

## Spotlight on EMF Research

# Spotlight on “Effects of Radiofrequency Electromagnetic Fields (RF-EMF) exposure on pregnancy and birth outcomes: A systematic review of experimental studies on non-human mammals” by Cordelli et al. in *Environment International* (2024)

Kategorie [Hochfrequente Felder, Übersichtsarbeit]

Spotlight - Jun/2024 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

## 1 Einordnung des Artikels in den Kontext durch das BfS

Im Herbst 2019 initiierte die Weltgesundheitsorganisation (*World Health Organisation, WHO*) ein internationales Projekt mit dem Ziel die Evidenz für einen möglichen Zusammenhang zwischen der Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF) und gesundheitlichen Wirkungen systematisch zu überprüfen. Im Rahmen des Projekts wurden mehrere Endpunkte, einschließlich der Reproduktion, von einer Expertengruppe priorisiert [2]. Mögliche Beeinträchtigungen der reproduktiven Gesundheit beim Menschen durch Exposition gegenüber HF-EMF werden seit Jahren diskutiert. Experimentelle Studien zu diesem Thema sind hinsichtlich Qualität und Ergebnissen inkonsistent– und oftmals widersprüchlich. In der vorliegenden systematischen Übersichtsarbeit wurden Daten zur Wirkung von HF-EMF auf die weibliche Fruchtbarkeit, Schwangerschaft, und Nachkommen aus experimentellen Tierstudien ausgewertet. Die Auswirkungen auf die männliche Fruchtbarkeit werden in einer nachfolgenden systematischen Übersichtsarbeit separat untersucht [3]. Eine systematische Übersichtsarbeit, die Beobachtungsstudien am Menschen zusammenfasst und evaluiert, wird ebenfalls erwartet.

## 2 Resultate und Schlussfolgerungen aus der Perspektive der Autoren

Die Autoren analysierten alle relevanten Daten aus publizierten Studien, die die Auswirkungen von HF-EMF auf die weibliche Fruchtbarkeit, Schwangerschaft und die Gesundheit der Nachkommen bei der Geburt und in späteren Lebensphasen untersuchten. Alle Kriterien für die Literaturrecherche, Ein- und Ausschlusskriterien für Studien, Bewertungs- und Analyseverfahren wurden zuvor in einem veröffentlichten Protokoll beschrieben [4]. Die Autoren folgten den strengen Leitlinien für systematische

Übersichtsarbeiten, die eine Bewertung der Studienqualität nach den Kriterien des Verzerrungsrisikos (*Risk of Bias*) [5] vorsehen. Eine Frage zur Berücksichtigung von Temperaturerhöhungen wurde hinzugefügt, da dieser Aspekt im Falle einer HF-EMF-Exposition während der Schwangerschaft besonders relevant ist. Auf der Grundlage der *Risk of Bias*-Bewertung wurden Studien den Qualitätsstufen „wenig bedenklich“, „etwas bedenklich“ oder „sehr bedenklich“ zugeordnet. Zur Berechnung der Effektschätzer wurden die Studienergebnisse in einer *random effects* Meta-Analyse, in der die durchschnittliche Exposition mit der Gruppe der nicht-exponierten verglichen wurde, und in einer Dosis-Wirkungs-Meta-Analyse unter Verwendung aller Expositions Dosen gepoolt. Je nach Art der in den eingeschlossenen Veröffentlichungen enthaltenen Ergebnisdaten wurden unterschiedliche Effektgrößenschätzer berechnet (*Odds Ratio* (OR) für binäre Daten und *Mean difference* (MD) oder *standardized mean difference* (SMD) für kontinuierliche Daten). Für jeden Endpunkt wurden Metaschätzer für „wenig bedenkliche“ oder „etwas bedenkliche“ Studien berechnet, während sie für Studien, die als „sehr bedenklich“ eingeordnet wurden, separat berechnet wurden. Für die abschließende Bewertung der Evidenz (d. h. der GRADE-Bewertung) wurde eine für experimentelle Studien angepasste Version des GRADE-Bewertungssystems verwendet [6, 7]. Dabei wurden nur Studien berücksichtigt, die als „wenig bedenklich“ oder „etwas bedenklich“ eingeordnet wurden.

