandelt werden kann. Das Hydroxylradikal kann alle biologischen Moleküle oxidativ schädigen. Es ist das am stärksten zellschädigende ROS, das sich frei innerhalb oder außerhalb von Zellen bewegen kann. Es kann auch die Membranen innerhalb der Zellen passieren, d. h. auch die Kernmembran durchdringen und die DNA erreichen.

Betrachtet man das  $O_2^{\cdot-}$ - und  $H_2O_2$ -Gleichgewicht in vivo, hat man angenommen, dass das Überleben von Zellen durch den intrazellulären Anstieg von  $O_2^{\cdot-}$  gefördert wird. Dagegen wird bei der Apoptose (programmierter Zelltod) die Produktion von  $H_2O_2$  in den Zellen gesteigert, wobei  $O_2^{\cdot-}$  abnimmt. Wenn beide im Überschuss produziert werden, wird nekrotischer Zelltod eingeleitet.

**Die hauptsächliche biologische Wirkung** der elektromagnetischen Felder ist der Anstieg von OS, der an erhöhten Konzentrationen von ROS/RNS sichtbar ist, mit Auswirkungen auf viele Zellprozesse bis hin zu Krebs. Dazu gehören Strangbrüche (Einzel- und Doppelstrang) und Oxidation der DNA, Anstieg (z. B. Ornithindecaboxylase) und Verminderung (z. B. Melatonin) verschiedener biologischer Parameter und Beeinflussung von Signalwegen.

Die Induktion von OS durch EMF über gesteigerte Konzentrationen von freien Radikalen wurde zur Herausforderung hauptsächlich durch 1) die bisherige Behauptung, die nicht-ionisierende Natur der EMFs könne keine kovalenten Bindungen brechen bei nicht-thermischen Intensitäten, so das Argument, und weil 2) die Messungen von OS werden mit nicht-spezifischen Methoden durchgeführt. Entweder sind es Methoden, die nicht spezifisch für die Identifikation von erzeugten freien Radikalen sind oder die indirekt biologische Schlüssel-moleküle für oxidative Änderungen messen, z. B. DNA-Schädigung oder Lipid- bzw. Proteinperoxidation. Künstliche elektromag-

netische Felder haben nicht genug Energie, um freie Radikale zu erzeugen z. B. bei frei beweglichen  $\text{H}_2\text{O}$ -Molekülen durch ein einziges Photon. Allerdings sind die EMFs solcher Photonen vollständig synchronisiert (in Bezug auf Frequenz, Polarisation, Phase und Ausbreitungsrichtung), dabei produzieren sie kumulativ makroskopisch elektrische und magnetische Felder sowie elektromagnetische Felder. Diese könnten stark genug sein, kovalente Bindungen zu brechen und direkt freie Radikale zu erzeugen.

Zweitens können natürlich auftretende freie Radikale ansteigen durch das Verhindern von entweder 1) Reaktionen untereinander (z. B. durch die bereits erwähnten Reaktionspartner  $\cdot\text{NO} + \text{O}_2\cdot^-$  und den Produkten  $\cdot\text{OH} + \cdot\text{NO}_2$  oder 2) durch die Rückreaktion (Umkehrreaktion von Dissoziation) von enzymatisch erzeugten freien Radikalpaaren als Übergangsstadien. Eine solche Unterbindung kann durch EMF-induzierte freie Radikalpaar-Mechanismen unterstützt werden; die EMFs verhindern die Rückreaktion der freien Radikalpaare durch Umkehrung der Spin-Richtung des Einzelelektrons von einem der beiden freien Radikale, indem es die Richtung der Magnetfeld-Komponente wegschnippt und es entstehen 2 freie Radikale, deren Elektronenspin parallel verläuft und somit wird deren Konzentration indirekt erhöht. Der Mechanismus der Bildung von freien Radikalen veranlasste die International Agency for Research on Cancer (IARC), hochfrequente Strahlung in die Kategorie „möglicherweise Krebs erregend“ aufzunehmen. Diese beiden Mechanismen, der Anstieg der Radikal-Konzentration untermauert die Ergebnisse, dass durch niederfrequente Felder die Konzentration von  $\text{O}_2\cdot^-$  um ein Vielfaches in verschiedenen Organen von Mäusen ansteigen, wenn sie Feldstärken der ICNIRP-Richtlinien von 100  $\mu\text{T}$  bei 50 Hz ausgesetzt waren (baldige Veröffentlichung von Georgious Labor). Deshalb müssen Methoden für die in vivo-Bestimmung der biologischen Schlüssel-moleküle, den freien Radikale  $\cdot\text{OH}$  und  $\text{O}_2\cdot^-$ , entwickelt werden, um die Erzeugung von Krebs erregenden OS durch EMFs eindeutig belegen zu können.

### Schlussfolgerungen:

Auf der Basis der obigen Ergebnisse kann man davon ausgehen, dass EMFs Mechanismen beeinflussen, die ROS-Bildung zur Folge haben, weil durch die Felder Membranen und spannungsabhängige Kationenkanäle in ihrer Funktion beeinträchtigt werden, gefolgt von Stressaktivierung und vermehrter Expression von Hitzeschockproteinen. Das geht einher mit Verhaltens- und physiologischen Veränderungen wie Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke, Gedächtnisschwäche, Änderungen der Genexpression, Autophagie, Apoptose, verkürzter Lebenserwartung, DNA-Schäden und Krebs. Die Schlussfolgerung ist, dass nicht-ionisierende Felder direkt ROS erzeugen können, was wissenschaftlich noch belegt werden muss. (IW)



### Mechanismen der biologischen Wirkungen von EMF

## Review: Vom Menschen verursachte elektromagnetische Felder: Erzwungene Oszillation von Ionen und Dysfunktion spannungsabhängiger Ionenkanäle, oxidativer Stress und DNS-Schäden

Panagopoulos, D.J., Karabarounis, A., Yakymenko, I., & Chrousos, G.P. (2021). Human-made electromagnetic fields: Ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review). *International Journal of Oncology*, 59, 92. <https://doi.org/10.3892/ijo.2021.5272>

Die Exposition von Tieren/Zellen gegenüber von menschengemachten elektromagnetischen Feldern (EMF), insbesondere im extrem niederfrequenten Bereich („extra low frequency“, ELF, z.B. 50-Hz-Netzstrom) und im Mikrowellen-/Funkfrequenzbereich, der immer mit ELF kombiniert ist, kann zu DNS-Schäden führen. DNS-Schäden werden mit Zelltod, Unfruchtbarkeit und anderen Krankheiten, einschließlich Krebs, in Verbindung gebracht. Die ELF-Belastung durch Hochspannungsleitungen und die komplexe HF-Belastung durch drahtlose Kommunikationsantennen/-geräte sind mit einem erhöhten Krebsrisiko verbunden.

### 1. Biophysikalische Wirkung von polarisierten/kohärenten EMF an spannungsgesteuerten Ionenkanälen („voltage gated ion channel“, VGIC)

Panagopoulos hatte schon im Jahre 2000 den Mechanismus der erzwungenen Ionen-Oszillation vorgeschlagen, der in der Zwischenzeit durch Neuveröffentlichungen mehrfach verfeinert wurde. Die Grundidee ist, die Kräfte zu berechnen, die gebraucht werden, um den Spannungssensor eines VGIC zu aktivieren. Aus der (Neuro-)Biologie sind die hierbei vorliegenden typischen Membranpotenziale bekannt, die durch unterschiedliche Ionenkonzentration dies- und jenseits einer Zellmembran entstehen. Verschiedene andere Forscher haben versucht, die Kräfte eines anthropogenen EMFs am VGIC zu berechnen, entweder unter Annahme, dass Ionen oder Wassermoleküle im Kanal zum Schwingen angeregt werden. Panagopoulos schlägt eine andere Dynamik vor, und zwar, dass Ionen in der direkten Nähe des (außen-liegenden) Spannungssensors des Kanals durch ein äußeres EMF zum „Mitschwingen“ angeregt werden und berechnet die Kraft und EMF-Charakteristika, die ausreichen sollten, um ein VGIC zu aktivieren. Der Mechanismus basiert auf molekularen und physikalischen Daten unter Berücksichtigung der Kräfte, die durch ein angelegtes polarisiertes oszillierendes EMF auf mobile Ionen in der Nähe der Spannungssensoren der VGICs ausgeübt werden. Das oszillierende Feld zwingt die beweglichen Ionen, auf parallelen Ebenen und in Phase mit dem EMF zu schwingen.

Die meisten Kationenkanäle (u. a.  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  und  $\text{H}^+$ ) in den Membranen aller tierischen Zellen sind spannungsgesteuert. Diese Ionenkanäle wechseln zwischen offenem und geschlossenem Zustand, was als „Gating“ bezeichnet wird. Polarisierende/kohärente EMF im niederfrequenten ELF-Band bewirken, selbst bei sehr geringen Feldstärken, durch erzwungene Ionen-Oszillation ein unregelmäßiges Gating von elektrosensiblen Ionenkanälen oder VGICs, was zu einer Störung des elektrochemischen Gleichgewichts der Zelle führt. Dieser Mechanismus erklärt die biologischen Wirkungen der großen Mehrheit der vom Menschen verursachten (polarisierten und kohärenten) EMF – da alle technisch genutzten HF-EMF im ELF-Band gepulst und/oder moduliert sind, oder zumindest ELF-Komponenten in ihrem Signal aufweisen.

Die Gültigkeit des vorgeschlagenen Mechanismus wurde durch numerische Tests überprüft, während andere zuvor vorgeschlagene Mechanismen denselben Test nicht bestanden haben.

## 2. Biochemische Prozesse, die durch unregelmäßiges Gating von VGICs aktiviert werden

Wiederholtes unregelmäßiges Gating von elektrosensiblen Ionenkanälen stört das zelluläre elektrochemische Gleichgewicht und die Homöostase, was zu einer Überproduktion von reaktiven Sauerstoffspezies („reactive oxygen species“, ROS) bzw. freien Radikalen führt.

