



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

**Spotlight on “Thresholds and
Mechanisms of Human
Magnetophosphene Perception
Induced by Low Frequency Sinusoidal
Magnetic Fields” by Legros et al. in
Brain Stimulation (2024)**

**Kategorie [Statische und niederfrequente Felder,
Experimentelle Humanstudie]**

Spotlight - Apr/2025 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Die aktuellen Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern [2] beruhen auf wissenschaftlich nachgewiesenen Wirkungen der Magnetfeldexposition. Die Netzhaut wird als Teil des zentralen Nervensystems betrachtet und die Erzeugung von Magnetophosphenen in der Netzhaut tritt bei niedrigeren Schwellenwerten auf als die Reizung von Nerven im Gehirn. Daher besteht Konsens darüber, dass der Schutz vor Magnetophosphenen ausreicht, um auch vor anderen möglichen gesundheitlichen Wirkungen auf das Gehirn zu schützen. Die Schwellenwerte für Magnetophosphene sind bei 20 Hz am niedrigsten und steigen bei höheren und niedrigeren Frequenzen rasch an.

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

Die derzeitigen Grenzwerte für die Magnetfeldexposition beruhen auf zwei älteren Studien mit einer geringen Teilnehmerzahl [3, 4]. Die Basisgrenzwerte bei den Frequenzen der Stromübertragung (50 und 60 Hz) wurden durch Extrapolation abgeleitet, da bisher keine experimentellen Daten oberhalb 45 Hz vorlagen. Darüber hinaus wurde diskutiert, dass die Wahrnehmung von Magnetophosphenen auch durch eine direkte Stimulation der Hirnrinde erfolgen könnte [5]. Das Ziel der aktuellen Studie [1] ist, die Schwellen der Wahrnehmung von Magnetophosphenen und den Ort, an dem sie entstehen, an einer größeren Gruppe von Testpersonen bei und oberhalb von Frequenzen der Stromübertragung zu untersuchen.

Die Wahrnehmung von Magnetophosphenen wurde bei 81 Freiwilligen untersucht, die in vier Gruppen aufgeteilt und mit magnetischen Wechselfeldern mit den Frequenzen von 20, 50, 60 und 100 Hz stimuliert wurden. Das Magnetfeld wurde entweder lokal auf die Augenregion einschließlich der Netzhaut oder auf das Hinterhaupt einschließlich des visuellen Kortex angewendet, oder der gesamte Kopf wurde mit Hilfe von Spulensystemen bei magnetischen Flussdichten zwischen 0 und 50 mT exponiert. Die Reize wurden in zufälliger Reihenfolge nach einem doppelt verblindeten Protokoll dargeboten.

Die induzierten elektrischen Felder und Ströme im Gehirn wurden mit einem auf der Finite-Elemente-Methode basierenden Algorithmus in vierzehn anatomischen Kopfmodellen berechnet, die aus Magnetresonanzbildern erstellt wurden. Die Datenanalyse erfolgte mit Hilfe einer gemischten logistischen Regressionsmodellierung getrennt für jede Spulenposition. Die statistische Analyse wurde für mehrfaches Testen korrigiert.

Das für diese Experimente entwickelte Magnetfeldexpositionssystem war in der Lage, elektrische Feldstärken im Kopf zu induzieren, die denen der transkraniellen Wechselstromstimulation (transcranial alternating current stimulation, tACS) ähnlich sind, jedoch ohne galvanischen Kontakt mit dem Kopf und somit ohne die bekannten Einschränkungen bei tACS, zu denen Wahrnehmungen in der Haut unter den Stimulationselektroden gehören.

Die Magnetfeldstimulation der Netzhaut oder des gesamten Kopfes löste bei allen angewandten Frequenzen Magnetophosphene aus. Die Ergebnisse waren statistisch signifikant. Bei der Stimulation der Hirnrinde wurden keine Magnetophosphene bei 20 und 50 Hz festgestellt, aber bei 60 und 100 Hz wurden statistisch signifikante Reaktionen beobachtet. Da es keine schlüssige Erklärung für diese Reaktionen des stimulierten visuellen Kortex gibt und diese Reaktionen relativ schwach waren, argumentieren Legros et al., dass falsch positive Ergebnisse nicht ausgeschlossen werden können.

