



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “Exposure to radiofrequency electromagnetic fields and IARC carcinogen assessment: Risk of Bias preliminary literature assessment for 10 key characteristics of human carcinogens” by Simkó et al. in Mutation Research (2025)

Kategorie [Hochfrequente Felder, Übersichtsarbeit]

Spotlight - Apr/2026 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Kontext

Die Internationale Krebsforschungsagentur (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat im Mai 2011 den aktuellen Stand des Wissens über hochfrequente elektromagnetische Felder (HF-EMF) und Krebserkrankungen bewertet und diese Felder in die Gruppe 2B „möglicherweise krebserregend“ der IARC-Skala eingestuft [2]. Diese Einstufung basiert auf begrenzten Erkenntnissen aus epidemiologischen Beobachtungsstudien am Menschen sowie auf begrenzten Erkenntnissen aus Laborstudien an Versuchstieren. Im April 2024 veröffentlichte die *IARC Monographs Advisory Group* eine Empfehlung für künftige IARC-Bewertungen. Gemäß dieser Empfehlung plant die IARC eine Neubewertung von HF-EMF [3]. Der Bewertung wurde hohe Priorität eingeräumt und sie soll bis 2029 durchgeführt werden. Seit der letzten Einstufung hat die IARC-Beratergruppe den Namen der Monographien-Reihe in „IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans“ geändert [4]. Diese Änderung spiegelt die wichtige Unterscheidung zwischen Gefahr und Risiko wider: Gefahr bezieht sich auf die Stärke der Evidenz, dass ein Stoff krebserregend ist, während Risiko die Wahrscheinlichkeit bezeichnet, dass eine bestimmte Exposition gegenüber einem krebserregenden Stoff zu Krebs führt. Darüber hinaus wird mechanistischen Nachweisen der Karzinogenität größeres Gewicht beigemessen, was zur Definition von zehn Schlüsselmerkmalen eines Karzinogens geführt hat [4].

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

Ziel dieser Übersichtsarbeit [1] war es, festzustellen, ob es Belege dafür gibt, dass HF-EMF die von der IARC definierten zehn Schlüsselmerkmale menschlicher Karzinogene [4] erfüllen und somit das Krebsrisiko bei den ihnen ausgesetzten Organismen erhöhen könnten. Die Literatursuche umfasste Studien an Zellen und Tieren, die HF-EMF im Frequenzbereich zwischen 300 MHz und 300 GHz ausgesetzt waren. Die Suche wurde in den Datenbanken EMF-Portal, Web of Science und Google Scholar bis zum 30. Juni 2023 durchgeführt. Die Publikationen wurden auf solche beschränkt, die in englischer Sprache verfasst und in begutachteten wissenschaftlichen Fachzeitschriften veröffentlicht wurden. Studien, die Expositionen mit einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) von mehr als 4 W/kg verwendeten, wurden ausgeschlossen. Studien, die Mobiltelefone oder ähnliche Geräte als Feldquellen verwendeten, wurden aufgrund eingeschränkter Qualität nicht berücksichtigt. Zwei Schlüsselmerkmale, Genotoxizität und oxidativer Stress, wurden ausgeschlossen, da sie bereits in aktuellen systematischen Übersichtsarbeiten behandelt worden waren [5, 6].

Das Verzerrungsrisiko wurde anhand von sechs für HF-EMF-Studien relevanten Kriterien bewertet, die von Simkó et al. in einer früheren Veröffentlichung [7] entwickelt wurden: Einsatz von Scheinkontrollen, Einsatz von Positivkontrollen, Einsatz von Negativkontrollen, angemessene Temperaturkontrolle, Verblindung, angemessene Dosimetrie. Diese Kriterien wurden nicht stufenweise bewertet, sondern anhand einfacher Ja/Nein-Fragen. Sie beziehen sich auf die interne Validität der Studien, also darauf, ob die berichteten, mit der Exposition in Verbindung stehenden Veränderungen in einem kausalen Zusammenhang mit der Exposition stehen könnten.

