

## Review

# Biologische und pathologische Wirkungen der Strahlung von 2,45 GHz auf Zellen, Fruchtbarkeit, Gehirn und Verhalten

Isabel Wilke

## Zusammenfassung

**Aufgabenstellung:** Dieser Artikel ist ein systematischer Review von Studien zu den Wirkungen nicht-ionisierender Strahlung in der Mikrowellen(MW)-Frequenz 2,45 GHz (2.450 MHz), die hauptsächlich für WLAN/WiFi-Anwendungen (Wireless Local Area Network) und den Mikrowellenherd genutzt wird. Neuere WLAN-Standards nutzen auch die Frequenzen 5 GHz, 6 GHz und 60 GHz. Für viele Mobilfunk-Anwendungen setzt sich WLAN durch, weil WLAN lizenzfrei und für Nutzer kostenlos ist. Damit die Nutzer überall online sein können, werden immer mehr gepulste 2,45-GHz-WLAN-Sender (Access Points, Femto-Zellen, Router) in Bibliotheken, Krankenhäusern, Hotels, Flughäfen, Bahnhöfen, Shopping-Malls, auf öffentlichen Plätzen, in Bussen, S-Bahnen und Reisezügen aufgebaut. Spiele werden über WLAN-Konsolen gesteuert. Büro- und Haushaltsgeräte werden mit WLAN-Sendern ausgestattet. Heim-Router haben oft zwei WLAN-Sender. Die deutsche Kultusministerkonferenz hat beschlossen, dass für die „Digitale Bildung“ alle Schulen WLAN bekommen sollen. Die umfangreiche Forschungslage über gesundheitliche Risiken der WLAN-Strahlung wird dabei von den politischen Entscheidungsgremien und in der öffentlichen Debatte in der Regel nicht beachtet.

**Methode:** Für diesen Review wurden Studien v.a. in den Datenbanken livivo (zbmed) und PubMed recherchiert, ohne Einschränkung des Erscheinungsdatums. Die ausgewählten Studien sind in anerkannten Fachzeitschriften publiziert.

**Ergebnis:** Analysiert wurden mehr als 100 Studien zur Frequenz 2,45 GHz, die meist unterhalb der ICNIRP-Sicherheitsrichtlinien (in Deutschland als Grenzwerte in der 26. BImSchV festgelegt) Veränderungen gegenüber unbestrahlten Gruppen gefunden haben. Dokumentiert sind Studien zur Schädigung der Fruchtbarkeit, zur Einwirkung auf das EEG und Gehirnfunktionen, auf die DNA und die Krebsentwicklung, zu Wirkungen auf Herz, Leber, Schilddrüse, Genexpression, Zellzyklus, Zellmembran, Bakterien und Pflanzen. Als Wirkmechanismus identifizieren viele Studien oxidativen Zellstress. Negative Auswirkungen auf Lernen, Gedächtnis, Aufmerksamkeit und Verhalten sind Ergebnis zelltoxischer Effekte.

**Schlussfolgerungen:** Aufgrund der umfangreichen Forschungslage und der negativen gesundheitlichen Wirkungen, die in der überwiegenden Zahl der Studien gefunden werden, wird in Übereinstimmung mit offiziellen Verlautbarungen empfohlen, Maßnahmen zu ergreifen, um die Strahlungsbelastung zu verringern. Kabelgebundene Lösungen sollten bevorzugt werden. Die geltenden Grenz- und SAR-Werte schützen nicht vor den gesundheitlichen Risiken der WLAN-Strahlung. Die negativen Auswirkungen auf Lernen, Aufmerksamkeit und Verhalten begründen für Erziehungsinstitutionen aller Altersstufen einen Verzicht auf WLAN-Anwendungen. Aufgrund der zelltoxischen Wirkungen ist WLAN als Technologie in Krankenhäusern und für die Tele-Medizin nicht geeignet. WLAN sollte nicht in Schlafzimmern, an Arbeitsplätzen, in Aufenthaltsräumen, Krankenzimmern, Hörsälen, Klassenzimmern und in öffentlichen Verkehrsmitteln genutzt werden. Die möglichen Gefahren durch WLAN-Strahlung könnten umgangen werden mit der Erprobung alternativer Übertragungstechniken mit anderen Frequenzbändern, wie die optische VLC/LiFi-Technik (Visible Light Communication). Wenn sich als Übergangslösung WLAN nicht vermeiden lässt, muss nach dem ALARA-Prinzip gehandelt werden: kein dauerstrahlendes, sondern ein abschaltbares und leistungsgeregeltes WLAN.

