

## **Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien**

Im Zeitraum Anfang Mai bis Mitte Juli 2020 wurden 65 neue Publikationen identifiziert, von denen sieben 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**

#### *Magnetorezeption im Innenohr von Tauben (Nimpf et al. 2019)*

Es gibt Tierarten, die magnetische Felder wahrnehmen und zu ihrer Orientierung nutzen können. Dazu sind verschiedene Mechanismen diskutiert worden, aber es ist noch wenig bekannt, ob und wo es in diesen Tieren Zielstrukturen gibt, die statische Magnetfelder erkennen können. In der Studie von Nimpf *et al.* (2019) wurde untersucht, ob Tauben im Innenohr Strukturen besitzen, die statische magnetische Felder erkennen. Ziel war zu zeigen, dass bestimmte Strukturen und Zellen im Innenohr Magnetfelder unabhängig von Lichtsignalen detektieren. Magnetische Reize (150  $\mu$ T, stufenweise rotierend um 360°) aktivieren Nervenzellen im hinteren Vestibularkern bei Tauben, die in Helmholtz-Spulen exponiert wurden. Diese Stimuli führen zu Spannung in einem semizirkulären Kanal, und elektrosensible Sensoren erkennen Magnetfelder durch elektromagnetische Induktion. Als Biomarker wurden neuronale Aktivitätsmarker wie das Protein C-FOS verwendet, das sehr schnell auf eine Vielzahl von Reizen anspricht. Es wurde gezeigt, dass Magnetfeldstimulation zu sogenannten "Spikes" (1.4  $\mu$ V) in kanalartigen Strukturen in Zellen des Innenohrs führt und somit der Wahrnehmung von Magnetfeldern dient. Es handelt sich um einen spannungsabhängigen Kalziumkanal (Cav1.3, lange Form), der bereits bei Haien und Rochen gefunden wurde. Eine bestimmte Ausrichtung des Magnetfeldes ist notwendig für die Detektion. Neben experimentellen Untersuchungen wurden auch theoretische Berechnungen durchgeführt. Die Erkennung des Magnetfeldes konnte unabhängig von Licht-Stimuli nachgewiesen werden.

Diese neuen Befunde sind interessant, da sie vorhergegangene Studien untermauern und unterstützen, dass es Strukturen im Innenohr gibt, die lichtunabhängig elektrische Aktivitäten erkennen können. Nachfolgend könnten folgende Experimente durchgeführt werden, die weitere Beweise liefern: 1. Pharmakologische Beeinflussung der Kalziumkanäle, 2. Ablation (gezielte Zerstörung) der Haarzellen<sup>1</sup> mit Antibiotika und/oder 3. Genetische Manipulation des Kalziumkanals.

#### *Förderung der Zellalterung durch hochfrequente EMF (LTE-Signal)? (Choi et al. 2020)*

In dieser Studie setzten Choi *et al.* (2020) ein moduliertes hochfrequentes EMF ein, über das es noch nicht allzu viele experimentelle Daten gibt. Die Autoren verwendeten ein typisches LTE-Signal (Long Term Evolution: mobiles 4G-Netzwerk) auf einer 1.7 GHz-Trägerfrequenz und untersuchten dessen Einfluss auf verschiedene Aspekte der Vitalität und Vermehrung von kultivierten Zellen. In ihren Experimenten wurden verschiedene Arten von Zellen unterschiedlicher Gewebe-Herkunft jeweils für 3 Tage diesem HF-EMF bei berechneten SAR-Werten von 1 und 2 W/kg ausgesetzt. Zuerst haben die Autoren festgestellt, dass verglichen zu den Kontrollpopulationen ohne Bestrahlung die dreitägige Exposition in Abhängigkeit der Dosis zu einer Reduktion der Zellvermehrung von ca. 10-90% führte.

