

3. Wurden alle Stunden, die die Teilnehmer mit dem Handy telefoniert hatten, addiert bzw. kumuliert, so ergaben sich wiederum vergleichsweise kleine Zahlen für die Personen, die in ihrem gesamten Leben zwischen 60 und 480 Stunden lang ein Handy benutzt hatten, und für die Personen, die kumuliert über 480 Stunden lang telefoniert hatten.
4. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen der Fallgruppe mit Hirnkrebs und der Kontrollgruppe ohne Hirnkrebs. Das relative Risiko für die Entwicklung eines Hirntumors war von der Dauer oder der Intensität der Mobiltelefonnutzung unbeeinflusst.

Zudem fanden sich keine Hinweise auf eine Seitenbevorzugung der Tumoren bei den Handynutzern. Der Gehirnkrebs trat also nicht vorzugsweise in der Hirnhälfte auf, die der bevorzugten Seite für die Handynutzung entsprach.

Die Studie von Peter Inskip und Kollegen

Peter D. Inskip und Kollegen führten eine ähnlich angelegte multi-zentrische Studie wie die zuvor beschriebene durch, in Krankenhäusern in Phoenix, Arizona, Boston und Pittsburgh. Sie schlossen zwischen 1994 und 1998 insgesamt 782 Patienten mit Hirntumoren (489 Gliome, 197 Meningeome, 96 Akustikusneurinome) und 799 Kontrollen in die Untersuchung ein.

Wie in der New Yorker Studie war das Risiko für die Entwicklung eines Hirnkrebses weder mit der Dauer noch mit der Intensität der Handynutzung assoziiert. So war beispielsweise das relative Risiko für die Entwicklung eines Hirnkrebses für Personen, die in ihrem Leben länger als insgesamt 100 Stunden telefoniert hatten, genauso groß wie für Personen, die nie ein Handy verwendet hatten (RR: 1,0; 95%-KI: 0,6-1,5). Auch hier fand sich kein Hinweis auf eine Seitenbevorzugung der Tumoren oder ein Hinweis auf eine anderweitige Bevorzugung bestimmter Hirnregionen.

Allerdings war auch diese Studie besonders durch die geringe Zahl an starken Handynutzern limitiert. Von den 782 Patienten hatten nur 17 mindestens drei Jahre lang durchschnittlich 15 Minuten oder länger pro Tag mit einem Mobiltelefon telefoniert. In der Kontrollgruppe waren es 28 Teilnehmer.

Schlussfolgerungen

Die beiden Studien unterstützen nicht die These, Handynutzung könne das Risiko für die Entstehung von Hirnkrebs erhöhen. Es finden sich in den Ergebnissen keinerlei Hinweise für eine solche Beeinflussung der Tumorfrequenz in Abhängigkeit von Dauer und Intensität der Verwendung – überwiegend analoger – Mobiltelefone. Für Personen, die gelegentlich Mobiltelefone verwenden, eine gute Nachricht: Für sie besteht vermutlich kein erhöhtes Hirnkrebsrisiko.

Beide Studien besitzen allerdings nur eine begrenzte Aussagekraft, die vor allem damit zusammenhängt, dass Tumoren häufig eine lange Latenzzeit bis zum Ausbruch der Erkrankung aufweisen. So schreiben Inskip und Kollegen in ihrem Beitrag: „Die wichtigste Limitierung unserer Studie ist die begrenzte Genauigkeit für die Abschätzung des Risikos bei einer potenziellen Induktionsperiode von mehr als einigen Jahren oder bei Personen mit sehr hoher täglicher oder kumulativer Verwendung.“

Muscat und Kollegen fassen abschließend ähnlich zusammen: „Die vorliegende Studie zeigt keinen Effekt nach kurzzeitiger Exposition mit Mobiltelefonen, die vor allem mit analogen Signalen arbeiten. Es werden weitere Studien benötigt, um die Situation für längere Induktionsperioden zu berechnen, besonders für langsam wachsende Tumoren. Die HF-Felder, die von digitalen Mobiltelefonen emittiert werden, könnten andere Effekte auf biologische Gewebe ausüben als analoge Telefone.“

Die Studien geben also „keine Entwarnung“, wie dies in einigen Medien berichtet wurde. In Europa werden zur Zeit große multi-

zentrische Studien durchgeführt, die auch langzeitige Wirkungen digitaler Mobiltelefonsignale auf die Hirnkrebshäufigkeit erfassen sollen. Allein dadurch, dass die Zahl der Handys und die Intensität der Handynutzung in den letzten Jahren stark zugenommen hat, werden zukünftig größere Fallzahlen zusammen kommen. In den beiden vorliegenden Studien hatten die meisten Teilnehmer noch nie ein Handy benutzt und nur wenige nutzten es lang und intensiv. Auf der Basis größerer Fallzahlen werden sich auch die verschiedenen Untergruppen von Hirntumoren differenziert betrachten lassen, denn möglicherweise sind bestimmte Tumorarten sensibler als andere für elektromagnetische Strahlung. Wenn die laufenden Studien in einigen Jahren abgeschlossen sind, werden wir Genaueres wissen.

