

Die beratende Expertengruppe NIS (BERENIS) und ihre Aufgabe

Das BAFU hat als Umweltfachstelle des Bundes die Aufgabe, die Forschung über gesundheitliche Auswirkungen nichtionisierender Strahlung (NIS) zu verfolgen, die Ergebnisse zu bewerten und die Öffentlichkeit über den Stand der Wissenschaft und der Erfahrung zu informieren. Dieser bildet die Grundlage für die Immissionsgrenzwerte der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung (NISV). Das BAFU würde dem Bundesrat eine Anpassung dieser Grenzwerte empfehlen, wenn neue gesicherte Erkenntnisse aus der Forschung oder aufgrund von Alltagserfahrungen dies erforderten.

Die Bewertung der Ergebnisse wissenschaftlicher Studien dient auch der Früherkennung potenzieller Risiken. Es soll möglichst kein Hinweis auf Schädlichkeit, der ein Handeln erfordern würde, übersehen werden. Die Bewertung muss Aussagen darüber machen, wie stichhaltig biologische Effekte nachgewiesen sind, ob sie für die Gesundheit relevant sind, und wie viele Menschen gegebenenfalls betroffen sind.

NIS ist ein weites Feld, welches ein breites Frequenzspektrum mit einer Vielfalt an Intensitäten und anderen Strahlungscharakteristiken umfasst. Dazu kommt eine dynamische technologische Entwicklung, wodurch die Strahlungsemissionen vielfältiger und komplexer werden. Genauso mannigfaltig sind die biologischen Systeme, welche potentiell von NIS beeinflusst werden könnten. Entsprechend gibt es Studien aus vielen biologischen, medizinischen und technischen Spezialgebieten, für deren Bewertung detailliertes Expertenwissen erforderlich ist.

Zur fachlichen Unterstützung hat das BAFU im Jahr 2014 eine beratende Expertengruppe NIS (BERENIS) einberufen. Diese sichtet die neu publizierten wissenschaftlichen Arbeiten zum Thema und wählt diejenigen zur detaillierten Bewertung aus, die aus ihrer Sicht für den Schutz des Menschen von Bedeutung sind oder sein könnten. Die Ergebnisse der Evaluation werden vierteljährlich in Form eines Newsletters publiziert.

Auswahlkriterien für bewertete Studien

Die kritische Beurteilung von Studien ist zeitaufwendig, und es ist nicht möglich, alle neu erscheinenden Studien im Detail zu analysieren und zu diskutieren. Es sollen daher die für die Risikoabschätzung relevantesten Studien berücksichtigt werden. Prioritär werden dabei Studien behandelt, die möglichst viele der folgenden Kriterien erfüllen:

1) Allgemein

- Hohe wissenschaftliche Qualität
- Umweltrelevante Expositionen, d. h. in erster Linie NIS von Infrastrukturanlagen
- Neue wissenschaftliche Betrachtungsweisen
- In der Öffentlichkeit oder Wissenschaft kontrovers diskutierte Studien

2) Bei epidemiologischen Studien

- Relevant für die Gesundheit oder das Wohlbefinden von Menschen
- Expositionen im Bereich oder unterhalb der Immissionsgrenzwerte
- Ergebnisse aus der Schweiz
- Ergebnisse, welche auf die Schweiz übertragbar sind

3) Bei experimentellen Studien

- Der untersuchte Effekt ist relevant für den Menschen
- Definierte Untersuchungsbedingungen inklusive Exposition
- Auswirkungen, welche mit den akzeptierten Wirkungsmechanismen nicht erklärbar sind

Mitglieder der BERENIS

- Prof. Dr. Martin Röösl, Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Basel (Leitung)
- Prof. Dr. Peter Achermann, Institut für Pharmakologie und Toxikologie, Universität Zürich
- Dr. Jürg Fröhlich, Fields at Work GmbH, Zürich
- Prof. Dr. med. Jürg Kesselring, Chefarzt Neurologie und Neurorehabilitation, Rehabilitationszentrum, Valens
- Prof. Dr. Meike Mevissen, Vet-Pharmakologie & Toxikologie, Universität Bern
- Dr. David Schürmann, Molekulare Genetik Gruppe, Departement Biomedizin, Universität Basel
- Dr. med. Edith Steiner, Ärztinnen und Ärzte für Umweltschutz, Basel