Eine Überproduktion von ROS in lebenden Zellen aufgrund von EMF-Exposition ist zuverlässig dokumentiert, wobei zwei wichtige ROS, die nach EMF-Exposition gefunden wurden, Superoxidanionen und Stickstoffoxid sind. Diese können entsprechend zu Hydroxylradikalen ( $\text{OH}^\cdot$ ) und Peroxynitrit ( $\text{ONOO}^\cdot$ ) führen, wobei beide ROS sehr reaktiv mit biologischen Molekülen und insbesondere mit der DNS sind. Das Superoxidanion-Radikal ( $\text{O}_2^{\cdot-}$ ) wird von Superoxiddismutase-Enzymen im Zytosol oder in den Mitochondrien katalysiert und in Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) umgewandelt.  $\text{OH}^\cdot$  gilt als das stärkste Oxidationsmittel für DNS. Der wichtigste Mechanismus für die  $\text{OH}^\cdot$ -Produktion ist die durch Eisen katalysierte Umwandlung von  $\text{H}_2\text{O}_2$  über die Fenton-Reaktion.

DNS-Schäden durch ROS, die zu Mutationen und Krankheiten führen, sind gut erforscht. Es ist bekannt, dass der intrazelluläre Redoxstatus  $\text{Ca}^{2+}$ -,  $\text{Na}^+$ - und  $\text{K}^+$ -Kanäle aktivieren kann, um die Homöostase wiederherzustellen, und dass umgekehrt die Aktivierung dieser Kanäle den Redoxstatus und das elektrochemische Gleichgewicht der Zelle bestimmt. In mehreren Studien wurden Zusammenhänge zwischen einer gestörten Funktion von Kalzium-, Kalium-, Natrium- und Chloridkanälen und der Entstehung von oxidativem Stress und verwandten Pathologien festgestellt.

Eine Veränderung der intrazellulären Ionenkonzentration wirkt sich auf wichtige zelluläre Signalwege aus, darunter das  $\text{Ca}^{2+}$ -Signalsystem, das eine Vielzahl von Zellfunktionen wie Zellproliferation, Differenzierung, das ROS-Regulationssystem und Apoptose reguliert. Eine gestörte Funktion der spannungs-

gesteuerten Kalziumkanäle im Plasma oder in den Mitochondrienmembranen ist mit Pathogenese und Zytotoxizität verbunden. Ein erhöhter  $\text{Ca}^{2+}$ -Gehalt in den Mitochondrien führt zur Aktivierung der Stickstoffmonoxid-Synthase, um mehr  $\text{NO}^\cdot$  zu erzeugen.  $\text{NO}^\cdot$  hemmt den Komplex IV der Elektronentransportkette, was die Produktion von noch mehr ROS auslöst. Die Regulierung der Apoptose ist entscheidend für die Krebsbekämpfung. Eine übermäßige Apoptose, die durch erhöhte ROS-Konzentrationen ausgelöst wird, steht jedoch im Zusammenhang mit Entzündungskrankheiten und Krebs.

Neben der Wirkung von EMF auf die spannungsgesteuerten Kanäle für metallische Kationen (wie  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  und  $\text{K}^+$ ) werden auch die spannungsgesteuerten Kanäle für Protonen ( $\text{H}^+$ ) beeinträchtigt. Dies wiederum beeinflusst die Funktion der NADPH-Oxidase, einem Enzym, das normalerweise ROS zur Beseitigung eindringender Mikroorganismen erzeugt.

Eine beeinträchtigte Funktion der spannungsgesteuerten  $\text{Na}^+$ -,  $\text{K}^+$ -,  $\text{Mg}^{2+}$ - und  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle kann auch die Funktion der  $\text{Na}^+/\text{K}^+$ -Pumpe (ATPase) und der  $\text{Ca}^{2+}$ -Pumpen in den Plasmamembranen aller Zellen beeinträchtigen. Die Ionenpumpen (aktive Ionentransporter) in allen Zellmembranen bestimmen in Koordination mit den Ionenkanälen (passive Ionentransporter) die Membranspannung, das Zellvolumen und das elektrochemische Gleichgewicht.

## 3. Diskussion

Nach dem vorgestellten biophysikalischen Mechanismus ist die Bioaktivität eines EMF proportional zu seiner Intensität, umgekehrt proportional zu seiner Frequenz und verdoppelt sich bei gepulsten Feldern. Bedeutende experimentelle Belege zeigen, dass die bioaktiven Parameter in einem komplexen Signal seine ELF-Komponenten sind und dass nicht modulierte und nicht gepulste HF-Signale allein in der Regel keine biologischen Wirkungen hervorrufen. Daher legt die vorliegende Studie nahe, dass die überwiegende Mehrheit der nicht-thermischen Wirkungen, die bisher verschiedenen Arten von HF-EMF-Exposition zugeschrieben wurden, in Wirklichkeit auf ihre ELF-Komponenten zurückzuführen sind.

Obschon die mathematisch-physikalische Beweisführung einwandfrei ist, fehlen momentan noch direkte experimentelle Beweise des vorgeschlagenen Mechanismus der erzwungenen Ionen-Oszillation (z.B. welche Ionenkanäle aktiviert werden), und die Abgrenzung zu verwandten Mechanismen (z.B. Radikalpaarmechanismus in Cryptochrom, mit anschließender Aktivierung der VGICs), für die es schon experimentelle Belege gibt, ist noch unklar (Anm. der Red.). Fortschrittlichere Experimente sollten dies jedoch in den nächsten Jahren klären.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es eine klare Abfolge von Ereignissen gibt, die von der unregelmäßigen Steuerung der VGICs durch EMF bis hin zu DNS-Schäden und damit zusammenhängenden Pathologien, einschließlich der Karzinogenese, reicht. (AT)





## Mechanismen der biologischen Wirkung von EMF

### Elektromagnetische Felder und Kalzium-Signalisierung durch den spannungsabhängigen Anionenkanal.

Ullrich, V., & Apell, H. J. (2021). Electromagnetic Fields and Calcium Signaling by the Voltage Dependent Anion Channel. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 11(01), 57. doi: 10.4236/ojvm.2021.111004.

Zwei deutsche Forscher schlagen neue, im Detail provokante und einleuchtende Hypothesen bezüglich des Mechanismus der biologischen Wirkung von elektromagnetischen Feldern (EMF) vor. Elektromagnetische Felder (EMF) können mit biologischem Gewebe interagieren und sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Lebensfähigkeit von Zellen haben, aber die zugrundeliegenden Erkennungs- und Signalmechanismen sind weitgehend unbekannt. Bisher wurde postuliert, dass eine EMF-Exposition in erregbaren Zellen einen  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstrom durch spannungsabhängige Kalzium-Kanäle verursacht, der zu einer Zellaktivierung und einer antioxidativen Reaktion führt. Bei weiterer Aktivierung kann oxidativer Stress zu DNA-Schäden oder Zelltod führen.

#### Studiendesign und Durchführung:

Die Forscher haben mit einer Literaturrecherche zur Beteiligung von Kalzium und spannungsabhängigen Ionenkanälen in Bezug auf biologische Wirkungen von EMF begonnen. Dies ist die momentan geläufigste Hypothese, da Kalziumfreisetzung in vielen Experimenten dokumentiert wurde, und es spezifische spannungsabhängige Kalziumkanäle gibt, die in Nerven- und Muskelgewebe vorkommen – in allen erregbaren Zellen. ( $\text{Ca}^{2+}$  ist ein sekundärer Botenstoff in Zellen, und es ist bekannt, dass die Konzentration von freiem  $\text{Ca}^{2+}$  unter physiologischen Bedingungen präzise reguliert wird, um den zellulären Stoffwechsel intakt zu halten. Überschüssiges  $\text{Ca}^{2+}$  wird sofort in intrazellulären Depots gespeichert oder in begrenztem Umfang aktiv aus der Zelle gepumpt.) Da in der Literatur jedoch auch EMF-Effekte in nicht erregbaren Zellen gefunden wurden, z.B. in roten Blutkörperchen (Erythrozyten), wurden zusätzliche Optionen einbezogen.

#### Ergebnisse:

Die Forscher fanden Hinweise in der Literatur, dass spannungsabhängige Anionenkanäle („voltage dependent anion channel“, VDAC), sich bei subtilen Änderungen eines angelegten EMF in  $\text{Ca}^{2+}$ -leitende Kanäle umwandeln, und dies selbst in

nicht erregbaren Zellen wie Erythrozyten. Experimente belegen, dass Erythrozyten unter EMF-Einfluss die sogenannte Geldrollenform annehmen, die für gewöhnlich nur in Kapillaren beobachtet wird. Diese Formänderung wird bekanntermaßen durch Kalziumeinstrom durch den VDAC ausgelöst.

Der VDAC hat üblicherweise zwei Hauptfunktionen in Zellen: es ist der Transporter für ATP von den Mitochondrien in die Zellflüssigkeit (Zytosol). Bei Dysfunktion der zellulären Energieproduktion bildet VDAC durch Zusammenschluss mehrerer VDAC-Einheiten große Porine aus, die ein wichtiges Enzym der Elektronentransportkette aus den Mitochondrien exportieren und damit den Zelltod (Apoptose) einleiten. VDAC kann darüber hinaus bei Änderung des Membranpotentials mehrere Zwischenformen annehmen, und so z.B. auch als Chlorid- und Kalziumkanal fungieren.

Der VDAC ist mit mehreren anderen Proteinen assoziiert, von denen der 18 kDa-Translokator TSPO von besonderem Interesse ist, da er als zentraler Benzodiazepin-Rezeptor in Neuronen charakterisiert wurde. Da er strukturelle Ähnlichkeiten mit Magnetorezeptoren aufweist (Tryptophan-Triade), postulieren die Autoren, dass TSPO die magnetische Komponente der EMF wahrnimmt und somit zusammen mit VDAC sowohl physiologische als auch pathologische zelluläre Reaktionen auslösen könnte. Vor kurzem wurde der Beweis erbracht, dass das mit TSPO strukturell verwandte magnetosensible Cryptochrom mit spannungsabhängigen Kaliumkanälen verbunden ist, und als Magnetfeldsensor für die Navigation bei Vögeln und Insekten dient (Anm. der Red.).