Dr. med. Franjo Grotenhermen
Redaktion Elektrosmog-Report

Quellen:

1. Borbély AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 1999;275:207-210.
2. Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hanson MK: Use of cellular telephones and the risk for brain tumors: a case control study. *Int J Oncol* 1999;15:113-116.
3. Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbély AA, Achermann P: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *NeuroReport* 2000;11:3321-3325.
4. Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG, Fine HA, Black PM, Loeffler JS, Linet MS: Cellular telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 2001, to be published on January 11th. Vorabdruck unter: <http://www.nejm.org/content/inskip/1.asp>
5. Kheifets LI, Gilbert ES, Sussmann SS, Guénel P, Sahl JD, Savitz DA, Thériault G: Comparative analyses of the studies of magnetic fields and cancer in electricity utility workers: studies from France, Canada, and the United States. *Occup Environm Med* 1999;56:567-574.
6. Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D, Neugut AI, Wynder EL: Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 2000;284:3001-3007.
7. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris AW: Lymphomas in Eμ-pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiation Research* 1997;147:637-640.
8. Schirmacher A, Winters S, Fischer S, Goetze J, Galla HJ, Kullnick U, Ringelstein EB, Stogbauer F: Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier in vitro. *Bioelectromagnetics* 2000;21:338-45.

Zellexperimente

Magnetfelder beeinflussen Zellteilung und Zelldifferenzierung

Magnetfelder ab einer bestimmten Stärke haben offensichtlich einen Einfluss auf die Zelldifferenzierung und die Zellteilung. Unter der Leitung von James E. Trosko, Abteilung für Kinderheilkunde und menschliche Entwicklung der Universität von Michigan, untersuchten Wissenschaftler die Auswirkungen von 60-Hertz-Magnetfeldern auf eine Leukämiezell-Linie von Mäusen. In den Untersuchungen wurden bestimmte Leukämiezellen durch eine chemische Behandlung in die Lage versetzt, zu hämoglobinproduzierenden Zellen heranzureifen. Die Forscher fanden nun

heraus, dass Magnetfelder diesen chemisch induzierten Reifungsprozess (Differenzierung) der Zellen hemmen.

60-Hz-Magnetfelder mit einer magnetischen Flussdichte von 1 bis 4 Mikrottesla hemmten bei den Experimenten die Zelldifferenzierung. Dieser Effekt war dosisabhängig mit 0% bei 1 Mikrottesla, 20% bei 2,5 Mikrottesla und 40% bei 4 Mikrottesla. Hohe Flussdichten von 100 bis 1.000 Mikrottesla hatten eine unmittelbar erhöhte Zellteilungsrate von 50% zur Folge.

Insgesamt zeigte sich, dass Magnetfelder ab einer bestimmten Stärke die Zelldifferenzierung (Reifungsprozess) hemmen, wodurch größere Zahlen von Zellen in einem undifferenzierten, teilungsfreudigen Zustand verharren. Dies führt dazu, dass sich unter Magnetfeldeinfluss erheblich mehr Zellen unvermindert weiter teilen („wuchern“).

Tumorzellen sind generell weitgehend undifferenzierte Zellen, die sich schnell teilen. Den Ergebnissen nach scheinen Magnetfelder sowohl die Differenzierung/Reifung von Zellen zu hemmen als auch - über direkte und indirekte Effekte - die Zellteilungsrate zu fördern. Ähnliche Beobachtungen sind von chemischen Krebspromotoren her bekannt.

Die Ergebnisse weisen auf keinen krebsauslösenden, sondern nur auf einen Krebs begünstigenden (promovierenden) Faktor hin. Die Magnetfelder scheinen nicht in der Lage zu sein, Gene zu verändern und damit Krebs zu initiieren. Bestimmte Gene scheinen aber durch die Felder aktiviert oder deaktiviert zu werden. Hierin sehen die Forscher einen möglichen Grund für die anhaltende Zellteilung.

Quellen:

1. Chen G, Upham BL, Sun W, Chang CC, Rothwell EJ, Chen KM, Yamasaki H, Trosko JE: Effect of electromagnetic field exposure on chemically induced differentiation of friend erythroleukemia cells. *Environ Health Perspect* 2000;108:967-972.
2. Schüring, J. in „News Ticker Bild der Wissenschaft online“ vom 19.10.2000 (www.wissenschaft.de).

Biologie

EMF-Wahrnehmung bei Tieren

Während beim Menschen weiterhin umstritten ist, ob elektrische und magnetische Felder (EMF) wahrgenommen werden können, ist bei einer Reihe von Tieren nachgewiesen, dass sie EMF wahrnehmen und insbesondere für ihre Orientierung nutzen.

