

Beurteilung der von der WHO in Auftrag gegebenen systematischen Übersichtsarbeiten zu den gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF

Hintergrund

Zwischen 2023 und 2025 wurde in einer Sonderausgabe der Fachzeitschrift *Environmental International* (<https://www.sciencedirect.com/special-issue/1092DR596MG>) eine Reihe von koordinierten systematischen Übersichtsarbeiten (Systematic Reviews, SRs) veröffentlicht, in denen die wissenschaftlichen Daten zu gesundheitlichen Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern (HF-EMF; Frequenzbereich 100 kHz bis 300 GHz) untersucht wurden. Die von über 80 internationalen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern durchgeföhrten und mit detaillierten Protokollen ergänzten SRs bilden eine transparente Evidenzbasis für globale Bewertungen des Gesundheitsrisikos und sollen die Herleitung und Umsetzung von regulatorischen Massnahmen unterstützen. Die SRs wurden von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) im Rahmen ihrer laufenden Bewertung der Gesundheitsrisiken durch die Exposition des Menschen mit elektromagnetischen Feldern (EMF) in Auftrag gegeben und unterstützend begleitet. Diese Arbeit baut auf der Monografie-Reihe *Environmental Health Criteria* (EHC) der WHO auf, deren letzte umfassende Aktualisierung zu HF-EMF im Zusammenhang mit Mobilkommunikationssystemen im Jahre 1993 veröffentlicht wurde ([WHO EHC Monograph No. 137](#)). Nach der Lancierung des *International EMF Project* (<https://www.who.int/initiatives/the-international-emf-project>) und der Wiederaufnahme von HF-EMF in die Forschungsagenda der WHO im Jahr 2010 ([WHO-Forschungsagenda für Hochfrequenzfelder, 2010](#)) wurde dieses SR-Projekt ins Leben gerufen, um die Evidenzbasis zu aktualisieren. Die SRs wurden gemäss dem *WHO Handbook for Guideline Development* durchgeföhr mit entsprechend hohen Standards hinsichtlich methodischer Sorgfalt, Transparenz und Unabhängigkeit.

Das Vorgehen zur Aufarbeitung der wissenschaftlichen Grundlage für die aktualisierte EHC-Monografie und die Entwicklung dieser SRs folgte einem strukturierten, dreistufigen Ansatz, der eine umfassende und fokussierte Evidenzsynthese gewährleisten soll ([Verbeek et al., 2025](#)). Die Priorisierung relevanter Gesundheitsthemen für die Bewertung durch SRs basierte auf einer Umfrage der WHO aus dem Jahr 2018, in der über 300 eingeladene Forschende dazu befragt wurden, welche gesundheitlichen Bedenken in der Bevölkerung vorherrschend sind ([Verbeek et al., 2021](#)). So wurden die relevantesten Gesundheitsthemen für eine Bewertung durch SRs identifiziert: die Experteninnen und Experten stuften Krebs, wärmebedingte Auswirkungen, Fertilität und Reproduktionsfähigkeit bei Männern, Auswirkungen auf Fortpflanzung und Schwangerschaft, elektromagnetische Hypersensibilität (EHS), kognitive Beeinträchtigungen und oxidativen Stress als die kritischsten möglichen Folgen von HF-EMF-Exposition ein (Tabelle 1). Diese Priorisierung bildete die Grundlage für die 10 SR-Themen, die von der WHO öffentlich ausgeschrieben wurden. Sie umfassen die Bewertung von Beobachtungsstudien und experimentellen Humanstudien sowie von Tier- und Zellstudien. Für die Durchführung der SRs zu diesen Themen konnten sich internationale Forschungsteams bewerben. Das Ergebnis war die Veröffentlichung von zwölf SRs in einer Sonderausgabe von *Environment International*, zusammen mit einem Überblick über strategische Überlegungen, methodische Vorgehensweisen und Erkenntnisse der Organisatoren und Herausgeber ([Verbeek et al., 2025](#)). Die SRs liefern eine aktuelle Synthese der Evidenz zu den gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF, und dienen als wissenschaftliche

Grundlage für die laufende Risikobewertung der WHO und die bevorstehende Aktualisierung der EHC-Monografie.

Table 1: Überblick über die Themen der von der WHO in Auftrag gegebenen SRs

Thema der WHO-Umfrage	Von der WHO in Auftrag gegebene SRs	SR in <i>Environmental International</i>
Krebs	SR1 – Krebs (Beobachtungsstudien)	Karipidis et al., 2024 Karipidis et al., 2025
	SR2 – Krebs (Tierstudien)	Mevissen et al., 2025
Negative Auswirkungen auf Geburt und Schwangerschaft	SR3 – Negative Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit (Beobachtungsstudien)	Johnson et al., 2024 Kenny et al., 2024
	SR4 – Negative Auswirkungen auf die Fortpflanzungsfähigkeit (Tier- und Zellstudien)	Cordelli et al., 2023 Cordelli et al., 2024
Kognitive Beeinträchtigung	SR5 – Kognitive Beeinträchtigung (Beobachtungsstudien)	Benke et al., 2024
	SR6 – Kognitive Beeinträchtigung (experimentelle Humanstudien)	Pophof et al., 2024
Elektromagnetische Hypersensibilität	SR7 – Symptome (Beobachtungsstudien)	Röösli et al., 2024
	SR8 – Symptome (experimentelle Humanstudien)	Bosch-Capblanch et al., 2024
Oxidativer Stress	SR9 – Auswirkungen von HF-EMF-Exposition auf Biomarker für oxidativen Stress	Meyer et al., 2024
Wärmebedingte Auswirkungen	SR10 – Auswirkungen von Hitzeeinwirkung jeglicher Art auf Schmerz, Verbrennungen, Katarakte und hitzebedingte Erkrankungen	In Auftrag gegeben, aber nicht abgeschlossen

Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Relevanz für die menschliche Gesundheit

Die zwölf SRs bewerteten die wissenschaftliche Evidenz für mehrere Endpunkte, die für die menschliche Gesundheit von Bedeutung sind (Tabelle 1). Die Anzahl der in den einzelnen SRs berücksichtigten Studien variierte erheblich und reichte von fünf Beobachtungsstudien zu kognitiven Fähigkeiten bis zu 215 Studien zur Fruchtbarkeit bei Tieren. Zwei SRs zu Beobachtungsstudien ([Karipidis et al., 2024](#), [Karipidis et al., 2025](#)) und eine zu Labortieren ([Mevissen et al., 2025](#)) befassten sich mit Karzinogenität. Vier SRs befassten sich mit dem Thema Fruchtbarkeit und Fortpflanzung, wobei entweder Beobachtungsstudien im Hinblick auf Frauen ([Johnson et al., 2024](#)) und Männer ([Kenny et al., 2024](#)) oder experimentelle Daten zu Tieren und *ex vivo* menschlichen Spermien ([Cordelli et al., 2023](#), [Cordelli et al., 2024](#)) ausgewertet wurden. Die Auswirkungen von HF-EMF-Exposition auf die menschliche Kognition wurden in zwei SRs analysiert, wobei der Schwerpunkt auf Beobachtungsstudien ([Benke et al., 2024](#)) und experimentellen Studien ([Pophof et al., 2024](#)) lag. Zwei SRs berichteten über subjektive Symptome im Zusammenhang mit dem Wohlbefinden, basierend auf Beobachtungsstudien ([Röösli et al., 2024](#)) und experimentellen Humanstudien ([Bosch-Capblanch et al., 2024](#)). In Bezug auf Krebs und auch im Zusammenhang mit anderen Gesundheitsthemen wurden Marker für oxidativen Stress basierend auf experimentellen *in vivo*- und *in vitro*-Daten systematisch evaluiert ([Meyer et al., 2024](#)).

Die Hauptergebnisse und Schlussfolgerungen dieser SRs sind an anderer Stelle vorgestellt ([BAFU, BfS](#)). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die SRs zu den verfügbaren Beobachtungsstudien hinsichtlich Krebsentstehung, Kognition, Fortpflanzung und Symptomen keine Hinweise auf mögliche gesundheitsschädliche Auswirkungen der Exposition ergeben haben. Für die meisten Endpunkte sind die verfügbaren Daten jedoch begrenzt, und die Zuverlässigkeit der Evidenz ist im Allgemeinen gering ([Karipidis et al., 2024](#), [Karipidis et al., 2025](#), [Benke et al., 2024](#), [Johnson et al., 2024](#), [Kenny et al., 2024](#),

[Röösli et al., 2024](#)). In Bezug auf Tumore im Gehirn- und Kopfbereich bei Nahfeld-Exposition wurde eine moderate Zuverlässigkeit der Evidenz für eine fehlende Wirkung festgestellt. Somit sind gesundheitsschädliche Auswirkungen von HF-EMF in epidemiologischen Studien, die die reale Exposition der Allgemein- und der arbeitenden Bevölkerung widerspiegeln, nicht unmittelbar erkennbar.

Die Schlussfolgerungen der SRs zu Beobachtungen aus experimentellen Human- und Tierstudien waren teils widersprüchlich, was möglicherweise auf die Anwendung längerer und stärkerer Expositionen in experimentellen Studien zurückzuführen ist als typischerweise in Beobachtungsstudien bei der Allgemeinbevölkerung vorkommen. Die HF-EMF-Exposition beim Menschen hatte keinen nachweisbaren Einfluss auf Symptome wie Kopfschmerzen und die meisten kognitiven Messgrößen bei Probandinnen und Probanden, wobei die Zuverlässigkeit der Evidenz als mässig bis hoch eingestuft wurde ([Bosch-Capblanch et al., 2024](#), [Pophof et al., 2024](#)). Dennoch gab es einige Hinweise auf Auswirkungen auf bestimmte kognitive Aufgaben, wenn auch mit geringer bis sehr geringer Zuverlässigkeit der Evidenz. Ebenso wurde beobachtet, dass die *ex vivo*-Exposition von menschlichem Sperma zu einer uneinheitlichen Beeinträchtigung der Spermienqualität führt, wobei die Evidenzbewertung als gering zuverlässig eingestuft wurde ([Cordelli et al., 2024](#)). Die Ergebnisse von Tierstudien zur Fortpflanzung lieferten einige Hinweise, die mit moderater Zuverlässigkeit bewertet wurden, auf ein erhöhtes Risiko der Unfruchtbarkeit männlicher Tiere und auf ein verringertes Geburtsgewicht nach Exposition weiblicher Tiere. In Bezug auf andere Reproduktionsparameter, einschliesslich Fruchtbarkeit und Gehirnentwicklung der Nachkommen, wurden von keinen nachteiligen Auswirkungen berichtet (mit hoher bzw. moderater Zuverlässigkeit) ([Cordelli et al., 2023](#), [Cordelli et al., 2024](#)). Für eine beträchtliche Anzahl der analysierten Endpunkte sind die verfügbaren Daten jedoch begrenzt und die Zuverlässigkeit der Evidenz gering. Dies erschwert sowohl eindeutige Schlussfolgerungen über die Auswirkungen von HF-EMF auf die Fortpflanzung von Tieren als auch die Übertragung der Ergebnisse aus Tierstudien auf die menschliche Fortpflanzung, für die in Beobachtungsstudien in der Allgemeinbevölkerung und der arbeitenden Bevölkerung keine nachteiligen Auswirkungen festgestellt wurden ([Johnson et al., 2024](#), [Kenny et al., 2024](#)).

Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen der krebsbezogenen SRs unterscheiden sich zwischen Beobachtungsstudien und Tierstudien, wodurch einige Unsicherheiten hinsichtlich der karzinogenen Wirkung von HF-EMF bestehen bleiben. In Studien an Labortieren wurde eine erhöhte Inzidenz von Herz-Schwannomen und Gliomen sowie Tumoren anderer Organe festgestellt. Die Zuverlässigkeit der Evidenz für diese Ergebnisse wurde von [Mevissen et al. \(2025\)](#) als hoch oder moderat eingestuft. Es gilt zu beachten, dass diese Schlussfolgerungen auf den Ergebnissen zweier gross angelegter chronischer Bioassays basieren, die vom *National Toxicology Program* (NTP) und dem Ramazzini-Institut durchgeführt wurden (siehe [Sonderausgabe BERENIS-Newsletter, November 2018](#)). Um mögliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit bewerten zu können, müssen jedoch die begrenzte Aussagekraft von Tiermodellen hinsichtlich direkter Übertragbarkeit auf den Menschen und die üblicherweise in toxikologischen Experimenten verwendeten experimentellen HF-EMF-Dosen berücksichtigt werden. Es gibt zwar keine zwingenden Belege, dass Tiermodelle keine rationale Grundlage für mögliche Auswirkungen auf den Menschen darstellen. Jedoch müssen bei der Übertragung der Effektgrößen auf das Krebsrisiko beim Menschen unbedingt die Art der Exposition (lokal oder am ganzen Körper) sowie die Dauer und Intensität der Exposition berücksichtigt werden. In dieser Hinsicht wäre ein mechanistisches Verständnis der Wirkungsweise von HF-EMF von Vorteil für die Bewertung der Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit. In der Regel wird dies anhand von Zellstudien untersucht. Eine kürzlich unabhängig von der WHO-Initiative durchgeführte systematische Übersichtsarbeit kam jedoch, mit konstaterter moderater Zuverlässigkeit der Evidenz, zu dem Ergebnis, dass HF-EMF-Exposition keinen Einfluss auf die Genotoxizität hat, die bekanntermassen zu

Mutagenese führt und damit Karzinogenese verursacht ([Romeo et al., 2024](#)). In Bezug auf Karzinogenese liefert die SR zu Markern für oxidativen Stress in Tier- und Zellstudien kaum verlässliche Erkenntnisse. Dies liegt daran, dass die Evidenz überwiegend mit geringer und sehr geringer Zuverlässigkeit bewertet wurde, dies sowohl hinsichtlich einer Tendenz zu oxidativem Stress, beispielsweise im Blut, in den Hoden und im Thymus von Nagetieren, als auch für die Abwesenheit von konsistenten Veränderungen in anderen Gewebe- und Zelltypen ([Meyer et al., 2024](#)). Es ist jedoch wichtig, die potenziellen Einschränkungen der eingeschlossenen Studien zu berücksichtigen, die zu der geringen Zuverlässigkeit der Evidenz beitragen können. Zu diesen Einschränkungen gehören das Vorhandensein von Studien mit zahlreichen Unsicherheiten sowie die grosse Bandbreite an Versuchsmodellen und -protokollen. Diese Studien wurden gemäss dem Protokoll der SR und Meta-Analyse für experimentelle Ergebnisse gruppiert und kombiniert. Bei einer Vielzahl von Erkrankungen unterliegen die Werte der Marker für oxidativen Stress Schwankungen aufgrund der Reaktion auf externe Einflüsse und der Wirkung zellulärer Mechanismen. Der konzeptionelle Ansatz dieser SR war auf molekulare Schäden im Zusammenhang mit Krebs (DNS-Schäden) ausgerichtet, berücksichtigte jedoch nicht Aspekte wie den Zweck des Experiments, die Persistenz des oxidativen Stresses und die funktionellen Folgen, wobei letztere in mehreren Studien verfügbar gewesen wären. Für die Bestimmung der biologischen Relevanz der Daten ist es unerlässlich, diese Punkte einzubeziehen. Genauso wichtig ist es, die Schwierigkeiten zu erkennen, die mit der Einbeziehung in eine SR mit Meta-Analyse verbunden sind.

Lassen die Daten und die Qualität der Studien klare Schlussfolgerungen hinsichtlich Auswirkungen auf die Gesundheit zu?

