

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit



## Mobilfunk 4. Generation

### LTE-Strahlung verändert Aktivität und Verhalten von Mäusen

Broom KA, Findlay R, Addison DS, Goiceanu C, Sienkiewicz Z (2019):  
Early-Life Exposure to Pulsed LTE Radiofrequency Fields Causes Persistent  
Changes in Activity and Behavior in C57BL/6 J Mice. *Bioelectromagnetics*  
40, 498-511

Trotz vieler Forschung bleiben Lücken im Wissen über mögliche Gesundheitsrisiken durch Mobilfunkstrahlung. Kinder reagieren empfindlicher als Erwachsene aufgrund ihrer stärkeren Absorption von Strahlung im Kopf und aufgrund ihrer längeren Lebenszeit. Das größte Risiko besteht bei Kindern für die Entwicklung und Reifung des Gehirns, für schädliche Auswirkungen auf das Immunsystem und andere empfindliche Organe. Nur wenige Studien haben die biologischen Folgen von Strahlung der Smartphones der 4. Generation (LTE = Long-term Evolution) untersucht, z. B. die Wirkung auf Gehirn und Spermien. Diese Studie hier untersuchte die Wirkung der LTE-Frequenz 1846 MHz auf das Verhalten, wenn Mäuse schon im Mutterleib und nach der Geburt bestrahlt wurden.

#### Studiendesign und Durchführung:

Von den Nachkommen der bestrahlten Mütter wurden nur die männlichen Tiere für das Experiment eingesetzt. Die männlichen Tiere (anfangs je 5 oder 6, an Tag 14, 21 und 28 je 3) waren im Mutterleib und danach 30 Minuten/Tag 5 Tage/Woche 35 Tage lang mit gepulster 1846-MHz-Strahlung behandelt worden (simulierter Downlink SAR 0,5 oder 1 W/kg Ganzkörper), vom Tag 13,5-18,5 der Trächtigkeit und von Tag 3 bis zur Entwöhnung am Tag 21 nach der Geburt. Die SAR in den Feten betrug zwischen 0,125-1,39 bzw. 0,249-2,79 W/kg. In dieser frühen Lebensphase erfolgt die Entwicklung von Gehirn und Hippocampus. Eine Kontrollgruppe wurde scheinbestrahlt. Das Experiment wurde zweimal wiederholt. Außerdem wurde das Gewicht bestimmt. Die Tiere kamen im Alter von 10 Wochen in einen individuellen Käfig mit einem Laufrad und einem Unterschlupf, wo sie sich 2 Wochen lang eingewöhnen konnten. Futter und Wasser waren stets vorhanden.

Das angeborene Verhalten der Tiere wurde 17 Wochen lang (12.-28. Woche, junge bis erwachsene Tiere) im eigenen Käfig

#### Impressum

ElektrosmogReport 1/2020, 26. 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. 52001

#### Redaktion ElektrosmogReport

Dipl. Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), B.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** > LTE-Strahlung verändert Aktivität und Verhalten von Mäusen

**03** > Mögliche Grundlagen von Verhaltensänderungen, hervorgerufen durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung

**04** > Dynamische Veränderungen in Zellskelettproteinen von olfaktorischen Hüllzellen, die durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgelöst werden

**06** > Schutzwirkung von Zink vor oxidativem Stress und Apoptose, welcher durch 2,45 GHz Strahlung in HEK293-Zellen hervorgerufen wurde

**07** > Komplikationen durch nicht-ionisierende Strahlung beim Multitasking-Test

**08** > Erhöhte ROS-Bildung durch Mikrowellen von GSM900 und UMTS, keine DNA-Schädigung und Apoptose in Stammzellen

**09** > Schädliche Wirkungen der 5G-Netzwerk-Technologie unter realen Bedingungen

**12** > ElektrosmogReport 2019 Register A-Z

einmal wöchentlich mit einer Videoaufzeichnung beobachtet. Untersucht wurde das Verhalten bezüglich Trinkgewohnheiten, Futteraufnahme, Bewegungsmuster und Ruhezeiten.

### **Ergebnisse:**

Die Bestrahlung hatte keine sichtbaren Auswirkungen auf die Schwangerschaften und die Anzahl der Nachkommen im Vergleich mit den scheinbestrahlten Tieren. Es gab keine morphologischen Abweichungen. Das Körpergewicht der bestrahlten Tiere war höher als das der Kontrolltiere; nach 32 Wochen wogen die Tiere mit 0,5 W/kg am meisten, bei 1 W/kg etwas weniger, beide waren jedoch deutlich schwerer als die Kontrolltiere. Bei fast allen untersuchten Parametern waren die Unterschiede zu der Kontrollgruppe signifikant, nicht-signifikant waren nur bei 0,5 W/kg die Anzahl der Drehungen und bei 1 W/kg die Gesamtstrecke. Im Vergleich zu den Kontrolltieren tranken die Tiere bei 0,5 W/kg signifikant weniger, bei 1 W/kg signifikant mehr, der Unterschied zwischen 0,5 und 1 W/kg war auch signifikant. Die Futteraufnahme war bei beiden bestrahlten Gruppen signifikant, bei 0,5 W/kg geringer, bei 1 W/kg teilweise höher.

Das Bewegungsverhalten wurde gemessen als Aktivität und Gesamtzahl der Umdrehungen im Laufrad, der Gesamtstrecke, kumulativer Bewegungsdauer und Anzahl der aktiven Phasen. Bewegung im Laufrad: Die Anzahl der Umdrehungen bei 1 W/kg war signifikant höher als bei 0,5 W/kg und den Kontrollen. Die Gesamtstrecke war bei beiden signifikant niedriger gegenüber der Kontrollgruppe, so auch die kumulative Bewegungsdauer. Die Anzahl der nicht-aktiven Phasen waren signifikant niedriger bei 0,5 W/kg als bei den Kontrollen, 1 W/kg führten zu signifikant mehr inaktiven Phasen gegenüber den Kontrollen. Die Anzahl der Besuche im Unterschlupf unterschied sich signifikant zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Tieren. Die bestrahlten Tiere suchten den Unterschlupf signifikant häufiger auf und die gesamte Aufenthaltsdauer dort war bei den bestrahlten Tieren deutlich länger als bei den Kontrolltieren.

Die gefundenen Unterschiede waren über die gesamten 6 Monate der Beobachtungszeit zu sehen. Bei fast allen Parametern wurden Unterschiede zu den scheinbestrahlten Kontrollen gefunden. Aber es gab keine einheitliche Bestrahlungs-Reaktions-Beziehung. Dies sind vorläufige Ergebnisse, denn die Anzahl der Tiere war gering. Bei 0,5 W/kg trat häufiger eine

hemmende Wirkung im Verhalten auf und bei 1 W/kg eine Steigerung. Die Tiere der 1-W/kg-Gruppe waren aktiver im Laufrad, aber sie verbrachten auch mehr Zeit im Ruhebereich als die Kontrolltiere.

Die Forscher überlegen, dass das veränderte Verhalten mit Einwirkung der Strahlung auf den Stoffwechsel oder dass die Strahlung den Hippocampus verändert hat, der zur Zeit der Bestrahlung in der Entwicklung war, und somit das Erinnerungsvermögen beeinträchtigt ist. Das wirkt sich auf das Trink- und Futterverhalten aus.

Die beobachteten Verhaltensänderungen sollten weiter untersucht werden, um die Mechanismen zu erfahren. Da das Verhalten einige Wochen nach der Bestrahlung gemessen wurde, sind einfache Erklärungen wie Wahrnehmungsstörungen oder thermische Wirkungen unhaltbar ebenso wie unbekannte Stressfaktoren in der Umgebung. Wie sollte man erklären, dass ein einzelner Faktor in den Gruppen gegensätzliche Verhaltensänderungen verursachen kann, zumal die Ergebnisse im zweiten Ansatz bestätigt wurden. Im Gegensatz dazu waren die Unterschiede im Verhalten in einer Pilotstudie mit unbestrahlten Tieren nicht zu sehen. Außerdem zeigt die Stetigkeit der beobachteten Veränderungen über die Zeit des Experiments, dass es unwahrscheinlich ist, dass die Ergebnisse zufällig sind, und der Versuchsansatz auch nicht verantwortlich ist. Insgesamt muss man schlussfolgern, dass die Strahlung die Ursache ist. Die Gehirne der Tiere sollten untersucht werden ob Strukturen der Nervenzellen verändert sind, z. B. Synapsenstruktur, Neurotransmitterstatus und der Zusammenbruch der Blut-Hirn-Schranke. Da die Mäuse Ganzkörper-Bestrahlung bekamen, können auch andere Bereiche des Nervensystems oder Systeme außerhalb des Gehirns betroffen sein. Solche Mechanismen wurden bei vorgeburtlichen Bestrahlungen mit ionisierender Strahlung bei Menschen gefunden.