Es ist bekannt, dass gepulste EMF besonders stark bioaktiv sind, wenn ihre Pulsung im Bereich der natürlichen Frequenzen des EEG (von Mensch oder Tier) liegt, etwa zwischen 5 und 100 Hertz, was als parametrische Resonanz bezeichnet wird (Anm. der Red.). Ein neuronales Netz kann durch sogenannte ephaptische Kopplung anhaltende, sich selbst ausbreitende Wellen erzeugen, was auf einen neuen Ausbreitungsmechanismus für neuronale Aktivität hindeutet, der jedoch noch nicht im Detail verstanden wird (Anm. der Red.). Die Wahrnehmung körpereigener EMF, welche durch die Aktivität der Neuronen und Astrozyten entstehen, dient somit der Regulation von Subsystemen des Nervensystems (Anm. der Red.).

Die hier beschriebenen neuen Hypothesen könnten den Ursprung der parametrischen Resonanz und ephaptischen Kopplung darstellen, und erklären, wieso gepulste EMF im Frequenzbereich des Gehirnwellen-Kommunikationsnetzwerks psychische Störungen bei elektromagnetisch überempfindlichen Personen bewirken. Eine wichtige Unterstützung kommt aus der Humanpsychologie: Defizite wie Schlaflosigkeit, Angst oder Depression können mit Benzodiazepinen behandelt werden, was auf offensichtliche Verbindungen zwischen dem

**Die Forscher präsentieren zwei neue Hypothesen für die EMF-Forschung, die Erklärungen für viele seltsame Beobachtungen liefern würden.**

TSPO/VDAC-Komplex und körperlichen Reaktionen auf EMF hinweist. Zusätzlich konnten wiederholt Antikörper gegen VDAC bei autistischen Kindern festgestellt werden.

### Schlussfolgerung:

Die digitale Revolution verändert das Leben in unserer modernen Welt dramatisch und ermöglicht es der Menschheit, immer komplexere Probleme in kürzerer Zeit zu lösen. Die Menschheit ist gezwungen, immer vernetzter zu agieren und ist auf mobile Kommunikation angewiesen, was unsere Lebensweise erheblich beeinflusst.

Die Forscher präsentieren zwei neue Hypothesen für die EMF-Forschung, die Erklärungen für viele seltsame Beobachtungen liefern würden: erstens, dass, neben anderen spannungsabhängigen Ionenkanälen, VDAC mit verantwortlich ist für biologische Wirkungen von EMF. Zweitens, dass der Benzodiazepin-Rezeptor TSPO auch als Magnetosensor fungiert. In Verbindung mit VDAC als Sensor für das elektrische Feld würde die Spezifität und Empfindlichkeit des Komplexes zur Wahrnehmung von EMFs erhöht, möglicherweise in dem Maße, dass Hirnströme durch den VDAC/TSPO-Komplex in neuronalen Plasmamembranen detektierbar werden könnten. Diese Hypothesen sollten umgehend durch Experimente geprüft werden. (AT)



### EMF-Wirkung auf Ionenkanäle

## Auswirkungen elektromagnetischer Felder auf neuronale Ionenkanäle: eine systematische Übersicht

Bertagna F, Lewis R, Silva SRP, McFadden J, Jeevaratnam K (2021): Effects of electromagnetic fields on neuronal ion channels: a systematic review. *Ann N Y Acad Sci.* 2021;1499(1):82-103. doi:10.1111/nyas.14597

Da die Nutzung von Geräten, welche elektromagnetische Strahlung emittieren, zunimmt, müssen mögliche gesundheitliche Auswirkungen diskutiert werden. Die Belastung mit elektromagnetischen Feldern, sowohl im niederfrequenten Bereich (NF-EMF) als auch im hochfrequenten Bereich (HF-EMF) hat dramatisch zugenommen. Diese elektromagnetischen Felder stammen hauptsächlich aus anthropogenen Quellen, wie z.B. Stromversorgung, spannungsgesteuerten Oszillatoren, Mobilfunkantennen oder Smartphones. Einerseits stehen sowohl NF-EMF als auch HF-EMF im Verdacht, krebserregend zu sein, werden jedoch andererseits bei der Behandlung zahlreicher

neurodegenerativer Erkrankungen eingesetzt. Beide Formen der elektromagnetischen Felder beeinträchtigen nachweislich die Physiologie und funktionelle Aktivität von Neuronen. Es wird als wahrscheinlich angesehen, dass die Felder die neuronale Aktivität durch zelluläre Komponenten beeinflussen, welche besonders empfindlich auf die Veränderung ihrer Ladung reagieren. Darunter fallen spannungsgesteuerte Ionenkanäle. Diese Transmembranproteine lassen, in Abhängigkeit der Ladung, Ionen durch die Zellmembran passieren. Bekannte Vertreter sind z.B. spannungsgesteuerte Calcium- oder Natriumkanäle. Im zentralen Nervensystem spielen Ionenkanäle eine zentrale Rolle bei einer ganzen Reihe von neurophysiologischen Prozessen, unter anderem bei der Bildung von Aktionspotenzialen und der synaptischen Übertragung. Sie sind dementsprechend von elementarer Bedeutung für die Funktion von Nervenzellen (Anm. d. Redaktion). Es konnte demonstriert werden, dass sowohl akute als auch chronische NF-Befeldung zu einem erhöhten Calciumeinstrom in verschiedene Arten von Neuronen führt. Umgekehrt führen chronische, hochfrequente Felder zu einem verminderten Calciumeinstrom. Allerdings sind die in der Literatur dokumentierten Auswirkungen von EMF oft widersprüchlich. Das Hauptziel dieser Übersichtsarbeit besteht also darin, eine systematische Analyse der dokumentierten Auswirkungen von elektromagnetischen Feldern auf neuronale Ionenkanäle vorzunehmen.

### Studiendesign und Durchführung:

Von ursprünglich 175 recherchierten Studien blieben nach der Qualitätsbeurteilung 21 Studien übrig, welche in dieser Übersichtsarbeit inkludiert wurden. Innerhalb dieser 21 Publikationen wurden am häufigsten niederfrequente EMF mit 50 Hz besprochen, welche bei verschiedenen magnetischen Intensitäten abgegeben wurden. In den meisten Fällen überstiegen die Intensitäten jedoch nicht 1 mT. Die Niederfrequenzstudien untersuchten zu 75 % akute oder subchronische Befeldung, während über die Hälfte der Hochfrequenzstudien (33 % der Gesamtstudien) chronische Befeldung analysierten. 95 % der Publikationen entschieden sich für Zelllinien oder Gewebe von Nagetieren als Versuchsobjekt, wobei die Ratte (*Rattus norvegicus*) die präferierte Quelle darstellte. 67 % der Studien untersuchten Calciumkanäle, 24 % Natriumkanäle und 19 % Kaliumkanäle (einige Studien erforschten mehr als einen Typ Ionenkanal, Anm. d. Redaktion). In den meisten Fällen wurde die Auswirkung der Befeldung anhand eines Ganzzellansatzes bewertet, anstatt eine Einzelkanal-Konfiguration zu verwenden.

### Ergebnisse:

Die Auswirkung akuter NF-Befeldung scheinen vielfältig zu sein. Am häufigsten (42 % der Studien zu NF-EMF) wurde ein Anstieg der basalen Calciumkonzentration berichtet. Außerdem wurde eine veränderte Durchlassdynamik von Cal-

ciumkanälen festgestellt, welche einen hohen Schwellenwert benötigen. Ebenfalls war die Durchlassdynamik von calcium-aktivierten Kaliumkanälen modifiziert. Des Weiteren wurde eine erhöhte Aktivität sowie Membraneinlagerung von Natriumkanälen berichtet. Andererseits zeigten zwei Studien keine Wirkung von akuter Niederfrequenz auf das Calciumgleichgewicht oder die elektrophysiologischen Eigenschaften der Zelle. Bei chronischer Niederfrequenzbelastung mit magnetischen Intensitäten von mehr als 1 mT berichten alle Studien über einen Anstieg der intrazellulären Calciumkonzentration, in Zusammenhang mit einer erhöhten Genableserate sowie Synthese von transmembranen Calciumkanälen. Im Gegensatz dazu scheint akute Hochfrequenzbelastung keine signifikanten Auswirkungen auf neuronale Ionenkanäle zu besitzen. 60 % der Studien zu chronischer HF-EMF-Belastung berichten jedoch über eine Abnahme der Calciumkanalbildung. Eine Studie demonstriert veränderte elektrophysiologische Eigenschaften (verändertes Aktionspotenzial: Amplitude nach Hyperpolarisation, Spike-Frequenz, Halbwertsbreite und Frequenz des ersten Spikes) der Neuronen nach chronisch einwirkender Hochfrequenz.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse dieser Übersichtsarbeit lassen den Rückschluss zu, dass sowohl niederfrequente, als auch hochfrequente elektromagnetische Felder Ionenkanäle in vielerlei Hinsicht beeinflussen können. Dies beinhaltet ihre Bildung (Expression), ihre Durchlassdynamik sowie ihre Insertion in die Membran. Laut den Autoren könnte eine Zunahme (NF-EMF) bzw. Abnahme (HF-EMF) der Ionenkanaldichte in den Zellmembranen der Neuronen, den veränderten Ionenfluss und damit eine Reihe von Sekundäreffekten erklären. Zu diesen Sekundäreffekten zähle unter anderem Aktivierung von Autophagie-Signalwegen, veränderte Spikefrequenzen und Aktionspotenzialfeuerungen, sowie veränderte Vesikel-Endozytose und synaptische Plastizität. Da die veränderte Expression der Ionenkanäle jedoch Zeit benötigt, können diese Mechanismen nicht die Auswirkungen akuter Befeldung erklären. Es sei also wahrscheinlich, dass die Spannungserkennung sowie Durchlassdynamik der Ionenkanäle beteiligt sind. Zusammenfassend scheint es also der Fall zu sein, dass die Auswirkung elektromagnetischer Felder auf Ionenkanäle auf mehreren Ebenen stattfindet. Zum einen durch die rasche Modifikation der Transportdynamik und zum anderen durch Veränderungen der Expression auf Gen- und Proteinebene sowie der Dichte in der Membran. Als Limitierung ihrer Übersichtsarbeit geben die Wissenschaftler an, dass die vielen Variablen der jeweiligen Versuchsaufbauten (z.B. physiologischer Zellzustand, Entwicklungsstadium, physikalische Eigenschaften der Felder) die Reproduzierbarkeit der Studien behindern und oftmals keinen konsistenten Vergleich zwischen den Studien zulassen. Trotz der teils kontroversen Ergebnisse schließen die Autoren auf eine signifikante Kor-

relation zwischen elektromagnetischen Feldern und vielfältigen Veränderungen in den elektrophysiologischen Eigenschaften von neuronalem Gewebe. Eine verbesserte experimentelle Reproduzierbarkeit sowie neue experimentelle Verfahren seien der Schlüssel zu jeglichem Fortschritt in diesem Bereich und der Frage, ob elektromagnetische Felder schädlich sind und welches therapeutische Potenzial sie besitzen. (RH)



