



Bundesamt  
für Strahlenschutz

**Spotlight on EMF Research**

**Spotlight on “The effects of radiofrequency exposure on cognition: A systematic review and meta-analysis of human observational studies” by Benke et al. in Environment International (2024)**

**Kategorie [Hochfrequente Felder, Übersichtsarbeit]**

Spotlight - Jul/2025 no.4 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

# 1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) aktualisiert derzeit die Monografie der Environmental Health Criteria (EHC) zu den potenziellen gesundheitlichen Auswirkungen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF; Frequenzen von 100 kHz bis 300 GHz). Um gesundheitliche Endpunkte zu priorisieren, die systematisch überprüft werden sollten, führte die WHO eine Umfrage unter 300 internationalen Fachleuten auf diesem Gebiet durch. Kognitive Funktionen wurden von den Experten als eines der zehn wichtigsten Ergebnisse im Zusammenhang mit HF-EMF bewertet [2]. Weitere Informationen zu den von der WHO in Auftrag gegebenen systematischen Übersichtsarbeiten finden sich in einem weiteren *Spotlight on EMF Research* (Apr/2024 Nr.2) [3].

Obwohl bisher keine Wirkmechanismen bekannt sind, wie HF-EMF bei niedrigen Expositionsniveaus die kognitive Leistungsfähigkeit des Menschen beeinflussen könnte, existieren dazu zahlreiche Studien. Viele dieser Studien wurden durch die vergleichsweise hohe Strahlenbelastung des Gehirns während Telefongesprächen mit dem Mobiltelefon motiviert [4]. In experimentellen Studien wurden hauptsächlich akute Effekte auf die Kognition und in Beobachtungsstudien hauptsächlich chronische Auswirkungen einer langfristigen HF-EMF-Exposition untersucht.

In der von der WHO in Auftrag gegebenen systematischen Übersichtsarbeit zu akuten Effekten zeigte sich mit hohem bis niedrigem Vertrauen in die Evidenz, dass eine kurzfristige Exposition gegenüber HF-EMF die kognitive Leistungsfähigkeit nicht verringert [5] (siehe auch *Spotlight on EMF Research* Jan/2025 Nr.1 [6]).

Frühere Übersichtsarbeiten zu Beobachtungsstudien und chronischen Auswirkungen durch langfristige HF-EMF-Exposition erfüllten jedoch nicht vollständig die Standards systematischer Reviews [7]. Die systematische Übersichtsarbeit und Metaanalyse, welche Teil der von der WHO beauftragten Serie ist und in diesem Spotlight vorgestellt wird [1], zielt darauf ab, diese Einschränkungen zu überwinden – unter anderem durch die Veröffentlichung eines Protokolls vor Durchführung der Übersichtsarbeit und Metaanalyse.

## 2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive von Benke et al.

In ihrem systematischen Review bewerteten Benke et al. [1] die verfügbare Evidenz zu möglichen langfristigen Auswirkungen von HF-EMF auf verschiedene Indikatoren der Kognition. Dazu zählen Bereiche wie Lernen und Gedächtnis, exekutive Funktionen, komplexe Aufmerksamkeit, Sprache, perzeptiv-motorische Fähigkeiten und soziale Kognition. Das primäre Ziel ihres systematischen Reviews wird im folgenden **PECO**-Schema dargestellt:

- **P** (Population): Allgemeinbevölkerung und arbeitende Personen in Beobachtungsstudien
- **E** (Exposition): Langfristige (Monate/Jahre) HF-EMF-Exposition
- **C** (Comparator): Keine oder geringe HF-EMF-Exposition
- **O** (Outcome): Kognitive Funktionen

Die Methoden des systematischen Reviews und der Metaanalyse wurden in einem frei zugänglichen und a priori veröffentlichten Protokoll publiziert [4]. Die Ergebnisse werden in Übereinstimmung mit den PRISMA-Richtlinien (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) berichtet [7]. Das Protokoll enthält umfassende Abschnitte zu den Einschlusskriterien, dem Such- und Auswahlprozess, der Bewertung des Verzerrungsrisikos (Risk of Bias, RoB), den Methoden der Metaanalyse sowie der Bewertung des Vertrauens in die Evidenz [8].