### **Schlussfolgerungen:**

Da es keine andere einleuchtende Erklärung gibt, wird der Schluss gezogen, dass die wiederholte Bestrahlung mit niedriger Feldstärke von Mobilfunk-Strahlung (gepulsten 1846 MHz, simulierter Downlink, Ganzkörper-SAR 0,5 und 1 W/kg, im Mutterleib und kurz nach der Geburt) bei männlichen Mäusen im frühen Leben eine fortdauernde und lang anhaltende Nachwirkung bei den erwachsenen Tieren hat. (IW)



### Review zu HF-EMF bedingten Verhaltensänderungen

## Mögliche Grundlagen von Verhaltensänderungen, hervorgerufen durch hochfrequente elektromagnetische Strahlung

Narayanan SN, Jetty R, Kesari KK, Kumar RS, Nayak SB, Bhat PG (2019): Radiofrequency electromagnetic radiation-induced behavioral changes and their possible basis. *Environ Sci Pollut Res.* 2019;26(30):30693-30710. doi: 10.1007/s11356-019-06278-5

Strahlung wird im Allgemeinen als Übertragung von Energie in Form von Wellen oder Teilchen, durch den Raum beschrieben. Bei elektromagnetischer Strahlung reicht diese Energie nicht aus, um eine Ionisierung von Atomen oder Molekülen zu bewirken. Aus diesem Grunde wird elektromagnetische Strahlung als nicht-ionisierende Strahlung bezeichnet. Bis zum heutigen Tag konnten Wissenschaftler nicht einheitlich feststellen, ob diese Strahlung schädlich für den Menschen ist oder nicht. Das Ziel der hier vorgestellten Übersichtsarbeit (Review) ist es, die Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Verhalten, insbesondere Lernen, Gedächtnis, Angst und Fortbewegung von Nagetieren zu bewerten.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren durchsuchten elektronische Datenbanken wie PubMed nach Stichworten wie „Mobilfunkstrahlung“ „Angststörung“ „Fortbewegung“ „Gedächtnis-/Lernverhalten“ uvm. um relevante Publikationen herauszufiltern. Jeder Artikel, in dem verhaltensbezogene, histologische oder biochemische Entdeckungen bei Ratten und Mäusen diskutiert wurden, wurde als relevant erklärt. Artikel, welche Hochfrequenzwirkungen beim Menschen oder anderen Modellorganismen untersuchten, wurden ausgeschlossen. Die Autoren beschäftigten sich hauptsächlich mit der Analyse von Artikeln der letzten 10 Jahre, allerdings wurden auch einige ältere Publikationen auf Grund ihrer besonderen Relevanz verwendet.

### Ergebnisse:

Zunächst widmeten sich die Autoren Publikationen, welche Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf das Lernverhalten bzw. das Gedächtnis beschrieben. Insgesamt wurden 25 Publikationen analysiert. Davon beschrieben 21 (84 %) Auswirkungen der Hochfrequenzstrahlung auf Lernverhalten und Gedächtnis. Unter anderem wurden Veränderungen des Gedächtnisses, Hyperaktivität, räumliches Gedächtnis, Beeinträchtigung der Blut-Hirn Schranke, Bewegungsaktivität, Degeneration von Neuronen (Nervenzellen), morphologische Veränderung des Hippocampus sowie des emotionalen Gedächtnisses beschrieben. Dabei waren nicht

alle durch Hochfrequenz verursachten Veränderungen negativ. Teilweise konnte die kognitive Leistung von Versuchstieren verbessert werden. Im nächsten Schritt analysierten die Autoren Artikel, welche Angst bzw. Angststörungen bei den Versuchstieren dokumentierten. Um angsteinvolles Verhalten in Tiermodellen untersuchen zu können, haben Forscher verschiedene Versuchsansätze entwickelt. Einige der häufig verwendeten Methoden um Angstverhalten in Tiermodellen testen zu können sind das „angehobene Plus-Labyrinth“ (elevated plus maze, EPM), der offene Feldtest sowie Schwarz-Weiß-Boxen. 11 von 12 (92 %) überprüften Publikationen beschrieben verändertes Angstverhalten als Folge von Hochfrequenzstrahlung. Auch das Bewegungsverhalten zeigt Auffälligkeiten nach Belastung mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern. 4 von 5 Studien (80 %) berichten von verminderter Bewegung der Versuchstiere nach Bestrahlung. Die Autoren der Übersichtsarbeit stellen drei mögliche, zu Grunde liegende Mechanismen dar, wie Hochfrequenzstrahlung die beobachtete Verhaltensänderungen verursacht haben könnte: a) strukturelle Veränderungen in verschiedenen Hirnregionen, b) Auswirkungen auf Gliazellen und c) Einfluss auf die Neurotransmitter verschiedener Hirnregionen. Bezüglich der strukturellen Veränderungen in verschiedenen Gehirnregionen ergab die Literaturrecherche der Autoren eine veränderte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke. Diese stellt eine physiologische Barriere dar und schützt das Gehirn z.B. vor Krankheitserregern oder Giftstoffen. 7 von 9 beschriebenen Studien fanden Auswirkungen (erhöhte Durchlässigkeit) von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die Bluthirnschranke (77%). Zwei der 7 Studien, welche Wirkungen bestätigen, sind jedoch aus den Jahren 1994 bzw. 1977 und gehören damit nicht mehr zu den aktuellsten wissenschaftlichen Erkenntnissen (Anm. der Redaktion). Nach der Blut-Hirn-Schranke gerieten verschiedene Gehirnareale in den Fokus der Autoren. Publikationen, welche strukturelle Veränderungen nach Hochfrequenzbelastung im Hippocampus, der Großhirnrinde, dem Kleinhirn und der Amygdala dokumentierten, wurden untersucht. 27 von 28 aufgelisteten Studien (96 %) belegten Wirkungen der Hochfrequenzstrahlung. Dokumentierte Auswirkungen waren unter anderem neuronale Degenerationen, Neuronenverlust, pathologische Veränderungen des Gewebes, erhöhte Apoptose, deformierte Zellkerne und Störungen der Zellpopulationen. Es ist bekannt, dass nicht nur Neuronen, sondern auch Gliazellen im Hinblick auf Informationsverarbeitung eine wichtige Rolle spielen. Daher könnten Verhaltensänderungen von Versuchstieren auch durch die Schädigung von Gliazellen verursacht werden. Zwei von drei erwähnten Studien (67 %) zeigen Beeinträchtigungen der Gliazellen durch Hochfrequenzstrahlung. Verhalten wird auch durch das Zusammenspiel verschiedener Hirnregionen und Neurotransmitter gesteuert. Eine mögliche Wirkung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf verschiedene Neurotransmitter in unterschiedlichen Hirn-

regionen ist demnach ebenfalls von großer Bedeutung. 5 von 5 in der Übersichtsarbeit erwähnten Studien zu diesem Thema zeigen Auswirkungen von Hochfrequenz auf Neurotransmitter. Dies betrifft unter anderem ein Ungleichgewicht von Aminosäuretransmittern und von Neurotransmittern des Thalamus, Hypothalamus und Striatum (Hirnregionen). Als mögliche grundlegende Mechanismen für die Beeinflussung des Gehirns und damit des Verhaltens durch hochfrequente elektromagnetische Felder, geben die Wissenschaftler Produktion von reaktiven Sauerstoffspezies (ROS), Aktivierung apoptotischer Signalwege, DNA-Schädigungen sowie eine gestörte Kalzium Homöostase an.

### Schlussfolgerungen:

Die Autoren der Übersichtsarbeit benennen eine Vielzahl von Studien, welche veränderte Verhaltensweisen in Nagetieren als Folge von Belastung mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern dokumentieren. Sie schließen nicht aus, dass die beobachteten Veränderungen des Verhaltens durch kombinierte Wirkungen verursacht werden, welche die Hochfrequenzstrahlung in verschiedenen Gehirnregionen hervorgerufen könnte, wie:

1. Erhöhung der reaktiven Sauerstoffspezies und damit Schädigung der Zellmembran
2. Hervorrufen von DNA-Strangbrüchen und dadurch Apoptose durch reaktive Sauerstoffspezies
3. Ungleichgewicht in der Kalziumhomöostase und damit verbundene Remodellierung von Dendriten bzw. Zelltod
4. Zunahme von entzündlichen Prozessen mit anschließendem Zelltod (Nekrose)
5. Veränderte Physiologie von Gliazellen
6. Ungleichgewicht von Neurotransmittern in verschiedenen Hirnregionen

Laut den Autoren gehen die Sicherheitsempfehlungen für Mobiltelefone von der ausgesendeten Strahlung im Ruhezustand aus. Diese sei, im Gegensatz zum „Trägersignal“ (etwa bei eingehenden Anrufen) vernachlässigbar. Die Wissenschaftler warnen jedoch davor, die Ergebnisse direkt auf den Menschen zu übertragen. Sie fordern mehr Studien, besonders um die Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung auf gefährdete Gruppen wie z.B. Kinder besser abschätzen zu können. Im Angesicht des unkontrollierbaren Wachstums der Mobilfunktechnologie sei es höchste Zeit, die gesundheitlichen Risiken dauerhafter und chronischer Belastung zu ermitteln. (RH)



