

## **Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien**

Im Zeitraum von Mitte Juli bis Mitte Oktober 2020 wurden 108 neue Publikationen identifiziert, von denen acht von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Drei davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant und somit zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

### **1) Experimentelle Tier- und Zellstudien**

#### *Verstärkte Entzündungsreaktion durch Exposition mit einem hochfrequenten elektromagnetischen Feld zusammen mit Feinstaub (Sueiro-Benavides et al. 2020)*

Ein interessanter experimenteller Ansatz wurde in der Studie von Sueiro-Benavides *et al.* (2020) in kultivierten Zellen des Immunsystems angewendet. Es wurde die kombinierte Wirkung zweier Umweltfaktoren, einem HF-EMF und einem Modell für Russ untersucht. Dazu haben die Autoren eine Makrophagen-Zelllinie der Maus (RAW 264.7) gleichzeitig einem 2.45 GHz HF-EMF (SAR 0.4 W/kg) und zwei unterschiedlichen Konzentrationen von Russpartikeln ausgesetzt. Die Dauer der Expositionen war 24 oder 72 Stunden, und anschliessend wurden verschiedene Zellreaktionen mit Einzel- und Kontrollbehandlungen verglichen. Dabei hatte eine alleinige 24-stündige HF-EMF-Exposition keinen Einfluss auf die Vitalität der Zellkulturen, wohingegen die höhere Konzentration der Russpartikel zu einer Abnahme der Vitalität führte, welche durch die Kombination beider Faktoren noch verstärkt wurde. Expositionen von 72 Stunden zeigten das gleiche Muster, wobei aber bei der tieferen Konzentration von Russpartikeln der verstärkte Effekt durch die Kombination nicht festgestellt wurde und auch das HF-EMF alleine zu einer leichten Reduktion der Vitalität der Kulturen führte. In Übereinstimmung mit diesen Beobachtungen wurden auch leichte Veränderungen des Apoptose-Markers Caspase 3 festgestellt. Im Weiteren wurde untersucht, wie sich die Exposition auf die Entzündungsreaktion auswirkt. Dazu wurden entsprechende Marker für Entzündungen wie TNF $\alpha$  («tumor necrosis factor  $\alpha$ ), IL-1 $\beta$  (Interleukin-1 $\beta$ ) und Stickstoffmonoxid (NO) gemessen. Im Vergleich zur tieferen Russpartikeldosis löste die 24-stündige HF-EMF-Exposition einen ausgeprägteren Anstieg der Entzündungsmarker aus, und die Kombination beider Umweltfaktoren führte zu einer Verstärkung der NO-Bildung, aber nicht zu mehr TNF $\alpha$  und IL-1 $\beta$ . Für die NO-Analyse wurden zusätzlich noch Lipopolysaccharide (LPS) aus Bakterienzellwänden verwendet, um die Immunreaktion zu forcieren. Die Veränderungen dieser Immunparameter schlugen sich auch auf die Fressaktivität (Phagozytose) der Makrophagen nieder. So nahmen die HF-EMF-exponierten Zellen signifikant mehr der Russpartikel auf als die nicht befeldeten Kontroll-Zellen.

Die Beobachtungen dieser Publikation sind insofern von Bedeutung, weil eine Kombination von verschiedenen Umwelteinflüssen einem realistischen Expositions-Szenario entspricht. In unserem täglichen Leben treten unzählige Umweltfaktoren gleichzeitig auf, und deren Wechselwirkungen spielen eine wichtige Rolle bei der Reaktion beziehungsweise Bewältigung dieser Stresssituationen. Diesbezüglich diskutieren die Autoren, dass die HF-EMF-Exposition durch Aktivierung von Signalwegen eine Entzündungsreaktion angekurbelt und zu verlängerten Fressaktivitäten der Makrophagen geführt hat, was unter Umständen die Effizienz des Immunsystems verändern könnte. Allerdings gibt es einige Unsicherheiten technischer und methodischer Natur, die noch beseitigt werden müssen, um die Schlussfolgerungen dieser Studie zu konsolidieren. So scheinen sich einige Fehler in den Abbildungen eingeschlichen zu haben, und die Kontrollbedingungen sollten rigoroser durchgeführt werden, um mögliche verfälschende Nebeneffekte ausschliessen zu können. Nichtsdestotrotz liefert diese Studie

wichtige Hinweise bezüglich einer Beeinflussung der Immunreaktion durch HF-EMF, ausgelöst durch andere Umweltfaktoren.