Von den 3194 Studien, die bei der Literaturrecherche gefunden wurden, blieben nach dem Titel- und Abstract-Screening insgesamt 215 Studien übrig. Diese Studien wurden von zwei unabhängigen Gutachtern auf ihre Eignung geprüft, so dass schließlich 88 Studien in die systematische Übersichtsarbeit einbezogen wurden. Die meisten dieser Studien untersuchten Wirkungen bei Ratten.

Hinsichtlich der *Risk of Bias*-Bewertung wurden die meisten eingeschlossenen Studien der Kategorie „etwas bedenklich“ zugeordnet, gefolgt von „sehr bedenklich“ und nur einer sehr geringen Anzahl von „wenig bedenklichen“ Studien. Die Gründe für Bedenken waren vor allem eine unzureichende Charakterisierung der Exposition und expositionsabhängigen Temperaturveränderungen sowie eine zu geringe Größe von Versuchsgruppen. Die Autoren stellten fest, dass das höchste Vertrauen in die Expositionsbeschreibung mit den Studien mit dem größten Stichprobenumfang zu korrelieren schien.

Insgesamt wurden 14 Endpunkte in drei Kategorien untersucht:

#### **Verminderung der Fruchtbarkeit:**

- Für den Endpunkt *Präimplantationsverlust* wurde aufgrund der insgesamt geringen Studienqualität keine Meta-Analyse durchgeführt.
- Für den Endpunkt *Größe des Wurfs* zeigte die Meta-Analyse von 24 Studien keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen schein-exponierter- und HF-EMF-exponierter Gruppe mit MD= 0,05 (95% Konfidenzintervall (KI) [-0,21 bis 0,30]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 4,92 W/kg. Das Vertrauen in die Evidenz war hoch.
- Für den Endpunkt *resorbierte oder tote Föten* zeigte die Meta-Analyse von 21 Studien eine statistisch signifikante Erhöhung der Inzidenz bei HF-EMF-exponierten Tieren mit OR= 1,84 (95% KI [1,27 bis 2,66]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 20,26 W/kg. Das Vertrauen in die Evidenz war gering.

#### **Schädliche Auswirkungen auf die Gesundheit des Nachwuchses bei der Geburt:**

- Für den Endpunkt *Fötales Gewicht* zeigte die Meta-Analyse von 48 Studien eine kleine, statistisch signifikante Abnahme des fötalen Gewichts in den HF-EMF-exponierten Gruppen mit SMD= 0,31 (95% KI [0,15 bis 0,48]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 9,83 W/kg. Das Vertrauen in die Evidenz war moderat.
- Für den Endpunkt *Größe des Fötus* zeigte die Meta-Analyse von 13 Studien eine kleine, statistisch signifikante Abnahme der Größe in der HF-EMF-exponierten Gruppe mit SMD= 0,45 (95% KI [0,07

bis 0,83]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 4,55 W/kg. Das Vertrauen in die Evidenz war gering.

- Für den Endpunkt *Anteil missgebildeter Föten* zeigte die Meta-Analyse von 13 Studien einen mäßigen, statistisch signifikanten Anstieg von missgebildeten Föten mit SMD= -0,45 (95% KI [-0,68 bis -0,23]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 6,75 W/kg. Das Vertrauen in die Evidenz war gering.
- Für den Endpunkt *Anzahl von Würfen mit missgebildeten Föten* zeigte die Meta-Analyse von 28 Studien eine große, statistisch signifikante Zunahme von Würfen mit missgebildeten Föten mit OR= 3,22 (95% KI [1,9 bis 5,46]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 16,63 W/kg. Das Vertrauen in die Evidenz war sehr gering.
- Für den Endpunkt *Geschlechterverhältnis* zeigte die Meta-Analyse von 13 Studien keinen HF-EMF-Effekt mit OR = 1,08 (95% KI [0,92 bis 1,28]) bei einem durchschnittlichen SAR-Wert von 4,29 W/kg gefunden. Das Vertrauen in die Evidenz wurde als gering eingestuft.

