



---

## Sachstand

---

### Hochspannungsleitungen

Einzelfragen zu Gesundheitsgefährdungen und Grenzwerten

## Hochspannungsleitungen

Einzelfragen zu Gesundheitsgefährdungen und Grenzwerten

Aktenzeichen: WD 8 - 3000 - 011/19

Abschluss der Arbeit: 8.2.2019

Fachbereich: WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit, Bildung und  
Forschung

---

Die Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestages unterstützen die Mitglieder des Deutschen Bundestages bei ihrer mandatsbezogenen Tätigkeit. Ihre Arbeiten geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste geben nur den zum Zeitpunkt der Erstellung des Textes aktuellen Stand wieder und stellen eine individuelle Auftragsarbeit für einen Abgeordneten des Bundestages dar. Die Arbeiten können der Geheimschutzordnung des Bundestages unterliegende, geschützte oder andere nicht zur Veröffentlichung geeignete Informationen enthalten. Eine beabsichtigte Weitergabe oder Veröffentlichung ist vorab dem jeweiligen Fachbereich anzugeben und nur mit Angabe der Quelle zulässig. Der Fachbereich berät über die dabei zu berücksichtigenden Fragen.

**Inhaltsverzeichnis**

<b>1.</b>	<b>Einleitung</b>	<b>4</b>
<b>2.</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
<b>3.</b>	<b>Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder</b>	<b>6</b>
<b>4.</b>	<b>Untersuchungen zu Wirkungen elektromagnetischer Felder im Niederfrequenzbereich zwischen 0,1 Hz und 1 kHz</b>	<b>7</b>
<b>5.</b>	<b>Grenzwerte im europäischen Vergleich</b>	<b>11</b>
<b>6.</b>	<b>Abstand der Hochspannungstrassen zu Wohngebieten</b>	<b>13</b>
<b>7.</b>	<b>Fazit</b>	<b>14</b>
<b>8.</b>	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>15</b>

## 1. Einleitung

Hochspannungsleitungen werden in der Regel als Erdkabel oder Seekabel verlegt, Hochspannungsfreileitungen über der Erde entlang von Trassen an Masten aufgehängt. Gleichstromleitungen und Wechselstromleitungen erzeugen elektrische und magnetische Felder, die im niederfrequenten Bereich des elektromagnetischen Spektrums bei etwa 50-60 Hertz für Wechselstrom und 0 Hertz für Gleichstrom liegen. Neben den Hochspannungsleitungen bilden auch Trafostationen, Erdkabel, Stromanlagen schienengebundener Verkehrssysteme, Elektroinstallationen im Haushalt und Haushaltsgeräte, wie Bohrmaschinen, Fön oder Glühbirnen, Quellen dieser nichtionisierenden Strahlung. Beispielsweise treten statische Felder im Alltag auch beim Betrieb der Straßenbahn auf und magnetische Felder z. B. bei der Magnet-Resonanz-Therapie.

Die beim Stromtransport auftretenden niederfrequenten elektrischen und magnetischen Felder fallen unter den Begriff „nichtionisierende Strahlung“.

Bei Gleichstromleitungen bilden sich statische elektrische und magnetische Felder aus, Wechselstromleitungen dagegen erzeugen Wechselstromfelder. Bei Erdkabeln tritt nur das magnetische Feld auf, das elektrische Feld wird durch die Abschirmung des Kabels abgefangen. Die Stärken der elektrischen und magnetischen Felder unter Gleichstromleitungen (HGÜ) liegen in den Größenordnungen des natürlichen Auftretens bzw. unterhalb des Erdmagnetfeldes.

In den letzten Jahrzehnten sind zahlreiche Untersuchungen und Studien zur Auswirkung elektrischer und magnetischer Felder und dem möglichen Auftreten von Krebs durchgeführt worden. Die IARC<sup>1</sup> hat im Jahr 2002 niederfrequente Felder in die Klasse 2B als „möglicherweise krebserregend“ eingestuft. Die in jüngster Zeit durchgeföhrten Analysen konnten wie bislang keinen kausalen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Feldern und beispielsweise Krebsentstehung nachweisen. Inwieweit die statistischen Relationen auch einen kausalen Wirkungsmechanismus zulassen, konnte bisher nicht abschließend geklärt werden. Daher empfiehlt auch die WHO weitere Untersuchungen des Sachverhalts. „Die WHO hat 2007 die Durchführung von neuen gepoolten Analysen unter Einbeziehung der neueren epidemiologischen Studien zu Kinderleukämie und Magnetfeldern, die Entwicklung von transgenen Tiermodellen zur Untersuchung der Kinderleukämie mit extrem niederfrequenten Magnetfeldern sowie die mögliche karzinogene Wirkung von Magnetfeldern mit hoher Priorität eingestuft.“<sup>2</sup>

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfiehlt, die Auswirkungen stärkerer statischer Magnetfelder weiter zu erforschen. Bisherige Untersuchungen zeigten nach Aussage des BfS keine

---

1 Internationale Agentur für Krebsforschung (International Agency for Research on Cancer, IARC), eine Organisation der Weltgesundheitsorganisation WHO mit Sitz in Frankreich.

2 Uniklinik RWTH Aachen, Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) (2013). „Gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder von Stromleitungen“, <http://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2013/FemuFachstellung-nahme.pdf?blob=publicationFile>

World Health Organization (WHO) (2007) “WHO Research Agenda for Extremly Low Frequency Fields”, <http://www.who.int/peh-emf/research/agenda/en/>

direkten negativen biologischen und gesundheitlichen Wirkungen statischer Magnetfelder bis zu einer Magnetflussdichte von vier Tesla.<sup>3</sup>

Die vorliegende Arbeit gibt einen Einblick in die aktuellen Forschungsaktivitäten am Beispiel neurodegenerativer Erkrankungen und der Leukämieerkrankungen bei Kindern und liefert Zahlen zu Grenzwerten und Trassenabständen im internationalen Vergleich.

