

# ElektrosmogReport

Fachinformation zur Bedeutung elektromagnetischer  
Felder für Umwelt und Gesundheit



## Hochfrequenzwirkung auf menschliche Zellen Chromosomenschädigung in menschlichen Zellen durch UMTS- Mobilfunkstrahlung

Panagopoulos DJ (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\\_2019032](https://doi.org/10.4149/gpb_2019032)

In den vergangenen Jahren ist sowohl in der wissenschaftlichen, als auch öffentlichen Wahrnehmung eine zunehmende Besorgnis über die potenziell negativen Auswirkungen von künstlichen elektromagnetischen Feldern (EMF) auf die menschliche Gesundheit entstanden. Sowohl hochfrequente EMF als auch niederfrequente EMF wurden durch die „International Agency for Research on Cancer“ (IARC) als möglicherweise krebserregend beim Menschen klassifiziert. Moderne drahtlose Kommunikationsgeräte kombinieren hochfrequente elektromagnetische Trägerwellen mit niederfrequenter Pulsierung und Modulation. Dadurch können Menge und Geschwindigkeit der übertragenen Daten optimiert werden. Die häufigste Quelle hochfrequenter elektromagnetischer Felder (HF-EMF) im Kommunikationsbereich stellt das „Universal Mobile Telecommunications System“ (UMTS) oder 3G dar. Milliarden Mobilfunknutzer sind weltweit der 3G-Strahlung ausgesetzt. Eine Reihe von Studien, unter anderem zwei groß angelegte Langzeitstudien des USA „National Toxicology Program“ (NTP) und des italienischen Ramazzini-Instituts, demonstrieren negative Auswirkungen von 2G- und 3G-Strahlung auf Tumorraten. Die Wissenschaftler der hier vorgestellten Studie untersuchten die potenziell geschädigende Wirkung von 3G-Strahlung, abgegeben durch ein handelsübliches Mobiltelefon, auf menschliche Blutzellen. Bei diesen Blutzellen handelt es sich um Lymphozyten. Lymphozyten stellen in der Wissenschaft ein bekanntes Modell dar, um die geschädigende Wirkung verschiedener Umwelteinflüsse wie z.B. Strahlung, Rauschen, Arzneimittel etc. beurteilen zu können. Dies erfolgt über einen sogenannten „G2-Assay“. Hierbei werden während der G2-Phase des Zellzyklus chromosomale Schäden mikroskopisch sichtbar, welche durch die untersuchten Umwelteinflüsse

**Wissenschaft** Autoren: Dipl. Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), M.Sc.

### Impressum

ElektrosmogReport 4/2019, 25. 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. 51904

### Redaktion ElektrosmogReport

Dipl. Biol. Isabel Wilke (IW), Roman Heeren (RH), 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** > Chromosomenschädigung in menschlichen Zellen durch UMTS-Mobilfunkstrahlung

**02** > Langfristige Belastung mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung von 4G-Smartphones vermindert die männliche Fortpflanzungsfähigkeit, indem sie die Spock3-MMP2-BTB-Achse im Hoden erwachsener Ratten direkt stört

**04** > Bewertung der geschädigenden Strahlung von Mobiltelefonen bei männlichen und weiblichen Ratten und Mäusen nach subchronischer Feldeinwirkung

**05** > Der Beitrag von In Vivo-Säugetierstudien zum Wissen über die negativen Auswirkungen hochfrequenter Strahlung auf die menschliche Gesundheit

**06** > 2,4-GHz-Strahlung von WLAN verursacht schlechte Insulinsekretion und steigert den oxidativen Stress in den Inselzellen der Bauchspeicheldrüse von Ratten

**07** > Morphologische Veränderungen durch Einwirkung von niederfrequenten elektrischen Feldern

se hervorgerufen werden. In der G2- bzw. prämitotischen Phase verdichten sich die Chromosomen, sodass diese unter dem Mikroskop sichtbar werden. Brüche oder Lücken innerhalb der Chromosomen weisen auf DNA-Schädigungen hin.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Blutproben wurden 6 gesunden Spendern im Alter zwischen 28 und 42 Jahren entnommen. Bei den Individuen handelt es sich um Männer und Frauen mit moderater Mobilfunknutzung (weniger als ca. 30 Minuten Gespräch pro Tag). Die Blutproben wurden in 30 ml Fläschchen kultiviert. Pro Individuum wurden 800 Zellen (400 bestrahlte und 400 scheinbe-strahlte) auf chromosomale Schäden untersucht. Als Chromosomenschäden wurden Chromatidbrüche und Chromatidlücken gewertet. Die Bestrahlung der Proben erfolgte über ein handelsübliches Mobiltelefon während eines aktiven Anrufs über 15 Minuten, mit 1 cm Abstand zu der Wand des Kulturfläschchens. Die dabei gemessene durchschnittliche Intensität der Mobilfunkstrahlung betrug  $92 \pm 27 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ . Die niederfrequente Modulation erfolgte bei 100 Hz mit  $12 \pm 4,2 \text{ V}/\text{m}$  und  $0,09 \pm 0,04 \mu\text{T}$  bzw. bei 1500 Hz  $8 \pm 4,6 \text{ V}/\text{m}$  und  $0,006 \pm 0,002 \mu\text{T}$ . Laut Herstellerangaben beträgt der SAR-Wert des Telefons für den menschlichen Kopf  $0,66 \text{ W}/\text{kg}$ . Die gemessenen Strahlungsintensitätswerte sind repräsentativ für UMTS-Mobilfunkstrahlung im Anrufmodus und liegen weit unter den aktuellen Grenzwerten der ICNIRP.