### Hochfrequenzwirkung auf Zellen des Nervensystems

## Dynamische Veränderungen in Zellskelettproteinen von olfaktorischen Hüllzellen, die durch hochfrequente elektromagnetische Felder ausgelöst werden

Grasso R, Pellitteri R, Caravella SA, Musumeci F, Raciti G, Scordino A, Spisito G, Triglia A, Campisi A (2020): Dynamic changes in cytoskeleton proteins of olfactory ensheathing cells induced by radiofrequency electromagnetic fields. J Exp Biol. January 2020; jeb.217190. doi:10.1242/jeb.217190

Bis vor einigen Jahrzehnten glaubte man, dass elektromagnetische Strahlung lediglich durch Hitzeentwicklung oder durch Ionisierung Schäden in biologischen Geweben verursachen kann. Inzwischen kommen jedoch Zweifel auf, ob das Modell der ionisierenden Strahlung in der Lage ist, die Wirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) niedriger Intensitäten (ohne Hitzeentwicklung) zu erklären. Immer wieder wird von freien Radikalen in diesem Zusammenhang berichtet. Die Wirkung von Hochfrequenz auf das Gehirn bzw. Nervenzellen ist von besonderem Interesse, da mobile Kommunikationsgeräte, als eine der Hautbelastungsquellen, oftmals in direktem Kontakt zum Schädel stehen. Außerdem besitzt das Gehirn lediglich schwache antioxidative Schutzmechanismen.

Über die vergangenen Jahre hat ein besonderer Gliazelltyp, die olfaktorischen Hüllzellen (OHZ), besondere Aufmerksamkeit erregt. Sie sind ein vielversprechendes Werkzeug für die Therapie von Rückenmarksverletzung, da sie dazu beitragen, geschädigte Axone zu regenerieren und eine funktionale Wiederherstellung von Schädigungen des Nervensystems zu stimulieren. Sie werden als Stammzellen betrachtet. Die Autoren der hier vorgestellten Studie untersuchten die Auswirkungen von kontinuierlicher und modulierter 900 MHz Hochfrequenzstrahlung auf olfaktorische Hüllzellen in Zellkultur (in vitro). Im Fokus lagen hierbei verschiedene Proteine des Zellskeletts, welche unter anderem für die zelluläre Reaktion nach Verletzungen des Nervensystems verantwortlich sind. Es wurden GFAP, Vimentin und Nestin untersucht. GFAP stellt einen Marker für Astrogliose dar. Dieses Phänomen beinhaltet die Zellteilung von Gliazellen, um Ionen- und Neurotransmitterkonzentrationen aufrecht zu erhalten sowie die Blut-Hirn-Schranke zu bilden. Astrogliose tritt während der Gehirnentwicklung aber auch nach traumatischen Hirnverletzungen und bei Krankheiten auf. Vimentin ist ein Differenzierungsmarker. Nestin hingegen markiert neuronale Stammzellen und wird auch von OHZ gebildet. Außerdem wurde das OHZ-spezifische Protein S-100 (Marker für OHZ) sowie eine mögliche Aktivierung der apoptotischen Signalkaskade (aktive Caspase-3) analysiert.

**Studiendesign und Durchführung:**

Die aufgereinigten, primären olfaktorischen Hüllzellen (OHZ) wurden in vier Gruppen unterteilt. Die Kontrollgruppe verweilte die gesamte Zeit im Inkubator und wurde nicht bestrahlt. Die scheinbestrahlte Gruppe wurde während der Versuchsdurchführung, ebenso wie die beiden bestrahlten Gruppen, von dem Inkubator in ein beheiztes Wasserbad überführt. Dort fand im Falle der beiden bestrahlten Gruppen die Exposition gegenüber Hochfrequenzstrahlung statt. Im Falle der scheinbestrahlten Gruppe war die Strahlungsquelle ausgeschaltet. Bei der einen bestrahlten Gruppe erfolgte die Belastung mit einem kontinuierlichen elektromagnetischen Feld (KW-Gruppe), während bei der anderen Gruppe ein amplitudenmoduliertes Feld (50 Hz) vorlag (MW-Gruppe). In beiden Fällen betrug die Frequenz 900 MHz. Die Bestrahlung erfolgte über 10, 15 und 20 Minuten und wurde von oben durchgeführt. Der Abstand zwischen Antenne und Probe betrug 67 cm, es wurde also eine Fernfeldbestrahlung durchgeführt. Bei beiden Befeldungsarten betrug das elektrische Feld an der Probe etwa 7 V/m. Bei der längsten Bestrahlungsdauer von 20 Minuten wurde eine Temperaturerhöhung der Proben von weniger als 0,35 °C festgestellt, damit schließen die Wissenschaftler thermische Effekte aus. Nach der Bestrahlung erfolgte eine Erfassung des Zellüberlebens mittels MTT-Assay. Die Bildung des OHZ-Markers, des Apoptose-Markers und die Proteine des Zellskeletts wurden mittels immunohistochemischen Verfahren überprüft.

**Ergebnisse:**

Die Wissenschaftler untersuchten zuerst morphologische Veränderungen. Im Vergleich zwischen Kontrolle und Scheinbestrahlung gab es lediglich nach 20 Minuten leichte Abweichungen. Nach 15 bzw. 20 Minuten Belastung mit dem kontinuierlichen EMF (KW-Gruppe) wurde eine fortschreitende Vergrößerung der Zellen (Hypertrophie) beobachtet. Zellen, welche über 15 und 20 Minuten mit dem 50 Hz-modulierten Feld belastet wurden zeigten eine zunehmende Zellfaltenbildung sowie eine Verminderung ihrer Anzahl. Die Überprüfung des Zellüberlebens ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und scheinbestrahlter Gruppe bei allen drei Zeitpunkten. Die Bestrahlung resultierte bei 10 und 15 Minuten in einer leichten Abnahme der Überlebensfähigkeit. Bei 20 Minuten war die Abnahme signifikant. Das verminderte Zellüberleben war bei dem modulierten Feld ausgeprägter als bei dem kontinuierlichen. Anschließend wurden verschiedene Markerproteine mit immunohistochemischen Methoden analysiert. Die Astrogliose- bzw. Differenzierungsmarker GFAP und Vimentin waren nach 15 und 20 Minuten Bestrahlung in der KW-Gruppe signifikant erhöht. Die MW-Gruppe hingegen zeigte weniger GFAP und Vimentin-positive Zellen. Dies spricht dafür, dass KW 900 MHz, im Gegensatz zu MW 900

MHz, Gliose und Differenzierung induziert. Außerdem wurde der OHZ-Marker S-100 überprüft. Das kontinuierliche Feld hatte bei 15-minütiger Bestrahlung keine signifikanten Auswirkungen auf die Anzahl S-100-positiver Zellen. Nach 20 Minuten Bestrahlung gab es eine leichte Erhöhung. Bei dem modulierten Feld hingegen gab es sowohl bei 15- als auch 20-minütiger Bestrahlung eine verminderte Anzahl der S-100-positiven Zellen, wobei dieser Effekt nach 20 Minuten stärker zum Tragen kam. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass das 900 MHz modulierte elektromagnetische Feld zu Zelltod führt. Als letztes Zellskelettprotein wurde Nestin untersucht. Hierbei handelt es sich um einen Marker für neuronale Stammzellen. Nach 20 Minuten Exposition gegenüber dem elektromagnetischen Feld waren die Nestin-positiven Zellen in der KW-Gruppe signifikant erhöht und in der MW-Gruppe signifikant vermindert. Um zu überprüfen, ob bzw. wie das modulierte elektromagnetische Feld denn Zelltod initiiert, wurde aktive Caspase-3 analysiert. Aktive Caspase-3 markiert eine Apoptoseaktivierung. Tatsächlich war in der MW-Gruppe nach 20 Minuten Bestrahlung eine signifikante Erhöhung Caspase-3-positiver Zellen zu beobachten. Das aktivierte Caspase-3 befand sich sowohl im Cytosol als auch im Zellkern. Bei der KW-Gruppe hingegen war nach 20 Minuten lediglich eine sehr leichte Erhöhung von Caspase-3 zu sehen. Diese Daten zeigen, dass die modulierte Strahlung Apoptose verursacht.