## 2. Grundlagen

Hochspannungsfreileitungen dienen der Übertragung elektrischer Energie über größere Strecken mit möglichst geringen Leitungsverlusten. Die stromführenden Leiterseile sind nicht zusätzlich isoliert, werden jedoch mit Isolatoren an den Strommasten befestigt. Die Übertragung ist sowohl mit Dreiphasenwechselstrom als auch mit Gleichstrom (HGÜ) möglich.

Freileitungen lassen sich entsprechend der Spannungsebenen im deutschen Stromnetz in drei verschiedene Bereiche einteilen: Mittelspannungsebene: 10 kV - 72,5 kV, Hochspannungsebene: 72,5 kV - 125 kV und Höchstspannungsebene: ab 125 kV.

Gemäß der DIN-Norm EN 50110-1 ist die Unterteilung jedoch nicht eindeutig, da i. A. alle Freileitungen ab 1 kV als Hochspannungsleitungen bezeichnet werden. Der Begriff der Hochspannung umfasst somit sowohl den Bereich der Mittel- als auch den der Höchstspannung.

Beim Stromtransport treten niederfrequente elektrische und magnetische Felder auf. Elektrische Felder entstehen immer dann, wenn die Ladungsträger räumlich getrennt sind und damit eine Spannung (Einheit Volt, Beispiel: 380 kV – Hochspannungsleitung) erzeugt wird. Dies ist auch der Fall, wenn kein Strom fließt. Die elektrische Stromstärke wird in Ampere (A) angegeben (Beispiel: 2500 Ampere). Die Stärke des elektrischen Feldes nimmt mit der Spannung zu und mit der Entfernung zur Quelle ab (Einheit der elektrischen Feldstärke: V/m).

Magnetische Felder entstehen immer dann, wenn elektrische Ladungsträger bewegt werden, wenn Strom fließt. Die Kraft der magnetischen Felder wird zusätzlich durch das Material beeinflusst, das vom Magnetfeld durchdrungen wird. Deshalb wird die Kraft des magnetischen Feldes durch die magnetische Flussdichte (auch magnetische Induktion, Einheit Tesla) beschrieben (Beispiel: 100 Microtesla = 100 µT). Als Indikator für die Beurteilung der Wirkung des Magnetfeldes auf den Organismus wird die magnetische Flussdichte verwendet. Die Stärke des Magnetfeldes nimmt mit zunehmender Stromstärke zu und mit wachsendem Abstand von der Quelle ab (Einheit magnetische Feldstärke: A/m).

Bei Gleichstromleitungen bilden sich statische elektrische und magnetische Felder aus, Wechselstromleitungen dagegen erzeugen Wechselstromfelder. Die Felder beeinflussen sich gegenseitig. Elektrische Felder bewegen elektrische Ladungen. Diese bewegten Ladungen erzeugen magnetische Felder, die magnetischen Wechselfelder erzeugen elektrische Felder.

---

3 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Biologische und gesundheitliche Wirkungen statischer Magnetfelder“. <http://www.bfs.de/DE/themen/emf/nff/wirkung/statische.html>

Das elektrische Feld wird durch das Umfeld beeinflusst (Abschirmung durch Gebäude). Das magnetische Feld hingegen kann viele Materialien ungehindert durchdringen. Bei Erdkabeln tritt nur das magnetische Feld auf, das elektrische Feld wird durch die Abschirmung des Kabels abgefangen.<sup>4</sup>

### 3. Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder

Elektrische Felder lösen eine elektrische Aufladung an der Körperoberfläche aus, die sich durch ungefährliche Wahrnehmungen auf der Körperoberfläche wie z. B. aufgeladene Körperhaare äußert. Werden beispielsweise metallische Objekte, die schlecht geerdet sind und sich im elektrischen Feld von Leitungen aufgeladen haben, berührt, fließt die elektrische Ladung durch den Körper des Menschen ab. Die Ströme sind im Körper nicht spürbar und ungefährlich.

Magnetische Wechselfelder lösen im Körper des Menschen schwache wirbelförmige Körperströme aus, die nicht vom Menschen wahrgenommen werden, statische Magnetfelder lösen Körperströme nur aus, wenn sich der Mensch im Magnetfeld bewegt.

Das statische Magnetfeld von HGÜ-Leitungen liegt bei Höchstspannung in der Intensität des gleichzeitig vorhandenen Erdmagnetfeldes und in den Größenordnungen wie das magnetische Wechselfeld bei Wechselstromleitungen. Werte für die magnetische Flussdichte (magnetische Induktion) des statischen Erdmagnetfelds liegen zwischen 30 bis 60 µT. Ein typischer Kühlzschrankmagnet hat etwa 5 mT<sup>5</sup>.

