

bei Fischen, Bienen und Zugvögeln zur räumlichen Orientierung). Andere höhere Lebewesen besitzen ebenfalls biogene Magnetitpartikel aus Magnetit oder Greigit (Fe_3O_4 bzw. Fe_3S_4) und die Idee ist, dass diese magnetischen Bestandteile Ionenkanäle in den Membranen öffnen (Magnetschalter) und so durch das Erdmagnetfeld physiologische Prozesse anlaufen (Kirschvink).

Das Ziel dieser Experimente war, den Prozess der Bildung von Magnetosomen während des exponentiellen Wachstums der Bakterienkulturen zu verfolgen. Insgesamt gab es 56 Gläser mit Bakterienkulturen, 28 als Kontrollen (Scheinbehandlung) und 28 mit Magnetfeld behandelte Zellen (PMF-Zellen). Zu jedem Zeitpunkt wurden 4 Proben entnommen. Bei 28 °C angeimpft (Zeitpunkt 0), entnahm man nach Eintritt in die exponentielle Wachstumsphase über einen Zeitraum von 24 Stunden Proben für die Tests (nach 2, 4, 8, 12, 16 und 24 Stunden). Die Bildung der Magnetosomen wurde mikroskopisch untersucht. Nach 16 Stunden erfolgten die Bestimmung des Eisengehalts und Anzahl und Größenverteilung der Magnetpartikel pro Zelle. Alle Experimente wurden dreimal wiederholt. Die Messung des natürlichen Erdmagnetfeldes ergab vertikal 32 μT , in Nord-Süd-Richtung 21 μT und in Ost-West-Richtung 9 μT . Das 50-Hz-Magnetfeld der Umgebung betrug weniger als 200 nT. Die Richtung des künstlichen Magnetfeldes verlief vertikal, thermische Wirkung konnte ausgeschlossen werden.

Nach 8 Stunden war die maximale Zelldichte erreicht. Es gab keine signifikanten Unterschiede im Wachstum der Zellen zwischen scheinexponierten und exponierten Kulturen. Die Anzahl der Magnetteilchen pro Zelle war höher in den exponierten Bakterienkulturen als in den Kontrollzellen. Der Magnetismus nahm in den PMF-Bakterien signifikant zu, die Anzahl der Magnetpartikel war fast 15 % (22,6 zu 26,0) höher und die Größenverteilung unterschied sich auch deutlich: In den PMF-behandelten Zellen fand man erhöhte Anteile von kleinen (< 20 nm, Partikel mit superparamagnetischen Eigenschaften) und großen Magnetosomen (> 50 nm). Zudem gab es dort größere Variationen in Kristallgrößen und -formen als bei den Kontrollen. Partikelgrößen von > 20 bis < 50 nm hatten bei den Kontrollen einen größeren Anteil. Auch die Anzahl der Segmente in der Magnetosomenkette war unterschiedlich. Die Eisenanreicherung war um 4,35 % höher in den PMF-Zellen, ein Ergebnis, das zu der erhöhten Anzahl der Magnetpartikel passt.

Quelle: Pan W, Chen C, Wang X, Ma Q, Jiang W, Lv J, Wu LF, Song T (2010): Effects of Pulsed Magnetic Field on the Formation of Magnetosomes in the Magnetospirillum sp. Strain AMB-1. *Bioelectromagnetics* 31, 246–251

Niederfrequente Magnetfelder

Meta-Analyse zur Magnetfeldwirkung auf Hirnleistungen

Es gibt viele verschiedene Studien zur Wirkung von 50-Hz-Magnetfeldern auf die Hirnleistungen, die aber widersprüchliche Ergebnisse hatten, bedingt durch verschiedene Studienausführungen und methodische Mängel. Hier wurden 17 Studien näher auf ihre Verwertbarkeit untersucht, 9 davon wurden in dieser Meta-Analyse berücksichtigt, weil nur diese die Mindestanforderungen erfüllten. In einigen Studien gab es signifikante Unterschiede zwischen Feldeinwirkung und Scheinbehandlung.