### Ergebnisse:

Ein einzelner Anruf des 3G-Mobiltelefons über 15 Minuten erhöhte die Anzahl der chromosomalen Veränderungen um 100–275 % im Vergleich zu den scheinbe-strahlten Kontrollen. Die Blutproben der Individuen unterschieden sich in ihrer Empfindlichkeit gegenüber der Bestrahlung. Durch die Bestrahlung wurden hauptsächlich Lücken, in niedrigeren Prozentzahlen allerdings auch Brüche, hervorgerufen. Sowohl Lücken als auch Brüche (so wie die Gesamtzahl der Veränderungen) waren im Vergleich zu den scheinbe-strahlten Kontrollen signifikant erhöht.

### Schlussfolgerungen:

Es ist gut dokumentiert, dass DNA-Schäden während der Zellteilung in chromosomale Veränderungen umgewandelt werden. Die in dieser Studie beobachteten Chromosomenschäden sind also wahrscheinlich auf DNA-Schäden, verursacht durch Mobilfunkstrahlung, zurückzuführen. Diese DNA-Schäden konnten nicht durch zelluläre Mechanismen repariert werden und weisen auf die genschädigende/bioaktive Wirkung von Mobilfunkstrahlung hin. Die Wissenschaftler konnten nachweisen, dass thermische Effekte keine Rolle spielen. Frühere Studien über Mobilfunkstrahlung an Lymphozyten erzielten keine einheitlichen Resultate. Der Autor schreibt dies unter anderem der Verwendung von simulierten Feldern anstatt

realen Geräten als Strahlungsquelle zu. Die hohe Variabilität neuerer Mobilfunkstrahlung mache sie sehr bioaktiv, da sich lebende Organismen schlecht an sie gewöhnen können. Dies sei bei simulierten Feldern einfacher. Weiterhin empfiehlt er eine drastische Einschränkung der Mobilfunknutzung, den Einsatz von kabelgebundenen Headsets oder des Lautsprechers und generell einen möglichst großen Abstand von Mobiltelefonen zum Körper. (RH)



## Hochfrequenzwirkung auf die männliche Fruchtbarkeit Langfristige Belastung mit hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung von 4G-Smartphones vermindert die männliche Fortpflanzungsfähigkeit, indem sie die Spock3-MMP2-BTB-Achse im Hoden erwachsener Ratten direkt stört

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. Erschienen in: *Sci. Total Environ.* 698, 133860 (2019): Long-term exposure to 4G smart-phone radiofrequency electromagnetic radiation diminished male reproductive potential by directly disrupting Spock3-MMP2-BTB axis in the testes of adult rats. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.133860>

Mobiltelefone senden bei Benutzung eine Form von nicht-ionisierender Strahlung im Mikrowellenbereich aus. Diese Strahlung unterscheidet sich von anderen Arten hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung, da sie Organismen hauptsächlich durch unklare, nicht-thermische Wirkungen anstatt thermischer Wirkungen beeinflusst. Mit dem weit verbreiteten Einsatz von Mobiltelefonen ist die Sorge vor den Gesundheitsproblemen, welche durch die Strahlung verursacht werden könnten, weltweit zu einem Thema geworden. Da die meisten Männer ihre Mobiltelefone in der Hosentasche nahe des Hodens tragen, spekulieren einige Wissenschaftler, ob diese Gewohnheit die Fruchtbarkeit des modernen Mannes negativ beeinflussen kann. Eine Reihe von Studien beschreibt die Einschränkung der männlichen Fruchtbarkeit durch Mobilfunkstrahlung. Die hier vorgestellte Arbeit untersuchte die Wirkung eines 4G-Mobiltelefons (4te Generation mobiler Kommunikationstechnologie; LTE) auf das männliche Reproduktionssystem in Ratten. Neben der Wirkung der Mobilfunkstrahlung untersuchte die Arbeitsgruppe einen möglichen biologischen Mechanismus, wie die Strahlung die Fruchtbarkeit beeinflusst.

### Studiendesign und Durchführung:

Zunächst wurde die Wirkung der Strahlung untersucht. Hierzu wurden insgesamt 135 erwachsene männliche Ratten,

zunächst zufällig in drei Bestrahlungszeitpunkte (50 Tage, 100 Tage und 150 Tage) unterteilt. Jedem dieser Zeitpunkte wurden drei Versuchsgruppen mit 15 Tieren zugeteilt. Die Nor-Gruppe lebte ohne Beeinflussung in ihren Käfigen. Die Con-Gruppe wurde lediglich scheinbestrahlt, während die SRF-Gruppe bestrahlt wurde. Die Bestrahlung fand in einer selbstentwickelten Apparatur statt, bei der ein kommerzielles 4G-Smartphone als Strahlungsquelle diente. Dieses wurde so unter den Versuchstieren platziert, dass sich die Antennenregion direkt unterhalb des Hodensacks befand. Der Rest des Körpers wurde von der Strahlung abgeschirmt. Das Smartphone befand sich 6 Stunden pro Tag im Gesprächsmodus. Die Tiere wurden 2 Stunden bestrahlt, gefolgt von einer 30-minütigen Pause. Dieses Prozedere wiederholte sich 3 Mal am Tag. Während des Bestrahlungsintervalls bekam das Telefon einen externen Anruf von einer Minute, gefolgt von 10 Minuten Gesprächspause, bis 2 Stunden vorüber waren. Das Frequenzband des Mobiltelefons betrug 2575–2635 MHz (TD-LTE). Die Stärke des elektrischen Felds, Energiedichte sowie SAR-Wert der bestrahlten Zone betragen 37,93 V/m, 22,74 W/m<sup>2</sup> und 1,05 W/kg.