### Elektrosensibilität

## Neudefinition der Elektrosensibilität: Ein neues, durch die Literatur gestütztes Modell

Redmayne, M., & Reddel, S. (2021). Redefining electrosensitivity: A new literature-supported model. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 40(2), 227–235. <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1874971>

Australische Forscher, welche auch Eigentümer einer der größten Datenbanken über biologische Effekte elektromagnetischer Felder (EMF) sind, präsentieren eine neue Sicht der sogenannten Elektrosensibilität (ES). Das neue Grundbild, das durch die Forschung der letzten Jahrzehnte zunehmend bestätigt wird, ist die Erkenntnis, dass alles Leben und alle Menschen in gewissem Maße elektrosensibel sind, und krankhafte Erscheinungen dieser Elektrosensibilität erst auftreten, wenn die Fähigkeit des Organismus sich selbst zu reparieren und regulieren (Homöostase) ernsthaft gestört ist.

Erst im letzten Jahrhundert hat die Menschheit zunehmend mehr und stärkere künstliche EMF produziert. Unerwünschte Gesundheitssymptome, die mit einer Hochfrequenz-Exposition (HF) zusammenhängen, wurden seit den 1930er Jahren mit der Einführung von (Radar-)Geräten an einigen Arbeitsplätzen gemeldet. In den 1960er Jahren, nach der breitflächigen Einführung elektrischer Bürogeräte, kam es dann zu einem sprunghaften Anstieg. Die ersten Mobiltelefone wurden in den 1970er Jahren eingeführt, aber ihre Beliebtheit nahm erst Ende der 1990er Jahre rapide zu, als sie erschwinglicher wurden. Zu diesem Zeitpunkt klagten bereits viele Menschen über gesundheitliche Beeinträchtigungen durch die Exposition, und der Begriff Elektrohypersensibilität (EHS) wurde allgemein verwendet.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Forscher haben eine repräsentative Auswahl nicht nur aus der EHS-Forschung, sondern auch aus *In-vivo*- und *In-vitro*-

Reaktionen auf HF-Exposition getroffen. Zusätzlich wurde die medizinische Literatur bezüglich der Rolle des autonomen Nervensystems (ANS) einbezogen. Die verwendete Methode für die Durchforstung der Literatur war iterativ – also schrittweise vorgehend – und basierte auf der Frage: „Was ist Elektrohypersensibilität im Kontext der allgemeinen Gesundheit und des Wohlbefindens?“

Zu den Suchmaschinen und Datenbanken gehörten die EMF-Portal-Datenbank und die ORSAA-Datenbank, Google Scholar, Verweise auf einschlägige Veröffentlichungen und Websites nationaler und internationaler Organisationen. Zu den Suchbegriffen gehörten Elektrohypersensibilität, chronische Krankheit, Allergie, Autoimmunerkrankung, Nocebo, autonomes Nervensystem (ANS), jeweils einzeln und/oder in Verbindung mit typischen EHS-Symptomen.

Es wurde zunächst ein ausgewogener und aktueller Querschnitt der Literatur betrachtet, der den Status quo der Elektrohypersensibilität darstellt. Die nächste Iteration führte zur Entwicklung von Bewusstseins- und Reaktionskontinua – also einem Gradienten, der die bewusste Wahrnehmung von EMF oder mit EMF in Verbindung stehenden negativen Eindrücken bewertet, sowie einem Gradienten, der den Grad der psychischen und körperlichen Reaktionen bemisst. Danach wurden literaturgestützte Konzepte zur Homöostase analysiert und bewertet.

### **Ergebnisse:**

Bei kritischer Betrachtung der Literatur über Elektrohypersensibilität (EHS) und der berichteten körperlichen Reaktionen auf menschengemachte Hochfrequenzstrahlung (HFS) wird deutlich, dass EHS nur ein Teil eines komplexeren Spektrums von Reaktionen ist, die mit der natürlichen Elektrosensibilität des Menschen zusammenhängen.

Wie bereits dargelegt, ist das Leben von Natur aus elektrosensibel und elektrisch. In diesem Zusammenhang betrachtet, stellt die Übertragungstechnologie eine äußere Einmischung in den elektrosensiblen Status dar, der dem Menschsein bzw. dem Leben innewohnt.

Das somatische Bewusstseinskontinuum bezieht sich auf die verschiedenen Ebenen des Bewusstseins, dass die eigenen Symptome auf die HF-Exposition zurückzuführen sind (wenn dies der Fall ist). Der Nocebo-Effekt, der hier als assoziative Reaktion bezeichnet wird, unterscheidet sich dadurch, dass er das Bewusstsein der Person darstellt, sich in der Nähe des/der Sendegeräte zu befinden. Diese schließen sich nicht gegenseitig aus.

Das somatische Reaktionskontinuum ist das Ausmaß, in dem der Körper auf verschiedene Einflüsse reagiert, die durch

die Exposition gegenüber HFS entstehen. Dazu gehören zelluläre, biochemische, autonome Reaktionen und noch andere Reaktionen des Nervensystems (einschließlich des ZNS). Das Reaktionskontinuum ist nicht linear, da verschiedene Situationen auftreten, in denen es zu unregelmäßigen oder unausgewogenen somatischen Reaktionen kommt.

Die Autoren gehen davon aus, dass die individuelle Reparaturkapazität sowohl dynamisch als auch untrennbar mit dem somatischen Bewusstsein über das autonome Nervensystem (ANS) verbunden ist. Die Forschung zeigt zunehmend, dass das menschliche System vollständig integriert ist, wobei Geist und Körper miteinander verbunden sind, z.B. via Vagusnerv und Stammhirn, was die Regulation der Atmung und Wachsamkeit/Schläfrigkeit betrifft.

### **Schlussfolgerung:**

Auf der Grundlage zahlreicher *in vitro* und *in vivo* beobachteter Wirkungen geht dieses Modell davon aus, dass eine modulierte HF-Exposition wahrscheinlich jeden Menschen in gewissem Maße auf zellulärer Ebene beeinträchtigt.

Die Forscher schlagen vor, dass die Wahrscheinlichkeit und die Art der Reaktion auf Umwelt-HFS: 1) ein lineares somatisches Bewusstseinskontinuum, 2) ein nicht-lineares somatisches Reaktionskontinuum und 3) das Ausmaß der individuellen Fähigkeit, Schäden zu reparieren (Homöostase), umfasst.

Sie gehen davon aus, dass dieser letzte, dynamische Aspekt über das autonome Nervensystem untrennbar mit den anderen verbunden ist. Das Ganze ist abhängig vom Zustand der miteinander verbundenen Immun- und Entzündungssysteme. Bei den meisten Menschen hält ihr Körper die Homöostase durch routinemäßige Reparaturen aufrecht. Einige entwickeln jedoch eine Elektrohypersensibilität, entweder aufgrund von HF-Exposition oder als ANS-vermittelte, unbewusste Reaktion (auch Nocebo-Effekt genannt) oder beides. Die Autoren vermuten, dass die HF-Exposition ein Faktor für die Entwicklung einer Autoimmunerkrankung oder Allergie sein kann. Einige wenige entwickeln eine verzögerte katastrophale Krankheit wie ein Gliom. In diesem Modell werden alle mit Hochfrequenzstrahlung zusammenhängenden Erkrankungen pauschal als elektromagnetische Erkrankungen bezeichnet. Somit scheint EHS ein Teil einer Reihe von Reaktionen auf eine neuartige und sich schnell verändernde evolutionäre Situation zu sein. (AT)

**Die Übertragungstechnologie stellt eine äußere Einmischung in den elektrosensiblen Status dar, der dem Menschsein bzw. dem Leben innewohnt.**



## Wirkung von EMF und Pestiziden auf Honigbienen Kombinierte Effekte von Pestiziden und elektromagnetischen Feldern auf Honigbienen: Multi-Stress-Belastung.

Lupi, D., Palamara Mesiano, M., Adani, A., Benocci, R., Giacchini, R., Parenti, P., Zambon, G., Lavazza, A., Boniotti, M. B., Bassi, S., Colombo, M., & Tremolada, P. (2021). Combined Effects of Pesticides and Electromagnetic Fields on Honeybees: Multi-Stress Exposure. *Insects*, 12(8), 716. <https://doi.org/10.3390/insects12080716>

In vielen Ländern wird über den Rückgang von Honigbienen und Bestäubern im Allgemeinen berichtet. Dies ist besorgniserregend, da es Ausdruck eines allgemeinen Verlusts der biologischen Vielfalt ist. Viele Studien haben sich mit den Ursachen des Rückgangs der Bestäuber befasst und sind zum Schluss gekommen, dass in den meisten Fällen die Auswirkungen einer Multi-Stress-Belastung am wahrscheinlichsten sind.

