

Auch thermische Wirkungen können eine Ursache sein, da viele Männer das Mobiltelefon in der Hosentasche tragen. Wärme behindert Spermienproduktion und -entwicklung. Beispielsweise kann die Hauttemperatur im Gesicht bis zu 2,3 °C erhöht werden bei einem 6-minütigen Gespräch mit dem Mobiltelefon. Diese Erwärmung kann auch vom Akku herrühren, da man annimmt, dass die Frequenzen dieser Strahlung nur geringe Wärmewirkung haben.

Die Ergebnisse zeigen große Heterogenität, die nach den Analysen vor allem auf die sehr unterschiedlichen Expositionszeiten zurückzuführen sind. Aber fast 1500 Proben führen doch zu verlässlichen Aussagen. Andere Einflussfaktoren wie etwa Raucher wurden nicht untersucht, aber durch die Übereinstimmung von In-Vivo- mit den In-Vitro-Studien kann man darauf vertrauen, dass die Mobilfunkstrahlung ursächlich ist. Unsicherheit besteht in Bezug auf die Fruchtbarkeit der Männer, da nur klinische Daten verwendet wurden und deshalb keine Daten in Bezug auf die allgemeine Bevölkerung zur Verfügung stehen. Da aber alle Studien die WHO-Kriterien angewendet haben, ist eine gemeinsame Auswertung der Daten akzeptabel.

Die Forschung zur Spermienqualität befasst sich am häufigsten mit der Beweglichkeit, die bei bestrahlten Zellen ca. 8 % geringer ist als bei den nicht-exponierten. Das könnte einen Teil der Umweltfaktoren ausmachen, die die Fruchtbarkeit von Männern reduzieren. Auch Wi-Fi von Laptops kann die Spermienqualität beeinträchtigen, fand man in Studien heraus. Zukünftige Forschung muss Lebensfähigkeit, Morphologie, den Zustand der DNA und andere Parameter einbeziehen. Die SAR-Ermittlung muss dringend verbessert werden, da die Handys ständig wechselnde SARs erzeugen. Und Langzeitstudien mit standardisierten Feldintensitäten und Einwirkdauern zur Ermittlung der Exposition der Bevölkerung in vivo sind notwendig. Die Bedeutung thermischer und nicht-thermischer Wirkung auf die Spermienqualität muss erforscht werden. Experimente mit intermittierender Strahlung müssen erfolgen, um die Wärmewirkung gering zu halten, im Vergleich zu kontinuierlicher Strahlung mit derselben Strahlungsmenge, wie man bereits in 2005 zur Untersuchung der DNA-Schädigung in menschlichen Fibroblasten durchgeführt hatte (Diem et al.). Da die Analyse negative Auswirkungen der Mobilfunkstrahlung auf die Beweglichkeit und die Lebensfähigkeit der Spermien ergab, aber bei der Anzahl der Spermien das Ergebnis nicht eindeutig war, braucht man weitere Untersuchungen zur genauen Bewertung der klinischen Bedeutung für Männer und die allgemeine Bevölkerung.

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

## LTE-Wirkungen auf das Gehirn

# LTE-Frequenzen beeinflussen mehrere Gehirnregionen

Mithilfe der funktionalen Magnetresonanz (fMRI) zur Darstellung der Hirnaktivität konnte an 18 Personen in Doppelblind-Versuchen nachgewiesen werden, dass durch 30-minütige Einwirkung einer LTE-Frequenz von 2,573 GHz die Gehirnaktivität in vielen Hirnregionen verändert wird.

Die Methode der fMRI basiert auf der Messung der Blutsauerstoff-Konzentration, gemessen wird die Blutdynamik im Gehirn. Neuronale Prozesse werden verändert, wenn ein Si-

gnal von außen kommt oder eine Aufgabe gestellt wird. Außerdem gibt es ständig vorhandene geringe niederfrequente Fluktuationen im Ruhezustand bei ca. 0–0,25 Hz (intrinsische neuronale Aktivität) mit wichtiger physiologischer Bedeutung. LTE arbeitet bei Frequenzen zwischen 800 und 3500 MHz und bis jetzt sind noch keine Daten mit dieser Methode erhoben worden.

