

## Neue Studien zur Wirkung nicht-ionisierender Strahlung (Mobilfunk) auf Spermien, Hoden, Embryos & Gehirn.

Studien zur Wirkung der nicht-ionisierenden Strahlung auf Spermien und Embryos haben große praktische Relevanz, da die Strahlungsbelastung durch die körpernahe Dauernutzung durch Smartphones und Tablets drastisch angestiegen ist. Im letzten halben Jahr wurden weitere Studien veröffentlicht, die Spermenschädigungen als auch pränatale Schädigungen nachweisen. In dieser Ausgabe besprechen wir zehn neue Studien zu diesen Endpunkten, fünf, die direkte Spermenschädigungen behandeln, zwei, die Auswirkungen auf Hoden und drei, die pränatale Wirkungen nachweisen.

Die Studien zu Spermien weisen negative Einflüsse auf die Überlebensrate (Anzahl vitaler Spermien) nach (Adams, Ghanbari, Kumar), auf die Beweglichkeit (Anzahl motiler Spermien) (Adams, Ghanbari, Gorpichenko), oxidativen Zellstress (Adams, Ghanbari, Kumar, Liu), auf die Antioxidans-Kapazität (Adams, Ghanbari), und Schädigungen des Erbgutes / DNA (Adams, Gorpichenko, Kumar, Liu). Über degenerative Veränderungen der Hoden berichten drei Studien: Auswirkungen auf die Zellteilungsrate (Al Damegh), oxidativen Zellstress (Al Damegh, Hanci), Gewebeeränderungen (Hanci). Die Arbeiten von Gorpichenko, Kumar, Liu, Hanci stellen fest, dass DNA-Veränderungen oder auch DNA-Strangbrüche in der bestrahlten Gruppe signifikant erhöht waren, was auch zu einer malignen Entartung der Zelle (Krebs) führen kann.

### Neue Ergebnisse zur pränatalen Wirkungen, also Auswirkungen der Handynutzung von Schwangeren auf das Embryo

Neue Studien weisen Auswirkungen auf das Embryo durch Zellstress und Veränderungen von Blutparametern (Ozgur) nach, hemmende Auswirkungen auf die Entwicklung des Neuralrohrs und erhöhte Apoptoserate (Umur). In embryonalen Stammzellen wurde durch 1800 - MHz Strahlung (UMTS) das Längenwachstum von Neuriten im Gehirn gehemmt (Chen).

So ergab z.B. die Untersuchung von Hanci et al., dass die Mobilfunkstrahlung sich schädlich auf die Nachkommen im Mutterleib auswirkt, weil der Kreislauf der Feten über Uterus und Plazenta mit dem mütterlichen Kreislauf verbunden ist, und der oxidative Stress im Blutplasma der Nachkommen signifikant erhöht war. Die Bestrahlung bewirkt eine vorgeburtliche Schädigung der Hoden. Da die Samenkanälchen geschädigt sind kann man schließen, dass die 900-MHz-Strahlung die Entwicklung der Samenzellen nach der Geburt beeinträchtigt, wenn die Felder vor der Geburt eingewirkt haben.

Die Studie von Chen et al. stellt hemmende Einflüsse auf die Gehirnentwicklung fest. Das Längenwachstum der Nervenzellfortsätze (Neuriten) der aus den Stammzellen entstandenen Nervenzellen und die Anzahl der Verzweigungen der reifen Neuronen waren nach 3 Tagen der Bestrahlung mit 4 W/kg signifikant vermindert. Das kann, so die Autoren, ein wichtiger Angriffspunkt der Mobilfunkstrahlung auf die Entwicklung des Gehirns sein. Fast alle Studien führen das Schädigungspotential auf einen Wirkmechanismus zurück: Oxidative Zellschädigungen (Lipidperoxidation, ROS), Unterdrückung der Antioxidantien. Sie bestätigen die Metastudie des ECOLOG-Institutes „Unfruchtbarkeit beim Mann als mögliche Folge der Nutzung von Mobiltelefonen“ von Hartmut Voigt im EMF - Monitor 5/2011 sowie auch die grundlegenden Ausführungen von Desai et al.: *Pathophysiologie der Mobilfunkstrahlung: Oxidativer Stress und Karzinogenese mit dem Studienschwerpunkt auf dem männlichen Fortpflanzungssystem* von 2011, zum Download auf

<http://mobilfunkstudien.de/dokumentationen/d-f/desai-pathophysiology-of-cell-phone-radiation.php>

Zu den **Auswirkungen von Mobilfunkbasisstationen** sind zwei neue Studien erschienen (Shahbazi-Gahrouei 2014; Alazawi 2011), deren Ergebnisse wir wiedergeben. Summarys der meisten Studien können auch in der Referenzdatenbank EMF-Portal nachgeschlagen werden.

## STUDIEN RECHERCHE

2015 - 1

### Diagnose-Funk

Umwelt- und Verbraucherorganisation  
zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung e.V.

Postfach 15 04 48  
70076 Stuttgart

[www.diagnose-funk.org](http://www.diagnose-funk.org)  
[www.mobilfunkstudien.org](http://www.mobilfunkstudien.org)  
[kontakt@diagnose-funk.org](mailto:kontakt@diagnose-funk.org)

### Ihr Ansprechpartner

Ressort Wissenschaft

Peter Hensinger

[peter.hensinger@diagnose-funk.de](mailto:peter.hensinger@diagnose-funk.de)

**Diagnose-Funk** ist eine Umwelt- und Verbraucherorganisation, die sich für den Schutz vor elektromagnetischen Feldern und Strahlung einsetzt. Das Ziel von Diagnose-Funk ist es, über die gesundheits- und umweltschädigenden Wirkungen elektromagnetischer Felder verschiedenster Quellen unabhängig von Industrie und Politik aufzuklären, dadurch Verhaltensweisen von Verbrauchern und Politik zu ändern und Lösungen für zukunftsfähige und umweltverträgliche Technologien durchzusetzen.

## Inhalt

### Spermien

Seite 3

#### Wirkung von Mobilfunktelefonen auf die Spermienqualität. Systematischer Überblick und Meta-Analyse.

Effect of mobile telephones on sperm quality: A systematic review and meta-analysis

Adams JA, Galloway TS, Mondal D, Esteves SC, Mathews F; Erschienen in: Environment International 2014; 70: 106–112

#### Die Wirkung von Mobilfunkstrahlung (900 MHz) auf Spermien und die antioxidative Gesamt-Kapazität bei Ratten.

The effects of cell phone waves (900 MHz-GSM band) on sperm parameters and total antioxidant capacity in rats.

Ghanbari M, Mortazavi SB, Khavanin A, Khazaei M; Erschienen in: International Journal of Fertil Steril 2013; 7 (1): 21–28

#### Der Einfluss direkter Mobiltelefon-Bestrahlung auf die Spermienqualität.

The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality.

Gorpinchenko I, Nikitin O, Banyra O, Shulyak A; Erschienen in: Central European Journal of Urology 2014; 67 (1): 65–71

#### Wirkung elektromagnetischer Bestrahlung eines 3G-Handys auf das männliche Reproduktionssystem der Ratte in einem simulierten Szenario.

Effect of electromagnetic irradiation produced by 3G mobile phone on male rat reproductive system in a simulated scenario.

Kumar S, Nirala JP, Behari J, Paulraj R; Erschienen in: Indian Journal of Experimental Biology 2014; 52 (9): 890–897

#### Einwirkung von 1800-MHz-Strahlung induziert oxidative Schädigung in den DNA-Basen einer Spermatozyten-Zelllinie der Maus.

Exposure to 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Radiation Induces Oxidative DNA Base Damage in a Mouse Spermatoocyte-Derived Cell Line.

Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, Yu Z, Zhou Z Erschienen in: Toxicology Letters 2013; 218 (1): 2–9

### Reproduktionsorgane / Hoden

Seite 6

#### Schädigung von Rattenhoden durch Strahlung eines normalen Mobiltelefons und die schützenden Wirkungen der Antioxidantien Vitamin C und E.

Rat testicular impairment induced by electromagnetic radiation from a conventional cellular telephone and the protective effects of the antioxidants vitamins C and E. Al-Damegh MA; Erschienen in: Clinics (Sao Paulo) 2012; 67 (7): 785–792

#### Der Einfluss pränataler Einwirkung eines elektromagnetischen 900-Megahertz-Feldes auf den Hoden 21 Tage alter Ratten.

The effect of prenatal exposure to 900-megahertz electromagnetic field on the 21-old-day rat testicle.

Hanci H, Odaci E, Kaya H, Aliyazicioglu Y, Turan I, Demir S, Colakoglu S; Erschienen in: Reproductive Toxicology 2013; 42: 203–209

### Pränatale Wirkungen

Seite 9

#### Einwirkung von 1800-MHz-Strahlung hemmt das Neuritenwachstum von embryonalen neuronalen Stammzellen.

Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells.

Chen C, Ma Q, Liu C, Deng P, Zhu G, Zhang L, He M, Lu Y, Duan W, Pei L, Li M, Yu Z, Zhou Z (2014). Erschienen in: Nature 2014 Scientific Reports 4; doi:10.1038/srep05103; <http://www.nature.com/srep/2014/140529/srep05103/full/srep05103.html>

#### Wirkungen pränataler und postnataler Exposition gegenüber GSM-ähnlicher Hochfrequenz auf die Blut-Chemie und oxidativen Stress bei jungen Kaninchen, eine experimentelle Studie.

Effects of Prenatal and Postnatal Exposure to GSM-Like Radiofrequency on Blood Chemistry and Oxidative Stress in Infant Rabbits, an Experimental Study.

Ozgur E, Kismali G, Guler G, Akcay A, Ozkurt G, Sel T, Seyhan N; Erschienen in: Cell Biochemistry and Biophysics 2013; 67 (2): 743–751

#### Bewertung der Wirkung von Mobiltelefonen auf die Entwicklung des Neuralrohrs von Hühnerembryonen.

Evaluation of the Effects of Mobile Phones on the Neural Tube Development of Chick Embryos.

Umur AS, Yaldiz C, Bursali A, Umur N, Kara B, Barutcuoglu M, Vatansver S, Selcuki D, Selcuki M.

Erschienen in: Turkish Neurosurgery 2013; 23 (6): 742-752

### Sendemaststudien

Seite 10

#### Gesundheitliche Wirkungen beim Wohnen in der Nähe einer Mobilfunk-Basisstation: ein Bericht aus Isfahan, Iran.

Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: a report from Isfahan, Iran.

Von: Shahbazi-Gahrouei D, Karbalae M, Moradi HA, Baradaran-Ghahfarokhi M

Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (3): 206 - 210

#### Gesundheitliche Wirkungen von Mobilfunk-Basisstationen.

Mobile Phone Base Stations Health Effects.