*Pflanzenstudie zu Cryptochrom und hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (Albaqami et al. 2020)*

Die Studie von Albaqami *et al.* (2020) ist zwar nicht relevant für die menschliche Gesundheit, aber sie zeigt einmal mehr, dass Wahrnehmung von Magnetfeldern durch den Cryptochrom- (CRY) Rezeptor vermittelt wird, einem evolutionär konservierten Flavo-Protein, das nicht nur in Säugetieren und Vögeln, sondern auch in Pflanzen existiert. Schotenkresse wurde für insgesamt 90 Minuten sechs Zyklen Blaulicht ausgesetzt (jeweils 5 Minuten Blaulicht, 10 Minuten dunkel). Die gleichzeitige EMF-Exposition (insgesamt 4 Wochen) bei 7 MHz, 2  $\mu$ T oder einem schwachen Magnetfeld mit einer Feldstärke von 200 nT während einer Woche reduzierte die biologische Antwort auf Blaulicht via CRY1-Aktivität in den Setzlingen. Dieser Effekt war bei einer Ausrichtung des künstlichen Magnetfeldes zum Erdmagnetfeld von 90° ausgeprägter als bei einer Ausrichtung von 180°.

Blaulicht bedingte eine Wachstumshemmung durch eine vermehrte CRY-Aktivität. HF-EMF sowie das Magnetfeld von 200 nT hemmten die Phosphorylierung von CRY1, und aktivierten damit den CRY1-Rezeptor. Nach HF-EMF-Exposition wuchsen die jungen Pflanzen schneller. Eine erhöhte Expression von Genen, die an der Modulation von CRY beteiligt sind, untermauerte die Befunde. Anhand eines theoretischen Modells führen die Autoren diese Wirkungen auf den Radikalpaar-Mechanismus zurück. Die Wahrnehmung des Magnetfeldes war bei ähnlichen Frequenzen, wie auch schon bei Säugetieren und Vögeln gezeigt, auch bei den Pflanzen kausal mit dem CRY-Rezeptor verbunden.

## **2) Experimentelle Humanstudien**

*Wenig Hinweise auf Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf den Schlaf von gesunden jüngeren und älteren Männern (Eggert et al. 2020)*

In dieser Studie wurde untersucht, ob mögliche Auswirkungen von HF-EMF bei Männern altersabhängig sind. Dazu wurden Daten von drei doppelblind und randomisiert durchgeführten Experimenten analysiert. Je 30 jüngere (Durchschnittsalter 25.5 Jahre; 2 Gruppen) und ältere (Durchschnittsalter 69.1 Jahre) Männer wurden für 30 Minuten vor dem Schlafen und während der ganzen Nacht zwei Arten von HF-EMF und einer Kontrollbedingung ohne Feld ausgesetzt. Bei den HF-EMF-Bedingungen handelte es sich um GSM900 (Global System for Mobile Communications; Trägerfrequenz 915 MHz, Modulation 217 Hz, Duty Cycle 0.125, SAR 2 W/kg) und TETRA (Terrestrial Trunked Radio; Trägerfrequenz 385 MHz, Modulation 17.6 Hz, Duty Cycle 0.25, SAR 6 W/kg). Schlafdaten von je neun Nächten (drei Blöcke mit drei Bedingungen) wurden pro Proband registriert.

In der Kontrollbedingung zeigten sich klare physiologische Schlafunterschiede zwischen jüngeren und älteren Männern, wie sie zu erwarten waren (wie z.B. kürzere Schlafzeiten, längere Einschlafzeit, fragmentierter Schlaf, geringere Schlaffeffizienz, weniger Tiefschlaf bei den Älteren). Die TETRA-Exposition führte in beiden Altersgruppen zu einer signifikanten Verkürzung der Schlafzeit (Dauer bis zum konsolidierten Schlaf), was als schlaffördernder Effekt betrachtet werden kann. GSM900-Exposition hatte keine Auswirkung auf objektive Schlafparameter. In zwei von vier subjektiven Schlafparametern (Schlafdauer und die Anzahl Wachphasen) wurde eine schwache Interaktion zwischen Alter und GSM900 Exposition beobachtet.

Die Studie zeigte generell kaum Auswirkungen von HF-EMF auf den Schlaf. Die sporadisch aufgetretenen signifikanten Testresultate können aufgrund der grossen Anzahl durchgeführter statistischer Tests auch als zufällig interpretiert werden. Die Effektgrößen waren jeweils gering.

## Literaturangaben

Albaqami M, Hammad M, Pooam M, Procopio M, Sameti M, Ritz T, Ahmad M, Martino CF (2020): **Arabidopsis cryptochrome is responsive to Radiofrequency (RF) electromagnetic fields**. Sci Rep. 2020 Jul 9;10(1):11260. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32647192/>

Eggert T, Dorn H, Sauter C, Schmid G, Danker-Hopfe H (2020): **RF-EMF exposure effects on sleep - Age doesn't matter in men!** Environ Res. 2020 Sep 12:110173. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32931791/>

Sueiro-Benavides RA, Leiro-Vidal JM, Salas-Sánchez AÁ, Rodríguez-González JA, Ares-Pena FJ, López-Martín ME (2020): **Radiofrequency at 2.45 GHz increases toxicity, pro-inflammatory and pre-apoptotic activity caused by black carbon in the RAW 264.7 macrophage cell line**. Sci Total Environ. 2020 Oct 4:142681. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33071139/>

## 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 \(als pdf\)](#)