**Schlussfolgerungen:**

Die Autoren konnten demonstrieren, dass die Belastung olfaktorischer Hüllzellen mit 900 MHz-Strahlung eine Veränderung in der Organisation verschiedener Zellskelettproteine verursacht. Je nach Amplitudenmodulation wird die Bildung dieser Proteine erhöht oder vermindert. Laut den Wissenschaftlern stimuliert die erhöhte Nestin-Bildung bei der kontinuierlichen Strahlung die Selbsterneuerung der Zellen. Auch die vermehrte Bildung der anderen Proteine spräche für eine schädigende Wirkung des kontinuierlichen Feldes, welche die Fähigkeit der OHZ sich zu regenerieren stimuliere. Im Gegensatz dazu führe die Belastung mit modulierter Strahlung zu einer signifikanten Verminderung der zellulären Lebensfähigkeit, welche auf die Aktivierung des apoptotischen Signalweges zurückzuführen sei und von der verminderten Bildung der Zellskelettproteine bestätigt werde. Die Ergebnisse von Grasso et. al. bestätigen die Ergebnisse andere Wissenschaftler, welche zeigen, dass synthetische, kontinuierliche elektromagnetische Felder wesentlich weniger bioaktiv sind als reale z.B. durch Mobiltelefone ausgesendete Strahlung (vgl. ElektrosmogReport 09/2019: Vergleich von DNA-Schäden, die durch Mobilfunk und andere Arten von künstlichen elektromagnetischen Feldern verursacht werden; Anm. der Redaktion). (RH)



### Schützt Zink vor WLAN-Strahlung?

## Schutzwirkung von Zink vor oxidativem Stress und Apoptose, welcher durch 2,45 GHz Strahlung in HEK293-Zellen hervorgerufen wurde

Özsobacı NP, Ergün DD, Tunçdemir M, Özçelik D (2019): Protective Effects of Zinc on 2.45 GHz Electromagnetic Radiation-Induced Oxidative Stress and Apoptosis in HEK293 Cells. *Biol Trace Elem Res*. doi: 10.1007/s12011-019-01811-6

Die Mehrzahl der jüngsten epidemiologischen und experimentellen Studien deutet darauf hin, dass akute oder chronische Belastung mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) verschiedener Frequenzbereiche unterschiedliche Krankheiten begünstigen kann. Dazu gehören unter anderem Krebs, immunologische Störungen, Schädigungen der Blut-Hirn-Schranke, Kopfschmerzen, neuropsychiatrische Wirkungen und hormonelle Veränderungen. Die schädlichen biologischen Auswirkungen der HF-EMF werden oftmals mit der Produktion reaktiver Sauerstoffspezies (ROS) in Verbindung gebracht. Zink ist ein essentielles Spurenelement, welches eine wichtige Rolle in einer Vielzahl von zellulären Prozessen, wie z.B. Zellwachstum, Zellteilung, Differenzierung und Stoffwechsel spielt. Es ist bekannt, dass Zink biologischen Strukturen Schutz vor freien Radikalen und damit oxidativem Stress bietet. Das Ziel der hier vorgestellten Studie war es, die Auswirkungen von 2,45 GHz Hochfrequenzstrahlung auf eine Nierenzelllinie (HEK293) und mögliche schützende Eigenschaften von Zink vor dieser Strahlung zu untersuchen.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Zellkulturen der HEK293-Nierenzelllinie wurden in vier Versuchsgruppen unterteilt: Kontrolle, 2,45 GHz bestrahlt, 2,45 GHz bestrahlt + 50 µM Zink und 2,45 GHz bestrahlt + 100 µM Zink. 48 Stunden vor der Bestrahlung wurde das Zellkulturmedium ausgetauscht und bei den Zink-Gruppen die jeweilige Menge ZnSO<sub>4</sub> hinzugegeben. Anschließend folgte eine Bestrahlung mit 2,45 GHz. Als Strahlungsquelle diente ein spannungsgesteuerter Oszillator mit einer Monopolantenne. Die Zellen wurden 18 cm entfernt von der Monopolantenne platziert, was in einem Leistungspegel von -40 dBm und einer Feldintensität von 2 V/m resultierte. Nach der Bestrahlung wurden verschiedene Parameter analysiert, um die Auswirkungen zu bestimmen. Malondialdehyd-Konzentration (MDA) wurde als Oxidationsmarker genutzt. MDA entsteht bei Oxidation von Lipiden, die z.B. in Zellmembranen vorkommen. Außerdem wurde die Aktivität des antioxidativen Schutzzyms Superoxiddismutase (SOD) bestimmt. Des Weiteren wurde Apoptose (programmierter Zelltod) mittels TUNEL-Färbung bzw. immunohistochemischer Färbung von Apoptosemarkern (aktive

Caspase-3 und Bcl-2) analysiert. Caspase-3 und Bcl-2 sind Proteine, welche im Fall von Caspase-3 auf Apoptose hindeuten, während Bcl-2 einen anti-apoptotischen Marker darstellt.

### Ergebnisse:

Die Überprüfung des oxidativen Stresses zeigte ein eindeutiges Bild. Der Marker für oxidativen Stress MDA war in der bestrahlten Gruppe ohne Zinkzugabe signifikant höher als in der Kontrollgruppe. Beide Gruppen mit Zinkzugabe (EMF + 50 µM Zink und EMF + 100 µM Zink) wiesen niedrigere MDA-Konzentrationen auf als die bestrahlte Gruppe ohne Zink. Die Aktivität des oxidativen Schutzzyms SOD war in der bestrahlten Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant verringert. Auch hier konnte die Zugabe von Zink diesem Effekt entgegenwirken. Sowohl 50 µM als auch 100 µM Zink konnten die SOD-Aktivität signifikant erhöhen. Diese Resultate weisen darauf hin, dass die Bestrahlung mit 2,45 GHz oxidativen Stress in den Nierenzellen auslöste und dieser durch die Zugabe von Zink abgemildert werden konnte. Als nächstes untersuchte die Arbeitsgruppe die Auswirkung des oxidativen Stresses auf die Zellen in Form von Apoptose (programmiertem Zelltod). Die TUNEL-Färbung zeigte eine signifikant erhöhte Anzahl von apoptotischen Zellen nach Bestrahlung ohne Zinkzugabe im Vergleich zur Kontrolle. Die Inkubation der Zellen mit Zink (50 µM und 100 µM) verringerte die Anzahl der apoptotischen Zellen im Vergleich zu der bestrahlten Gruppe ohne Zink signifikant. Die immunohistochemische Färbung des anti-apoptotischen Markers Bcl-2 war bei der bestrahlten Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant vermindert. Der Vergleich der bestrahlten Gruppe ohne Zink mit der bestrahlten Gruppe + 50 µM Zink zeigte keine signifikanten Unterschiede. Die 100 µM Zinkzugabe hingegen führte zu einer signifikant erhöhten Anzahl an Bcl-2-positiven Zellen im Vergleich zur bestrahlten Gruppe ohne Zink. Die Analyse des pro-apoptotischen Markers Caspase-3 zeigte eine signifikante Erhöhung Caspase-3-positiver Zellen nach Bestrahlung im Vergleich zur Kontrolle. Die Inkubation der Zellen mit beiden Zinkkonzentrationen verminderte die Anzahl Caspase-3-positiver Zellen gegenüber der bestrahlten Gruppe ohne Zinkzugabe. Die Überprüfung der Apoptose nach Bestrahlung weist also daraufhin, dass das hochfrequente elektromagnetische Feld Zellsterben begünstigt und diese Wirkung durch die Zugabe von Zink vermindert werden kann.

### Schlussfolgerungen:

Die Wissenschaftler konnten demonstrieren, dass die Bestrahlung der Nierenzelllinie HEK293 mit 2,45 GHz Hochfrequenzstrahlung oxidativen Stress in den Zellen verursacht. Des Weiteren beobachteten sie eine verstärkte Apoptose (programmierten Zelltod) nach der Bestrahlung. Beide Wirkungen der Strahlung konnten durch die Zugabe von Zink abgeschwächt werden. Die Daten weisen darauf hin, dass Zink durch seine antioxidative Wirkung (Reduktion der Lipidperoxidation und Erhöhung der SOD-Aktivität) die Zellen schützt. Außerdem fördert Zink die Bildung des

anti-apoptotischen Proteins Bcl-2 und unterdrückt die Bildung des pro-apoptotischen Proteins Caspase-3, sodass weniger Zellsterben stattfindet. Die Autoren weisen darauf hin, dass die schützende Wirkung von Zink vor oxidativem Stress damit zusammenhängen könnte, dass dieses in der Struktur von Schutzproteinen, wie Kupfer/Zink SOD und Metallothioneinen vorkommt. Es seien aber weitere Studien notwendig, um eine mögliche Rolle von Zink als Schutz vor den schädlichen Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in HEK293-Zellen zu bestätigen. (RH)



### Strahlung von WLAN-Routern

## Komplikationen durch nicht-ionisierende Strahlung beim Multitasking-Test

Bamdad K, Adel Z, Esmaili M (2019): Complications of nonionizing radio-frequency on divided Attention. *Journal of Cellular Biochemistry* 120 (6), DOI: 10.1002/jcb.28343

Das Einwirken elektromagnetischer Felder wird als mögliche Schädigung der Gesundheit biologischer Systeme angesehen. Neben erhöhtem Risiko für Hirntumoren haben einige Forscher herausgefunden, dass Hirnfunktionen durch Hochfrequenzstrahlung gestört werden können. Es kann zu Kopf- und Muskelschmerzen (Myalgie), Müdigkeit, Konzentrationsstörungen, Tinnitus u. a. kommen. Eine Arbeit ergab, dass vor allem Frauen höhere Raten an Kopf- und Muskelschmerzen, Schwindel und Nervosität haben als Männer. Eine andere Studie fand heraus, dass bei 15- bis 19-jährigen Neuseeländerinnen ein erhöhtes Risiko für Kopfschmerzen, Depressionen und Schlafstörungen auftrat, abhängig von der Gesprächsdauer mit schnurlosen und Mobil-Telefonen. In dieser Studie wird in einer Stadt im Iran untersucht, ob die Strahlung von WLAN-Routern bei Schülerinnen Folgen für das Kurzzeitgedächtnis und den Grad der Aufmerksamkeit hat.