Von: Alazawi SA; Erschienen in: Diyala Journal of Medicine 2011; 1 (1): 44 - 52

### Neuerscheinungen / Glossar

Seite 11

## Wirkung nicht-ionisierender Strahlung auf Spermien

### Wirkung von Mobilfunktelefonen auf die Spermienqualität. Systematischer Überblick und Meta-Analyse.

Effect of mobile telephones on sperm quality: A systematic review and meta-analysis.

Adams JA, Galloway TS, Mondal D, Esteves SC, Mathews F; Erschienen in: Environment International 2014; 70: 106–112

Etwa 14 % der Ehepaare in den Industrieländern haben Probleme, Nachwuchs zu bekommen, dafür ist zu 40 % männliche Unfruchtbarkeit verantwortlich, viele Fälle sind ungeklärt. Man kann davon ausgehen, dass auch Mobilfunkstrahlung die menschliche Fruchtbarkeit beeinträchtigt. Das Ziel der Meta-Analyse war, die Daten aus mehreren Studien zur Spermienqualität, d. h. Beweglichkeit, Lebensfähigkeit und Anzahl der Spermien/ml auszuwerten.

**Studiendesign und Durchführung:** Von den 60 aus Datenbanken identifizierten Arbeiten aus den Jahren 2000–2012 wurden schließlich 10 In-vivo- und In-vitro-Studien mit insgesamt 1492 Proben ausgesucht, die alle Kriterien für die Meta-Analyse erfüllten: Untersuchung von Beweglichkeit, Lebensfähigkeit und Konzentration der Spermienzellen nach den Richtlinien der Weltgesundheitsorganisation (WHO). Die Bestrahlungen erfolgten mit Mobilfunkfrequenzen zwischen 800 und 2200 MHz. Die Dauer der Exposition betrug in den Studien zwischen 5 Minuten und 16 Stunden, davon 4 mit 1 Stunde täglich. Bei den epidemiologischen Studien wurden die Expositionsraten nicht angegeben.

**Ergebnisse:** In 9 Studien mit 1448 Proben von 1353 Männern wurde die Beweglichkeit der Spermien analysiert. 6 Studien ergaben signifikant negative Wirkungen der Mobilfunkstrahlung auf die Beweglichkeit der menschlichen Spermien. Der Mittelwert der Beweglichkeit betrug zwischen 36,6 und 86,8 %. Die Dauer der Mobilfunkbestrahlung der Proben bzw. der Menschen wurde unterteilt in Kurz- und Langzeitgruppen ( $\leq 60$  bzw.  $> 60$  Minuten). In der Langzeitexpositionsgruppe war die Beweglichkeit stärker reduziert als in den Kurzzeitgruppen. Die Lebensfähigkeit der Spermien wurde in 5 Studien mit insgesamt 816 Proben untersucht. 4 der 5 Studien zeigten signifikant negative Einflüsse der Mobilfunkstrahlung auf die Lebensfähigkeit der Spermien, die durchschnittlich 52,3–89,0 % betrug. Um das Ausmaß zu klären, sind weitere Studien nötig. Für die Konzentration der Spermien, d. h. die Anzahl der Spermienzellen/ml, wurden 6 Studien mit 1376 Proben zusammen ausgewertet. Die Ergebnisse waren nicht eindeutig.

**Schlussfolgerungen:** Aus den Daten ergibt sich klar ein negativer Einfluss der Mobilfunkstrahlung auf Beweglichkeit und Lebensfähigkeit der Samenzellen, während es bei der Anzahl der Spermien pro ml nicht so klar ist. Ursache für die Beeinträchtigungen können thermische (z. B. weil das Handy in der Hosentasche getragen wird) und nicht-thermische Wirkungen auf das Gewebe sein. Nicht-thermische Wirkungen kön-

nen der Anstieg der ROS-Produktion mit anschließender DNA-Schädigung und verminderter Beweglichkeit und Überlebensfähigkeit sein, wie aus vielen Studien bekannt ist. Der Trend in dieser Meta-Analyse bestätigt diese Ergebnisse. Dass die Ergebnisse der einzelnen Studien große Unterschiede zeigen, könnte vor allem auf die sehr unterschiedlichen Expositionszeiten zurückzuführen sein. Jedoch sollten die fast 1500 Proben zuverlässige Daten ergeben.

### Die Wirkung von Mobilfunkstrahlung (900 MHz) auf Spermien und die antioxidative Gesamt-Kapazität bei Ratten.

The effects of cell phone waves (900 MHz-GSM band) on sperm parameters and total antioxidant capacity in rats. Ghanbari M, Mortazavi SB, Khavanin A, Khazaei M, Erschienen in: International Journal of Fertil Steril 2013; 7 (1): 21–28

Die Frage, ob Mikrowellen im 900-MHz-Bereich (870–915 MHz Basisstationen und 935–960 MHz von diesen zum Mobiltelefon) oxidativen Stress durch Lipidperoxidation und Veränderung der antioxidativen Abwehrreaktion im Körper verändern können, erfordert eine weitere Klärung. Oxidativer Stress ist ein Prozess, in dem das Gleichgewicht zwischen Peroxidans und Antioxidans so verschoben ist, dass biologische Schädigung die Folge ist. Antioxidantien werden in 2 Gruppen eingeteilt, in enzymatische und nicht-enzymatische.

Spermien(Samen)zellen sind empfindlich gegenüber oxidativem Stress, denn ihre Membranen enthalten einen hohen Anteil an ungesättigten Fettsäuren, die leicht oxidiert werden. Unter normalen Bedingungen enthält das Plasma der Samenzellen genügend Antioxidans-Mechanismen, um die ROS zu neutralisieren. Wenn aber ein Ungleichgewicht entsteht, kann das auf die Spermien negative Auswirkungen haben. In abnormen Spermien kommt es zu Überproduktion von reaktiven Sauerstoffmolekülen (ROS), was oxidativen Stress bedeutet und zu männlicher Unfruchtbarkeit führen kann. Einflussfaktoren dafür sind Alter, Umwelt (z. B. Strahlung) und Ernährung. Die Ursache für männliche Unfruchtbarkeit ist häufig, dass nicht genügend normale aktive Samenzellen produziert werden. Dafür kann u. a. Mobilfunkstrahlung verantwortlich sein, aber es gibt wissenschaftlich widersprüchliche Ergebnisse.

**Studiendesign und Durchführung:** Zur Klärung dieser Frage wurden Spermien von Ratten auf Überlebensrate, Beweglichkeit und Antioxidationsvermögen nach Einwirkung von Mobilfunkstrahlung untersucht. Dazu wurden 28 erwachsene Ratten in 4 Gruppen zu je 7 Tieren eingeteilt. Gruppe 1 scheinbestrahlte Kontrolle, Gruppen 2 und 3 wurden 2 bzw. 3 Wochen der 915-MHz-Strahlung ausgesetzt und Gruppe 4 für 2 Wochen der Antennenstrahlung einer Basisstation (950 MHz). Die Bestrahlung erfolgte 8 Stunden/Tag 14 bzw. 21 Tage lang mit einer durchschnittlichen Strahlungsintensität von 1,6 mW/cm<sup>2</sup>. Danach wurden die Spermien auf Überlebensrate, Beweglichkeit, Gestalt der Samenzellen und die durchschnittliche Antioxidans-Gesamtkapazität (das ist die Reduktionsfähigkeit des Spermienplasmas) untersucht.

**Ergebnisse:** Die Spermienanzahl und die normale Gestalt der Samenzellen unterschieden sich nicht signifikant in den 4 Gruppen. Die Überlebensrate veränderte sich signifikant gegenüber der Kontrollgruppe ( $87,64 \pm 1,82$  %) in allen 3 bestrahlten Gruppen: Gruppe 2 um  $81,14 \pm 2,87$  %, Gruppe 3 um  $74,71 \pm 2,80$  % und Gruppe 4 um  $81,00 \pm 6,61$  %. Der Unterschied zwischen 2 und 3 Wochen Bestrahlung war ebenfalls signifikant. Die Beweglichkeit betrug bei der Kontrollgruppe  $49,96 \pm 4,59$  %, in Gruppe 2  $40,91 \pm 4,11$  %, in Gruppe 3  $32,91 \pm 4,09$  % und in Gruppe 4  $41,29 \pm 6,41$  %, was einer signifikanten Reduktion in allen 3 Gruppen entspricht. Zwischen 2 und 3 Wochen Bestrahlung war auch eine signifikante Verminderung zu sehen.

Die durchschnittliche Gesamtkapazität zur Oxidationsabwehr war in allen 3 Gruppen signifikant vermindert gegenüber der Kontrollgruppe, bei der ein Wert von  $406,35 \pm 64,12$   $\mu\text{M}/60$  Millionen Spermienzellen ermittelt wurde. Die Werte betragen  $297,92 \pm 92,76$  für Gruppe 2,  $251,16 \pm 48,03$  für Gruppe 3 und  $290,34 \pm 71,37$  für Gruppe 4. Ein Vergleich mit der Kontrollgruppe zeigt in allen 3 bestrahlten Gruppen eine signifikante Verminderung der Fähigkeit der Samenzellen, die Oxidation zu bekämpfen. Der Unterschied zwischen Gruppe 2 und 3 war nicht signifikant, zwischen Gruppe 2 und 4 gab es keine Unterschiede.

Es könnte sein, dass vor allem die Dauer der Einwirkung für die Verminderung der Überlebensrate, der Beweglichkeit und der antioxidativen Fähigkeiten entscheidend ist, weniger die Frequenz, denn zwischen 915 und 950 MHz waren kaum Unterschiede zu sehen.

**Schlussfolgerung:** Das Einwirken von Mobilfunkstrahlung kann die Überlebensrate und die Beweglichkeit der Spermien und zudem die Fähigkeit vermindern, oxidativen Stress mit Antioxidantien zu bekämpfen. Die Mobilfunkstrahlung kann außerdem oxidativen Stress im Körper erzeugen und als Folge verschiedene Erkrankungen hervorrufen. Personen, die das Mobiltelefon sehr häufig nutzen, wird empfohlen, periodisch Kontrollen machen zu lassen und Nahrungsmittel mit vielen Antioxidantien zu konsumieren, um die schädliche Wirkung der Strahlung zu minimieren. Diese Ergebnisse decken sich weitgehend mit denen anderer Arbeitsgruppen.

## Der Einfluss direkter Mobiltelefon-Bestrahlung auf die Spermienqualität.

The influence of direct mobile phone radiation on sperm quality.

Gorpinchenko I, Nikitin O, Banyra O, Shulyak A Erschienen in: Central European Journal of Urology 2014; 67 (1): 65–71

Weltweit hat die Spermienqualität nachgelassen, die Unfruchtbarkeit bei Männern ist vor allem auf verminderten Beweglichkeit und/oder der DNA-Schädigung der Spermienzellen zurückzuführen. In dieser Arbeit wurde untersucht, ob akute Bestrahlung mit einem gebräuchlichen Mobiltelefons für 900/1800 MHz Auswirkungen auf Lebensfähigkeit, Beweglichkeit und DNA-Strangbrüche in menschlichen Spermien-

zellen hat. Die Spermien von 32 gesunden kinderlosen Männern im Alter von durchschnittlich  $27,5 \pm 3,5$  Jahren wurden im Labor untersucht. Die Kinderlosigkeit lag an der Unfruchtbarkeit der Ehefrauen.

