

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Mai bis Juli 2015 wurden 94 neue Publikationen identifiziert, von denen 12 von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Vier davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Durch niederfrequente magnetische Felder ausgelöste Gedächtnisdefizite der Maus können durch Neuritin verhindert werden (Zhao et al. 2015)

Es gibt Hinweise, dass niederfrequente elektromagnetische Felder die Gedächtnisleistung beeinflussen. In der Studie von Zhao *et al.* (2015) wurde in einem Mausmodell gezeigt, dass eine Exposition von 1 mT, 50 Hz für 12 Stunden pro Tag die Gedächtnisleistung herabsetzt. Dieser Effekt trat jedoch lediglich bei einer 7- und 10-tägigen Magnetfeldexposition auf, während die Gedächtnisleistung nach Exposition für 14 und 21 Tage nicht mehr verringert war. Bei Gedächtnistests muss sichergestellt sein, dass der Effekt nicht durch eine Einschränkung der Bewegungskoordination der Tiere entsteht, wobei die Tiere langsamer reagieren, da sie langsamer laufen. Dies konnte in der vorliegenden Studie ausgeschlossen werden. Das Experiment deutet darauf hin, dass der Effekt vorübergehend ist. Neben der Zeitabhängigkeit wurde an den Tagen 7 und 10 eine Korrelation der Gedächtnisleistung und der Dichte der dendritischen Dornen (*Spines*) festgestellt. Für ähnliche Studien an Versuchstieren ist bisher kein Mechanismus bekannt, wie die Magnetfeldexposition Veränderungen der Gedächtnisleistung hervorruft. Eine erhöhte Expression von Neuritin, die mittels Injektionen eines Adenovirus-assoziierten Vektors erzielt wurde, verhinderte die Verminderung der Gedächtnisleistung der Mäuse durch das Magnetfeld. Neuritin ist ein für die Entwicklung des Nervensystems bedeutender neurotropher Faktor, da er unter anderem zur Reifung von Synapsen und zur Differenzierung von Nervenzellen beiträgt. Neuritin erhöhte die Verzweigung der dendritischen *Spines* nach Magnetfeldexposition, und verhinderte das Defizit in der Gedächtnisleistung durch die Magnetfeldexposition an den Tagen 7 und 10. Frühere Studien hatten gezeigt, dass Neuritin eine antidepressive Wirkung hat und der Neuritin-Spiegel bei chronischem Stress vermindert ist. Ein Zusammenhang mit oxidativem Stress (ROS) wird von den Autoren vermutet, welcher zur Abnahme der *Spine*-Dichte führt und somit die Defizite in der Gedächtnisleistung hervorruft. Die Autoren weisen auf die Bedeutung ihrer Befunde im Hinblick auf mögliche Mechanismen hin.

Niederfrequente Magnetfelder und neuronale Aktivität (Yang et al. 2015)

In der Studie von Yang *et al.* (2015) haben die Autoren mittels *in vitro* elektrophysiologischen Experimenten an Körnerzellen des Ratten-Kleinhirns versucht, die Effekte von einem Magnetfeld auf die Aktivität von GABA_A-Rezeptoren zu zeigen. Daraus leiten sie die Grundlagen eines potentiellen mechanistischen Zusammenhanges zwischen Magnetfeld-Exposition und neuronalen Effekten wie z.B. Entwicklungsstörungen oder Einflüsse auf das Verhalten oder die Lernfähigkeit ab. Die neuronalen Zellen wurden für 30 bis 120 Minuten einem 50 Hz Magnetfeld (0.2 oder 1 mT) ausgesetzt, bevor der Ionenfluss durch die angeregten Rezeptor-Kanäle in der Zellmembran nach Zugabe des Neurotransmitters GABA gemessen wurde. Dieser Botenstoff löst eine Erhöhung des Einstroms von Chloridionen aus, wodurch das Aktionspotential der Nervenzelle gesenkt wird. In dieser Studie haben die Autoren in Abhängigkeit von Zeit und Dosis der Befeldung eine Zunahme des