### Studiendesign und Durchführung:

Von anfangs 950 Schülerinnen kamen 406 in die engere Auswahl, nach Ausschlusskriterien (Ängstlichkeit und unvollständige Antworten im Fragebogen) blieb schließlich eine Gruppe von 312 Mädchen (14–17 Jahre alt) übrig. Die Daten beruhen auf Selbstauskunft, es gab keine medizinische Untersuchung. Es wurden zwei Gruppen gebildet: die Kontrollgruppe als Nicht-WLAN-Nutzer bestand aus 138 Personen und die WLAN-Nutzer-Gruppe aus 174 Personen. In dem Fragebogen wurden Angaben zu täglicher Dauer der WLAN-Nutzung und Standort des Gerätes zu Hause erhoben. Als WLAN-Nutzer wurden

Mädchen bezeichnet, die WLAN bereits mehr als ein Jahr nutzen. Beide Gruppen wurden mit 3 psychologischen Tests auf Kurzzeitgedächtnis, selektive Aufmerksamkeit (Fokussierung auf eine Sache) und geteilte Aufmerksamkeit („Multitasking“) untersucht.

### Ergebnisse:

Die Analyse ergab, dass von allen Teilnehmerinnen 55,8 % der Mädchen WLAN und 66,7 % Mobiltelefone benutzen. Bei 44,8 % stand der WLAN-Router im Schlafzimmer und nur 8,0 % der Teenager nutzte WLAN seit 4 Jahren oder länger. Alle gesammelten Daten der 3 psychologischen Tests (Kurzzeitgedächtnis, selektiver und geteilter Aufmerksamkeit) ergaben, dass die weiblichen Teenager der WLAN-Gruppe insgesamt schlechtere Ergebnisse erzielten, die aber bei Kurzzeitgedächtnis und fokussierter Aufmerksamkeit nicht signifikant waren. Beim Multitasking jedoch zeigte die WLAN-Gruppe signifikant schlechtere Leistungen.

Die Forscher diskutieren die Ergebnisse folgendermaßen: Alle Arten von Radikal-Bildung, die durch äußere Einflüsse wie hochenergetische Strahlungen entsteht, und Radikalbildung durch normale biochemische Reaktionen sind möglicherweise schädlich. Elektromagnetische Felder auch sehr geringer Feldstärke sind ebenfalls in der Lage, freie Radikale in biologischen Systemen zu erzeugen. Allerdings können die vorhandenen Daten nicht zweifelsfrei belegen, dass elektromagnetische Felder die biologischen Systeme über die Erzeugung von freien Radikalen beeinträchtigen. Deshalb sind die Wirkungen elektromagnetischer Felder weiterhin Gegenstand der Forschung. Andererseits haben zahlreiche Studien die Wirkung von elektromagnetischen Feldern von WLAN-Geräten auf verschiedene Parameter untersucht, z. B. Fruchtbarkeit, Entwicklung des Immunsystems und des Gehirns, Stress und Entwicklung des Fötus. Psychologische Gesundheitsschädigung durch Hochfrequenzstrahlung ist seit neuestem ein anderes wichtiges Forschungsfeld der Wissenschaftler. Man weiß, dass Hochfrequenzstrahlung auf Geschlecht und Alter verschieden wirkt. Deshalb wurden hier 14- bis 17-jährige Mädchen ausgewählt. Das Ergebnis ist, dass Langzeiteinwirkung von WLAN-Strahlung eine signifikante Abnahme der Fähigkeit zum Multitasking bei Mädchen bewirkt. Diese Studie kann helfen, dass Politiker der öffentlichen Gesundheit die mögliche Wirkung der WLAN-Nutzung auf weibliche Teenager wahrnehmen.

### Schlussfolgerungen:

Diese Untersuchung hat gezeigt, dass es schädliche Wirkungen von elektromagnetischen Feldern der 2,4- bis 2,8-GHz-Strahlung von WLAN-Routern zumindest auf weibliche College-Schülerinnen gibt, und zwar in Form von verminderter Fähigkeit zum Multitasking. Das sollte als technologischer Risikofaktor gewertet werden und von Gesundheitsorganisationen zur Kenntnis genommen werden. (IW)



## Wirkung von GSM900 und UMTS auf Stammzellen

### Erhöhte ROS-Bildung durch Mikrowellen von GSM900 und UMTS, keine DNA-Schädigung und Apoptose in Stammzellen

Durdik M, Kosik P, Markova E, Somsedikova A, Gajdosechova B, Nikitina E, Horvathova E, Kozics K, Devra Davis D, Belyaev I (2019): Microwaves from mobile phone induce reactive oxygen species but not DNA damage, preleukemic fusion genes and apoptosis in hematopoietic stem/progenitor cells. *Scientific Reports* 9, Art-Nr. 16182, <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52389-x>

Neben dem Risiko Krebs durch Mikrowellen haben viele Veröffentlichungen von erhöhten Konzentrationen reaktive Sauerstoffmoleküle (ROS) berichtet. Dagegen gibt es wenige Studien, die keine erhöhte ROS-Produktion gefunden haben; 90% der Studien fanden erhöhte ROS-Produktion in verschiedenen Zellarten nach Bestrahlung mit Mikrowellen. Der Anstieg von ROS ist oft begleitet von oxidativer DNA-Schädigung. DNA-Doppelstrangbrüche sind die weitreichendsten DNA-Schäden, die nur z. T. repariert werden können. Beide Vorgänge kann man mit Labormethoden nachweisen. Die Analysen nach Mikrowellenbestrahlung ergaben sowohl erhöhte Doppelstrangbrüche als auch keine Wirkung bis hin zur Hemmung der DNA-Reparatur. Ähnlich verhält es sich mit Einzelstrangbrüchen und Apoptose (programmierter Zelltod), einige Ergebnisse zeigten solche Wirkungen, andere keine Wirkung der Strahlung. Die Widersprüchlichkeit könnte durch verschiedene Versuchsbedingungen bedingt sein wie Zellart, Kulturmedium, Oxidantien oder Antioxidantien, Frequenz, Polarisation, Modulation, Magnetfelder im Hintergrund u. a..

Obwohl Kinderleukämie eine recht seltene Erkrankung ist, bleibt sie zusammen mit Hirntumoren die häufigste Krebsart bei Kindern. Kinderleukämie geht von Stammzellen der Blutzellen aus. Durch Verschiebungen von Chromosomenteilen an andere Stellen und Mutationen kann die Bildung von fusionierten Genen (preleukemic fusion genes, PFG) entstehen, die Vorläufer für Leukämiezellen darstellen. Man kann sie in Nabelschnurblut nachweisen. In den letzten 20 Jahren haben mehrere Studien ergeben, dass diese PFGs in der gesunden Bevölkerung vorhanden sind, aber nicht unbedingt zu Leukämie führen. Elektromagnetische Felder können das Risiko erhöhen, an Kinderleukämie zu erkranken. Die Vorstellung ist, dass nur solche PFGs zu Leukämie führen, die zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Entwicklung der Stammzellen stattfinden.