Das SR-Projekt zeichnete sich insgesamt zwar durch wissenschaftliche Qualität und Transparenz aus, doch aufgrund der Einschränkungen der vorhandenen Studien blieb die Zuverlässigkeit der Evidenz für viele wichtige Endpunkte gering oder sehr gering. Für die meisten untersuchten Endpunkte liessen die methodische Qualität und Vollständigkeit der verfügbaren Daten keine eindeutigen Schlussfolgerungen hinsichtlich der gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF-Exposition zu. Alle zwölf SRs kamen zu dem Schluss, dass sowohl die unzureichende Anzahl der Studien als auch methodische Schwächen der vorhandenen Forschung die Aussagekraft der Schlussfolgerungen einschränken. BERENIS stimmt mit dem Fazit der Autorinnen und Autoren überein, dass die häufigen methodischen Einschränkungen der eingeschlossenen Studien, welche oft zwei oder mehr Qualitätskriterien betrafen, die Zuverlässigkeit der Bewertungen und die Formulierung klarer Schlussfolgerungen in Bezug auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen vom HF-EMF-Exposition in Frage stellen. Zahlreichen Studien zu den Auswirkungen von HF-EMF mangelt es an wissenschaftlicher Gründlichkeit. Diese Einschränkungen sind ein weit verbreitetes Problem in der Forschung und nicht nur auf die in den SRs bewerteten Studien beschränkt. Dies gilt insbesondere für EMF-bezogene Fragestellungen, bei denen die Unterscheidung zwischen thermischen und nicht-thermischen Effekten sowie die Ermittlung geeigneter Expositionsmasse eine entscheidende Rolle spielen. Die Zuverlässigkeit von Beobachtungsstudien kann durch Fehleinstufungen aufgrund retrospektiver Expositionabschätzung beeinträchtigt werden. Weiter sind Mängel im Studiendesign und der Expositionsscharakterisierung eine weit verbreitete Einschränkung experimenteller Studien, was zu einer Herabstufung der Zuverlässigkeit der Evidenz führt (GRADE-Bewertung).

Neben den Einschränkungen der bestehenden Forschungsresultate müssen auch die Grenzen des SR-Ansatzes hinsichtlich der Bewertung der Zuverlässigkeit und Qualität einer Evidenzbasis (GRADE-Bewertung) berücksichtigt werden. Für dieses SR-Projekt wurde ein harmonisierter Ansatz zur Bewertung des Evidenzgrades verwendet, um sicherzustellen, dass die Methoden in den

verschiedenen SRs möglichst einheitlich und vergleichbar waren. In einer im Jahr 2016 erschienenen Veröffentlichung in *Environment International* zu SR-Methodik wurde festgestellt, dass das GRADE-System zwar viele Vorteile für die Evidenzbewertung bietet, jedoch weiter verfeinert und methodisch angepasst werden muss, um in der Umweltforschung in vollem Umfang anwendbar zu sein. Insbesondere für Tierstudien zu Krebs wurden Meta-Analysen als ungeeignet angesehen, vor allem aufgrund der erheblichen methodischen und biologischen Heterogenität zwischen den Studien, darunter fallen Unterschiede bei den Tiermodellen (Spezies, genetische Veränderungen, Ernährung, Haltungsbedingungen), der Expositionsscharakteristik (Fernfeld versus Nahfeld, Modulation) und den wichtigsten Versuchsparametern (Beginn, Zeitpunkt und Dauer der Exposition sowie Art des Expositionssystems). Um festzustellen, ob ein Umweltfaktor ein potenzielles Gesundheitsrisiko darstellt, muss die SR-basierte Methodik auch die Bewertung und Integration von Evidenz aus Humanstudien, Tierstudien, sowie *in vitro*- und *in silico*-Studien beinhalten. Bislang wurden die Leitlinien noch nicht angepasst. Es gibt jedoch Vorschläge zur Änderung der Bewertungen im „*Report on Carcinogens*“, der Teil des *National Toxicology Program* ist, beispielsweise die Berücksichtigung von Sensitivität bei der Bewertung des Verzerrungspotenzials.

Die SRs gingen auch unterschiedlich damit um, wie sie Studien mit möglichen Verzerrungen und Schwächen behandelten. Das zeigte sich besonders bei den Meta-Analysen, die in elf der zwölf SRs durchgeführt wurden. Eine Meta-Analyse wird empfohlen, wenn die in einer SR eingeschlossenen Studien eine ähnliche Fragestellung behandeln, vergleichbare Interventionen und Endpunkte verwenden und ausreichende Daten für eine aussagekräftige statistische Synthese liefern. Eine Meta-Analyse sollte nicht durchgeführt werden, wenn erhebliche Heterogenität in Bezug auf Studiendesign, Populationen oder Endpunkte besteht, die nicht ausreichend erklärt werden kann, oder wenn methodische Unterschiede und Verzerrungen zu irreführenden Gesamt-Effektschätzern führen. Die Qualität und Anzahl der eingeschlossenen Studien bei den meisten SRs war begrenzt, und die Art und Weise, wie mit verzerrungsbehafteten Studien umgegangen wurde, könnte die Gesamtschlussfolgerungen beeinflusst haben. Dieser Punkt muss bei der künftigen Bewertung der gesundheitlichen Auswirkungen auf den Menschen, die sich auf die systematische Erfassung und Bewertung der aktuellen Literatur durch diese SRs stützen wird, entsprechend berücksichtigt werden.

