

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: Systematic review and meta-analyses” by Pophof et al. in Environment International (2024)

Kategorie [Hochfrequente Felder, Übersichtsarbeit]

Spotlight - Jan/2025 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat ein Projekt initiiert, um die potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) in der Allgemeinbevölkerung und am Arbeitsplatz systematisch zu bewerten. Zu diesem Zweck führte die WHO im Jahr 2018 eine umfassende internationale Umfrage unter Experten durch, um die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen einer HF-EMF Exposition nach ihrer Bedeutung zu priorisieren [2]. Es wurden wichtige Themen identifiziert, zu denen die WHO systematische Reviews in Auftrag gegeben hat. Mehr Informationen zu den systematischen Reviews der WHO im Allgemeinen finden Sie in einem weiteren Spotlight on EMF Research (Apr/2024 Nr.2 [3])

Mögliche Auswirkungen von HF-EMF auf verschiedene Bereiche der kognitiven Leistungsfähigkeit werden seit vielen Jahren diskutiert, da das menschliche Gehirn potenziell in relevantem Ausmaß exponiert ist, wenn ein Handy während des Telefonierens nahe am Kopf gehalten wird. Der vorliegende systematische Review [1] bewertet die in experimentellen Studien an Menschen berichteten Ergebnisse zu den Auswirkungen einer HF-EMF-Exposition auf die kognitive Leistungsfähigkeit. Ein weiterer systematischer Review, der die Auswirkungen von HF-EMF auf die Kognition in Beobachtungsstudien an Menschen bewertet [4], wird in einem separaten Spotlight on EMF Research behandelt.

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

Der vorliegende systematische Review beschäftigt sich mit experimentellen Studien, die die Auswirkungen einer kurzzeitigen Exposition gegenüber HF-EMF auf die kognitive Leistungsfähigkeit (z. B. Gedächtnis, Aufmerksamkeit, etc.) des Menschen untersuchten [1].

Pophof et al. folgten den Cochrane-Empfehlungen für die Durchführung systematischer Reviews in der Toxikologie und der umweltbezogenen Gesundheitsforschung [5] und beschrieben die Methoden, einschließlich der Literatursuche, der Einschlusskriterien und dem Vorgehen bei der Datenextraktion, -synthese und -analyse in einem Studienprotokoll, das vor der Durchführung des Reviews veröffentlicht wurde [6]. Die PECO (Population, Exposition, Comparator, Outcome (Ergebnis)) Frage, die die Forschungsfrage formuliert, lautete: „Was sind die unmittelbaren Auswirkungen einer Exposition mit HF-EMF im Frequenzbereich 100 kHz - 300 GHz (E) auf die kognitive Leistungsfähigkeit (O) bei Menschen (P) im Vergleich zu keiner Exposition oder einer geringeren Exposition (C)?“.

Die Qualität der eingeschlossenen Studien wurde unter Berücksichtigung der vordefinierten Kriterien des Verzerrungsrisikos (Risk of Bias, RoB) bewertet [7]. Es wurde ein dreistufiges System verwendet, um die Studien nach ihrer Anfälligkeit für Verzerrungen zu klassifizieren. Studien, die in Stufe 1 eingestuft wurden, wiesen ein niedriges Verzerrungsrisiko auf, was auf eine hohe Studienqualität hindeutet, während Studien, die in Stufe 3 eingestuft wurden, ein hohes Verzerrungsrisiko aufwiesen, was auf eine niedrige Studienqualität hindeutet. Verblindung und Ergebnisbeurteilung wurden als die wichtigsten Faktoren für die Gesamtqualität der Studien angesehen und daher als Schlüsselkriterien für die Einstufung verwendet.

Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde in sieben verschiedene Kategorien (Domänen) eingeteilt. Für fünf dieser Domänen lagen geeignete Daten aus mindestens zwei Studien für eine Meta-Analyse vor: 1) Aufmerksamkeit und Orientierung, 2) Wahrnehmung, 3) Gedächtnis, 4) Visuokonstruktive und motorische Fähigkeiten, 5) Konzeptbildung und Schlussfolgern [8]. Die kognitive Leistungsfähigkeit wurde dabei in Form von Geschwindigkeit und Genauigkeit der Bearbeitung gemessen und in Meta-Analysen mit zufälligen Effekten die Effektgröße (Hedges's g) der genauigkeits- und geschwindigkeitsbezogenen Leistungsmaße berechnet. Wenn die Studienergebnisse in einem relevanten Ausmaß inkonsistent waren, wurden Subgruppenanalysen durchgeführt, um mögliche Quellen der Heterogenität zu untersuchen. Die Bewertung der Verlässlichkeit der Evidenz für die Gesamteffektgröße jeder Expositions-Ergebnis-Kombination erfolgte nach dem GRADE „Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation“ Ansatz [9].

