



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “Modulation of brain functional connectivity in healthy young adults following GSM radiofrequency exposure: A magnetoencephalography and magnetic resonance imaging study” by Iranfar et al. in Neuroscience (2025)

Kategorie [Hochfrequente Felder, Experimentelle Humanstudie]

Spotlight - Aug/2026 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Kontext

Das menschliche Gehirn ist potenziell in nennenswertem Umfang hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) ausgesetzt, wenn ein Mobiltelefon in Kopfnähe betrieben wird. Daher werden mögliche Auswirkungen von HF-EMF auf die Gehirnfunktion seit vielen Jahren mithilfe der Elektroenzephalografie (EEG) untersucht. Im Alpha-Band des Ruhe-EEGs (8–12 Hz) wurden wiederholt Wirkungen beobachtet, doch die Ergebnisse waren uneinheitlich: Vorwiegend stieg die EEG-Leistung im Alpha-Band an, in einigen Studien nahm sie jedoch ab oder blieb unverändert [2, 3]. Darüber hinaus unterschieden sich die Effekte zwischen den Zuständen *Augen geschlossen* und *Augen offen* [4].

2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive von Iranfar et al.

In der vorliegenden Studie [1] wurde die Wirkung von HF-EMF auf die Funktion des menschlichen Gehirns mithilfe der Magnetenzephalographie (MEG) untersucht. Diese Methode bietet eine bessere räumliche Auflösung der aktiven Regionen im Gehirn als das EEG.

An der Studie nahmen 32 gesunde, rechtshändige Probanden (15 Männer und 17 Frauen) teil. Das Versuchsdesign war eine randomisierte, doppelblinde Crossover-Studie mit ausbalancierter Versuchsreihenfolge. Es wurden zwei Sitzungen (Exposition und Scheinexposition) im Abstand von einer Woche zur gleichen Tageszeit durchgeführt. Jede Sitzung bestand aus drei Phasen: Ausgangswert (vor der Exposition), Exposition und nach der Exposition. Während aller drei Phasen wurde ein EEG aufgezeichnet. Da HF-EMF die MEG-Sensoren stört, wurde das MEG nur vor und nach der Exposition aufgezeichnet. Für die Exposition wurde ein modifiziertes Nokia-Mobiltelefon verwendet, das ein GSM-Signal mit einer Frequenz von 900 MHz und einer Modulation von 217 Hz erzeugte. Die Exposition oder Scheinexposition wurde 25 Minuten und 30 Sekunden lang auf die linke Kopfseite angewendet. Das Mobiltelefon wurde mit einer maximalen Ausgangsleistung von 2 W (Durchschnittsleistung 250 mW) betrieben, und die lokale maximale zeitlich gemittelte spezifische Absorptionsrate (SAR), gemittelt über 10 g Gewebe, betrug 0,49 W/kg.

Anhand von MRT-Aufnahmen der Gehirne der Probanden wurden 68 Hirnregionen rekonstruiert. Die Vernetzung dieser Hirnregionen wurde anhand des korrigierten imaginären Wertes für die Phasensynchronisation von MEG-Signalen gemessen, der die Phasensynchronisation quantifiziert. Unter Vernetzung versteht man die Interaktion und Koordination neuronaler Aktivität in verschiedenen Hirnregionen. Der Unterschied in der Vernetzung zwischen den Sitzungen vor und nach der Exposition wurde im Alpha-Frequenzband sowohl für die Scheinexposition als auch für die echte Exposition berechnet, wobei die Probanden entweder die Augen offen oder geschlossen hielten. Die Ergebnisse wurden statistisch mittels Varianzanalyse (ANOVA) unter Korrektur für Mehrfachtests ausgewertet.

Nach der GSM-900-MHz-HF-EMF-Exposition zeigten die ANOVA-Ergebnisse 20 statistisch signifikante Veränderungen der Konnektivität innerhalb und zwischen den Hirnhälften bei geschlossenen Augen und 8 bei offenen Augen. Nach Korrektur für mehrfaches Testen blieben bei geschlossenen Augen drei statistisch signifikante Veränderungen der Konnektivität innerhalb einer Hirnhälfte bestehen. Alle drei waren in der rechten Hirnhälfte im Bereich des Temporallappens lokalisiert. Die Unterschiede in der Konnektivität des Gehirns waren nach der realen Exposition statistisch signifikant größer als nach der Scheinexposition.