**Keywords:** Hochfrequenz, Elektromagnetische Felder (EMF), gepulste Mikrowellen, 10-Hz-Taktung, WLAN/WiFi, 2,45 GHz, Zellschädigung

**Inhalt:**

<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>1. Fortpflanzung und Fruchtbarkeit.....</b>	<b>3</b>
1.1. Auswirkungen auf Hoden und Spermien.....	3
1.2. Weibliche Fortpflanzung – Studien zu prä- und postnatalen Auswirkungen.....	4
<b>2. EEG, Gehirn und die Gehirnentwicklung.....</b>	<b>6</b>
2.1. Die Bedeutung der 10 Hz-Taktung.....	8
<b>3. Auswirkungen auf das Verhalten .....</b>	<b>8</b>
<b>4. Einflüsse auf die DNA – tumorinitiierendes und tumorpromovierendes Schädigungspotential .....</b>	<b>10</b>
4.1. Einflüsse auf die DNA.....	10
4.2. Einflüsse auf Krebs(zellen) .....	12
<b>5. Auswirkungen auf die Herzätigkeit .....</b>	<b>12</b>
<b>6. Wirkmechanismus oxidativer Zellstress .....</b>	<b>13</b>
6.1. WLAN führt zu oxidativen Zellschädigungen.....	13
6.2. Substanzen zum Schutz der Zellen .....	15
<b>7. Auswirkungen auf den Zellzyklus .....</b>	<b>16</b>
<b>8. Auswirkungen auf die Leber .....</b>	<b>16</b>
<b>9. Auswirkungen auf die Schilddrüse .....</b>	<b>17</b>
<b>10. Auswirkungen auf die Genexpression.....</b>	<b>17</b>
<b>11. Auswirkungen auf die Zellmembran.....</b>	<b>17</b>
<b>12. Auswirkungen auf Bakterien .....</b>	<b>18</b>
<b>13. Einflüsse auf Pflanzen .....</b>	<b>18</b>
<b>14. Studien, die keine Effekte gefunden haben .....</b>	<b>19</b>
<b>15. Diskussion und Schlussfolgerungen .....</b>	<b>19</b>
<b>Anhang: Tabelle, Literatur, Register .....</b>	<b>21</b>

## Einleitung

Seit den 1980er-Jahren, mit dem massenhaften Aufkommen der Mikrowellenherde in Haushalten, hat sich die Wissenschaft dafür interessiert, welche Auswirkungen elektromagnetische Strahlung im Bereich von 2,45 GHz (Mikrowellen) auf Lebewesen hat. Seitdem wurden in zahlreichen Experimenten an Bakterien, Zellkulturen, Tieren, Pflanzen und auch am Menschen viele Wirkungen der Strahlung gefunden. Während der Mikrowellenherd kurzzeitig die Leckstrahlung als unerwünschte Nebenwirkung hat, stellen die WLAN- und Bluetooth-Einrichtungen, die seit einigen Jahren in sehr vielen Haushalten arbeiten, eine Dauerbestrahlung mit denselben Frequenzen dar. WLAN hat sich als eine der meistgenutzten Frequenzen durchgesetzt, sowohl bei der körpernahen Smartphone- und Tablet-Nutzung als auch in der Inhouse-Versorgung (Router, SmartHome, Internet of Things). Deshalb ist die Forschung auch in diesem Bereich angelaufen. In der Regel werden die Experimente zu WLAN-Strahlung mit einer scheinbestrahlten Kontrollgruppe und bestrahlten Gruppen durchgeführt, häufig mit verschiedenen Feldstärken und Einwirkzeiten. Hintergrund war und ist die Frage, ob die Strahlung dieser Frequenzen schädliche Wirkungen auf Mensch, Tier und Pflanze hat.

Im Jahr 2014 erschien im Springer Reference-Book „Systems Biology of Free Radicals and Antioxidants“ der WLAN-Review von [Naziroğlu/Akman](#), in dem darauf hingewiesen wird, dass auch schwache WLAN-Strahlung gesundheitsschädlich ist. Der Review stellte den Stand der Forschung dar und beschrieb bereits einen Schädigungsmechanismus. Die Studien, die seit 2014 zu WLAN erschienen sind, bestätigen die Analyse von [Naziroğlu/Akman](#). In diesem neuen Review sind Ergebnisse von WLAN-Studien wiedergegeben, die schädliche Auswirkungen auf die Zellen und Organe belegen, Unterschiede zwischen unbestrahlten Kontrollen und bestrahlten Proben feststellen konnten, ebenso wie Auswirkungen auf das Verhalten von Tieren und Menschen. Die Veränderungen durch die Strahlung waren meist deutlich unter den ICNIRP-Grenzwerten aufgetreten, die in den meisten Ländern etabliert sind (in Deutschland nach der 26. BImSchV). Dabei ist besonders zu beachten, ob die Untersuchungen akute oder chronische Einwirkung zum Gegenstand hatten, denn schließlich haben wir es im täglichen Leben mit chronischer Bestrahlung zu tun. Ist eine Studie mit kurzzeitiger Einwirkung der Strahlung angelegt, kann man – guten Gewissens – sagen: „Unter diesen Bedingungen konnten keine (statistisch signifikanten) Wirkungen festgestellt werden.“ Das sagt aber nichts über die Wirklichkeit der täglichen Bestrahlung aus. Es gibt verschiedene Studien, in denen die Wissenschaftler wissen wollten, welche Unterschiede in den Auswirkungen von GSM- (900 und 1.800 MHz) und WLAN-Frequenzen (2,45 GHz) bestehen. Meist war das Ergebnis, dass die WLAN-Strahlung stärkere Wirkungen als die GSM-Strahlung hervorruft. In einigen Tierversuchen wurde auch festgestellt, dass junge Mäuse oder Ratten empfindlicher auf die Strahlung reagieren als junge erwachsene oder alte Tiere. Die Forschungen untersuchen oft mehrere Endpunkte, z.B. stellen Studien den Zusammenhang Oxidativer Stress-

