

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Anfang August bis Anfang November 2018 wurden 120 neue Publikationen identifiziert, von denen 14 von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Fünf davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Einflüsse von hochfrequenten elektromagnetischen Felder auf das männliche Fortpflanzungssystem (Houston et al. 2018)

In der Publikation von Houston *et al.* (2018) wurden frühere Beobachtungen bezüglich eines schädigenden Einflusses von HF-EMF auf Zellen des männlichen Fortpflanzungssystems näher untersucht. Dabei wurden Zelllinien und primäre Zellen der Maus, die aus verschiedenen Entwicklungsstadien von der Keimzelle bis zum reifen Spermium stammen, einem nicht-modulierten 1.8 GHz EMF ausgesetzt (1-6 Stunden, SAR: 150 mW/kg). Zudem wurden einige der Experimente auch mit einer zehnmal höheren Dosis (SAR: 1.5 W/kg) durchgeführt, wobei vergleichbare Ergebnisse gefunden wurden, ohne aber eine eindeutige Dosis-Wirkung-Abhängigkeit festzustellen. In Spermatogonien (Keimzellen vor der Reifeteilung) sowie in Spermatozyten (Zellen in der Reifeteilung) haben die Autoren eine signifikante Zunahme von reaktiven Sauerstoffmolekülen (ROS) in den Mitochondrien festgestellt, die mit der Dauer der Exposition zunahm. Demgegenüber zeigten die reifen Spermien sowie diverse ausdifferenzierte Kontrollzellen aus anderen Geweben keine Zunahme der ROS. Die Autoren versuchten auch den Ursprung dieser vermehrten ROS-Bildung zu eruieren. Sie fanden Hinweise, dass das HF-EMF einen Komplex der mitochondrialen Elektronentransferkette stört, der für die zelluläre Energieproduktion (in Form von ATP) verantwortlich ist. Allerdings scheinen diese Keimzellen die gebildeten reaktiven Moleküle in den Mitochondrien neutralisieren zu können, da keine Anzeichen von Schädigungen von Fettsäuren (Lipidperoxidation) und der Erbsubstanz (DNS Strangbrüche und oxidative Schäden) gefunden wurden. Diese Schlussfolgerung steht vordergründig im Widerspruch zu anderen Publikationen, wo die gleiche Spermatozyten-Zelllinie und ebenfalls ein 1.8 GHz HF-EMF verwendet wurde (z.B.: Liu et al. 2013; Li et al. 2018). Allerdings könnten hier die längeren und intensiveren Expositionsbedingungen eine Rolle spielen, die zu einer Kumulation der ROS-Bildung und schliesslich zu einer Zellschädigung führen. Anders verhielten sich die reifen Spermien, bei denen die Autoren zwar keinen Anstieg von ROS festgestellt haben, dafür aber einen temporären Anstieg von Anzeichen von DNS Schädigungen. Dies hatte eine leichte aber signifikante Reduktion der Spermienqualität (beispielsweise Mobilität) nach 4 Stunden Exposition zur Folge.

Diese Studie ist insgesamt gut gemacht und liefert neue Hinweise bezüglich der möglichen Entstehung von ROS unter HF-EMF Exposition im männlichen Reproduktionssystem und den Konsequenzen für die verschiedenen Entwicklungsstadien der Spermatogenese. Wie auch von den Autoren diskutiert, können diese Daten aus der Maus nicht direkt auf den Menschen übertragen werden. Dies begründet sich in der unterschiedlichen Empfindlichkeit bezüglich der Exposition und den Fähigkeiten, mit Ungleichgewichten im Oxidations-Reduktions-Status umzugehen.

Mechanistische Untersuchung des Einflusses niederfrequenter Magnetfelder auf grundlegende zelluläre Signalkaskaden (Wu et al. 2018)

Obwohl die *in vitro* Studie von Wu *et al.* (2018) keine direkten Erkenntnisse in Bezug auf gesundheitliche Beeinträchtigungen durch elektromagnetische Felder liefert, sind die umfangreichen Untersuchungsergebnisse doch erwähnenswert. Die Autoren beschreiben die Aktivierung eines komplexen Netzwerks von Signalkaskaden und Wechselwirkungen durch NF-MF Exposition (50 Hz, 0.4 mT für 30 min), das sich schlussendlich in eine veränderte Dynamik der Zytoskeletts (Mikrotubuli-Filamente) auswirkt, was sich auf die Struktur und Mobilität der Zellen aber auch auf zellinterne Transport- und Zellteilungsmechanismen auswirken kann. Dabei wurde gezeigt, dass ein zellmembrangebundener Kalziumkanal sowie ein Rezeptor eines Wachstumsfaktors eine zentrale Rolle spielen. Interessanterweise könnten zahlreiche in anderen Publikationen beschriebene Effekte von EMF-Exposition durch diese Regelmechanismen ausgelöst worden sein (z.B. Aktivierung von Signalkaskaden, reduzierte Zellteilung). In der Tat wurde die Aktivierung beziehungsweise Regulation einiger dieser Komponenten schon öfters beobachtet, jedoch wurde der schrittweise Ablauf noch nie so umfassend analysiert und schlüssig aufgezeigt.