Ionenflusses von 10 bis 20 Prozent gemessen, ohne dass dabei ein Einfluss auf die Anregbarkeit der GABA_A-Rezeptoren festgestellt wurde. Unter Verwendung von spezifischen Aktivatoren und Inhibitoren wurde zudem untersucht, welche der zellulären Signalwege regulierend auf den Magnetfeldeffekt wirken. Es wurde festgestellt, dass ein zentrales Enzym der zellulären Signalweiterleitung, die Proteinkinase C, durch das niederfrequente Magnetfeld aktiviert wird. Deren Blockierung liess den verstärkten Ionenfluss durch den GABA_A-Rezeptor bei Exposition verschwinden, während die spezifische Aktivierung dieses Signalweges zu einem vergleichbaren Effekt wie dem des Magnetfeldes führte. Für die Aktivierung der Proteinkinase C wiederum scheint der Prostaglandin-Rezeptor EP1 verantwortlich zu sein. Die Beobachtungen dieser Studie vermitteln interessante mechanistische Ansatzpunkte für weitergehende Untersuchungen bezüglich potentieller Effekte von Magnetfeldern auf das Nervensystem. Kritikpunkte sind die schlecht beschriebenen Expositionsbedingungen und die fehlende Verblindung der Experimente.

Verändert mittelfrequente Magnetfeldexposition Biomarker im Gehirn sowie Gedächtnisleistung von Mäusen? (Win-Shwe et al. 2015)

In dieser Studie wurde der Effekt von magnetischen Feldern im Mittelfrequenzbereich (21 kHz, 3.8 mT) auf Mäuse während der Entwicklung und beim Heranwachsen auf Biomarker im Hippocampus untersucht, und zwar hinsichtlich a) Entzündungen, b) Transkriptionsfaktoren, die im Zusammenhang mit Signalwegen des erregenden (exzitatorischen) Rezeptors N-Methyl-D-Aspartat (NMDA) und der Gedächtnisleistung stehen und c) oxidativem Stress auf RNS-Ebene. Weiterhin wurde eine mögliche Aktivierung der Mikroglia, die in die Abwehr von diversen Pathogenen involviert sind, histologisch untersucht. Trächtige Mäuse wurden während der Organogenese der Embryos vom Trächtigkeitstag 7-17 (1 Stunde / Tag) exponiert, und ein Teil der heranwachsenden männlichen Tiere 27-48 Tage nach der Geburt zum zweiten Mal. Entsprechende scheinexponierte Tiere wurden als Kontrollen neben Käfigkontrollen untersucht. Um potentielle Effekte während der Entwicklung und bei den Jungtieren nach der Geburt zu erfassen und zu differenzieren, wurden die Biomarker bei der einfach exponierten Gruppe 3 und 7 Wochen nach der Geburt, und bei der zweifach exponierten Gruppe 7 Wochen nach der Geburt unmittelbar nach Abschluss der Zweitexposition analysiert. Um eine Erholung zu erfassen wurde zusätzlich eine Gruppe geführt, welche auch doppelt belastet wurde, aber erst 1 Tag nach Abschluss der Zweitbelastung untersucht wurde. Die Faktoren, die im Zusammenhang mit dem NMDA-Rezeptor stehen, als auch die Entzündungsmarker und die Marker für oxidativen Stress waren bei 7 Wochen alten zweifach belasteten männlichen Tieren im Vergleich zu den gleichaltrigen aber nur einfach belasteten Tieren signifikant erhöht. Bei der einfach belasteten Gruppe, bei der die Biomarker bereits 3 Wochen nach der Geburt untersucht wurden, wurde dieser Effekt nicht beobachtet. Hinsichtlich Mikrogliaaktivierung wurden in den verschiedenen Gruppen keine Unterschiede festgestellt. Fazit dieser Studie ist, dass die Magnetfeldexposition während der Organogenese alleine nicht ausreicht, um die neurologischen und immunologisch relevanten Biomarker zu verändern. Bei zusätzlicher Magnetfeldexposition im Zeitfenster des Heranwachsens der Nachkommen weisen die Daten auf Entzündungsprozesse, oxidativen Stress und Veränderungen der Gedächtnisleistung hin. Die beobachteten Effekte in der hier verwendeten Versuchsanordnung waren reversibel und verschwanden nach Beendigung der Magnetfeldexposition.

