

siert, dass man keine Kontrollen innerhalb der scheinbehandelten Ansätzen gemacht hatte. Diese wurden hier mitgeführt, erbrachten aber keine Hinweise auf Verfälschungen durch die technischen Unterschiede in den Gerätschaften. Auch Verfälschungen durch das doppel-blinde visuelle Auswerten der Kometenschweife sind auszuschließen, denn die maschinelle Auswertung ergab die gleichen Werte. Deshalb wurde diese Art der Sichtung weiter fortgeführt, weil man damit mehr Zellen (1000 statt 50–100) pro Experiment untersuchen kann und damit die statistischen Berechnungen exakter werden. Außerdem kann man so besser den Typ des Kometenschweifs bestimmen.

Die Kometenschweife, d. h. die DNA-Strangbrüche treten nur bei intermittierender Magnetfeldbehandlung auf. Auch das konnte bestätigt werden. Spielen bei der kontinuierlichen Strahlung Gewöhnungsprozesse eine Rolle? Das ist nicht der Fall, denn mit kontinuierlichen Magnetfeldern vorbehandelte Zellen reagieren bei anschließender intermittierender Magnetfeldeinwirkung auch mit DNA-Schädigung. Was da passiert, ist unbekannt, aber es ist sicher keine thermische Wirkung und keine direkte physikalische oder chemische DNA-Schädigung.

Die Experimente legen nahe, dass der Zellzyklus durch Magnetfelder bei der Replikation der DNA gestört wird. Dafür spricht auch, dass in ruhenden Zellen keine signifikant vermehrten Kometenschweife gefunden wurden. Der „Replikationsstress“ kann auch erklären, warum man vermehrt Apoptose in den Zellen findet. Dies wurde auch schon von anderen Wissenschaftlern nachgewiesen. Die HeLa-Zellen (Krebszelllinie) reagierten nur gering, da sie in den Apoptose-Genen gestört sind. Apoptose ist eine Folge der DNA-Schädigung, wenn die Reparaturkapazität der Zelle erschöpft ist. Da die Magnetfeldbehandlung andere Reaktionen als die von  $H_2O_2$  hervorrief, scheint die DNA-Schädigung nicht oder nur zu einem geringen Teil durch oxidativen Stress zu entstehen.

Es lässt sich also festhalten, dass die früheren Ergebnisse von Ivancsits und Mitarbeitern bestätigt werden können. Die DNA-Schädigung durch Magnetfelder wird eher durch Eingriff in die S-Phase als durch oxidativen Stress hervorgerufen, auf unbekannte Weise bei der Replikation. Da die Replikation ein sehr komplexes Geschehen ist, gibt es viele Möglichkeiten der Störung. Die S-Phase-Abhängigkeit kann erklären, warum es Schwierigkeiten bei der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse gibt, denn das Verhalten der Zellen ist außer von der Zellart von den Kulturbedingungen abhängig, und die sind in den verschiedenen Labors unterschiedlich.

#### Quelle:

Focke F, Schürmann D, Kuster N, Schär P (2010): DNA fragmentation in human fibroblasts under extremely low frequency electromagnetic field exposure. *Mutation Research* 683, 74-83

### Hochfrequenzforschung

## Verändertes Verhalten von Ratten durch 840-MHz-Strahlung

**Ausgehend von der Vorstellung, dass frühe Erfahrung von Verletzungen das Gehirn für immer prägt, wurden Ratten sofort nach der Geburt einem Feld von 840 MHz ausgesetzt und verschiedenen Untersuchungen zu Verhalten, Histologie und Hormonstatus, nach Geschlechtern getrennt, unterzogen. Man fand signifikante Unterschiede zwischen Kontrollen und bestrahlten Tieren im Verhalten. Bei Hormonstatus und Histologie gab es nicht-signifikante oder gar keine Unterschiede.**