#### **Spätfolgen für die Gesundheit der Nachkommen:**

- Für den Endpunkt *Hirnpathologie* zeigte die Meta-Analyse von 12 Studien keine Wirkung der HF-EMF-Exposition mit SMD= 0,10 (95% KI [-0,09 bis 0,29]). Das Vertrauen in die Evidenz war moderat.
- Für den Endpunkt *Verhaltensentwicklung* wurde aufgrund der geringen Qualität der Studien keine Meta-Analyse durchgeführt.
- Für den Endpunkt *Lern- und Gedächtnisfunktionen* zeigte die Meta-Analyse von zwei Studien keinen signifikanten Unterschied zwischen nicht-exponierten und exponierten Gruppen mit SMD= -0,54 (95% KI [-1,24 bis 0,17]). Das Vertrauen in die Evidenz war sehr gering.
- Für den Endpunkt *motorischen Aktivitätsfunktionen* zeigte die Meta-Analyse von vier Studien eine Abnahme der Ausdauer-Kapazität bei den Nachkommen von HF-EMF-exponierten Müttern mit SMD= 0,79 (95% KI [0,21 bis 1,38]). Das Vertrauen in die Evidenz war sehr gering.
- Für den Endpunkt *motorische und sensorische Funktionen* zeigte die Meta-Analyse von zwei Studien eine moderate Zunahme der Ausprägung der Schreckreaktion bei den HF-EMF-exponierten Tieren mit SMD= -0,66 (95% KI [-1,18 bis -0,14]). Das Vertrauen in die Evidenz war sehr gering.
- Für den Endpunkt *weibliche Unfruchtbarkeit (F2-Würfe)* zeigte die Meta-Analyse von vier Studien keinen HF-EMF-Effekt mit SMD= 0,08 (95% KI [-0,39 bis 0,55]). Das Vertrauen in die Evidenz war sehr gering.

Aus Sicht der Autoren gibt es einige Limitationen; zwar war die Datengrundlage mit 88 eingeschlossenen Studien ausreichend groß, allerdings auch sehr heterogen bezüglich der Studienmerkmale, Parameter, Messgrößen und Endpunkte, was die Vergleichbarkeit und die Anzahl der Studien für die einzelnen Meta-Analysen einschränkte. Darüber hinaus zeigten viele Studien Defizite bei der Charakterisierung der Exposition, Verblindung, Stichprobengröße und der untersuchten Endpunkte, was insgesamt die Unsicherheit erhöhte und die *Risk of Bias*-Bewertung verschlechterte. In den meisten Studien waren Versuchsaufbau und die Darstellung der Ergebnisse nicht nach den empfohlenen Richtlinien der OECD (Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung) standardisiert, weil der Großteil der Studien nicht auf eine Risikobewertung ausgerichtet war, sondern einen eher explorativen Ansatz verfolgte.

Den Autoren zufolge liefert die systematische Literaturstudie keine hinreichende Evidenz für eine Beeinträchtigung der weiblichen Fruchtbarkeit, Schwangerschaft und Nachkommen in Tierstudien durch HF-EMF-Exposition und sehen nur eine möglicherweise geringe Auswirkung auf das fötale Gewicht, allerdings unter Berücksichtigung der in den Studien eingesetzten, sehr hohen Exposition.

Insgesamt kommen die Autoren zu dem Schluss, dass ihre Studie die anfangs gestellte PECO-Frage nur teilweise beantworten und konnte keine hinreichend gesicherten Schlussfolgerungen liefern, um

regulatorische Entscheidungen anzustoßen. Sie kann jedoch als Ausgangspunkt für künftige Forschung zu diesem Thema betrachtet werden.