Obwohl die Exposition auf die linke Gehirnhälfte beschränkt war, wurden Veränderungen der Konnektivität in der Hirnrinde im rechten Temporallappen beobachtet. Da diese Region zur Hörrinde gehört, führen Iranfar et al. diesen Befund auf die vorwiegend kontralaterale Verarbeitung von Hörreizen zurück. Iranfar et al. kommen zu dem Schluss, dass ihre Ergebnisse frühere Berichte stützen, wonach das Alpha-Frequenzband besonders auf eine HF-EMF-Exposition reagiert. Angesichts der geringen Amplitude der Modulation des Alpha-Bands im Gehirn gehen Iranfar et al. von kurzzeitigen Änderungen aus, die keine bedeutsamen Effekte auf die Gesundheit erwarten lassen. Sie schlagen vor, dass zukünftige Forschungsarbeiten untersuchen könnten,

wie Unterschiede in der neuronalen Grundaktivität zwischen einzelnen Personen die Reaktionen nach der Exposition beeinflussen könnten.

3 Kommentare des BfS

In Übereinstimmung mit früheren Veröffentlichungen zeigten die Ergebnisse von Iranfar et al. [1] statistisch signifikante Auswirkungen einer HF-EMF-Kopf-Exposition durch ein modifiziertes Mobiltelefon auf die Alpha-Wellen des Gehirns.

MEG wird selten zur Untersuchung der Auswirkungen von HF-EMF eingesetzt, da es aus technischen Gründen nicht während der Exposition verwendet werden kann. Es bietet jedoch eine bessere räumliche Auflösung als das EEG und ermöglicht einen Vergleich der Aktivität in verschiedenen Hirnregionen. Im Allgemeinen entspricht die Studie den Grundsätzen guter wissenschaftlicher Praxis, da sie ein randomisiertes, doppelblindes, scheinkontrolliertes Crossover-Design mit angemessener Korrektur für Mehrfachtests verwendet und auf innovative Weise modernste MEG-basierte Quellen- und Konnektivitätsanalysen anwendet.

Die beobachteten Effekte sind schwach und ihre gesundheitliche Relevanz bleibt unklar. Es bleibt ungewiss, ob eine längere Exposition stärkere Effekte hervorrufen würde. Die schwachen Auswirkungen einer HF-EMF-Exposition auf die Gehirnaktivität, insbesondere auf die EEG-Aktivität im Alpha-Band, werden seit über zwanzig Jahren wiederholt beschrieben [4]. Die genaue Art (thermisch oder nichtthermisch) des möglichen Wirkmechanismus ist jedoch nach wie vor eine offene Frage. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit könnten darauf hindeuten, dass Auswirkungen auf das Hörsystem eine Rolle spielen könnten. Für den Strahlenschutz sind diese Ergebnisse relevant, da sie mit den seit langem bekannten schwachen Auswirkungen auf die Alpha-Aktivität übereinstimmen und durch die Einbeziehung räumlich aufgelöster Informationen zur Konnektivität eine Grundlage für präzisere, hypothesengeleitete Untersuchungen bieten.

Referenzen

- [1] Iranfar, S, Wallace, J, Selmaoui, B, Yahia-Cherif, L. Modulation of brain functional connectivity in healthy young adults following GSM radiofrequency exposure: A magnetoencephalography and magnetic resonance imaging study. *Neuroscience*. 2025; 591:103–109.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2025.11.007>.
- [2] Danker-Hopfe, H, Eggert, T, Dorn, H, Sauter, C. Effects of RF-EMF on the human resting-state EEG - the inconsistencies in the consistency. Part 1: Non-exposure-related limitations of comparability between studies. *Bioelectromagnetics*. 2019; 40(5):291–318.
DOI: <https://doi.org/10.1002/bem.22194>.
- [3] Wallace, J, Selmaoui, B. Effect of mobile phone radiofrequency signal on the alpha rhythm of human waking EEG: A review. *Environmental Research*. 2019; 175:274–286.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.05.016>.
- [4] Prins, AC, Baas, K, van der Meer, JN, Jacobs, M, Nederveen, AJ. The effect of mobile phone electromagnetic fields on the human resting state wake EEG and event-related potential: A systematic review and meta-analysis. *Bioelectromagnetics*. 2025; 46(1):e22531.
DOI: <https://doi.org/10.1002/bem.22531>.

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

www.bfs.de

Tel.: +49 30 18333-0
Fax: +49 30 18333-1885
E-Mail: spotlight@bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
urn:nbn:de:0221-2026082561852

Spotlight - Aug/2026 no.1 (Deu)