„Die Maximalwerte der elektrischen Feldstärken von Hochspannungsfreileitungen treten [...] an der Stelle des tiefsten Durchhanges zwischen zwei Masten auf. Sie können bis an den Referenzwert und bei älteren Hochspannungsfreileitungen auch darüber hinaus reichen. Es ergeben sich auch im ungünstigsten Fall magnetische Induktionen, die bei maximalem Dauerstrom deutlich unterhalb des Referenzwertes 100 µT bleiben“.<sup>6</sup>

---

4 EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) „Hochspannungsfreileitungen“, <https://www.emf-portal.org/de/emf-source/72>

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-strom.pdf?blob=publicationFile&v=8>

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2012). „Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei Hochspannungsfreileitungen und Erdkabeln“, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload/bund/publikationen/ressourcen\\_und\\_technik/ressourcen\\_schutz\\_vor\\_elektromagnetischen\\_feldern\\_hintergrund.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload/bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_schutz_vor_elektromagnetischen_feldern_hintergrund.pdf)

5 1000 µT (Mikrotesla) = 1 mT (Millitesla)

6 Strahlenschutzkommision (SSK) (2008). „Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung - Empfehlung der Strahlenschutzkommision“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2008/Felder\\_Energieversorgung.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Felder_Energieversorgung.pdf?blob=publicationFile)

Beim Einsatz von Gleichspannungsfreileitungen bleibt im Gegensatz zu Wechselspannungsfreileitungen an den Leiterseilen die Polarität gleich. Es bilden sich um die Leiterseile Wolken elektrischer Ladungen aus. Die elektrischen Feldstärken können bis zu doppelt so groß sein. Diese elektrischen Felder können sich aufgrund von Windeinflüssen über größere seitliche Bereiche ausdehnen als bei Wechselspannungsfreileitungen. Es treten auch Erhöhungen im Vergleich zu Wechselspannungsfreileitungen auf. Grundsätzlich gilt aber, dass Gleichfelder biologisch weniger effizient sind als Wechselfelder.

Niederfrequente Felder, wie sie bei der 50-Hertz-Technik entstehen, erzeugen in den für die Bevölkerung zugänglichen Bereichen keine Wärme im Körper des Menschen.<sup>7</sup>

#### **4. Untersuchungen zu Wirkungen elektromagnetischer Felder im Niederfrequenzbereich zwischen 0,1 Hz und 1 kHz**

In der Literaturdatenbank des EMF-Portals, dem Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, des Instituts für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-magnetische Umweltverträglichkeit (femu) sind aktuell

---

Strahlenschutzkommision (SSK) (2016). Statusbericht „Elektromagnetische Felder neuer Technologien“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2013/Statusbericht\\_EMF.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/Statusbericht_EMF.pdf?blob=publicationFile)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-strom.pdf?blob=publicationFile&v=8>

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2012). „Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten“, 2012:39

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2012). „Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei Hochspannungs-Freileitungen und Erdkabeln“, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload/bund/publikationen/ressourcen\\_und\\_technik/ressourcen\\_schutz\\_vor\\_elektromagnetischen\\_feldern\\_hintergrund.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload/bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_schutz_vor_elektromagnetischen_feldern_hintergrund.pdf)

<sup>7</sup> Strahlenschutzkommision (SSK) (2008). „Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung - Empfehlung der Strahlenschutzkommision“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2008/Felder\\_Energieversorgung.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Felder_Energieversorgung.pdf?blob=publicationFile)

Strahlenschutzkommision (SSK) (2016). Statusbericht „Elektromagnetische Felder neuer Technologien“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2013/Statusbericht\\_EMF.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/Statusbericht_EMF.pdf?blob=publicationFile)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-strom.pdf?blob=publicationFile&v=8>

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2012). „Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten“, 2012:39

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2012). „Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei Hochspannungs-Freileitungen und Erdkabeln“, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload/bund/publikationen/ressourcen\\_und\\_technik/ressourcen\\_schutz\\_vor\\_elektromagnetischen\\_feldern\\_hintergrund.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload/bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_schutz_vor_elektromagnetischen_feldern_hintergrund.pdf)

allein für die Netzfrequenzfelder 50/60 Hz 2.434 Studien enthalten. Die zusammenfassenden Ergebnisse zu den Wirkungen elektromagnetischer Felder im Niederfrequenzbereich werden im Folgenden zitiert.<sup>8</sup>

### Neurodegenerative Erkrankungen (Parkinson, Alzheimer, ALS) bei **beruflicher Exposition**

„Es liegen verschiedene Studien zur Erkrankungs- oder Sterblichkeitsrate aufgrund von neurodegenerativen Erkrankungen bei Arbeitern vor, die vorwiegend in Elektrizitäts-Versorgungsunternehmen tätig waren. Mehrere Studien deuten darauf hin, dass die berufliche Exposition bei Netzfrequenz-Magnetfeldern mit einem erhöhten Risiko an amyotropher Lateralsklerose zu erkranken, einhergeht. Die Studienergebnisse zu Alzheimer-Krankheit sind inkonsistent. Es ergibt sich daraus nur ein schwacher Hinweis auf einen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und Alzheimer-Krankheit. Es wurde kein Zusammenhang zwischen der beruflichen Exposition und Parkinson-Krankheit festgestellt.“<sup>9</sup>

Dazu wurde beispielsweise in einer Meta-Analyse der Zusammenhang zwischen beruflicher Exposition bei niederfrequenten Magnetfeldern und dem Risiko für Alzheimer-Krankheit untersucht. In einer weiteren Analyse hatte die Untersuchung von 17 Studien das Ziel, den Zusammenhang zwischen dem Risiko für amyotrophe Lateralsklerose (ALS) und einer beruflichen Exposition bei niederfrequenten Magnetfeldern oder Tätigkeiten mit Strom sowie anderen beruflichen Expositionen (z. B. Blei, Chemikalien) zu erforschen.<sup>10</sup>