**Studiendesign und Durchführung:** Vor dem Experiment sollten die Probanden 2 Monate lang kein Handy in der Tasche zu tragen und kein Laptop mit Funkverbindung benutzen. In den Spermienproben wurden im Labor auf die Ausgangswerte bestimmt, dann wurden 2 Gruppen gebildet, von denen die eine als Kontrolle diente (Gruppe A) und die andere bestrahlt wurde (Gruppe B). Die Bestrahlung erfolgte mit dem eingeschalteten Mobiltelefon im Stand-by- und im Sprechmodus, wobei alle 10 Minuten ein Anruf kam. Das Telefon war 5 cm von den Spermienproben entfernt. Nach der Bestrahlung wurden sofort Lebensfähigkeit und Beweglichkeit bestimmt, parallel dazu jede Stunde die Anzahl der DNA-Strangbrüche bestimmt.

**Ergebnisse:** Zwischen den Proben A und B ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Anzahl der toten (Kontrollen  $9,1 \pm 3,7$  % gegenüber  $9,6 \pm 4,1$  % nach Bestrahlung) und den unbeweglichen Samenzellen ( $7,1 \pm 2,5$  % gegenüber  $7,4 \pm 3,3$  %). Die Anzahl der Spermien mit guter Beweglichkeit nahm mit der Zeit kontinuierlich ab und waren nach 5 Stunden signifikant vermindert ( $81,3 \pm 7,2$  % gegenüber  $66,5 \pm 6,3$  %) und mit eingeschränkter Beweglichkeit signifikant erhöht ( $12,8 \pm 5,8$  % zu  $25,3 \pm 4,7$  %). Die Untersuchung der DNA ergab im Verlauf der 5 Stunden eine steigende Anzahl von Strangbrüchen, die nach 5 Stunden signifikant vermehrt waren. Der Anteil betrug am Anfang  $3,3 \pm 1,2$  % und nach 5 Stunden stieg er in der Gruppe B auf  $8,8 \pm 2,2$  % an, bei der Kontrolle auf nicht-signifikante  $4,2 \pm 1,8$  %. Die DNA-Strangbrüche traten vor allem in den ersten beiden Stunden der Bestrahlung auf; die DNA-Fragmentierung war nach der Bestrahlung statistisch um  $65,3 \pm 12,4$  % höher als vor der Bestrahlung. Die Anzahl der unbeweglichen Zellen erhöhte sich nicht durch die Mobilfunkstrahlung, die Bestrahlung verminderte die Beweglichkeit nur in den vorher gut beweglichen Spermienzellen. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass die DNA-Strangbrüche durch die Bestrahlung verursacht wurden.

**Schlussfolgerungen:** Dass die Spermienqualität weltweit abgenommen hat führen Forscher auf verschiedene Umweltfaktoren zurück. Zu nennen sind Rauchen, Alkoholmissbrauch, Gifte in Nahrungsmitteln, erhöhte Temperatur im Hoden und giftige Metalle wie Blei und Cadmium. Relativ neu ist die mögliche schädliche Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf Spermien, wie steigende Zahlen von Studien zu verminderter männlicher Fruchtbarkeit ergeben hatten. Die erste gut gemachte Forschungsarbeit dazu war 2008 von Agarwal und Mitarbeitern veröffentlicht worden, in der Anzahl, Beweglichkeit, Überlebensrate und normale Morphologie untersucht worden waren. Die Verminderung der Spermienqualität durch Mobilfunkstrahlung war abhängig von der Einwirkdauer – je länger desto schlechter die Qualität. Die Ergebnisse wurden in weiteren Studien bestätigt. Der Zusammenhang zwischen Mobilfunkbestrahlung, verminderter Spermienbeweglichkeit und erhöhter DNA-Schädigung ist bei Langzeiteinwirkung der Mobilfunkstrahlung auch in dieser Studie nachgewiesen wor-

den. Deshalb sollten Männer, die Kinder haben möchten, kein Handy in der Hosentasche tragen. Nach Aussage der Forscher ist weitere gut geplante Langzeitforschung nötig, um die Folgen des Einflusses von Mobilfunkstrahlung auf die Fruchtbarkeit bewerten zu können.

### Wirkung elektromagnetischer Bestrahlung eines 3G-Handys auf das männliche Reproduktionssystem der Ratte in einem simulierten Szenario.

Effect of electromagnetic irradiation produced by 3G mobile phone on male rat reproductive system in a simulated scenario.

Kumar S, Nirala JP, Behari J, Paulraj R; Erschienen in: Indian Journal of Experimental Biology 2014; 52 (9): 890–897

Die Frage, welche Rolle elektromagnetische Felder bei der abnehmenden Fruchtbarkeit bei Männern spielen, ist häufig Gegenstand der Forschung. Die Hoden sind besonders empfindlich gegenüber Strahlung, man hat eine signifikante Abnahme der Spermienzahl, erhöhte Schäden durch Lipidperoxidation (oxidativer Stress), Verminderung des Durchmessers und der Epitheldicke von Samenkanälchen und des Hodengewichtes gefunden. Auch DNA-Schädigung in Spermienzellen von Ratten wurde beschrieben. Das Ziel dieser Studie war, die früheren Ergebnisse der Spermenschädigung mit einem 3G-Mobiltelefon (1900–2170 MHz) zu untermauern, indem die Experimente um einige Parameter erweitert wurden. Die biochemischen Veränderungen und mögliche Mechanismen werden dargestellt. Oxidativer Stress und Erwärmung des Gewebes sind häufig Ursache für Unfruchtbarkeit. Die Zellmembranen der Spermien sind reich an vielfach ungesättigten Fettsäuren, diese können durch Einwirkung von EMFs oxidiert werden (Lipidperoxidation) und es entstehen vermehrt reaktive oxidative Substanzen (ROS) in den Zellen.

**Studiendesign und Durchführung:** Es gab zwei Gruppen von je 6 jungen Ratten (70 Tage alt), bestrahlte und scheinbestrahlte Kontrolle. Die eine Gruppe wurde der Strahlung eines Mobiltelefons im Sprechmodus bei 1910,5 MHz 60 Tage 2 Stunden täglich 6 Tage/Woche ausgesetzt. Maximum und Minimum der Leistung betragen 1,41 und 0,113 mW, die entsprechenden SAR-Werte betragen 0,28 und 0,0226 W/kg (durchschnittlich 1,34 W/kg). Das Experiment wurde zweimal im Blindversuch wiederholt. Im Anschluss an die Bestrahlungszeit wurden Hodengewicht, Anzahl der Spermienzellen, Durchmesser der Samenkanälchen, Lipidperoxidation, DNA-Einzelstrangbrüche bestimmt und mikroskopisch das Hodengewebe auf krankhafte Veränderungen in den Samenzellen untersucht.

**Ergebnisse:** Die Auswertung ergab signifikante Verminderungen in der EMF-Gruppe in Spermienzahl ( $159,16 \pm 10,68 \times 10^6$  Zellen/ml, Kontrollgruppe  $210,83 \pm 8,61 \times 10^6$  Zellen/ml), Hodengewicht (EMF-Gruppe  $1,55 \pm 0,022$  g, Kontrollgruppe  $1,72 \pm 0,04$  g) und Durchmesser der Samenkanälchen ( $157,62$

$\pm 8,03$   $\mu\text{m}$ , Kontrollgruppe  $181,49 \pm 6,24$   $\mu\text{m}$ ). Demgegenüber waren Lipidperoxidation ( $0,67 \pm 0,01$  bzw.  $0,42 \pm 0,03$ ) und DNA-Strangbrüche in der EMF-Gruppe signifikant erhöht. Die Beweglichkeit der Spermien und die mikroskopischen Untersuchungen des Hodengewebes ergaben keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen.

**Schlussfolgerung:** Man kann aus diesen Ergebnissen schließen, dass chronische Einwirkung von Mobilfunkstrahlung Einzelstrangbrüche in der DNA erzeugt, Lipidperoxidation die Membranen schädigt durch erhöhte ROS-Konzentrationen (Superoxid-Anion, Hydroxylradikale und Wasserstoffperoxid) und dadurch die Funktionsfähigkeit der Spermien beeinträchtigt wird. Durch Überproduktion von ROS entsteht Mangel an Antioxidantien in den Zellen und dieses Ungleichgewicht verursacht den oxidativen Stress sowie die DNA-Schäden und es kommt zu Veränderungen der Aminosäuren. DNA-Reparatur und Antioxidans-Mechanismen gegen eine Überproduktion von freien Radikalen sind in jeder Zelle wichtige Abwehrmechanismen gegen Zellschäden, die u. a. durch elektromagnetische Felder auftreten können.

Diese Studie zeigt, dass Einwirkung von Mobilfunkstrahlung die Spermienfunktion beeinflusst über Mechanismen, die mit oxidativem Stress verbunden sind. Elektromagnetische Felder können in den Zellkern eindringen und DNA-Strangbrüche hervorrufen; sie haben auch genug Energie, um Überproduktion von ROS hervorzurufen. Und oxidativer Stress ist die Hauptursache für männliche Unfruchtbarkeit.

### Einwirkung von 1800-MHz-Strahlung induziert oxidative Schädigung in den DNA-Basen einer Spermatozyten-Zelllinie der Maus.

Exposure to 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Radiation Induces Oxidative DNA Base Damage in a Mouse Spermatoocyte-Derived Cell Line.

Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, Yu Z, Zhou Z Erschienen in: Toxicology Letters 2013; 218 (1): 2–9

Umfangreiche epidemiologische Untersuchungen haben gezeigt, dass es zwischen Mobilfunknutzung und Hirntumoren einen Zusammenhang gibt. Die Verwendung einer Freisprechanlage kann die Strahlung im Gehirn verringern, sie aber möglicherweise an anderen Stellen des Körpers, wie den Reproduktionsorganen, erhöhen. Viele Studien haben einen möglichen Zusammenhang zwischen Mobilfunknutzung und verminderter Fruchtbarkeit bei Männern gefunden, wenn auch die Mechanismen unklar sind; kürzlich wurde berichtet, dass DNA-Schädigung in der männlichen Keimbahn dazu beiträgt. Ob die Strahlung von Mobiltelefonen DNA-Schäden in männlichen Keimzellen hervorrufen kann, ist unklar. In dieser Studie sollte untersucht werden, ob 1800-MHz-Strahlung DNA-Schäden in männlichen Keimzellen der Maus (Spermatozyten-Zelllinie GC-2 der Maus) verursacht.