Mit einer systematischen Literaturrecherche wurden 57.543 Veröffentlichungen ermittelt, von denen 76 Studien die Einschlusskriterien erfüllten. Die 76 eingeschlossenen Studien wurden zwischen 1989 und 2021 publiziert und umfassten 3.846 Personen unterschiedlichen Alters, Geschlechts und Gesundheitszustands aus 19 Ländern. Fünfzig der 76 Studien lieferten quantitative Daten, die eine Meta-Analyse auf der Grundlage von 2.433 teilnehmenden Personen ermöglichten. In der Mehrzahl der eingeschlossenen Studien wurde die Exposition des Kopfes gegenüber HF-EMF mit GSM (global system for mobile communication, G2) und Uplink-ähnlicher Modulation bei 900 MHz angewandt. Die Qualität der Studien war uneinheitlich, 50 % der eingeschlossenen Studien wurden als „Stufe 2“, 28 % als „Stufe 3“ und nur 22 % als „Stufe 1“ eingestuft. Die Hauptgründe für ein hohes Verzerrungsrisiko waren Selektionsverzerrungen, fehlende doppelte Verblindung und eine unzureichende Beschreibung der Expositionserzeugung und -bewertung.

Insgesamt wurden 35 Meta-Analysen für genauigkeits- und geschwindigkeitsbezogene Leistungsmaße von Unterklassen von fünf kognitiven Domänen durchgeführt (Tabelle 1).

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Effektgröße: Hedges's g - ein positiver Wert deutet auf eine verbesserte kognitive Leistungsfähigkeit hin; KI: Konfidenzintervall; Studienqualität - Stufe 1: niedriges Verzerrungsrisiko; Stufe 2: mittleres Verzerrungsrisiko; Stufe 3: hohes Verzerrungsrisiko

Ergebnis		Studienzahl	Studienqualität (Zahl pro Stufe)	Effektgröße [95% KI]	Verlässlichkeit der Evidenz
Domäne: Aufmerksamkeit und Orientierung					
Aufmerksamkeitsspanne	Genauigkeit	5	Stufe 1: 1 Stufe 2: 3 Stufe 3: 1	0,024 [-0,10; 0,149]	hoch für kein Effekt
	Geschwindigkeit	3	Stufe 1: 1 Stufe 2: 2 Stufe 3: 0	0,005 [-0,171; 0,180]	hoch für kein Effekt
Fokussierte Aufmerksamkeit	Genauigkeit	4	Stufe 1: 1 Stufe 2: 3 Stufe 3: 0	0,097 [-0,049; 0,244]	moderat für kein Effekt / hoch für keinen negativen Effekt
	Geschwindigkeit	7	Stufe 1: 4 Stufe 2: 2 Stufe 3: 1	0,118 [-0,044; 0,279]	moderat für kein Effekt / hoch für keinen negativen Effekt
Vigilanz	Genauigkeit	6	Stufe 1: 4 Stufe 2: 2 Stufe 3: 0	0,042 [-0,094; 0,178]	hoch für kein Effekt
	Geschwindigkeit	13	Stufe 1: 4 Stufe 2: 8 Stufe 3: 1	0,080 [-0,089; 0,250]	moderat für kein Effekt / hoch für keinen negativen Effekt
Selektive Aufmerksamkeit	Genauigkeit	10	Stufe 1: 2 Stufe 2: 6 Stufe 3: 2	0,178 [-0,022; 0,378]	niedrig für kein Effekt / moderat für keinen negativen Effekt
	Geschwindigkeit	6	Stufe 1: 2 Stufe 2: 3 Stufe 3: 1	-0,010 [-0,142; 0,122]	hoch für kein Effekt
Geteilte Aufmerksamkeit	Genauigkeit	4	Stufe 1: 2 Stufe 2: 1 Stufe 3: 1	-0,089 [-0,354; 0,176]	niedrig für kein Effekt
	Geschwindigkeit	14	Stufe 1: 5 Stufe 2: 5 Stufe 3: 4	0,069 [-0,020; 0,159]	hoch für kein Effekt
2-Fach-Wahl-Reaktionszeit-Aufgabe	Geschwindigkeit	9	Stufe 1: 5 Stufe 2: 3 Stufe 3: 1	-0,023 [-0,125; 0,079]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	3	Stufe 1: 3 Stufe 2: 0 Stufe 3: 0	-0,063 [-0,376; 0,250]	niedrig für kein Effekt
mehr als 2-Fach-Wahl-	Geschwindigkeit	7	Stufe 1: 2 Stufe 2: 3 Stufe 3: 2	-0,054 [-0,140; 0,033]	hoch für kein Effekt