---

<sup>1</sup> Haarzellen sind die Sinneszellen des Innenohrs

Dabei waren im Allgemeinen die Effekte in Krebszellen stärker ausgeprägt als beispielsweise in Stammzellen aus dem Fettgewebe oder Fibroblasten der Haut. Des Weiteren wurde versucht, die Ursache für die beobachteten Effekte zu finden. So wurde eine Rolle von oxidativem Stress und der Bildung von ROS postuliert, da die Effekte durch Zugabe eines Neutralisators von ROS abgeschwächt werden konnten. Die Reduktion der Zellvermehrung durch die LTE-Exposition wurde gemäss den Befunden der Autoren weder durch einen schädigenden Einfluss auf das Genom noch durch das Auslösen von programmiertem Zelltod (Apoptose) verursacht, sondern durch eine Verstärkung des Zellalterungsprozesses (Seneszenz). So wurde in den exponierten Kulturen ein höherer Anteil von Zellen mit Biomarkern für Seneszenz gefunden, einhergehend mit einer Verlangsamung des Zellzyklus. Dass sich eine Exposition mit einem HF-EMF auf den Zellalterungsprozess auswirken könnte, wurde bis anhin in wissenschaftlichen Studien selten erwähnt beziehungsweise untersucht. Insofern sind die konsistenten beobachteten Effekte in verschiedenen Zellarten in dieser methodisch ansprechenden und biologisch durchdachten Studie von Choi *et al.* (2020) bemerkenswert. Zu beachten gilt aber, dass ein neues und kaum validiertes Expositionsgerät eingesetzt wurde, dass zwar eine gute Temperaturkontrolle erlaubt, jedoch Fragen bezüglich der Feldhomogenität offenlässt und möglicherweise eine Unterschätzung der berechneten SAR-Werte stattgefunden hatte. Nichtsdestotrotz liefern diese Beobachtungen Hinweise, um den Aspekt der Zellalterung in Bezug auf HF-EMF-Exposition weitergehend zu untersuchen.

## **2) Epidemiologische Studien**

### *Hochfrequente elektromagnetische Felder und Gehirnvolumen bei Kindern im Vorpubertätsalter (Cabr -Riera et al. 2020)*

In der niederländischen Generation-R-Studie wurde bei 2'592 Kindern im Alter von neun bis zwölf Jahren untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der HF-EMF-Exposition und dem Volumen von verschiedenen Gehirnarealen gibt. Das Gehirnvolumen aller Studienteilnehmenden wurde zwischen 2013 und 2015 mittels Magnetresonanztomographie (MRI) bestimmt. Die Nutzung von drahtlosen Kommunikationsgeräten (Mobil- und Schnurlostelefone, sowie Gebrauch von Tablets und Laptops mittels WLAN) wurde von den Eltern erfragt. Exposition durch Rundfunksender und Mobiltelefonbasisstationen wurde für den Schul- und Wohnort modelliert. Die Exposition an anderen Orten wurde anhand von persönlichen HF-EMF-Messungen in einer Stichprobe von 56 Kindern abgeschätzt. Basierend auf all diesen Expositionsinformationen wurde die absorbierte HF-EMF-Dosis für verschiedene Gehirnareale berechnet. Die statistischen Analysen wurden für eine Vielzahl von möglichen Störgrössen korrigiert (z.B. mütterliche Bildung und Rauchverhalten oder BMI und Intelligenzquotienten des Kindes). Der Medianwert der täglichen EMF-Dosis des Gehirns betrug 84.3 mJ/kg. Davon stammten 62% von Mobil- und Schnurlostelefonanrufen, 17% von Bildschirmaktivit ten mit mobilen Geräten und 21% von Fernfeldquellen (Mobilfunk- und DECT-Basisstationen, Rundfunksender, WLAN-Zugangspunkte). Das Volumen aller untersuchten Gehirnareale war weder mit der gesamten absorbierten EMF-Dosis noch mit derjenigen von Fernfeldquellen assoziiert. Hingegen war die EMF-Dosis durch Bildschirmaktivit ten signifikant mit einem kleineren Volumen des Frontallappens und des Nucleus caudatus assoziiert. Die Autoren schliessen daraus, dass nicht EMF, aber möglicherweise andere Faktoren, welche mit intensiver Bildschirmnutzung zusammenhängen, einen Effekt auf diese Gehirnareale haben könnten. Störfaktoren (Confounding), Zufall oder umgekehrte Kausalität könnten aber als alternative Erklärungen nicht ausgeschlossen werden.