**Studiendesign und Durchführung:** Die 1800-MHz-Bestrahlung erfolgte 24 Stunden lang intermittierend (5 Minuten an, 10 Minuten aus) mit einer SAR 1, 2 und 4 W/kg im simulierten Sprech-Modus. Zuerst wurden 5 Gruppen gebildet, um die

Wirkung der verschiedenen SAR (1, 2 und 4 W/kg) zu testen, dazu kamen negative (scheinbestrahlt) und positive Kontrolle (Wasserstoffperoxid, H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>). Zur Anwendung kam der Alkalische Komettest (für DNA-Strangbrüche) und der modifizierter FPG-Komettest (Test auf oxidative Schädigung der DNA) zur Untersuchung, ob Mobilfunkstrahlung die DNA-Stränge schädigen und Vernetzungen zwischen DNA-DNA und DNA-Protein bewirken kann.

**Ergebnisse:** Man konnte keine vermehrte Anzahl an DNA-Strangbrüchen finden, vielleicht wurde die DNA schnell repariert. Von den 4 DNA-Basen der DNA ist Guanin dasjenige, das am leichtesten oxidiert wird. Deshalb wird angenommen, dass vor allem Purine empfindlicher gegenüber der Strahlung sind als DNA-Stränge, was in den folgenden Experimenten mit der Bildung von 8-oxo-Guanin (8-oxoG) herausgefunden werden sollte. Es zeigte sich, dass nur im FPG-Komettest und nur bei 4 W/kg signifikant erhöhte DNA-Schäden auftraten, die aber geringer waren als bei der positiven Kontrolle. Es wurden 6 unabhängige Experimente für 4 W/kg und 4 für die anderen durchgeführt. Die Konzentrationen von 8-oxoG waren bei 4 W/kg und H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> signifikant erhöht (29,4 % bzw. 51,7 %) im Vergleich zur scheinbestrahlten Kontrolle, während bei 1 und 2 W/kg kaum Unterschiede bestanden (3 unabhängige Experimente).

Für die Tests auf ROS-Bildung wurden ebenfalls 1, 2 und 4 W/kg untersucht. Nur 2 und 4 W/kg unterschieden sich signifikant von der scheinbestrahlten Kontrolle, die Werte lagen unterhalb der positiven Kontrolle. Zur Untersuchung, ob Vitamin E ( $\alpha$ -Tocopherol) als ROS-Antioxidans eine Veränderung bewirkt, gab es 4 Gruppen: Scheinbestrahlung und Scheinbestrahlung mit  $\alpha$ -Tocopherol, dann 1800-MHz-Bestrahlung mit und ohne  $\alpha$ -Tocopherol. Man fand bei 4 W/kg eine signifikant verminderte ROS-Bildung bei den mit  $\alpha$ -Tocopherol vorbehandelten Zellen. Beim FPG-modifizierten Komettest war die Basenschädigung nach der Bestrahlung hochsignifikant erhöht, bei den Zellen mit  $\alpha$ -Tocopherol jedoch kaum höher als bei der scheinbestrahlten Kontrolle. Der Prozentsatz der Bildung von 8-oxoGuanin war ebenfalls bei Bestrahlung signifikant erhöht, mit  $\alpha$ -Tocopherol etwa auf dem Niveau der negativen Kontrolle (3 unabhängige Experimente).

**Schlussfolgerungen:** Insgesamt bestätigen diese Ergebnisse, dass die 1800-MHz-Mobilfunkstrahlung nicht genug Energie für direkte DNA-Strangbrüche hat und deshalb keine Genmutationen auftreten, sondern die Genotoxizität in den männlichen Keimzellen besteht in indirekter oxidativer Schädigung der DNA-Basen durch falsche Bindungen der DNA-Basen im DNA-Molekül. Die oxidative Schädigung wurde durch erhöhte ROS-Produktion verursacht, die nicht zu sichtbaren DNA-Strangbrüchen führt. Obwohl man noch keine Aussagen über Langzeitwirkungen treffen kann, wird empfohlen, das Handy so weit wie möglich vom Körper entfernt zu halten, damit möglichst wenig Strahlung absorbiert wird. Zusätzlich sollte man Antioxidansreiche Nahrungsmittel oder Nahrungsergänzungsmittel zu sich nehmen, um die geschädigende Wirkung der Mobiltelefonstrahlung zu verhindern. Ob diese Wirkung außer in Zellkulturen auch in Lebewesen auftreten kann, vielleicht bei längerer Einwirkzeit oder höheren Feldstärken, muss weitere Forschung zeigen.

## Wirkung nicht-ionisierender Strahlung auf Reproduktionsorgane / Hoden

### Schädigung von Rattenhoden durch Strahlung eines normalen Mobiltelefons und die schützenden Wirkungen der Antioxidantien Vitamin C und E.

Rat testicular impairment induced by electromagnetic radiation from a conventional cellular telephone and the protective effects of the antioxidants vitamins C and E.

Al-Damegh MA; Erschienen in: Clinics (Sao Paulo) 2012; 67 (7): 785–792

Das Ziel der Studie war, die mögliche Wirkung der elektromagnetischen Strahlung eines normalen Handys auf den Status der Oxidantien und Antioxidantien in Blut und Hoden von Ratten zu untersuchen, ob die Vitamine C und D (als Antioxidantien) eine schützende Wirkung auf die Hoden haben und ob krankhafte Veränderungen in den Hodengeweben entstehen. Elektromagnetische Strahlung ist eines der Umweltgifte, das die männliche Fruchtbarkeit schädigen kann durch Erzeugung von oxidativem Stress in den Hoden. ROS (reaktive Sauerstoffmoleküle) werden im Gewebe ständig neutralisiert durch Antioxidantien. Immer wenn die Neutralisationskapazität überschritten wird, entsteht oxidativer Stress. Schon 1992 wurde herausgefunden, dass elektromagnetische Felder die Aktivität von freien Radikalen in Zellen erhöhen. In den letzten 10 Jahren konnte in Tierexperimenten nachgewiesen werden, dass oxidativer Stress auch durch Mobilfunkstrahlung entsteht. Die Mechanismen sind entweder erhöhte ROS-Produktion oder verminderte Aktivität der Antioxidans-Enzyme. Das Hodengewebe ist sehr empfindlich, ähnlich wie das Nervengewebe. So ist es dringend notwendig, Antioxidantien zu finden, die die zelleigenen Abwehrstrategien unterstützen können, um die Hoden vor den Folgen der ROS-Angriffe zu schützen. Dazu wurden in dieser Studie die Enzymaktivitäten einiger Radikalfänger im Blut und im Hodengewebe sowie die Wirkung der Vitamine C und D nach Einwirkung von Mobilfunkstrahlung untersucht.

**Studiendesign und Durchführung:** 120 männliche Ratten waren in 6 Gruppen unterteilt, je 30 Tiere bekamen nur die Handystrahlung (Gruppe 1), die beiden anderen Gruppen zusätzlich Vitamin C bzw. Vitamin E (Gruppen 2 und 3). Als Kontrollen für die 3 Gruppen dienten je 10 Tiere unter Scheinexposition. Die 3 Expositionsgruppen bekamen 2 Wochen lang 15, 30 oder 60 Minuten täglich die Mobilfunkbestrahlung eines Mobiltelefons (900/1800/1900 MHz, maximal 2 Watt, 0,02 mW/cm<sup>2</sup>, durchschnittlicher SAR-Wert ca. 0,9 W/kg). Der oxidative Stress wurde mit verschiedenen Tests durchgeführt: Glutathion (GSH), Lipidperoxidation (CD und LIP Di), Glutathionperoxidase (GSH-Px) und Katalase (CAT). Die histologische und morphologische Untersuchung erfolgte im Mikroskop.

**Ergebnisse:** Die mikroskopische Untersuchung zeigte in den bestrahlten Hodengeweben degenerative Veränderungen und eine hohe Anzahl von sich teilenden Zellen nach 14 Ta-

gen Bestrahlung. In den Samenkanälchen befanden sich absolut keine Samenzellen und einige Spermatogonien zeigten vergrößerte Zellkerne (Karyomegalie) und viele mitotische Teilungen. Die bestrahlten Samenkanälchen hatten auch einen signifikant größeren Durchmesser, während die Höhe des Keimepithels signifikant vermindert war gegenüber den Kontrollen. Weiter wurden eine Reduktion der Spermatozoid-Anzahl innerhalb des Lumens der Samenkanälchen, deutliche mitotische Teilungen und Kernschrumpfung (Pyknose, ein Anzeichen für Apoptose) einiger Spermatogonien beobachtet. Die zusätzliche Gabe der Vitamine C und E für die 2 Wochen hatte eine deutliche regenerative Wirkung auf das Gewebe der Samenkanälchen, d. h. es erfolgte eine signifikante Abnahme der schädigenden Strahlenwirkung.

Die oxidativen Marker im Blut und in den Hodengeweben zeigten einen signifikanten Anstieg der Konzentrationen von GSH und GPx in allen bestrahlten Gruppen, während die Konzentrationen von CD, LIP Di und CAT vermindert waren. Dagegen waren in den Proben mit der zusätzlichen Vitamingabe alle Parameter geringer als bei den Proben, die nur die EMF-Behandlung bekommen hatten. Vitamin C und E scheinen einen signifikanten Schutz gegen den durch die Strahlung hervorgerufenen oxidativen Stress zu bewirken.

In den Hodengeweben der bestrahlten Gruppen nahmen die GSH-Konzentration und die GPx-Aktivität signifikant ab, auf 64,6 bis zu 26,0 %. Im Unterschied dazu stiegen die Konzentrationen von CD, LIP, Di und CAT signifikant an. Die schützende Wirkung der Vitamine C und E konnte durch die gestiegene Aktivität von GSH und GPx und die verminderten Konzentrationen der Marker für Lipidperoxidation (CD und LIP Di) und CAT nachgewiesen werden, die alle im fast normalen Konzentrationsbereich im bestrahlten Hodengewebe vorlagen und sich signifikant von den Kontrollen unterschieden.

**Schlussfolgerungen:** Diese Ergebnisse zeigen, dass die Mobilfunkstrahlung die Enzymaktivitäten im Blut und Hodengewebe und auch die Architektur des Hodengewebes von Ratten verändert. Dies deckt sich z. T. mit Ergebnissen anderer Forscher. Obwohl die Hoden über ein sehr spezialisiertes Antioxidans-System verfügen, können von außen zugefügte Antioxidantien wie die Vitamine C und E zusätzlich schützen und so den schädigenden oxidativen Stress durch Mobilfunkstrahlung kompensieren. Die Vitamine C und D unterdrücken die Lipidperoxidation und stellen die physiologischen Konzentrationen der Abwehrenzime wieder her.

## Der Einfluss pränataler Einwirkung eines elektromagnetischen 900-Megahertz-Feldes auf den Hoden 21 Tage alter Ratten.

The effect of prenatal exposure to 900-megahertz electromagnetic field on the 21-old-day rat testicle.