„Das Bundesamt für Strahlenschutz hat ein Forschungsvorhaben zu den Wirkungen niederfreuquenter elektromagnetischer Felder auf die Entstehung und den Verlauf von neurodegenerativen

---

8 EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) „Studienübersichten“, bzw. <https://www.emf-portal.org/de/article/overview/category/power-line-frequencies-epidemiology>

9 EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) „Neurodegenerative Erkrankungen (Parkinson, Alzheimer, ALS)“, <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/effects/low-frequency/neurodegenerative-diseases>

10 Jalilian H et al. (2018). „Occupational exposure to extremely low frequency magnetic field and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis“, <https://www.emf-portal.org/de/article/34259> und <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X17302395?via%3Dihub>, Neurotoxicology 2018; 69: 242-252

Gunnarsson, L.G., Bodin, L. (2018). „Amyotrophic Lateral Sclerosis and Occupational Exposures: A Systematic Literature Review and Meta-Analyses“, <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/11/2371>, Int J Environ Res Public Health 2018; 15 (11)

Erkrankungen im experimentellen Modell gefördert, um die Ergebnisse aus den epidemiologischen Studien zu überprüfen und einen eventuellen Wirkungsmechanismus aufzuklären.“<sup>11</sup>

## Leukämie

Im Rahmen des europäischen Gemeinschaftsprojekts „Arimmora“ (Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment) sollte u. a. ein möglicher kausaler Zusammenhang von niederfrequenten Magnetfeldern auf die Entstehung von Krebs, insbesondere von Kinderleukämie mit Hilfe von neuartigen experimentellen und computergestützten Methoden untersucht werden. Das Projekt lief von 2011 bis 2015 im 7. Forschungsrahmenprogramm und wurde von der Europäischen Kommission gefördert. Am Projekt sind Forschergruppen aus Deutschland, der Schweiz, Frankreich, Italien, Spanien und Israel beteiligt gewesen.<sup>12</sup>

Die Ergebnisse des Projekts wurden in der Fachwelt kontrovers diskutiert und zeigen keinen wissenschaftlich fundierten monokausalen Zusammenhang zwischen der Entstehung von Leukämie unter der Einwirkung elektromagnetischer Felder. Ganz ausgeschlossen können die Einwirkungen aber auch nicht. Die Strahlenschutzkommission fasst in einem Bericht aus dem Jahr 2017 den Stand der Ergebnisse aus dem Arimmora-Projekt, weiteren Vorstudien und eigenen durchgeführten Workshops zusammen und liefert eine begründete Empfehlung für die notwendige weitere Forschung.<sup>13</sup>

11 EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) „Neurodegenerative Erkrankungen (Parkinson, Alzheimer, ALS)“, <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/effects/low-frequency/neurodegenerative-diseases>, <https://www.emf-portal.org/de/article/26578> und <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2014090311650>

12 Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment (ARIMMORA) „Projektübersicht“, <https://arimmora-fp7.eu/index.php?page=project-overview>

EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) "Leukämie im Kindesalter", <https://www.emf-portal.org/de/article/overview/category/power-line-frequencies-epidem/childhood-leukemia?view=backgroundInfo#level-3>

13 Strahlenschutzkommission (SSK) (2017). „Ursachenforschung zu Leukämien bei Kindern und Jugendlichen - Empfehlung der Strahlenschutzkommission“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2017/2017-06-20%20Empf%20Ursachenforschung%20Kinderleukaemie.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2017/2017-06-20%20Empf%20Ursachenforschung%20Kinderleukaemie.pdf?blob=publicationFile)

Schüz, J., et al. (2016). „Extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia: A risk assessment by the ARIMMORA consortium“, DOI: 10.1002/bem.21963, [https://www.researchgate.net/publication/298899712\\_Extremely\\_low-frequency\\_magnetic\\_fields\\_and\\_risk\\_of\\_childhood\\_leukemia\\_A\\_risk\\_assessment\\_by\\_the\\_ARIMMORA\\_consoritum](https://www.researchgate.net/publication/298899712_Extremely_low-frequency_magnetic_fields_and_risk_of_childhood_leukemia_A_risk_assessment_by_the_ARIMMORA_consoritum)

Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment (ARIMMORA) (2018). „Report on awareness and wider societal implications“, [https://arimmora-fp7.eu/uploads/Deliverable\\_10.18\\_Final.pdf](https://arimmora-fp7.eu/uploads/Deliverable_10.18_Final.pdf)

---

Aufgrund der noch offenen wissenschaftlichen Fragen zu den gesundheitlichen Auswirkungen elektrischer und magnetischer Felder bei unterschiedlicher Exposition empfiehlt das BfS:<sup>14</sup>

“Vor allem im Zusammenhang mit beruflicher Exposition mit niederfrequenten Feldern wurden epidemiologische Studien veröffentlicht, die auf ein erhöhtes Auftreten neurodegenerativer Erkrankungen wie Alzheimer Erkrankung und Amyotrophe Lateralsklerose (ALS, eine Art von Muskelschwäche) hindeuten. Allerdings finden andere epidemiologische Studien diesen Zusammenhang nicht. Zudem werden die Ergebnisse durch Laboruntersuchungen bisher nicht gestützt. Weitere Forschung muss klären, ob es sich tatsächlich um einen ursächlichen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Feldern und den Erkrankungen handelt. Seit den 1970er Jahren werden mögliche Zusammenhänge zwischen niederfrequenten Magnetfeldern geringer Intensität und Krebserkrankungen untersucht. Bei Erwachsenen ergibt sich auch bei langandauernder Einwirkung in den meisten Studien kein erkennbarer Zusammenhang zwischen niederfrequenten Feldern und dem Risiko, an Krebs zu erkranken.

