

lungensintensität im Kopf und der Lage des Tumors gibt es nach diesen Zahlen nicht. Allerdings war die Fallzahl gering. Die Autoren meinen, dass eine 4- bis 6-fach höhere Fallzahl mit hinreichender Genauigkeit einen Risikofaktor von 2,4 ergeben könnte.

#### Quelle:

Hartikka H, Heinävaara S, Mäntylä R, Kähärä V, Kurttio P, Auvinen A (2009): Mobile Phone Use and Location of Glioma: A Case-Case Analysis. *Bioelectromagnetics* 10.1002/bem.20471

**Kommentar zu den Ergebnissen:** Die Tatsache, dass es nur eine statistisch signifikante Zahl gibt bei dieser Art der Berechnung, liegt vielleicht an der geringen Fallzahl. Man fragt sich, warum die Wissenschaftler nur die Jahre 2000–2002 betrachtet haben. Man hätte auch einige Jahre danach einbeziehen können, wenn man die Arbeit 2009 veröffentlicht.

Dass es in einem unerwarteten Fall Signifikanz gab, kann – neben der geringen Fallzahl – vielleicht auch daran liegen, dass man so gut wie nichts weiß über das Verhalten der Strahlung in lebender Materie, sprich Knochen, Hirnhäuten und Nervengewebe oder anderen Strukturen. Zudem kommt es im Bereich der nicht-ionisierenden Strahlen immer wieder zu dem bekannten Phänomen der nicht-linearen Dosis-Wirkungs-Beziehung. Niemand weiß, ob das auch hier zutrifft, abgesehen von möglichen noch unbekanntem indirekten Wirkungsmechanismen.

#### NF: Magnetfeldwirkung bei Tieren

## Magnetfelder reduzieren Schmerzen bei Mäusen

**Diese Experimente haben gezeigt, dass statische Magnetfelder das Schmerzempfinden stark reduzieren können. Daran ist das Opioid-Rezeptor-System beteiligt, wie Kombinationen von statischen Magnetfeldern mit verschiedenen Opioid-Antagonisten gezeigt haben.**

Schmerz ist ein sehr komplexes Geschehen, an dem das Gehirn und periphere Nerven beteiligt sind. Auch heute noch sind Morphine und Aspirin die häufigsten Schmerzmittel, obwohl sie unerwünschte Nebenwirkungen haben. Es wurden viele Anstrengungen unternommen, bessere Mittel zu entwickeln, sie mussten aber wegen schwerer Nebenwirkungen mit Todesfällen durch Herz-Kreislauf-Probleme vom Markt genommen werden (Vioxx). Es gibt andere Ansätze zur Schmerzlinderung, nämlich der Einsatz von statischen oder niederfrequenten elektromagnetischen Feldern, die schon bei chronischen Schmerzen in Gelenken und im Bauch- oder Muskelbereich angewendet werden. Auch bei Entzündungen kennt man günstige Wirkungen der Felder und in Kombination mit Chemotherapie bei fortgeschrittenen Tumorerkrankungen. Außer beim Menschen hat man in vielen Experimenten mit Tieren die antinozeptive Wirkung der Felder nachgewiesen. Das Ziel hier war zu untersuchen, auf welche Weise statische Magnetfelder die Schmerzen beeinflussen. Dazu wurden je 6 Mäuse pro Ansatz in Käfigen gehalten, die mit je einer Spule oben und unten versehen waren, sodass ein vertikales Feld entsteht. Um Stress bei den Tieren zu vermeiden, wurden sie vorher zur Eingewöhnung 4 Tage lang für 30 Minuten in die Käfige gesetzt. Die Feldstärke lag unterhalb der Schwelle für Reizung der peripheren Nerven (0,01 mA/m<sup>2</sup>). Die Schmerzen im Bauchbereich wurden bei den Mäusen erzeugt, indem 0,2 ml einer 0,6 %igen Essigsäure intraperitoneal gespritzt wurde. Bei solchen Maßnahmen wird ein Krümmen und Strecken (Verrenken) der Tiere ausgelöst, das als Maß für die Schmerzen angesehen werden kann. Die Kontrolltiere