Die BERENIS kommt nach Auswertung der in den SRs aufgeführten und analysierten Evidenzlage zu dem Schluss, dass die Evidenzlage unzureichend und zu widersprüchlich ist, um klare Aussagen über die Auswirkungen von HF-EMF auf die menschliche Gesundheit zu treffen. Dies ist zum Teil auf die verwendete SR-Methodik zurückzuführen, die ursprünglich für klinische Studien zur Bewertung des Nutzens einer neuen Behandlung konzipiert wurde. Umgekehrt, auch wenn es keine Ergebnisse mit hoher Zuverlässigkeit in den SRs von Beobachtungsstudien gibt, gibt es kaum Anzeichen für substantielle gesundheitliche Auswirkungen durch HF-EMF-Exposition bei gesunden Personen. Dies deutet darauf hin, dass die bestehenden regulatorischen Massnahmen ein Vorsorge-Schutzniveau bieten.

Gibt es Menschen, die vulnerabler sind?

Die derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Daten lassen keine Rückschlüsse auf die Existenz von Personen zu, die im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung empfindlicher und vulnerabler sind. Diesbezüglich hat die Analyse von Daten aus Beobachtungsstudien und experimentellen Studien mit von elektromagnetischer Hypersensibilität und von Multipler Sklerose Betroffenen den Erkenntnisstand nicht vorangebracht ([Bosch-Capblanch et al., 2024](#), [Röösli et al., 2024](#)). Beobachtungsstudien befassten sich in der Regel mit Daten aus der Gesamtbevölkerung. Es ist daher

unwahrscheinlich, dass eine kleine, besonders vulnerable Untergruppe einen substantiellen Einfluss auf die allgemeine öffentliche Gesundheit hat, insbesondere wenn die genetischen, physiologischen oder krankheitsbedingten Prädispositionen nicht bekannt sind. Umgekehrt könnte ein Effekt in einer solchen Teilpopulation durch das Studiendesign überdeckt worden sein. SRs zu Beobachtungsstudien ließen meist keine Stratifizierung nach Vulnerabilität oder demographischen Merkmalen zu ([Karipidis et al., 2024](#), [Kenny et al., 2024](#), [Karipidis et al., 2025](#)), während die SR zu kognitiven Fähigkeiten überwiegend Studien an Kindern und nur eine Studie an älteren Menschen umfasste ([Benke et al., 2024](#)). In ähnlicher Weise wurden in experimentellen Studien zum Thema Kognition beim Menschen überwiegend Kinder und Jugendliche untersucht, die generell als vulnerable Gruppe angesehen werden. Bemerkenswert ist, dass nur eine einzige Studie zu älteren Menschen beschrieben wurde ([Pophof et al., 2024](#)). Daher ist es schwierig, Schlussfolgerungen über die Vulnerabilität von Untergruppen zu ziehen, und es mangelt insbesondere an Daten in Bezug auf ältere Menschen. Es ist wichtig zu beachten, dass die Erkenntnisse aus experimentellen Humanstudien oft nicht verallgemeinerbar sind, da diese Studien in der Regel mit gesunden und jungen Freiwilligen durchgeführt werden.

In der Toxikologie gelten sich in der Entwicklung befindliche Organismen wie Föten und Kinder als besonders vulnerabel. In diesem Zusammenhang ist die Bewertung von Auswirkungen auf die Fortpflanzung in Beobachtungsstudien ([Johnson et al., 2024](#)) und in Tierstudien ([Cordelli et al., 2023](#)) von Bedeutung. Es wurde eine Reihe von Studien zu den Auswirkungen der HF-EMF-Exposition auf die allgemeine Bevölkerung und am Arbeitsplatz durchgeführt. Diese Studien haben keine Auswirkungen auf die Entwicklung der Föten, das Geburtsgewicht oder Frühgeborenen festgestellt. Im Gegensatz dazu gibt es Hinweise mit moderater Zuverlässigkeit auf ein verringertes Geburtsgewicht bei Labortieren und mit geringer Zuverlässigkeit auf Auswirkungen auf die Entwicklung von Embryonen und das Nervensystem der Nachkommen. Es bleibt jedoch unklar, ob die HF-EMF-Exposition die Entwicklung der Föten direkt beeinflusst oder indirekt über Einflussnahme auf die Mutter wirkt. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt kann die Möglichkeit nicht ausgeschlossen werden, dass die Exposition gegenüber HF-EMF Auswirkungen auf Föten hat. Schwangere und ihre ungeborenen Nachkommen sollten folglich als mögliche vulnerable Gruppen betrachtet werden.