18 rechtshändige gesunde Personen wurden getestet, 12 männliche und 6 weibliche, 19–35 Jahre alt ( $24,9 \pm 3,9$ ). Alle benutzten das Mobiltelefon weniger als 1 Stunde täglich, und am Tag vor dem Experiment weniger als 10 Minuten. Insgesamt dauerte die Untersuchung eine Stunde im Doppelblindverfahren. Von jedem Teilnehmer wurde vor und nach den 30 Minuten Befeldung mit 2,573 GHz bzw. der Scheinbefeldung ein Ruhe-fMRI gemacht, dann untersucht, ob sich durch die Exposition Veränderungen in der Amplitude der spontanen Fluktuationen ergaben. Zwischen scheinbarer und wahrer Bestrahlung lag 1 Tag. Die Feldquelle, eine Dipol-Antenne, wurde 1 cm vom rechten Ohr entfernt am Kopf befestigt. Die Teilnehmer saßen in einem abgeschirmten Raum und sollten entspannt „nichts tun“, bei geschlossenen Augen wach bleiben, an nichts denken und diesen Zustand möglichst lange halten.

Die SAR-Verteilung im Kopf über 1 g Gewebe betrug bei 2 Personen 2,18 und 2,36 W/kg bzw. für 10 g Gewebe 0,9 und 1,07 W/kg. Das ist unterhalb der ICNIRP-Grenzwerte von 1998. Signifikante Veränderungen in der Hirnaktivität nach der Bestrahlung zeigten sich in der Brodman-Region, im linken oberen, mittleren und rechten oberen Temporalgyrus, im rechten mittleren Frontalgyrus und im rechten Parazentrallappchen, mittleren Frontallappen, unteren Parietallappchen, in Hinterhauptregionen und anderen Bereichen der Großhirnrinde. Die Ergebnisse zeigen, dass die LTE-Strahlung die Aktivität der Nervenzellen nicht nur in den nahen Regionen (am rechten Ohr) verändern, sondern auch in entfernten und sogar auf der anderen Seite des Kopfes.

Diese Untersuchung beschränkte sich auf die spontanen Fluktuationen im Ruhezustand des Gehirns. Durch die 2,573-GHz-Strahlung wurden diese niederfrequenten Fluktuationen verändert. Die verwendete Dipol-Antenne erzeugt keine Erwärmung im Gewebe und es gab keine Störfaktoren durch Geräusche. Die Experimente ergaben, dass LTE-Strahlung die spontane niederfrequente Fluktuation in normalen menschlichen Gehirnen verändert, d. h. die Strahlung beeinflusst die Gehirnaktivität während der Ruhephase. Ob das für die Hirnfunktion schädlich ist, muss noch erforscht werden. Beim Telefonieren mit dem Handy im realen Zustand ist kein Abstand und die Antenne ist nicht vor dem Ohr sondern zeigt rückwärts in Richtung der temporalen und okzipitalen Hirnrinde.

**Quelle:** Lv B, Chen Z, Wu T, Shao Q, Yan D, Ma L, Lu K, Xie Y (2014): The alteration of spontaneous low frequency oscillations caused by acute electromagnetic fields exposure. *Clinical Neurophysiology* 125, 277–286

## Niederfrequenzwirkung auf Stammzellen

# 50-Hz-Felder verändern Gene in neuronalen Stammzellen

Primärkulturen von embryonalen neuronalen Stammzellen (eNSCs), die zu Neurosphären herangewachsen sind, wurden intermittierenden 50-Hz-Feldern verschiedener Dauer und Intensitäten ausgesetzt. Es gab keine signifikanten Unterschiede im Zellwachstum, in der DNA-Synthese, dem Durchmesser der Neurosphären und verschiedenen Para-

