



Bundesamt
für Strahlenschutz

Spotlight on EMF Research

Spotlight on “Residential exposure to magnetic field due to high-voltage power lines and childhood leukemia risk in mainland France – GEOCAP case-control study, 2002-2010” by Mancini et al. in Environmental Research (2025)

Kategorie [Statische und niederfrequente Felder, Epidemiologische Studie]

Spotlight - Mar/2026 no.1 (Deu)

Kompetenzzentrum Elektromagnetische Felder (KEMF)

1 Kontext

Die Exposition gegenüber extrem niederfrequenten Magnetfeldern (extremely low-frequency magnetic fields; ELF-MF) aus Hochspannungsfreileitungen (high voltage overhead power lines; HVOL) wird seit Langem als möglicher Risikofaktor für akute Leukämie (AL) im Kindesalter diskutiert. Frühere gepoolte Analysen epidemiologischer Studien deuteten auf ein ungefähr verdoppeltes Risiko für Kinder hin, die höheren ELF-MF-Levels ($\geq 0,3\text{--}0,4\text{ }\mu\text{T}$) ausgesetzt waren [1, 2]. Dies hat zur Einstufung von ELF-MF als möglicherweise krebserzeugend für den Menschen (Gruppe 2B) durch die International Agency for Research on Cancer (IARC) beigetragen. Neuere gepoolte Analysen von Primärstudien haben jedoch Risikoschätzer nahe 1 berichtet und keinen klaren Zusammenhang bei höheren Expositionsniveaus bestätigt [1, 3]. Gleichzeitig haben mehrere registerbasierte Studien erhöhte AL-Risiken für Kinder gefunden, die in unmittelbarer Nähe zu HVOL wohnen, wobei der Wohnabstand als Proxy für die ELF-MF-Exposition verwendet wurde [4, 5].

Die landesweite französische Fall-Kontroll-Studie von Mancini et al. [6], eingebettet in das GEOCAP-Projekt, ist eine detaillierte Untersuchung der wohnbezogenen ELF-MF-Exposition durch HVOL. Sie erweitert frühere französische Analysen zum Abstand zu HVOL [7], indem sie eine leitungsspezifische Modellierung der ELF-MF-Exposition an den Wohnorten der Kinder hinzufügt. GEOCAP läuft seit 2002 und basiert auf dem französischen Nationalen Kinderkrebsregister (RNCE), das zur Untersuchung umweltbedingter Risikofaktoren für Krebserkrankungen im Kindesalter eingerichtet wurde.

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

Mancini et al. [6] führten in Frankreich (ohne Korsika) eine große, registerbasierte Fall-Kontroll-Studie für den Zeitraum 2002–2010 durch. Die Studie umfasste 4.117 AL-Fälle (3.403 akute lymphoblastische Leukämie und 622 akute myeloische Leukämie), die vor dem 15. Lebensjahr diagnostiziert wurden, sowie 44.838 Kontrollen, die aus nationalen Steuer- und Einkommensdatenbanken gezogen wurden und sich als repräsentativ für die französische Kinderbevölkerung erwiesen. Sämtliche Adressen zum Zeitpunkt der Diagnose (Fälle) bzw. Einschlusses (Kontrollen) wurden von einem externen, hinsichtlich des Fall-Kontroll-Status verblindeten Dienstleister geokodiert, mit Angabe der Geokodierungsgenauigkeit.