Daher wurden schlechte Ernährung und Hunger, Krankheiten, Milben, Lebensraumverlust und -fragmentierung, Kontamination durch Pestizide und andere Schadstoffe sowie elektromagnetische Felder als mögliche Ursachen für den allgemeinen Bienenrückgang und das Phänomen des sogenannten Bienensterbens (Colony Collapse Disorder – CCD) genannt. Subletale und langfristige Wirkungen können zusammenwirken und unvorhersehbare Folgen haben, da eine chronische Exposition gegenüber negativen Stressfaktoren die Bienenvölker allmählich schwächt, ihre Leistung verringert, die Fruchtbarkeit der Königinnen schrittweise reduziert und die Fähigkeit der Arbeiterinnen zum Lernen und zur Futtersuche verändert. Gestresste Bienen sind anfälliger für die Entwicklung von Krankheiten und sind weniger widerstandsfähig gegen äußere Einflüsse, was einen Kaskadeneffekt auslösen kann.

### Studiendesign und Durchführung:

In dieser Studie wurden die kombinierten Auswirkungen von zwei möglichen Stressquellen für Bienen, nämlich Pestiziden und niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (EMF), im Freiland analysiert. Es wurden drei Versuchsstandorte ausgewählt, mit 4 Bienenstöcken pro Standort: ein Kontrollstandort fernab von direkten anthropogenen Stressquellen, ein Pestizidstress-Standort und ein Multistress-Standort, bei dem zur Pestizidexposition ein EMF hinzukam, das von einer Hochspannungsleitung stammte. Die Standorte für Pestizid- und Multistress-Exposition befanden sich in einem Obstbaubetrieb der Universität Mailand, der Kontrollstandort 15 Km entfernt in ländlicher Umgebung. Entlang einer Seite dieses Betriebes verläuft eine 220-kV-Hochspannungsleitung, unterhalb welcher Bienenstöcke aufgestellt wurden. Die Mengen an Pestizidrückständen wurden nicht erfasst, jedoch wurden bei beiden

Expositionsstandorten die gleichen Insektizide und Fungizide versprüht.

Insgesamt 12 Versuchsbeuten (Bienenstöcke) wurden ein Jahr lang (von April 2017 bis April 2018) wöchentlich bezüglich des Überlebens der Bienenvölker, der Königinnenaktivität, der Honig- und Brutmenge, der Parasiten und Krankheitserreger sowie verschiedener Biomarker in jungen Arbeiterinnen und Puppen überwacht. Es wurden folgende Biomarker analysiert: bei ersteren Acetylcholinesterase (AChE), Katalase (CAT), Glutathion-S-Transferase (GST) und alkalische Phosphatase (ALP) sowie reaktive Sauerstoffspezies (ROS); und bei letzteren DNS-Fragmentierung (DNAFRAGM) und Lipidperoxidation (LPO). Die Fitness der Bienenstöcke wurde wöchentlich protokolliert, wie auch die Menge an Varroamilben. Bakterielle und Virusinfektionen sowie Biomarker wurden monatlich erhoben.

### Ergebnisse:

Die elektrische Feldstärke an den Bienenstöcken unterhalb der Hochspannungsleitung betrug etwa 1250 V/m. Die Magnetfeldstärke schwankt im Verlauf des Tages je nach Stromkonsum der Umliegenschaft, und betrug durchschnittlich etwa 1,5 µT.

Der Honigertrag war erstaunlicherweise an dem Standort mit Mehrfachbelastung am höchsten, an diesem Standort wurde jedoch auch anomales Verhalten der Königinnen beobachtet. Die Brutmenge war an beiden Expositionsstandorten (gleichermaßen) geringer als bei der Kontrolle, die Sterblichkeit der Arbeiterinnen jedoch höher. Von anfänglich je 4 Bienenstöcken des Versuchs überlebten 3 am Kontrollstandort, 4 am Pestizidstandort und nur 1 am Multi-Stress-Standort.

Bezüglich der gemessenen Biomarker wurden folgende Tendenzen beobachtet: die Acetylcholinesterase-Aktivität in den Puppen war im Multistress-Standort im Vergleich zum Standort mit chemischem Stress und dem Kontrollstandort signifikant gehemmt. Die CAT-Aktivität in den Puppen war am Standort mit chemischem Stress im Vergleich zu den Standorten mit Kontrolle und Mehrfachbelastung signifikant erhöht; die GST-Aktivität in den Puppen war am Standort mit chemischem Stress im Vergleich zu den Standorten mit Kontrolle und Mehrfachbelastung signifikant höher; der mittlere ROS-Gehalt in den Puppen war am Standort mit chemischem Stress im Vergleich zu den Standorten mit Kontrolle und Mehrfachbelastung signifikant höher; der Standort mit Mehrfachbelastung wies im Vergleich zu den Standorten mit Kontrolle und chemischem Stress einen durchschnittlich niedrigeren ROS-Gehalt auf; die DNAFRAGM-Werte in den Puppen waren am Kontrollstandort signifikant höher als am Standort mit chemischem Stress; der Standort mit Mehrfachstress lag dazwischen.

### Schlussfolgerung:

Die Forscher wollten am Multistress-Standort die kumulativen Auswirkungen von zwei verschiedenen Stressfaktoren

bewerten: die Exposition gegenüber Pestiziden (wie beim Pestizidstress-Standort) und das Vorhandensein eines elektromagnetischen Feldes einer Hochspannungsleitung. Es ist bekannt, dass elektromagnetische Felder verschiedene biologische Wirkungen verursachen, wie oxidativen Stress, genotoxische Wirkungen und Störungen des Immunsystems, welche alle bei verschiedenen Tierarten beobachtet wurden.

Von den gemessenen Biomarkern her zu urteilen – da diese fast alle am Pestizid-Standort deutlich erhöht waren, am Multistress-Standort jedoch unauffällig – wäre anzunehmen, dass das Vorhandensein von elektromagnetischen Feldern (EMF) die Schädlichkeit der Pestizide mildert. Das Gegenteil wurde jedoch beobachtet, also erhöhte pathologische Anzeichen (Sterblichkeit der Arbeiterinnen, Infektionen usw.). Aus Laborforschung ist bekannt, dass niederfrequente EMF tatsächlich die Aktivität verschiedener Enzyme reduziert (z.B. AChE und CAT), andere jedoch überaktiviert (z.B. ALP).

Der Gesundheitszustand der Bienen war an dem Standort mit Multistress-Exposition am schlechtesten. Hier hat nur ein Bienenvolk von den vier zu Beginn vorhandenen überlebt. An diesem Standort wurde ein komplexes Bild negativer Auswirkungen beobachtet, wie z. B. das Auftreten von Krankheiten (Amerikanische Faulbrut), eine höhere Sterblichkeit in den Unterkörben (wie am Pestizid-Stress-Standort), Verhaltensänderungen (Königinnenwechsel, übermäßige Honigeinlagerung) und biochemische Anomalien (höhere ALP-Aktivität am Ende der Saison). Die Gesamtergebnisse zeigen deutlich, dass die Multistressbedingungen biochemische, physiologische und Verhaltensänderungen hervorrufen konnten, die das Überleben der Bienenvölker ernsthaft gefährdeten. (AT)



### Statische Magnetfelder

## Wirkung schwacher statischer Magnetfelder verschiedener Intensitäten auf HT-1080-Fibrosarkomzellen

Gurhan H, Bruzon R, Kandala S, Greenebaum B, Barnes F (2021): Effects Induced by a Weak Static Magnetic Field of Different Intensities on HT1080 Fibrosarcoma Cells. *Bioelectromagnetics* 42, 212–223

In den letzten Jahren ist das Interesse an der Wirkungsweise von statischen Magnetfeldern (SMF) gestiegen. Hier wurden Krebszellen (HT-1080-Fibrosarkomzellen) auf Zellwachstum und andere Parameter unter Einwirkung verschieden starker statischer Magnetfelder untersucht, um zur Klärung der Mechanismen, wie statische Magnetfelder das Wachstum beeinflussen, beizutragen. Vielleicht könnte man Magnetfelder für medizinische Anwendungen nutzen oder man könnte aufklären, ob die künstlichen Felder in Gebäuden, von Hochspannungsleitungen und elektrischen Geräten, die Feldstärken zwischen 0,1–167  $\mu\text{T}$  betragen können, Sicherheitsprobleme darstellen. Vor kurzem wurde gezeigt, dass SMFs die ROS-Konzentrationen (reaktive Sauerstoffmoleküle) verändern. ROS werden bei Säugetieren als Signalmoleküle gebraucht, aber im Überschuss richten sie Zellschäden an. ROS findet man außerhalb von Zellen, in der Plasmamembran und in Mitochondrien. Man schätzt, dass 1–2 % des Sauerstoffs für die ROS-Produktion verbraucht wird, und die Konzentration der ROS ist entscheidend für die physiologische Kontrolle verschiedener Zellfunktionen. Von Krebszellen ist bekannt, dass sie einen hohen ROS-Umsatz haben gegenüber normalen Zellen. Diese Eigenschaft der Krebszellen könnte sie anfälliger für Veränderungen der ROS-Konzentration machen. Das könnte für therapeutische Ansätze genutzt werden. Bisher schenkte man künstlichen statischen Magnetfeldern (über die natürlichen Erdmagnetfelder hinaus) kaum Beachtung, wenn man reproduzierbare Ergebnisse erzielen wollte, obwohl mehrere Arbeiten darauf hingewiesen haben. Bei Steigerung oder Hemmung des Zellwachstums wurden nur Frequenz, Feldstärke und Einwirkdauer in Betracht gezogen. Die Wirkung der SMFs hängt aber auch von deren Charakteristik und dem Zellzyklus ab. Der Einstrom von Kalziumionen durch die Plasmamembran ist wahrscheinlich

