

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum von Anfang Mai bis Ende Juli 2021 wurden 106 neue Publikationen identifiziert, von denen sechs von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Zwei davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst. Zusätzlich wird eine Studie zur Risikowahrnehmung von 5G (Frey 2021) besprochen, die bereits Ende 2020 als Vorab-Publikation (*Preprint*) erfasst wurde, und im September 2021 schliesslich in der endgültigen Fassung (*peer-reviewed*) veröffentlicht worden ist.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

HF-EMF-Exposition von jungen Mäusen nach der Geburt verändert postsynaptische Strukturen und hemmt das Auswachsen von Neuriten in Nervenzellen des Hippocampus (Kim et al. 2021)

Auswirkungen von HF-EMF auf das Lernverhalten und Gedächtnis von Kindern sind wenig erforscht. In einer Tierstudie mit jungen Mäusen untersuchten Kim *et al.* (2021) die Gedächtnisleistung nach Exposition der Jungtiere für 28 Tage für 5 Stunden pro Tag (1850 MHz, Ganzkörper-SAR: 4 W/kg). Weiterhin wurden die Länge und die Morphologie der Auswüchse der Nervenzellen (Neuriten) sowie deren Verzweigungen ("dendritic spines") gemessen. Diese sind wichtig für die synaptische Aktivität und die Signalübertragung. In dieser Studie wurden die Untersuchungen einerseits in der Hirnregion Hippocampus, die Teil des limbischen Systems ist und eine Rolle in der Verarbeitung von Emotionen, beim Lernen und beim Gedächtnis spielt, sowie in primären Zellkulturen aus dieser Hirnregion vorgenommen. Diese wurden ebenfalls bei 4 W/kg SAR für 5 Stunden pro Tag für insgesamt 9 Tage exponiert. Proteine, die funktionell für die Signalübertragung von Bedeutung sind, wie Glutamat-Rezeptoren, "postsynaptic density protein" (PSD95) sowie "brain-derived neurotropic factor" (BDNF) wurden zu verschiedenen Zeitpunkten analysiert. Eine wichtige Aufgabe von BDNF, einem Wachstumsfaktor, der insbesondere im Bereich von Vorderhirn, Hippocampus und Großhirnrinde vorkommt, ist der Schutz von bereits existierenden Neuronen und Synapsen. Ferner stimuliert BDNF das Wachstum und die Weiterentwicklung neuer Nervenzellen, neuronaler Bahnen und Synapsen.

Die Resultate *in vivo* zeigten, dass die Anzahl der "dendritic spines" in Neuronen der Unterregion *Gyrus dentatus*, nicht aber *Cornu ammonis* des Hippocampus bei HF-EMF-exponierten Tieren reduziert war. Zudem waren die Glutamat-Rezeptoren auf den pilzförmigen Fortsätzen sowie die Expression von BDNF in beiden Regionen geringer. In Übereinstimmung mit den morphologischen Befunden nahm die Gedächtnisleistung der HF-EMF-exponierten Tiere im Vergleich zu scheinexponierten Kontrollen ab. In den Experimenten mit kultivierten primären Nervenzellen nahm PSD95 mit der Zeit zu, aber diese Zunahme war signifikant geringer bei HF-EMF-exponierten Neuronen während der Tage 5-9 *in vitro*. Die Neuriten waren bei den HF-EMF-exponierten Nervenzellkulturen ebenfalls signifikant verkürzt.

Obleich sich diese Ergebnisse mit denen anderer Studien decken (siehe auch Chen *et al.* 2021), die eine Beeinträchtigung der Neurogenese nach HF-EMF-Exposition *in vitro* zeigten, können Temperatureffekte in dieser Studie nicht ausgeschlossen werden. Ein Temperaturanstieg von 0.6°C pro Stunde wurde in einem Phantom in einer Salzlösung ermittelt.