Entsprechend dem PECO-Schema wurden für die Analyse Kohorten- und Fall-Kontroll-Studien aus der Allgemeinbevölkerung sowie aus beruflichen Kontexten eingeschlossen, wobei Teilnehmende jeden Alters und Geschlechts berücksichtigt wurden (**Population**). Die Studien mussten eine HF-EMF-Exposition sowie kogni-

tive Funktionen erfassen und einen Nachbeobachtungszeitraum von mindestens sechs Monaten aufweisen. Zulässige Arten der HF-EMF-Exposition umfassten persönliche Exposition (Nahfeld, z. B. drahtlose Telefone), Umweltexposition (Fernfeld, z. B. stationäre Sender wie Rundfunksender) und berufliche Exposition (Nah- und Fernfeld, z. B. Radar) (**Exposition**). Die Studien mussten mindestens zwei verschiedene Expositionsniveaus vergleichen, einschließlich einer nicht oder weniger exponierten Vergleichsgruppe (**Kontrollgruppe**). Eingeschlossene Studien mussten mindestens ein Maß der kognitiven Funktionen berichten, darunter entweder globale kognitive Funktion oder spezifische kognitive Funktionen wie komplexe Aufmerksamkeit, exekutive Funktionen, Lernen und Gedächtnis (**Outcome**).

Der systematische Review basiert auf einer umfassenden Suche in mehreren Datenbanken (PubMed, Embase, PsycInfo, EMF-Portal) ohne Einschränkungen hinsichtlich des Erscheinungsdatums oder der Sprache der Studien. Darüber hinaus wurden auch die Webseiten von Strahlenschutzorganisationen durchsucht. Die Auswahl der einschussfähigen Studien erfolgte unabhängig durch zwei Mitglieder des Review-Teams. Die Daten aus den eingeschlossenen Studien wurden anschließend von mehreren Wissenschaftlern mithilfe eines standardisierten Formulars extrahiert.

Zur Bewertung der Qualität der eingeschlossenen Studien wurde eine RoB-Bewertung durchgeführt, wiederum unabhängig von mehreren Teammitgliedern. Dabei kam das Tool für Human- und Tierstudien des National Toxicology Program (NTP), Office of Health Assessment and Translation (OHAT) [8], zum Einsatz. Dieses Instrument beurteilt potenzielle Verzerrungen in den Bereichen Selektion, Confounding (Störfaktoren), Ausfall oder Ausschluss von Teilnehmenden, Expositionsbewertung, Ergebnisbewertung, Ergebnisselektion sowie weitere potenzielle Gefährdungen der Validität, etwa finanzielle Interessenkonflikte. Innerhalb jedes dieser Bereiche wurde das Verzerrungsrisiko als „definitiv niedrig“, „wahrscheinlich niedrig“, „wahrscheinlich hoch“ oder „definitiv hoch“ eingestuft. Auf Grundlage der Bewertungen aller Bereiche wurde jede Studie einer von drei Qualitätsstufen (Tier) zugeordnet: Tier 1 umfasst Studien mit definitiv oder wahrscheinlich niedrigem Verzerrungsrisiko (RoB); mit jeder Stufe steigt das Risiko für Verzerrungen entsprechend an.

In der Metaanalyse wurden die mittlere Differenz (MD), die standardisierte mittlere Differenz (SMD) oder das Odds Ratio (OR) als Maß für die Effektstärke berichtet – abhängig davon, ob in den einzelnen Originalstudien eine kontinuierliche oder ordinale Skala verwendet wurde. Für die Interpretation von MDs und SMDs wurden die Richtlinien nach Cohen herangezogen. Bei der Interpretation der ORs wurde ein  $OR > 1,25$  bzw.  $< 0,80$  als bedeutsamer Effekt gewertet. Studien mit ausschließlich Kindern oder Jugendlichen wurden getrennt von Studien mit ausschließlich Erwachsenen analysiert.