Wissenslücken und Ausrichtung zukünftiger Forschung

Die Autorinnen und Autoren jedes SR erläuterten, welche Bedeutung und Auswirkungen ihre Ergebnisse und Schlussfolgerungen bezüglich zukünftiger Forschungsaktivitäten haben. Allen SRs gemeinsam ist der formulierte Bedarf an weiterer Forschung, insbesondere der Bedarf an qualitativ hochwertigen Studien mit wenig Unsicherheiten. BERENIS stimmt diesen Aussagen zu, die sich nicht nur auf die in den WHO-SRs behandelten Gesundheitsthemen beziehen sollten, sondern allgemein für die EMF-Forschung gelten, da die Studienqualität einen Hauptgrund für die bestehenden Unsicherheiten darstellt. Obwohl diese Reihe von SRs die Bewertung potenzieller Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit in Bezug auf Krebs, Fortpflanzung, Kognition und Wohlbefinden unterstützt, sind viele Gesundheitsthemen noch unzureichend erforscht und erfordern weitere Untersuchungen, sowohl auf experimenteller Ebene als auch hinsichtlich der Evidenzbewertung durch SRs. Beispielsweise gibt es einige, aber kaum überzeugende Belege für Auswirkungen auf das Herz-Kreislauf- und Immunsystem sowie Hinweise für Einflüsse auf den Stoffwechsel und neurodegenerative Prozesse. Es bedarf jedoch einer Anpassung und Verfeinerung des Ansatzes für zukünftige SRs zu gesundheitsbezogenen EMF-Auswirkungen. Dies ist entscheidend für die aussagekräftige Bewertung potenzieller Auswirkungen von Umweltfaktoren auf die Gesundheit, insbesondere wenn Zell-, Tier- und Humanstudien einbezogen werden, denen es an Homogenität

mangelt. Die Zusammenführung von Daten in einer Meta-Analyse ohne Berücksichtigung der Inhomogenität ist fragwürdig. Dennoch wurde diese Praxis von den meisten SRs übernommen, obwohl gemäss der OHAT-Methodik ein narrativer Syntheseansatz möglich wäre. Es steht ausser Frage, dass SRs ein wirksames Instrument zur Bewertung der Gesamtheit der Evidenz sind. Dennoch ist es unerlässlich, die Grundprinzipien und das Wissen der Toxikologie anzuerkennen, die weiterhin von grosser Relevanz sind und nicht ausser Acht gelassen werden sollten.

Die BERENIS möchte betonen, dass für die meisten Forschungs- und Gesundheitsthemen gut durchgeföhrte mechanistische Untersuchungen erforderlich sind, um ein tieferes Verständnis der Auswirkungen von HF-EMF-Exposition auf molekularer Ebene zu ermöglichen. Dies ist letztlich notwendig, um ein umfassendes Verständnis der potenziellen Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu erreichen. Dies gilt auch für das Thema „Krebs“, bei dem sich die Schlussfolgerungen der WHO-SRs zwischen Beobachtungsstudien und Tierstudien unterscheiden ([Karipidis et al., 2024](#), [Karipidis et al., 2025](#), [Mevissen et al., 2025](#)). Diese Diskrepanz erfordert eine eingehendere Prüfung und weitere Forschung, um die zugrunde liegenden Ursachen aufzuklären. Um den Wissenstand nachhaltig zu erweitern, ist es allerdings wichtig, dass diese Untersuchungen so durchgeführt werden, dass Einschränkungen und Verzerrungen minimiert werden. Nur so lassen sich weitere Unsicherheiten und Bedenken, wie sie in den WHO-SRs geäussert werden, vermeiden. Neben mechanistischen und toxikologischen Untersuchungen, die sich sowohl mit thermischen als auch mit nicht-thermischen Einflüssen sowie mit derzeitigen und zukünftigen Technologien befassen, müssen die gesundheitlichen Auswirkungen von HF-EMF-Exposition kontinuierlich durch Beobachtungsstudien zu Krebs, aber auch zu anderen Gesundheitsthemen weiterverfolgt werden. Das Hauptaugenmerk sollte auf der Durchführung prospektiver Studien zur Langzeitbelastung der Allgemeinbevölkerung sowie der arbeitenden Bevölkerung liegen. Dazu gehören auch verbesserte Expositionsabschätzungen, wie in mehreren SRs empfohlen wurde ([Johnson et al., 2024](#), [Karipidis et al., 2024](#), [Kenny et al., 2024](#), [Röösli et al., 2024](#), [Karipidis et al., 2025](#)).

Empfehlungen der BERENIS hinsichtlich Vorsorgemassnamen und Grenzwerten

Wie bereits in früheren Newsletter-Sonderausgaben erwähnt, unterstützt die BERENIS die Anwendung des Vorsorgeprinzips, wie es in der Schweiz durch den Anlagegrenzwert für Immissionen von festinstallierten Sendeanlagen (z. B. Mobilfunkbasisstationen und Rundfunksendern) in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV) festgelegt ist. Trotz des enormen Aufwands, der für die von der WHO in Auftrag gegebenen SRs betrieben wurde, ist es nach wie vor unmöglich, definitive Schlussfolgerungen über mögliche gesundheitliche Auswirkungen von HF-EMF-Exposition zu ziehen. Für einen erheblichen Teil der bewerteten Endpunkte wurde die Zuverlässigkeit der zugrundeliegenden Evidenz als gering oder sehr gering eingestuft. Diese Schlussfolgerung wurde insbesondere für die gesundheitlichen Auswirkungen gezogen, die in den SRs zu Beobachtungsstudien und experimentellen Humanstudien untersucht wurden. Die Autorinnen und Autoren sind der Ansicht, dass das derzeit geringe Vertrauen in die gesammelte wissenschaftliche Evidenz auf eine Kombination verschiedener Faktoren zurückzuführen ist. Dazu gehören die mangelnde Aussagekraft und/oder Inkonsistenz der Ergebnisse sowie der Mangel an zuverlässigen Studien mit nur wenigen Einschränkungen und potenziellen Verzerrungsrisiken. Diese Auffassung steht im Einklang mit der Beurteilung und Einschätzungen der BERENIS, die die wissenschaftliche Literatur des letzten Jahrzehnts kontinuierlich verfolgt hat. Im Rahmen der bestehenden Grenzwerte erwies es sich als unmöglich mittels SRs, gesundheitliche Auswirkungen von HF-EMF-Exposition mit hoher Zuverlässigkeit abschliessend zu beurteilen. Dennoch ist eine systematische Sammlung und Auswertung der Literatur ein wichtiger Schritt zur Bewertung der Gesundheitsrisiken von HF-EMF. Es