2) Epidemiologische Studie

Gibt es einen Zusammenhang zwischen nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und körperlichen Beschwerden? (Baliatsas et al. 2015)

Der Zusammenhang zwischen nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und körperlichen Beschwerden wurde von Baliatsas *et al.* (2015) in einer epidemiologischen Studie bei 5933 erwachsenen Personen in den Niederlanden untersucht. Dabei wurde die Anzahl und Dauer von nicht-spezifischen Symptomen mittels zugesandten Fragebögen erhoben sowie auch Angaben von den Hausärzten mitberücksichtigt. Die aktuelle EMF-Belastung wurde systematisch charakterisiert, wobei verschiedene Datenquellen einbezogen wurden. Die Exposition gegenüber Mobilfunk-, Radio- und Fernsehsendeanlagen wurde mit einem Ausbreitungsmodell abgeschätzt. Die Distanz zur nächsten Hochspannungsleitung wurde mithilfe von geographischen Informationssystemen berechnet. Die Belastung durch DECT Schnurlostelefone zuhause und Mobiltelefone von anderen Personen wurde mittels eines Modells abgeschätzt, das anhand von persönlichen Messungen in einem anderen Studienkollektiv kalibriert wurde. Gebrauch oder Exposition durch stromführende Geräte (z.B. Radiowecker auf dem Nachttisch, Ladegeräte, Heizdecke oder Induktionsherd) wurde mit dem Fragebogen erhoben. Zusätzlich wurde mit dem Fragebogen die vom Befragten geschätzte Exposition gegenüber EMF insgesamt zuhause, bei der Arbeit und draussen erfragt, jeweils auf einer Skala von 0 („gar nicht“) bis 10 („sehr viel“). Die Studienteilnehmer wurden zufällig ausgewählt, wobei in Gebieten mit hoher modellierter Belastung durch Sendeanlagen ein höherer Anteil an Personen ausgewählt wurde, um möglichst viele potenziell hoch exponierte Personen mit einzuschliessen. Die Teilnahmerate lag bei 46%. Bei der Datenanalyse wurde eine Reihe von relevanten Störgrößen wie Alter, Geschlecht, Bildung, Rauchen und Alkoholkonsum berücksichtigt. Für keine der modellierten hochfrequenten Expositionen gab es einen Zusammenhang mit der Anzahl und Dauer von Beschwerden. Jedoch gab es verschiedene Zusammenhänge zwischen Symptomauftreten und Exposition gegenüber elektrischen Geräten. Am konsistentesten waren mehr und längere Symptome für Personen mit einem Ladegerät in der Nähe (≤ 50 cm) vom Kopfkissen und für Personen, die elektrische Heizdecken benutzen. In beiden Fällen war aber die Schlafqualität nicht beeinträchtigt. Personen, die weniger als 200 Meter von einer Hochspannungsleitung entfernt leben, hatten nicht mehr Symptome als der Rest des Studienkollektivs. Die selbst eingeschätzte Exposition für EMF insgesamt war mit mehr selbstberichteten und von Hausärzten diagnostizierten Symptomen, längerer Beschwerdedauer und reduzierter Schlafqualität assoziiert. Dies ist eine der grössten Studien zur Thematik, und die Expositionsabschätzung wurde sorgfältig durchgeführt. Es ist unwahrscheinlich, dass die Expositionsmodellierungen der Immissionen von Mobilfunkbasisstationen und Rundfunksendern zu systematischen Fehlern geführt haben, während das bei den selbstberichteten Angaben nicht ausgeschlossen werden kann, zum Beispiel dass Personen mit mehr Symptomen auch häufigere Gerätenutzung angeben. Die Schwäche der Expositionsmodelle liegt in ihrer Ungenauigkeit (erklärte Varianz unter 30%) und den geringen Expositionsunterschieden. Letzteres ist umso relevanter, weil die Belastung durch die eigene Mobil- und Schnurlostelefonnutzung in der Studie nicht berücksichtigt ist. Eine weitere Schwäche ist, dass es sich um eine Querschnittsstudie handelt, ohne Daten zum Zeitverlauf. Es gibt also keine Information darüber, ob zuerst die Symptome oder die Exposition aufgetreten sind. Beispielsweise könnte es sein, dass Personen mit Beschwerden häufiger eine Heizdecke benutzen, und nicht umgekehrt. Diese Studie bestätigt jedoch die Resultate von anderen Studien, dass Personen, die sich gegenüber elektromagnetischen Feldern exponiert fühlen, im Durchschnitt auch über mehr Symptome berichten.