Nachdem die Arbeitsgruppe Hinweise auf eine Wirkung der Mobilfunkstrahlung erhalten hatte, wurde ein zweites Experiment begonnen. Hierbei lag der Fokus auf dem zugrundeliegenden Mechanismus. Dazu wurden 7 Versuchsgruppen erstellt. Die Experimentdauer betrug 150 Tage. Die Nor-Gruppe (n = 10) lebte unbeeinflusst in ihren Käfigen. Die Con-Gruppe (n = 10) erhielt Kochsalz-Injektionen in ihre Hoden und wurde scheinbestrahlt. Die LV-SP3-Gruppe (n = 13) wurde ebenfalls scheinbestrahlt, erhielt jedoch Injektionen, welche die Bildung eines spezifischen Proteins namens Spock3 herunterregulierten. Dieses Protein ist unter anderem für die Ausbildung von korrekten Zell-Zell-Kontakten verantwortlich und spielt eine Rolle bei der Blut-Hoden-Schranke (ähnlich Blut-Hirn-Schranke). Die Blut-Hoden-Schranke stellt einen sehr wichtigen Zell-Zell-Kontakt dar und ist von großer Bedeutung vor eine normale Spermienbildung.

### **Ergebnisse:**

Zunächst stellten die Wissenschaftler fest, dass die ausgesendete Mobilfunkstrahlung des 4G-Smartphones nicht die Körpertemperatur der Versuchstiere erhöhte. Damit werden thermische Wirkungen ausgeschlossen. Außerdem waren die Serumkortisolkonzentrationen (Stressmarker) bei der Con-Gruppe im Vergleich zur Nor-Gruppe nicht erhöht, was demonstriert, dass der generelle Versuchsablauf den mentalen Stress der Versuchstiere nicht erhöht. Ein erhöhtes Stresslevel hätte die Ergebnisse verfälschen können. Im ersten Teil des Experiments (Untersuchung der Strahlungswirkung) konnte die Arbeitsgruppe belegen, dass nach 150 Tagen Bestrahlung die Spermienqua-

lität (Konzentration, Beweglichkeit, Überlebensfähigkeit, Morphologie) signifikant verändert war. Anschließend wurden die bestrahlten Ratten verpaart, um zu überprüfen, ob die Fortpflanzungsfähigkeit eingeschränkt wird. Obwohl keine Unterschiede bezüglich der Fruchtbarkeit als solcher festzustellen waren (erfolgreiche Verpaarung, Schwangerschaftsdauer, Wurfgröße, Lebensfähigkeit, Geschlechterverhältnis), waren die Nachkommen der langzeitbestrahlten Ratten (150 Tage) signifikant leichter. Anschließend wurde die Morphologie der Hoden untersucht. Nach 150 Tagen Bestrahlung wurde eine erhöhte Störung der Spermienbildung, signifikanter Keimzellverlust sowie eine verminderte Höhe des Epithelgewebes beobachtet. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass die langfristige Bestrahlung zu direk-

## **Die Ergebnisse legen nahe, dass 4G-Mobilfunkstrahlung die Gesundheit der Hoden sowie die Spermienqualität negativ beeinflusst.**

ten morphologischen Schäden der Hoden bei den bestrahlten Tieren führte. Außerdem wurde durch die Bestrahlung erhöhter oxidativer Stress in den Hoden ausgelöst. Des Weiteren wiesen die Wissenschaftler erhöhte Apoptose (programmierter Zelltod) nach der Langzeitbestrahlung nach. Im zweiten Teil des Experiments wollte die Arbeitsgruppe der molekularbiologischen Grundlage der beobachteten Phänomene

auf den Grund gehen. Sie stellte fest, dass nach der 150-tägigen Bestrahlung das Protein Spock3 unnatürlich hochreguliert war. Die mikroskopische Überprüfung der Zell-Zellkontakte zeigte eine Beeinträchtigung der Blut-Hoden-Schranke nach 150-tägiger Bestrahlung wahrscheinlich auf Grund des übermäßig produzierten Spock3s. Dies wurde mit Hilfe eines sogenannten „knock-down“-Experiments überprüft. Es konnte gezeigt werden, dass die Hemmung der übermäßigen Spock3-Bildung die Hodenschäden sowie Spermienqualität nach Langzeitbestrahlung verbesserte.

### **Schlussfolgerungen:**

Die Ergebnisse dieser Studie legen nahe, dass 4G-Mobilfunkstrahlung die Gesundheit der Hoden sowie die Spermienqualität negativ beeinflusst. Aller Wahrscheinlichkeit nach sind weder thermische Wirkungen noch erhöhte mentale Stresslevel für die Beobachtungen verantwortlich. Die Wissenschaftler identifizierten ein bestimmtes Protein, welches nach der Bestrahlung hochreguliert ist. Dies lässt sie eine Hypothese bezüglich des Mechanismus verfassen, wie Mobilfunkstrahlung auf molekularer Ebene die männliche Fruchtbarkeit beeinflussen kann. Sie vermuten eine Störung des sensiblen Gleichgewichts des Epithelgewebes im Hoden durch die vermehrte Bildung von Spock3. Komponenten der Blut-Hoden-Schranke werden gestört, was wiederum die Spermienbildung negativ beeinflusst. Dadurch nimmt die Apoptose der sekundären Keimzellen allmählich zu. Dies könne zu einer Einschränkung der männlichen Fruchtbarkeit führen. Die Arbeitsgruppe empfiehlt Männern, ihre Smartphones nicht in der Nähe ihrer Hoden zu tragen. (RH)