bekamen physiologische Kochsalzlösung zugeführt. Unmittelbar nach dem Verabreichen der Essigsäure werden die Tiere 30 Minuten den Magnetfeldern ausgesetzt und die Anzahl der Bewegungen der Tiere über die Zeiträume 0–5, 6–20 und 21–30 Minuten aufgezeichnet. Für die Bestimmung der Wirkungsmechanismen wurden verschiedene Opioide verabreicht, die entweder subkutan (s. c. = unter die Haut) oder in einen speziellen Bereich im Gehirn (i. c. v. = intracerebroventrikular) gespritzt wurden (20 ml/kg bzw. 10 µl/Maus). Nach der Injektion der Essigsäure war die Zahl der Krümmungen und Streckungen/Verrenkungen signifikant um mehr als die Hälfte reduziert bei den Tieren, die den Magnetfeldern ausgesetzt waren, egal ob die Magnetfelder vorher oder hinterher einwirkten. Nur bei 21–30 Minuten war keine Schmerzlinderung zu sehen, wenn die die Felder vor der Injektion eingewirkt hatten.

Zur Untersuchung der Mechanismen wurden die Opioid-Antagonisten Naloxon, Naltrindol, Beta-Funaltrexamin und Norbinalorphimin verwendet. Damit kann man feststellen, wo die Wirkung ansetzt, denn diese Substanzen blockieren verschiedene Opioid-Rezeptoren (s. S. 4). Wenn Naloxon subkutan verabreicht wird, bleibt die Wirkung des Magnetfeldes aus, weil Naloxon ein Antagonist für alle 3 Opioid-Rezeptoren ist, diese also komplett blockiert werden. Bei den mit Kochsalz behandelten Kontrolltieren war die schmerzlindernde Wirkung der Magnetfelder vorhanden. Wird es in die Hirnkammer injiziert, hat es keinen Einfluss auf die Magnetfeldwirkung. Das heißt, die Rezeptoren wurden nicht blockiert, da die Opioide die Blut-Hirn-Schranke nicht durchdringen können. Naltrindol (delta-Blocker) und Beta-Funaltrexamin (µ-Blocker) haben inkomplette hemmende Wirkung und Norbinalorphimin (kappa-Blocker) hatte keine Hemmung der MF-Schmerzlinderung zur Folge.

Diese Experimente zeigen, dass die statischen Magnetfelder auf das periphere Opioid-System einwirken. Hauptsächlich werden die µ- und in geringerem Maß die delta-Rezeptoren aktiviert, während die kappa-Rezeptoren nicht beteiligt sind.

#### Quelle:

Gyires K, Zádori ZS, Rácz B, László J (2008): Pharmacological Analysis of Inhomogeneous Static Magnetic Field-Induced Antinociceptive Action in the Mouse. *Bioelectromagnetics* 29, 456–62

#### Mobilfunkforschung

## 900 MHz-Strahlung beeinflusst Endozytose in Zellkulturen

**Für die Experimente wurden Zellkulturen von metastatischen Melanomen 20 Minuten der GSM-Strahlung ausgesetzt und danach die Aufnahme eines Farbstoffs gemessen im Vergleich zu unbestrahlten Zellen. Die Aufnahme des Farbstoffs war beschleunigt bei den bestrahlten Zellen. Die GSM-Frequenzen wirken auf einen bestimmten Mechanismus der Endozytose ein, die Clathrin-abhängige Einschleusung in die Zelle.**

Die Endozytose ist einer von vielen grundlegenden Mechanismen, mit denen große Moleküle oder größere Partikel in eine Zelle hineintransportiert werden können. Bei diesem Vorgang wird ein Teil der Zellmembran eingestülpt, der dann als Vesikel nach innen abgeschnürt und innerhalb der Zelle weiterverarbeitet wird. Es gibt 2 Hauptwege, die Clathrin- und die Caveolin-abhängige Endozytose. Clathrin und Caveolin sind Proteine, die sich an die Vesikel anlagern und sie schließlich umhüllen.