Tabelle 1 fasst für jedes der acht Schlüsselmerkmale die Gesamtzahl der Tier- und Zellstudien sowie die Anzahl der Studien zusammen, die mindestens einen statistisch signifikanten Effekt der HF-EMF-Exposition beschreiben. Nur bei einem Merkmal (Veränderung von Zellproliferation, Zelltod oder Nährstoffversorgung) war die Anzahl der Studien vergleichbar mit der Studienanzahl aus den beiden zuvor veröffentlichten systematischen Übersichtsarbeiten [5, 6]. Die berichteten statistisch signifikanten Effekte zeigten keinen offensichtlichen Zusammenhang mit Frequenz oder Stärke der Exposition.

Insgesamt wurden 179 Studien (43 Tierstudien und 136 Zellstudien) ausgewertet, von denen 68 (38 %) statistisch signifikante Ergebnisse berichteten; jedoch zeigten nur 3 von insgesamt 29 (10 %) qualitativ hochwertigen Studien (mindestens 5 Kriterien zur Bewertung des Verzerrungsrisikos erfüllt) statistisch signifikante Effekte. Für das Schlüsselmerkmal „verändert die Zellproliferation, den Zelltod oder die Nährstoffversorgung“ wurden 129 Studien identifiziert (19 Tier-, 110 Zellstudien), wobei 30 (23 %) statistisch signifikante Effekte berichteten; jedoch war keine dieser Studien von hoher Qualität.

Schlüsselmerkmal	Tierstudien		Zellstudien	
	Anzahl Studien	Davon statistisch signifikante Effekte	Anzahl Studien	Davon statistisch signifikante Effekte
Ist elektrophil oder kann metabolisch zu einem Elektrophil aktiviert werden (d. h. kann Addukte an Nukleinsäuren und Proteinen bilden)	1	1	0	0
Ist genotoxisch	Behandelt in Romeo et al. [6]			
Beeinflusst die DNA-Reparatur oder verursacht genomische Instabilität	4	4	5	5
Verursacht epigenetische Veränderungen (z. B. Methylierung)	1	1	1	1
Verursacht oxidativen Stress	Behandelt in Meyer et al. [5]			
Verursacht chronische Entzündungen	0	0	10	8
Unterdrückt das Immunsystem	17	12	0	0
Moduliert durch Rezeptoren vermittelte Effekte	1	1	2	2
Verursacht Immortalisierung (Zellen entgehen der Alterung und können sich unbegrenzt vermehren)	0	0	8	3
Beeinflusst die Zellproliferation, den Zelltod oder die Nährstoffversorgung	19	9	110	21
Insgesamt	43	28	136	40

Tabelle 1: Zusammenfassung der Ergebnisse

Von den 43 Tierstudien waren nur 3 qualitativ hochwertig und keine dieser Studien zeigte statistisch signifikante Effekte. Von den 136 Zellstudien waren 26 qualitativ hochwertig, jedoch berichteten nur 3 davon statistisch signifikante Effekte. Insgesamt lieferte die überwiegende Mehrheit der Studien höherer Qualität negative Ergebnisse. Die Studien wiesen jedoch im Allgemeinen eine geringe statistische Aussagekraft auf, daher wurden möglicherweise kleine Effekte nicht entdeckt.

Simkó et al. kommen zu dem Schluss, dass die vorliegenden Tier- und Zellstudien zu den acht untersuchten Schlüsselmerkmalen der Karzinogenität sehr unterschiedliche Ergebnisse aufweisen und von schwankender Qualität sind. Sie weisen darauf hin, dass Schlussfolgerungen aus systematischen Übersichtsarbeiten zu diesen Themen nur eine sehr geringe Evidenzstärke hätten. Daher sind solide Studien von höherer Qualität erforderlich, die die biologischen Auswirkungen von HF-EMF auf diese Schlüsselmerkmale untersuchen. Die wenigen statistisch signifikanten Ergebnisse aus den qualitativ hochwertigen Studien, die in den beiden veröffentlichten systematischen Übersichtsarbeiten [5, 6] und in dieser Übersichtsarbeit [1] identifiziert wurden, erfordern eine genauere Untersuchung und eine Wiederholung der Studien.