Es sollte in diesen Experimenten in Erfahrung gebracht werden, wie sich frühe Bestrahlung auf das Leben im Erwachse-

nenalter auswirkt. Deshalb wurden neugeborene Ratten von Tag 2 bis Tag 14 je 3 Stunden einem 840-MHz-Feld von  $60 \mu W/m^2$  ausgesetzt und nachfolgend verschiedenen Tests unterzogen. Die Antenne befand sich 2,5 m vom Boden und 0,9 m von den Käfigen entfernt. Je 6 männliche und 6 weibliche Tiere pro Gruppe wurden nach 22 Tagen getrennt, nach 58 Tagen erfolgten die Verhaltensexperimente. Das Verhalten wurde mit der Videokamera aufgezeichnet. Nach 62 Tagen wurden die Tiere getötet und die Gehirne histologisch sowie das Plasma auf den Corticosteron-Spiegel untersucht.

Die Verhaltenstests umfassten mehrere Teile. Bei den Vortests, bei denen die Ratten lernen sollten, sich im Wasserlabyrinth zu orientieren, hatte jedes Tier 60 Sekunden Zeit, durch schwimmen die Plattform zu erreichen. Wenn ein Tier die Plattform in dieser Zeit nicht erreichte, wurde es zur Orientierung 10 Sekunden auf die Plattform und dann zurück in den Käfig gesetzt. Dieser Test fand insgesamt viermal statt. Beim ersten eigentlichen Test wurde die Zeit gestoppt, die jedes Tier brauchte, um die Plattform zu erreichen. So kann die Lernfähigkeit überprüft werden. Beim nächsten Test war die Plattform unsichtbar. Man ließ die Tiere wieder 60 Sekunden schwimmen und stoppte die Zeit, die die Tiere in dem entsprechenden Quadranten zubrachten, um die Plattform zu finden. Manche Tiere, besonders die männlichen, verhielten sich einige Zeit völlig bewegungslos im Wasser („Eingefrorenen-Verhalten“). Diese Zeit wurde ebenfalls notiert. Mit einem weiteren Test sollte festgestellt werden, ob es Unterschiede im Angst- und Stressverhalten gibt. Das offene Feld hatte eine Fläche von einem Quadratmeter, der Boden war in kleinere Quadrate unterteilt. Aufgezeichnet wurde zuerst die Bewegungsaktivität, d. h. wie viele Quadrate wie oft betreten wurden. Bei ängstlichen Tieren können es mehr oder weniger Quadrate sein als bei entspannten. Weiter wurde untersucht, wie es um den Entdeckergeist bestellt ist: wie viele Felder betraten die Tiere und wie oft drangen sie in den inneren Bereich vor und zogen sich wieder in die Randbereiche zurück? Als drittes wurde festgehalten, wie lange und oft sich die Tiere putzten, was auch etwas über Angst und Stress aussagt. Putzen kann ein Zeichen für Angst, aber auch Entspannung sein.

Alle männlichen 840-MHz-bestrahlten Tiere zeigten das „Eingefrorenen“-Verhalten, was in den anderen Gruppen nur vereinzelt vorkam, und auch die Zeit des Eingefroren-Seins war signifikant erhöht gegenüber den männlichen Kontrolltieren. Das wird als Zeichen für Befindlichkeitsstörungen (z. B. Depressionen) und Hilflosigkeit gedeutet.

Erwartet worden waren stärkere Unterschiede zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Tieren, da frühere Experimente dies ergeben hatten, allerdings mit etwas anderen Parametern. Möglicherweise waren die gewählten Versuchsbedingungen nicht adäquat gewählt worden. Die Tests waren möglicherweise nicht empfindlich genug. Immerhin ist das „Eingefrier“-Verhalten ungewöhnlich und wirkt sich auf die Zeitspannen aus, die die Tiere brauchen, um die Plattform zu erreichen. Deshalb soll man nicht aus den Ergebnissen schließen, dass 840-MHz-Strahlung keine Wirkung auf Lernen und Erinnern hat. Die signifikante Abnahme der Bewegungsaktivität und signifikante Zunahme des Putzens der exponierten männlichen Tiere gegenüber den männlichen Kontrollen ist ein Hinweis auf Stress durch die elektromagnetischen Felder, der möglicherweise aufgrund der neuen unbekanntenen Umgebung ausgelöst wird, zumindest bei den männlichen Tieren. Ähnliches haben auch andere Experimente dieser Arbeitsgruppe ergeben.