DNA-Strangbrüche-Spermienschädigungen dar, dadurch ergeben sich Überschneidungen in der Zuordnung zu den Kapiteln in diesem Review; in der Regel wurde nur für einen Endpunkt eingeordnet. Die immer wieder angeführte Aussage, es gäbe keine Wirkungsmechanismen, ist schon lange falsch – für 2,45-GHz-Strahlung ebenso wie für Mobilfunkfrequenzen. Hier sind viele Arbeiten zusammengetragen, die Mechanismen erklären: beispielsweise die außerordentlich oft belegte oxidative Schädigung, DNA-Strangbrüche, Veränderungen der Ionenkanäle, Beeinflussung von Transmittern im Hippocampus u.a.

## 1. Wirkung auf Fortpflanzung und Fruchtbarkeit

### 1.1. Auswirkungen auf Hoden und Spermien

Die Nutzung der Endgeräte erfolgt körpernah. Oft wird das Smartphone in der Nähe der Reproduktionsorgane getragen, steckt in der Hosentasche und ist mit einem Headset mit dem Ohr verbunden, oder der Laptop liegt auf dem Schoß. Zu zellschädigenden Wirkungen auf Spermien, Eierstöcke und Embryo liegen für die Frequenzen GSM, UMTS und WLAN mehr als 130 Studien vor. Deshalb empfiehlt die Österreichische Ärztekammer in ihren zehn Handyregeln: „Bei Verwendung von Headsets oder integrierter Freisprecheinrichtung Handys nicht unmittelbar am Körper positionieren – besondere Vorsicht gilt hier für Schwangere. Bei Männern sind Handys in der Hosentasche ein Risiko für die Fruchtbarkeit.“ Und der Mobilfunkkonzern Orange warnt auf seiner Homepage: „Halten Sie Ihr Mobiltelefon oder andere mobile Geräte weg vom Bauch einer schwangeren Frau oder dem Unterbauch von Jugendlichen.“ (<http://radio-waves.orange.com/en/your-mobile/best-practice>)

[Akdag et al. \(2016\)](#) bestrahlten männliche Ratten 1 Jahr lang (Langzeitbestrahlung) mit der Strahlung eines WLAN-Generators und untersuchten mehrere Organe auf DNA-Schäden (Gehirn, Haut, Leber, Nieren, Hoden, Ganzkörper-SAR 141,4  $\mu\text{W}/\text{kg}$ , Maximum 7127  $\mu\text{W}/\text{kg}$ ). Sie stellten fest, dass in allen Organen erhöhte DNA-Schädigung durch die Bestrahlung hervorgerufen wurde, aber nur im Hodengewebe war sie signifikant. Das Hodengewebe der Ratten reagiert offensichtlich empfindlicher auf 2,45-GHz-Strahlung als andere Organe. Empfehlung der Autoren: Männer sollten deshalb vorsichtig sein mit dem Laptop auf dem Schoß, denn die Fruchtbarkeit könnte beeinträchtigt werden. Die Arbeitsgruppe [Avendaño et al. \(2012\)](#) hatte außer DNA-Schäden weitere Auffälligkeiten gefunden: Die Beweglichkeit der Spermien von Laptopnutzern (26 – 45 Jahre alt) mit aktiver WLAN-Funktion war herabgesetzt, wenn der Laptop auf dem Schoß platziert war. Die Strahlung des Computers war 3-mal höher als ohne aktiviertes WLAN und 7–15-mal höher als bei der Kontrolle (kein Laptop). Die Anzahl der unbeweglichen Spermien war signifikant erhöht durch Laptop-Strahlung und die progressive Beweglichkeit signifikant geringer. Die Spermienqualität kann durch die WLAN-Funktion am Laptop vermindert werden und damit kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigt sein. [Dasdag et al. \(2015\)](#) haben die