Für die Gesamtbewertung des Vertrauens in die Evidenz wurden die OHAT-Richtlinien angewendet, und die Übersichtstabelle zur GRADE-Bewertung wurde gemäß den Richtlinien des GRADE-Ansatzes (Grading of Recommendations Assessment, Development and Evaluation) erstellt [8]. Nach dem GRADE-Ansatz wurde jedes Ergebnis zu den kognitiven Funktionen in fünf Kategorien bewertet (RoB, Inkonsistenz, Indirektheit, Ungenauigkeit und Publikationsbias), was zu einer Einstufung des Vertrauens in die Evidenz in hoch, moderat, niedrig oder sehr niedrig führte.

Initial wurden 3.945 Artikel gesichtet, von denen 3.625 während der Titel-/Abstract-Sichtung ausgeschlossen wurden. Von den verbleibenden 320 Artikeln wurden nach der Volltextsichtung schließlich fünf Studien anhand der Ein- und Ausschlusskriterien in die systematische Übersichtsarbeit aufgenommen. Alle fünf Studien waren prospektive Kohortenstudien, die zwischen 2006 und 2017 durchgeführt wurden. Die Nachbeobachtungsdauer betrug in vier Studien etwa ein Jahr und in der fünften Studie nahezu vier Jahre. Die Population bestand in allen Studien – mit Ausnahme einer – aus Kindern oder Jugendlichen aus der Schweiz, Australien und Singapur. In einer Studie wurden Erwachsene im Alter von 55 Jahren oder älter eingeschlossen. Die Stichprobengröße der einzelnen Studien lag zwischen 317 und 2.808 Teilnehmenden. Die untersuchten Expositionstypen bezogen sich in den meisten Studien hauptsächlich auf die persönliche Exposition gegenüber Mobil- oder Schnurlostelefonen (Nahfeld). Eine Studie untersuchte zusätzlich die Umweltexposition gegenüber HF-EMF (Fernfeld). Die meisten Studien berichteten komplexe Aufmerksamkeit, Lernen und Gedächtnis sowie exekutive Funktionen als untersuchte Outcomes.

In der RoB-Bewertung wurden drei Studien mit einem wahrscheinlich hohen Verzerrungsrisiko und zwei Studien mit wahrscheinlich niedrigem Risiko eingestuft. Ein wesentlicher Grund für die Einstufung „hohes Verzerrungsrisiko“ lag im Bereich der Exposition, da diese z. B. indirekt über die selbstberichtete Nutzung

Endpunkt	Anzahl Studien	Expositionsmetrik <sup>a</sup>	Effektschätzer <sup>b</sup> (95 % KI)	Statistisch signifikanter Effekt	Vertrauen in die Evidenz
<b>Ergebnisse der Metaanalyse zu den Auswirkungen von HF-EMF auf die Kognition bei Kindern</b> (Nahfeldexposition am Kopf durch Mobiltelefone)					
Komplexe Aufmerksamkeit	3*	Anrufe per Mobiltelefon pro Woche: Zunahme, Abnahme oder gleichbleibende Anzahl	MD 0,02 <sup>†</sup> (-0,04 – 0,08)	Nein	Niedrig
Exekutive Funktionen	2	Anrufe per Mobiltelefon pro Woche: Zunahme, Abnahme oder gleichbleibende Anzahl	MD 0,02 <sup>†</sup> (-0,01 – 0,04)	Nein	Sehr niedrig
Lernen und Gedächtnis	3*	Anrufe per Mobiltelefon pro Woche: Zunahme, Abnahme oder gleichbleibende Anzahl	MD -0,03 <sup>†</sup> (-0,07 – 0,02)	Nein	Niedrig
<b>Ergebnisse einzelner Studien zu den Auswirkungen der Umweltexposition gegenüber HF-EMF auf die Kognition bei Kindern</b> (Fernfeldexposition durch Sendeanlagen)					
Komplexe Aufmerksamkeit	1	Je Veränderung der persönlichen Exposition entsprechend dem Interquartilsabstand	SMD -0,09 <sup>†</sup> (-0,76 – 0,57)	Nein	Sehr niedrig
<b>Ergebnisse einzelner Studien zu den Auswirkungen von HF-EMF-Exposition auf die Kognition bei älteren Menschen</b> (Nahfeldexposition am Kopf durch Mobiltelefone)					
Allgemeine kognitive Funktionen	1	Nutzung Mobiltelefon: Häufig vs. nie/selten	OR 0,81 (0,42 – 1,58)	Nein	Sehr niedrig
Komplexe Aufmerksamkeit	1	Nutzung Mobiltelefon: Häufig vs. nie/selten	OR 0,67 (0,27 – 1,68)	Nein	Sehr niedrig
Exekutive Funktionen	1	Nutzung Mobiltelefon: Häufig vs. nie/selten	OR 1,07 (0,37 – 3,05)	Nein	Sehr niedrig
Lernen und Gedächtnis	1	Nutzung Mobiltelefon: Häufig vs. nie/selten	OR 0,75 (0,29 – 1,99)	Nein	Sehr niedrig