Sekretariat:

- Dr. Stefan Dongus, Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut, Basel

BAFU (Auftraggeber):

- Dr. Jürg Baumann
- Dr. Gilberte Tinguely

Beobachter:

- Dr. Evelyn Stempfel (BAG)
- Sergio Giannini (Suva)
- Vertreter/in (SECO)

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum August bis Oktober 2014 wurden 91 neue Publikationen identifiziert, von denen 18 von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Sieben davon (drei experimentelle Studien, drei epidemiologische Studien und ein Übersichtsartikel) wurden gemäss den oben beschriebenen Kriterien als besonders relevant zur Bewertung ausgewählt und im Folgenden zusammengefasst.

Experimentelle Studien

Baek et al. (2014) untersuchten den Einfluss von niederfrequenten magnetischen Feldern auf im Bindegewebe vorkommende Zellen (Fibroblasten) der Maus *in vitro*. Bei einer durchgehenden Exposition von 15-45 Tagen mit einem Feld von 50 Hz und einer Feldstärke von 1 mT wurde eine wesentliche Stimulierung der Reprogrammierungs-Effizienz dieser Zellen beobachtet. Bei diesem Prozess werden die ausdifferenzierten Zellen in einen stammzell-ähnlichen Zustand zurückversetzt.

Interessanterweise konnten die Autoren auch zeigen, dass das Neutralisieren des Erdmagnetfeldes einen gegenteiligen Einfluss auf diesen für die Stammzellforschung relevanten epigenetischen Prozess hat. Dies deutet darauf hin, dass biologische Prozesse durch das Erdmagnetfeld beeinflusst werden, und dass zusätzliche magnetische Wechselfelder diesen Einfluss stören können. In dem hier beschriebenen Fall beschleunigt die Exposition die epigenetischen Veränderungen, die zum Erreichen des Stammzellstadiums notwendig sind. Die Studie hebt sich auch dadurch hervor, dass mithilfe aufwändiger Untersuchungen ein möglicher Mechanismus für diesen Effekt gefunden wurde. Dabei wurde als zentrales Enzym die Histon-Methyltransferase MLL2 identifiziert, die auch mit Leukämie- und Hirntumor-Bildung im Zusammenhang steht. Diese Beobachtungen stellen einen neuen und interessanten Ansatz dar. Relevant könnten die Beobachtungen für Keimzellen oder die frühe Embryonalentwicklung sein, wozu zunächst aber weitergehende Untersuchungen bezüglich Einfluss auf ähnliche Prozesse im Menschen (z.B. Bildung der Keimdrüsen) oder die generelle epigenetische Regulation der Zellen erforderlich wären. Wünschenswert wären eine unabhängige Wiederholung der Experimente mit optimierten Kontroll- und Expositionsbedingungen, und mehr Information über eine mögliche Dosis-Wirkungsbeziehung sowie zeitliche Abhängigkeiten. Dazu wären weiterführende Studien sinnvoll, um die Relevanz für die Gesundheit des Menschen bewerten zu können.

Chen et al. (2014) erläutern in ihrer *in vitro* Studie mit einem innovativen Ansatz die Auswirkungen von hochfrequenter elektromagnetischer Strahlung (1800 MHz), wie sie beim Telefonieren im GSM-Mobilfunknetz entstehen, auf embryonale neuronale Stammzellen. Die getestete Exposition hatte dabei eine spezifische Absorptionsrate (SAR) von 1, 2 und 4 W/kg bei einer Dauer von 1-3 Tagen, in denen das Signal in ständiger Wiederholung jeweils 5 Minuten an- und 10 Minuten abgeschaltet wurde. Dabei wurden keine Effekte auf den programmierten Zelltod (Apoptose), die Zellvermehrung (Proliferation), den Zellzyklus und das Differenzierungspotential der neuronalen Stammzellen festgestellt. Ein stark eingeschränktes Auswachsen der Neuriten wurde jedoch bei hoher Exposition (4 W/kg, 3 Tage, nicht aber bei 1 und 2 W/kg) beobachtet. Dies ist als Anhaltspunkt dafür zu werten, dass die Ergebnisse für die Hirnentwicklung und kognitiven Fähigkeiten vor allem bei Kindern relevant sein könnten. Die verwendeten SAR-Werte liegen im Bereich der ICNIRP¹-Grenzwerte für lokale Exposition. Als Schwäche der Studie ist die fehlende oder zumindest nicht beschriebene Verblindung zu werten. Angaben zu möglichen anderen Einflussfaktoren fehlen. Anhand der angegebenen Messgenauigkeit lassen sich Einflüsse der Temperatur auf das Experiment nicht ausschließen.

