

# ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

23 Jahrgang / Nr. 9

www.elektrosmogreport.de

September 2017

## Elektrosensibilität

### Mechanismen der biologischen Magnetosensitivität

**Erforschung der primären biologischen Rezeptoren für Magnetfelder ist ein Hauptproblem der Magnetobiologie. Immer deutlicher wird, dass Ionen-Radikal-Paaren (IRP) eine zentrale Rolle spielen. Energiezustände in den Atomkernen und Wechselwirkungen mit Elektronen sind dabei entscheidende Kräfte. Intrazelluläre Enzymreaktionen mit Elektronentransfer wurden als Rezeptoren für Magnetfelder gefunden. Spin-abhängige Ionen-Radikal-Prozesse können einen Universalmechanismus der biologischen Magnetosensitivität darstellen.**

Um den Einfluss von Magnetfeldern auf Lebewesen wissenschaftlich fassen zu können, muss man den primären Rezeptor der Magnetfelder ermitteln. Viele Studien mit unterschiedlichem Grad von Zuverlässigkeit haben gezeigt, dass Magnetfelder so gut wie alle Lebewesen beeinflussen können, von Bakterien bis zum Menschen. Empfindlichkeit der Augen und der Blutdruck hängen von Erdmagnetfeldschwankungen ab. Die Fähigkeit, das Erdmagnetfeld und seine Richtung zu spüren, wird als eine Erklärung betrachtet für die Fähigkeit einiger Arten, zielstrebig lange Reisen zu unternehmen (Vögel, Fische, Meeresschildkröten, Salamander). Es ist bemerkenswert, dass verschiedene Prokaryoten und Eukaryoten (z. B. *Magnetospirillum magnetotacticum*) spezielle Rezeptoren, die Magnetosomen, haben. Diese enthalten Magnetit-Kristalle, die für die Wahrnehmung der äußeren Magnetfelder verantwortlich sind, die so genannte Magnetotaxis. Solche Organe sind in Makro-Organismen bisher nicht gefunden worden, weder in Tieren noch Menschen. Es kann sein, dass nicht ein einziger allgemeiner Mechanismus, sondern mehrere physikalische und chemische Mechanismen, die Reaktionen auf ein äußeres Magnetfeld in Lebewesen steuern. Einige dieser Mechanismen ermöglichen die Orientierung an den Erdmagnetfeldlinien. Andere ähnliche Mechanismen der biomagnetischen Wahrnehmung im Zusammenhang mit biochemischen Enzymreaktionen haben keinen Einfluss auf die magnetische Orientierung. Ein sehr wahrscheinlicher Mechanismus könnte eine Spin-abhängige biochemische Reaktion sein, die physikalisch geht und experimentell chemisch und enzymatisch nachgewiesen wurde, z. B. für Phosphorylasen, Mitochondrien und in vivo-Experimenten mit *E. coli*. Was man zur Erklärung der Experimente und zur Vorgabe für zukünftige Experimente braucht, ist eine passende Theorie, die die magnetabhängigen Enzymreaktionen erklärt. Da kommen Übertragung von elektrischen Ladungen in Frage und Ionen-Radikal-Zustände, die am aktiven Zentrum eines Enzyms entstehen. Jeder Elektronentransfer ist ein Spin-Transfer, deshalb bildet

der Elektronentransfer eines diamagnetischen Teilchens ein Ionen-Radikal-Paar im Singulett-Zustand mit antiparallelen Spins. Elektronen-Spins reagieren mit Magnetfeldern und mit Magnet-Momenten der umgebenden Kerne. Das kann zu Rotationen der Magnet-Momente und der Elektronen-Spins führen, wodurch der Singulett-Zustand in den Triplett-Zustand übergeht. Die Rückreaktion geht nicht, der Elektronentransfer geht nur vorwärts, so dass Magnetfelder und das Magnet-Moment im Kern die Rate der enzymatischen Reaktion durch den Singulett-Triplett-Übergang des Ionen-Radikal-Paares ändert.

Die Wissenschaftler stellen Berechnungen an zum theoretischen Schema und Spin-abhängigen Kinetiken von magnetosensitiven Enzymreaktionen. Magnetfelder und magnetische Wechselwirkungen beeinflussen Radikalreaktionen in verschiedenen Kanälen flüssiger Phasen und verändern die Ausbeute verschiedener Produkte. Enzymreaktionen sind sehr spezifisch, sie erlauben keine gleichzeitige Bildung von verschiedenen Molekülen. Deshalb ist der einzige Parameter, der durch Magnetfelder und Magnetfeld-Wechselwirkungen beeinflusst werden kann, die Reaktionsrate von Enzymen mit nur einem Endprodukt. Elektronen sind bewegliche Teilchen in allen chemischen Reaktionen, so auch in enzymatischen. Die Verlagerung von Elektronen bewegt andere Teile von Molekülen aufgrund der Coulomb-Kräfte. Ein Ionen-Radikal-Paar-Zustand entsteht, wenn ein Elektron gezwungen wird, von einem Molekül zu einem anderen zu wandern.