Es handelt sich um eine grosse Studie mit akkuraten Daten zum Volumen verschiedener Gehirnareale, welche im Rahmen des EU-Projektes Geronimo erhoben wurden. Es ist eine der wenigen Studien, welche die EMF-Dosis des Gehirns abgeschätzt hat. Dies ist aussagekräftiger als wenn nur die Nutzung

von EMF-emittierenden Quellen analysiert wird. Dennoch sind grosse Unsicherheiten bei einer solchen Abschätzung unvermeidlich. Der Frontallappen ist wichtig für die Impulskontrolle. Die Basalganglien, zu denen auch der Nucleus caudatus gehört, leiten physiologische und kognitive Prozesse ein: sie bilden einen Filterprozess in der Regelschleife motorischer Bewegungen, indem sie erwünschte und mögliche Bewegungen zulassen und unerwünschte oder in der gegebenen Situation nicht mögliche Bewegungen unterbinden. Dadurch wird die spontane Aktivität des Organismus moduliert. Die Basalganglien erhalten Informationen aus allen Bereichen der Hirnrinde (Kortex) und geben Informationen weiter über den Thalamus zum prämotorischen und frontalen Kortex. Dieser Weg dient der schnellen und koordinierten Regulation von Abläufen unbewusster, automatisierter, feinmotorischer Bewegungen. Ein verkleinerter Nucleus caudatus wurde in einer früheren Studie<sup>2</sup> bei Kindern im Vorpubertätsalter in Zusammenhang mit ADHS gebracht. Hier könnten ähnliche Verschaltungsmuster wie bei Tic-Störungen vorliegen, nur, dass bei ADHS nicht ein bestimmtes Verhaltensmuster falsch prozessiert wird, sondern eine generelle inadäquate Filterfunktion vorliegt, in der redundantes oder „unangebrachtes“ Verhalten erregt wird (Hyperaktivität), während neue Verhaltenspläne fehlerhaft gehemmt werden (Aufmerksamkeitsdefizit). Von daher wäre es plausibel, dass die verkleinerten Gehirnareale die Ursache und nicht die Folge einer intensiven Bildschirmnutzung sind.

## Literaturangaben

Cabr -Riera A, Marroun HE, Muetzel R, van Wel L, Liorni I, Thielens A, Birks LE, Pierotti L, Huss A, Joseph W, Wiart J, Capstick M, Hillegers M, Vermeulen R, Cardis E, Vrijheid M, White T, R osli M, Tiemeier H, Guxens M (2020): **Estimated whole-brain and lobe-specific radiofrequency electromagnetic fields doses and brain volumes in preadolescents.** Environ Int. 2020 Sep;142:105808. Epub 2020 Jun 15. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32554140/>

Choi J, Min K, Jeon S, Kim N, Pack JK, Song K (2020): **Continuous Exposure to 1.7 GHz LTE Electromagnetic Fields Increases Intracellular Reactive Oxygen Species to Decrease Human Cell Proliferation and Induce Senescence.** Sci Rep. 2020 Jun 8;10(1):9238. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32514068/>

Nimpf S, Nordmann GC, Kagerbauer D, Malkemper EP, Landler L, Papadaki-Anastasopoulou A, Ushakova L, Wenninger-Weinzierl A, Novatchkova M, Vincent P, Lendl T, Colombini M, Mason MJ, Keays DA (2019): **A Putative Mechanism for Magnetoreception by Electromagnetic Induction in the Pigeon Inner Ear.** Curr Biol. 2019 Dec 2;29(23):4052-4059.e4. Epub 2019 Nov 14. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/31735675>

---

<sup>2</sup> Carrey N, Bernier D, Emms M, Gunde E, Sparkes S, Macmaster FP, Rusak B (2012): **Smaller volumes of caudate nuclei in prepubertal children with ADHD: impact of age.** J Psychiatr Res. 2012 Aug;46(8):1066-72. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022395612001392>

(„These novel findings suggest a different pattern of caudate volume abnormalities across narrow age clusters prior to puberty in boys with ADHD. Anatomical differences in brain structures related to ADHD in prepubertal children should be evaluated with respect to the changing developmental trajectory of brain regions within this period of rapid brain growth“)

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