Es wurden zwei Expositionsmaße erhoben. Erstens wurde mit einem Geoinformationssystem (GIS) der Abstand zwischen jeder geokodierten Adresse und der nächstgelegenen Hochspannungsfreileitung (HVOL, 63–400 kV) sowie, separat, der nächstgelegenen Höchstspannungsleitung (VHVOL, 225–400 kV) berechnet. Die Distanzkategorien waren $> 600\text{ m}$ (Referenz, einschließlich Gemeinden, die $\geq 600\text{ m}$ von jeglicher HVOL entfernt liegen), 200–599 m, 100–199 m, 50–99 m und $< 50\text{ m}$. Zweitens wurde die ELF-MF-Exposition an der Wohnadresse vom französischen Übertragungsnetzbetreiber (RTE) für alle Adressen innerhalb von $< 1000\text{ m}$ um HVOL modelliert. Die Berechnungen berücksichtigten Eigenschaften aller nahegelegenen HVOL, die wahrscheinlich zur ELF-MF-Exposition beitrugen, einschließlich Parametern wie Masttyp, Trassenführung und jährlicher mittlerer Stromstärke. Die mittlere ELF-MF-Exposition wurde in $< 0,1\text{ }\mu\text{T}$ (Referenz), $0,1\text{--}< 0,3\text{ }\mu\text{T}$ und $\geq 0,3\text{ }\mu\text{T}$ kategorisiert. Für die Mehrzahl der ausreichend weit von HVOL entfernten Adressen wurde die Exposition a priori ohne detaillierte Berechnung als $< 0,1\text{ }\mu\text{T}$ eingestuft.

Zur Schätzung von Odds Ratios (OR) für AL wurde eine nach Alter adjustierte logistische Regression verwendet. Ein OR misst, wie viel wahrscheinlicher ein Outcome in einer exponierten Gruppe im Vergleich zu einer nicht exponierten Gruppe auftritt, indem die Quoten (odds) beider Gruppen verglichen werden. Beinahe ein Viertel der Kinder lebte in Gemeinden $\geq 600\text{ m}$ von jeglicher HVOL entfernt, während weniger als 1 % innerhalb von 50 m einer HVOL wohnten.

Insgesamt war die Distanz zur nächstgelegenen HVOL oder VHVOL im gesamten Altersbereich nicht mit einem erhöhten Risiko für AL assoziiert. Für Kinder unter 5 Jahren war das Wohnen innerhalb von 50 m gegenüber mehr als 600 m (Referenz) von einer HVOL mit einem OR von 1,6 (95%-Konfidenzintervall (KI) 1,0–2,7) assoziiert. Dieser Zusammenhang verstärkte sich, wenn die Analysen auf Adressen mit hoher Geokodierungs-

genauigkeit (< 25 m Fehler; OR 3,2; 95%-KI 1,3–7,9) beschränkt wurden. Erhöhte OR wurden bei jungen Kindern in diesen stratifizierten Analysen für Daten mit hoher Geokodierungsgenauigkeit auch bis 100 m für HVOL und bis 200 m für VHVOL beobachtet.

Im Gegensatz dazu zeigte die Analyse nach ELF-MF-Expositionskategorien keinen Zusammenhang mit AL. Nur 0,3 % der Kinder wiesen geschätzte ELF-MF-Werte $\geq 0,3 \mu\text{T}$ auf. In der Hauptanalyse lag das OR für $\geq 0,3 \mu\text{T}$ gegenüber $< 0,1 \mu\text{T}$ bei 0,6 (95%-KI 0,3–1,3) und blieb auch in Analysen beschränkt auf Kinder unter 5 Jahren oder auf Adressen mit höherer Geokodierungsqualität nahe 1. Dosis-Wirkungs-Modelle, in denen ELF-MF als kontinuierliche Variable verwendet wurde, deuteten ebenfalls nicht auf ein erhöhtes Risiko pro $0,1 \mu\text{T}$ -Zunahme hin. Eine Simulationsstudie, in der die individuelle Geokodierungsunsicherheit über Expositionsraster berücksichtigt wurde, zeigte ebenfalls keine konsistent positiven Assoziationen für höhere ELF-MF-Expositionskategorien oder bei jüngeren Kindern.

Auf Grundlage dieser Befunde schließen die Autoren, dass wohnbezogene ELF-MF-Exposition durch HVOL wahrscheinlich nicht mit akuter Leukämie im Kindesalter assoziiert ist und den beobachteten Zusammenhang zwischen AL-Risiko und dem Wohnen in unmittelbarer Nähe zu HVOL nicht erklären kann. Sie ziehen ein Confounding durch andere, bislang nicht identifizierte Faktoren, die spezifisch für Wohnlagen nahe HVOL sind, als mögliche Erklärung in Betracht.