## Tabellarische Darstellung der Ergebnisse von Studien zur Frequenz 2,45 GHz

Autoren	Experimentelle Bedingungen	Ergebnisse	Bemerkungen
Aggarwal et al. 2013	männliche Ratten, Schlaf-EEG, 3 Stunden $7,37 \times 10^{-4}$ mW/cm <sup>2</sup> , SAR 1,16 mW/kg; 1 Stunde/Tag für 21 Tage, 1 kHz moduliert, aufgezeichnet 9–12 Uhr	2 bestrahlte Tiere starben, Temperaturerhöhung nur 0,7 °C, nicht-thermische Wirkung EEG: in der 1. Stunde keine signifikanten EEG-Stärken-Veränderungen, in der 2. Stunde signifikant im $\beta$ -Bereich, auch in $\delta$ und $\alpha$ . Bei $\theta$ in der 2. und 3. Stunde stärkere Änderungen als im $\alpha$ - und $\delta$ -Bereich	mögliche psychopathophysiologische Störungen, evtl. BBB, synaptische Eigenschaften, Neurotransmitterkonzentration, Änderung der Synchronisation/Desynchronisation der feuernden Nervenzellen, sodass chronische Einwirkung von 2,45 GHz schädliche Auswirkungen haben kann.
Akdag et al. 2016	männliche Ratten, Langzeitbestrahlung 1 Jahr lang, Ganzkörper-SAR 141,4 $\mu$ W/kg, Maximum 7127 $\mu$ W/kg; Gehirn, Haut, Leber, Nieren, Hoden auf DNA-Schäden	Erhöhte DNA-Schädigung, signifikant im Hodengewebe	
Avendaño et al. 2012	29 gesunde Männer mit Laptop; DNA, Spermien	signifikante DNA- und Spermien-Schädigungen	
Aweda et al. 2003	Ratten, 2,45 GHz 8 Wochen 6 mW/cm <sup>2</sup> ; Lipidperoxidation, Gabe von Vitamin C und E	signifikanter Anstieg der Lipidperoxidation in 24 Stunden, fiel innerhalb einer Woche ab; Gabe der Vitamine A und C kompensiert	Die Strahlung erzeugt signifikanten oxidativen Stress, der durch Antioxidantien verhindert werden kann
Atasoy et al. 2013	im Wachstum befindliche Ratten 2437-MHz-WLAN-Gerät 24 Stunden/Tag 20 Wochen, SAR max. 0,091 W/kg; 8-Hydroxy-Deoxy-Guanosin und 8-Hydroxy-Guanosin im Blut, Hodengewebe histologisch und oxidative Parameter	zumeist signifikante Unterschiede bei Wachstum der Rattenhoden und den oxidativen Parametern	Kinder und Jugendliche könnten besonders gefährdet sein
Aynali et al. 2013	Mundschleimhaut von Ratten 2,45-GHz-Strahlung 1 Stunde/Tag, 28 Tage lang	Schleimhaut oxidative Schädigung, Lipidperoxidation signifikant erhöht, signifikant vermindert durch Gabe von Melatonin, ebenso die Aktivität der Glutathionperoxidase	
Ballardin et al. 2011	Hamster-Zelllinie V79, 2,45 GHz 5 und 10 mW/cm <sup>2</sup> , Apoptose, Zellzyklus	signifikant erhöhte Apoptoseraten, nicht-thermische Wirkung auf Spindelapparat	
Banaceur et al. 2013	3 Mäuse-Stämme, einer mit Alzheimer-Genen, Langzeiteinwirkung WLAN-Gerät 2,4 GHz 2 Stunden/Tag, 30 Tage Ganzkörper-SAR 1,6 W/kg; Hirnleistung	die Lern- und Gedächtnisleistung der Alzheimermäuse war verändert	
Cammaerts, Johansson 2014	Ameisen, WLAN-Router Minuten 600 und 800 $\mu$ W/m <sup>2</sup> Mittelwert, Notebook 300–500 $\mu$ Watt/m <sup>2</sup> mit und ohne eingeschaltete WLAN-Funktion, Abstand 20–30 cm von den Kolonien	Gestörtes Verhalten, veränderte Bewegungsmuster, nach 6–8 Stunden wieder normale Futtersuche	
Ceyhan et al. 2012	männliche Ratten, WLAN-ähnliche 2,45 GHz gepulst, 1 Stunde/Tag 4 Wochen, 64 mW/kg auf der Haut; oxidative/antioxidative Parameter (SOD, KAT, GPx, LPO), $\beta$ -Glucan zur schützenden Wirkung in der Haut gemessen	signifikant erhöhte Lipidperoxidation und Katalase-Aktivität, signifikant verminderte Aktivitäten von SOD und GSH-Px; $\beta$ -Glucan erhöhte die Katalase-Aktivität leicht und verhinderte die Abnahme der GSH-Px-Aktivität nicht-signifikant, Lipidperoxidation durch $\beta$ -Glucan signifikant niedriger, fast auf Niveau der Kontrollen	
Chaturvedi et al. 2011	Mäuse, 30 Tage 2 Stunden/Tag, 0,02564 mW/cm <sup>2</sup> , SAR 0,03561 W/kg	Unterschiede in Gewicht, Aktivität, räumlichem Erinnerungsvermögen zw. bestrahlter u. unbestrahlter Gruppe. Tagesrhythmus beeinflusst, Blutbildveränderungen, DNA-Strangbrüche in Hirnzellen	

## Literaturliste /Anmerkung

\* Anmerkung zu den Studien von Ballardin und Zotti-Martelli:

In den Studien von Ballardin und Zotti-Martelli werden 2,45 GHz als Resonanzfrequenz des Wassers bezeichnet. Mikrowellen können bei jeder Frequenz die Wassermoleküle zu Dipol- und Multipolschwingungen anregen und Temperaturerhöhungen bewirken. Für diesen Absorptionsmechanismus gibt es keine Resonanzfrequenz im strengen Sinne, wohl aber einen breiten Frequenzbereich im Mikrowellenbereich um 30 GHz, also oberhalb von 2,45 GHz, bei dem die Absorption relativ hoch ist (vgl. [http://www1.lsbu.ac.uk/water/microwave\\_water.html](http://www1.lsbu.ac.uk/water/microwave_water.html)). Dieser Bereich hängt unter anderem von der Temperatur ab. Die niedrigste Resonanzfrequenz, d.h. die niedrigste Frequenz mit höchster Absorption, liegt für das freie Wassermolekül bei ca. 22 GHz. Mit der in Mikrowellenherden verwendeten Frequenz von 2,45 GHz wird ein Kompromiss zwischen nicht ganz so hoher Absorption, aber dafür höherer Eindringtiefe in das Gargut erzielt: Denn die Eindringtiefe nimmt mit steigender Frequenz ab. Bei der Ganzkörperabsorption von Mikrowellen in Lebewesen spielt die Größe des bestrahlten Objekts neben der Frequenz der Mikrowelle eine wesentliche Rolle. Maxima der Absorption ergeben sich bei den Mikrowellen, bei denen die halbe Wellenlänge ungefähr gleich der Körpergröße ist und die elektrische Feldstärkekomponente der Mikrowelle parallel zur Längsachse des Körpers liegt (worst case). Bei höheren und niedrigeren Frequenzen sinkt die Absorption wieder ab. Beim Erwachsenen (Größe ca. 2m) liegt das Maximum der Absorption bei ca. 70 MHz, bei kleineren Personen, Kindern und Babys entsprechend höher, bei Affen bei ca. 300 MHz und bei einer Maus bei 2,45 GHz, da ihr Körper ungefähr die Größe der halben Wellenlänge von 6 cm besitzt. Da die meisten Studien mit Mäusen oder Ratten (vergleichbarer Größe) gemacht wurden, handelt es sich bei 2,45 GHz also um die Frequenz mit der höchsten Absorptionsrate (Absorptionsmaximum) bei diesen Tieren (bei einer Leistungsflussdichte von 10 W/m<sup>2</sup> werden lt. Bernhardt bei einer Maus 1,8 W/kg bei dieser Frequenz absorbiert). Höhere oder niedrigere Frequenzen führen zu geringeren Absorptionsraten. (Quelle: J. H. Bernhardt: Mobilfunk und Elektromog. Biologische Wirkung von elektromagnetischer Strahlung. Phys. Bl. 51 (1995) Nr. 10, 947–950).

Adams JA, Galloway TS, Mondal D, Esteves SC, Mathews F (2014): Effect of mobile telephones on sperm quality: a systematic review and meta-analysis. *Review. Environ Int* 70, 106–112

Agarwal A, Singh A, Hamada A, Kesari K (2011): Cell phones and male infertility: a review of recent innovations in technology and consequences. *Review. Int Braz J Urol* 2011 37 (4), 432–454

Aggarwal Y, Singh SS, Sinha RK (2013): Chronic exposure of low power radio frequency changes the EEG signals of rats: low power radio frequency alters EEG. *Advances in Biomedical Engineering Research (ABER)* 1 (2), [www.seipub.org/ABER/paperInfo.aspx?ID=3562](http://www.seipub.org/ABER/paperInfo.aspx?ID=3562)

Akdag MZ, Dasdag S, Canturk F, Karabulut D, Caner Y, Adalier N (2016): Does prolonged radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi devices induce DNA damage in various tissues of rats? *J Chem Neuroanat* 75, 116–122

Atasoy HI, Gunal MY, Atasoy P, Serenay Elgun S, Bugdayci G (2013): Immunohistopathologic demonstration of deleterious effects on growing rat testes of radiofrequency waves emitted from conventional Wi-Fi devices. *Journal of Pediatric Urology* 9, 223–229

Avendano C, Mata A, Sanchez Sarmiento CA, Doncel GF (2012): Use of laptop computers connected to internet through Wi-Fi decreases human sperm motility and increases sperm DNA fragmentation. *Fertil Steril* 97 (1), 39–45.e2

Aweda MA, Gbeneditise S, Meidinyo RO (2003): Effects of 2.45 GHz microwave exposures on the peroxidation status in Wistar rats. *Niger Postgrad Med J* 10 (4), 243–246

Aynali G, Naziroğlu M, Çelik Ö, Doğan M, Yarıkaş M, Yasan H (2013): Modulation of wireless (2.45 GHz)-induced oxidative toxicity in laryngotracheal mucosa of rat by melatonin. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 270 (5), 1695–1700

Ballardin M, Tusa I, Fontana N, Monorchio A, Pelletti C, Rogovich A, Barale R, Scarpato R (2011): Non-thermal effects of 2.45 GHz microwaves on spindle assembly, mitotic cells and viability of Chinese hamster V-79 cells. *Mutat Res* 716 (1-2), 1–9

Banaceur S, Banasr S, Sakly M, Abdelmelek H (2013): Whole body exposure to 2.4 GHz WIFI signals: effects on cognitive impairment in adult triple transgenic mouse models of Alzheimer's disease (3xTg-AD). *Behav Brain Res* 240, 197–201