In den letzten 20 Jahren wurden viele Untersuchungen zur Wirkung von niederfrequenten Magnetfeldern auf verschiedene physiologische Funktionen beim Menschen durchgeführt.

Insgesamt sind die Ergebnisse widersprüchlich. Die Originalarbeiten (Veröffentlichungen vor März 2009) wurden über die amerikanische Datenbank PubMed herausgesucht und aus einer eigenen Literaturliste. Von insgesamt 27 Arbeiten kamen 17 in die engere Wahl; davon blieben schließlich 9 für die Auswertung übrig. Die zugrunde gelegten Kriterien umfassten u. a. mindestens einfache Verblindung und Mittelwerte und Standardabweichung der abhängigen Variablen. In allen Studien wurden 50-Hz-Magnetfelder angewendet.

Geringe, aber signifikante Unterschiede konnten bei zwei verschiedenen Arten von Hirnleistungen ausgemacht werden. In der höchsten und mittleren Anforderungsstufe der Unterscheidung von Lichteindrücken schnitten die Personen unter Magnetfeldeinwirkung besser ab als die Kontrollpersonen, in der mittleren Anforderungsstufe waren die Kontrollpersonen besser. Zudem gab es eine signifikante Verbesserung der richtigen Antworten beim Flexibilitätstest bei den mit Magnetfeld behandelten Probanden.

Diese Meta-Analyse liefert wenige Hinweise, dass niederfrequente Magnetfelder einen Einfluss auf die kognitiven Hirnfunktionen haben. Nur in zwei Tests gab es signifikante Ergebnisse. Kein unterschiedliches Verhalten findet man in den meisten Studien bei Reaktionszeit, Zeit der Auswahlreaktion, Unterscheidungsvermögen, Erinnerungsvermögen, z. B. Worterinnerung, Reaktionszeit und Bildererkennung. Allerdings gibt es Schwierigkeiten in der Interpretation der Ergebnisse. Bei einer Studie allerdings, die vollkommen wiederholt worden war, deckten sich die Ergebnisse.

Diese Meta-Analyse ist die erste, die sich mit 50-Hz-Magnetfeldwirkungen auf das Gehirn befasst. Die Aussagefähigkeit ist begrenzt, da vor allem die Anzahl der einbezogenen Studien und deren Qualität gering sind. Insgesamt sind Reaktionszeit, Merkfähigkeit und geistige Flexibilität getestet worden, aber die sehr verschiedenen Durchführungen der Tests sind ein großes Problem. Die Meinung der Autoren ist, es mache keinen Sinn, immer neue Tests auf verschiedene Weise durchzuführen. In Zukunft sollten von den Forschern standardisierte Methoden angewendet werden. Als Schlussfolgerung bleibt, dass die Ergebnisse der Meta-Analyse kaum Hinweise dafür liefert, dass 50-Hz-Magnetfelder die Hirnleistungen beeinflussen. Wenn man überhaupt Wirkungen sieht, dann könnten zwei Bereiche betroffen sein: geistige Flexibilität und die Fähigkeit, Lichteindrücke zu verarbeiten. Aber die wenigen signifikanten Ergebnisse dieser Meta-Analyse sind mit sehr viel Vorsicht zu betrachten. Auch weil die gesehenen Wirkungen sehr schwach sind, und die daher im täglichen Leben kaum auffallen werden. Auch sind die zugrunde liegenden Mechanismen nicht klar, betonen die Autoren.

Quelle: Barth A, Ponocny I, Ponocny-Seliger E, Vana N, Winker R (2010): Effects of Extremely Low-Frequency Magnetic Field Exposure on Cognitive Functions: Results of a Meta-Analysis *Bioelectromagnetics* 31, 173–179

Zellforschung Niederfrequenz

Gepulste Felder beschleunigen Wachstum und Genexpression

Während der Differenzierung von mesenchymalen Stammzellen zu Knochenzellen, die gepulsten elektromagnetischen 15-Hz-Feldern ausgesetzt waren, wurden verschiedene Parameter untersucht. Zellwachstum, Expression verschiedener Gene und Alkalische Phosphatase (ALP) waren si-

gnifikant verändert gegenüber den unbehandelten Kontrollen schon nach dem ersten Tag der Differenzierung.