3 Kommentare des BfS

Die Studie von Mancini et al. [6] befasst sich mit einem Thema von hoher Relevanz. Krebserkrankungen im Kindesalter machen zwar nur einen kleinen Teil aller malignen Erkrankungen aus [8], sind aber in Ländern mit hohem Einkommen eine der führenden Ursachen krankheitsbedingter Todesfälle bei Kindern [9], wobei die AL mit Abstand der häufigste Subtyp ist. Die Identifizierung modifizierbarer umweltbedingter Risikofaktoren ist daher von zentraler Bedeutung. ELF-MF-Exposition durch HVOL wird seit Jahrzehnten als potenzieller Risikofaktor für kindliche Leukämie diskutiert [10], aber die Befunde zwischen den Studien sind weiterhin uneinheitlich [1]. Die Mancini-Studie ist ein wichtiger Beitrag, weil sie ein großes, landesweites, registerbasiertes Design mit einer umfangreichen Expositionsschätzung kombiniert.

Zu den wichtigsten Stärken zählen die große Stichprobe, die registerbasierte Fallidentifikation und Wahl von Kontrollen, die Verblindung des Geokodierungsprozesses sowie die ELF-MF-Modellierung. Anders als viele frühere Studien, die sich nur auf die Nähe zu HVOL oder auf vereinfachte Feldberechnungen stützten, berücksichtigten Mancini et al. in einem Teil ihrer Untersuchung mehrere leitungsspezifische Parameter und alle relevanten nahegelegenen Leitungen. Sensitivitätsanalysen, die auf Adressen mit höherwertiger Geokodierung beschränkt waren, sowie Simulationsanalysen zur Berücksichtigung räumlicher Unsicherheit sind weitere methodische Stärken.

Mehrere wichtige Limitationen müssen jedoch bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Erstens ist trotz der großen Gesamtpopulation die Zahl hoch exponierter Kinder sehr gering. Nur etwa 0,3 % der Teilnehmenden wiesen modellierte ELF-MF-Expositionen $\geq 0,3 \mu\text{T}$ auf, was zu breiten Konfidenzintervallen und begrenzter statistischer Power führt, um moderate Risikoerhöhungen nachzuweisen. Wie die Autoren anmerken, hatte die Studie ausreichend Power, um ein OR von etwa 1,7 in der höchsten Expositionskategorie zu erkennen. Kleinere Risiken können nicht zuverlässig ausgeschlossen werden. Zweitens beruht die Expositionsbewertung auf der Wohnadresse zum Zeitpunkt der Diagnose bzw. des Einschlusses und berücksichtigt keine Wohnverläufe. Wenn Kinder kurz vor dem Einschluss umgezogen sind, ist eine Fehlklassifikation der Langzeitexposition möglich. Obwohl diese Limitation viele registerbasierte Studien betrifft und wahrscheinlich weitgehend nicht-differenziell ist (d. h. unabhängig vom Fall-Kontroll-Status), könnte sie wahre Zusammenhänge dennoch abschwächen. Die Autoren mussten außerdem für einige Leitungen aktuelle Werte imputieren oder approximieren und konnten für einen Teil der Adressen mit geringer Geokodierungsgenauigkeit keine ELF-MF-Exposition berechnen. Drittens sind, wie in früheren Studien, Informationen zu potenziellen Confoundern auf Individualebene begrenzt. Die Autoren adjustierten für mehrere gebietsbezogene oder umweltbezogene Indikatoren (Urbanität, Deprivation, Verkehr, UV-Strahlung, Weinbau), ohne dass sich die Ergebnisse wesentlich änderten. Gleichwohl bleiben andere Faktoren, die mit dem Wohnen in Nähe

zu HVOL korrelieren könnten, spekulativ. Die Studie identifiziert keinen plausiblen alternativen Risikofaktor, der das erhöhte Risiko bei sehr geringen Abständen zu HVOL, insbesondere bei Kindern unter 5 Jahren, erklären könnte.