Reaktionszeit- Aufgabe	Genauigkeit	3	Stufe 1: 2 Stufe 2: 1 Stufe 3: 0	-0,129 [-0,298; 0,041]	moderat für kein Effekt
andere Aufgaben	Geschwindigkeit	6	Stufe 1: 1 Stufe 2: 5 Stufe 3: 0	0,067 [-0,121; 0,256]	moderat für kein Effekt / hoch für keinen negativen Effekt
	Genauigkeit	5	Stufe 1: 2 Stufe 2: 2 Stufe 3: 1	0,036 [-0,080; 0,152]	hoch für kein Effekt
Arbeitsgedächtnis: 0-back Aufgabe	Geschwindigkeit	8	Stufe 1: 4 Stufe 2: 2 Stufe 3: 2	-0,032 [-0,149; 0,086]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	8	Stufe 1: 4 Stufe 2: 2 Stufe 3: 2	0,060 [-0,057; 0,178]	hoch für kein Effekt
Arbeitsgedächtnis: 1-back Aufgabe	Geschwindigkeit	11	Stufe 1: 6 Stufe 2: 3 Stufe 3: 2	-0,090 [-0,184; 0,004]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	9	Stufe 1: 5 Stufe 2: 2 Stufe 3: 2	0,005 [-0,109; 0,119]	hoch für kein Effekt
Arbeitsgedächtnis: 2-back Aufgabe	Geschwindigkeit	13	Stufe 1: 8 Stufe 2: 3 Stufe 3: 2	-0,044 [-0,132; 0,044]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	10	Stufe 1: 6 Stufe 2: 2 Stufe 3: 2	-0,054 [-0,163; 0,054]	hoch für kein Effekt
Arbeitsgedächtnis: 3-back Aufgabe	Geschwindigkeit	10	Stufe 1: 6 Stufe 2: 3 Stufe 3: 1	-0,018 [-0,114; 0,079]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	7	Stufe 1: 4 Stufe 2: 2 Stufe 3: 1	0,027 [-0,097; 0,152]	hoch für kein Effekt
Arbeitsgedächtnis: Mentales Tracking	Genauigkeit	7	Stufe 1: 2 Stufe 2: 3 Stufe 3: 2	-0,047 [-0,146; 0,052]	hoch für kein Effekt
Domäne: Wahrnehmung					
Visuelle und auditive Wahrnehmung	Geschwindigkeit	2	Stufe 1: 1 Stufe 2: 0 Stufe 2: 1	-0,015 [-0,225; 0,195]	niedrig für kein Effekt
	Genauigkeit	4	Stufe 1: 1 Stufe 2: 1 Stufe 3: 2	0,035 [-0,129; 0,199]	moderat für kein Effekt
Domäne: Gedächtnis					
Sprachliches und visuelles Gedächtnis	Geschwindigkeit	3	Stufe 1: 1 Stufe 2: 1 Stufe 3: 1	0,042 [-0,148; 0,231]	moderat für kein Effekt / hoch für keinen negativen Effekt

	Genauigkeit	10	Stufe 1: 1 Stufe 2: 6 Stufe 3: 3	-0,087 [-0,376; 0,203]	gering für kein Effekt
Domäne: Visuokonstruktive und motorische Fähigkeit					
Motorische Fähigkeit	Geschwindigkeit	2	Stufe 1: 1 Stufe 2: 1 Stufe 3: 0	-0,919 [-3,093; 1,256]	sehr gering für einen großen negativen Effekt
	Genauigkeit	3	Stufe 1: 1 Stufe 2: 2 Stufe 3: 0	0,228 [-0,007; 0,463]	moderat für einen kleinen positiven Effekt / hoch für keinen negativen Effekt
Domäne: Konzeptbildung und Schlussfolgern					
Schlussfolgern	Geschwindigkeit	4	Stufe 1: 1 Stufe 2: 2 Stufe 3: 1	0,010 [-0,110; 0,129]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	2	Stufe 1: 1 Stufe 2: 1 Stufe 3: 0	0,051 [-0,142; 0,245]	moderat für kein Effekt / hoch für keinen negativen Effekt
Rechnerisches Denken	Geschwindigkeit	4	Stufe 1: 1 Stufe 2: 2 Stufe 3: 1	0,033 [-0,116; 0,181]	hoch für kein Effekt
	Genauigkeit	5	Stufe 1: 2 Stufe 2: 2 Stufe 3: 1	0,232 [-0,121; 0,586]	gering für einen kleinen positiven Effekt / moderat für keinen negative Effekt