Anders stellt sich die Situation in Bezug auf eine bestimmte, glücklicherweise seltene Leukämieerkrankung bei Kindern dar. Hier gibt es mehrere epidemiologische Studien, die darauf hinweisen, dass magnetische Flussdichten deutlich unterhalb der für Hochspannungsleitungen und Transfostationen festgelegten Grenzwerte das Erkrankungsrisiko bei Kindern erhöhen könnten. In den Studien wird eine Risikoerhöhung bei zeitlich gemittelten Flussdichten von ca. 0,3 – 0,4 Mikrotesla ( $\mu\text{T}$ ) genannt. In Wohnungen durchgeführte Messungen sprechen dafür, dass nur wenige Kinder in Deutschland einer zeitlich gemittelten Magnetfeldbelastung über 0,2  $\mu\text{T}$  ausgesetzt sind. Die Ergebnisse aus den epidemiologischen Studien werden von experimentellen Studien wie zum Beispiel Tierversuchen nicht gestützt. Auch ist kein biologischer Wirkmechanismus bekannt, der solche Effekte erklären könnte. Insgesamt ist die Frage, ob ein ursächlicher Zusammenhang zwischen Magnetfeldexposition und Leukämie im Kindesalter besteht, nicht abschließend geklärt und Gegenstand weiterer wissenschaftlicher Untersuchungen. Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat niederfrequente Magnetfelder als „möglicherweise krebserregernd“ eingestuft. Die Internationale Kommission zum Schutz vor Nichtionisierender Strahlung (ICNIRP) bewertet die epidemiologischen Befunde als nicht ausreichend gesichert, um sie zur Basis von Grenzwertempfehlungen zu machen. Elektrosensibilität Studien des BfS haben gezeigt, dass sich knapp zwei Prozent der deutschen Bevölkerung als elektrosensibel bezeichnen. Sie führen unterschiedliche Beschwerden, wie zum Beispiel Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Müdigkeit und Konzentrationsstörungen, auf das Vorhandensein elektrischer und magnetischer Felder in ihrer Umwelt zurück. Die Wissenschaft versucht seit langem, dem Phänomen „Elektrosensibilität“ auf die Spur zu kommen. Ein ursächlicher Zusammenhang zwischen elektrischen

---

Science Media Center (smc) (2018). Research in Context „Wie magnetische Felder in menschlichen Zellen wirken“, <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/research-in-context/details/news/wie-magnetische-felder-in-menschlichen-zellen-wirken/>, 2.20.2018

<sup>14</sup> Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-strom.pdf?blob=publicationFile&v=8>

und magnetischen Feldern und den Beschwerden konnte wissenschaftlich nicht nachgewiesen werden.“<sup>15</sup>

## 5. Grenzwerte im europäischen Vergleich

„Da es für die Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern keinen weltweit bindend anzuerkennenden Sicherheitsstandard gibt, werden verschiedene internationale Grenzwert-Empfehlungen in jedem Land in eigene nationale Empfehlungen oder rechtlich bindende Vorschriften überführt.

In Europa sind die Mitgliedsländer der Europäischen Union an Empfehlungen und Richtlinien des Europäischen Parlaments und des Rates gebunden. Sie [...] können jedoch über diese Mindestanforderungen hinaus striktere nationale Grenzwerte [wie z. B. die Niederlande], festlegen.

Die WHO stellt eine aktuelle Übersicht über die weltweit angewandten Standards zur Begrenzung der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern in ihrem „Global Health Observatory“<sup>16</sup> (GHO) Webportal bereit. Dies ermöglicht einen umfassenden internationalen Vergleich über die in einzelnen Staaten angewandten Standards (s. a. unten stehende Tabelle).

Als gemeinsame Grundlage für viele Länder in Europa gelten die Empfehlungen und Richtlinien der Europäischen Union zur Begrenzung der Exposition der Allgemeinbevölkerung (EU-Empfehlung 1999/519/EC) bzw. am Arbeitsplatz (EU-Richtlinie 2013/35/EU, welche die früher geltende EU-Richtlinie 2004/40/EC ersetzt). Die Grenzwerte in beiden Empfehlungspapieren sind zum großen Teil von den Empfehlungen der ICNIRP abgeleitet. In der nationalen Umsetzung der Empfehlungen und Richtlinien gibt es jedoch große Unterschiede.“<sup>17</sup>

Die folgende Tabelle zeigt Grenzwerte ausgewählter Staaten für niederfrequente Felder bezogen auf die Bevölkerung (Stand 6.11.2018).<sup>18</sup>

---

15 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-strom.pdf?blob=publicationFile&v=8>

16 World Health Organization (WHO) (2018). „Global Health Observatory data repository - Exposure limits for low-frequency fields (public)“, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.EMFLIMITS?lang=en>

17 EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) (2019). „Grenzwerte im internationalen Vergleich“, <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/more/limits/limit-values-compared-internationally>

World Health Organization (WHO) (2016). „Global Health Observatory data repository - Exposure limits“, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.EMF?lang=en>

18 World Health Organization (WHO) (2018). „Global Health Observatory data repository - Exposure limits for low-frequency fields (public) Data by country“, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.EMFLIMITSPUBLIC-LOW?lang=en>, Stand 11.6.2018

Land	Jahr	Elektrisches Feld [kV/m]	Magnetische Flußdichte [ $\mu$ T]	Statische Felder [ $\mu$ T]	Frequenz [Hz]
Deutschland	2017	5	100	500/400.00 <sup>19</sup>	50
Dänemark	2018	5	100	40,000	50
Niederlande	2017	5	0.4/200 <sup>20</sup>	500/400,000 <sup>21</sup>	50
Finnland	2017	5/15 <sup>22</sup>	0,4/100/500 <sup>23</sup>	40,000	50
Italien	2017	5	3/10/100 <sup>24</sup>	keine Angabe	50
Großbritannien und Nordirland	2017	5/9 <sup>25</sup>	100/360 <sup>26</sup>	40,000	50

19 400 mT for direct effects, 500 microT for prevention of indirect effects (ICNIRP 2009)

20 200 microT (ICNIRP 2010); 0.4 microT: 2005 recommendation of the national government to local authorities for new buildings where children can experience long-term exposure to magnetic fields from overhead high voltage transmission lines (e.g. dwellings, schools, kindergartens).

