



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “Electromagnetic fields from submarine power cables: A 35 year synthesis of effects on aquatic biota” by James et al. in Marine Environmental Research (2026)

Kategorie [Statische und niederfrequente Felder, Übersichtsarbeit]

Spotlight - Oct/2026 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Kontext

Offshore-Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien haben in den letzten Jahren rasch zugenommen. Infolgedessen werden weltweit in Küstengewässern immer mehr Seekabel für die Stromübertragung verlegt, über die größere elektrische Leistungen transportiert werden. Dies führt zu einer erhöhten Exposition mariner Organismen gegenüber anthropogenen Magnetfeldern und induzierten elektrischen Feldern. Parallel dazu wurde die Forschung zu biologischen und ökologischen Wirkungen dieser Felder auf die Meereslebewesen intensiviert. Während einige narrative Übersichtsarbeiten zu diesem Thema vorliegen, die entweder regional begrenzt sind oder sich auf bestimmte taxonomische Gruppen beschränken [2, 3], fehlte bislang eine umfassende systematische Übersichtsarbeit, die die Effekte elektrischer und magnetischer Felder (EMF) über Tiergruppen, Entwicklungsstadien und biologische Endpunkte hinweg zusammenfasst.

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

James et al. [1] erstellten eine systematische Literaturübersicht, um die biologischen Auswirkungen von EMF, die denen von Seekabeln entsprechen, auf Meereslebewesen zu bewerten. Sie wandten die Leitlinien „Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses“ (PRISMA) [4] an, um eine strukturierte und transparente Synthese der relevanten Studien bereitzustellen. Das Review-Protokoll wurde im „International Prospective Register of Systematic Reviews“ (PROSPERO) registriert. In den Datenbanken Google Scholar, Web of Science, EBSCO, ScienceDirect und PubMed wurde nach peer-reviewten Studien gesucht, die zwischen 1990 und 2024 veröffentlicht wurden. Eingeschlossen wurden Studien, die das Verhalten und die physiologischen oder entwicklungsbiologischen Reaktionen aquatischer Organismen auf Wechselfelder oder Gleichfelder untersuchten, die für in Betrieb befindliche Seekabel relevant sind, mit magnetischen Flussdichten bis zu 3.200 μT , unter Labor- oder Umweltbedingungen. Der Schwellenwert wurde in Übereinstimmung mit den berichteten oberen Feldstärken in unmittelbarer Nähe von Gleichstromkabeln und experimentellen Expositionen gewählt, die eine hohe Auslastung der Kabel simulieren.

Die Studienqualität wurde hinsichtlich der Beschreibung der EMF-Quellen, der biologischen Endpunkte und der statistischen Belastbarkeit bewertet. Die ökologische Relevanz wurde anhand der Unterscheidung zwischen Labor- und Feldstudien sowie der Berücksichtigung von Entwicklungsstadium und Geschlecht beurteilt. Diese Kriterien entsprechen den Bewertungskriterien für systematische Übersichtsarbeiten [5]. Die Evidenz wurde qualitativ synthetisiert. Eine Metaanalyse wurde aufgrund der hohen Heterogenität zwischen den Studien nicht durchgeführt.

Von 1.637 identifizierten Studien wurden 67 in die Übersichtsarbeit eingeschlossen. Davon waren 47 (70 %) Laborstudien, 19 (28 %) Feldstudien, und eine Studie kombinierte beide Ansätze. Laborstudien berichteten häufiger statistisch signifikante biologische Effekte einer EMF-Exposition (72 %) als Feldstudien (47 %).

Etwa die Hälfte der Studien untersuchte Gleichfeldexpositionen, ein Drittel untersuchte Wechselfeldexpositionen, und die übrigen kombinierten entweder beide Expositionsarten oder gaben die Feldart nicht an. Die meisten Studien konzentrierten sich ausschließlich auf Magnetfelder. Statistisch signifikante Effekte wurden bei allen EMF-Expositions-niveaus beobachtet, auch bei umweltrelevanten Expositionen einschließlich schwacher Expositionen unterhalb von 250 μT .