## DNA-schädigende Wirkung von Mobilfunk

# Bewertung der genschädigenden Strahlung von Mobiltelefonen bei männlichen und weiblichen Ratten und Mäusen nach subchronischer Feldeinwirkung

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>

In den letzten zwei Jahrzehnten ist die Nutzung von Mobiltelefonen weltweit nahezu allgegenwärtig geworden. Die Zahl der Mobilfunkverträge lag 2017 nach Angaben der Internationalen Fernmeldeunion bei ~7,68 Milliarden, bei ~5,12 Milliarden Kunden. Es besteht die Sorge, dass Mobilfunkstrahlung in der Lage ist, die menschliche Gesundheit zu beeinträchtigen. Einige epidemiologische Studien deuten darauf hin, dass die Nutzung von Mobiltelefonen das Risiko bestimmter Krebsarten im Gehirn erhöhen könnte. Schlussfolgerungen aus diesen Beobachtungen könnten allerdings verfrüht sein, da sich der Zeitraum nur auf die letzten zwei Jahrzehnte beschränkt und daher für Auswirkungen in Bezug auf Krebs eine zu kurze Zeitspanne darstellt. Der derzeitige Kenntnisstand der Wissenschaft bezüglich möglicher genschädigender Wirkungen von Mobilfunkstrahlung ist nicht eindeutig. Die bisherigen widersprüchlichen Befunde könnten zum Teil auf die immensen technischen Herausforderungen zurückzuführen sein, die mit der Untersuchung der Auswirkungen von Mobilfunkstrahlung verbunden sind. Für die hier vorgestellte Studie wurden Ratten und Mäuse aus der Krebsstudie des US National Toxicology Program (NTP) (vgl. ElektrosmogReport 7/2016 und 3/2018) verwendet.

### Studiendesign und Durchführung:

In der NTP Studie wurden Sprague Dawley Ratten und B6C3F1/N Mäuse beider Geschlechter ganzkörperbestrahlt. Die Bestrahlung mit GSM-Mobilfunk (2G) und CDMA-Mobilfunk (3G-Standard in den USA) erfolgte in speziell konstruierten Räumen, welche eigens für die Krebsstudie entwickelt wurden. Die Bestrahlung der Ratten begann bereits im Mutterleib (Tag 5 nach Befruchtung), während die der Mäuse am Tag 35 nach Geburt startete. Die Belastung mit Mobilfunk erfolgte über 18 Stunden am Tag in 10-minütigen Intervallen. Daraus resultierte eine Gesamtbelastung von 9 Stunden und 10 Minuten pro Tag. Die Versuchstiere waren in 4 Gruppen unterschiedlichen Strahlungsintensitäten ausgesetzt, was in einem SAR-Wert von 0; 1,5; 3 oder 6 W/kg (Ratten) bzw. 0; 2,5; 5; oder 10 W/kg (Mäuse) resultierte. Ratten wurden mit einer Fre-

quenz von 900 MHz, Mäuse mit 1900 MHz bestrahlt. Nach insgesamt 19 Wochen (Ratten) bzw. 14 Wochen (Mäuse) Exposition wurden jeweils 5 Versuchstiere pro Geschlecht aus jeder der 4 Bestrahlungsgruppe aus der laufenden NTP-Krebsstudie entfernt und die Wirkung der subchronischen Belastung mit Mobilfunkstrahlung untersucht, mit zwei Methoden, dem alkalischen Komet-Test sowie dem Mikrokern-Test. Der Komet-Test liefert Aufschluss über DNA-Schäden, während der Mikrokern-Test Chromosomenschäden aufzeigt. Es wurden verschiedene Gewebe analysiert: Beim Komet-Test betraf dies Zellen von 3 Hirnregionen (frontale Hirnrinde, Hippocampus, Kleinhirn), Leberzellen sowie Leukozyten des peripheren Bluts. Der Mikrokern-Test erfolgte an unreifen und reifen Erythrozyten des peripheren Bluts.

### Ergebnisse:

Der Komet-Test zeigt: In Ratten wurde lediglich bei der Bestrahlung des Hippocampus männlicher Tiere mit 3G-Mobilfunk (CDMA) eine eindeutige, dosisabhängige Erhöhung der DNA-Schädigung nachgewiesen. In allen anderen Proben (Gewebe, 2G-Mobilfunk, weibliche Tiere) konnten lediglich uneindeutige bzw. keine DNA-Schäden gefunden werden. Bei Mäusen wurden im frontalen Kortex männlicher Tiere bei beiden Mobilfunkarten (2G und 3G) dosisabhängige DNA-Schäden beobachtet. Auch die Leukozyten der weiblichen Tiere zeigten eine erhöhte sowie dosisabhängige Schädigung der DNA. Die restlichen Proben zeigten keine oder uneindeutige Ergebnisse in Bezug auf DNA-Schäden. Insgesamt wiesen 8 von 40 Probetypen eindeutige oder uneindeutige DNA-Schäden auf, der Rest zeigte keine Hinweise auf einen negativen Einfluss von Mobilfunkstrahlung auf DNA-Beschädigung. Der Mikrokern-Test lieferte keine Hinweise auf Chromosomenschäden durch Mobilfunkstrahlung.