<sup>a</sup> Nutzung Mobiltelefon: häufig = täglich,  $\geq 7$  Anrufe pro Woche; nie/selten =  $< 1$  Anruf pro Woche.

<sup>b</sup> KI = Konfidenzintervall, MD = Mittlere Differenz, SMD = Standardisierte Mittlere Differenz, OR = Odds Ratio

\* Metaanalyse auf Basis von zwei Studien.

<sup>†</sup> Eine positive MD weist auf ein besseres Ergebnis hin, z. B. höhere komplexe Aufmerksamkeit, während eine negative MD ein schlechteres Ergebnis anzeigt, z. B. geringere komplexe Aufmerksamkeit.

**Tabelle 1:** Zusammenfassung der Ergebnisse.

drahtloser Telefone erfasst wurde. Zwei Studien berechneten die Gehirndosis HF-EMF auf Grundlage selbstberichteter Angaben, die durch Netzanbieterdaten validiert wurden. Diese beiden Studien wurden als mit wahrscheinlich niedrigem Verzerrungsrisiko bewertet.

Die Ergebnisse der systematischen Übersichtsarbeit und der Metaanalysen wurden getrennt für Kinder und ältere Menschen dargestellt. Metaanalysen wurden für die Bereiche komplexe Aufmerksamkeit, exekutive Funktionen sowie Lernen und Gedächtnis bei Kindern durchgeführt. Aufgrund der begrenzten Anzahl ausreichend ähnlicher Studien, die kombiniert werden konnten ( $n = 2$ ) [9, 10], führten die Autoren Metaanalysen mit Fixed-Effects-Modellen durch. Es gab eine dritte Studie zu komplexer Aufmerksamkeit sowie Lernen und Gedächtnis bei Kindern [11]. Diese Studie verwendete jedoch ein anderes Testverfahren zur Erfassung der Outcomes und wurde daher nicht in die Metaanalysen einbezogen. Ihre Ergebnisse stimmten jedoch mit den Ergebnissen der Metaanalysen der beiden anderen Studien überein. Ergebnisse von zusätzlichen Random-Effects-Metaanalysen wurden im Anhang zur Verfügung gestellt. Die Ergebnisse der Metaanalysen basierten auf Daten von 615 Kindern mit einer Nachbeobachtungszeit von einem Jahr (Tabelle 1).

Es standen keine Studien zu allgemeiner kognitiver Funktion bei Kindern zur Verfügung – weder für Nahfeldexposition (persönliche Exposition) noch für Fernfeldexposition (Umweltexposition) gegenüber HF-EMF. Für Fernfeldexposition und komplexe Aufmerksamkeit bei Kindern wurde eine Studie identifiziert. Für Nahfeldexposition und die Outcomes globale kognitive Funktionen, komplexe Aufmerksamkeit, exekutive Funktionen sowie Lernen und Gedächtnis wurde lediglich eine Studie mit älteren Personen identifiziert [12] (Tabelle 1). Es lagen keine Studien zu Fernfeldexposition und Kognition bei älteren Menschen vor und ebenso keine Studie zur beruflichen Exposition.

Zusammenfassend konnte für keine der untersuchten Kombinationen von Endpunkt, Expositionsart und Population ein Effekt der Exposition auf Basis der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur festgestellt werden, jedoch ist das Vertrauen in die Evidenz nach GRADE gering bis sehr gering.