Untersuchungen wurden an 54 identifizierten Arten durchgeführt, zusätzlich zu Feldstudien mit mehreren Arten. Der Großteil der Studien befasste sich mit Knochenfischen (55 %) und Krustentieren (Krebsen) (27 %), während weniger Studien Weichtiere (Schnecken und Muscheln), Vielborster (Meereswürmer), Stachelhäuter (Seeigel, Seesterne, Seegurken) und Knorpelfische (Haie und Rochen) betrachteten. Die Effekte der EMF-Exposition variierten zwischen den taxonomischen Gruppen; statistisch signifikante Effekte wurden in 73 % der Studien an Fischen, 59 % der Studien an Krustentieren und 40 % der Studien an Weichtieren berichtet.

Von den 67 einbezogenen Studien untersuchten 32 Verhaltensreaktionen, 22 betrachteten physiologische Endpunkte und 13 untersuchten beides. Wirkungen auf das Verhalten umfassten Veränderungen der Schwimm-

geschwindigkeit, exploratives Verhalten, Anlockung oder Vermeidung der Felder sowie Nutzung des Lebensraums. Physiologische Effekte umfassten hämatologische, kardiologische und metabolische Veränderungen. 91 % der physiologischen Studien und 66 % der Verhaltensstudien berichteten über statistisch signifikante Expositionseffekte. In kombinierten Studien berichteten 46 % über Effekte in beiden Bereichen. Die beobachteten Effekte variierten mit dem Entwicklungsstadium. Frühstadien zeigten die höchste Empfindlichkeit: 93 % der Studien an Fisch-Embryonen oder -Larven berichteten über statistisch signifikante Effekte der EMF-Exposition, verglichen mit 86 % bei Juvenilen und 53 % bei Adulten. Die meisten Studien unterschieden nicht zwischen den Geschlechtern. Eine jüngst veröffentlichte Studie, die außerhalb des betrachteten Zeitraums liegt [6], liefert ein Beispiel für Geschlechtsunterschiede in den Verhaltensreaktionen von Krabben auf EMF und verdeutlicht die Bedeutung geschlechtsspezifischer Analysen.

Eines der wichtigsten Ergebnisse ist die hohe Empfindlichkeit früher Entwicklungsstadien gegenüber EMF über die Tiergruppen hinweg. Die Embryonen und Larven von Fischen, Krustentieren, Vielborstern und Stachelhäutern wiesen durchweg höhere Effektraten im Zusammenhang mit einer EMF-Exposition auf als Juvenile und Adulte. Dies ist besonders relevant, da Seekabel häufiger in Küstengebieten vorkommen, wo sich zugleich bevorzugte Laich- und Aufzuchtgebiete befinden [3].

James et al. empfehlen weiterführende Forschung unter Berücksichtigung der Machbarkeit. Prioritäten mit hoher Machbarkeit sind methodische Standardisierung, harmonisierte Expositionsberichterstattung und die routinemäßige Berücksichtigung von Geschlecht und Entwicklungsstadium als biologische Variablen. Prioritäten mit mittlerer Machbarkeit umfassen koordinierte Laborversuche, verlängerte chronische Expositionen und vergleichende Studien über Tiergruppen oder Entwicklungsstadien hinweg. Prioritäten mit geringer Machbarkeit sind Langzeitbeobachtungen und Bewertungen auf Populationsebene.