Hanci H, Odaci E, Kaya H, Aliyazicioglu Y, Turan I, Demir S, Colakoglu S

Erschienen in: Reproductive Toxicology 2013; 42: 203–209

Es gibt Hinweise, dass Mobilfunkstrahlung eine schädliche Wirkung auf die Entwicklung der Organe bei Embryo und Fetus haben kann. Bei weiblichen Ratten kann das reproduktive Potenzial schädigt werden, indem die Follikel-Kapazität beeinträchtigt wird, wenn die Strahlung in der Phase zwischen Befruchtung und Einnistung einwirkt. Einige Studien haben auch erbracht, dass bei männlichen Nachkommen nach Einwirken von Mobilfunkstrahlung in der 2. Schwangerschaftswoche die Entwicklung der Hoden gefährdet ist; man fand hohe Apoptoseraten in den männlichen Keimzellen. Das Ziel der Studie war, die Wirkung von vor der Geburt einwirkender 900-MHz-Strahlung auf Rattenhoden von 21 Tage alten Tieren zu untersuchen.

**Studiendesign und Durchführung:** Für diese Experimente wurden trächtige Muttertiere in 2 Gruppen, Kontrolle (CG) und EMF-Gruppe (EMFG), eingeteilt. Die EMF-Gruppe wurde von Tag 13 bis Tag 21 der Trächtigkeit 1 Stunde/Tag einer 900-MHz-Strahlung ausgesetzt. Die durchschnittliche elektrische Feldstärke betrug 10 V/m innerhalb des Käfigs (SAR 0,265 W/m<sup>2</sup>), ein Wert, der im Sprech-Modus erreicht werden kann und der die Grenze ist für eine einzelne Quelle im GSM-Basisstation-System. Von 20 (2 x 10) neugeborenen männlichen Nachkommen wurden die Hoden am Tag 21 entnommen und auf Lipidperoxidation (MDA-Spiegel), DNA-Oxidation im Blutplasma, Apoptose und Gewebeschädigungen getestet.

**Ergebnisse:** Die neugeborenen Ratten der Kontrollgruppe hatten keine krankhaften Veränderungen in den Hoden. In der bestrahlten Gruppe dagegen zeigten sich im Mikroskop Unregelmäßigkeiten im Basalmembran- und Epithelgewebe der Samenkanälchen, der Durchmesser und die Epitheldicke der Samenkanälchen waren signifikant geringer. Es befanden sich unreife Keimzellen im Lumen der Samenkanälchen und man sah Ödeme im die Zellen umgebenden Gewebe (Interstitium). Kernveränderungen in den Keimzellen zeigten Apoptose an; die apoptotischen Zellen waren in den bestrahlten Samenkanälchen signifikant höher als bei den Kontrollen (Apoptose-Index 18,39 ± 2,12 % bzw. 3,42 ± 0,96 %) und sie waren ungleich verteilt in den verschiedenen Regionen der Samenkanälchen. Die Lipidperoxidation (3,21 ± 0,78 bzw. 2,08 ± 0,64 nmol/g Protein) und die Plasma-DNA-Oxidation (8-OhdG 4,69 ± 2,69 bzw. 1,42 ± 0,58 ng/ml) waren signifikant höher als bei den Kontrollen. Es gab beim Hodengewicht keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontroll- und EMF-Gruppe. Die Bestrahlung bewirkt eine vorgeburtliche Schädigung der Hoden, die nach der Geburt bestehen bleibt, da sie noch 21 Tage nach der Geburt nachweisbar sind.

**Schlussfolgerungen:** Nach diesen Ergebnissen hat die 900-MHz-Bestrahlung der trächtigen Tiere Auswirkungen auf die Hoden der neugeborenen Nachkommen und auch auf deren weitere Entwicklung. Die 900 MHz verursachen Veränderungen in den Samenkanälchen, einen Anstieg der MDA-Konzentration im Gewebe (Lipidperoxidation), der DNA-Oxidation im Blutplasma und der Apoptose-rate. Da der Kreislauf der Feten über Uterus und Plazenta mit dem mütterlichen Kreislauf verbunden ist, und der oxidative Stress im Blutplasma der Nachkommen signifikant erhöht war, kann man annehmen, dass die Mobilfunkstrahlung sich schädlich auf die Nachkommen im Mutterleib ausgewirkt haben, auch wenn das Gewicht der Hoden nicht verändert ist. Da aber die Samenkanälchen geschädigt sind (Unregelmäßigkeiten in den Basalmembranen und dem Epithel, unreife Keimzellen im Lumen der Samenkanälchen), kann man schließen, dass die 900-MHz-Strahlung die Entwicklung der Samenzellen nach der Geburt beeinträchtigt, wenn die Felder vor der Geburt eingewirkt haben.

### Einwirkung von 1800-MHz-Strahlung hemmt das Neuritenwachstum von embryonalen neuralen Stammzellen.

Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells.

Chen C, Ma Q, Liu C, Deng P, Zhu G, Zhang L, He M, Lu Y, Duan W, Pei L, Li M, Yu Z, Zhou Z (2014)

Erschienen in: Nature 2014 Scientific Reports 4; doi:10.1038/srep05103;

<http://www.nature.com/srep/2014/140529/srep05103/full/srep05103.html>

Embryonale neurale Stammzellen (eNSCs) sind noch weitgehend undifferenziert und können in die 3 Haupt-Zelltypen des Gehirns ausdifferenzieren. Von ihnen hängt die korrekte Differenzierung dieser Zellen zu Neuronen und Gliazellen (Astrozyten, Stützzellen) ab sowie das Absterben von Zellen und die Entwicklung der Zellfortsätze (Neuriten). Embryonale neurale Stammzellen sind empfindliche Zellen, die während der Entwicklung des Gehirns die exakte Bildung der Nervenzellen (Neuronen) und ihrer Fortsätze (Neuriten) entscheidend mitbestimmen. Neuronale Differenzierung und Reifung sind wesentliche Phasen auf dem Weg zum ausgereiften Gehirn (Neurogenese). Diese Zellen werden in der Forschung für verschiedene Zwecke eingesetzt, u. a. zum Testen von Chemikalien auf Schädigung des Nervensystems (Neurotoxizität). Die Schädigung durch Mobilfunkfrequenzen kann vielfältig sein, z. B. durch Anstieg der ROS-Produktion, eingeschränkte Mitochondrienfunktion, Störung des Calcium-Spiegels in den Zellen, erhöhte Hitzeschockproteinbildung (ein Zeichen für Zellstress) und Veränderungen der Genexpression bestimmter Gene, die die Entwicklung des Gehirns bestimmen. Epidemiologische Untersuchungen und Tierexperimente im Labor haben außerdem ergeben, dass Mobilfunkstrahlung Verhaltensänderungen verursacht, die Plastizität des Hippocampus (der u. a. für das Erinnerungsvermögen bzw. das Gedächtnis zuständig ist) vermindert und die Durchläs-

sigkeit der Blut-Hirn-Schranke erhöht. Zudem ist das Risiko von neurodegenerativen Erkrankungen und Hirntumoren erhöht. Die molekularen Mechanismen, die das Wachstum der Neuriten steuern, sind gut untersucht, aber die Wirkung der Mobilfunkstrahlung auf die Entwicklung des Gehirns ist weitgehend unbekannt.

**Studiendesign und Durchführung:** In diesem Experiment wurden embryonale Stammzellen von Mäusen mit der Strahlung eines 1800-MHz-Mobiltelefons (Trägerfrequenz) behandelt. Die Zellen wurden im Sprech-Modus 5 min Feld an und 10 min Feld aus (intermittierend) bestrahlt. Die SAR-Werte betragen 1, 2 und 4 W/kg, die Dauer 1, 2 und 3 Tage. Es wurden 4 unabhängige Experimente durchgeführt.

**Ergebnisse:** Die Ergebnisse zeigten keine Unterschiede zwischen den unbestrahlten Kontrollen und den bestrahlten bei Überlebensrate der Zellen, Apoptose, Zellzyklus, Zellwachstum und der Differenzierungsrate von Neuronen und Astrozyten. Aber das Längenwachstum der Nervenzellfortsätze (Neuriten) der aus den Stammzellen entstandenen Nervenzellen und die Anzahl der Verzweigungen der reifen Neuronen waren nach 3 Tagen der Bestrahlung mit 4 W/kg signifikant vermindert. Bestätigt wurden diese Ergebnisse durch Experimente, die die genetischen Abläufe und die Proteinbildung (mRNA- und Proteinexpression) während der Entwicklung untersuchten. Die wichtigsten Faktoren für das Wachstum der Neuriten und die Regulation und Differenzierung der Nervenzellen waren entsprechend vermindert, während die Aktivität der Gene für die Hemmung des Wachstums erhöht war. Das kann ein wichtiger Angriffspunkt der Mobilfunkstrahlung auf die Entwicklung des Gehirns sein.

**Schlussfolgerungen:** Diese Ergebnisse liefern wichtige Erkenntnisse zum Verständnis der Mechanismen und der Wirkungen der Mobilfunk-Strahlung auf die Entwicklung von eNSCs und die potenziell schädlichen Wirkungen auf die Entwicklung des Gehirns. Auch andere Forscher haben gefunden, dass Mobilfunkstrahlung das Neuritenwachstum beeinträchtigt. Zwar sind die hier angewendeten 4 W/kg über dem Grenzwert, aber bei längerer Einwirkzeit können auch geringere SAR-Werte schädliche Wirkungen auf die Gehirnentwicklung haben. Nach diesen Ergebnissen muss es nach Ansicht der Autoren dringend mehr Forschung geben, die die schädlichen RF-Wirkungen auf die Entwicklung des Gehirns untersucht.

## Pränatale Wirkung nicht-ionisierender Strahlung

### Wirkungen pränataler und postnataler Exposition gegenüber GSM-ähnlicher Hochfrequenz auf die Blut-Chemie und oxidativen Stress bei jungen Kaninchen, eine experimentelle Studie.

Effects of Prenatal and Postnatal Exposure to GSM-Like Radiofrequency on Blood Chemistry and Oxidative Stress in Infant Rabbits, an Experimental Study.

Ozgun E, Kismali G, Guler G, Akcay A, Ozkurt G, Sel T, Seyhan N; Erschienen in: Cell Biochemistry and Biophysics 2013; 67 (2): 743–751

In dieser Studie wurde untersucht, ob 1800-MHz-Bestrahlung eine schädliche Wirkung auf junge Kaninchen hat, wenn diese vor und/oder nach der Geburt (pre- und postnatal) bestrahlt worden waren. Viele biochemische Parameter und insbesondere die Lipidperoxidation wurden im Blut bestimmt. Die Absorption der Strahlung hängt neben der Frequenz und der Polarisation wesentlich von der Größe der Person und den dielektrischen Eigenschaften der Organe ab. Durch den höheren Wassergehalt des Körpers während der Schwangerschaft werden der Körper und der Fetus in seinem Fruchtwasser empfindlicher für die Strahlung. Neugeborene Kinder haben einen höheren Wassergehalt als Säuglinge und Kinder, deshalb muss jede Entwicklungsphase bezüglich der Mobilfunkstrahlung einzeln bewertet werden. Hier wurden 2 Szenarien betrachtet: intrauterine (pränatale) und extrauterine (postnatale) Bestrahlung.