### metern im Zellzyklus, aber die Regulation einiger Gene für die neuronale Zelldifferenzierung war verändert.

Während der Entwicklung im Mutterleib ist das Gehirn sehr anfällig für äußere physikalische und chemische Einwirkungen. Embryonale neuronale Stammzellen, aus denen Nervenzellen, Astrozyten und Oligodendrozyten differenzieren, bieten ein einzigartiges In-Vitro-Modell zur Untersuchung des Einflusses von genetischen und umweltbedingten Faktoren auf die Embryonalentwicklung. Deren Wachstum und Differenzierung beeinflusst die Anzahl von Neuronalen Stammzellen (NSCs) und Nervenzellen in jeder Region des Gehirns. Das Ziel dieser Studie war, zu überprüfen, ob intermittierende 50-Hz-Magnetfelder das Zellwachstum und die Zelldifferenzierung beeinträchtigen. Die Experimente wurden Doppelblindverfahren durchgeführt, der Computer bestimmte, wann Feldeinwirkung bzw. Scheinbefeldung erfolgte. Die Magnetfelder hatten die Intensitäten von 0,5, 1 und 2 mT für 3 Tage oder 2 mT für 1, 2 oder 3 Tage, die intermittierende Feldeinwirkung erfolgte mit 5 min an und 10 min aus. Untersucht wurden Lebensfähigkeit der Zellen, Durchmesser der Neurosphären, DNA-Synthese, Zellzyklus, Zellwachstum und Zelldifferenzierung.

Bei der Lebensfähigkeit ergaben sich kaum Unterschiede zwischen befeldeten und scheinbefeldeten Zellen, Durchmesser der Neurosphären und DNA-Synthese waren nicht verändert. Auch beim Zellzyklus gab es keine signifikanten Unterschiede, auch nicht bei den Transkripten der Zellzyklus-relevanten Gene.

Bei den Experimenten zur Differenzierung der eNSCs gab es jedoch Unterschiede bei den Genen, die für die Regulation der Zelldifferenzierung zuständig sind. Die relativen mRNA-Konzentrationen (Transkript-Konzentrationen) einiger frühen Gene, die mit Differenzierung zu tun haben, waren signifikant verändert. Das zeigt, dass intermittierende 50-Hz-Felder die Fähigkeit haben, Veränderungen auf der Transkript-Ebene während der Differenzierung zu erzeugen. Die intermittierenden 50-Hz-Felder beeinflussen die Expression früher Gene für die Differenzierung der Nervenzellen, wobei der Prozentsatz der Nervenzellen nicht verändert war. Die Tatsache, dass die mRNA-Konzentrationen der frühen Gene hochreguliert waren (u. a. *Tuj1*), aber der Prozentsatz von Neuronen und Astrozyten nicht verändert war, deutet auf kompensatorische Mechanismen auf der Translations- und Posttranslationsebene hin. Das Gen *Tuj1*, das für ein Protein des Neuronen-Zytoskeletts codiert, wurde hochreguliert. Das Genprodukt kann zu Untersuchungen herangezogen werden, um das Wachstum der Axone und Reifung der Nervenzellen zu bewerten. Die Ergebnisse zeigen, dass die intermittierende 50-Hz-Exposition möglicherweise auf diese Prozesse einwirkt.

Zusammenfassend lässt sich sagen: Die Ergebnisse dieser Studie zeigen demnach, dass die 50-Hz-Felder die frühen Gene der Differenzierung beeinflussen, jedoch nicht den Prozentsatz der Neuronen verändern. Die intermittierenden 50-Hz-Felder verändern die neuronale Differenzierung durch Veränderung der Transkription von Genen, die mit der neuronalen Differenzierung der eNSCs in vitro assoziiert sind. Da es keine bedeutenden schädlichen Wirkungen auf das Wachstum (Anzahl der Neuronen) der eNSCs gab, kann man schließen, dass die Magnetfeldwirkung auf der Transkriptionsebene in späteren Prozessen kompensiert wird und/oder mit der Reifung der Neuronen zu tun hat. Das bedarf weiterer Untersuchungen.