Benke et al. interpretieren ihre Ergebnisse dahingehend, dass sie auf einen durchgängig fehlenden Nachweis für einen Einfluss von HF-EMF auf die Kognition hinweisen. Sie heben jedoch mehrere Einschränkungen deutlich hervor: Erstens besteht die Evidenzbasis aus einer sehr kleinen Anzahl an Studien – lediglich vier Studien zu Kindern und eine Studie zu älteren Personen. Zweitens besteht ein hohes Risiko für Erfassungsfehler (Detection Bias) in den beiden Studien, die in die Metaanalyse einbezogen wurden, da die HF-EMF-Exposition nur grob über die selbstberichtete Handynutzung mittels Fragebögen erfasst wurde. Zudem ist der betrachtete Expositionscontrast in diesen beiden Studien ebenfalls sehr grob: Es wurde lediglich berücksichtigt, ob sich die Exposition überhaupt verändert hatte – nicht jedoch, in welchem Ausmaß. Dadurch wurden geringe und starke Veränderungen der Exposition gleich gewichtet. Drittens gibt es seit Langem Erkenntnisse aus der Neurowissenschaft, dass bestimmte Regionen des Gehirns für bestimmte kognitive Bereiche verantwortlich sind. Die eingeschlossenen Studien liefern jedoch keine detailliert räumlich aufgelösten Expositionsdaten für spezifische Hirnareale, die für unterschiedliche kognitive Funktionen relevant wären.

Abschließend heben Benke et al. auf Grundlage ihrer Ergebnisse wichtige Forschungslücken hervor. Sie stellen fest, dass es derzeit keine Beobachtungsstudie zur Fernfeld-(Umwelt-)Exposition und Kognition bei Erwachsenen oder älteren Menschen gibt, ebenso keine Studie zur beruflichen Exposition. Darüber hinaus fordern die Autoren eine einheitliche Methodik hinsichtlich der Erfassung von Exposition und kognitiven Ergebnissen in zukünftigen Studien, um eine bessere Vergleichbarkeit und Zusammenführung der Ergebnisse zu ermöglichen.

### **3 Kommentare des BfS**

Aus Strahlenschutzperspektive ist die Frage, ob ein Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber HF-EMF und kognitiven Effekten besteht, sehr relevant. Die Studie von Benke et al. bietet einen umfassenden Überblick über die aktuelle wissenschaftliche Evidenz aus humanen Beobachtungsstudien zu potenziellen Auswirkungen der HF-EMF-Exposition auf kognitive Funktionen wie Lernen und Gedächtnis. Die systematische Übersichtsarbeit basiert auf einem detaillierten, a priori veröffentlichten und registrierten Studienprotokoll, das alle Kernbereiche abdeckt, wie ein klar definiertes PECO-Schema, Informationen zur systematischen Literatursuche, Datenextraktion und RoB-Bewertung.

Benke et al. zeigen überzeugend, dass die verfügbare Evidenzbasis sehr begrenzt ist. Trotz eines umfangreichen Suchprozesses konnten nur fünf relevante Studien identifiziert werden, von denen vier die Kognition bei Kindern und eine die bei älteren Menschen untersuchen. Da die Studien selbst recht unterschiedlich waren, konnten nur die Ergebnisse von zwei Studien in einer Metaanalyse zusammengefasst werden. In einer früheren narrativen Übersicht zur Kognition bei Kindern wurde eine deutlich größere Anzahl an Studien identifiziert, die jedoch auch Querschnittsstudien einschließt [13]. Benke et al. führen überzeugend aus, dass in Querschnittsstudien Ergebnis- und Expositionsdaten gleichzeitig erhoben werden, was keine verlässlichen Schlussfolgerungen über kausale Effekte der Exposition auf das Ergebnis zulässt. Trotz der Unterschiede in Methodik und Anzahl der eingeschlossenen Studien weisen beide Übersichten auf keinen Effekt der Exposition hin.