Becker K (2007): Molekulare Maschinen und Alterung – der humane Redox-stoffwechsel, in: Spiegel der Forschung, Juni 2007; [geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2007/4780/pdf/SdF-2007-1\\_42-47.pdf](http://geb.uni-giessen.de/geb/volltexte/2007/4780/pdf/SdF-2007-1_42-47.pdf)

Behari J, Rajamani P (2012): Electromagnetic field exposure effects (ELF-EMF and RFR) on fertility and reproduction. *BiolInitiative Report Section 18*

Bellieni CV, MD, Pinto I (2012): Fetal and neonatal effects of EMF. *BiolInitiative Report Section 19*

Blank M (2014): Overpowered. What science tells us about the dangers of cell phones and other WiFi-age devices. Seven Stories Press, New York

British Columbia Centre for Disease Control (BCCDC), Environmental Health Services; Collaborating Centre for Environmental Health (NCCEH) (2013): Radiofrequency toolkit for environmental health Practitioners, ISBN: 978-1-926933-48-1

Cammaerts MC, Johansson O (2014): Ants can be used as bio-indicators to reveal biological effects of electromagnetic waves from some wireless apparatus. *Electromagn Biol Med* 33 (4), 282–288

Cassel JC, Cosquer B, Galani R, Kuster N (2004): Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter radial-maze performance in rats. *Behav Brain Res* 155, 37–43

Ceyhan AM, Akkaya VB, Gülecol SC, Ceyhan BM, Özgüner F, Chen WC (2012): Protective effects of  $\beta$ -glucan against oxidative injury induced by 2.45-GHz electromagnetic radiation in the skin tissue of rats. *Arch Dermatol Res* 304, 521–527

Chaturvedi CM, Singh VP, Singh P, Basu P, Singaravel M, Shukla RK, Dhanwan A, Pati AK, Gangwar RK, Singh SP (2011): 2.45 GHz (CW) microwave irradiation alters circadian organization, spatial memory, DNA structure in the brain cells and blood cell counts of male mice, *mus musculus. Progr Electromagn Res B* 29, 23–42

Chauhan P, Verma HN, Sisodia R, Kesari KK (2017): Microwave radiation (2.45 GHz)-induced oxidative stress: Whole-body exposure effect on histopathology of Wistar rats. *Electromagn Biol and Med* 36 (1), 20–30

Chen YP, Jia JF, Wang YJ (2009): Weak microwave can enhance tolerance of wheat seedlings to salt stress. *J Plant Growth Regul* 28 (4), 381–385

Cig B, Naziroğlu M (2015): Investigation of the effects of distance from sources on apoptosis, oxidative stress and cytosolic calcium accumulation via TRPV1 channels induced by mobile phones and Wi-Fi in breast cancer cells. *BiochimBiophys Acta* 1848, 2756–2765

Cleary SF, Cao G, Liu LM (1996): Effects of isothermal 2.45 GHz microwave radiation on the mammalian cell cycle: comparison with effects of isothermal 27 MHz radiofrequency radiation exposure. *Bioelectrochem Bioenerg* 39 (2), 167–173

Cobb BL, Jauchem JR, Adair ER (2004): Radial arm maze performance of rats following repeated low level microwave radiation exposure. *Bioelectromagnetics* 25, 49–57

Cosquer B, Galani R, Kuster N, Cassel JC (2005): Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter anxiety responses in rats: a plus-maze study including test validation. *Behav Brain Res* 156, 65–74

Czerska EM, Elson EC, Davis CC, Swicord ML, Czerski P (1992): Effects of continuous and pulsed 2.450-MHz radiation on spontaneous lymphoblastoid transformation of human lymphocytes in vitro. *Bioelectromagnetics* 13 (4), 247–25

Dama MS, Bhat MN (2013): Mobile phones affect multiple sperm quality traits: a meta-analysis. *Review. F1000Res* 2, 40

Dasdag S, Tas M, Akdag MZ, Yegin K (2015): Effect of long-term exposure of 2.4 GHz radiofrequency radiation emitted from Wi-Fi equipment on testes functions. *Electromagn Biol Med* 34 (1), 37–42

Desai NR, Kavindra K Kesari KK, Agarwal A (2009): Pathophysiology of cell phone radiation: oxidative stress and carcinogenesis with focus on male reproductive system. *Review. Reprod Biol and Endocrinol* 7, 114

Deshmukh PS, Megha K, Banerjee BD, Ahmed RS, Chandna S, Abegaonkar MP, Tripathi AK (2013): Detection of low level microwave radiation induced deoxyribonucleic acid damage vis-à-vis genotoxicity in brain of Fischer rats. *Toxicol Int* 20, 19–24

Deshmukh PS, Nasare N, Megha K, Banerjee BD, Ahmed RS, Singh D, Abegaonkar MP, Tripathi AK, Mediratta PK (2015): Cognitive impairment and neurogenotoxic effects in rats exposed to low-intensity microwave radiation. *Int J Toxicol* 34 (3), 284–290