Aus den mesenchymalen Stammzellen entwickeln sich neue Knochenzellen, d. h. neue Knochensubstanz wird zur Neubildung oder nach Verletzungen aufgebaut. Die Entwicklung von den Stammzellen zu den reifen Knochenzellen (Osteozyten) ist ein komplizierter Vorgang, der von den undifferenzierten Vorläuferzellen über das Stadium der Osteoblasten abläuft: Von der Stammzelle geht es über die Differenzierungs- zur Mineralisierungsphase. Alle diese Vorgänge werden durch die dazugehörigen Gene reguliert. In diesen Experimenten sollte untersucht werden, wie gepulste elektromagnetische Felder (PEMFs) auf das Zellwachstum, die Alkalische Phosphatase-Aktivität (wichtig für den Aufbau der Knochensubstanz Calciumphosphat), die Mineralisation der extrazellulären Matrix der Knochen und die Genexpression in den mesenchymalen Stammzellen des Knochenmarks wirken.

Die Feldbehandlung erfolgte 8 Stunden pro Tag während der Kulturperiode von 7 oder 11 Tagen; 20 Pulse von 4,5 Millisekunden bei 15 Hz wirkten ein. Während jedes Pulses steigt das Magnetfeld von 0 auf 1,8 mT in 200 Mikrosekunden und wird abgebaut auf 0 mT in 25 Mikrosekunden. Die Kontrollen und magnetfeldbehandelten Kulturen wurden wechselseitig in den beiden Brutschränken aufbewahrt, damit Verfälschungen durch die Geräte vermieden werden. Die Zellen waren in drei verschiedene Gruppen eingeteilt: Zwei Gruppen konnten ausdifferenzieren zu Osteoblasten und Osteozyten, während die 3. Gruppe als mesenchymale Stammzellen untersucht wurden.

Es gab signifikante Unterschiede bei den Zellen im Osteoblasten- bzw. Osteozytenmedium schon nach dem ersten Tag. Die Zelldichte war bei den PEMF-Zellen signifikant höher als bei den Kontrollen (29,6 % und 34,8 %) und das blieb so bis zum 7. Tag. Das Zelldichte-Verhältnis von exponierten zu Kontrollzellen ging nach dem 3. Tag auf 85 % zurück, während es bei den zu Osteozyten ausdifferenzierten Zellen auf 110 % angestiegen war. Das zeigt, dass das Wachstum der Zellen von den Magnetfeldern unterschiedlich beeinflusst wird, abhängig von der jeweiligen Entwicklungsphase.

Die Expression von 6 verschiedenen Genen wurde an den Tagen 2, 4 und 7 bestimmt. Die Aktivität der verschiedenen Gene, die für die Neubildung der Knochenzellen zuständig sind, wurde schon früh in der Differenzierungsphase verändert (z. T. erhöht, z. T. vermindert, je nach Entwicklungsstadium) gegenüber den Kontrollen und blieb unterschiedlich bis zum Ende. Auch die Alkalische Phosphatase war gegenüber den Kontrollen signifikant verändert. Man fand bis zu mehr als 30 % erhöhte Werte in 1–5 Tagen. Das steigerte die Mineralisation der Knochen in der mittleren Phase der Knochenzellentwicklung (Osteogenese), die zudem insgesamt beschleunigt worden war. ALP löst Phosphat aus phosphathaltigen Substanzen heraus, damit dieses in genügender Menge für die Mineralisierung der Knochen zur Verfügung steht. Die Mineralisierung der extrazellulären Matrix erfolgt normalerweise in der Mitte der Knochenzellendifferenzierung. 11 Tage PEMF-Behandlung bewirkte eine stärkere Mineralisierung gegenüber den Kontrollen.

In diesen Experimenten beschleunigten die PEMFs Zellwachstum, -differenzierung und Mineralisation der Knochenzellen in den verschiedenen Entwicklungsstadien, ablesbar an veränderter Zelldichte, Genexpression und ALP-Aktivität.