3) Übersichtsarbeiten

ANSES-Bericht zu Tieren und ELF-MF

Der französischsprachige ANSES-Bericht (*Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail*) zum Thema „Folgen von niederfrequenten elektromagnetischen Feldern für die Gesundheit von Tieren und Tierzucht-Leistungen“ ist im August 2015 erschienen und verfügbar unter: <https://www.anses.fr/fr/system/files/SANT2013sa0037Ra.pdf>

ARIMMORA-Schlussbericht

Ziel des von der EU geförderten ARIMMORA-Projekts (*Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment*) war es, die biophysikalischen Mechanismen zu bestimmen, die dem potentiellen kausalen Zusammenhang zwischen ELF-MF-Exposition und Krebs zugrunde liegen, vor allem im Hinblick auf Leukämie bei Kindern. Der Schlussbericht des Projektes liegt nun vor: <http://arimmora-fp7.eu/index.php?page=deliverables-and-publications>

4) Weitere Informationen

Potentielle Auswirkungen von Basisstationsantennen auf die Gesundheit von Kühen (Kommentar zu Hässig et al. 2014)

Das Forschungsteam um Prof. Michael Hässig hat in der Vergangenheit mehrere Artikel zu potentiellen Auswirkungen von Basisstationsantennen auf die Gesundheit von Kühen veröffentlicht. Zum 2014 erschienenen Artikel „*Influence of Non Ionizing Radiation of Base Stations on the Activity of Redox Proteins in Bovines*“ (Hässig et al. 2014) wurde von der Forschungsstiftung Strom und Mobilfunkkommunikation ein Kommentar veröffentlicht (Dürrenberger & Fröhlich 2014), mit dem die BERENIS-Experten inhaltlich einverstanden sind:

http://www.emf.ethz.ch/fileadmin/redaktion/public/downloads/3_angebot/wissensvermittlung/komment_infobl_broch/Haessig_2014.pdf

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@unibas.ch

Literaturangaben

Baliatsas C, Bolte J, Yzermans J, Kelfkens G, Hooiveld M, Lebret E, van Kamp I (2015): **Actual and perceived exposure to electromagnetic fields and non-specific physical symptoms: An epidemiological study based on self-reported data and electronic medical records.** Int J Hyg Environ Health 2015; 218 (3): 331 – 344. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25704188>

Hässig M, Wullschleger M, Naegeli H, Kupper J, Spiess B, Kuster N, Capstick M, Murbach M (2014): **Influence of non ionizing radiation of base stations on the activity of redox proteins in bovines.** BMC Vet Res. 2014 Jun 19;10:136. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24946856>

Win-Shwe TT, Ohtani S, Ushiyama A, Kunugita N (2015): **Early exposure to intermediate-frequency magnetic fields alters brain biomarkers without histopathological changes in adult mice.** Int J Environ Res Public Health. 2015 Apr 22;12(4):4406-21. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25913185>

Yang G, Ren Z, Mei YA (2015): **Exposure to 50 Hz magnetic field modulates GABAA currents in cerebellar granule neurons through an EP receptor-mediated PKC pathway.** J Cell Mol Med. 2015 Jul 14. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26176998>

Zhao QR, Lu JM, Yao JJ, Zhang ZY, Ling C, Mei YA (2015): **Neuritin reverses deficits in murine novel object associative recognition memory caused by exposure to extremely low-frequency (50 Hz) electromagnetic fields.** Sci Rep. 2015 Jul 3;5:11768. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26138388>

Weitere Informationen und Hintergründe zur beratenden Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung (BERENIS) sowie eine Übersicht der verwendeten Abkürzungen finden Sie auf <http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01095/15189/index.html?lang=de>

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