Die Wissenschaftler führen Rechenoperationen durch unter verschiedenen Bedingungen (ohne, mit schwachem oder starkem Magnetfeld), Energiezustände im Atomkern und Wechselwirkungen mit den Elektronen werden durchgespielt, die im Prinzip belegen, dass die Kräfte im Kern den Übergang vom Triplett- in den Singulett-Zustand beeinflussen und dadurch die Enzymreaktionen abhängig vom Magnetfeld steuern. Nach der quantenmechanischen Theorie können magnetische Wechselwirkungen Magnetfeld-abhängige Enzymreaktionen bestimmen, die biologisch wichtige Moleküle produzieren, die für das Zellwachstum gebraucht werden. Wechselwirkungen von Elektronen magnetischer Isotopen mit Magnetmomenten im Kern können den wichtigsten Teil

## Weitere Themen

### Feldstärkemessungen in Frankreich, S. 2

Mitarbeiter eines Instituts der Elektrizitätswirtschaft berechnen und bewerten niederfrequente Feldstärken, denen Kinder ausgesetzt sind, im Hinblick auf Kinderleukämie.

### Auswirkungen des Medienkonsums, S. 3

Digitale Medien führen zu mangelnder Fitness und Cyberattacken auf das Gehirn, die besonders Kinder schädigen.

### Rezension: Unsichtbare Energie Elektrosmog, S. 4

Ein interessantes Buch, das physikalische und philosophische Betrachtungen zur heutigen Nutzung von EMF behandelt.

von biomagnetischer Sensitivität in einem schwachen Magnetfeld ähnlich dem Erdmagnetfeld erklären. In starken Magnetfeldern kann man keine Magnetosensitivität in Lebewesen feststellen.

Die theoretischen Ergebnisse können z. B. die Magnetosensitivität von E. coli-Zellen erklären und zeigen, dass intrazelluläre Enzymreaktionen primäre Magnetorezeptoren in Lebewesen sind. Der enzymatische Prozess wird fortschreiten mit der Rate der IRP-Entstehung, d. h. mit der Rate, mit der der direkte Elektronentransport vom Donor- zum Akzeptormolekül passiert. Äußere Magnetfelder können die Reaktionsgeschwindigkeit von Enzymen verändern. Statische Magnetfelder haben anscheinend keine oder vernachlässigbare Wirkungen auf Zellwachstum oder genetische Toxizität, unabhängig von der Feldstärke. Zusammen mit äußeren Faktoren wie ionisierende und einige Chemikalien können statische Magnetfelder aber Veränderungen bewirken.

Die Ergebnisse könnten in der Medizin genutzt werden z. B. zur Kontrolle von Enzymreaktionsraten der ATP-Synthese und anderen. Der Magnetfeld-Bereich, in dem eine Enzymreaktion magnetosensitiv ist, kann rechnerisch bestimmt werden. Die entsprechende Magnetfeldintensität wird entweder die Rate der Enzymreaktion erhöhen oder hemmen, ohne Zusatz von chemischen Mitteln.

Fazit: Enzymatische Transferreaktionen von Spin-abhängigen Ionenradikalen oder Elektronen können primäre biologische Magnetorezeptoren in Lebewesen sein. Magnetfeldabhängigkeiten von biologischer Magnetosensitivität in schwachen Magnetfeldern sind durch kinetische Charakteristiken von Enzymen festgelegt, die Transferreaktionen von Ionenradikalen oder Elektronen katalysieren. In starken Magnetfeldern wie dem statischen Magnetfeld von Magnetresonanz-Scannern (0,35–9,4 T) ist Magnetfeldunabhängigkeit der enzymatischen Ionenradikal-Reaktionen und biologischen enzymatischen Magnetosensitivität vorausgesetzt. Schwache Magnetfelder sind anwendbar in der Magnetomedizin, um selektiv verschiedene Gruppen von Enzymen zu stimulieren wie Enzyme der ATP-Synthese, deren Reaktionen über Bildung von Ionen-Radikal-Paaren gehen.

#### Quelle:

Letuta UG, Berdinskiy VL, Udagawa C, Tanimoto Y (2017): Enzymatic Mechanisms of Biological Magnetic Sensitivity. Bioelectromagnetics DOI: 10.1002/bem.22071

### Kinder und niederfrequente Magnetfelder

## Nur geringe Magnetfeldstärken in Frankreich?

**Die EXPERS-Studie in Frankreich (EXPosition PERSONelle in French) sollte 30 Jahre nach ersten Untersuchungen zu niederfrequenten Magnetfeldern und Kinderleukämie herausfinden, wie stark Kinder heute mit niederfrequenten Magnetfeldern belastet sind. Die meisten der Autoren arbeiten bei einem französischen Institut der Elektrizitätswirtschaft. Nach den Ergebnissen (arithmetisches Mittel über 24 Stunden) sind nur 0,8 % der Kinder Magnetfeldern von  $\geq 0,4 \mu\text{T}$  ausgesetzt, auch Hochspannungsleitungen sind unbedenklich.**