**Diese Ergebnisse zeigen, dass schwache statische Magnetfelder die Zellwachstumsrate je nach Feldstärke und Einfallswinkel steigern oder hemmen und Änderungen der ROS-Konzentrationen bewirken können.**

der Hauptmechanismus für die vielen Wirkungen der SMFs. Viele Jahre lang richtete sich die Aufmerksamkeit auf die Kalziumionen als Auslöser der SMF-Wirkung. Jetzt weiß man, dass bei Anwesenheit von Sauerstoff/Oxidationsmitteln der Transport der Kalziumionen durch die Kalziumkanäle gesteigert wird und die Kalziumpum-

pen gehemmt werden. Der Einstrom von Kalziumionen durch die Plasma- und Mitochondrienmembran könnte mit der Aktivierung der spannungsabhängigen Kalziumkanäle durch SMFs zusammenhängen. Mehrere Arbeiten zeigten, dass SMFs verschiedener Feldstärken die intrazelluläre Kalziumkonzentration, Zellwachstum, Enzymaktivitäten u. a. erhöhen, während das Mitochondrienpotenzial unter steigender ROS-Produktion vermindert wird. Die Änderung des Radikalpaar-Mechanismus ist eine einleuchtende Erklärung, wie SMFs chemische Reaktionen ändern und biologische Wirkungen entfalten. Kurzzeitige Änderungen der Radikal-Konzentrationen haben eine wichtige Signalfunktion, langzeitige Abwesenheit der normalen Konzentrationen kann zu biologischen Schäden führen, z. B. Krebs und Alzheimer-Erkrankung. In dieser Studie wurden einige Veränderungen der HAT-1080-Fibrosarkomzellen durch verschiedene Feldstärken der SMFs auf die Zellphysiologie festgestellt.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Befeldung erfolgte mit 6 V für 45  $\mu\text{T}$ . Das elektrische Feld zwischen den Helmholtz-Spulen betrug ungefähr 1,5 mV/m, das Hintergrundfeld 0,5  $\mu\text{T}$  ohne weitere Abschirmung. Die SMFs trafen im 45°-Winkel oder senkrecht auf die Zellkulturen auf mit verschiedenen Intensitäten. Die Kontrollzellen wurden gleich behandelt bei 45  $\mu\text{T}$  (entspricht etwa dem Erdmagnetfeld in Boulder/Colorado). Die Temperatur wurde ständig kontrolliert (ein Experiment untersuchte den Einfluss der Temperatur auf das Zellwachstum bei 45  $\mu\text{T}$  und 36, 37 und 38 °C über 4 Tage, es gab keine signifikanten Unterschiede).

Weil die Zellen 4 Tage bis zur Zelldichte von 70–90 % Konfluenz brauchen, wurde die Befeldung über 4 aufeinanderfolgende Tage von 0,5 bis 600  $\mu\text{T}$  mit Kontrollen bei 45  $\mu\text{T}$  vorgenommen. Jede Feldstärke (0,5, 100, 200, 300, 400, 500 und 600  $\mu\text{T}$ ) samt Kontrollen wurde mit 4 Zellkulturen mit je 3-fach-Ansätzen durchgeführt. Anschließend erfolgte die Bestimmung der Wachstumsraten, des Membranpotenzials, der Konzentrationen von Kalzium und Superoxid ( $\text{O}_2^-$ ) in Mitochondrien, von Stickoxid (NO), Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ), intrazellulärem pH-Wert und oxidativem Stress. Die Auswertung der Ergebnisse wurde verblindet durchgeführt.

### Ergebnisse:

Die Wachstumsraten der Kontrollzellen (45  $\mu\text{T}$ ) waren bei den 3 Temperaturen von 36, 37 und 38 °C nahezu gleich. Bei den verschiedenen Feldstärken betrug die Temperatur-Differenz zu den Kontrollen und befeldeten Ansätzen 0,0 bei 0,5  $\mu\text{T}$ , 0,02 bei 45  $\mu\text{T}$  und stieg bis auf 0,29 bei 600  $\mu\text{T}$ . Die entsprechenden Temperaturen erhöhten sich mit steigender Feldstärke von 36,94 °C bei 0,5  $\mu\text{T}$  bis auf 37,45 °C bei 600  $\mu\text{T}$ , bei den Kontrollkulturen (45  $\mu\text{T}$ ) von 36,94 °C auf 37,16 °C.

Nach 4 Tagen Feldeinwirkung stiegen die Wachstumsraten

bei 0,5–400  $\mu\text{T}$  und bei 600  $\mu\text{T}$  waren sie vermindert gegenüber den Kontrollzellen. Bei 0,5 und 600  $\mu\text{T}$  war die Rate 9 % unter der der Kontrollzellen bei 45  $\mu\text{T}$ . Die relative Wachstumsrate der Zellen war unterschiedlich je nach Einfallswinkel der Magnetfelder. Bei 300 und 400  $\mu\text{T}$  waren die Wachstumsraten am höchsten, bei 0,5 und 600  $\mu\text{T}$  niedriger als die 45- $\mu\text{T}$ -Kontrollen; insgesamt war das Wachstum bei 45° Neigung geringer als bei 90°. Nach 48 Stunden waren geringe Unterschiede im Wachstum zu sehen, nur bei 400  $\mu\text{T}$  signifikant, während sich nach 72 Stunden signifikante Steigerungen bei 200–500  $\mu\text{T}$  ergaben. Zu signifikant erhöhten Konzentrationen des mitochondrialen Kalziums kam es ab 300  $\mu\text{T}$  bei Winkel 90°, der höchste Wert bei 500  $\mu\text{T}$ . Das Membranpotenzial war signifikant erhöht ab 200  $\mu\text{T}$ , am höchsten bei 500  $\mu\text{T}$ .

Zur Abnahme der Werte gegenüber den Kontrollkulturen kam es 1) beim pH-Wert (kontinuierliche Verminderung mit steigender Feldstärke, alle signifikant, nur bei 0,5  $\mu\text{T}$  nicht-signifikant); 2) bei Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ab 100  $\mu\text{T}$ , signifikanter Anstieg bei 100 und 200  $\mu\text{T}$ , Abnahme bei 300 und 400  $\mu\text{T}$  und wieder Anstieg bei 500 und 600  $\mu\text{T}$ ; 3) bei Superoxid ( $\text{O}_2^-$ ) bei den Feldstärken 100–600 signifikant vermindert, bei 0,5  $\mu\text{T}$  nicht-signifikant; 4) bei den NO-Konzentrationen (ein freies Radikal) signifikant bei 0,5, 100, 400 und 600  $\mu\text{T}$ , zusammen mit 500  $\mu\text{T}$  war die NO-Konzentration bei der Kontrolle (45  $\mu\text{T}$ ) am höchsten und etwa gleich hoch.

Der oxidative Stress war bei 100  $\mu\text{T}$  am höchsten und zusammen mit 200 und 400  $\mu\text{T}$  signifikant erhöht, die anderen Feldstärken waren nicht-signifikant erhöht, bei 0,5  $\mu\text{T}$  waren die Werte niedriger als die Kontrollwerte.

### Schlussfolgerungen:

Diese Ergebnisse zeigen, dass schwache statische Magnetfelder die Zellwachstumsrate je nach Feldstärke und Einfallswinkel steigern oder hemmen und Änderungen der ROS-Konzentrationen bewirken können. Änderungen der ROS-Konzentrationen und oxidativer Stress sind wichtig für verschiedene Zellfunktionen. Superoxid ( $\text{O}_2^-$ ) als reaktives Sauerstoffmolekül, das in Mitochondrien vorherrscht, entsteht bei der oxidativen Phosphorylierung. Die Konzentrationen von Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) schwanken sehr stark von 1 nM bis 100  $\mu\text{M}$  je nach Gewebeart.  $\text{H}_2\text{O}_2$  reguliert mehrere physiologische Prozesse wie Signaltransduktion, Reaktion auf oxidativen Stress, Zellwachstum, Entwicklung und Apoptose. Dabei zeigt  $\text{H}_2\text{O}_2$  nicht-lineares Verhalten bei den Magnetfeldintensitäten. Bei 100, 200, 500 und 600  $\mu\text{T}$  ist die  $\text{H}_2\text{O}_2$ -Konzentration höher als bei 45  $\mu\text{T}$  (Kontrolle), bei 300  $\mu\text{T}$  ist sie niedriger. Verschiedene Konzentrationen von  $\text{H}_2\text{O}_2$  aktivieren verschiedene Redox-Schalter, die eine Schlüsselrolle bei der Regulation biologischer Signalwege haben. Kalziumeinstrom in Mitochondrien ist ein vorhergehender Schritt in den beobachteten Veränderungen. (IW)



## 5G, Gesundheit, Wirtschaft und Politik

# Bewertung des niederländischen Beratergremiums für öffentliche Gesundheit des Krebsrisikos durch 5G

Hardell L (2021): Health Council of the Netherlands and evaluation of the fifth generation, 5G, for wireless communication and cancer risks. World Journal of Clinical Oncology 12 (6), 393–403, DOI: <https://dx.doi.org/10.5306/wjco.v12.i6.39>

Prof. Hardell hat anlässlich der im September 2020 veröffentlichten Empfehlungen des (angeblich unabhängigen) niederländischen Beratergremiums für öffentliche Gesundheit die Qualität dieses Berichts analysiert. Das Gremium hat zur Einführung von 5G eine Beurteilung der Gesundheitsrisiken für Regierung und Parlament erstellt. Hardell zeigt einmal mehr auf, wie Beratergruppen dieser Art agieren und welche Personen mit Interessenskonflikten dort vertreten sind. Das niederländische Gremium bestand aus 9 Mitgliedern und einigen anderen Personen, darunter 3 Beobachter. Ein Mitglied (A. Huss, die über eine Stiftung von der Telekommunikationsindustrie in der Schweiz gefördert wird) ist auch in der ICNIRP, einer privaten industriedominierten Organisation mit Sitz in Deutschland, die bis heute nur thermische Wirkungen der Hochfrequenzstrahlung akzeptiert. Eine andere Person war in der ICNIRP und in anderen Industrieorganisationen, eine weitere Person als Berater tätig. Solche Interessenskonflikte sollten öffentlich gemacht werden. Im Fall des niederländischen Gremiums ist das nicht geschehen. Es hat dem Parlament 4 Empfehlungen gegeben: 1. die niedrigen Frequenzen von 5G (3,5 GHz) seien schon jahrelang für WLAN verwendet worden, ohne dass Gesundheitsschäden bewiesen wären. Für einen Stopp des 5G-Aufbaus für diese Frequenzen gibt es keinen Grund, die Strahlenbelastung sollte vor, während und nach dem Aufbau überprüft werden. 2. mehr epidemiologische Forschung zu Krebs, männlicher und weiblicher Fruchtbarkeit sowie Geburtsdefekten. 3. die 26-GHz-Frequenzen nicht zu nutzen, bevor Forschung stattgefunden hat. 4. die ICNIRP-Richtlinien für politische Entscheidungen zu Strahlenbelastung zugrunde zu legen.