**Quelle:** Ma Q, Deng P, Zhu G, Liu C, Zhang L et al. (2014): Extremely Low-Frequency Electromagnetic Fields Affect Transcript Levels of Neuronal Differentiation-Related Genes in Embryonic Neural Stem Cells. PLoS ONE 9 (3), e90041. doi:10.1371/journal.pone.0090041

### Mobilfunk, Wirtschaft und Politik

## Mobilfunk: Keine Veränderung der politischen Situation

**Zwei Autoren befassen sich mit der Schädlichkeit elektromagnetischer Strahlung durch Funktechnik auf sehr verschiedene Weise, so dass die unverändert ignorante Politik deutlich wird. Die Autoren schildern und analysieren den Stand der öffentlichen Darstellung des Forschungsstandes und der absurden Situation von elektrosensiblen Personen.**

Der erste Beitrag heißt „EHS – ein unbequemes Krankheitsbild?“ Er ist von einer unmittelbar Betroffenen geschrieben, einer elektrosensiblen Person. Die Autorin erläutert die politische Situation und fragt, wie unser biologisches System „diesen fortschrittlichen Zustand“ der permanenten Befeldung mit gepulsten elektromagnetischen Feldern bewertet: „Welche „Rückmeldungen“ erhalten wir dazu von unseren Knochen-, Gelenk- und Muskelzellen, unserem Blutkreislauf und unserem Nervensystem?“ Trotz der Beteuerungen von staatlicher Seite, dass es keine Auswirkungen unterhalb der Grenzwerte gibt, zeigen sich bei immer mehr Menschen Funktionsstörungen durch Hochfrequenzeinwirkung. Zwar würden die gesundheitlichen Beschwerden auch von offiziellen Stellen nicht bestritten, allerdings seien sie nicht durch elektromagnetische Felder verursacht. Es haben sich verschiedene Begriffe herausgebildet zur Benennung des Phänomens und der Betroffenen, „Elektrohypersensibilität“, „Mikrowellensyndrom“, „EMF-Betroffene“ und „Hochfrequenzgeschädigte“ zum Beispiel.

„Prekäre Lebensumstände“ nennt die Autorin die Situation der elektrosensiblen Menschen, denn seit 20 Jahren versuchen sie vergeblich, bei Politikern, Behörden und Medien Gehör zu finden, damit Abhilfe geschaffen werden kann. Da nichts geschieht, seien sie zu Dauerflüchtlingen geworden, die ihre normale Umgebung abschirmen, aber schließlich aufgeben müssen, weil sie der Strahlung nicht entgehen können. Finanzielle Einbußen sind die Folge. Die Autorin bringt es auf den Punkt, wenn sie sagt: „Elektrohypersensibilität = ärztliche Therapie nach Maßgabe der Mobilfunkindustrie“. Sie verweist dabei auf die Tatsache, dass die Mobilfunkindustrie ärztliche Fortbildung veranstaltet, für die die Ärzte Punkte bekommen, aber nicht wirklich fortgebildet, sondern irreführt werden. Die Elektrosensiblen befinden sich in einem Teufelskreis, in dem Behörden und Ärzte von der Industrie auf Kurs getrimmt werden. Da nützt die Empfehlung von offizieller Seite, sich mit den Beschwerden an einen „Arzt Ihres Vertrauens“ zu wenden, gar nichts.

Als Elektrosensible hat die Autorin Erfahrungen mit den wissenschaftlichen Untersuchungen, die auch Provokationsstudien genannt werden. Sie zeigt die Mängel auf, die dazu führen, dass die Probanden nicht die erwarteten Reaktionen zeigen und wundert sich, wie ein solches Studiendesign durch angeblich gut ausgebildete Wissenschaftler abgesehnet werden kann. Kein Mensch reagiert auf „Strahlung an“ mit Beschwerden und „Strahlung aus“ beschwerdefrei, wie es eine Glühbirne tut: „Strom ein: Glühbirne brennt – Strom aus: Glühbirne erlischt.“ Sie schreibt weiter: „Was für eine Erklärung könnte es dafür geben, dass versierten, erfahrenen und kompetenten Wissenschaftlern offenbar noch nicht aufgefallen ist, mit welchen Mängeln ihre eigenen Studien behaftet sind? Was für eine Erklärung könnte es dafür geben, dass das Peer-review-Verfahren ausgerechnet bei diesen Studien nicht zu greifen scheint? Oder wie ist es sonst zu erklären, dass diese Studien den betreffenden Wissenschaftlern noch nicht um die Ohren geflogen sind? Wenn hier also jemand „versagt“ hat, dann sind