Veränderung der Differenzierung von Neuronen durch hochfrequente EMF (Chen et al. 2021)

In der *in vitro* Studie von Chen *et al.* (2021) wurde der Einfluss eines GSM-modulierten HF-EMF (1.8 GHz, SAR: 4 W/kg, 5/10 Minuten an/aus) auf die Entwicklung von Neuronen untersucht. Dazu haben die Autoren neuronale Stammzellen von Mausembryonen während 48 Stunden dem HF-EMF

ausgesetzt. Die Exposition der Zellen wurde ein bis zwei Tage nach dem Auslösen des Differenzierungsprozesses durchgeführt, der unter unbeeinflussten Bedingungen zu Ausdifferenzierung zu 55% Neuronen und 35% Astrozyten führte. Zudem wurden die wichtigsten Beobachtungen und Befunde auch in differenzierenden Neuro-2a Neuroblastom-Zellen bestätigt. Zuerst haben die Autoren die globale Veränderung der Genexpression durch die HF-EMF-Exposition während der Differenzierung analysiert und dabei Änderungen der Expression von circa 240 Genen gefunden. Viele dieser Gene sind an der Ausbildung der Nervenfortsätze (Dendriten, Axone) und Neuronalentwicklung beteiligt, sei es in der Regulierung diverser Signalkaskaden oder des Zytoskeletts (Mikrotubuli-/Aktin-Filamente). Die Filamente des Zytoskeletts spielen eine wichtige Rolle bei der Ausbildung der Zellfortsätze, den sogenannten Neuriten, von kultivierten Neuronen. Den Hinweisen aus der Expressionsanalyse wurde dann auf molekularer und morphologischer Ebene nachgegangen. So wurden durch die HF-EMF-Exposition die Länge und Anzahl der Verästelung der Neuriten verringert. Dies ging einher mit einer Reduktion des Mikrotubuli-assoziierten Proteins DCX und des Ephrin-Ligand-Rezeptors Epha5. Die Autoren untersuchten mittels pharmakologischer Inhibierung und Modulation von Signalwegen den Mechanismus, der zu den Veränderungen der Rezeptoraktivität führte.

Die Autoren schliessen aus ihren Beobachtungen, dass der Ephrin-Ligand-Rezeptor Epha5 eine zentrale Rolle für die Verminderung der neuronalen Entwicklung durch GSM-modulierte HF-EMF spielt, und spekulieren über veränderte Kalzium-Signalwege als Ursache für die Reduktion von Epha5. Neben der gut dokumentierten Rolle in der Entwicklung und Funktion von Neuronen wird eine Beeinflussung von Kalzium- und anderen Ionenkanälen als mögliche Ursache für Effekte beziehungsweise als Wirkungsmechanismus von EMF häufig genannt. Diese werden in einer aktuellen Übersichtsarbeit von Bertagna *et al.* (2021) ausführlicher diskutiert (siehe unten). Die Befunde der Studie von Chen *et al.* (2021) und ähnliche Beobachtungen in Tiermodellen und kultivierten Zellen bezüglich neuronaler Entwicklung sind demnach nachvollziehbar und bedürfen einer genaueren Betrachtung.

2) Studie zur Risikowahrnehmung

Risikowahrnehmung von 5G: Eine systematische Fallstudie (Frey 2021)

Frey (2021) hat zwei Erhebungen zur Risikowahrnehmung bezüglich der neuen Mobilfunktechnologie 5G in der Schweiz durchgeführt. Die erste Erhebung fand vor der Veröffentlichung des 5G-Expertenberichts des Eidgenössischen Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK, November 2019)¹ statt. Sie zeigte, dass 65 % der 2919 Befragten 5G mit einem mittleren bis hohen Risiko verbinden, und nur einen geringen bis gar keinen persönlichen Nutzen in der neuen Mobilfunktechnologie sehen. Andererseits bewerteten 61 % den Nutzen für die Gesellschaft und 76 % denjenigen für die Wirtschaft jeweils als hoch. Es zeigte sich auch ein Bedarf für mehr Regulierung (74 %) und mehr Forschung (90 %). Im Falle eines nationalen Referendums hätten 52 % gegen 5G gestimmt. Faktoren, die zu einer höheren Risikobewertung führten, waren das subjektive Empfinden einer Bedrohung und elektromagnetische Hypersensibilität (EHS). Vertrauen in die Behörden, Geschlecht (männlich), und objektives Wissen zu 5G resultierten in einer tieferen Bewertung. In der zweiten Studie (Querschnittsstudie, 1013 andere Befragte) ergaben sich gleiche Ergebnisse wie in der Ersten. Die Veröffentlichung des Berichts hatte die Meinung nicht beeinflusst. Es wurde auch ein longitudinales Feldexperiment durchgeführt, bei dem 839 Teilnehmende der ersten