Um zu sehen, ob bestimmte Hormon-Regelkreise der Hypothalamus-Hypophysen-Nebennieren-Achse betroffen sind, wurden

die Corticosteron-Konzentrationen im Blutplasma untersucht. Sie ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen bestrahlten und scheinbestrahlten Tieren in beiden Geschlechtern. Es gab nur einen Trend zu erhöhten Werten bei den bestrahlten weiblichen Tieren. Das könnte auf Hyperaktivität der Hormonachse hindeuten. Möglich wäre auch eine Rückkopplungshemmung der Corticosteron-Freisetzung. Solche Veränderungen sind bei Tieren bekannt, die chronisch und perinatal gestresst worden waren. Auch in den verschiedenen Zellen des Hippocampus fand man keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und behandelten Ratten. Der Hippocampus ist beteiligt an Lernen, Erinnern und Gefühlsverarbeitung. Salford hatte 2003 festgestellt, dass durch Bestrahlung mit Mobilfunkfrequenzen so genannte dunkle Neuronen entstehen. Er hatte die Tiere allerdings sofort nach der Bestrahlung getötet und die Hirne histologisch untersucht, während in diesem Experiment zwei Monate vergingen zwischen Bestrahlung und Entnahme der Gehirne, sodass es in diesem Zeitraum zu Regenerationen gekommen sein kann.

Die Studie zeigt, dass elektromagnetische Felder Veränderungen im Verhalten hervorrufen, was sich in der Bewegungsaktivität, dem gesteigerten Putzen und dem „Einfrier“-Verhalten ausdrückt. Die Bewegungsaktivität war verringert und das Putzverhalten gesteigert. Zudem hatte der Corticosteron-Spiegel eine Tendenz nach oben. Das bedeutet: 840-MHz-Strahlung hat eine Wirkung auf die Funktionen des Nervensystems.

#### Quelle:

Daniels, WM, Pitout IL, Afullo TJ, Mabandla MV (2009): The effect of electromagnetic radiation in the mobile phone range on the behaviour of the rat. *Metabolic Brain Disease* 24, 629–641

### Mobilfunkforschung

## Mobilfunkwirkung auf periphere Monozyten

**Zellkulturen von peripheren Monozyten aus dem Blut von Freiwilligen zeigten nach Bestrahlung mit verschiedenen Funkfrequenzen, dass die Adhäsionsfähigkeit der Zellen durch die elektromagnetischen Felder beeinflusst wird. Das könnte ein Grund für eine Beeinträchtigung des Immunsystems sein. Die anderen untersuchten Parameter zeigten kaum Unterschiede.**

Der Zweck dieser Experimente war, Überlebensrate, Apoptose, Zellwachstum und die Struktur verschiedener Oberflächenantigene der verwendeten Zellen (Antigen-Expression der Zellmarker CD11a, CD11b, CD49d und HLA-DR) auf ihre Reaktionen zu untersuchen. Aus 100 ml Blut von 5 gesunden Freiwilligen wurden die Zellkulturen hergestellt und mit 450,6, 900 und 1784 MHz 2, 6 und 24 Stunden behandelt. Die einem GSM-Mobiltelefon ähnliche Einrichtung hatte eine spezielle Antenne zur gleichmäßigen Feldverteilung über die Zellkulturen. Die Übertragungsleistung betrug 20 dBm für alle Frequenzen und das gemessene elektrische Feld 30 V/m bei 450,6 MHz, 48,3 V/m bei 900 MHz und 53 V/m bei 1784 MHz. Die Proteine sind in die Zelloberfläche der Monozyten eingelagert. CD11a und CD49d sind Adhäsionsmoleküle für Abwehrreaktionen und das HLA-DR-Protein ist ein Autoimmun-, Resistenz- und T-Zellreaktionen beteiligter Rezeptor. Bei Überlebensrate, Apoptose und Zellwachstum gab es keine Veränderung durch die elektromagnetischen Felder, während bei den CD11a- eine Abnahme und bei den CD49-Zellen eine Zunahme der Expression zu sehen war. CD11a war vermindert nach