Quelle: Sun LY, Hsieh DK, Lin PC, Chiu HT, Chiou TW (2010): Pulsed Electromagnetic Fields Accelerate Proliferation and Osteogenic Gene Expression in Human Bone Marrow Mesenchymal Stem Cells During Osteogenic Differentiation. *Bioelectromagnetics* 31, 209–219

Rezension

Antennen und Strahlungsfelder

Mit dem Buch „Antennen und Strahlungsfelder“ stellt der Verlag Vieweg + Teubner ein Lehrbuch in 3. Auflage für Studierende der Elektro-, Nachrichten-, Informationstechnik und verwandter Studiengänge vor.

Der Autor Prof. Dr.-Ing. Klaus W. Stark lehrt Hochfrequenz-, Mikrowellen-, Antennen- und Nachrichtentechnik an der Hochschule Ravensburg-Weingarten.

Die Entstehung des Buches aus einer zweisemestrigen Vorlesung zur Elektro- und Informationstechnik spiegelt sich in den mathematischen Darstellungen der theoretisch-physikalischen Grundlagen. Natürlich ist das Buch kein Kurs über theoretische Elektrodynamik, trotzdem sieht sich der Autor in der Pflicht, die grundlegenden Begriffe und das mathematische Handwerkszeug vorzulegen und schafft so den Rahmen und die Grundlage, Studenten mit unterschiedlichen Voraussetzungen in Mathematik und Physik auf die Anforderungen der Vorlesung vorzubereiten. Der Potenzial- und Feldbegriff wird mit der notwendigen Algebra vorgestellt und in Übungsaufgaben mit z. T. ausführlichen Lösungsbeschreibungen vertieft.

Die Praxis, am Ende eines Abschnitts bzw. Kapitels das Präsentierte durch Übungsaufgaben zu festigen, zieht sich durch das gesamte Buch und macht wiederum seinen Charakter als Lehrbuch sichtbar.

Mit dem mathematischen Rüstzeug der ersten Kapitel geht's zum Kern der Elektrodynamik, den Maxwell-Gleichungen. Folgerungen aus diesem Gleichungssystem werden gezogen und Spezialfälle (z. B. Telegraphengleichungen) abgeleitet und erklärt. Die Effekte bewegter/beschleunigter Ladungen werden diskutiert und die damit verbundene Möglichkeit zur Erzeugung elektromagnetischer Wellen und ihrer fundamentalen Eigenschaften und Erscheinungsformen behandelt.

Im Anschluss an ein Kapitel zur Theorie der Wellenleiter, in dem Einleitersysteme (z. B. Hohlleiter) und Zweileitersysteme (z. B. Koaxialkabel) in ihren verschiedenen Erscheinungsformen beschrieben werden, befasst sich der Rest des Buches mit der Antennentechnik und den Strahlungsfeldern.

Beginnend mit dem einfachen isotropen Strahler werden alle gängigen Antennenarten aus linearen Leitern (z. B. Rahmenantennen) bis zu den Aperturstrahlern (z. B. Hornantennen) beschrieben. Die Antennengrundformen (z. B. Elementardipol) und baulichen Ableitungen werden ausführlich beschrieben. Die Behandlung der Antennentypen und ihre elektromagnetischen Eigenschaften finden neben der mathematischen Beschreibung auch eine umfangreiche grafische und tabellarische Unterstützung.

Insgesamt und in erster Linie hat der Autor ein Begleitbuch zu einer zweisemestrigen Vorlesung und damit ein Arbeitsmittel für Studenten der Elektrotechnik und verwandter Technikfächer geschrieben. Als Nachschlagewerk für den Laien bleibt es außen vor; Ingenieure und Naturwissenschaftler finden, auch wegen der umfangreichen Theorie und Formelsammlung, in dem Buch ein geeignetes Nachschlagewerk zur (schnellen) Information bei praktischen Fragen zu elektromagnetischen Phänomenen.

Dipl.-Phys. Dr. Hartmut Oswald, EMF-Institut Dr. Peter Nießen, Köln

Quelle:

Klaus W. Kark: Antennen und Strahlungsfelder; 3. Auflage 2010, Verlag: Vieweg + Teubner, ISBN 978-38348-0553-9