Dieselbe hochfrequente Strahlung wie Chen et al. (2014) untersuchen auch Lu et al. (2014), allerdings in Bezug auf neurodegenerative Krankheiten, bei einer spezifischen Absorptionsrate von 2 W/kg und einer Dauer von 1 - 24 Stunden. Im Fokus dieser *in vitro* Studie steht die entzündungsfördernde Zellantwort in zwei Typen von Hirnzellen der Maus (Mikroglia und Astrozyten). Diese Hirnzellen gewährleisten die Funktionalität von Neuronen, sind zur Fremdkörperaufnahme fähig und an immunologischen Vorgängen beteiligt. Die Autoren zeigen, dass die Exposition Mikroglia und Astrozyten unterschiedlich aktiviert, und dass dies bei den neuronalen Immuneffektorzellen (Mikroglia) über die STAT3-Signalkaskade geschieht. Die durch die hochfrequente Strahlung ausgelöste Ausschüttung von Zellbotenstoffen und Produktion von zelltoxischen reaktiven Molekülen könnte wie bei einer chronischen Entzündung langfristig zu einem Absterben von Zellen führen. Die Aktivierung von STAT3 stellt ein interessantes Ergebnis dar. Bereits aus anderen Studien ist bekannt, dass STAT3 ein signalvermittelndes Protein der Anti-Apoptose bei der Entstehung von Lymphomen, Leukämie und anderen Krebserkrankungen ist (d.h. den programmierten Zelltod der Tumorzellen verhindert) und Astrozyten-Reaktivität hervorruft. Weiterhin wurde gezeigt, dass der JAK-STAT3 Signalweg bei der Regulation von neurodegenerativen Erkrankungen beteiligt ist. Leider fehlen bei

¹ ICNIRP - International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection

dieser Studie Angaben zur Verblindung der Experimente. Für eine Abschätzung der Gesundheitsrelevanz wäre zudem eine Evaluation der Dosis-Wirkungs-Beziehung wichtig. Beide Studien weisen auf bislang nicht beobachtete Effekte hin. Es wäre wünschenswert, diese Studien unabhängig zu replizieren.

Epidemiologische Studien

In epidemiologischen Studien wurde ein konsistenter Zusammenhang zwischen vermehrtem Auftreten von Kinderleukämien und der langfristigen Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern (z.B. Hochspannungsleitungen) beobachtet. Bei Expositionswerten von oberhalb etwa 0.4 μT wurde ein doppelt so hohes Erkrankungsrisiko gesehen. Experimentelle Studien konnten bisher aber keinen biologischen Wirkungsmechanismus nachweisen. Deshalb ist unklar, ob der Zusammenhang kausal ist. Grellier et al. (2014) berechnen anhand bereits vorhandener Daten zur Magnetfeldexposition und zur Erkrankungshäufigkeit aus 27 Mitgliedsländern der Europäischen Union (EU), wie viele zusätzliche Kinderleukämiefälle zu erwarten wären, wenn der epidemiologisch beobachtete Zusammenhang zwischen niederfrequenten Magnetfeldern und Leukämie bei Kindern tatsächlich kausal wäre. Sie nahmen einen Effekt ohne Schwellenwert an und kommen zum Schluss, dass in der gesamten EU jährlich zwischen 50 und 61 Kindern aufgrund einer Exposition mit niederfrequenten elektromagnetischen Feldern an Leukämie erkranken würden. Dies entspricht etwa 1.5-2% der jährlich in der EU bei Kindern auftretenden Leukämiefälle. Bei dieser Studie handelt es sich um eine gesundheitliche Folgenabschätzung (*health impact assessment*). Ein interessanter Nebenbefund der Studie ist, dass befragte Experten sehr viel mehr Menschen für exponiert erachten, als dies gemäss Messungen tatsächlich der Fall ist.

