

# ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

16. Jahrgang / Nr. 2

www.elektrosmogreport.de

Februar 2010

Zellforschung mit Niederfrequenz

## DNA-Schädigung durch 50-Hz-Magnetfelder bestätigt

**Da viele Ergebnisse von Experimenten zu DNA-Schädigung durch elektromagnetische Felder oft nicht reproduzierbar waren, wurden menschliche primäre Fibroblasten 50-Hz-Feldern von 1 mT ausgesetzt, um die Frage zu klären, ob, und wenn wie niederfrequente Felder die DNA schädigen können. Die Experimente waren Wiederholungen von früheren Arbeiten von Ivancsits und Mitarbeitern. Nach diesen Ergebnissen führen gepulste, nicht kontinuierliche Feldeinwirkungen zu DNA-Schädigung.**

Diese Arbeit sollte die Arbeiten von Ivancsits und Mitarbeitern aus den Jahren 2002 und 2003 wiederholen, um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu überprüfen. Die menschlichen primären Fibroblasten von einem 6- und einem 42-Jährigen männlichen Probanden wurden von Prof. Rüdiger aus Wien zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden HeLa-Zellen (eine Zelllinie aus einem Gebärmutterhalskarzinom) und Lungenzellen eines Fetus untersucht. Die exponentiell wachsenden Zellen wurden 15 Stunden dem Feld ausgesetzt und während dieser Zeit dauernd 5 Minuten an und 10 Minuten ausgeschaltet (intermittierende Felder). Die Temperatur lag zwischen 36,5 und 37,5 °C und die Differenz betrug nie mehr als 0,5 °C zwischen Probe und Kontrolle. So können thermische Wirkungen ausgeschlossen werden. Alle Experimente wurden mindestens dreimal wiederholt unter strikten Blindbedingungen. Die Kammern, in denen die Zellen gehalten wurden und die zur Feldbehandlung dienten, wurden abwechselnd als scheinbehandelte bzw. befeldete verwendet, damit eventuelle Unterschiede in den Gerätschaften keine Verfälschungen erzeugen.

Die Ergebnisse lassen sich kurz zusammenfassen: Es gab signifikante Unterschiede in der Menge der geschädigten DNA zwischen den mit intermittierenden Feldern behandelten und scheinbehandelten primären Zellen, nicht jedoch bei den HeLa-Zellen und nicht bei den dem kontinuierlichen Feld ausgesetzten Zellen. Diese Ergebnisse stimmen mit den Ergebnissen von Ivancsits überein.

Um die Art der Magnetfeldwirkung genauer zu charakterisieren, wurden weitere Experimente, Untersuchungen und Überlegungen durchgeführt. Die Kammern, in denen die Zellkulturen gehalten werden, sind gegen elektrische Felder weitgehend abgeschirmt. Die verbleibenden, ungleich verteilten elektrischen Felder, die auf die Zellkulturen einwirkten, variierten von weniger als 10 bis 33,2 mV/m. Das Magnetfeld dagegen ist gleichmäßig verteilt. Da die DNA-Brüche auch gleichmäßig verteilt auftraten, kann man davon ausgehen, dass die elektrischen Felder keinen Einfluss auf die Bildung der DNA-Schädigung haben.

Da unter Wissenschaftlern diskutiert wird, dass Magnetfelder freie Radikale erzeugen und dadurch oxidativer Stress die DNA-Brüche erzeugt, wurde diese Möglichkeit auch hier untersucht. Dazu wurde den Zellkulturen  $H_2O_2$  (Wasserstoffperoxid, ein starkes Oxidans) zugegeben und mit dem Laborverfahren des „Kometenschweifs“ (Comet Assay) die DNA-Schädigung bestimmt. Es resultierten daraus Kometenschweife, wie sie auch bei Apoptose auftreten. Die Kometenschweife unterschieden sich aber stark zwischen Magnetfeld- und  $H_2O_2$ -Behandlung:  $H_2O_2$  erzeugte Stufe-B-Brüche (geringe Schädigung) und Magnetfelder die Stufen C und E (kleinere Zellpopulationen mit größerer Menge zerstörter DNA oder ablaufender Apoptose = programmierter Zelltod). Ein weiterer Test führte zur Bestätigung, dass oxidativer Stress nicht die Ursache für die DNA-Brüche ist.

Um die Wirkungsmechanismen weiter zu erhellen, wurden verschiedene Phasen des Zellzyklus untersucht. In der S-Phase, in der die DNA-Stränge getrennt und daher empfindlich gegenüber physikalischen und chemischen Einwirkungen sind, entstehen viele DNA-Fragmente, während in der G-Phase (Ruhephase) fast keine zu finden sind. Man kann daraus schließen, dass die Magnetfelder während der (aktiven) Zellteilungsphase eingreifen. Die Magnetfelder erzeugen eventuell mehr apoptotische Zellen, weil der Einstieg der Zellen in die S-Phase nicht richtig zustande kommt oder die Replikation gestört ist.

In diesen Experimenten hier wurden dieselben Prozeduren wie von Ivancsits und Mitarbeitern angewandt, und diese Ergebnisse wurden bestätigt. Die Unterschiede zwischen scheinbehandelten und behandelten Zellen waren etwas geringer und hatten größere Variabilität, waren aber statistisch signifikant bei den Primärzellen, und da besonders bei dem älteren Spender, aber nicht bei den transformierten HeLa-Zellen (Krenzellen), bei denen durch die Transformation Veränderungen in den DNA-Reaktionen verankert sind.

In Ermangelung standardisierter experimenteller Verfahren sind Auswertungen und Vergleichbarkeit von Experimenten immer schwierig. An früheren Experimenten wurde oft kriti-

### Weitere Themen

#### Wirkung von 840 MHz auf das Verhalten, S. 2

Ratten verändern ihr Verhalten als erwachsene Tiere, wenn sie als Neugeborene 840-MHz-Feldern ausgesetzt wurden.

#### Mobilfunkwirkung auf Monozyten, S. 3

Eine von einem kanadischen Telekommunikationsunternehmen unterstützte Arbeit fand geringen Einfluss der Mobilfunkstrahlung auf die Funktion von Monozyten.

#### Schweiz bestätigt Krebs durch Magnetfelder, S. 4

Das Schweizer Bundesamt für Umweltschutz hat einen Bericht zum Krebsrisiko durch Niederfrequenz herausgegeben.

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