### Schlussfolgerungen:

Die beiden Modulationsarten der weltweit benutzten Mobiltelefone, CDMA und GSM, wurden durch NTP auf Krebs getestet in 2-jährigen Experimenten mit Ratten und Mäusen. Obwohl die Ergebnisse des Mikrokern-Tests negativ ausfielen, wurden durch den Komet-Test in mehreren Geweben sowohl von Ratten als auch Mäusen DNA-Schäden nachgewiesen. Dies deutet darauf hin, dass Mobilfunkstrahlung DNA-Schäden verursachen kann. Die DNA-Schädigungen wurden hauptsächlich im Gehirn von männlichen Ratten und Mäusen beobachtet. Laut den Wissenschaftlern hätte eine höhere Anzahl von Versuchstieren dazu beitragen können, die Erkennbarkeit von DNA-Schäden zu verbessern. Eine weitere Limitierung der Studie sei das Fehlen einer histopathologischen Untersuchung, durch die z. B. entzündliche oder zytotoxische Prozesse festgestellt werden könnten. Die Ergebnisse des Experiments deuten an, dass die Belastung mit Mobilfunkstrahlung messbare, genschädigende Wirkungen hervorrufen könnte. Die Autoren

weisen jedoch darauf hin, dass die am stärksten belasteten Gruppen (6 W/kg in Ratten bzw. 10 W/kg in Mäusen) eine höhere Exposition aufweisen, als Menschen durch einen normalen Mobiltelefongebrauch ausgeliefert sind. Die Frage, ob Mobilfunk negative gesundheitliche Auswirkungen beim Menschen verursachen könnte, sei also nicht geklärt, weitere Studien sind in Arbeit. (RH)



### Review zu HF-EMF

## Der Beitrag von In Vivo-Säugetierstudien zum Wissen über die negativen Auswirkungen hochfrequenter Strahlung auf die menschliche Gesundheit

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 <https://doi.org/10.3390/ijerph16183379>

Da die Nutzung von Mobiltelefonen für die überwiegende Mehrheit der Bevölkerung zu einem festen Bestandteil des täglichen Lebens geworden ist, erfolgte in den letzten zwei Jahrzehnten eine beispiellose Exposition gegenüber hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung. Folglich besteht ein zunehmendes öffentliches Interesse an den möglichen Gesundheitsrisiken, die sich aus der Mobilfunknutzung sowie der Belastung durch Basisstationen ergeben. Hochfrequente elektromagnetische Strahlung (HF-EMS) besitzt genug Energie, um Atome eines Moleküls zu bewegen bzw. zum Vibrieren anzuregen, jedoch nicht genug um Elektronen aus Atomen oder Molekülen zu entfernen. Deshalb wird HF-EMS als nicht-ionisierende Strahlung klassifiziert. Wichtige Eigenschaften von nicht-ionisierender Strahlung sind die Frequenz, Intensität sowie die spezifische Absorptionsrate, welche definiert ist als die Energieabsorption pro Gewichtseinheit von biologischem Gewebe. HF-EMS kann bei genügender Intensität Gewebe erwärmen, vergleichbar eines Mikrowellenherds. Die schädlichen Wirkungen von HF-EMS auf biologische Systeme werden oftmals in thermisch und nicht-thermisch unterteilt. Während thermische Wirkungen oftmals plausibel und leicht erklärbar sind (Gewebestress), sind Menschen normalerweise HF-EMS Intensitäten unterhalb der thermischen

**50% der jeweiligen Arbeiten fanden erhöhte Tumorraten nach Bestrahlung.**

Intensität ausgesetzt. Obwohl einige Wissenschaftler die Fähigkeit von HF-EMS anzweifeln, nicht-thermische Auswirkungen zu besitzen, mehren sich Studien, die spezifische biologische Wirkungen beschreiben. Die hier vorgestellte Review (Übersichtsarbeit) erfasst den aktuellen Wissensstand über krebserregende sowie fortpflanzungseinschränkende Gefahren von HF-EMS, belegt durch experimentelle „in vivo“ (an Versuchstieren) Studien.

### Studiendesign und Durchführung:

Die Autoren analysierten die Ergebnisse von „peer-reviewed“ (durch Fachleute geprüften) Studien, welche an Versuchstieren (in vivo) durchgeführt wurden. Bezüglich Karzinogenitätsstudien (potenziell krebserregende Eigenschaften) folgten die Autoren den Leitlinien der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) und NTP. Unter anderem besagen die Leitlinien, dass (1) Jede Dosisgruppe und jeweilige Kontrollgruppe mindestens 50 Tiere jeden Geschlechts enthalten, (2) mindestens drei Dosierungen verwendet werden sowie Dosierungsperiode und Dauer der Studie mindestens 24 Monate betragen sollen. Lediglich Studien, die diese Kriterien erfüllten, fanden in dieser Review Beachtung. Auch bei den Fruchtbarkeitsstudien folgten die Autoren den Studienrichtlinien der OECD und NTP und ignorierten Studien, die die Kriterien nicht erfüllten.