In einer im Nordwesten von England durchgeführten Kohortenstudie wurde untersucht, ob die Nachkommen von Müttern, die während der Schwangerschaft in der Nähe von Hochspannungsfreileitungen oder Erdkabeln lebten, einem erhöhten Gesundheitsrisiko ausgesetzt sind (De Vocht et al. 2014, De Vocht & Lee 2014). Dabei wurden Daten von 140'000 Einzelgeburten aus den Jahren 2004 bis 2008 analysiert. Es zeigte sich, dass das Geburtsgewicht von Nachkommen von Müttern, deren Wohnort bei Geburt näher als 50 Meter an einer solchen Quelle war, im Durchschnitt statistisch signifikant um 125 Gramm reduziert war. In der Analyse wurden das Alter der Mutter, die Geburtsreihenfolge, die Ethnie und der sozioökonomische Status berücksichtigt. Kein Effekt wurde auf die Körpergrösse und das Risiko für Frühgeburten festgestellt. Zusammengefasst könnten die Ergebnisse darauf hindeuten, dass das Wohnen in unmittelbarer Nähe von Hochspannungsleitungen während einer Schwangerschaft zu suboptimalem Wachstum im Mutterleib führen könnte. Die Aussagekraft dieser eigentlich grossen Studie ist jedoch beschränkt, weil nur 89 Geburten bei Müttern aufgetreten sind, die 50 Meter oder weniger entfernt von Hochspannungsleitungen lebten. Zudem war der genaue Wohnort nicht bekannt, sondern nur die Postleitzahl, was in Grossbritannien einigen Häuserblöcken entspricht. Das führt zu erheblicher Ungenauigkeit bei der Distanzabschätzung. Eine weitere Schwäche ist, dass rund 120'000 Geburten, die im Studienzeitraum aufgetreten sind, wegen fehlender Angaben nicht bei der Analyse berücksichtigt werden konnten.

Huss et al. (2014) untersuchen in der *Schweizerischen Nationalen Kohortenstudie* den Zusammenhang zwischen Amyotropher Lateralsklerose (ALS) und beruflicher Exposition mit Magnetfeldern und Stromschlägen. Dafür wurden Todeszertifikate und nationale Zensusdaten von 1990 und 2000 kombiniert. Bei Personen, die sowohl 1990 als auch 2000 beruflich gegenüber Magnetfeldern exponiert waren, erhöhte sich das Risiko, zwischen 2000 und 2008 an ALS zu sterben, um 55%. In dieser Bevölkerungsgruppe traten etwa 15 Fälle mehr auf als erwartet. Nicht erhöht war das Risiko bei Personen, die nur 1990 oder nur im Jahr 2000 exponiert waren. Bisherige Studien fanden erhöhte Risiken für Arbeiter in Elektro-Berufen, und es wurde ein Zusammenhang mit

Stromschlägen vermutet (WHO 2007, Vergara et al. 2015). Die vorliegende Studie fand jedoch weder für Elektriker noch in Bezug auf Stromschläge Hinweise für ein erhöhtes Risiko. Die Ergebnisse weisen deshalb darauf hin, dass das Risiko, an ALS zu sterben, eher mit längerfristiger beruflicher Magnetfeld-Exposition als mit Stromschlägen zusammenhängen könnte. Ein Schwachpunkt der Studie ist, dass die korrekte Information hinsichtlich des Berufs in den Zensusdaten oft fehlte (z.B. „Rentner“) und deshalb nur rund 20% der Bevölkerung in der Analyse berücksichtigt werden konnte. Das Ziehen von Rückschlüssen wird auch dadurch erschwert, dass die Fallzahlen aufgrund des seltenen Auftretens der Krankheit und der seltenen Expositionssituation gering sind. Die Expositionsabschätzung hingegen ist gut gemacht. Ebenfalls positiv ist die Tatsache, dass objektive Diagnosedaten von Todeszertifikaten verwendet wurden, die im Fall von ALS als verlässlich gelten.