#### Studiendesign und Durchführung:

In dieser Studie wurde untersucht, ob die Einwirkung von Mikrowellen von Mobiltelefonen verschiedene Zellschäden hervorrufen kann, wie die Bildung freier Radikale (Reaktive Sauerstoffmo-

leküle, ROS), Einzel- oder Doppelstrangbrüche der DNA, PFG und Apoptose in weißen Blutzellen aus der Nabelschnur nach Bestrahlung mit Mikrowellen von GSM900- und UMTS-Mobiltelefonen. Verschiedene Zelltypen wurden aus der menschlichen Nabelschnur isoliert. Die Blut-Stammzellen, Vorläuferzellen und reife Lymphozyten (CD45+-Lymphocyten, CD34+, CD38--Stammzellen und CD34+ 38+-Vorläuferzellen) wurden mit gepulster GSM900- oder UMTS-Strahlung von Testgeräten behandelt. Es wurden 4-6 oder 5-6 unabhängige Experimente durchgeführt. Die Bestrahlung erfolgte mit je einem Testmobiltelefon (GSM900 Ericsson, UMTS Nokia, 0,25 W), gleichzeitig mit einem scheinbestrahlten Ansatz. Die SAR-Werte betragen bei GSM900 4 und 40 mW/kg (statisches Feld 37  $\mu$ T, Hintergrund Niederfrequenz unter 2  $\mu$ T) bzw. 40 mW/kg für UMTS (1947,4 MHz; statisches Magnetfeld 65  $\mu$ T, niederfrequentes unter 2  $\mu$ T). Die Bestrahlungszeiten betragen je nach Experiment zwischen 1 und 10 Stunden. Die Temperatur war nicht erhöht während der Bestrahlung. Positive Kontrollen erfolgten für ROS mit Tert-butyl hydrogenperoxid (TBHP), für die DNA-Reparatur mit Röntgen-Bestrahlung, für die Apoptose Hitzeschock bei 43°C. Für die Bestimmung der DNA-Schäden wurde der Komettest eingesetzt. Insgesamt konnten keine Unterschiede zwischen scheinbestrahlten und bestrahlten Gruppen festgestellt werden bei DNA-Schädigung, PFG und Apoptose. Aber man fand erhöhte ROS-Konzentrationen nach 1 Stunde UMTS-Bestrahlung, was 3 Stunden nach der Bestrahlung nicht mehr nachweisbar war. Die ROS-Konzentration stieg mit dem Grad der Zelldifferenzierung an. Das heißt, die endogene ROS-Produktion steigt mit dem Grad der Differenzierung (Stammzelle - Vorläuferzelle - Lymphozyt). Diese Unterschiede entstehen wahrscheinlich durch geringere Mitochondrienaktivität in den ruhenden Stamm- und Vorläuferzellen.

#### Ergebnisse:

Die Daten zeigen, dass Nabelschnurblutzellen durch die gepulste Mikrowellenstrahlung einen vorübergehenden Anstieg an ROS durchmachten, der aber nicht zu dauerhafter DNA-Schädigung und Apoptose führte.

Allerdings wurde eine erhöhte ROS-Produktion nach 1 Stunde UMTS-Bestrahlung gefunden, in allen untersuchten Zellen. Das deckt sich mit einer Reihe von anderen Studien. Wenn man bedenkt, dass die Bestrahlung mit Mikrowellen lebenslang erfolgt, kann auch geringer Anstieg von ROS nach Kurzzeit-Bestrahlung biologisch von Bedeutung sein für die Krebsentwicklung.

#### Schlussfolgerungen:

In dieser Studie wurde zum ersten Mal die Induktion von PFG in blutbildenden Zellen durch Mikrowellen analysiert. Aus den Daten können keine eindeutigen Schlüsse gezogen werden, ob Mikrowellen ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie bedeuten, aber dass unter bestimmten Bedingungen erhöhte ROS-Konzentrationen entstehen, die reversibel sind und nicht zu gesteigerter DNA-Schädigung, Apoptose oder PFGs führen. (IW)





### Review: 5. Mobilfunkgeneration (5G)

## Schädliche Wirkungen der 5G-Netzwerk-Technologie unter realen Bedingungen

Kostoff RN, Heroux P, Aschner M, Tsatsakis A (2020): Adverse Health Effects of 5G Mobile Networking Technology under Real Life Conditions. *Toxicology Letters*, doi: <https://doi.org/10.1016/j.toxlet.2020.01.020>

In dieser Übersichtsarbeit (Review) befassen sich die 4 Wissenschaftler aus Georgien, Kanada, USA und Kreta mit den Gesundheitsrisiken von Mobilfunkstrahlung, die in der primären medizinischen und biologischen Literatur zu finden sind und die Mängel in Bezug der Unbedenklichkeit aufzeigen. Weder wurde die derzeit verbreitete Mobilfunktechnik 4G, die 4. Generation des Mobilfunks, noch wird die folgende 5. Generation vor Einführung auf gesundheitsschädliche Wirkung unter den Bedingungen des normalen Lebens überprüft. Vielmehr zeigen viele Studien schädliche Wirkungen, die in eher harmloser Umgebung durchgeführt wurden. Die Autoren stellen fest, dass die meisten Laborexperimente bis heute nicht den Zweck hatten, schwere schädliche Wirkungen herauszufinden, die die Bedingungen der Mobilfunktechnik im wirklichen Leben wiedergeben. Viele Experimente berücksichtigen nicht Pulsung oder Modulation des Trägersignals. Die überwiegende Mehrheit achtet auch nicht auf synergistische Wirkungen der Strahlung zusammen mit giftigen chemischen und biologischen Stoffen. Der Beitrag weist auch darauf hin, dass durch die neue 5G-Technik nicht nur Haut und Augen beeinträchtigt werden, sondern dass auch systemische Wirkungen auftreten.

Dieser Beitrag gibt einen Überblick über medizinische und biologische Studien, die bezüglich der Sicherheit für die Gesundheit Mängel aufweisen und warum. Aber die Literatur zeigt schädliche Wirkungen der Strahlung selbst bei Abwesenheit giftiger Chemikalien und biologischer Gifte (die die Wirkung der Strahlung verstärken), was bedeutet, dass es viele berechtigte Gründe gibt, 4G und 5G als potenziell gesundheitsschädlich anzusehen. Die Studien zu Gesundheitsbeeinträchtigungen in der Literatur sollten als extrem konservativ gesehen werden, in denen der Einfluss der neuen Technologien erheblich unterschätzt wird.

### Studiendesign und Durchführung:

Untersucht wurden in dieser Studie Frequenzen zwischen 3 Hz und 300 GHz mit besonderem Augenmerk auf 1 GHz bis 300 GHz, weil herausgefunden wurde, dass gepulste elektromagnetische Felder (PEMF) bei kurzzeitiger Anwendung therapeutisch eingesetzt werden, während langfristige Einwirkung von elektromagnetischen Feldern von normalem Strom (50/60 Hz)

und Mikrowellen (1 bis mehrere GHz) zu schädlichen Auswirkungen tendieren. Der besorgniserregende rasche Ausbau von 5G mit Frequenzen hauptsächlich im höheren Mikrowellenbereich wird besonders hervorgehoben.

Dazu kommen viele Felder von nicht sichtbarer nicht-ionisierender Strahlung hinzu (Computer, Telekommunikation), die in den letzten 20 oder 30 Jahren explodiert ist. Der Aufbau von 5G wird zu einem enormen Anstieg der Basisstationsdichte um mehrere Größenordnungen führen. Besorgnis über Gesundheitsgefahren kamen auf in Bezug auf Mobilfunkgeräte, berufliche Belastung, Belastung zu Hause, WLAN-Netze in Wohnumfeld, Beruf und Schule, Radar und andere Strahlenquellen wie Smartmeter oder „Internet der Dinge“.

### Ergebnisse:

Es gibt zwei Haupttypen von Studien, die biologische und gesundheitliche Wirkungen herausgefunden haben: Laborexperimente und Epidemiologie. Laborversuche können am besten das wissenschaftliche Verständnis der Strahlungswirkung liefern, können aber nicht die wahren Verhältnisse der Umgebung abbilden, in der die Strahlungsquellen arbeiten (Einwirken giftiger Chemikalien, biologische Gifte, andere Strahlungsarten usw.). Es gibt drei Hauptgründe, warum Labortests die wahren Verhältnisse des Menschen nicht wiedergeben können:

1. im Labor werden hauptsächlich Tiere getestet (meist Mäuse oder Ratten), die physiologische Unterschiede zum Menschen aufweisen und die wesentlich kleiner sind als Menschen, weshalb die Strahlen tiefer in den Körper eindringen als beim Menschen. Dadurch werden Organe unterschiedlich beeinflusst. Die Eindringtiefe von nicht-ionisierender Strahlung ist abhängig von Frequenz, Gewebeart und anderen Parametern.
2. in Laborversuchen werden oft nur die Trägerfrequenzen eingesetzt, es fehlen die niederfrequenten Felder der Pulsung und Modulation, weshalb nach Panagopoulos (2019) etwa die Hälfte der Studien keine Wirkung finden, aber solche mit Strahlung echter Mobilfunkgeräte zu fast 100 % schädliche Wirkungen finden. Bei 5G kann sich die schädliche Wirkung noch verschlimmern, da noch mehr Daten pro Zeit übertragen werden können und dann die Variabilität und Komplexität der Signale bei der Übertragung stark zunimmt, an die sich die Zellen in den Organismen immer schlechter anpassen können.
3. im Labor wirkt nur ein Stressfaktor ein und es herrschen definierte Bedingungen. Im wirklichen Leben sind Menschen über die Zeit vielen Giftstoffen ausgesetzt, nacheinander oder gleichzeitig. In etwa 5 % der Studien war ein zweiter Stressfaktor (biologisch oder chemisch) zur Bestrahlung hinzugefügt worden, um zu ermitteln, ob additive, synergistische, potenzierende oder antagonistische Wirkungen durch die Kombination entstehen.