¹ UVEK (2019): Bericht Mobilfunk und Strahlung. Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Arbeitsgruppe Mobilfunk und Strahlung. 18. November 2019.
<https://www.news.admin.ch/news/message/attachments/59384.pdf>

Studie nochmals befragt wurden. Die Teilnehmenden wurden zufällig in vier Gruppen eingeteilt, die vor der zweiten Erhebung entweder Informationsmaterial aus dem Expertenbericht erhielten (unterschiedlich detailliert), oder aber keine Unterlagen erhielten. Die Risikowahrnehmung der Befragten veränderte sich in beide Richtungen und es zeigte sich, dass blosser Aufklärung, wie in diesem Experiment, insgesamt kaum zu einer reduzierten Risikowahrnehmung zu führen scheint. Das Vertrauen in die Behörden sowie das Ausmass der wahrgenommenen Bedrohung scheinen potenziell wichtig für eine Veränderung der Risikobewertung zu sein. Die Studie zeigt, dass diese einmalige Information einen geringen Einfluss auf die Risikoeinschätzung hat. Sie kann aber keine Aussage darüber machen, wie sich die Risikoeinschätzung in einer Gesellschaft langfristig aufgrund der Vermittlung verschiedenster Informationen, z.B. in Medien, verändert.

3) Weitere Publikationen zur Information: Übersichtsarbeiten

Einfluss von elektromagnetischen Feldern auf Ionenkanäle

Basierend auf Studien, die in den Jahren 2005 bis 2020 veröffentlicht wurden, untersuchte die systematische Übersichtsarbeit von Bertagna *et al.* (2021) den Einfluss von EMF auf Ionenkanäle in neuronalen Zellen. Dabei wurden insgesamt 21 Studien zusammengefasst.

Gesundheitseffekte von WLAN

Die Übersichtsarbeit von Dongus *et al.* (2021) befasste sich mit biologischen und gesundheitlichen Auswirkungen von WLAN. Hierfür wurden systematisch Studien erfasst, die seit 1997 veröffentlicht wurden, und insgesamt 23 Studien zusammengefasst.

Literaturangaben

Bertagna F, Lewis R, Silva SRP, McFadden J, Jeevaratnam K (2021): **Effects of electromagnetic fields on neuronal ion channels: a systematic review.** Ann N Y Acad Sci. 2021 May 4.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33945157/>

Chen C, Ma Q, Deng P, Lin M, Gao P, He M, Lu Y, Pi H, He Z, Zhou C, Zhang Y, Yu Z, Zhang L (2021): **1800 MHz Radiofrequency Electromagnetic Field Impairs Neurite Outgrowth Through Inhibiting EPHA5 Signaling.** Front Cell Dev Biol. 2021 Apr 12;9:657623.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33912567/>

Dongus S, Jalilian H, Schürmann D, Rösli M (2021): **Health effects of WiFi radiation: a review based on systematic quality evaluation.** Crit Rev Environ Sci Technol. Epub 2021 Jul 24.

<https://doi.org/10.1080/10643389.2021.1951549>

Frey R (2021): **Psychological Drivers of Individual Differences in Risk Perception: A Systematic Case Study Focusing on 5G.** Psychol Sci. 2021 Sep 22:956797621998312.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34550820/>

Kim JH, Chung KH, Hwang YR, Park HR, Kim HJ, Kim HG, Kim HR (2021): **Exposure to RF-EMF Alters Postsynaptic Structure and Hinders Neurite Outgrowth in Developing Hippocampal Neurons of Early Postnatal Mice.** Int J Mol Sci. 2021 May 19;22(10):5340.

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34069478/>

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 \(als pdf\)](#)