**Studiendesign und Durchführung:** Zuerst wurden 2 Gruppen (2 x 9) gebildet, 1. trächtige Kaninchen als scheinbestrahlte Kontrolle und 2. Bestrahlung mit 1800 MHz 15 min/Tag 7 Tage lang. Nach den Geburten wurden 72 neugeborene Tiere (je 36 männliche und weibliche Kaninchen, einen Monat alt) in 4 Gruppen zu je 9 Tieren eingeteilt: Gruppe 1 scheinbestrahlte Kontrolle, Gruppe 2 pränatale Expositionsgruppe (exponiert 1800 MHz 15 min/Tag 7 Tage lang im Mutterleib zwischen dem 15. und 22. Tag der Trächtigkeit), Gruppe 3 postnatale Expositionsgruppe (15 min/Tag bestrahlt, die männlichen 14 Tage, die weiblichen 7 Tage lang im Alter von 1 Monat), Gruppe 4 wurde pränatal und postnatal bestrahlt (15 min/Tag 7 Tage lang zwischen dem 15. und 22. Tag bzw. 15 min/Tag, die männlichen 14 und die weiblichen 7 Tage lang im Alter von 1 Monat). Die Bestrahlung erfolgte mit der 1800-MHz-GSM-Frequenz, gepulst mit 217 Hz bei 0,1 W Leistung. Am Tag nach der letzten Bestrahlung wurde den Tieren Blut entnommen und die biochemischen Parameter bestimmt: Cholesterin (CHO), Kreatinin, Harnstoff, Harnsäure, Kreatinkinase (CK), die Isoenzyme der Kreatinkinase im Herzmuskel, das herzspezifische Isoenzym der Kreatinkinase (CK-MB), gamma-Glutamyl-Transpeptidase (GGT), Aspartat-Aminotransferase (AST), Alanin-Transaminase (ALT), Albumin (ALB), Gesamtprotein (TP), Glucose (GLU) und Lipidperoxidation (mit Malondialdehyd, MDA).

**Ergebnisse:** Der Lipidperoxidation im Blutserum veränderte sich bei beiden Geschlechtern nach der Bestrahlung signifikant, besonders hoch war der Spiegel bei den pränatalen Gruppen. GGT war in beiden Gruppen geringer als bei den Kontrollgruppen und ALT stark erhöht in der pränatalen Gruppe, während die Gruppen 3 und 4 geringere Werte als die Kontrollgruppen hatten. Die anderen Blutparameter veränderten sich z. T. signifikant, bei den männlichen waren das Kreatinin, Harnsäure, GGT und ALB, bei den weiblichen Harnstoff, AST, Gesamtprotein und Glucose.

In dieser Studie wurden erhöhte Harnsäurespiegel im Vergleich zur Kontrollgruppe in den EU-RF- und IU+EU-RF-Gruppen der männlichen Kaninchen gefunden. Vielleicht sind das Frühstadien von Akuter Lymphoblastischer Leukämie oder überhöhte Blutzellauflösung. Erhöhte Harnsäurekonzentrationen im Blut nennt man Hyperurikämie; diese kann durch eine Überproduktion von Harnsäure im Körper oder eine Unfähigkeit der Nieren, genügend Harnsäure auszuscheiden verursacht werden. Außerdem kann Hyperurikämie durch überhöhte Aufnahme von Purinen mit der Nahrung, durch Alkoholkonsum, Auflösung von Tumoren (Lymphome, Leukämie oder festen Tumoren) und manchmal Chemotherapie hervorgerufen werden. Hohe Gehalte an Harnsäure im Blut können auch durch zu schnellen Abbau von Zellen oder nicht genügende Ausscheidung entstehen. Bei einigen Kindern mit Leukämie oder anderen Tumoren findet man hohe Harnsäurespiegel, bei männlichen höher als bei weiblichen Patienten (36,8 % bzw. 21,6 %). Harnstoff und Kreatinin sind für die Nierenfunktion erforderlich. In dieser Studie fand man erhöhte Werte von Kreatinin in den pre- und postnatalen Gruppen, statistisch signifikant aber nur bei den männlichen Tieren. Harnstoff ist bei den weiblichen Tieren signifikant vermindert, bei den männlichen Tieren leicht erhöht. Die Messungen der Leber-Enzymaktivitäten zeigen Leberfunktionsstörungen an. GGT ist ein Leberenzym, das die Übertragung von Glutamygruppen zwischen verschiedenen Polypeptiden und Aminosäuren katalysiert, die erhöht sind bei Verschluss des Gallentraktes und bei Leberkrebs. Hier waren sie signifikant geringer in den bestrahlten Gruppen, was aber klinisch nicht bedeutsam ist. AST kommt in hohen Konzentrationen in Herz und Leber vor und kann zur Diagnose von Leberschädigung dienen. Erhöhte Werte wurden in den Pränatal-Gruppen bei beiden Geschlechtern gefunden, aber nur bei den weiblichen Kaninchen statistisch signifikant. Das Enzym CK katalysiert die reversible Übertragung von Phosphatgruppen zwischen Kreatin, Phospho-Kreatin, ATP und ADP. Das meiste CK bleibt im Skelett- und Herzmuskel sowie im Magen-Darm-Trakt, es erscheint aber schnell im Blut nach Schädigung von Muskelzellen. Hier gab es keine Veränderungen in CK und CKMB.

**Schlussfolgerungen:** Aus diesen Ergebnissen kann man schließen, dass durch die 1800 MHz statistisch signifikante Veränderungen in einigen Blutparametern, insbesondere der Lipidperoxidation, bei den jungen Kaninchen entstehen. Ein gesundes Leben hängt von normalen biochemischen Reaktionen im Körper ab und das ist besonders wichtig für Neugeborene, damit eine gesunde Entwicklung möglich ist. Die 1800-MHz-Bestrahlung führte neben den Veränderungen in vielen Blutparametern zu oxidativem Stress.

## Bewertung der Wirkung von Mobiltelefonen auf die Entwicklung des Neuralrohrs von Hühnerembryonen.

Evaluation of the Effects of Mobile Phones on the Neural Tube Development of Chick Embryos.

Umur AS, Yaldiz C, Bursali A, Umur N, Kara B, Barutcuoglu M, Vatansever S, Selcuki D, Selcuki M Erschienen in: Turkish Neurosurgery 2013; 23 (6): 742-752

Da die Embryonalentwicklung durch viele Faktoren (Umwelt, Stoffwechsel, genetische Faktoren) gestört werden kann, sollte untersucht werden, ob auch das Einwirken der Strahlung eines 900-MHz-Mobiltelefons eine schädliche Wirkung auf die Embryonalentwicklung hat. In diesem Experiment wurden Hühnerembryonen untersucht, weil die frühen Entwicklungsphasen des Nervensystems beim Hühnerembryo ähnlich denen des menschlichen Embryos verlaufen. Aus dem Neuralrohr entsteht das Nervensystem, das sehr früh in der Entwicklung angelegt und spät fertig gestellt wird. Während dieser Entwicklung laufen viele Prozesse ab, die mit Differenzierung und Absterben von nicht mehr benötigten Zellen (programmierter Zelltod, Apoptose) einhergehen. Dieses festgelegte Programm kann in allen Phasen gestört werden, z. B. auch durch Strahlung. D. h. durch Strahlung kann eine Apoptose eingeleitet werden, wenn die Zellschädigung einen bestimmten Punkt erreicht hat. Ist die Schädigung geringer, kann die schadhafte Zelle weiterleben, aber u. U. führt das zu Fehlfunktionen. Deshalb wurde an Hühnereiern mithilfe der Apoptose untersucht, wie sich 900-MHz-Mobilfunkstrahlung auf die Entwicklung auswirkt.

**Studiendesign und Durchführung:** Je 50 befruchtete Hühnereier wurden in 4 Gruppen eingeteilt: unbestrahlte Kontrolle (1), Einwirkung von Mobiltelefonstrahlung im Stand-by- (2), im Anruf- (3) und Gesprächs-Modus (4). Im Anruf-Modus klingelte das Telefon alle 30 Minuten für 10 Sekunden, die „Gespräche“ fanden alle 60 Minuten statt und dauerten 10 Minuten. Die Bestrahlung erfolgte mit einem normalen 900-MHz-Handy bei 0,77 W/kg SAR (pers. Mitteilung, die Frequenz wurde in der Arbeit nicht angegeben). Jeweils nach 30, 48 und 72 Stunden wurden Proben entnommen, die mikroskopisch und auf die Apoptoserate untersucht wurden (Blindproben). Die Ergebnisse wurden mit verschiedenen Methoden bestätigt.

**Ergebnisse:** Nach 30 Stunden war bei allen Embryonen das Neuralrohr noch offen und im oberen Bereich waren apoptotische Zellprozesse zu sehen. Erhöhte Apoptose gab es besonders in Gruppe 3 ( $4\% \pm 0,33$ ), gefolgt von Gruppe 4 ( $3,1\% \pm 0,37$ ), Gruppe 2 ( $2,6\% \pm 0,30$ ) und Gruppe 1 ( $2,2\% \pm 0,25$ ). Der Prozentsatz der Apoptosezellen war in Gruppe 3 signifikant höher als in Gruppe 1 und 2. Nach 48 Stunden waren in den Gruppen 1, 2 und 4 die Neuralrohre geschlossen und es gab keine Apoptose-positiven Zellen, in Gruppe 3 war das Neuralrohr noch offen und Apoptosezellen im oberen Bereich vorhanden. Der Prozentsatz der apoptotischen Zellen in Gruppe 3 (Anruf-Modus) war signifikant höher im Vergleich zu den anderen 3 Gruppen. Nach 72 Stunden sah man in allen Gruppen geschlossene Neuralrohre und es gab keine Apoptosezellen. Die Verzögerung der Schließung und die

erhöhte Apoptose in Gruppe 3 entstehen durch die erhöhte Strahlung des ständigen Anrufens ohne Antwort. Dass besonders in Gruppe 3 nach 48 h das Neuralrohr noch offen ist und Apoptose-positive Zellen beobachtet wurden, wird so gedeutet, dass die elektromagnetischen Felder in Prozesse der Apoptosemechanismen eingreifen, die während des Schließens des Neuralrohres aktiv sind. Auch während eines Gesprächs (Gruppe 4) ist die Strahlung höher als im Stand-by-Modus. Die Entwicklungsverzögerung in Hühnerembryonen in den frühen Entwicklungsstadien kann Fehlbildungen verursachen.