### Ergebnisse:

Zunächst wurden die Karzinogenitätsstudien untersucht. Diese wurden, je nach verwendetem Modellorganismus, unterteilt: Ratten, Mäuse und „Andere“. In diesem Fall bedeutet „Andere“ transgene/tumoranfällige Tierstämme, welche die Auswirkungen von HF-EMS in einem ganz bestimmten Tumorkontext beleuchten. Insgesamt beleuchteten die Autoren im Tumorkontext 6 Studien an Ratten, 4 an Mäusen und 4 an tumoranfälligen Mäusen. Die Studien wurden zwischen 1982 und 2018 durchgeführt. 50% der jeweiligen Arbeiten (3 Ratten, 2 Mäuse, 2 tumoranfällige Mäuse) fanden erhöhte Tumorraten nach Bestrahlung. Anschließend widmeten sich die Autoren Studien, deren Fokus auf der möglichen Beeinträchtigung der männlichen Fruchtbarkeit lag. Hierbei lag der Studienzeitraum zwischen 2003 und 2019. 14 von 20 (70%) Studien an männlichen Ratten bestätigen signifikante Beeinträchtigungen durch Bestrahlung. Auch die Studien an Mäusen und Kaninchen bestätigen mit 4 von 4 (100%) bzw. 2 von 2 (100%) Beeinträchtigungen der männlichen Fruchtbarkeit. Studien zur weiblichen Fruchtbarkeit (zwischen 1983 und 2016) bestätigten bei Ratten in 5 von 11 Fällen (45%) eine Verschlechterung nach HF-EMF Belastung.

Ein ähnliches Bild zeigt sich bei Studien zur weiblichen Fruchtbarkeit von Mäusen, hier waren 2 von 5 (40%) durch Bestrahlung beeinträchtigt.

### Schlussfolgerungen:

Die Ergebnisse von Studien über das männliche Fortpflanzungssystem weisen darauf hin, dass Hochfrequenzstrahlung die männliche Fruchtbarkeit negativ beeinflussen kann. Erhöhtes Absterben von Spermien sowie verminderte Spermienqualität und -beweglichkeit seien häufig beobachtete Auswirkungen. Ebenso trete oxidativer Stress vermehrt auf, welcher hauptsächlich die Hodenkanälchen, Spermiovorfürerzellen und Leydig Zellen schädige. Die Daten der Studien über das weibliche Fortpflanzungssystem seien hingegen sehr unterschiedlich, inkonsistent durchgeführt und berichteten vor allem von unterschiedlichen spezifischen Ergebnissen. Dies führe dazu, dass es schwierig sei, einen Schluss aus dem momentanen wissenschaftlichen Kenntnisstand zu ziehen. An den Krebsstudien, welche keine Auswirkungen von HF-EMS auf die Tumorgenese finden konnten, bemängeln die Autoren der Review das Studiendesign.

Zu den Mängeln gehöre eine sehr kurze tägliche Bestrahlungsdauer, stark beengt gehaltene Versuchstiere oder zu niedrige Bestrahlungsintensitäten. Außerdem wären die gewählten Strahlungsdosen nicht gerechtfertigt und durch eine schlechte Dosimetrie gekennzeichnet, die das Wachstum der Tiere nicht berücksichtige. Auch bei Studien, welche erhöhte Tumorraten finden konnten, haben die Autoren Verbesserungsvorschläge. Die Versuche des NTP- und Ramazzini-Instituts nutzen simulierte Signale durch Generatoren, anstatt die Signale realer Mobiltelefone oder Basisantennen. Die realen Signale seien wesentlich unvorhersehbarer, variabler und damit bioaktiver. Es scheint, als hätten lebende Organismen wesentlich schlechtere Schutzmechanismen vor diesen hochvariablen Umwelteinflüssen. Die Daten der NTP-Studien und des Ramazzini-Instituts könnten die möglicherweise schädigende Wirkung von Hochfrequenzstrahlung unterschätzen. (RH)



## 2,4-GHz-Strahlung von WLAN verursacht schlechte Insulinsekretion und steigert den oxidativen Stress in den Inselzellen der Bauchspeicheldrüse von Ratten.

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>

In der Bauchspeicheldrüse, genauer in den Beta-Zellen in den Langerhans'schen Inseln, wird das Insulin produziert, das für den Stoffwechsel und die Zuckerregulation wichtig ist. Funktionsstörungen schädigen das Zuckergleichgewicht und tragen zu Diabetes bei. Es gibt einige Studien, die zeigen, dass elektromagnetische Felder die Morphologie und die Insulinausschüttung der Inselzellen negativ beeinflussen. Es ist wenig bekannt über die Wirkung von WLAN-Strahlung auf die Insulinausschüttung und den Insulingehalt der Inselzellen. Dies sollte hier als ein Teil dieser Studie untersucht werden. Weil die Bauchspeicheldrüse ein schwaches antioxidatives Abwehrsystem hat, ist sie empfindlich gegenüber oxidativem Stress. So ist es von Interesse, ob WLAN-Strahlung (2,45 GHz) oxidativen Stress in der Bauchspeicheldrüse von Ratten erzeugt. Viele physiologische Funktionen, z. B. die von Mitochondrien, können Reaktive Sauerstoffmoleküle (ROS) produzieren. Die ROS-Produktion wird durch antioxidative Enzyme und andere antioxidative Stoffe reguliert. Ein Ungleichgewicht in diesem System kann zu oxidativer Schädigung von Biomolekülen führen wie Nukleinsäuren, Fette und Proteine. Deshalb wurde auch untersucht, welchen Einfluss die WLAN-Strahlung auf antioxidative Enzymaktivitäten und Lipidperoxidation in der Bauchspeicheldrüse von Ratten hat.