Im Vergleich zu neueren gepoolten Analysen, die für hohe ELF-MF-Expositionen (berechnete oder gemessene Felder) Risikoschätzungen für kindliche AL nahe 1 berichtet haben [1], sind die Ergebnisse von Mancini weitgehend konsistent mit der Einschätzung, dass wohnbezogene ELF-MF-Exposition durch HVOL wahrscheinlich kein starker kausaler Faktor für AL im Kindesalter ist. Im Detail stimmen die Befunde von Mancini et al. mit der jüngsten gepoolten Studie von Amoon et al. [1] überein, die kein erhöhtes Risiko für Kinder mit Exposition $\geq 0,4 \mu\text{T}$ gegenüber $< 0,1 \mu\text{T}$ beobachtete und ein Gesamt-OR von 1,01 (95%-KI 0,61–1,66) berichtete.

Gleichzeitig deutet die Persistenz erhöhter OR für sehr geringe Abstände zu HVOL in Subkollektiven mit hoher Geokodierungsqualität und bei jungen Kindern darauf hin, dass das in einigen früheren distanzbasierten Studien beobachtete „Distanz-Signal“ [11] nicht vollständig verschwunden ist. Allerdings scheint der Abstand zur nächstgelegenen HVOL allein nicht auszureichen, um die wohnbezogene Exposition gegenüber ELF-MF auf Niveaus $> 0,3 \mu\text{T}$ abzubilden, da ein erheblicher Anteil der in unmittelbarer Nähe zu HVOL lebenden Kinder in den Daten von Mancini et al. keine hohe ELF-MF-Exposition aufweist.

Die Hauptbotschaften dieser Arbeit sind folgende: Erstens liefert die Studie weitere, relativ robuste Evidenz gegen ein substantielles Risiko für AL im Kindesalter bei ELF-MF-Expositionsniveaus $\geq 0,3 \mu\text{T}$. Die beobachteten erhöhten Risiken für Kinder, die sehr nahe an HVOL wohnen, insbesondere unter 5 Jahren, bleiben unzureichend erklärt und könnten auf Residual-Confounding, Selektions- oder Fehlklassifikationsprobleme oder andere Umwelt- oder Infrastrukturfaktoren hinweisen, die mit HVOL-Korridoren assoziiert sind. Zweitens verfügte die Studie über ausreichende statistische Power, um ein relatives Risiko von 1,7 oder höher für ELF-MF-Expositionen $\geq 0,3 \mu\text{T}$ zu erkennen. Wenn ein derart erhöhtes Risiko existierte, ähnlich wie in früheren gepoolten Analysen um das Jahr 2000 (OR 2,00; 95%-KI 1,27–3,13) [12], hätte die Studie wahrscheinlich einen Zusammenhang festgestellt. Da ein solcher Zusammenhang nicht beobachtet wurde, legt dies nahe, dass hohe ELF-MF-Expositionen mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht mit einer deutlichen Zunahme von akuter Leukämie im Kindesalter verbunden sind. Gleichwohl halten wir es für verfrüht, endgültige Schlussfolgerungen zu geringfügigen Risikoerhöhungen auf diesen ELF-MF-Niveaus zu ziehen. Drittens wären große gepoolte Analysen mit harmonisiertem, individualisiertem Expositionsmodell (wohnbezogen), ergänzt um Informationen zu potenziellen Confoundern, sowie Studien zu Ko-Expositionen, die spezifisch für HVOL-Umgebungen sind, wünschenswert, um den Zusammenhang zwischen HVOL, ELF-MF und kindlicher Leukämie zu klären. Solche Studien bleiben jedoch in der Umsetzung herausfordernd.

Trotz der genannten Limitationen liefert die Studie wichtige neue Evidenz für die laufende Diskussion, ob erhöhte AL-Risiken bei Kindern in der Nähe von HVOL durch ELF-MF-Exposition oder durch andere, mit der Nähe zu HVOL korrelierte Faktoren erklärt werden können.