Niederfrequente Magnetfelder, Cryptochrom und reaktive Sauerstoffmoleküle (Sherrard et al. 2018)

Cryptochrom (CRY) ist ein Photorezeptor, d.h. ein Protein, das auf blaues Licht reagiert und Licht braucht, um seine weiteren Funktionen wahrzunehmen. Über die Rolle von CRY als möglicher Magnetfeldrezeptor wurde im [BERENIS-Newsletter Nr. 13](#) ausführlich berichtet. CRY spielt bei einer Vielzahl von Tierarten wie beispielsweise Zugvögeln eine massgebliche Rolle bei der Wahrnehmung des Erdmagnetfeldes. In der Studie von Sherrard *et al.* (2018) zeigte sich, dass gepulste NF-MF (10 Hz) mit einer Spitzenamplitude von 1.8 mT zu einem Vermeidungsverhalten bei Fruchtfliegen-Larven (*Drosophila*) sowie zur Produktion von reaktiven Sauerstoffmolekülen (ROS) in Zelllinien von Mensch und Maus (HEK bzw. MEF) führen. Interessanterweise haben die Autoren festgestellt, dass diese Reaktionen das Vorhandensein von CRY voraussetzen. Mithilfe von biochemischen Experimenten und bildgebenden Verfahren konnte gezeigt werden, dass bei der Exposition von Säugetierzellen mit gepulsten NF-MF die Bildung von ROS stimuliert wird, was auf eine Stressreaktion und Zellalterung hinweist. Darüber hinaus wurde das Zellwachstum verlangsamt und die Expression von Genen induziert, von denen bekannt ist, dass sie aufgrund von ROS-Produktion herbeigeführt wird.

Diese Studie bestätigt CRY als Magnetorezeptor. Die Ergebnisse deuten aber auch darauf hin, dass CRY für das erhöhte Vermeidungsverhalten der *Drosophila*-Larven und die ROS-Produktion in den untersuchten Säugerzellen verantwortlich ist. Um dies zu evaluieren wurden mutierte Fliegen sowie CRY-defizitäre Zellen („Knockout“) erzeugt. Entsprechende Kontrollen bzw. Positivkontrollen (blaues Licht) wurden ebenfalls durchgeführt.

Spontane elektrische Aktivität neuronaler Zellkulturen ist nach HF-EMF Exposition (1800 MHz) reduziert (El Khoueiry et al. 2018)

In der Studie von El Khoueiry *et al.* (2018) wurde die spontane elektrische Aktivität (konkret Burst-Aktivität) in embryonalen neuronalen Zellkulturen von Ratten in einer Anordnung von 60 Elektroden gemessen. Die Kulturen wurden für 15 Minuten einem HF-EMF (1800 MHz, SAR: 0.01 bis 9.2 W/kg, GSM und nicht-modulierte Signale) ausgesetzt. Dabei stellten die Autoren fest, dass die Burst-Rate - also das Auftreten von Bursts - während der Exposition dosisabhängig reduziert war, sowohl für GSM-Exposition und kontinuierliche Exposition (keine Modulation, gleiche SAR). Bei der höchsten SAR hielt diese Reduktion länger an als die Exposition, und bei GSM-Exposition waren die Effekte

etwas deutlicher als bei Exposition ohne Modulation. Auch im Kontrollexperiment zeigte sich eine leichte Abnahme der Burst-Rate. Da Exposition mit hohen Intensitäten zwangsläufig zu einer Erhöhung der Temperatur führt, wurde auch der Effekt einer direkten Erwärmung der Zellkulturen untersucht. Diese Erwärmung hatte einen Anstieg der Burst-Rate zur Folge, der sich auch in der Abkühlungsphase weiter fortsetzte. Die Autoren interpretierten ihre Resultate als Hinweis, dass es eine dosisabhängige Beeinflussung neuronaler Aktivität durch HF-EMF gibt, die zum Teil nicht thermischer Natur ist. Es kann allerdings nicht ausgeschlossen werden, dass die beobachteten Effekte ein Artefakt der Exposition sind. Um klare Schlussfolgerungen ziehen zu können, müssten noch andere Expositionsszenarien getestet werden.

