

## **Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien**

Im Zeitraum August bis Oktober 2016 wurden 79 neue Publikationen identifiziert, von denen acht 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**

#### *Nieder- und hochfrequente elektromagnetische Felder und mögliche Gesundheitseffekte – eine Metaanalyse bestehender Datensätze (Parham et al. 2016)*

Ziel der Studie von Parham *et al.* (2016) war, basierend auf Daten aus bereits veröffentlichten Genexpressions-Studien, Verbindungen zwischen der Exposition mit nieder- und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern und Krankheiten bzw. zugrundeliegenden Signalübertragungs- und Stoffwechselwegen („Signalwegen“) zu untersuchen. Dafür wurde ein dreistufiger Prozess verwendet, bei dem die in den Studien identifizierten Gene mit Krankheiten und den oben genannten Signalwegen verknüpft wurden. Dafür wurde ein komplexer Algorithmus mit drei Schritten verwendet. Die drei Schritte umfassten (a) das Verknüpfen von Genen, die verschiedenen Krankheiten beim Menschen zugeordnet werden, mit molekularen Signalwegen, (b) das Verknüpfen von Signalwegen mit NF-MF- und HF-EMF-Mikroarray/Genchip-Daten, und (c) das Identifizieren von Zusammenhängen zwischen Krankheiten und EMF-Exposition, bei denen die Signalwege sich signifikant ähnlich sind. Dieser Algorithmus bewertet den Grad, mit dem ein bekannter genetischer Signalweg von Genveränderungen oder deren Produkten betroffen ist. Die meisten der gefundenen Signalwege standen im Zusammenhang mit Zell- oder Stoffwechselfunktionen. Die Gen-Ontologie-Datenbank (GAD) wurde im Algorithmus verwendet, um Gene, die im Zusammenhang mit Krankheiten stehen, zu verknüpfen. Die NF-MF-Datensätze waren sporadisch mit Krankheiten gekoppelt, es entstand dabei aber kein klares Muster. Signalweg-Verknüpfungen weisen auf einen möglichen Zusammenhang mit Krebs, Stoffwechselkrankheiten, neurologischer Entwicklung und neurologischer Funktion hin. Diese waren für NF-MF-Datensätze stärker ausgeprägt als für HF-EMF-Datensätze. Dieser methodische Ansatz ist vielversprechend, um aussichtsreiche zukünftige Forschungsbereiche zu identifizieren. Neurologische Funktion und Störungen sind ein Gebiet, welches in dieser Studie identifiziert wurde.

#### *Der Einfluss des statischen Erdmagnetfeldes auf Zellbewegungen (Mo et al. 2016)*

In dieser interessanten und gut gemachten *in vitro* Studie haben Mo *et al.* (2016) ausnahmsweise nicht die Wirkung von durch Menschenhand geschaffenen Magnetfeldern untersucht, sondern den Einfluss des natürlichen statischen Erdmagnetfeldes auf molekulare Vorgänge der Zelle. Dazu haben die Autoren menschliche Hirntumor-Zellen für unterschiedliche Zeiträume (3 Stunden bis 7 Tage) in einem sogenannten hypomagnetischen Feld (HMF) wachsen lassen, welches einem mehr als 250-fach reduzierten Erdmagnetfeld entspricht. Zuerst wurde festgestellt, dass nach siebentägiger HMF-Behandlung das Anhaften der Zellen an nicht oberflächenbehandelte Kulturschalen verringert ist. Dieser Effekt trat konsistent und reproduzierbar ab dreitägiger HMF-Exposition auf, konnte aber bereits - wenn auch fluktuierend - nach relativ kurzen Behandlungen (3 und 48 Stunden) beobachtet