In den Meta-Analysen wurde kein statistisch signifikanter Einfluss einer HF-EMF-Exposition auf die kognitive Leistungsfähigkeit für irgendeine der untersuchten Domänen und Unterklassen beobachtet. In 20 von 35 Meta-Analysen deuten die Werte der Effektgrößen-Schätzung sowie das entsprechende 95 %-Konfidenzintervall darauf hin, dass HF-EMF-Exposition zu geringen bis keinen Unterschieden in den Ergebnissen führt. Die Verlässlichkeit der Evidenz, dass die HF-EMF-Exposition die kognitive Leistungsfähigkeit nicht beeinflusst, war in 19 Meta-Analysen hoch, in neun moderat, in sechs gering und in einer Meta-Analyse sehr gering. Die Gründe für die Herabstufung der Verlässlichkeit der Evidenz in den Meta-Analysen waren Studieneinschränkungen (gekennzeichnet durch einen großen Anteil Studien mit hohem Verzerrungsrisiko), Ungenauigkeit (breites Konfidenzintervall) und Inkonsistenz (große Heterogenität zwischen den Studien). In einigen Fällen konnte die Quelle der Heterogenität durch Subgruppenanalysen erklärt werden. Insbesondere der Ausschluss kleiner Studien mit weniger als 30 Testpersonen und der Ausschluss von Studien der-Stufe 3 verringerten die Heterogenität.

Insgesamt liefern die Ergebnisse aus allen Domänen und Unterklassen konsistente Belege dafür, dass eine kurzzeitige HF-EMF-Exposition in experimentellen Studien an Menschen nicht mit einem negativen Effekt auf die kognitive Leistungsfähigkeit verbunden ist. Der vorliegende systematische Review liefert überwiegend moderate bis hohe Sicherheit, dass eine kurzzeitige HF-EMF-Exposition bei SAR-Werten innerhalb der Grenzwertempfehlungen [10] keinen negativen Einfluss auf die untersuchten Bereiche der kognitiven Leistungsfähigkeit hat.

3 Kommentare des BfS

Bei der hier präsentierten Publikation haben Mitarbeitende des BfS als Autor*innen mitgewirkt. Aufgrund dessen sehen wir von einer detaillierten Bewertung und Stellungnahme zu den Inhalten und der

Aussagekraft dieser Publikation ab. Wir bedanken uns für Ihr Verständnis und stehen für weitere Fragen zur Publikation gerne zur Verfügung.

Referenzen

- [1] Pophof B, Kuhne J, Schmid G, et al. The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: Systematic review and meta-analyses. *Environ Int.* Published online July 22, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108899>
- [2] Verbeek, J., G. Oftedal, M. Feychting, et al. Prioritizing health outcomes when assessing the effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A survey among experts. *Environ Int.* 2021;146:106300. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106300>
- [3] Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder, Bundesamt für Strahlenschutz. Spotlight on “WHO assessment of health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: systematic reviews”, a special series in Environment International. Spotlight - Apr/2024 no.2. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2024042443254>
- [4] Benke G, Abramson MJ, Brzozek C, et al. The effects of radiofrequency exposure on cognition: A systematic review and meta-analysis of human observational studies. *Environ Int.* 2024;188:108779. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108779>
- [5] Higgins JPT, Thomas J, Chandler J. et al. eds. Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions, version 6.4 (updated August 2023): Cochrane; 2023.
- [6] Pophof B, Burns J, Danker-Hopfe H, et al. The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: A protocol for a systematic review. *Environ Int.* 2021; 157:106783. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106783>
- [7] National Toxicology Program (NTP). Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence Integration. National Institute of Environmental Health Sciences; 2019.
- [8] Lezak, MD, Howieson DB, Bigler ED. et al. Neuropsychological Assessment, 5th ed. Oxford University Press, New York. 2012.
- [9] Guyatt GH, Oxman AD, Schunemann HJ. et al. GRADE guidelines: a new series of articles in the Journal of Clinical Epidemiology. *J. Clin Epidemiol.* 64 (4), 380–382, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.09.011>
- [10] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection (ICNIRP). Guidelines for Limiting Exposure to Electromagnetic Fields (100 kHz to 300 GHz). *Health Phys.* 2020;118(5):483-524. <https://doi.org/10.1097/HP.0000000000001210>

Impressum

Bundesamt für Strahlenschutz
Postfach 10 01 49
38201 Salzgitter

Tel.: +49 30 18333-0

Fax: +49 30 18333-1885

E-Mail: spotlight@bfs.de

De-Mail: epost@bfs.de-mail.de

www.bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:
[urn:nbn:de:0221-2025011649475](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2025011649475)

Spotlight - Jan/2025 no.1 (Deu)