Diese erste in ganz Frankreich durchgeführte Studie hat direkte Messungen mit am Körper getragenen Messgeräten vorgenommen. Frühere epidemiologische Studien hatten ein erhöhtes Risiko für Kinderleukämie ergeben, wenn Kinder erhöhten Magnetfeldern von  $\geq 0,4 \mu\text{T}$  ausgesetzt waren. 30

Jahre nach diesen Ergebnissen, schreiben die Autoren, könne man keine abschließenden Schlüsse ziehen. Mehrere internationale Berichte schlussfolgern aufgrund der epidemiologischen Studien, dass ein erhöhtes Risiko bei einer Belastung mit täglich durchschnittlich  $\geq 0,4 \mu\text{T}$  besteht „ohne kausalen Zusammenhang“. Die Feldstärken werden üblicherweise berechnet oder man misst in den Häusern. In Frankreich ist kaum bekannt, wie hoch die Bevölkerung mit Magnetfeldern belastet ist.

In der Studie wurden 977 Kinder von 0–14 Jahren, 474 Jungen (48,5%) und 503 Mädchen (51,5%), und Erwachsene ( $\geq 15$  Jahre) in allen 22 Regionen Frankreichs, ländliche und städtische untersucht, zufällig ausgewählt über Telefonbücher. Man wollte 1000 Kinder haben, damit einige mit  $\geq 0,4 \mu\text{T}$  dabei sind unter der Annahme, dass es  $< 5 \%$  der Bevölkerung sind. Das Gerät wurde am Körper getragen, nachts sollte es  $> 50$  cm von elektrischen Geräten abgelegt werden. Messungen erfolgten in 3 kalten Jahreszeiten, Februar–April 2007, Oktober 2007–April 2008 und Oktober 2008–Januar 2009, weil man davon ausging, dass die Nutzung elektrischer Geräte steigt. Während des 1. Jahres war es schwieriger, Kinder zu finden als Erwachsene, deshalb wurde jeweils 1 Kind und 1 Erwachsener pro Familie für die beiden weiteren Jahre einbezogen. Hier sind nur die Ergebnisse an Kindern dargestellt. Die Kinder trugen 24 h EMDEX II-Geräte, gemessene Frequenzen waren 40–800 Hz und 100–800 Hz alle 3 sec, an normalen Tagen, nicht an Wochenenden und in Ferien. Nachts sollte ein Abstand von  $> 50$  cm zu elektrischen Geräten bestehen, vor allem zu elektrischen Weckern.

Die Ergebnisse zeigen, dass das arithmetische Mittel über 24 Stunden  $0,09 \mu\text{T}$  beträgt. Zu Hause waren die Kinder  $16,7$  Stunden, davon waren  $10,4$  Stunden Schlaf.  $20,7 \%$  der Kinder lebten in der Region Paris,  $71 \%$  in Häusern ( $18,4 \%$  in Terrassenhäusern und  $52,7 \%$  in Einzelhäusern),  $29 \%$  in Wohnungen ( $10 \%$  in Gebäuden mit 2–9,  $19 \%$  mit  $\geq 10$  Wohnungen). Sehr wenige Kinder wohnten in der Nähe einer Hochspannungsleitung ( $63$  oder  $400$  kV), nur  $0,8 \%$  wohnten  $< 125$  m von einer  $225$  kV-Leitung oder  $< 200$  m von einer  $400$  kV-Leitung entfernt und  $0,4 \%$  gingen in eine Schule mit denselben Entfernungen. Bei  $30$  Kindern war das arithmetische Mittel  $\geq 0,4 \mu\text{T}$ , das sind  $3,1 \%$  der Kinder. Bei  $24$  Kindern traten die höchsten Feldstärken in der Nähe von Weckern auf, weil die Kinder nicht beachtet hatten, dass die Wecker entfernt werden sollten. Bei den anderen waren Oberleitung, Bahnstrecke, Aquarium und kleine Trafostationen in der Nähe. Zieht man die Kinder mit den Weckern ab, bleiben  $0,8 \%$  mit  $\geq 0,4 \mu\text{T}$ . In der Nähe von  $63$ - oder  $400$ -kV-Leitungen hatte keins der wenigen Kinder eine Belastung  $\geq 0,4 \mu\text{T}$ . Die Einzel-Messungen mit dem EMDEX zeigten große Unterschiede in den Feldstärken. Die Autoren meinen, dass angesichts ihrer Auswertungen viele epidemiologische Studien fragwürdige Ergebnisse haben, weil die Berechnungen kaum Vorhersagen zulassen, welchen Feldstärken Kinder tatsächlich ausgesetzt sind, und Messungen während des Schlafs anders ausfallen als am Tag während verschiedener Aktivitäten. Deshalb sei es schwer, ein statistisches Modell zu erstellen, das die Belastung von Kindern vorhersagt.

#### Quelle:

Magne I, Souques M, Bureau I, Duburcq A, Remy E, Lambrozo J (2017): Exposure of children to extremely low frequency magnetic fields in France: Results of the EXPERS study. Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology 27, 505–512, doi:10.1038/jes.2016.59

**Kommentar:** Es gibt ein Ungleichgewicht bei den Wohnverhältnissen.  $71 \%$  leben in Häusern und  $29 \%$  in Wohnun-