### Studiendesign und Durchführung:

Männliche Ratten (12 Wochen alt) wurden in 3 Gruppen zu je 8 Tieren eingeteilt: Käfigkontrolle, Scheinbestrahlung und Bestrahlung mit 2,45-GHz-Strahlung eines WLAN-Routers. Die 2 Gruppen wurden 45 Tage lang 4 Stunden/Tag bestrahlt bzw. scheinbestrahlt. Der WLAN-Router strahlte mit 0,1W, der Käfig mit den Tieren stand 30 cm davon entfernt. Das Gewicht der Tiere wurde wöchentlich bestimmt, am Ende der Bestrahlungszeit das Gewicht der Bauchspeicheldrüsen.

Im Blutplasma wurden Glucose- und Insulin-Konzentrationen bestimmt und ein Glucose-Belastungstest mit 2 Glucose-Konzentrationen durchgeführt; Inselzellen wurden mit 2,8 und 16,7 mmol/l 60 min inkubiert und anschließend der Insulinge-



halt im Kulturmedium gemessen, um die Homöostase bzw. Insulinresistenz festzustellen.

Am Tag 45, nach Ende der Bestrahlung, wurde den Tieren die Bauchspeicheldrüse entnommen und Inselzellen isoliert zur Bestimmung von Insulinausschüttung und -gehalt. Dazu erfolgte die Bestimmung des Antioxidationsstatus im Gewebe der Bauchspeicheldrüse. Die Parameter hier waren GSH, SOD-, Katalase- und GPx-Aktivitäten sowie die Lipidperoxidation.

### Ergebnisse:

Die Daten zeigen, dass die Gewichtszunahme der Tiere nach Bestrahlung signifikant geringer war gegenüber den Tieren in den beiden Kontrollgruppen. Beim Gewicht der Bauchspeicheldrüsen gab es keine signifikanten Unterschiede. Bei den bestrahlten Tieren fand man erhöhte Glucose-Konzentrationen (hohen Blutzucker), die Konzentrationen von Insulin im Plasma und die durch Glucose stimulierte Insulinsekretion der Inselzellen waren signifikant vermindert bei den Tieren, die der WLAN-Strahlung ausgesetzt waren.

Beim Glucose-Test im Plasma waren bei den Glucose-Ausgangswerten (Nullwert) in allen 3 Gruppen keine signifikanten Unterschiede bei Insulin-Konzentration, Insulingehalt in den Inselzellen und Insulinresistenz zu finden. Dagegen war die Insulin-Konzentration im bestrahlten Blutplasma und in den Inselzellen signifikant vermindert. Die WLAN-Strahlung führte zu signifikant erhöhtem Glucose-Gehalt im Plasma, d.h. die Glucose-Toleranz war geringer als in den beiden Kontrollgruppen. Außerdem war die Insulin-Konzentration im Plasma signifikant niedriger während des Toleranztests.

Bezüglich der antioxidativen Verhältnisse im Gewebe der Bauchspeicheldrüsen wurde festgestellt, dass bei den bestrahlten Tieren die Lipidperoxidation hoch-signifikant gesteigert wurde, während GSH, SOD- und GPx-Aktivitäten signifikant vermindert waren. Die Katalase-Aktivität unterschied sich nicht signifikant in den 3 Gruppen.

### Schlussfolgerungen:

Diese Studie zeigt, dass 2,45-GHz-WLAN-Strahlung zu geringerer Gewichtszunahme der Ratten, Beeinträchtigung der Glucosetoleranz und der Insulinsekretion, zu hohem Blutzucker und schlechterer Insulinausschüttung führt. Außerdem entsteht gesteigerter oxidativer Stress in Bauchspeicheldrüse und Inselzellen (Anstieg von ROS und Lipidperoxidation sowie Reduktion der antioxidativen Aktivität). Die der 2,45-GHz-Strahlung ausgesetzten Ratten zeigten eine geringere Glucose-Toleranz, sodass der Glucose-Gehalt im Plasma signifikant erhöht und die Insulin-Konzentration signifikant vermindert waren. In weiteren Experimenten zeigte sich, dass die Insulin-Ausschüttung der Inselzellen der bestrahlten Tiere bei hoher Glucose-Konzentration signifikant verringert war gegenüber den Ausgangswerten.

Es ist bekannt, dass die Insulinausschüttung der Bauchspeicheldrüse entscheidend ist für die Glucose-Homöostase. Deshalb kann die Erhöhung der Glucose im Blut durch die 2,45-GHz-Bestrahlung mit der verminderten Insulinausschüttung der Inselzellen zusammenhängen. Als mögliche Mechanismen für den hohen Blutzucker durch die WLAN-Strahlung kommen Konformationsänderungen des Insulins, der Insulinrezeptoren und der Glucose-Transportproteine in Frage. (IW & RH)



## Morphologische Veränderungen durch Einwirkung von niederfrequenten elektrischen Feldern

Imani M, Kazemi S, Saviz M, Farahmand L, Sadeghi B, Faraji-dana R (2019): Morphological Changes Induced By Extremely Low-Frequency Electric Fields. *Bioelectromagnetics* 40, 375-390 <https://doi.org/10.1002/bem.22195>