Referenzen

- [1] Amoon, AT, Swanson, J, Magnani, C, Johansen, C, Kheifets, L. Pooled analysis of recent studies of magnetic fields and childhood leukemia. *Environmental Research*. 2022; 204(Part A):111993.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111993>.
- [2] Greenland, S, Sheppard, AR, Kaune, WT, Poole, C, Kelsh, MA. A pooled analysis of magnetic fields, wire codes, and childhood leukemia. Childhood Leukemia-EMF Study Group. *Epidemiology*. 2000; 11(6):624–634.
DOI: <https://doi.org/10.1097/00001648-200011000-00003>.
- [3] Kheifets, L, Ahlbom, A, Crespi, CM, Draper, G, Hagihara, J, Lowenthal, RM, Mezei, G, Oksuzyan, S, Schuz, J, Swanson, J, Tittarelli, A, Vinceti, M, Wunsch Filho, V. Pooled analysis of recent studies on magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*. 2010; 103(7):1128–1135.
DOI: <https://doi.org/10.1038/sj.bjc.6605838>.
- [4] Malagoli, C, Malavolti, M, Wise, LA, Balboni, E, Fabbi, S, Teggi, S, Palazzi, G, Cellini, M, Poli, M, Zanchelli, P, Notari, B, Cherubini, A, Vinceti, M, Filippini, T. Residential exposure to magnetic fields from high-voltage power lines and risk of childhood leukemia. *Environmental Research*. 2023; 232:116320.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.116320>.
- [5] Malagoli, C, Fabbi, S, Teggi, S, Calzari, M, Poli, M, Ballotti, E, Notari, B, Bruni, M, Palazzi, G, Paolucci, P, Vinceti, M. Risk of hematological malignancies associated with magnetic fields exposure from power lines: a case-control study in two municipalities of northern Italy. *Environmental Health*. 2010; 9:16.
DOI: <https://doi.org/10.1186/1476-069X-9-16>.
- [6] Mancini, M, Hemon, D, Faure, L, Clavel, J, Goujon, S. Residential exposure to magnetic field due to high-voltage power lines and childhood leukemia risk in mainland France - GEOCAP case-control study, 2002-2010. *Environmental Research*. 2025; 278:121638.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2025.121638>.
- [7] Sermage-Faure, C, Demoury, C, Rudant, J, Goujon-Bellec, S, Guyot-Goubin, A, Deschamps, F, Hemon, D, Clavel, J. Childhood leukaemia close to high-voltage power lines—the Geocap study, 2002-2007. *British Journal of Cancer*. 2013; 108(9):1899–1906.
DOI: <https://doi.org/10.1038/bjc.2013.128>.
- [8] Kaatsch, P. Epidemiology of childhood cancer. *Cancer Treatment Reviews*. 2010; 36(4):277–285.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ctrv.2010.02.003>.
- [9] Buka, I, Koranteng, S, Osornio Vargas, AR. Trends in childhood cancer incidence: review of environmental linkages. *Pediatric Clinics of North America*. 2007; 54(1):177–203.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.pcl.2006.11.010>.
- [10] Swanson, J, Kheifets, L, Vergara, X. Changes over time in the reported risk for childhood leukaemia and magnetic fields. *Journal of Radiological Protection*. 2019; 39(2):470–488.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1361-6498/ab0586>.
- [11] Amoon, AT, Crespi, CM, Ahlbom, A, et al. Proximity to overhead power lines and childhood leukaemia: an international pooled analysis. *British Journal of Cancer*. 2018; 119(3):364–373.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41416-018-0097-7>.
- [12] Ahlbom, A, Day, N, Feychting, M, Roman, E, Skinner, J, Dockerty, J, Linet, M, McBride, M, Michaelis, J, Olsen, JH, Tynes, T, Verkasalo, PK. A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukaemia. *British Journal of Cancer*. 2000; 83(5):692–698.
DOI: <https://doi.org/10.1054/bjoc.2000.1376>.

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:0221-2026032659469

Spotlight - Mar/2026 no.1 (Deu)