21 400 mT for direct effects, 500 microT for prevention of indirect effects (ICNIRP 2009)

22 5 kV/m: limit for continuous exposure; 15 kV/m: limit for short-term exposure

23 0.4 microT: Recommendation by the Radiation and Nuclear Safety Authority (STUK) for new power line installations and building projects near existing power lines for premises where children spend time (e.g. homes, schools, nursery schools); 100 microT: Limit for continuous exposure; 500 microT: Limit for short-term exposure

24 3 microT as quality goal (precautionary "technological" goal applicable for new building/electrical installations); 10 microT as "attention value" (precautionary value not to be exceeded in residential buildings and areas where people can stay > 4 hours); 100 microT as "exposure limit" (not to be exceeded anywhere)

25 9 kV/m: applies to power lines and exists in addition to other specific measures that are in place for controlling EMF-related risks from power lines

26 360 microT: applies to power lines and exists in addition to other specific measures that are in place for controlling EMF-related risks from power lines

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) hat in einer Tabelle Standards zum Schutz und zur Vorsorge vor magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und -anwendung im internationalen Vergleich mit Stand 2012 zusammen getragen.<sup>27</sup>

### Beispiel Niederlande

„In den Niederlanden gelten für Strom-Leitungen die Niederfrequenz-Referenzwerte nach den ICNIRP-Empfehlungen. Seit 2005 existiert jedoch zusätzlich eine Empfehlung des niederländischen Infrastruktur- und Umwelt-Ministeriums für neu zu errichtende Stromübertragungs-Leitungen in sensiblen Bereichen, wonach eine magnetische Flussdichte von 0,4 µT nicht überschritten werden soll (Quelle: Rijksoverheid). Bei genauer Betrachtung handelt es sich um eine Empfehlung an lokale Behörden, bei neuen Anlagen einen Abstand zwischen Hochspannungsleitungen und „empfindlichen Nutzungen“ (d. h. Wohnungen, Schulen, Kindergärten und Kinderhorte) einzuhalten, so dass Kinder nicht langzeitig Magnetfeldern über 0,4 µT ausgesetzt sind. Die zu vermeidende Magnetfeld-Zone wird aber anhand eines Jahresmittelwerts bei angenommener 30-prozentiger Auslastung der Leitung bestimmt und ist daher z. B. mit dem deutschen Grenzwert nicht vergleichbar (weil dieser für höchste Anlagenauslastung gilt). Da die Nachrüstung bestehender Leitungen nicht als Neuerrichtung gilt, trifft die Empfehlung außerdem auch nicht auf nachgerüstete Leitungen zu. Für das elektrische Feld gilt unverändert der ICNIRP-Referenzwert von 5 kV/m. Der niederländische Gezondheidsraad (ein unabhängiges wissenschaftliches Gremium, das Regierung und Parlament in Gesundheitsfragen berät) hatte im Gegensatz zum Ministerium keinen Grund für verschärfte Maßnahmen gesehen (Quelle: BfS).“<sup>28</sup>

## 6. Abstand der Hochspannungstrassen zu Wohngebieten

„Mit zunehmendem Abstand zu Wohngebäuden wird der Beitrag einer Hochspannungsleitung zur Belastung durch elektrische und magnetische Felder immer geringer. Die Gesamtbelastung wird dann zunehmend durch die Nutzung elektrischer Energie im Haushalt bestimmt. Bei Wechselstromfreileitungen ist dies in einem Abstand von etwa 100 bis 400 Metern der Fall. Im Einzelfall hängt das von der Ausführung und den Betriebsparametern der Leitung ab.“ Durch eine geeignete Wahl der technischen Parameter wie Phasenbelegung, die Höhe der Masten oder den Abstand der einzelnen Leiterseile zueinander kann Einfluss auf die Belastung durch elektrische und magnetische Felder genommen werden.<sup>29</sup>

<sup>27</sup> Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2012). „Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei HochspannungsFreileitungen und Erdkabeln“, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload/bund/publikationen/ressourcen\\_und\\_technik/ressourcen\\_schutz\\_vor\\_elektromagnetischen\\_feldern\\_hintergrund.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload/bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_schutz_vor_elektromagnetischen_feldern_hintergrund.pdf), Seite 12

<sup>28</sup> EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) (2019). „Grenzwerte im internationalen Vergleich“, <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/more/limits/limit-values-compared-internationally>

<sup>29</sup> Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2018). „Vorsorge gegen Belastungen durch statische und niederfrequente Felder“, <http://www.bfs.de/DE/themen/emf/netzausbau/schutz/vorsorge/vorsorge.html> 15.10.2018