In dieser Arbeit wurden verschiedene Zellarten auf mögliche Veränderungen untersucht, nachdem niederfrequente elektrische Felder eingewirkt hatten. Elektrische Felder beeinflussen im Labor (in vitro) Wachstum, Regeneration, Überlebensrate, Organisation und Aktivität von Zellen. Diese Eigenschaften werden z. B. genutzt, um die Heilung von Wunden oder Knochenbrüchen zu fördern. Auch die Regeneration von Nervengewebe wird verbessert. Von Amphibien weiß man, dass bei Verlust von Gliedmaßen zur Wiederherstellung differenzierte Zellen in der Umgebung entdifferenziert werden und ein neues, vollständiges Körperteil entsteht. Differenzierte Zellen sind sozusagen „normale“ Körperzellen, die eine bestimmte Funktion haben (Leber-, Nieren- oder Nervenzelle) und aus (undifferenzierten) Stammzellen zu den Körperzellen heranreifen. Wahrscheinlich werden diese Vorgänge von körpereigenen (endogenen) elektrischen Feldern gesteuert, wie auch Experimente mit Knochenmarkszellen von Säugetieren ergeben haben. Daraus entstand die Hypothese, dass das Einwirken von elektrischen Feldern die Entdifferenzierung von Zellen einleiten kann, also eine Art Rückentwicklung vorgeht. Weitere Hinweise gab es bei Experimenten mit statischen und Wechselfeldern, wo sich rote Blutzellen von Amphibien stammzellartig veränderten. Bei diesen morphologischen Veränderungen spielt Calcium eine Rolle. Da die morphologischen Veränderungen in den Erythrozyten von Vögeln (die Zellkerne enthalten im Unterschied zu menschlichen Erythrozyten, die Red.) möglicherweise auf Entdifferenzierung beruhen, nahmen die Forscher an, dass der Grund für die Entfärbung der Zellen Verlust an Hämoglobin ist und der Verlust an Hämoglobin zur Entdifferenzierung führt. Das sollte in diesen Experimenten überprüft werden.

### **Studiendesign und Durchführung:**

Zunächst wurden rote Blutkörperchen auf Veränderungen untersucht. Die Befeldung der Zellen einer weiblichen Stadttaube (*Columba Livia Domestica*) erfolgte 1 Stunde bei Raumtemperatur mit 5, 15, 25 und 50 Hz über 4 Tage. Das elektrische Feld betrug bei 50 Hz 200 mV, die Feldstärke an der zentralen Elektrode 2,103 V/m, an der Elektrode am Rand der Schalen 0,055 V/m und in der Mitte zwischen den Elektroden 0,404 V/m. Die beiden Kontrollansätze bestanden in Scheinbestrahlung (mit Elektroden) und Zellen ohne Elektroden.

Zur Aufklärung der Mechanismen wurden menschliche mesenchymale Stammzellen (das sind Stammzellen des Bindegewebes) aus Nabelschnurblut und mesenchymale Stammzellen aus menschlichem Knochenmark verwendet. Die menschlichen Zellen aus Nabelschnurblut und Knochenmark bekamen nur eine 50-Hz-Befeldung. Für die Bestimmung der Calcium-Konzentration kam die Alizarinrot-Färbung zum Einsatz. Im Mikroskop wurden die Zellen nach der Befeldung täglich gezählt sowie Bilder und Videos aufgenommen über die gesamten 4 Tage. Zur Bestimmung von abgestorbenen Zellen diente die Trypanblau-Färbung. Temperatur und pH-Wert im Medium wurden regelmäßig gemessen.

### **Ergebnisse:**

Die befeldeten Tauben-Erythrozyten zeigten im Lichtmikroskop Deformierungen von elliptisch bis sphärisch und das Zytoplasma war durchsichtiger, d. h. es kam zu Verlust der Farbe, wahrscheinlich durch Verlust von Hämoglobin. Die Untersuchung mit der Trypanblau-Färbung sollte zeigen, ob diese Veränderungen durch Zelltod hervorgerufen wurden. Im Lichtmikroskop waren lebende Zellen zu sehen. Bei den befeldeten

Proben waren radiale Streifen um den Zellkern herum sichtbar, bevor die Zellverformungen begannen, was auf eine hohe Konzentration von RNA in dem Bereich hindeutet. Es gab signifikante Unterschiede zwischen den befeldeten Zellen und den Kontrollen, besonders deutlich bei 50 Hz. Diese Veränderungen sind demnach frequenzabhängig. Die Wirkungen waren nicht-thermischer Natur, da die Temperatur im Kulturmedium nur um 0,002 °C variierte, und es gab keine pH-Verschiebungen. Da das Kulturmedium nach der Befeldung gewechselt wurde, kann man indirekte Veränderungen der Makromoleküle durch die elektrischen Felder ausschließen und direkte Wechselwirkung zwischen elektrischen Feldern und Zellen annehmen. Hier kommen vor allem die Zellmembranen in Betracht.

Bei den beiden mesenchymalen Stammzellen aus dem Knochenmark, die sich zu Knochenzellen ausdifferenziert hatten, konnte Entdifferenzierung nachgewiesen werden. Knochenzellen enthalten hohe Calcium-Konzentrationen. Die Bestimmung des Calciums ergab abnehmende Konzentrationen, ein Zeichen für einen weniger differenzierten Status der Zellen nach Einwirkung der elektrischen Felder.

### **Schlussfolgerungen:**

Die Untersuchung der Wirkung von einigen Frequenzen (5, 15, 25 und 50 Hz) auf lebende Zellen über 4 Tage ergab morphologische Veränderungen, die möglicherweise auf Mechanismen in den Calcium-Kanälen beruhen. Die Folge kann Entdifferenzierung von Zellen sein, die zumindest für 2 Arten menschlicher Zellen angenommen werden kann. Angesichts der medizinischen Bedeutung dieser Ergebnisse sollte weitere Forschung erfolgen, um die zugrundeliegenden Mechanismen zu verstehen. (IW)