### 3 Kommentare des BfS

Diese systematische Übersichtsarbeit ist aus Sicht des Strahlenschutzes wichtig und ist sowohl für die Wissenschaft als auch für die breite Öffentlichkeit von Interesse.

Die Studie wurde nach den hohen Qualitätsstandards für systematische Übersichtsarbeiten [4] durchgeführt. Die Einschlusskriterien waren nicht allzu streng in Bezug auf das Veröffentlichungsdatum, Tierpopulationen oder Expositionsbedingungen und umfassten eine Vielzahl von Expositionsdauern, spezifischen Absorptionsraten (SAR) und HF-EMF-bedingte Temperaturerhöhungen. Die Daten wurden sorgfältig synthetisiert, statistische Heterogenität wurde durch Subgruppenanalysen untersucht und Dosis-Wirkungs-Analysen wurden, wenn möglich, ebenfalls durchgeführt.

Besondere Aufmerksamkeit wurde der Extraktion dosimetrischer Informationen gewidmet. Wenn in den eingeschlossenen Studien keine genauen Daten zur Exposition angegeben wurden, wurde eine SAR-Schätzung auf der Grundlage anderer dosimetrischer Informationen und biophysikalischer Annahmen berechnet. Leider wurde die genaue Berechnungsmethode nicht angegeben.

Die Entscheidung der Autoren, Studien mit „hoher Besorgnis“ nicht in die Gesamtbewertung der Evidenz (GRADE) einzubeziehen, ist nachvollziehbar, da die Einbeziehung solcher Studien das Vertrauen in die Evidenz weiter verringert hätte.

Für die meisten statistisch signifikanten Ergebnisse war das Vertrauen in die Evidenz gering oder sogar sehr gering, meist aufgrund einer hohen *Risk of Bias* und Inkonsistenz zwischen den Studien. Nur die Ergebnisse für die Wurfgröße, das fötale Gewicht und die Hirnpathologie waren moderat oder hoch. Für diese und die meisten anderen Endpunkte ist es jedoch offensichtlich, dass die in den Studien verwendeten durchschnittlichen Expositionsniveaus (wbSAR) den Grenzwert für den Menschen von 0,08 W/kg bei weitem überschreiten [8]. Die Autoren stellten fest, dass die in den einbezogenen Studien verwendeten Expositionsniveaus im Durchschnitt sehr hoch waren und dass viele der gemessenen Wirkungen höchstwahrscheinlich auf Temperaturerhöhungen zurückzuführen sind, die bei den verwendeten hohen Feldstärken auftreten. Es ist bekannt, dass Erwärmungseffekte schädlich für die Entwicklung des Fötus sind und sich unter anderem auf das Gewicht des Fötus auswirken können [9]. Auf der Grundlage der einbezogenen Daten kann nicht festgestellt werden, ab welchem Expositionsniveau HF-EMF in experimentellen Tierstudien Auswirkungen auf Schwangerschaft und Geburt haben. Ob mögliche Auswirkungen von HF-EMF auch schon bei geringeren Expositionen, einschließlich der Alltagsexposition des Menschen, auftreten können, bleibt unbeantwortet.

Insgesamt bietet diese systematische Übersichtsarbeit eine umfassende und transparente Analyse der aktuellen Evidenz für einen Zusammenhang zwischen HF-EMF-Exposition und Schwangerschaft und Geburt in tierexperimentellen Studien. Aus Sicht des Strahlenschutzes liefert diese systematische Übersichtsarbeit keine Hinweise für schädliche Wirkungen auf die weiblichen Fruchtbarkeit, Schwangerschaft und die Nachkommenschaft durch HF-EMF-Exposition für den Menschen, insbesondere nicht für typische Expositionsszenarien, die für die Alltagsexposition des Menschen relevant sind (z. B. durch Sendemasten oder drahtlose Geräte). Angesichts des insgesamt geringen Vertrauens in die Evidenz ist weitere Forschung erforderlich, die hohen Qualitätsstandards entspricht und relevante Expositionsniveaus untersucht. Der Bedarf für qualitativ hochwertigere Studien steht im Einklang mit den Schlussfolgerungen von SCHEER [10], der deutschen Strahlenschutzkommission [11] und den Schlussfolgerungen der Autoren dieser systematischen Übersichtsarbeit.