Aus den Grenzwerten der geltenden Vorschriften geht in der Regel kein gesetzlich festgelegter, in Metern angegebener Mindestabstand hervor. Dieser Abstand ließe sich im Rahmen der technischen Gegebenheiten und Grenzwerte berechnen. Eine baubiologische Faustregel für den Abstand zu Hochspannungsleitungen lautet: „1 Meter je kV Spannung“. Für 380 kV wäre dies beispielsweise ein Abstand von 380 m.<sup>30</sup>

Der BUND empfiehlt „aufgrund des erforderlichen Schutzanspruchs in Höhe von 0,01 µT einen Abstand von etwa 600 m bei Leitungen mit 380 kV einzuhalten, wenn keine konkreten Aussagen über die Verringerung von Emissionen vorliegen (zum Beispiel durch technische Optimierung).“<sup>31</sup>

Im Rahmen des Projektes des Bundesamtes für Strahlenschutz wurde „für alle europäischen Staaten (47 Länder plus Deutschland) sowie für wichtige außereuropäische Staaten (China, Indien, Australien, Japan, Kanada, Neuseeland und USA) Datenmaterial zur jeweiligen rechtlichen Situation in den Ländern gesammelt, ausgewertet und verglichen. Der Bericht enthält Grenzwerte und Regelungen. Beispielsweise sollten Hochspannungsfreileitungen oder neue Hochspannungsfreileitungen nicht in der Nähe von Schulen oder Kindergärten vorbeigeführt werden, wie es für die Staaten Belgien oder Dänemark vorgeschrieben ist. Die Regelungen können auch innerhalb der Staaten je nach Region, Beispiel Italien, unterschiedlich sein.“<sup>32</sup>

## 7. Fazit

Die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) hat zwar im Jahr 2002 niederfrequente Felder in die Klasse 2B als „möglicherweise krebserregend“ eingestuft, aber auch die in jüngster Zeit durchgeführten Analysen konnten bisher keinen kausalen Zusammenhang zwischen niederfrequenten Feldern und der Krebsentstehung wissenschaftlich nachweisen. Die zuständigen Organisationen empfehlen weitere Untersuchungen des Sachverhalts.

30 Baubiologie Streil (2018). „Idealter Abstand zu Hochspannungsleitungen!“, <http://www.baubio-logisch.de/abstand-zu-hochspannungsleitungen/>

31 Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2012). „Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei Hochspannungs-Freileitungen und Erdkabeln“, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload\\_bund/publikationen/ressourcen\\_und\\_technik/ressourcen\\_schutz\\_vor\\_elektromagnetischen\\_feldern\\_hintergrund.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload_bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_schutz_vor_elektromagnetischen_feldern_hintergrund.pdf), Seite 15

32 Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2015). Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nichtionisierenden Bereich des Bundesamtes für Strahlenschutz Vorhaben: 3614S80010 Ergebnisbericht, Teil I "Ländervergleich der Regelungen für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (0 Hz - 300 GHz)", [https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016021914007/3/BfS\\_2016\\_3614S80010\\_Bd1.pdf](https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016021914007/3/BfS_2016_3614S80010_Bd1.pdf)

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2017). „Bedarfsermittlung 2017-2030 Festlegung des Untersuchungsrahmens für die Strategische Umweltprüfung“, [https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2030\\_V17/UB/Untersuchungsrahmen\\_SUP\\_2030.pdf?blob=publicationFile](https://www.netzausbau.de/SharedDocs/Downloads/DE/2030_V17/UB/Untersuchungsrahmen_SUP_2030.pdf?blob=publicationFile)

## 8. Quellenverzeichnis

Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment (ARIMMORA) „Projektübersicht“, <https://arimmora-fp7.eu/index.php?page=project-overview>

Advanced Research on Interaction Mechanisms of electroMagnetic exposures with Organisms for Risk Assessment (ARIMMORA) (2018). „Report on awareness and wider societal implications“, [https://arimmora-fp7.eu/uploads/Deliverable\\_10.18\\_Final.pdf](https://arimmora-fp7.eu/uploads/Deliverable_10.18_Final.pdf)

Baubiologie Streil (2018). „Idealter Abstand zu Hochspannungsleitungen!“, <http://www.baubiologisch.de/abstand-zu-hochspannungsleitungen/>

Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) (2012). „Schutz vor niederfrequenten magnetischen Wechselfeldern bei HochspannungsFreileitungen und Erdkabeln“, [https://www.bund.net/fileadmin/user\\_upload/bund/publikationen/ressourcen\\_und\\_technik/ressourcen\\_schutz\\_vor\\_elektromagnetischen\\_feldern\\_hintergrund.pdf](https://www.bund.net/fileadmin/user_upload/bund/publikationen/ressourcen_und_technik/ressourcen_schutz_vor_elektromagnetischen_feldern_hintergrund.pdf)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2015). Internationaler Vergleich der rechtlichen Regelungen im nichtionisierenden Bereich des Bundesamtes für Strahlenschutz Vorhaben: 3614S80010 Ergebnisbericht, Teil I "Ländervergleich der Regelungen für elektrische, magnetische und elektromagnetische Felder (0 Hz - 300 GHz)", [https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016021914007/3/BfS\\_2016\\_3614S80010\\_Bd1.pdf](https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2016021914007/3/BfS_2016_3614S80010_Bd1.pdf)

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). „Biologische und gesundheitliche Wirkungen statischer Magnetfelder“, <http://www.bfs.de/DE/themen/emf/nff/wirkung/statische/statische.html>

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2017). Broschüre „Elektrische und magnetische Felder der Stromversorgung“, <http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/emf/stko-strom.pdf?blob=publicationFile&v=8>