Eine Limitation, die in vier der fünf eingeschlossenen Studien vorhanden ist, ist ein möglicher Trainingseffekt durch die Nutzung von Computern für kognitive Tests. Der Trainingseffekt kann zu einer Verbesserung

der Testergebnisse führen, einfach weil die Person den Test bereits zuvor gemacht hat und mit ihm vertraut ist. Die Vertrautheit mit dem Testformat, den Fragetypen und dem Testablauf kann dazu führen, dass bei einem wiederholten Test bessere Ergebnisse erzielt werden als beim ersten Durchgang. Diese Verbesserung beruht jedoch nicht auf einer tatsächlichen kognitiven Verbesserung, sondern auf einem Trainingseffekt [14]. Bei der Bewertung von Veränderungen über die Zeit kann dies zu einer Verzerrung in Richtung eines fehlenden Effekts führen. Das bedeutet, dass die Ergebnisse eher dazu tendieren, dass ein Effekt unterschätzt oder nicht erkannt wird, selbst wenn ein solcher tatsächlich vorhanden war [15]. Benke et al. diskutieren dieses Problem kritisch und betonen die Notwendigkeit einer gründlichen Vortestung kognitiver Tests, um dem möglichen Trainingseffekt entgegenzuwirken.

Insgesamt gab es keine konsistenten Hinweise für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und kognitiver Funktion. Dies betraf verschiedene kognitive Funktionen wie Lernen und Gedächtnis, exekutive Funktionen und komplexe Aufmerksamkeit in humanen Beobachtungsstudien mit einer Nachbeobachtungszeit von mehr als sechs Monaten. Das Vertrauen in die Evidenz aller eingeschlossenen Studien wurde jedoch überwiegend als sehr gering bis gering eingestuft. Die Ergebnisse dieser Beobachtungsstudien stimmen mit den Ergebnissen experimenteller Studien überein, insbesondere mit einer weiteren unabhängigen aktuellen systematischen Übersichtsarbeit und Metaanalyse, die von der WHO in Auftrag gegeben und von Pophof et al. durchgeführt wurde [5]. Die systematische Übersichtsarbeit von Pophof et al. liefert überwiegend mittleres bis hohes Vertrauen in die Evidenz dafür, dass in humanen experimentellen Studien eine kurzfristige HF-EMF-Exposition bei SAR-Werten innerhalb der von der ICNIRP empfohlenen Grenzwerte die kognitiven Funktionen nicht negativ beeinflusst [5]. Darüber hinaus wurden keine etablierten biophysikalischen Mechanismen identifiziert, die mögliche schädliche Wirkungen einer HF-EMF-Exposition unterhalb der empfohlenen Expositionsgrenzwerte erklären könnten [16].

Um das Vertrauen in die Evidenz bezüglich der Langzeitexposition zu erhöhen, wären mehr hochwertige Beobachtungsstudien erforderlich, insbesondere für verschiedene Altersgruppen. Angesichts der Herausforderungen bei der Expositionsmessung ist es jedoch unrealistisch, dass solche Studien durchführbar sind, es sei denn, es stünden neue und zuverlässige Methoden zur Expositionsbewertung zur Verfügung.