Diese Empfehlungen beruhen auf den ICNIRP-Richtlinien von 2020, die weitgehend auf einem Entwurf der WHO von 2014, dem Bericht der Berater der Schwedischen Strahlenschutzbehörde (The Swedish Radiation Safety Authority's, Scientific Council on Electromagnetic Fields, SSM) und dem Bericht des Committee on Emerging and Newly Identified Health Risk (SCENIHR) der EU von 2015 zurückgehen. Neue Ergebnisse der Forschung wurden nicht berücksichtigt. Es scheint ein "ICNIRP-Kartell" zu geben, z. B. ICNIRP, WHO, SSM und SCENIHR, das die Bewertung verschiedener Experten

dominiert, und dem schließen sich die Berater der niederländischen Regierung an. Die ICNIRP-Richtlinien werden kritisiert wegen ihrer Voreingenommenheit, da sie empfohlen werden, obwohl sie als ungenügend angesehen werden, die Gesundheit zu schützen.

Die Schlussfolgerung im niederländischen Bericht, dass es keinen Grund für den Ausbaustopp von 5G mit niedrigen Frequenzen gibt, so kritisiert Prof. Hardell, ist nicht gerechtfertigt angesichts der aktuellen wissenschaftlichen Ergebnisse zum Krebsrisiko. Hardell kommentiert dieses Problem und plädiert für einen sofortigen Aufschub der 5G-Einführung, da die ICNIRP-Richtlinien nicht auf objektiven Daten zu Gesundheitsrisiken beruhen. Im September 2017 war ein Brief an die EU geschickt worden mit dem Appell von über 400 Wissenschaftlern und Medizinerinnen, die 5G-Einführung zu verschieben, bis saubere wissenschaftliche Belege vorliegen, dass keine Gesundheitsrisiken bestehen. Der Appell hatte keinen Einfluss auf die 5G-Einführung.

An aussagefähigen Forschungsergebnissen wie der Interphone-, NTP- und Ramazzini-Studie werden wahrheitswidrig einzelne Punkte kritisiert, um die Ergebnisse anzuzweifeln. Dagegen wird beispielsweise die nachweislich fehlerhafte Dänische Kohortenstudie von 2011 in die Beurteilung für Gesundheitsrisiken einbezogen, weil die kein Risiko für Krebs des Zentralen Nervensystems durch Mobilfunk erkennen wollte, obwohl mehrere Meta-Analysen (schon damals, die Red.) ein erhöhtes Risiko belegt haben. Die vielfach nachgewiesenen Ergebnisse zur Krebsforschung, erhöhtes Risiko für Gliome und Akustikusneurinome durch Mobilfunknutzung, die nicht-thermischen Wirkungen sowie der ebenfalls vielfach nachgewiesene oxidative Stress werden beharrlich weiter ignoriert.

### Schlussfolgerungen:

Das Fehlen letzter wissenschaftlicher Gewissheit kann kein Grund sein, das Vorsorgeprinzip zu vernachlässigen, nicht zuletzt wegen des erhöhten Risikos für Glioblastome mit geringen Überlebenschancen. Im Widerspruch dazu ignorieren ICNIRP, WHO, SSM und SCENIHR viele Studien, die schädliche Auswirkungen der nicht-thermischen Hochfrequenzstrahlung ergeben haben. Stattdessen stützen sie ihre Schlussfolgerungen auf Studien ohne schädliche Wirkungen. Wissenschaftler, die der Ansicht sind, es gibt Gesundheitsrisiken, werden nicht in diese Gremien aufgenommen. So hat auch der Bericht des Gremiums der Niederlande die Industrie-dominierte Aussage übernommen, obwohl es mögliche Risiken für Krebs, Fruchtbarkeit, Schwangerschaft und Geburtsfehler gibt. Die derzeitige Forschung zu Krebs beweist klar ein steigendes Risiko für Gliome und Akustikusneurinome im Zusammenhang mit Mobilfunk- und Schnurlostelefonen. (In dieser Arbeit werden andere Tumorarten nicht behandelt). Das gesteigerte Risiko für Hirntumore und andere Tumore am Kopf basiert auf epidemiologischen Daten von Krebs beim Menschen und wird unter-



stützt durch Ergebnisse von Tierstudien mit ähnlichen Tumorarten. Diese Tierstudien bestätigen frühere Ergebnisse von Fall-Kontroll-Studien zu erhöhten Tumorrisiken durch die Nutzung von Funktelefonen (Mobilfunk und Schnurlose). Erklärungen zu den Mechanismen der Krebsentstehung stammen von Laborstudien, z. B. Anstieg von Reaktiven Sauerstoffmolekülen (ROS) und DNA-Schädigungen.

Der niederländische Bericht auf Basis des „ICNIRP-Kartells“ enthält auffallend widersprüchliche Aussagen, weil geschlussfolgert wird, es können schwere Gesundheitsschäden wie Krebs und Geburtsdefekte möglich sein. Trotzdem hat man keine Einwände gegen die Einführung von 5G und empfiehlt, Krebs und Geburtsschäden später zu erforschen. Die ICNIRP-Empfehlungen sind unausgewogen, nicht objektiv

**Der niederländische Bericht auf Basis des „ICNIRP-Kartells“ enthält auffallend widersprüchliche Aussagen, weil geschlussfolgert wird, es können schwere Gesundheitsschäden wie Krebs und Geburtsdefekte möglich sein.**

und nicht auf dem aktuellen Stand der Forschung zu Krebsrisiken und anderen Gesundheitsgefahren durch Hochfrequenzstrahlung, sie schützen nicht vor Gesundheitsschäden. Man hat immer noch nichts aus den vorhandenen Daten zum erhöhten Krebsrisiko gelernt. Die Schlussfolgerung der Kommission, es gäbe keinen Grund, die Nutzung von 5G-Frequenzen bis 3,5 GHz zu stoppen, weil es keine gesicherten schädliche Wirkungen gibt, zeigt die Dominanz der voreingenommenen ICNIRP-Gruppen. Es müssen neue Richtlinien für vorhandene und neue Frequenzen aufgestellt werden, die die neue Technik von 5G mit anderem Ausbreitungsmuster und erhöhter Hoch-

frequenzstrahlung berücksichtigen. Ein Aufschub der Einführung von 5G ist dringend erforderlich, Kabel gebundene Lösungen sollten bevorzugt werden. (IW)

## Register Elektrosmogreport 2021 Jahrgang 27

### A

Almasiova V, Holovska K, Adraskova S, Cigankova V, Sevcikova Z, Racek A, Andrejckova Z, Benova K, Toth S, Tvrda E, Molnar J, Eniko 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 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

### B

Balmori, A. (2021). Electromagnetic radiation as an emerging driver factor for the decline of insects. *Science of The Total Environment*, 144913, Re-view. [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Belpomme, D. Irigaray, P. (2020): Electrohypersensitivity as a Newly Identified and Characterized Neurologic Pathological Disorder: How to Diagnose, Treat, and Prevent It, *International Journal of Molecular Sciences*, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2020, 21, 1915 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Bertagna F, Lewis R, Silva SRP, McFadden J, Jeevaratnam K (2021): Effects of electromagnetic fields on neuronal ion channels: a systematic review. *Ann N Y Acad Sci.* 2021;1499(1):82-103. doi:10.1111/nyas.14597 [ElektrosmogReport 4-2021](#)

### C

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 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

Choi J, Min K, Jeon S, Kim N, Pack 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 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

### D

Delen K, Sirav B, Oruc S, Seymen CM, Kuzay D, Yeğin K, Take Kaplanoğlu 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> [ElektrosmogReport 2-2021](#)

### F

Frank JW (2021): Electromagnetic fields, 5G and health: what about the precautionary principle? *Journal of Epidemiology and Community Health*, 2021; 0:1-5. doi:10.1136/jech-2019-213595 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Friesen, M., and M. Havas. 2020. Effects of Non-Ionizing Electromagnetic Pollution on Invertebrates, Including Pollinators Such as Honey Bees: What We Know, What We Don't Know, and What We Need to Know. Pages 127- 138 In *Working Landscapes. Proceedings of the 12th Prairie Conservation and Endangered Species Conference*, February 2019, Winnipeg, Manitoba. Edited by D. Danyluk. Critical Wildlife Habitat Program, Winnipeg, Manitoba. <http://pcesc.ca/media/45404/final-2019-pcesc-proceedings.pdf>. [ElektrosmogReport 3-2021](#)

### G

Georgiou CD, Margaritis LH (2021): Review: Oxidative Stress and NADPH Oxidase: Connecting Electromagnetic Fields, Cation Channels and Biological Effects. *International Journal of Molecular Sciences* 22, 10041. <https://doi.org/10.3390/ijms221810041> [ElektrosmogReport 4-2021](#)

Gulati S, Kosik P, Durdik M, Skorvaga M, Jakl L, Markova E, Belyaev I (2020): Effects of different mobile phone UMTS signals on DNA, apoptosis and oxidative stress in human lymphocytes. doi:10.1016/j.envpol.2020.115632 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Gurhan H, Bruzon R, Kandala S, Greenebaum B, Barnes F (2021): Effects Induced by a Weak Static Magnetic Field of Different Intensities on HT-1080 Fibrosarcoma Cells. *Bioelectromagnetics* 42, 212-223 [ElektrosmogReport 4-2021](#)