3 Kommentare des BfS

Nach unserem Kenntnisstand ist diese Arbeit die erste systematische Übersicht, die die Effekte elektromagnetischer Felder von Seekabeln auf alle Gruppen von Meereslebewesen weltweit im Zeitraum von 1990 bis 2024 zusammenfasst. Obwohl die Übersichtsarbeit die für den Strahlenschutz der Meere relevanten publizierten Daten umfassend erfasst, erschweren einige Einschränkungen die Interpretation der Ergebnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft und Verlässlichkeit. James et al. führten eine Qualitätsbewertung durch, die sie jedoch nicht im Detail beschrieben. Sie berichteten die Ergebnisse der Qualitätsbewertung nicht auf Studienebene, was eine Validierung unmöglich macht. Es bleibt unklar, ob und wie die Qualitätsbewertung der einzelnen Studien genutzt wurde, um die Verlässlichkeit der Evidenz zu bewerten. Eine systematische Bewertung der Evidenz, etwa unter Anwendung des „Grading of Recommendations Assessment, Development, and Evaluation“ (GRADE)-Ansatzes [7], wurde nicht durchgeführt.

Im Hinblick auf den Strahlenschutz der Meereslebewesen ist eines der wichtigsten Ergebnisse der Übersichtsarbeit die Beobachtung, dass Effekte überwiegend während der Embryonalentwicklung auftraten, selbst bei niedrigen Expositionsniveaus wie sie in der Nähe von Seekabeln vorkommen. Dieser Effekt wurde konsistent über Studien und Tiergruppen hinweg berichtet. Eier können sich nicht fortbewegen, und einige Larvenstadien sind in ihrer Beweglichkeit eingeschränkt; anders als Erwachsene können sie den exponierten Bereich nicht verlassen. Sie verbleiben während der gesamten Dauer ihrer Entwicklung im exponierten Bereich, und selbst geringfügige Veränderungen von Stoffwechsel, Größe, Motilität, Verhalten und Orientierung infolge einer EMF-Exposition könnten ihr gesamtes Erwachsenenleben beeinflussen, mit potenziellen Konsequenzen auf Populationsebene. Weitere Forschung ist deshalb erforderlich, um die ökologischen Konsequenzen der Exposition auf sich entwickelnden Stadien zu bewerten. Auch der Einfluss des Geschlechts sollte verstärkt berücksichtigt werden. Um mögliche ökologische Konsequenzen gering zu halten, sollte das exponierte Gebiet nach Möglichkeit minimiert werden.

Referenzen

- [1] James, E, Ghodsi, M, Ford, AT. Electromagnetic fields from submarine power cables: A 35 year synthesis of effects on aquatic biota. *Marine Environmental Research*. 2026; 216:107916.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2026.107916>.
- [2] Taormina, B, Bald, J, Want, A, Thouzeau, G, Lejart, M, Desroy, N, Carlier, A. A review of potential impacts of submarine power cables on the marine environment: Knowledge gaps, recommendations and future directions. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018; 96:380–391.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.07.026>.
- [3] Hermans, A, Winter, HV, Gill, AB, Murk, AJ. Do electromagnetic fields from subsea power cables effect benthic elasmobranch behaviour? A risk-based approach for the Dutch Continental Shelf. *Environmental Pollution*. 2024; 346:123570.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2024.123570>.
- [4] Page, MJ, Moher, D, Bossuyt, PM, et al. PRISMA 2020 explanation and elaboration: updated guidance and exemplars for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021; 372:n160.
DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n160>.
- [5] Whaley, P, Roth, N. How we promote rigour in systematic reviews and evidence maps at Environment International. *Environment International*. 2022; 170:107543.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envint.2022.107543>.
- [6] James, E, Ghodsi, M, Ford, AT. Female crabs are more sensitive to environmentally relevant electromagnetic fields from submarine power cables. *Environmental Science & Technology Letters*. 2025; 12(11):1487–1494.
DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.estlett.5c00862>.
- [7] Guyatt, GH, Oxman, AD, Schunemann, HJ, Tugwell, P, Knottnerus, A. GRADE guidelines: A new series of articles in the Journal of Clinical Epidemiology. *Journal of Clinical Epidemiology*. 2011; 64(4):380–382.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2010.09.011>.

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:0221-2026101263455

Spotlight - Oct/2026 no.1 (Deu)



Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)