Allgemein wird davon ausgegangen, dass Menschen über keinen Sinn verfügen, um elektrische oder magnetische Felder wahrzunehmen. Diskutiert wird allerdings, ob besonders sensitive Menschen („Elektrosensible“) eventuell doch EMF wahrnehmen können. So heißt es in einer 1994 vorgestellten Definition (KARUS et al. 1994): „Der Begriff ‚Elektrosensibilität‘ beschreibt das Phänomen, dass bestimmte Menschen ungewöhnlich starke Reaktionen auf schwache elektrische und magnetische Felder zeigen. Die Reaktionen erfolgen in der Regel kurzfristig nach der Exposition und äußern sich in zum Teil starken Beeinträchtigungen von Wohlbefinden und Gesundheit. Aufgrund der kurzfristigen Reaktion scheint es so, als könnten elektrosensible Menschen elektromagnetische Felder spüren bzw. wahrnehmen.“ Neue Erkenntnisse zur EMF-Wahrnehmung von Menschen liefert eine Studie aus der Schweiz, siehe Text in dieser Ausgabe: „Schweizer NEMESIS-Projekt zur Erforschung von Elektrosensibilität & EMF-Wahrnehmung“.

Bei einigen Tieren liegen die Verhältnisse deutlich klarer, sie können EMF wahrnehmen und insbesondere für ihre Orientierung - Position, Richtung und Zeit - nutzen. Einige Beispiele aktueller Forschung sollen dies belegen. Ob aus der evolutionären Ent-

wicklung EMF-empfindlicher Sinnesorgane bei einigen Tieren Rückschlüsse auf eventuell vorhandene und beim Menschen verkümmerte EMF-Sinnesorgane möglich sind, ist offen.

Vögel

Ein magnetischer Kompass wurde bisher bei mindestens 18 Vogelarten nachgewiesen. Während der magnetische Kompass in der Regel nur als Ergänzung zum Sonnen- und Sternenstand angesehen wurde, zeigten aktuelle Studien, dass bei widersprüchlichen Richtungsinformationen oftmals das magnetische System dominierte. Vögel - vor allem Zugvögel - können anscheinend sowohl Informationen nutzen, die sich aus der Deklination wie aus der Inklination des Erdmagnetfeldes ergeben. Ob sie sich eine regelrechte „magnetische Landkarte“ merken können, ist noch ungeklärt.

Ebenso ist bisher noch nicht bekannt, wie der biologische Kompass genau funktioniert. Der favorisierten Theorie nach sind kleine magnetische Moleküle (z.B. Magnetitkristalle), die sich in einigen Geweben finden, für das Orientierungsvermögen verantwortlich. Sie sollen als Miniatur-Kompassnadeln fungieren. So soll z.B. der Magnetsinn der Brieftauben im oberen Teil des Schnabels liegen. Das Organ besteht aus freien Nervenenden und Sinneszellen, die auf mechanische Reize reagieren. Die eingelagerten Magnetitkörnchen lösen, je nach Ausrichtung des Vogels zum Nordpol, unterschiedliche mechanische Reize aus (vgl. *Elektrosmog-Report*, Juni 1997).

Eine neue Theorie besagt, dass Magnetfeldschwankungen veränderte Umsatzraten biochemischer Reaktionen verursachen, die von den Tieren wahrgenommen werden. James Weaver, Physiker am Center for Biomedical Engineering des Massachusetts Institute of Technology, prüfte auf mathematischem Wege, ob ein solcher biochemischer Kompass überhaupt funktionieren kann, da die Geschwindigkeit biochemischer Reaktionen auch durch Temperaturveränderungen und andere Einflüsse bestimmt wird. Weaver konnte nun selbst mit einem relativ einfachen Modell zeigen, dass ein solcher biochemischer Kompass tatsächlich funktionieren könnte und zu „fantastischen“ Leistungen fähig wäre, wie wir sie im Tierreich finden.

Reptilien

Auch Reptilien können Magnetfelder zur räumlichen Orientierung nutzen. Nachgewiesen wurde dies z.B. bei Mississippi-Alligatoren, die über Entfernungen von einigen 10 km zurück in ihr Heimat-areal fanden und sich dabei vornehmlich an der Stärke der horizontalen Komponente des Erdmagnetfeldes orientierten. Auch Meeresschildkröten nutzen das Erdmagnetfeld auf ihren langen Wanderungen im Meer. Sie können Schwankungen des Magnetfeldes registrieren, die unter 0,2 Prozent liegen, und orientieren sich sowohl an der Inklination des Erdmagnetfeldes als auch an lokalen Intensitäten entlang der Wanderroute.

Fische

Haie und Rochen gelten als Tiere mit den empfindlichsten Organen zum Nachweis elektrischer Felder. Einige Haiarten können elektrische Felder von nur 0,1 bis 0,2 Mikrovolt pro Meter nutzen, um Beutetiere aufzuspüren. Dieselben Sinnesorgane nutzen Haie, um sich bei eigener Bewegung im Erdmagnetfeld eine zusätzliche Orientierungshilfe zu verschaffen.

Nach neuen Untersuchungen von Stephen Kajiura (Zoologisches Institut der Universität von Hawaii) weist der T-förmig ausladende Kopf des Hammerhais mehr als 3.000 Sensoren zur Wahrnehmung elektrischer Ströme auf. Die besondere räumliche Anordnung der