## Referenzen

- [1] Benke, G, Abramson, MJ, Brzozek, C, McDonald, S, Kelsall, H, Sanagou, M, Zeleke, BM, Kaufman, J, Brennan, S, Verbeek, J, Karipidis, K. The effects of radiofrequency exposure on cognition: A systematic review and meta-analysis of human observational studies. *Environment International*. 2024; 188:108779.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108779>.
- [2] Verbeek, J, Oftedal, G, Feychting, M, van Rongen, E, Scarfi, MR, Mann, S, Wong, R, van Deventer, E. Prioritizing health outcomes when assessing the effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A survey among experts. *Environment International*. 2021; 146:106300.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106300>.
- [3] Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF), Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). Spotlight on "WHO assessment of health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: systematic reviews", eine Sonderreihe in Environment International. *Spotlight on EMF Research; Spotlight - Apr/2024 no.2*.  
URL: <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2024042443254>.
- [4] Benke, G, Abramson, MJ, Zeleke, BM, Kaufman, J, Karipidis, K, Kelsall, H, McDonald, S, Brzozek, C, Feychting, M, Brennan, S. The effect of long-term radiofrequency exposure on cognition in human observational studies: A protocol for a systematic review. *Environment International*. 2022; 159:106972.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2021.106972>.
- [5] Pophof, B, Kuhne, J, Schmid, G, Weiser, E, Dorn, H, Henschenmacher, B, Burns, J, Danker-Hopfe, H, Sauter, C. The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: Systematic review and meta-analyses. *Environment International*. 2024; 191:108899.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108899>.
- [6] Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF), Bundesamt für Strahlenschutz (BfS). 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). *Spotlight on EMF Research; Spotlight - Jan/2025 no.1*.  
URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2025011649475>.
- [7] Page, MJ, McKenzie, JE, Bossuyt, PM, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *Systematic Reviews*. 2021; 10:89.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/s13643-021-01626-4>.
- [8] National Toxicology Program (NTP). *Handbook for conducting a literature-based health assessment using OHAT approach for systematic review and evidence integration*. 2019.  
URL: [https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/ohat/pubs/handbookmarch2019\\_508.pdf](https://ntp.niehs.nih.gov/sites/default/files/ntp/ohat/pubs/handbookmarch2019_508.pdf).
- [9] Bhatt, CR, Benke, G, Smith, CL, Redmayne, M, Dimitriadis, C, Dalecki, A, Macleod, S, Sim, MR, Croft, RJ, Wolfe, R, Kaufman, J, Abramson, MJ. Use of mobile and cordless phones and change in cognitive function: A prospective cohort analysis of Australian primary school children. *Environmental Health*. 2017; 16(1):62.  
DOI: <https://doi.org/10.1186/s12940-017-0250-4>.
- [10] Thomas, S, Benke, G, Dimitriadis, C, Inyang, I, Sim, MR, Wolfe, R, Croft, RJ, Abramson, MJ. Use of mobile phones and changes in cognitive function in adolescents. *Occupational and Environmental Medicine*. 2010; 67(12):861–866.  
DOI: <https://doi.org/10.1136/oem.2009.054080>.
- [11] Roser, K, Schoeni, A, Rösli, M. Mobile phone use, behavioural problems and concentration capacity in adolescents: A prospective study. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*. 2016; 219(8):759–769.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2016.08.007>.

- [12] Foerster, M, Thielens, A, Wout, J, Eeftens, M, Rössli, M. A prospective cohort study of adolescents' memory performance and individual brain dose of microwave radiation from wireless communication. *Environmental Health Perspectives*. 2018; 126(7):077007.  
DOI: <https://doi.org/10.1289/EHP2427>.
- [13] Ishihara, T, Yamazaki, K, Araki, A, Teraoka, Y, Tamura, N, Hikage, T, Omiya, M, Mizuta, M, Kishi, R. Exposure to radiofrequency electromagnetic field in the high-frequency band and cognitive function in children and adolescents: A literature review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020; 17(24):9179.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17249179>.
- [14] Salthouse, TA. Influence of age on practice effects in longitudinal neurocognitive change. *Neuropsychology*. 2010; 24(5):563–572.  
DOI: <https://doi.org/10.1037/a0019026>.
- [15] Yland, JJ, Wesselink, AK, Lash, TL, Fox, MP. Misconceptions about the direction of bias from nondifferential misclassification. *American Journal of Epidemiology*. 2022; 191(8):1485–1495.  
DOI: <http://doi.org/10.1093/aje/kwac035>.
- [16] World Health Organization (WHO). *WHO research agenda for radiofrequency fields*. Geneva, 2010:38.  
URL: <https://www.who.int/publications/i/item/who-research-agenda-for-radiofrequency-fields>.

**Impressum**

Bundesamt für Strahlenschutz  
Postfach 10 01 49  
38201 Salzgitter

[www.bfs.de](http://www.bfs.de)

Tel.: +49 30 18333-0  
Fax: +49 30 18333-1885  
E-Mail: [spotlight@bfs.de](mailto:spotlight@bfs.de)

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:  
[urn:nbn:de:0221-2025071853278](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2025071853278)

Spotlight - Jul/2025 no.4 (Deu)