Kombinationsexperimente sind extrem wichtig, weil zwei Faktoren zusammen häufig höhere Schädigungen ergeben als ein Faktor allein oder die Summe beider Faktoren das ist vielfach nachgewiesen. Kombinationen mit Strahlung ergeben eine geringere Toleranz als jeder einzelne Faktor allein. Dementsprechend wären Grenzwerte wesentlich niedriger, wenn die Kombinationswirkungen untersucht worden wären.

Daher haben fast alle Laborexperimente Mängel gegenüber Untersuchungen unter realen Bedingungen, entweder weil Signale nicht einbezogen wurden oder nur ein Schadfaktor eingesetzt wurde, sodass die Schwere der Gesundheitsschädigung unterschätzt wird. Schließt man beide Faktoren aus, was bei den meisten Experimenten der Fall ist, wird die Unterschätzung noch erheblich verstärkt.

Im Unterschied zu den kontrollierten Umgebungsbedingungen im Labor werden epidemiologische Studien üblicherweise mit Menschen, die bis dahin und während der Studie Myriaden von bekannten und unbekanntem Stressoren ausgesetzt waren und sind, durchgeführt. Erhöhte Neuerkrankungsraten (Inzidenz) an Krebs durch Strahlenbelastung von Mobilfunkbasisstationen waren um Größenordnungen geringer als in den Experimenten der NTP-Studien (Laborexperimente an Mäusen und Ratten, die Red.).

Eine riesige Menge an Literatur wurde in den letzten 60 Jahren veröffentlicht, die schädliche Wirkungen von Strahlung, allein oder in Kombination mit anderen Schadfaktoren, gezeigt hat. Für den Bereich der Mobilfunkfrequenzen/Mikrowellen zeigen Reviews, dass unterhalb der Grenzwerte entstehen können: Krebs (Hirntumore, Brustkrebs, Akustikusneurinome, Leukämie, Speicheldrüsenkrebs), DNA-Schädigung, Neurodegenerative Erkrankungen (Alzheimer, ALS), Verhaltensänderungen (Autismus), Fruchtbarkeitsprobleme, oxidativer Stress, Entzündungen, Apoptose (programmierter Zelltod), Störungen der Blut-Hirn-Schranke, der Melatoninproduktion und anderer Hormone, Kopfschmerzen, Schlaf-, Konzentrationsprobleme, Schwindel, Depressionen u. a.

Aus dieser Perspektive sind Mikrowellen höchst eindringliche Ursachen von Erkrankungen. Die Reaktion der Industrie ist, dass es keine Mechanismen gibt, die biologische Wirkung von nicht-thermischer und nicht-ionisierender Strahlung erklären können. Und doch gibt es klare Berichte über Störungen in biologischen Systemen bei 1000  $\mu\text{W}/\text{m}^2$  und darunter. Die Erklä-

rung: Hoch- und Niederfrequenz stören den Elektronen- und Protonentransfer für die ATP-Bildung in den Mitochondrien.

### **Welche biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen kann man von 5G erwarten?**

Die möglichen schädlichen Auswirkungen erklären sich aus den Eigenschaften der Strahlung und deren Wechselwirkung mit Gewebe und anderen Strukturen. 4G-Netzwerk-Technik hat hauptsächlich Trägerfrequenzen im Bereich 1–2,5 GHz (Mobiltelefone, WLAN). Die Wellenlänge von 1 GHz ist 30 cm, die Eindringtiefe in menschliches Gewebe wenige Zentimeter, 5G hat etwa eine Eindringtiefe von wenigen Millimeter. Bei diesen Wellenlängen kann man Resonanzphänomene mit kleinen menschlichen Strukturen (Betzalel 2018, Schweißdrüsen als Antennen) erwarten. Viele Simulationen mit Millimeterwellen zeigten bei Insekten einen Anstieg von absorbierter Strahlung im Frequenzbereich 6 GHz und darüber im Vergleich zu absorbierter Strahlung unter 6 GHz. Thielens und Mitarbeiter haben 2018 ermittelt, dass

die Anhebung der Feldstärke bei 6 GHz um 10 % die absorbierbare Feldstärke zwischen 3 und 370 % ansteigt.

Üblicherweise ist die Aussage in Literatur und Medien, dass wenn 5G schädliche Einflüsse hat, dann ist es so etwas wie Hautkrebs, Augenschäden (Katarakt) und andere Hautprobleme. Aber es gibt Anzeichen, dass durch Millimeterwellen in der Haut biologische Reaktionen entstehen können, die nachfolgend systemische Signalwege in der Haut aktivieren, was physiologische Auswirkungen auf Nervensystem, Herz und Immunsystem hat.

Schon früher wurde festgestellt, dass Millimeterwellen Einflüsse auf Herz, Leber, Niere, Milz, Blut und Knochenmark haben (Zalyubovskaja 1977). In 1977 wurde diese Studie von den US-Behörden klassifiziert, aber in 2012 deklassifiziert. Warum war die Arbeit 35 Jahre gut, dann nicht mehr? Diese Ergebnisse stützen die Schlussfolgerung von Russell, dass Millimeterwellen systemisch wirken. Wenn schon ein einziges Ereignis wie eine unmodulierte Trägerfrequenz als einziger Stressor Wirkungen hervorruft, dann ergeben reale Bedingungen (gepulste, modulierte Strahlung, viele giftige Stoffe) viel stärkere Wirkungen und würden bei niedrigeren oder sehr viel niedrigeren Feldstärken ausgelöst. Heute ist man sich einig, dass es Unterschiede in den Ergebnissen gibt, die gern als Kontrover-

## **Wenn reale Bedingungen betrachtet werden, wie zusätzliche Signale zu den Trägerfrequenzen oder giftige Stoffe, steigen die schädlichen Wirkungen beträchtlich an. Fügt man 5G zu den schon vorhandenen schädlichen Strahlungsverhältnissen hinzu, verschlimmern sich die ohnehin schon vorhandenen Gesundheitsschädigungen.**

sen bezeichnet werden. Es gibt so genannte Fenstereffekte, die häufig nachgewiesen wurden, die sowohl Frequenzen als auch Feldstärken betreffen.

1. Es kann a) keine Wirkung, b) hormetische und c) therapeutische Wirkung auftreten. Wenn z. B. nur die Trägerfrequenz einwirkt und die außerhalb des Fensters liegt, kann die Frequenz von Pulsung oder Modulation eine Wirkung hervorrufen im Sinne eines 2. Faktors (als synergistische Wirkung), der die Schädlichkeit erhöht bzw. erzeugt. Es gibt Beispiele, in denen verschiedene Stämme von Nagetieren auf dieselbe Behandlung, nämlich die Kombination von 50-Hz-Feldern und DMBA (eine Krebs erregende Substanz Chemikalie, die Red.), einmal mit schädlicher und einmal ohne Wirkung reagieren. Es scheint als würde die genetische Ausstattung eine Rolle dabei spielen.
2. Weiter kann eine Ursache die schlechte Qualität der Forschung sein, die Schädlichkeit wird (absichtlich?) übersehen.
3. Oder das Forscherteam hat den Auftrag, „keine schädliche Wirkung“ herauszufinden. Was zuweilen bei Industrie-finanzierten Studien der Fall ist, bekannt außer beim Mobilfunk in militärisch, kommerziell und politisch sensiblen Bereichen. Damit soll die Glaubwürdigkeit der glaubwürdigen Forschung in Zweifel gezogen werden. Weil die zivile und militärische Wirtschaft stark von drahtloser Übertragung abhängig ist, sind leider die Anreize zur Feststellung schädlicher Wirkungen von Strahlung gering und Abschre-

ckungen gibt es viele, sowohl für die Sponsoren der Forschung als auch für die Forscher. Selbst Wiederholungsstudien durch glaubwürdige Forschung werden in Zweifel gezogen, wenn die Einführung der Technik von Regierung und Industrie schnell durchgezogen werden soll, und wenn beide die Forschung finanzieren. Es ist unerlässlich, dass sehr objektive Gutachter mit minimalen Interessenskonflikten eine zentrale Rolle spielen, damit rigoros Sicherheitsstandards für Hochfrequenzstrahlung garantiert werden bevor die Technik eingeführt wird.