Übersichtsarbeit

Aus ihrer Zusammenschau von 41 *in vitro* Studien folgern Mattsson & Simko (2014), dass niederfrequente Strahlung den oxidativen Zustand von Zellen beeinflussen kann, wozu auch die Freisetzung freier Radikale gehört. Ab einer magnetischen Flussdichte von 1mT war dieser Zusammenhang sogar weitgehend konsistent, trat aber teilweise auch bei schwächeren Expositionen auf. Der Zusammenhang wurde dabei für eine relativ grosse Bandbreite von Zellarten festgestellt, und war bemerkenswerterweise unabhängig von der Dauer der Exposition. Eine Relevanz für die Gesundheit könnte dadurch gegeben sein, dass solche oxidativen Prozesse zu biologischen Schädigungen wie zum Beispiel DNA-Veränderungen führen können. Methodisch gingen die Autoren bei der Auswertung der Studien so vor, dass jeweils relevante biologische Eigenschaften und Expositionsbedingungen verschiedener Studien in Gruppen zusammengefasst wurden. Die Aussagekraft der Folgerung von Mattsson & Simko wird jedoch durch den Umstand beträchtlich abgeschwächt, dass bei vielen der ausgewerteten Studien die Experimente weder verblindet waren, noch positive Kontrollen eingeschlossen wurden.

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut (Swiss TPH)
Department Epidemiology and Public Health
Environmental Exposures and Health Unit
Socinstr. 57, Postfach
4002 Basel
Tel: +41 61 284 8111
E-Mail: stefan.dongus@unibas.ch

Literaturangaben

Baek S, Quan X, Kim SC, Lengner C, Park JK, Kim J (2014): **Electromagnetic Fields Mediate Efficient Cell Reprogramming into The Pluripotent State**. ACS Nano, Vol. 8, No. 10, 10125-10138. <http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/nn502923s>

Chen C, Ma Q, Liu C, Deng P, Zhu G, Zhang L, He M, Lu Y, Duan W, Pei L, Li M, Yu Z, Zhou Z (2014): **Exposure to 1800 MHz radiofrequency radiation impairs neurite outgrowth of embryonic neural stem cells**. Sci Rep 2014; 4 : 5103. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24869783>

De Vocht F, Hannam K, Baker P, Agius R (2014): **Maternal residential proximity to sources of extremely low frequency electromagnetic fields and adverse birth outcomes in a UK cohort.** Bioelectromagnetics, 35: 201–209. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/bem.21840/abstract>

De Vocht F, Lee B (2014): **Residential proximity to electromagnetic field sources and birth weight: Minimizing residual confounding using multiple imputation and propensity score matching.** Environ Int 2014; 69 : 51 – 57. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24815339>

Grellier J, Ravazzani P, Cardis E (2014): **Potential health impacts of residential exposures to extremely low frequency magnetic fields in Europe.** Environ Int. 2014 Jan;62:55-63. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24161447>

Huss A, Spoerri A, Egger M, Kromhout H, Vermeulen R; for the Swiss National Cohort (2014): **Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: The Swiss National Cohort.** Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener. 2014 Sep 17:1-6. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25229273>

Lu Y, He M, Zhang Y, Xu S, Zhang L, He Y, Chen C, Liu C, Pi H, Yu Z, Zhou Z (2014): **Differential Pro-Inflammatory Responses of Astrocytes and Microglia Involve STAT3 Activation in Response to 1800 MHz Radiofrequency Fields.** PLoS One 2014; 9 (9): e108318. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25275372>

Mattsson MO, Simko M (2014): **Grouping of Experimental Conditions as an Approach to Evaluate Effects of Extremely Low-Frequency Magnetic Fields on Oxidative Response in in vitro Studies.** Front Public Health 2014; 2:132. <http://journal.frontiersin.org/Journal/10.3389/fpubh.2014.00132/abstract>

Vergara X, Mezei G, Kheifets L (2015): **Case-control study of occupational exposure to electric shocks and magnetic fields and mortality from amyotrophic lateral sclerosis in the US, 1991-1999.** J Expo Sci Environ Epidemiol. 2015 Jan;25(1):65-71. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24917188>

WHO (2007): **Extremely low frequency fields.** Environmental Health Criteria 238. World Health Organization. Geneva. http://www.who.int/peh-emf/publications/elf_ehc/en/