6 Stunden bei 900 und 1784 MHz und nach 24 Stunden Inkubation bei 1784 MHz. Die Expression des anderen Adhäsionsmoleküls, CD 49d, war erhöht nach 24 Stunden bei 450,6 MHz, 900 MHz und 1784 MHz. Bei CD 49d und CD11a war bei allen 3 Frequenzen die Expression nach 6 und 12 Stunden Inkubation nicht signifikant verändert gegenüber den Kontrollen. Keine signifikanten Veränderungen gab es auch bei HLA-DR und CD11b. Aus diesen Ergebnissen wird geschlossen, dass die elektromagnetischen Felder die Adhäsionsfähigkeit der Monozyten vermindern und dadurch eine veränderte Immunreaktion bedingen können.

**Anmerkung:** Monozyten sind als so genannte Non-Responder bekannt, es sind Zellen, die nicht oder kaum durch elektromagnetische Felder beeinflusst werden. Zu dieser Arbeit hat ATI, eine internationale Telekommunikationsfirma mit Sitz in Kanada, einen Beitrag geleistet, so steht es am Ende der Arbeit.

#### Quelle:

Atasoy A, Sevim Y, Kaya I, Yilmaz M, Durmus A, Sonmez M, Omay SB, Ozdemir F, Ovali E (2009): The effects of electromagnetic fields on peripheral blood mononuclear cells in vitro. *Bratislava Medical Journal* 110 (9), 526–529

## Kurzmeldungen

### Vergabe neuer Mobilfunkfrequenzen

Am 21. Januar meldete die Bundesnetzagentur, dass sich bis zum Bewerbungsschluss am selben Tag sechs Unternehmen um die neu zu vergebenden Mobilfunkfrequenzen beworben haben. Es geht um die Frequenzbereiche 800 MHz, 1,8 GHz, 2 GHz und 2,6 GHz für den drahtlosen Netzzugang für Telekommunikationsdienste. Die Bewerbungen werden nun von der Bundesnetzagentur geprüft.

[www.bundesnetzagentur.de](http://www.bundesnetzagentur.de)

### Petition zu Verringerung der Funkstrahlung

In der Schweiz haben sich mehrere Organisationen zusammengeschlossen und eine Unterschriftenliste für eine Petition vorbereitet, in der man sich für eine geringere Belastung mit Hochfrequenz einsetzt. Der Petitionstext lautet: „Wir sind besorgt über die steigende Belastung der Bevölkerung mit elektromagnetischer Strahlung und bitten die Bundesparlamentarier, im Sinne von ersten Sofortmassnahmen die folgenden gesetzlichen Bestimmungen einzuführen

1. Die Gemeinden sollen die uneingeschränkte Kompetenz erhalten, Zonen mit erheblich tieferen Immissionswerten für die Strahlung von Mobilfunkantennen zu schaffen.
2. Sämtliche Geräte, welche Funkstrahlung aussenden, müssen auf Packung und Gehäuse als solche auffällig deklariert werden. Die Strahlungswerte sind anzugeben.

Ausserdem bitten wir, zusätzliche Massnahmen für einen noch weitergehenden Schutz vor elektromagnetischer Strahlung zu ergreifen.“

Wer Formulare der Listen ausfüllen und verbreiten möchte, kann sie aus dem Internet abrufen unter

[http://www.funkstrahlung.ch/PDFs/Petition\\_weniger\\_Funkstrahlung.pdf](http://www.funkstrahlung.ch/PDFs/Petition_weniger_Funkstrahlung.pdf)

### Schweizer Bundesamt für Umwelt bestätigt Krebs durch niederfrequente Magnetfelder

„Krebs durch niederfrequente Magnetfelder: Verdacht bleibt bestehen“ – so lautet die Überschrift einer Pressemitteilung des Schweizer Bundesamtes für Umwelt (BAFU). In dieser Veröffentlichung vom 19. Januar 2010 gibt das Amt bekannt, dass niederfrequente Magnetfelder das Potenzial besitzen, Krebs zu