ist offenkundig, dass die Vielzahl biologischer und experimenteller Diskrepanzen mit den methodischen Einschränkungen des hochstandardisierten SR-Ansatzes, der für die Bewertung klinischer Studien entwickelt wurde, unvereinbar zu sein scheint. Insbesondere im Zusammenhang mit experimentellen Studien kommt es häufig vor, dass Meta-Analysen nur wenige biologische oder statistische Erkenntnisse liefern, da eine Vielzahl von Faktoren zusammenkommen, darunter unter anderem die Kombination verschiedener Tierarten, verschiedener Stämme, verschiedener Geschlechter, verschiedener Versuchsmodelle, Studien, die auf bestimmte Organe oder Zellen abzielen und Toxizitätsstudien, unterschiedliche Expositionen wie gepulste und kontinuierliche Felder, unterschiedliche Frequenzen, Intensitäten und Expositions dauern, unterschiedliche Studiendauer und Endpunkte, unterschiedliche statistische Analysemethoden und vieles mehr. Darüber hinaus wurden Versuchsgruppen innerhalb der Studien als unabhängig behandelt, obwohl tatsächlich eine Abhängigkeit aufgrund einer gemeinsamen Kontrollgruppe besteht, was gegen eine grundlegende Anforderung der Meta-Analysemethoden verstößt.

In Bezug auf Vorsorge- und regulatorische Massnahmen ist zudem zu beachten, dass die WHO-SRs nur einen Teil der zuvor in Betracht gezogenen potenziellen biologischen Auswirkungen auf die Gesundheit abdecken. Darüber hinaus wurden in einigen Fällen, insbesondere bei beruflicher Exposition, gepoolte Analysen über einen breiten Frequenzbereich durchgeführt. Die einbezogenen Daten werden jedoch von HF-EMF-Expositionen im Frequenzbereich von 0.8 bis 2.5 GHz dominiert, die mit älteren Mobilfunkstandards zusammenhängen. Ob die Schlussfolgerungen der SRs auf die höheren Frequenzbänder zukünftiger Mobilfunkstandards übertragbar sind, bleibt spekulativ und ist kaum erforscht (siehe [BERENIS-Sondernewsletter, Mai 2025](#)). Es besteht auch eine Wissenslücke hinsichtlich potenzieller Kombinationswirkungen mit anderen Umweltfaktoren sowie genetischen oder physiologischen Prädispositionen, die in Beobachtungs- und Experimentalstudien nicht ohne Weiteres feststellbar sind und berücksichtigt werden. Auch wenn ein konkretes mechanistisches Konzept für die Auswirkungen von HF-EMF nicht existiert, wäre es denkbar, dass diese Faktoren zu einem Vulnerabilitäts-Stress-Modell beitragen könnten. Dieses Modell beschreibt, wie genetische, biologische und umweltbedingte Faktoren zusammenwirken und das Risiko und Ausmass von Stressreaktionen beeinflussen. Die Fähigkeit, mit Stress umzugehen, wird durch eine Kombination aus angeborenen und erworbenen Vulnerabilitäten sowie weiteren stressauslösenden Ereignissen bestimmt. Demzufolge kann bei bestimmten Personen bereits die geringste Überlastung oder geringfügige Zusatzbelastung Symptome hervorrufen, während bei anderen Personen keine Symptome auftreten.

Es ist anzumerken, dass die Autorinnen und Autoren der von der WHO in Auftrag gegebenen SRs aufgefordert wurden, die Auswirkungen ihrer Ergebnisse auf Politik und Praxis zu erörtern. Einige von ihnen vertreten die Ansicht, dass keine Notwendigkeit besteht, die regulatorischen Richtlinien anzupassen, da die Evidenz zu ungewiss sei, um fundierte Entscheidungen auf regulatorischer Ebene zu treffen. Darüber hinaus wurden die Einschränkungen bei der Übertragbarkeit der Ergebnisse aus Tier- und Zellstudien auf den Menschen hervorgehoben. Insgesamt kann sich die BERICENIS diesen Einschätzungen anschliessen und empfiehlt die konsequente Anwendung des Vorsorgeprinzips und der aktuellen Richtlinien.