**Schlussfolgerungen:** Es ist gut möglich, dass es zu Temperaturerhöhungen im menschlichen Körper kommt und dies zu Schäden führt, denn das Nervensystem kann Wärme schlecht abführen. So stellt Mobilfunkstrahlung ein mögliches Risiko für schwangere Frauen dar. Obwohl es viele Studien gibt, die keinen Einfluss auf die menschliche Gesundheit unterhalb der internationalen Grenzwerte ergeben haben, gibt es aber auch keine aussagekräftigen, verlässlichen und konsistenten Studien, die solche Risiken ausschließen können. Da die Strahlung nicht mehr aus dem Leben auszuschließen ist, sollte man die neuen Technologien mit Vorsicht behandeln, die möglichen Schädigungen beobachten und mithilfe von Wissenschaft und Technologie die Risiken minimieren, empfehlen die Wissenschaftler.

## Zwei neue Sendemaststudien

### Gesundheitliche Wirkungen beim Wohnen in der Nähe einer Mobilfunk-Basisstation: ein Bericht aus Isfahan, Iran.

Health effects of living near mobile phone base transceiver station (BTS) antennae: a report from Isfahan, Iran.  
Shahbazi-Gahrouei D, Karbalae M, Moradi HA, Baradaran-Ghahfarokhi M  
Erschienen in: Electromagn Biol Med 2014; 33 (3): 206 - 210

In dieser im Iran durchgeführten Querschnittsstudie wurden die gesundheitlichen Beschwerden bei Personen, die in der Nähe von Mobilfunk-Basisstationen wohnten, untersucht. Das Studiendesign beruht auf der Studie von Alazawi (2011)(s.u.). Es wurde die Häufigkeit von Krankheitssymptomen von Anwohnern, die im Umkreis von 300 m um die Anlage wohnen mit denen, die weiter wie 300 m entfernt wohnen, verglichen.  
**Ergebnis:** "Die meisten gesundheitliche Beschwerden wie z.B. Übelkeit, Kopfschmerzen, Schwindel, Reizbarkeit, Unbehagen, Nervosität, depressive Anzeichen, Schlafstörung, Gedächtnisstörung und verminderte Libido wurden statistisch signifikant häufiger von Personen berichtet, die in einem Abstand bis zu 300 m zu einer Basisstation gewohnt hatten, im Vergleich zu Personen, die in einer Entfernung von mehr als 300 m zu einer Basisstation gelebt hatten.

Die Autoren schlugen vor, dass Mobilfunk-Basisstationen in einer Entfernung von nicht weniger als 300 m zu Wohnungen aufgestellt werden sollten, um die Exposition der Bewohner zu minimieren." (EMF-Portal)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?aid=22876&l=g>

### Gesundheitliche Wirkungen von Mobilfunk-Basisstationen.

Mobile Phone Base Stations Health Effects.  
Von: Alazawi SA; Erschienen in: Diyala Journal of Medicine 2011; 1 (1): 44 - 52

Diese Studie von Alazawi war die Vorlage für die Studie von Shahbazi-Gahrouei et al.(s.o). Beide Studien kommen zu demselben Ergebnis. Die Zusammenfassung bei Alazawi:

"Die meisten gesundheitliche Beschwerden wie z.B. Kopfschmerzen, Reizbarkeit, Übelkeit, Appetitverlust, Unbehagen, Schlafstörung, depressive Anzeichen, Gedächtnisstörung, Konzentrationsstörung, Schwindel und verminderte Libido wurden statistisch signifikant häufiger von Personen berichtet, die in einem Abstand bis zu 300 m zu einer Basisstation gewohnt hatten, als von Personen, die in einer Entfernung von mehr als 300 m zu einer Basisstation gewohnt hatten. Signifikante Unterschiede wurden in einem Abstand bis zu 100 m zu einer Basisstation für folgende Symptome gefunden: Kopfschmerzen, Reizbarkeit, depressive Anzeichen, Unbehagen, Konzentrationsstörung, Gedächtnisstörung und verminderte Libido." (EMF-Portal)

<http://www.emf-portal.de/viewer.php?l=g&aid=26456>

Volltext: <http://www.iasj.net/iasj?func=fulltext&ald=16881>

## Auswahl von Studien, die im Elektromogreport besprochen wurden

### September 2014

Morgan LL, Kesari S, Davis DL (2014): Why children absorb more microwave radiation than adults: The consequences. Warum Kinder mehr Mikrowellen-Strahlung absorbieren als Erwachsene: Die Konsequenzen.  
Journal of Microscopy and Ultrastructure;  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmau.2014.06.005>

### Oktober 2014

Naziroğlu M, Akman H (2014): Effects of Cellular Phone- and Wi-Fi-Induced Electromagnetic Radiation on Oxidative Stress and Molecular Pathways in Brain. I. Laher (ed.), Systems Biology of Free Radicals and Antioxidants, 2431–2449; DOI 10.1007/978-3-642-3M18-92 10; Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Redmayne M, Johansson O (2014): Could Myelin Damage From Radiofrequency Electromagnetic Field Exposure Help Explain the Functional Impairment Electrohypersensitivity? A Review of the Evidence.

Könnte eine Schädigung von Myelin durch die Exposition bei hochfrequenten elektromagnetischen Feldern helfen, die funktionelle Störung Elektrosensibilität erklären? Ein Überblick zur Evidenz.

Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B: Critical Reviews 17 (5), 247-258,  
DOI: 10.1080/10937404.2014.923356

**November 2014**

**Narayanan SN, Kumar RS, Kedage V, Nalini K, Nayak S, Bhat PG (2014): Evaluation of oxidant stress and antioxidant defense in discrete brain regions of rats exposed to 900 MHz radiation.**

Bewertung von oxidativem Stress und antioxidativer Abwehr in bestimmten Gehirn-Regionen von Ratten, die bei 900 MHz-Befeldung exponiert wurden.

Bratislavske Lekarske Listy (Bratislava Medical Journal) 115 (5), 260–266; DOI:10.4149/BLL\_2014\_054

**Dezember 2014**

**Zhang Y, Li Z, Gao Y, Zhang C (2014): Effects of fetal microwave radiation exposure on offspring behavior in mice.** Wirkungen von fötaler Mikrowellen-Exposition auf das Verhalten von Nachkommen bei Mäusen.

Journal of Radiation Research , 1–8; doi: 10.1093/jrr/rru097

**Castello PR, Hill I, Sivo F, Portelli L, Frank Barnes F, Usselman R, Martino CF (2014): Inhibition of Cellular Proliferation and Enhancement of Hydrogen Peroxide Production in Fibrosarcoma Cell Line by Weak Radio Frequency Magnetic Fields.** Hemmung der Zellproliferation und Verstärkung der Wasserstoffperoxid-Produktion in einer Fibrosarkom-Zelllinie durch schwache hochfrequente Magnetfelder. *Bioelectromagnetics* 35, 598–602

**Januar 2015**

**Li F, Yuan Y, Guo Y, Liu N, Jing D, Wang H, Guo W (2015): Pulsed Magnetic Field Accelerate Proliferation and Migration of Cardiac Microvascular Endothelial Cells.**

*Bioelectromagnetics* 36, 1–9

**Februar 2015**

**Halgamuge MN, Yak SK, Eberhardt JL (2015): Reduced Growth of Soybean Seedlings After Exposure to Weak Microwave Radiation From GSM 900 Mobile Phone and Base Station.** Vermindertes Wachstum von Sojabohnen-Keimlingen nach Exposition bei schwachen Mikrowellen von GSM-900-Mobiltelefon und - Basisstation.

*Bioelectromagnetics* 2015; DOI: 10.1002/BEM.21890

**Artikel in der Zeitschrift umwelt - medizin - gesellschaft****Ausgabe 1 / 2015**

**Elektromagnetische Felder wirken über die Aktivierung spannungsabhängiger Calciumkanäle, um günstige oder ungünstige Wirkungen zu erzeugen**

MARTIN L. PALL

**Mobilfunk und Hirntumoren**

MICHAEL KUNDI

**Leitfaden Senderbau (LSB): Vorsorgeprinzip bei Errichtung, Betrieb, Um- und Ausbau von ortsfesten Sendeanlagen**

WILHELM MOSGÖLLER

**Ausgabe 4 / 2014**

**Signifikanter Rückgang klinischer Symptome nach Senderabbau - ein Fallbericht**

TESTSUHARU SHINIYO UND AKEMI SHINIYO

**Ausgabe 3 / 2014**

**Risiken der Sozialisation von Kindern und Jugendlichen durch digitale Medien**

PETER HENSINGER

**Kausaler, juristisch anerkannter Nachweis des Schädigungspotenzials technischer hochfrequenter Felder - eine Patientenkaustik**

HORST EGER

**Reduzierte Fruchtbarkeit und vermehrte Missbildungen unter Mobilfunkstrahlung. Dokumentation aus einem landwirtschaftlichen Nutzbetrieb (Wissenschaftlicher Originalbeitrag)**

KLAUS BUCHNER, HORST EGER und JOSEF HOPPER

**Wie die Öffentliche Meinung über Elektrosensibilität geprägt wird in Wissenschaft und Presse - Aktuelle Beispiele und Hintergründe**

CHRISTINE ASCHERMANN

## Glossar

**8-OH-dG (8 – Hydroxi-2- Deoxyguanosin):** Einer der zuverlässigsten und in den letzten Jahren etablierten Biomarker zur Erkennung von oxidativem Stress und anderer mutagener Einwirkungen auf die DNA. Ein Marker ist eine Substanz, wie ein Hormon, Enzym oder ein besonderer Eiweißkörper (z.B. Tumormarker), die bei vermehrtem Vorkommen im Blut das Vorhandensein einer Krankheit anzeigt.

**Akustikus Neurinom:** Gutartige, am häufigsten vorkommende sogenannte Kleinhirnbrückenwinkeltumore aus Binde und Nervengewebe, die von den Schwann'schen Zellen des Hörnervs, (des achten Hirnnervs), ausgehen. Der Tumor verursacht u.a. meist einseitige Hörminderungen, Ohrgeräusche, Gleichgewichtsstörungen, Schwindel oder Lähmungen der Gesichtsmuskulatur.

**Antioxidantien:** Substanzen, wie z.B. Vitamin E und Beta-Carotin, die freie Radikale abfangen können und somit schädliche Oxidation in der Zelle verhindern.

**Apoptose, Programmierter Zelltod:** Der programmierte Zelltod, der aktiv durch die Zelle selbst ausgelöst wird, ist gekennzeichnet durch den enzymatischen Abbau zelleigener DNA und Proteine. Die Apoptose kann durch verschiedene Faktoren ausgelöst werden, deren Zusammenwirken noch unklar ist. Sie wird als Schutzmechanismus des Organismus verstanden, indem beschädigte, nutzlose oder überalterte Zellen entfernt werden.