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) (2018). „Vorsorge gegen Belastungen durch statische und niederfrequente Felder“, <http://www.bfs.de/DE/themen/emf/netzausbau/schutz/vorsorge/vorsorge.html>, 15.10.2018

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2012). „Umweltauswirkungen unterschiedlicher Netzkomponenten“, 2012:39

Bundesnetzagentur (BNetzA) (2017). „Bedarfsermittlung 2017-2030 Festlegung des Untersuchungsrahmens für die Strategische Umweltprüfung“, [https://www.netzausbau.de/Shared-Docs/Downloads/DE/2030\\_V17/UB/Untersuchungsrahmen\\_SUP\\_2030.pdf?blob=publication-File](https://www.netzausbau.de/Shared-Docs/Downloads/DE/2030_V17/UB/Untersuchungsrahmen_SUP_2030.pdf?blob=publication-File)

EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) „Hochspannungsfreileitungen“, <https://www.emf-portal.org/de/emf-source/72>

EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) „Neurodegenerative Erkrankungen (Parkinson, Alzheimer, ALS)“, <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/effects/low-frequency/neurodegenerative-diseases> <https://www.emf-portal.org/de/article/26578> und <https://doris.bfs.de/jspui/handle/urn:nbn:de:0221-2014090311650>

EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) "Leukämie im Kindesalter", <https://www.emf-portal.org/de/article/overview/category/power-line-frequencies-epidem/childhood-leukemia?view=backgroundInfo#level-3>

EMF-Portal, Informationsportal der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen, dem Institut für Arbeitsmedizin und Sozialmedizin und dem Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) (2019). „Grenzwerte im internationalen Vergleich“, <https://www.emf-portal.org/de/cms/page/home/more/limits/limit-values-compared-internationally>

Gunnarsson, L.G., Bodin, L. (2018). „Amyotrophic Lateral Sclerosis and Occupational Exposures: A Systematic Literature Review and Meta-Analyses“, <https://www.mdpi.com/1660-4601/15/11/2371>, Int J Environ Res Public Health 2018; 15 (11)

Jalilian H et al. (2018). „Occupational exposure to extremely low frequency magnetic field and risk of Alzheimer disease: A systematic review and meta-analysis“, <https://www.emf-portal.org/de/article/34259> und <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0161813X17302395?via%3Dihub>, Neurotoxicology 2018; 69: 242-252

Schüz, J., et al. (2016). „Extremely low-frequency magnetic fields and risk of childhood leukemia: A risk assessment by the ARIMMORA consortium“, DOI: 10.1002/bem.21963, [https://www.researchgate.net/publication/298899712\\_Extremely\\_low-frequency\\_magnetic\\_fields\\_and\\_risk\\_of\\_childhood\\_leukemia\\_A\\_risk\\_assessment\\_by\\_the\\_ARIMMORA\\_consoritum](https://www.researchgate.net/publication/298899712_Extremely_low-frequency_magnetic_fields_and_risk_of_childhood_leukemia_A_risk_assessment_by_the_ARIMMORA_consoritum)

Science Media Center (smc) (2018). Research in Context „Wie magnetische Felder in menschlichen Zellen wirken“, <https://www.sciencemediacenter.de/alle-angebote/research-in-context/details/news/wie-magnetische-felder-in-menschlichen-zellen-wirken/>, 2.20.2018

Strahlenschutzkommision (SSK) (2008). „Schutz vor elektrischen und magnetischen Feldern der elektrischen Energieversorgung und –anwendung - Empfehlung der Strahlenschutzkommision“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2008/Felder\\_Energieversorgung.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2008/Felder_Energieversorgung.pdf?blob=publicationFile)

Strahlenschutzkommision (SSK) (2016). Statusbericht „Elektromagnetische Felder neuer Technologien“, [https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2013/Statusbericht\\_EMF.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2013/Statusbericht_EMF.pdf?blob=publicationFile)

Strahlenschutzkommision (SSK) (2017). „Ursachenforschung zu Leukämien bei Kindern und Jugendlichen - Empfehlung der Strahlenschutzkommision“, [https://www.ssk.de/Shared-Docs/Beratungsergebnisse\\_PDF/2017/2017-06-20%20Empf%20Ursachenforschung%20Kinder-leukaemie.pdf?blob=publicationFile](https://www.ssk.de/Shared-Docs/Beratungsergebnisse_PDF/2017/2017-06-20%20Empf%20Ursachenforschung%20Kinder-leukaemie.pdf?blob=publicationFile)

Uniklinik RWTH Aachen, Institut für Arbeits- und Sozialmedizin, Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu) (2013). „Gesundheitliche Wirkungen elektrischer und magnetischer Felder von Stromleitungen“, <http://www.netzausbau.de/Shared-Docs/Downloads/DE/2013/FemuFachstellungnahme.pdf?blob=publicationFile>

World Health Organization (WHO) (2007) “WHO Research Agenda for Extremly Low Frequency Fields”, <http://www.who.int/peh-emf/research/agenda/en/>

World Health Organization (WHO) (2016). „Global Health Observatory data repository - Exposure limits“, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.EMF?lang=en>

World Health Organization (WHO) (2018). „Global Health Observatory data repository - Exposure limits for low-frequency fields (public)“, <http://apps.who.int/gho/data/node.main.EMFLIMITS?lang=en>

World Health Organization (WHO) (2018). „Global Health Observatory data repository - Exposure limits for low-frequency fields (public) Data by country“,  
<http://apps.who.int/gho/data/node.main.EMFLIMITSPUBLICLOW?lang=en>, Stand 11.6.2018

\*\*\*