### **Schlussfolgerungen:**

Hochfrequenzstrahlung verspricht verbesserte Kommunikation, verbesserten Datentransfer und bessere Vernetzung. Leider gibt es eine große Menge an Daten aus Laborexperimenten und epidemiologischen Studien, die zeigen, dass frühere und derzeitige Generationen von drahtloser Netzwerktechnik signifikante schädliche Gesundheitsauswirkungen haben. Viele dieser Daten stammen von unrealistischen Experimenten. Wenn reale Bedingungen betrachtet werden, wie zusätzliche Signale zu den Trägerfrequenzen oder giftige Stoffe, steigen die schädlichen Wirkungen beträchtlich an. Fügt man 5G zu den schon vorhandenen schädlichen Strahlungsverhältnisse hinzu, verschlimmern sich die ohnehin schon vorhandenen Gesundheits-schädigungen. Man braucht viel mehr Forschung zu 5G und Gesundheit unter realen Bedingungen, bevor die Einführung von 5G gerechtfertigt werden kann. (IW)

## ElektrosmogReport 2019 Register A-Z

### A

Adlkofer F (2018): Verdoppelung der Häufigkeit von Glioblastomen – den bösartigsten aller Hirntumorarten – in England seit der Einführung der Mobiltelefonie. Pandora-Stiftung für unabhängige Forschung, <https://stiftung-pandora.eu/2018/12/10/verdoppelungder-haeufigkeit-von-glioblastomen-den-boesartigsten-aller-hirntumorarten-in-england-seit-der-einfuehrung-der-mobiltelefonie/> [ElektrosmogReport 1-2019](#)

Aite M, Zhadobov M, Soubere Mahamoud Y, Martin C, Le Dréan Y, Habauzit D, Sauleau R. Additive Effects of Millimeter Waves and 2- Deoxyglucose Co-Exposure on the Human Keratinocyte Transcriptome (2016) Erschienen in: Plos One, 11(8), e0160810. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.016081> [ElektrosmogReport 3-2019](#)

Alkis M E, Bilgin H M, Akpolat V, Dasdag S, Yegin K, Yavas M C, Akdag M Z. Wirkung von 900-, 1800, und 2100 MHz Mobilfunkstrahlung auf DNA und oxidativen Stress im Gehirn, Effect of 900-, 1800-, and 2100-MHz radiofrequency radiation on DNA and oxidative stress in brain. Erschienen in: Electromagnetic Biology and Medicine, 00(00), 1-16.2019; [ElektrosmogReport 1-2019](#)

Altun G, Deniz ÖG, Yurt KK, Davis D, Kaplan S. Effects of mobile phone exposure on metabolomics in the male and female reproductive systems (2018). Erschienen in: Environmental Research, 167 (February), 700-707. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2018.02.031> [ElektrosmogReport 3-2019](#)

### B

Betzalel N, Paul Ben Ishai PB, Feldman Y. The human skin as a sub-THz receiver – Does 5G pose a danger to it or not? Erschienen in: Environ Res. 2018; 163 (January): 208-216. [ElektrosmogReport 2-2019](#)

### C

Di Ciaula A. Towards 5G communication systems: are there health implications. Erschienen in Int. J. Hyg. Environ. Health 2018; 221, 367-375. [ElektrosmogReport 2-2019](#)

### F

Falcioni L, Bua L, Tibaldi E, Lauriola M, De Angelis L, Gnudi F, Mandrioli D, Manservigi M, Manservigi F, Manzoli I, Menghetti I, Montella R, Panzacchi S, Sgargi D, Strollo V, Vornoli A, Bellpoggi F. Report of final results regarding brain and heart tumors in Sprague-Dawley rats exposed from prenatal life until natural death to mobile phone radiofrequency field representative of a 1.8 GHz GSM base station environmental emission. Erschienen in: Environ Res. 2018;(October 2017):1 [ElektrosmogReport 2-2019](#)

### H

Hori T, Nedachi T, Suzuki H, Harakawa S. Characterization of the suppressive effects of extremely-low-frequency electric fields on a stress-induced increase in the plasma glucocorticoid level in mice. Erschienen in: Bioelectromagnetics 2018, 39(7), 516-528 [ElektrosmogReport 1-2019](#)

### I

Imani M, Kazemi S, Saviz M, Farahmand L, Sadeghi B, Farajidana R (2019): Morphological Changes Induced By Extremely Low-Frequency Electric Fields. Bioelectromagnetics 40, 375-390 [ElektrosmogReport 4-2019](#)

### K

Karimi N, Bayat M, Haghani M, Saadi H F, Ghazipour G R. Erschienen in: Toxicology and Industrial Health 2018; 34(12), 873-883. 2.45 GHz microwave radiation impairs learning, memory, and hippocampal synaptic plasticity in the rat. [ElektrosmogReport 1-2019](#)

Kim JH, Yu DH, Huh YH, Lee EH, Kim HG, Kim HR: Long-term exposure to 835 MHz RF-EMF induces hyperactivity, autophagy and demyelination in the cortical neurons of mice (2016). Erschienen in: Scientific Reports, 7(December 2016), 1-12. <https://doi.org/10.1038/srep41129> [ElektrosmogReport 3-2019](#)

Kesari KK, Agarwal A, Henkel R.: Radiations and male fertility (2018). Erschienen in: Reproductive Biology and Endocrinology 16 (1), 118; <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0431-1> [ElektrosmogReport 3-2019](#)

### L

Lameth J, Gervais A, Colin C, Lévêque P, Jay TM, Edeline JM, Malat M. Acute Neuroinflammation Promotes Cell Responses to 1800 MHz GSM Electromagnetic Fields in the Rat Cerebral Cortex. Erschienen in: Neurotoxicity Research 32 (3) 2017, 444-459; Berichtigung: Neurotox Res, DOI 10.1007/s12640-017-9774-1 [ElektrosmogReport 2-2019](#)

### M

Masoumi A, Karbalaeei N, Mortazavi SMJ, Shabani M (2018): Radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi (2.4 GHz) causes impaired insulin secretion and increased oxidative stress in rat pancreatic islets. International Journal of Radiation Biology, DOI: 10.1080/09553002.2018.1490039; <https://doi.org/10.1080/09553002.2018.1490039> [ElektrosmogReport 4-2019](#)

### N

Nirala J, Singh K V, Murmu N N, Gautam R, Rajamani P, Meena R. Oxidative stress-mediated alterations on sperm paramete-

ters in male Wistar rats exposed to 3G mobile phone radiation. Erschienen in: *Andrologia*. 2018; (October):e13201 [ElektrosmogReport 1-2019](#)

## O

Odemer R, Odemer F: Effects of radiofrequency electromagnetic radiation (RF-EMF) on honey bee queen development and mating success. *Science of the Total Environment* 661 (2019) 553–562 [ElektrosmogReport 1-2019](#)

## P

Panagopoulos, DJ: Comparing DNA damage induced by mobile telephony and other types of man-made electromagnetic fields. Erschienen in: *Mutation Research - Reviews in Mutation Research*, 781(October 2018), 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2019.03.003> [ElektrosmogReport 3-2019](#)

Panagopoulos D J (2019): Chromosome damage in human cells induced by UMTS mobile telephony radiation. *General Physiology and Biophysics* 2019, 29, 346–354. <https://doi.org/10.4149/gpb> [ElektrosmogReport 4-2019](#)

## S

Saygin M, Asci H, Ozmen O, Cankara FN, Dincoglu D, Ilhan I. Impact of 2.45 GHz Microwave Radiation on the Testicular Inflammatory Pathway Biomarkers in Young Rats: The Role of Gallic Acid. (2016) Erschienen in: *Environ. Toxicol.*, 31: 1771-1784. [doi:10.1002/tox.22179](https://doi.org/10.1002/tox.22179) [ElektrosmogReport 3-2019](#)

Smith-Roe SL, Wyde ME, Stout MD, Winters JW, Hobbs CA,

Shepard KG, Green AS, Kissling GE, Shockley KR, Tice RR, Bucher JR, Kristine L. Witt KL (2019): Evaluation of the genotoxicity of cell phone radiofrequency radiation in male and female rats and mice following subchronic exposure. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, <https://doi.org/10.1002/em.22343> [ElektrosmogReport 4-2019](#)

## V

Vornoli A, Falcioni L, Mandrioli D, Bua L, Belpoggi F (2019): The Contribution of In Vivo Mammalian Studies to the Knowledge of Adverse Effects of Radiofrequency Radiation on Human Health. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 16, 3379 [ElektrosmogReport 4-2019](#)

## X

Xu F, Bai Q, Zhou K, Ma L, Duan J, Zhuang F, Xie C, Li W, Zou P, Zhu C. Age-dependent acute interference with stem and progenitor cell proliferation in the hippocampus after exposure to 1800 MHz electromagnetic radiation. Erschienen in: *Electromagnetic Biology and Medicine* 2017; 36 (2), 158–166 [ElektrosmogReport 2-2019](#)

## Y

Yu G, Tang Z, Chen H, Chen Z, Wang L, Cao H, Wang G, Xing J, Shen H, Cheng Q, Li D, Wang G, Xiang Y, Guan Y, Zhu Y, Liu Z, Bai Z. (2019): Long-term exposure to 4G smartphone radiofrequency electromagnetic radiation diminished male reproductive potential by directly disrupting Spock3–MMP2–BTB axis in the testes of adult rats. Erschienen in: *Sci. Total Environ.* 698, 133860 [ElektrosmogReport 4-2019](#)