**Basalmembran:** Grenzschicht zwischen Epithelien und Bindegewebe, die aus einem Geflecht aus Proteoglycanen, Kollagen, Laminin und weiteren Proteinen besteht.

**CI:** siehe Konfidenzintervall

**DNA-Reparatur:** Die in der Zelle ablaufenden Prozesse zur Beseitigung von DNA-Schäden mit Hilfe von Enzymen, die Fehler in der DNA-Sequenz und DNA-Struktur korrigieren können. Die Schäden können durch ultraviolette Strahlung, Chemikalien oder freie Radikale verursacht werden.

**Epithel:** Deckgewebe, das äußere oder innere Körperoberflächen bedeckt.

**EGF (Epidermaler Wachstumsfaktor):** Ein aus 53 Aminosäuren bestehendes Protein, das an der Zellproliferation und Differenzierung durch Bindung an EGF-Rezeptoren auf der Zelloberfläche beteiligt ist. Bei bestimmten Tumorarten wird dieser EGF Faktor hochreguliert oder/ und in mutierter Form vorgefunden, was dazu führt dass Tumorzellen wachsen und sich unkontrolliert vermehren.

**ERK:** Ein Enzym, das eine wichtige Rolle in der Signaltransduktion spielt. Gehört zu den Mitogen aktivierten Kinasen und reguliert seinerseits zelluläre Prozesse wie z.B. die Proliferation und Zelldifferenzierung. Hierbei handelt es sich um biologische Zellvorgänge, die unterschiedliche Bereiche des Organismus betreffen können und sind, lt. Krebsforschungen, an der onkogenen Zelltransformation von Zellen beteiligt, die sich zu Krebszellen verändern.

**Freies Radikal:** Molekül oder Molekülbereich, in dem neben normalerweise paarweise vorkommenden Elektronen auch einzelne Elektronen auftreten. Die Moleküle reagieren dadurch chemisch sehr aggressiv und können Schäden in Zellen, z.B. an der DNA, verursachen (oxidativer Stress). Ein bekanntes Beispiel ist Wasserstoffperoxid. Radikale sind andererseits auch wichtige Bestandteile bei Enzymreaktionen. Sie können durch Stoffwechselforgänge oder durch äußere Einflüsse entstehen und können durch Radikalfänger abgebaut werden

**Follikel:** Ein Bläschen oder Säckchen, z.B. Haarfollikel und Eifollikel.

**Ionisierende Strahlung:** Strahlung mit einer Wellenlänge von weniger als 200 nm, die beim Durchgang durch Materie Ionisation verursacht. Ihre Energie reicht aus, um Elektronen (häufig über kaskadenartige Reaktionen) aus einem Atom oder Molekül herauszulösen. Hierdurch werden chemische Bindungen (kovalente Bindungen) aufgebrochen und freie Radikale (Atome oder Moleküle mit ungepaarten Elektronen) gebildet. Diese führen u.a. zu DNADoppelstrangbrüchen.

**Ipsilateral:** Auf derselben Seite des Körpers, z.B. wo das Handy benutzt wird; bilateral: zweiseitige Benutzung.

**Katarakt:** Trübung der Augenlinse oder ihrer Kapsel, z.B. Grauer Star.

**Keimzelle:** Weibliche oder männliche Keimzelle (Eizelle oder Spermium), die nur einen einfachen Chromosomensatz hat.

**Konfidenzintervall (KI, CI):** ist ein geschätztes Intervall, welches den wahren Wert eines unbekanntem Parameters mit vorgegebener Wahrscheinlichkeit überdeckt. Häufig wird das 95%-Konfidenzintervall verwendet, wobei mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% die gesuchte Ausprägung des betrachteten Parameters der Grundgesamtheit enthalten ist.

**Kovalente Bindung:** Bindung zwischen zwei oder mehreren Atomen, denen ein oder mehrere Elektronenpaare gleichzeitig angehören.

**Matrixmetallproteinasen:** Zinkabhängige Endopeptidasen, die zur Familie der Proteasen gehören, und in der Lage sind, extrazelluläre Matrix Proteine abzubauen sowie eine Anzahl bioaktiver Enzyme zu entwickeln.

**Mikrowellen:** Elektromagnetische Wellen mit Frequenzen zwischen 300 MHz und 300 GHz. Anwendungsbeispiele sind die Wärmeerzeugung im Mikrowellenherd, die Mikrowellentherapie und Mikrowellen-spektroskopie zur Erforschung des Aufbaus von Molekülen und Atomen und Funkübertragungstechnologien.

**Mitochondrien:** Kraftwerke der Zellen. Kleine Organellen eukaryontischer Zellen, die Energie in Form von ATP durch oxidativen Abbau von Nährstoffen gewinnen. Mitochondrien haben die Fähigkeit zur Selbstreduktion, sie besitzen ein ringförmiges DNA-Molekül, eigene Ribosomen und sind von einer doppelten Membran umgeben.

**Nichtionisierende Strahlung:** umfasst alle Strahlen und Felder des elektromagnetischen Spektrums, die nicht genügend Energie besitzen, um eine Ionisation zu verursachen, z.B. Radiowellen, Mikrowellen, Infrarot-Strahlen und sichtbares Licht.

**Lipidperoxidation:** Die Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren durch Radikale. Dabei können Gewebeschäden auftreten. Lipidperoxide entstehen bei der Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren durch Radikale. Dies kann zu Gewebeschäden durch Veränderungen an der Zellmembran führen.

**Lumen:** Hohlraum röhrenförmiger Organe und Zellen, z.B. Darmlumen, Gefäßlumen oder Zell- Lumen .

**Malondialdehyd (MDA):** entsteht bei der Oxidation von mehrfach ungesättigten Fettsäuren und ist ein biochemischer Marker für oxidativen Stress.

**Neuralrohr:** Aus dem Neuralrohr entstehen bei Wirbeltieren das Rückenmark und das Gehirn.

**Neuriten:** Der Fortsatz einer Nervenzelle, der die Signale weiterleitet.

**NADH:** Eine energiereiche reduzierte Form von NAD, welche in der Lage ist, im oxidativen Sauerstoffwechsel als energielieferndes Coenzym der Atmungskette, Elektronenauf Sauerstoff zu übertragen.

**NAD<sup>+</sup>:** Ein Wasserstoff übertragendes Coenzym, das in allen Zellen vorkommt und eine wichtige Rolle im Stoffwechsel spielt. Es setzt sich aus Nicotinsäureamid, Adenin, zwei Molekülen Ribose und zwei Phosphorsäureresten zusammen. In zahlreichen enzymatischen Reaktionen dient es als Wasserstoffüberträger, wobei der Reaktion der Wechsel zwischen oxidiertem (NAD<sup>+</sup>) und reduzierter Form (NADH) zugrunde liegt.

**ODC (Ornithindecarboxylase):** Enzym, das als Indikator für die Proliferation dient. Schlüsselenzym der intrazellulären Polyamin-Synthese, das Ornithin durch Decarboxylierung in Putrescin umwandelt. Polyamine sind wichtig für die Stabilisierung der DNA Struktur und bei der Reparatur von DNA - Doppelstrangbrüchen, aber auch als Antioxidantien. Die ODC ist ein essentielles Enzym beim Zellwachstum. Ein Mangel an ODC hat bei Mäuseembryonen eine Apoptose durch DNA Schäden verursacht.

**Odds (deutsch: Quote, Wettverhältnis).** Die **Odds Ratio** (Quote für Exponierte geteilt durch die Quote für Nichtexponierte) wird in epidemiologischen Studien verwendet und als Näherung für das relative Risiko benutzt, wenn das Risiko der Erkrankung in der Studienpopulation gering ist. Der Wert der Odds Ratio ist größer 1, wenn ein möglicher Zusammenhang zwischen Erkrankung und Exposition besteht, kleiner 1, wenn

die Exposition schützend wirkt, und gleich 1, wenn die Exposition kein Risiko birgt.

**Onkogene:** Krebsgene, deren Veränderung oder Aktivierung eine Umwandlung von gesunden Zellen zu Tumorzellen herbeiführen kann. Als Proto-Onkogene liegen die Onkogene in gesunden Zellen vor und haben eine zentrale Bedeutung für die Regulation des Zellwachstums. Krebs entsteht, wenn die Kontrolle des Zellwachstums durch das entsprechende Onkogen zusammenbricht. Auslöser sind zum Beispiel radioaktive Strahlen oder Chemikalien, die eine Veränderung der Erbsubstanz bewirken.

**Oxidase:** Ein Enzym, das mit molekularem Sauerstoff (O<sub>2</sub>) als Elektronenakzeptor bei Oxidation eines Substrats reagiert.

**Oxidation:** Die Abgabe von Elektronen aus einem Atom, z.B. bei der Aufnahme von Sauerstoff oder bei Abgabe von Wasserstoff aus einem Molekül. Gegensatz zu Reduktion.

**Oxidativer Stress** entsteht, wenn oxidative Vorgänge durch freie Radikale (z.B. Wasserstoffperoxid) die Fähigkeit der antioxidativen Prozesse zur Neutralisation übersteigen und das Gleichgewicht zugunsten der Oxidation verschoben wird. Verschiedene Schädigungen in den Zellen können hervorgerufen werden, z.B. Oxidation von ungesättigten Fettsäuren, Proteinen und DNA.

**Purine:** Eine der beiden Klassen von Stickstoffhaltigen Ringverbindungen in den Nukleinsäuren DNA und RNA. Purin besteht aus einem Doppelring. Beispiele sind Adenin und Guanin.

**ROS (Reaktive Sauerstoffspezies):** Sauerstoffhaltige Moleküle, die sehr instabil und hochreaktiv sind. Die hohe Reaktivität entsteht durch die instabile Elektronenkonfiguration der Radikale. Sie extrahieren schnell Elektronen aus anderen Molekülen, die dann selbst zu freien Radikalen werden. So wird eine Kettenreaktion ausgelöst und Zellschädigungen durch oxidativen Stress verursacht. Zu den ROS gehören Superoxide, Peroxide und Hydroxylradikale.

**SAR-Wert:** Die spezifische Absorptionsrate beschreibt, wieviel Leistung pro Kilogramm Körpergewicht (bzw. biologischem Material) absorbiert wird (W/kg), wenn der Körper in einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld exponiert ist. Die SAR kann lokal (z.B. bei Nutzung eines Mobiltelefons) oder auf den ganzen Körper (z.B. im Fernfeld einer Basisstation) bestimmt werden. Als Grenzwerte in Deutschland gelten für die Exposition des Ganzkörpers 0,08 W/kg und des Teilkörpers 2 W/kg (gemittelt über 10 Gramm Körpergewebe).

**Seminom:** Ein bösartiger Keimzell-Tumor des Hodens, der von den Keimzellen (Vorläuferzellen der Spermien) beim Mann ausgeht.