In früheren Experimenten wurde bereits die Beschleunigung der Endozytose durch 900-MHz-Strahlung festgestellt, nun sollte untersucht werden, welche Mechanismen für die beschleunigte Endozytose durch diese Mobilfunkstrahlung (SAR 3,2 W/kg) verantwortlich sind. Dazu wurden metastatische Melanomzellen von Mäusen mit dem Farbstoff Lucifer-Gelb für 20 Minuten inkubiert. Anschließend wurde die aufgenommene Menge an Farbstoff in der Zelle gemessen. Berechnet wurde jeweils das Verhältnis der Farbstoffaufnahme von bestrahlten zu unbestrahlten Zellen. Die bestrahlten Zellen nahmen 25 % mehr Farbstoff auf, d. h. die elektromagnetischen Felder beschleunigen die Endozytose. Um die betroffenen Strukturen an den Zellmembranen zu identifizieren, wurden verschiedene Hemmstoffe verwendet, die spezifisch auf bestimmte Zellbestandteile wirken: Chlorpromazin, Filipin und Ethanol. Bei der Behandlung der Zellen mit Chlorpromazin war die Farbstoffaufnahme um 9 % (15 µ) bzw. 14 % (25 µM) vermindert, es blockierte die Endozytose-Zunahme, die durch 900 MHz hervorgerufen wird. Filipin hatte keine nennenswerte Wirkung. Bei der Behandlung mit Ethanol (1 %ig) unter Einwirkung der elektrischen Komponente der 900-MHz-Felder zeigte sich ebenfalls eine Blockierung der Feldwirkung. Die gepulsten elektrischen Felder steigerten die Farbstoffaufnahme um 28 %, in Anwesenheit von Ethanol war die Konzentration in den Zellen kaum höher als bei den Kontrollen.

Insgesamt ergaben die verschiedenen Experimente, dass die Clathrin-abhängige Endozytose selektiv von der Wirkung der GSM-Strahlung betroffen ist.

Die Experimente wurden bei 29 °C durchgeführt, da die Endozytosegeschwindigkeit in dem Bereich temperaturunabhängig ist und die Erwärmung durch die Hochfrequenzstrahlung keine Rolle spielt. Die Endozytosesteigerung bei Einwirkung von 900-MHz-Strahlung ist somit kein thermischer Effekt.

#### Quelle:

Moisescu M, Leveque P, Verjus MA, Kovacs E, Mir LM (2009): 900 MHz Modulated Electromagnetic Fields Accelerate the Clathrin-Mediated Endocytosis Pathway. *Bioelectromagnetics* 10.1002/bem.20463

#### Wirkung des Erdmagnetfelds

## Erdmagnetfeld beeinflusst die Funktion von Makrophagen

Diese Experimente haben gezeigt, dass die Funktion der Makrophagen und die Entwicklung von Thymus und Milz im Tierversuch bei geschwächtem Erdmagnetfeld verändert werden. Bei männlichen und weiblichen Ratten waren die Reaktionen unterschiedlich, was wahrscheinlich mit dem Hormonsystem zu tun hat.

Bei Amphibien, Vögeln und Säugetieren sind erste Entwicklungsstadien gestört, bei Insekten das Gedächtnis, wenn die Lebewesen über längere Zeit in einem reduzierten Erdmagnetfeld leben. Bei gestörtem Magnetfeld durch die Sonnenaktivität gibt es beim Menschen physiologische und psychische Auswirkungen. Wahrscheinlich ist der Melatoninstoffwechsel betroffen, was den Tag-Nacht-Rhythmus, das Immunsystem und andere Funktionen beeinflusst.