Die Testpersonen beschrieben die Phosphene als farblos und am Rand des Gesichtsfeldes auftretend. Da die für die Wahrnehmungsschwelle berechneten Stromdichten in der Netzhaut an der Peripherie höher waren, deuten die Ergebnisse darauf hin, dass Magnetophosphene durch die Stimulierung der Stäbchen in der Peripherie der Netzhaut hervorgerufen werden.

Die Ergebnisse deuten auf eine Adaptation hin, d.h. eine verringerte Reaktionswahrscheinlichkeit und eine erhöhte Wahrnehmungsschwelle, die auf wiederholte Stimulation, Dunkelheit oder beides zurückzuführen sind, wie bereits in [3] beschrieben.

Außerdem deuten die Ergebnisse darauf hin, dass die im Körperinneren induzierten elektrischen Felder, die notwendig sind, um die Magnetophosphene hervorzurufen, höher sind als bisher angenommen. Legros et al. kommen zu dem Schluss, dass die derzeit von der ICNIRP (2010) empfohlenen Basisgrenzwerte sicher, aber zu konservativ sind.

3 Kommentare des BfS

In der vorliegenden Publikation [1] wurden zum ersten Mal Schwellenwerte für Magnetophosphene beim Menschen, speziell bei Frequenzen der Stromübertragung, ermittelt. Die Ergebnisse stehen im Einklang mit früheren Studien [3, 4] bei niedrigeren Frequenzen und Extrapolationen [2] von Ergebnissen bei niedrigeren Frequenzen.

Eine besondere Stärke ist die detaillierte und robuste Dosimetrie, die einen Vergleich mit den im menschlichen Kopf vorkommenden elektrischen Feldern und Strömen ermöglicht. Für die statistischen Analysen wurden robuste und bewährte Methoden verwendet. Die Wahrscheinlichkeit falsch positiver Befunde wurde durch die Korrektur für Mehrfachtests verringert, aber laut Legros et al. können falsch positive Befunde nicht ausgeschlossen werden.

Die Studienergebnisse tragen zum Nachweis bei, dass die Empfehlungen der ICNIRP [2] zur Begrenzung der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern hinreichend konservativ und sicher sind, indem sie Daten bei und oberhalb von Frequenzen der Stromübertragung liefern. Darüber hinaus geben sie Aufschluss über einen möglichen Mechanismus und Ort der Entstehung von Magnetophosphenen.

Referenzen

- [1] Legros, A., Nissi, J., Laakso, I., Duprez, J., Kavet, R., Modolo, J. Thresholds and mechanisms of human magnetophosphene perception induced by low frequency sinusoidal magnetic fields. *Brain Stimulation*. 2024; 17(3):668–675.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.brs.2024.05.004>.
- [2] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for limiting exposure to time-varying electric and magnetic fields (1 Hz to 100 kHz) [published correction appears in *Health Physics* 2011;100(1):112]. *Health Physics*. 2010; 99(6):818–836.
DOI: <https://doi.org/10.1097/HP.0b013e3181f06c86>.
- [3] Lövsund, P., Öberg, P. Å., Nilsson, S. E. G. Influence on vision of extremely low frequency electromagnetic fields. *Acta Ophthalmologica*. 1979; 57(5):812–821.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1755-3768.1979.tb01847.x>.
- [4] Lövsund, P., Öberg, P. Å., Nilsson, S. E. G., Reuter, T. Magnetophosphenes: a quantitative analysis of thresholds. *Medical & Biological Engineering & Computing*. 1980; 18(3):326–334.
DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02443387>.
- [5] Kanai, R., Chaieb, L., Antal, A., Walsh, V., Paulus, W. Frequency-dependent electrical stimulation of the visual cortex. *Current Biology*. 2008; 18(23):1839–1843.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cub.2008.10.027>.

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:0221-2025041451667

Spotlight - Apr/2025 no.1 (Deu)