## Referenzen

- [1.] Cordelli, E., L. Ardoino, B. Benassi, C. Consales, P. Eleuteri, C. Marino, et al., *Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on pregnancy and birth outcomes: A systematic review of experimental studies on non-human mammals*. Environ Int, 2023. 180: p. 108178 DOI: 10.1016/j.envint.2023.108178.
- [2.] Verbeek, J., G. Oftedal, M. Feychting, E. van Rongen, M. Rosaria Scarfi, S. Mann, et al., *Prioritizing health outcomes when assessing the effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A survey among experts*. Environ Int, 2021. 146: p. 106300 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106300>.
- [3.] Cordelli, E., L. Ardoino, B. Benassi, C. Consales, P. Eleuteri, C. Marino, et al., *Effects of radiofrequency electromagnetic field (RF-EMF) exposure on male fertility: A systematic review of experimental studies on non-human mammals and human sperm in vitro*. Environ Int, 2024. 185: p. 108509 DOI: 10.1016/j.envint.2024.108509.
- [4.] Pacchierotti, F., L. Ardoino, B. Benassi, C. Consales, E. Cordelli, P. Eleuteri, et al., *Effects of Radiofrequency Electromagnetic Field (RF-EMF) exposure on male fertility and pregnancy and birth outcomes: Protocols for a systematic review of experimental studies in non-human mammals and in human sperm exposed in vitro*. Environ Int, 2021. 157: p. 106806 DOI: 10.1016/j.envint.2021.106806.
- [5.] Program, N.T., *Handbook for Conducting a Literature-Based Health Assessment Using OHAT Approach for Systematic Review and Evidence Integration*. 2019. 96.
- [6.] Schünemann, H.B., J.; Guyatt, G. and Oxman, A. *GRADE Handbook*. 2013; Available from: <https://gdt.grade.pro.org/app/handbook/handbook.html>.
- [7.] Rooney, A.A., A.L. Boyles, M.S. Wolfe, J.R. Bucher and K.A. Thayer, *Systematic review and evidence integration for literature-based environmental health science assessments*. Environ Health Perspect, 2014. 122(7): p. 711-8 DOI: <https://doi.org/10.1289/ehp.1307972>.
- [8.] ICNIRP, *Guidelines for limiting exposure to electromagnetic fields (100 kHz to 300 GHz)*. Health Phys, 2020. 118(00):000–000; 2020 DOI: DOI: 10.1097/HP.0000000000001210.
- [9.] Edwards, M.J., R.D. Saunders and K. Shiota, *Effects of heat on embryos and fetuses*. Int J Hyperthermia, 2003. 19(3): p. 295-324 DOI: 10.1080/0265673021000039628.
- [10.] SCHEER (Scientific Committee on Health, E.a.E.R., *Preliminary opinion on the need of a revision of the annexes in the Council Recommendation 1999/519/EC and Directive 2013/35/EU, in view of the latest scientific evidence available with regard to radiofrequency (100kHz - 300GHz)*. 2023
- [11.] Strahlenschutzkommission, *Elektromagnetische Felder des Mobilfunks im Zuge des aktuellen 5G-Netzausbaus Technische Aspekte und biologische Wirkungen im unteren Frequenzbereich (FR1, bis ca. 7 GHz)*. 2021.



## **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](mailto:spotlight@bfs.de)

De-Mail: [epost@bfs.de-mail.de](mailto:epost@bfs.de-mail.de)

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

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:

[urn:nbn:de:0221-2024061244261](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0221-2024061244261)

Spotlight - Jun/2024 no.1 (Deu)