3 Kommentare des BfS

Simkó et al. weisen darauf hin, dass ihre Übersichtsarbeit [1] weder eine PRISMA-konforme systematische Übersichtsarbeit noch ein Scoping Review ist. Sie bietet jedoch einen wichtigen und umfassenden Überblick über die aktuelle wissenschaftliche Literatur zum möglichen Zusammenhang zwischen einer HF-EMF-

Exposition und Karzinogenität, wobei alle zehn Schlüsselmerkmale [4] sowie eine nachvollziehbare Bewertung des Verzerrungsrisikos der einbezogenen Studien berücksichtigt werden. Die Einschätzung der Autoren, dass derzeit systematische Übersichtsarbeiten, die darauf abzielen, die aktuelle Evidenzbasis zu den meisten Schlüsselmerkmalen der Karzinogenität zu bewerten, wahrscheinlich zu einer geringen Evidenzsicherheit kommen würden, erscheint daher sehr überzeugend.

Zwei der zehn Schlüsselmerkmale waren bereits Gegenstand systematischer Übersichtsarbeiten [5, 6] und wurden in Spotlight-Artikeln kommentiert (Jan/2025 Nr. 3, Okt/2025 Nr. 1). Sieben der verbleibenden Schlüsselmerkmale wurden bisher nur selten untersucht. Für ein Merkmal (Veränderung von Zellproliferation, Zelltod oder Nährstoffversorgung) wurde eine größere Anzahl veröffentlichter Tier- und Zellstudien identifiziert, von denen einige die von Simkó et al. [7] definierten Kriterien für ein geringes Verzerrungsrisiko erfüllten. Hier könnten eine systematische Übersicht und eine Metaanalyse einen zusätzlichen Mehrwert bieten.

Durch die systematische Erfassung und Strukturierung der sehr heterogenen Evidenz zu den mechanistischen Signalwegen, die eine HF-EMF-Exposition mit der Karzinogenese verbinden, bietet diese Übersicht eine wertvolle Grundlage für die Bewertung des karzinogenen Potenzials der HF-EMF-Exposition.

Referenzen

- [1] Simko, M, Repacholi, MH, Foster, KR, Mattsson, MO, Croft, RJ, Scarfi, MR, Vijayalaxmi. Exposure to radiofrequency electromagnetic fields and IARC carcinogen assessment: Risk of Bias preliminary literature assessment for 10 key characteristics of human carcinogens. *Mutation Research. Reviews in Mutation Research*. 2025; 796:108545.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2025.108545>.
- [2] *Non-ionizing radiation, part 2: radiofrequency electromagnetic fields*. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans 102. Lyon: IARC, 2013.
URL: <https://publications.iarc.who.int/126>.
- [3] Berrington de Gonzalez, A, Masten, SA, Bhatti, P, et al. Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs. *Lancet Oncology*. 2024; 25(5):546–548.
DOI: [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(24\)00208-0](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(24)00208-0).
- [4] Samet, JM, Chiu, WA, Cogliano, V, et al. The IARC Monographs : updated procedures for modern and transparent evidence synthesis in cancer hazard identification. *Journal of the National Cancer Institute*. 2020; 112(1):30–37.
DOI: <https://doi.org/10.1093/jnci/djz169>.
- [5] Meyer, F, Bitsch, A, Forman, HJ, Fragoulis, A, Ghezzi, P, Henschenmacher, B, Kellner, R, Kuhne, J, Ludwig, T, Sachno, D, Schmid, G, Tsaïoun, K, Verbeek, J, Wright, R. The effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on biomarkers of oxidative stress in vivo and in vitro: A systematic review of experimental studies. *Environment International*. 2024; 194:108940.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108940>.
- [6] Romeo, S, Sannino, A, Rosaria Scarfi, M, Lagorio, S, Zeni, O. Genotoxicity of radiofrequency electromagnetic fields on mammalian cells in vitro: A systematic review with narrative synthesis. *Environment International*. 2024; 193:109104.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109104>.
- [7] Simkó, M, Remondini, D, Zeni, O, Scarfi, MR. Quality matters: Systematic analysis of endpoints related to “cellular life” in vitro data of radiofrequency electromagnetic field exposure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016; 13(7):701.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph13070701>.

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:0221-2026041359857

Spotlight - Apr/2026 no.1 (Deu)