2) Epidemiologische Studien

Hochfrequente elektromagnetische Felder und Verhaltensauffälligkeiten bei 5-jährigen Kindern (Guxens et al. 2018)

Die Studie von Guxens *et al.* (2018) mit 3'102 niederländischen Fünfjährigen untersuchte den Zusammenhang zwischen HF-EMF an ihrem Wohnort und Verhaltensproblemen. HF-EMF von Mobilfunkbasisstationen am Wohnort wurde modelliert. Angaben zu Innenraumquellen (WLAN und Schnurlostelefon-Basisstationen) sowie der Gebrauch von Schnurlos- und Mobiltelefonen wurden mittels Fragebogen erhoben. Sowohl die Eltern wie auch die Lehrer füllten einen validierten Fragebogen zu mehreren Aspekten von Verhaltensauffälligkeiten aus. Unter Berücksichtigung einer Vielzahl von anderen Einflussfaktoren wurde für Mobil- und Schnurlostelefonbenutzung kein Zusammenhang mit Verhaltensproblemen gefunden. Kinder mit hoher HF-EMF Exposition von Mobilfunkbasisstationen zeigten häufiger emotionale Symptome. Kinder mit Schnurlostelefon-Basisstationen zu Hause zeigten gemäss Einschätzung der Lehrer weniger häufig ein prosoziales Verhalten und hatten gemäss Eltern weniger gute Beziehungen zu ihren Kameraden. Zudem gaben die Mütter von Kindern, welche täglich mehr als 90 Minuten vor dem Fernseher verbrachten, häufiger Hyperaktivitäts- und Unaufmerksamkeitssymptome ihrer Kinder an.

Stärken dieser Studie sind die relativ grosse Stichprobe und die Berücksichtigung einer Vielzahl möglicher Störfaktoren. Dennoch kann nicht ausgeschlossen werden, dass die vereinzelt beobachteten Assoziationen zufällig zustande gekommen oder auf andere Faktoren zurückzuführen sind. Die Assoziationen sind unterschiedlich, je nachdem, ob man die Angaben der Eltern oder der Lehrer berücksichtigt. Über die tatsächliche Höhe der Exposition gibt es keine Angaben in der Studie. Dazu kommt, dass 5-jährige grundsätzlich kaum oder relativ wenig telefonieren. Entsprechend sind Aussagen hinsichtlich eines fehlenden Zusammenhangs zwischen Mobil- und Schnurlostelefonbenutzung und Verhaltensproblemen nur sehr eingeschränkt aussagekräftig.

Literaturangaben

El Khoueiry C, Moretti D, Renom R, Camera F, Orlacchio R, Garenne A, Poullietier de Gannes F, Poque-Haro E, Lagroye I, Veyret B, Lewis N (2018): **Decreased spontaneous electrical activity in neuronal networks exposed to radiofrequency 1800 MHz signals.** J Neurophysiol. 2018 Aug 22.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30133383>

Guxens M, Vermeulen R, Steenkamer I, Beekhuizen J, Vrijkkotte TGM, Kromhout H, Huss A (2018): **Radiofrequency electromagnetic fields, screen time, and emotional and behavioural problems in 5-**

year-old children. Int J Hyg Environ Health. 2018 Oct 9.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30314943>

Houston BJ, Nixon B, King BV, Aitken RJ, De Iuliis GN (2018): **Probing the Origins of 1,800 MHz Radio Frequency Electromagnetic Radiation Induced Damage in Mouse Immortalized Germ Cells and Spermatozoa in vitro.** Front Public Health. 2018 Sep 21;6:270.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30298125>

Li R, Ma M, Li L, Zhao L, Zhang T, Gao X, Zhang D, Zhu Y, Peng Q, Luo X, Wang M (2018): **The Protective Effect of Autophagy on DNA Damage in Mouse Spermatocyte-Derived Cells Exposed to 1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Fields.** Cell Physiol Biochem 48(1).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29996120>

Liu C, Duan W, Xu S, Chen C, He M, Zhang L, Yu Z, Zhou Z (2013): **Exposure to 1800 MHz radiofrequency electromagnetic radiation induces oxidative DNA base damage in a mouse spermatocyte-derived cell line.** Toxicol Lett 218(1).

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23333639>

Sherrard RM, Morellini N, Jourdan N, El-Esawi M, Arthaut LD, Niessner C, Rouyer F, Klarsfeld A, Doulazmi M, Witczak J, d'Harlingue A, Mariani J, Mclure I, Martino CF, Ahmad M (2018): **Low-intensity electromagnetic fields induce human cryptochrome to modulate intracellular reactive oxygen species.** PLoS Biol. 2018 Oct 2;16(10):e2006229.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30278045>

Wu X, Du J, Song W, Cao M, Chen S, Xia R (2018): **Weak power frequency magnetic fields induce microtubule cytoskeleton reorganization depending on the epidermal growth factor receptor and the calcium related signaling.** PLoS One. 2018 Oct 12;13(10):e0205569.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/30312357>

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Department Epidemiology and Public Health
Environmental Exposures and Health Unit
Socinstr. 57, Postfach, 4002 Basel
Tel: +41 61 284 8111
E-Mail: stefan.dongus@swisstph.ch

Weitere Informationen:

[Beratende Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung \(BERENIS\)](#)

[Abkürzungsverzeichnis \(als pdf\)](#)