Die 32 Tiere, männliche und weibliche getrennt, wurden bis zum Alter von 2 Monaten alle gleich im normalen Erdmagnetfeld von ca. 37 µT gehalten und dann in 2 Gruppen geteilt. Die eine Gruppe kam in speziell abgeschirmte Käfige, in denen das fast nur horizontale Magnetfeld unter 12 µT lag. 6 Monate später wurden den Tieren Milz und Thymus entnommen und deren Gewicht in Relation zum Körpergewicht bestimmt. Die

Größe des Thymus gibt die Fähigkeit eines Organismus zur T-Zell-abhängigen Immunantwort wieder, da im Thymus die jungen Lymphozyten reifen.

Beim Körpergewicht und dem Gewicht der Milz zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Tieren, die im reduzierten Feld gelebt hatten gegenüber den Kontrollen. Bei den weiblichen Tieren war das Gewicht des Thymus signifikant höher gegenüber den Kontrolltieren, bei den männlichen gab es nicht-signifikante Unterschiede. Die Anzahl der Makrophagen in der Bauchregion (Peritoneum) war bei den männlichen Tieren signifikant angestiegen, bei den weiblichen nicht-signifikant im Verhältnis zum Körpergewicht. Die Verminderung des Erdmagnetfeldes führte zur verzögerten Rückbildung des Thymus, bei den weiblichen Tieren war das stärker ausgeprägt.

Zur Untersuchung der Abwehrfähigkeit wurden NO- und O<sub>2</sub>-Synthese (Stickoxid und Superoxid-Anion) der stationären Makrophagen im Peritoneum (mit LPS stimuliert) gemessen. Beide Moleküle spielen eine wichtige Rolle bei der Abwehr von Schadstoffen und der Modulation des Immunsystems. O<sub>2</sub><sup>-</sup> ist ein wichtiges Mikrobiozid in Makrophagen, NO ist eines der wichtigsten zytotoxischen Moleküle in aktivierten Makrophagen. Bei den männlichen Tieren kam es zu signifikanter Reduktion von NO, bei den weiblichen war sie nicht-signifikant. Bei der O<sub>2</sub><sup>-</sup>-Produktion war es genau umgekehrt.

Die Verminderung des Erdmagnetfeldes hat bei allen unersuchten Parametern etwas bewirkt, allerdings immer unterschiedlich bei männlichen und weiblichen Tieren. Langzeitabschirmung bedeutet Veränderungen im hormonellen Status, der Makrophagenaktivität und als Folge in der immunologischen Reaktionsfähigkeit. Die Experimente haben gezeigt, dass die Wirkung des Erdmagnetfeldes geschlechtsabhängig ist. Das könnte am Zusammenspiel der Geschlechtshormone mit Melatonin liegen.

#### Quelle:

Roman A, Tombarkiewicz B (2009): Prolonged Weakening of the Geomagnetic Field (GMF) Affects the Immune System of Rats. *Bioelectromagnetics* 30, 21–28

#### Mobilfunk, Geld, Macht und Politik

## Gesundheit von Kindern durch Mobilfunk nicht gefährdet?

Immer mehr politische Institutionen in verschiedenen Ländern der Welt warnen oder ergreifen sogar bereits Maßnahmen im Zusammenhang mit Mobilfunk, um die Gesundheit von Kindern zu schützen. In Deutschland ist das kein Thema, im Gegenteil, man veröffentlicht irreführende Berichte zum Thema und erweckt so den Eindruck, man wisse genau, dass es keine Anhaltspunkte für Schädigungen gibt.

In Frankreich sollen Handys für Kinder verboten werden, nachdem die Stadt Lyon den Anfang gemacht hatte. Der französische Umweltminister hat ein Gesetz vorgesehen, nach dem u. a. der Verkauf von Handys an Kinder unter 6 Jahren verboten wird, dass Werbung sich nicht an Kinder unter 12 Jahren richten darf und dass die Grenzwerte gesenkt werden sollen. Die Ärztekammer Wien appelliert an die Gesetzgeber, dem französischen Beispiel zu folgen und nicht dem Druck der Mobilfunkindustrie nachzugeben. In Japan sollen Handys an Schulen verboten werden, allerdings stehen da eher die Unter-