werden. Im Weiteren zeigten die Autoren mittels komplexer automatisierter Bildanalysen, dass das HMF auch die Bewegung der Zellen in vertikaler und horizontaler Richtung sowie die Geschwindigkeit der Migration verringerte. Zusätzlich wurden Veränderungen des Zellaussehens festgestellt, wie beispielsweise eine Vergrößerung des Zellvolumens oder eine unterschiedliche Ausprägung der Zellfortsätze, die eine Rolle für Bewegung und Kommunikation der Zelle spielen. Die beobachteten Einflüsse auf Zellbewegung und Zellausprägung liessen die Autoren spekulieren, dass es einen Zusammenhang zwischen den HMF-Effekten und dem Zellskelett gibt, das aus einem komplexen Netzwerk von fadenförmigen Zellstrukturen (Filamenten) besteht. Ein Bestandteil des Zellskeletts sind die Aktin-Filamente, die vermehrt in der Nähe der Zellmembran und in Zellfortsätzen auftreten. Diese können von den Zellen sehr dynamisch durch Polymerisation und Abbau von einzelnen Aktin-Proteinen reguliert werden. Sie vermitteln nicht nur mechanische Stabilität, sondern sind auch an vielen Membranprozessen beteiligt. Basierend auf diesem Zusammenhang haben die Autoren die Aktin-Filamente untersucht und eine globale Abnahme von Aktin-Filamenten sowie weniger fadenförmige Zellfortsätze mit Aktin-Filamenten beobachtet, nachdem die Zellen für zwei Tage dem HMF ausgesetzt wurden. Zudem variierte die Expression eines zentralen Regulators der Aktin-Polymerisation im Vergleich zu Zellen im Erdmagnetfeld stark und war nach zwei Tagen signifikant tiefer, was die Reduktion der Aktin-Filamente erklärt. Am Schluss wurde noch die spontane Bildung von Aktin-Filamenten in einer Lösung von isolierten Aktin-Molekülen untersucht. Dabei wurden unter HMF-Bedingungen eine veränderte Kinetik, die Bildung von dickeren Filamenten sowie unnatürliche Proteinverklumpungen beobachtet. Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass das Erdmagnetfeld einen direkten Einfluss auf das Zellskelett und somit indirekt auf eine Vielzahl von zellulären Mechanismen hat. Obwohl die Beobachtungen im HMF nur eine beschränkte gesundheitliche Relevanz haben, wie beispielsweise für Astronauten oder beim Einsatz von medizinischen Geräten mit statischen MF, stellen sie doch einen ernstzunehmenden Ansatzpunkt dar für das Verständnis, wie elektromagnetische Felder auf Zellen wirken können. So wurden in der wissenschaftlichen Literatur die Aktin-Filamente gelegentlich als mögliche „Antenne“ für nicht-natürliche EMFs postuliert.

## **2) Übersichtsarbeiten**

### *Expositionsabschätzung von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern in Europa (Gajšek et al. 2016)*

Die Publikation von Gajšek *et al.* (2016) bewertet die publizierten Studien zum Thema Expositionsabschätzung von niederfrequenten elektrischen und magnetischen Feldern, die in europäischen Ländern durchgeführt wurden. Dabei werden Frequenzen bis 10 MHz als niederfrequent bezeichnet. In den betrachteten Studien der letzten drei Jahrzehnte wurden vor allem drei Methoden verwendet: (a) *in-situ* Messungen, Messungen der elektrischen oder magnetischen Feldstärke an einem Ort, entweder in Gebäuden oder ausserhalb der Gebäude in der Nähe von elektrischen Einrichtungen oder Haushaltsgeräten; (b) personenbezogene Exposimetrie mittels tragbarer Messgeräte (Exposimeter); (c) Modellierung der Exposition auf der Basis von Leiterkonfigurationen. Viele der Studien bezogen sich auf die Exposition durch Hochspannungsleitungen. Für die Exposition zu Hause sind vor allem Haushaltsgeräte, Einrichtungen für die Leitungstransformation in der Nähe des Hauses, Hochspannungsleitungen und die Hausinstallationen verantwortlich. Die bisher grösste Messkampagne bezüglich Exposition gegenüber