Deshmukh PS, Megha K, Nasare N, Banerjee BD, Ahmed RS, Abegaonkar MP, Tripathi AK, Mediratta PK (2016): Effect of low level subchronic microwave radiation on rat brain. *Biomed Environ Sci* 29 (12), 858–867

Eser O, Songur A, Aktas C, Karavelioglu E, Caglar V, Aylak F, Ozguner F, Kanter M (2013): The effect of electromagnetic radiation on the rat brain: an experimental study. *Turk Neurosurg* 23 (6), 707–715

Thomas JR, Maitland G (1979): Microwave radiation and dextroamphetamine: evidence of combined effects on behavior of rats. *Radio Sci 14* (63), 253–258

Thomas JR, Burch LS, Yeandle SS (1979): Microwave radiation and chlordiäzoxid: synergistic effects on fixed-interval behavior. *Science* 203, 1357–1358

Thomas JR, Schvot J, Ranvard RA (1980): Behavioral effects of chlorpromazine and diazepam combined with low-level microwaves. *Neurobehav Toxicol* 2, 131–135

Tök L, Naziroğlu M, Doğan S, Kahya MC, Tök Ö (2014): Effects of melatonin on Wi-Fi-induced oxidative stress in lens of rats. *Indian J Ophthalmol* 62, 12–15

Türker Y, Naziroğlu M, Gümrall N, Celik O, Saygin M, Comlekci S, Flores-Arce M (2011): Selenium and L-carnitine reduce oxidative stress in the heart of rat induced by 2.45-GHz radiation from wireless devices. *Biol Trace Elem Res* 143 (3), 1640–1650

Voigt H (2011): Unfruchtbarkeit beim Mann als mögliche Folge der Nutzung von Mobiltelefonen, EMF-Monitor, 5/2011, 5–7

von Klitzing L (1995): Low-frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Phys Med* 1995 XI (2), 77–80

von Klitzing L (2014): Einfluss elektromagnetischer Felder auf kardiovaskuläre Erkrankungen, umwelt · medizin · gesellschaft 27 (1), 17–21

von Klitzing L (2016): Artifizielles EMG nach WLAN-Langzeitexposition, umwelt · medizin · gesellschaft 29 (4), 39

Wang B, Lai H (2000): Acute exposure to pulsed 2.450 MHz microwaves affects water-maze performance of rats. *Bioelectromagnetics* 21 (1), 52–56

Wang J, Sakurai T, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J (2005): Effects of 2.450 MHz electromagnetic fields with a wide range of SARs on methylcholanthrene-induced transformation in C3H10T1/2 cells. *J Radiat Res* 46, 351–361

Wang J, Koyama S, Komatsubara Y, Suzuki Y, Taki M, Miyakoshi J (2006): Effects of a 2.450 MHz high-frequency electromagnetic field with a wide range of SARs on the induction of heat-shock proteins in A172 cells. *Bioelectromagnetics* 27, 479–486

Wagemann RT, Cleary SF (1976): The in vivo effects of 2.45 GHz microwave radiation on rabbit serum components and sleeping times. *Rad Environ Biophys* 13, 89–103

Warnke U, Hensinger P (2013): Steigende „Burn-out“-Inzidenz durch technisch erzeugte magnetische und elektromagnetische Felder des Mobil- und Kommunikationsfunks, umwelt · medizin · gesellschaft 26 (1), 31–38

Englische Version: Increasing incidence of burnout due to magnetic and electromagnetic fields of cell phone networks and other wireless communication technologies

Yang X, He G, Hao Y, Chen C, Li M, Wang Y, Zhang G, Yu Z (2010): The role of the JAK2-STAT3 pathway in pro-inflammatory responses of EMF-stimulated N9 microglial cells. *J Neuroinflamm* 7, 54

Yang XS, He GL, Hao YT, Xiao Y, Chen CH, Zhang GB, Yu ZP (2012): Exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields elicits an HSP-related stress response in rat hippocampus. *Brain Res Bull* 88 (4), 371–378

Yakymenko I, Tsybulin O, Sidorik E, Henshel D, Kyrlylenko O, Kyrlylenko S (2016): Oxidative mechanisms of biological activity of low-intensity radiofrequency radiation. *Electromagn Biol Med* 35 (2), 186–202

Yüksel M, Naziroğlu M, Özkaya MO (2016): Long-term exposure to electromagnetic radiation from mobile phones and Wi-Fi devices decreases plasma prolactin, progesterone, and estrogen levels but increases uterine oxidative stress in pregnant rats and their offspring. *Endocrine* 52 (2), 352–362

Zhu W, Cui Y, Feng X, Li Y, Zhang W, Xu J, Wang H Lv S (2016): The apoptotic effect and the plausible mechanism of microwave radiation on rat myocardial cells. *Can J Physiol Pharmacol* 94 (8), 849–857

Zotti-Martelli L, Peccatori M, Scarpato R, Migliore L (2000): Induction of micronuclei in human lymphocytes exposed in vitro to microwave radiation. *Mutat Res* 472, 51–58

## Register nach Endpunkten

(Autor, Veröffentlichungsdatum/Kapitel im Review)