Literaturangaben

Hinweis: Alle von der WHO in Auftrag gegebenen SRs sowie die dazugehörigen Protokolle und weitere Artikel können in der entsprechenden Sonderausgabe von *Environment International* eingesehen werden: <https://www.sciencedirect.com/special-issue/1092DR596MG>

Benke G, Abramson MJ, Brzozek C, McDonald S, Kelsall H, Sanagou M, Zeleke BM, Kaufman J, Brennan S, Verbeek J, Karipidis K (2024): **The effects of radiofrequency exposure on cognition: A systematic review and meta-analysis of human observational studies.** Environ Int. 2024 Jun;188:108779. Epub 2024 May 28. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108779>

Bosch-Capblanch X, Esu E, Oringanje CM, Dongus S, Jalilian H, Eyers J, Auer C, Meremikwu M, Röösli M (2024): **The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on human self-reported symptoms: A systematic review of human experimental studies.** Environ Int. 2024 Apr 2;187:108612. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108612>

Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C, Sciortino M, Villani P, Brinkworth MH, Chen G, McNamee JP, Wood AW, Belackova L, Verbeek J, Pacchierotti F (2023): **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 Oct;180:108178. Epub 2023 Aug 30. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108178>

Cordelli E, Ardoino L, Benassi B, Consales C, Eleuteri P, Marino C, Sciortino M, Villani P, H Brinkworth M, Chen G, P McNamee J, Wood AW, Belackova L, Verbeek J, Pacchierotti F (2024): **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 Mar;185:108509. Epub 2024 Feb 19. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108509>

Johnson EE, Kenny RPW, Adesanya AM, Richmond C, Beyer F, Calderon C, Rankin J, Pearce MS, Toledano M, Craig D, Pearson F (2024): **The effects of radiofrequency exposure on adverse female reproductive outcomes: A systematic review of human observational studies with dose-response meta-analysis.** Environ Int. 2024 Jun 12;190:108816. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108816>

Karipidis K, Baaken D, Loney T, Blettner M, Brzozek C, Elwood M, Narh C, Orsini N, Röösli M, Paulo MS, Lagorio S (2024): **The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies - Part I: Most researched outcomes.** Environ Int. 2024 Sep;191:108983. Epub 2024 Aug 30. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108983>

Karipidis K, Baaken D, Loney T, Blettner M, Mate R, Brzozek C, Elwood M, Narh C, Orsini N, Röösli M, Paulo MS, Lagorio S (2025): **The effect of exposure to radiofrequency fields on cancer risk in the general and working population: A systematic review of human observational studies - Part II: Less researched outcomes.** Environ Int. 2025 Jan 11:109274. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109274>

Kenny RPW, Evelynne Johnson E, Adesanya AM, Richmond C, Beyer F, Calderon C, Rankin J, Pearce MS, Toledano M, Craig D, Pearson F (2024): **The effects of radiofrequency exposure on male fertility: A systematic review of human observational studies with dose-response meta-analysis.** Environ Int. 2024 Jun 11;190:108817. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108817>

Mevissen M, Ducray A, Ward JM, Kopp-Schneider A, McNamee JP, Wood AW, Rivero TM, Straif K (2025): **Effects of radiofrequency electromagnetic field exposure on cancer in laboratory animal studies, a systematic review.** Environ Int 2025, 109482. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109482>

Meyer F, Bitsch A, Forman HJ, Fragoulis A, Ghezzi P, Henschenmacher B, Kellner R, Kuhne J, Ludwig T, Sachno D, Schmid G, Tsaioun K, Verbeek J, Wright R (2024): **The effects of radiofrequency**

electromagnetic field exposure on biomarkers of oxidative stress in vivo and in vitro: A systematic review of experimental studies. Environ Int 2024; 108940.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108940>

Pophof B, Kuhne J, Schmid G, Weiser E, Dorn H, Henschenmacher B, Burns J, Danker-Hopfe H, Sauter C (2024): **The effect of exposure to radiofrequency electromagnetic fields on cognitive performance in human experimental studies: Systematic review and meta-analyses.** Environ Int. 2024 Sep;191:108899. Epub 2024 Jul 22. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108899>

Romeo S, Sannino A, Rosaria Scarfi M, Lagorio S, Zeni O (2024): **Genotoxicity of radiofrequency electromagnetic fields on mammalian cells in vitro: A systematic review with narrative synthesis.** Environ Int. 2024 Nov;193:109104. Epub 2024 Oct 26. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.109104>

Röösli M, Dongus S, Jalilian H, Eyers J, Esu E, Oringanje CM, Meremikwu M, Bosch-Capblanch X (2023): **The effects of radiofrequency electromagnetic fields exposure on tinnitus, migraine and non-specific symptoms in the general and working population: A systematic review and meta-analysis on human observational studies.** Environ Int. 2023 Dec 6;183:108338.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108338>

Verbeek J, Oftedal G, Feychtig M, van Rongen E, Scarfi MR, Mann S, Wong R, van Deventer E (2020): **Prioritizing health outcomes when assessing the effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields: A survey among experts.** Environ Int. 2021 Jan;146:106300. Epub 2020 Dec 11. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106300>

Verbeek J, Zeeb H, van Deventer E, Ijaz S, Doré JF, Driessen S, Roth N, Whaley P (2025): **Systematic reviews and meta-analyses for the WHO assessment of health effects of exposure to radiofrequency electromagnetic fields, an introduction.** Environ Int. 2025 Sep;203:109751. Epub 2025 Aug 27. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2025.109751>

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Department Epidemiology and Public Health
Environmental Exposures and Health Unit
Kreuzstrasse 2, 4123 Allschwil
Tel: +41 61 284 8111
E-Mail: stefan.dongus@swisstph.ch

Weitere Informationen:

[Beratende Expertinnen- und Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung \(BERENIS\)](#)

[Literaturdatenbank zu allen BERENIS-Newslettern mit Suchfunktion](#)

[Abkürzungsverzeichnis \(als pdf\)](#)