### H

Hansson Mild K, Johnsson A, Hardell L (2020): Robotic Lawn Mower: A New Source for Domestic Magnetic Field Exposure. *Bioelectromagnetics* 42 (1), 95-99 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Hansson Mild K, Bergling R, Hornsten 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> [ElektrosmogReport 2-2021](#)

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 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

Hardell L (2021): Health Council of the Netherlands and evaluation of the fifth generation, 5G, for wireless communication and cancer risks. *World Journal of Clinical Oncology* 12 (6), 393-403, doi: <https://dx.doi.org/10.5306/wjco.v12.i6.39> [ElektrosmogReport 4-2021](#)

Hao, Y. H., Li, Z. H. A. O., & Peng, R. Y. (2018). Effects of electromagnetic radiation on autophagy and its regulation. *Biomedical and environmental sciences*, 31(1), 57-65. [ElektrosmogReport 3-2021](#)

**I**

Ioniță E, Marcu A, Temelie M, Savu D, Șerbănescu M, Ciubotaru M (2021): Radiofrequency EMF irradiation effects on pre-B lymphocytes undergoing somatic recombination. *Sci Rep.* 2021;11(1):1-12. doi:10.1038/s41598-021-91790-3 [ElektrosmogReport 3-2021](#)

**J**

Jankowska, M.; Klimek, A.; Valsecchi, C.; Stankiewicz, M.; Wyszowska, J. & Rogalska, J. (2021): Electromagnetic field and TGF- $\alpha$  enhance the compensatory plasticity after sensory nerve injury in cockroach *Periplaneta americana*. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, 2021, 11, 1-11 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

**K**

Kim HS, Paik MJ, Seo C, Choi HD, Paik JK, Kim N, Ahn YH (2021): Influences of exposure to 915-MHz radiofrequency identification signals on serotonin metabolites in rats: A pilot study. *International Journal of Radiation Biology* 97 (2), 282-287; <https://doi.org/10.1080/09553002.2021.1844336> [ElektrosmogReport 3-2021](#)

Kim HS, Choi HD, Paik JK, Kim N, Ahn YH (2021): Biological Effects of Exposure to a Radiofrequency Electromagnetic Field on the Placental Barrier in Pregnant Rats. *Bioelectromagnetics* 42 (3), 191-199; <https://doi.org/10.1002/bem.22322> [ElektrosmogReport 3-2021](#)

Kim JH, Chung KH, Hwang YR, Hwang YR, Park HR, Kim HJ, Kim H, Kim RK (2021): Exposure to RF-EMF alters postsynaptic structure and hinders neurite outgrowth in developing hippocampal neurons of early postnatal mice. *Int J Mol Sci.* 2021;22(10). doi:10.3390/ijms22105340 [ElektrosmogReport 3-2021](#)

Koziorowska, A., Depciuch, J., Białek, J., Woś, I., Kozioł, K., Sadło, S., Piecho-wicz, B. (2020). Electromagnetic field of extremely low frequency has an impact on selected chemical components of the honeybee. *Polish Journal of Veterinary Sciences*, 537-544. [ElektrosmogReport 1-2021](#)

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

**L**

Lai H (2021): Review: Genetic effects of non-ionizing electromagnetic fields. *Electromagnetic Biology and Medicine*; <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1881866> [ElektrosmogReport 2-2021](#)

Lupi, D., Palamara Mesiano, M., Adani, A., Benocci, R., Giacchini, R., Parenti, P., Zambon, G., Lavazza, A., Boniotti, M. B., Bassi, S., Colombo, M., & Tremolada, P. (2021). Combined Effects of Pesticides and Electromagnetic-Fields on Honeybees: Multi-Stress Exposure. *Insects*, 12(8), 716. <https://doi.org/10.3390/insects12080716> [ElektrosmogReport 4-2021](#)

**M**

Maluin SM, Osman K, Jaffar FHF, Ibrahim SF (2021): Effect of Radiation Emitted by Wireless Devices on Male Reproductive Hormones: A Systematic Review. *Front Physiol.* 2021;12(September):1-8. doi:10.3389/fphys.2021.732420 [ElektrosmogReport 4-2021](#)

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 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

**O**

Othman H, López-Furelos A, Leiro-Vidal JM, Mohamed A, Mohsen S, Hafedh A, Salas-Sánchez AA, Ares-Pena F, López-Martín E (2021): Exposure to 2.45 GHz radiation triggers changes in HSP-70, Glucocorticoid Receptors and GFAP biomarkers in rat brain. *Int J Mol Sci.* 2021;22(10). doi:10.3390/ijms22105103 [ElektrosmogReport 3-2021](#)

**P**

Panagopoulos, D.J., Karabarbounis, A., Yakymenko, I., & Chrousos, G.P. (2021). Human-made electromagnetic fields: Ion forced-oscillation and voltage-gated ion channel dysfunction, oxidative stress and DNA damage (Review). *International Journal of Oncology*, 59, 92. <https://doi.org/10.3892/ijo.2021.5272> [ElektrosmogReport 4/2021](#)

**R**

Redmayne, M., & Reddel, S. (2021). Redefining electrosensitivity: A new literature-supported model. *Electromagnetic Biology and Medicine*, 40(2), 227-235. <https://doi.org/10.1080/15368378.2021.1874971> [ElektrosmogReport 4-2021](#)

Rodrigues, N. C. P., Dode, A. C., Andrade, M. K. D. N., O'Dwyer, G., Monteiro, D. L. M., Reis, I. N. C., ... & Lino, V. T. S. (2021). The Effect of Continuous Low-Intensity Exposure to Electromagnetic Fields from Radio Base Stations to Cancer Mortality in Brazil. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(3), 1229. [ElektrosmogReport 1-2021](#)

**S**

Said-Salman I, Yassine W, Rammal A, Hneino M, Yusef H, Moustafa M (2021): Effects of Wi-Fi Radiofrequency Radiation on Carbapenem-Resistant *Klebsiella pneumoniae*. *Bioelectromagnetics* 42 (7), 575–582 [ElektrosmogReport 4-2021](#)

Schuermann D, Mevissen M (2021): Gibt es Hinweise auf vermehrten oxidativen Stress durch elektromagnetische Felder? BERENIS – Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung, Newsletter-Sonderausgabe Januar 2021 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Seomun GA, Lee J, Park J (2021): Exposure to extremely low-frequency magnetic fields and childhood cancer: A systematic review and meta-analysis. *Plosone*, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251628> [ElektrosmogReport 3-2021](#)

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 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

Sieroń K, Knapik K, Onik G, Romuk E, Birkner E, Kwiatek S, Sieron A (2021): Electromagnetic Fields Modify Redox Balance in the Rat Gastrointestinal Tract. *Front Public Heal.* 2021;9(September):1-10. doi:10.3389/fpubh.2021.710484 [ElektrosmogReport 4-2021](#)

Singh, A.; Singh, N.; Jindal, T.; Rosado-Munoz, 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 [ElektrosmogReport 2-2021](#)

Slesin, Louis, *MicrowaveNews*, New York Yuri Grigoriev, ein weltweit führender Strahlenbiologe, ist im Alter von 95 Jahren gestorben [ElektrosmogReport 2-2021](#)

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. [ElektrosmogReport 2-2021](#)

Stefi, A. L., Vassilacopoulou, D., Margaritis, L. H., & Christodoulakis, N. S. (2018). Oxidative stress and an animal neurotransmitter synthesizing enzyme in the leaves of wild growing myrtle after exposure to GSM radiation. *Flora*, 243, 67–76. [ElektrosmogReport 3-2021](#)

Sueiro-Benavides RA, Leiro-Vidal JM, Salas-Sánchez AÁ, Rodríguez-González JA, Ares-Pena FJ, Martín MEL (2020): Radiofrequency at 2.45GHz increases toxicity, pro-inflammatory and pre-apoptotic activity caused by black carbon in the RAW 264.7 macrophage cell line doi:10.1016/j.scito-env.2020.142681 [ElektrosmogReport 1-2021](#)

**T**

Thill, A (2021) Desorientierung durch elektromagnetische Felder beim Vogelzug, Erstveröffentlichung, [ElektrosmogReport 1/2021](#)

Todorovic, D.; Ilijin, L.; Mrdakovic, M.; Vlahovic, M.; Grcic, A.; Petkovic, B. & Peric-Mataruga, V. (2021). The impact of chronic exposure to a magnetic field on energy metabolism and locomotion of *Blattella germanica*. *International journal of radiation biology*, Taylor & Francis, 2020, 96, 1076-1083 [ElektrosmogReport 3-2021](#)

**U**

Uche UI, Naidenko OV (2021): Development of health – based exposure limits for radiofrequency radiation from wireless devices using a benchmark dose approach. *Environ Heal.* 2021:1-14. doi:10.1186/s12940-021-00768-1 [ElektrosmogReport 3-2021](#)

Ullrich, V., & Apell, H. J. (2021). Electromagnetic Fields and Calcium Signaling by the Voltage Dependent Anion Channel. *Open Journal of Veterinary Medicine*, 11(01), 57. doi: 10.4236/ojvm.2021.111004. [ElektrosmogReport 4-2021](#)

**W**

Wilke, Isabel, Kommentar: A. Lerchls Qualität der Forschung, Irreführung inbegriffen, sein Umgang mit der Wahrheit und ein endgültiger Urteilsspruch. [ElektrosmogReport 1-2021](#)

**Y**

Yu G, Bai Z, Song C, Cheng Q, Wang G, Tang Z, Yang S (2021): Current progress on the effect of mobile phone radiation on sperm quality: An updated systematic review and meta-analysis of human and animal studies. *Environ Pollut.* 2021;282:116952. doi:10.1016/j.envpol.2021.116952 [ElektrosmogReport 4-2021](#)