Feldern der Frequenzen 50 Hz und 16 2/3 Hz in Wohnhäusern stammt aus Deutschland<sup>1</sup>. Ähnliche Studien mit einer kleineren Anzahl von Messorten wurden im Vereinigten Königreich und in Österreich durchgeführt. Punktmessungen geben keine genügende Auskunft über die durchschnittliche Exposition von Personen, die sich durch verschiedene Umgebungen bewegen und gegenüber verschiedenen Quellen über verschiedene Zeitabschnitte exponiert sind. Deshalb wurden in einigen Ländern Messungen mit tragbaren Messgeräten durchgeführt, die von Freiwilligen über eine gewisse Zeit mit sich herumgetragen wurden. Die Übersicht über die Studien zeigt eine durchschnittliche Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern gemessen als Flussdichte im Aussenbereich von 0.05 bis zu 0.2  $\mu\text{T}$ . Höhere Werte von einigen  $\mu\text{T}$  sind unterhalb von Hochspannungsleitungen, an den Wänden von Transformatorengebäuden und an den Schutzzäunen von Unterstationen der elektrischen Netzversorgung möglich. Innerhalb der Gebäude findet man die höchsten Feldwerte bis zum Bereich mT in der Nähe von Hausinstallationen und Haushaltsgeräten, die zum Teil auch nahe am Körper betrieben werden, wie Haartrockner und elektrische Rasierer. Übliche Quellen für die Exposition gegenüber sogenannten "Zwischenfrequenzen" (gemäss Literatur der Bereich von 300 Hz bis 10 MHz) sind Induktionskochherde, Kompaktleuchtstofflampen, induktive Ladesysteme für Autos und Sicherheits- und Diebstahlsicherungsanlagen. Im Bereich "Zwischenfrequenzen" wurden bislang keine systematischen Messkampagnen durchgeführt, und es existieren nur vereinzelte Berichte zu Messungen in der Umgebung solcher Geräte. Für die zukünftige Risikoabschätzung schlagen die Autoren drei Kategorien für die Exposition der Bevölkerung vor. Diese drei Kategorien unterscheiden sporadische Exposition an verschiedenen Regionen des Körpers, kontinuierliche Exposition des gesamten Körpers gegenüber erhöhten Feldstärken, und kontinuierliche Exposition gegenüber tiefen Hintergrundfeldstärken im Alltag. Die Autoren erachten diese Unterscheidung der Expositionsszenarien als zwingenden Bestandteil zukünftiger Risikobeurteilungen gegenüber elektromagnetischen Feldern.

*Kritische Schwelle für thermische Schäden - Workshop-Bericht der ICNIRP-Task-Group (Sienkiewicz et al. 2016)*

Es ist unbestritten, dass die vom Menschen absorbierte Mikrowellenstrahlung von drahtlosen Kommunikationsgeräten in Wärme umgewandelt wird. Mit den internationalen Grenzwerten werden diese thermische Wirkung und die damit verbundenen Gesundheitsschäden berücksichtigt. Die Internationale Kommission für Nicht-Ionisierenden Strahlenschutz (ICNIRP) arbeitet gegenwärtig daran, die seit 1998 bestehenden Grenzwerte zu hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) zu revidieren. Um einen Überblick über die neuesten Erkenntnisse zur kritischen Schwelle für thermische Schäden zu haben, wurde deshalb vom 26. bis 28. Mai 2015 ein Workshop in Istanbul durchgeführt. Die teilnehmenden Wissenschaftler des Workshops bestätigten, dass eine Erwärmung durch HF-EMF vergleichbar ist mit der Erwärmung von anderen Quellen, und dass daher die entsprechenden Studien auch auf die Wirkung von HF-EMF übertragen werden können. Dabei zeigte sich, dass für schädliche Auswirkungen die effektive Gewebetemperatur entscheidender ist als der Temperaturanstieg. Es wurde aber betont, dass jegliche Temperaturänderung einen biologischen Effekt haben kann, und dass einige der beobachteten sogenannten „nicht-thermischen“ EMF-Effekte de facto auf kleine Temperaturänderungen zurückzuführen sind. Die Thermoregulation wird von