**Apoptose:** Ballardin 2011/7, Cig 2015/4, Deshmuk 2013/4, Kumar 2011/1, Margaritis 2014/1, Meena 2014/6, Misa-Agustino 2015/9, Shahin 2015/3, Shokri 2015/1, Zhu 2016/5

**Calcium-Ionenkanäle (Ca<sup>2+</sup>):** Cig 2015/4, Hassanshahi 2017/3, Kesari 2012/4, Naziroglu 2012c/4 & 2012a/11, Panagopoulos 2015/11, Taheri 2015/12 & 2017/12

**DNA-Schädigung:** Akdag 2016/4, Avendano 2012/1,4, Chartuvedi 2011/4, Czerska 1992/4, Deshmuk 2013,4 & 2015/3,4, Gürler 2014/4, Kesari 2010a, 2010b, 2012/4, Lai 1996 & 1997/4, Lai/Singh 1995/4 & 1996/7 & 1997/3 & 2005/3,4, Meena 2014/6, Megha 2015/4, Paulraj/Behari 2006/4, Sakar 1994/4, Shahin 2013/1, Taheri 2015/12 & 2017/12, Zotti-Martelli 2000/4,

**EEG/Gehirnentwicklung:** Chauhan 2017/6, Maganioti 2010/2, Naziroglu/Gümrall 2009/2, Othmann 2017/6, Papageorgiou 2011/2, Paulraj/Behari 2006/2,4, Sinha 2008/2, Testylier 2002/2, von Klitzing 1995/2 & 2016/2, Yang 2010/2, Yang 2012/2

**Embyro/Schwangerschaft/Reproduktionskapazität:** Cleary 1996/7, Margaritis 2014/1, Nakamura 2000/1, Özorak 2013/6, Othmann 2017/6, Sangün 2015/1, Shahin 2013/1, Yüksel 2016/6

**Gedächtnis, Lernen, Verhalten:** Cammaerts/Johannson 2014/3, Chartuvedi 2011/3, Deshmuk 2015/3, Hassanshahi 2017/3, Lai 2004/3 & 1987a & 1987b & 1988 & 1989a & 1989b & 1991 & 1994 & 1996b/2, Li 2008/3, Othmann 2017/6, Orendocova 2011/2, Paulraj 2006a/2, Sangün 2015/1, Shahin 2015/3, Sinha 2008/3,9, Thomas 1980/3, Wang/Lai 2000/3

**Gene/Genexpression:** Kesari 2010b/4, Lee 2005/10, Orendocova 2011/2, Yang 2010/2, Yang 2012/2,

**Glucosestoffwechsel:** Salah 2013/6

**Herz:** Kim/Rhee 2004/6, Sali 2015/5, von Klitzing 2014/5 & 2016/5, Zhu 2016/5

**Hitzeschockproteine (HSP):** Deshmuk 2015/3, Misa-Agustino 2012/9 & 2015/9, Yang 2012/2,

**Hormone:** Shahin 2013/1, Yüksel 2016/6

**Krebs:** Czerska 1992/4, Eser 2013/6, Sarkar 1994/4, Szmigielski 1982/4, Yang 2010/2

**Leber:** Chauhan 2017/6, Holovska 2015/8, Kumari 2012/6,8, Salah 2013/6,

**Oxidativer Zellstress:** Atasoy 2013/6, Aweda 2003/6, Aynali 2013/6, Ceyhan 2012/6, Chauhan 2017/6, Chen 2009/13, Cig 2015/4, Deshmuk 2013/4 & 2015/4, Eser 2013/6, Gümrall 2009/6, Gürler 2014/4, Kesari 2010a, 2010b, 2012/4, Kim/Rhee 2004/6, Kumar 2011/1, Kumari 2012/6/8, Lai/Singh 1994/4, Meena 2014/1,6, Megha 2015/4, Misa-Agustino 2015/9, Naziroglu/Gümrall 2009/2, Naziroglu 2012a/11 & 2012b/11 & 2012c/4, Oksay 2014/6, Othmann 2017/6, Özorak 2013/1, Sali 2015/5, Salah 2013/6, Sangün 2015/1, Shahin 2013/1 & 2014/1 & 2015/3, Soran 2014/13, Tök/Naziroglu 2014/6, Türker 2011/6, Yakymenko 2016/6, Yüksel 2016/16, Zhu 2016/5

**Milz:** Chauhan 2017/6

**Neurotransmitter:** Aggarwal 2013/2, Lai 1996/3

**Nieren:** Özorak 2013/1,6

**Schilddrüse:** Misa-Agustino 2013,9 & 2015/9, Sinha 2008/3,9

**Spermien/Hoden:** Akdag 2016/1, Atasoy 2013/6, Avendano 2012/1,4, Dasdag 2015/1, Meena 2014/1,6, Oksay 2014/6, Özorak 2013/6,1, Sarkar 1994/4, Shahin 2014/1, Shokri 2015/1

**Testosteron:** Meena 2014/6

**Zellwachstum und -zyklus:** Ballardin 2011/7, Cleary 1996/7, Naziroglu 2012b/11, Orendocova 2009/2