---

<sup>1</sup> Schüz J, Grigat JP, Störmer B, Rippin G, Brinkmann K, Michaelis J (2000): **Extremely low frequency magnetic fields in residences in Germany. Distribution of measurements, comparison of two methods for assessing exposure, and predictors for the occurrence of magnetic fields above background level.** Radiat Environ Biophys. 2000 Dec;39(4):233-40. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11200967>

peripheren und zentralen Sensoren gesteuert und durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst (z.B. Schwitzen, Bekleidung). Bei älteren Personen sowie bei Frauen ist die Thermoregulation weniger effizient als bei jüngeren Menschen und bei Männern. Für die Hoden gelten Temperaturen von über 35°C als schädlich. Dabei kann die Körperhaltung, die Bekleidung, und der Wach- im Vergleich zum Schlafzustand je rund 1-2°C Variabilität verursachen. Im Alltag sind HF-EMF induzierte Temperaturerhöhungen relativ gering. Schutzvorkehrungen an exponierten Arbeitsplätzen stellen sicher, dass die Kerntemperatur nicht über 38.0-38.5°C steigt. Eine Ganzkörperexposition mit einem SAR-Wert von 4 W/kg führt bei älteren Menschen nach 30 Minuten zu einer Zunahme der Kerntemperatur von 0.9°C. Bei jungen Menschen ist die Temperaturzunahme signifikant geringer. Im Auge wird die Hitze schlecht abgeführt, was insbesondere die Augenlinse relativ empfindlich gegenüber HF-EMF macht. Grundsätzlich ist die schädliche Schwelle für eine lokalisierte Exposition schwieriger zu bestimmen als für eine Ganzkörperexposition. Derzeitige Grenzwerte basieren lediglich auf dem durch HF induzierten Temperaturanstieg, wobei ein Überschreiten einer kritischen Kerntemperatur nicht berücksichtigt wird. Der Workshop macht deutlich, dass die Interaktion zwischen Wärme und HF-EMF kritisch sein kann. Wenn die Wärmeexposition bereits sehr hoch ist, kann eine zusätzliche Erwärmung durch HF-EMF kritisch sein, und es gilt daher, eine solche zu vermeiden.

## Literaturangaben

Gajšek P, Ravazzani P, Grellier J, Samaras T, Bakos J, Thuróczy G (2016): **Review of Studies Concerning Electromagnetic Field (EMF) Exposure Assessment in Europe: Low Frequency Fields (50 Hz-100 kHz)**. Int J Environ Res Public Health. 2016 Sep 1;13(9).  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27598182>

Mo WC, Zhang ZJ, Wang DL, Liu Y, Bartlett PF, He RQ (2016): **Shielding of the Geomagnetic Field Alters Actin Assembly and Inhibits Cell Motility in Human Neuroblastoma Cells**. Sci Rep. 2016 Mar 31;6:22624. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27029216>

Parham F, Portier CJ, Chang X, Mevissen M (2016): **The Use of Signal-Transduction and Metabolic Pathways to Predict Human Disease Targets from Electric and Magnetic Fields Using in vitro Data in Human Cell Lines**. Front Public Health 4:193.  
<http://journal.frontiersin.org/article/10.3389/fpubh.2016.00193/full>

Sienkiewicz Z, van Rongen E, Croft R, Ziegelberger G, Veyret B (2016): **A Closer Look at the Thresholds of Thermal Damage: Workshop Report by an ICNIRP Task Group**. Health Phys. 2016 Sep;111(3):300-6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27472755>

## **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

---

Weitere Informationen:

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

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