

# ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

15. Jahrgang / Nr. 4

www.elektrosmogreport.de

April 2009

## Mobilfunkforschung

### Hämoglobin wird durch GSM-Frequenzen verändert

**Bei Einwirkung der Frequenzen 910 und 940 MHz auf Hämoglobin-Moleküle zeigen sich Veränderungen in Struktur und Funktion. Dadurch wird die Fähigkeit zur Sauerstoffbindung vermindert. Die Abnahme der Sauerstoff-Affinität korreliert mit Intensität und Dauer der Einwirkung.**

Viele Untersuchungen haben nachgewiesen, dass elektromagnetische Felder Wirkungen auf Proteine (Konformation, Hydratation, falsche Faltung der Polypeptidketten, gentoxische Effekte, Eingreifen in die Signalketten, Tumorentwicklung u. a.) ausüben. Hier sollte untersucht werden, welchen Einfluss 900-MHz-Felder auf das Protein Hämoglobin (Hb) haben. Nach den ersten Experimenten zeigte sich, dass die Tertiärstruktur der Hämoglobinmoleküle durch 910- und 940-MHz-Felder signifikant verändert war (Konformationsänderung); die Sekundärstruktur aber kaum beeinflusst war. Um herauszufinden, welche Vorgänge dahinter stecken, erfolgten weitere Untersuchungen mit 940 MHz bei 37 °C, Einwirkzeit eine Stunde, elektrische Feldstärke 77 V/m (entspricht 15,7 W/m<sup>2</sup> oder 1,6 mW/cm<sup>2</sup>).

Bei der thermischen Denaturierung der Proteine konnte man feststellen, dass die den Hochfrequenzfeldern ausgesetzten Proteine stabiler waren als die der Kontrollen. Die Feldeinwirkung führt zu einer Verdichtung, d. h. zu kompakterer Struktur des Hämoglobins und die Aggregation des Hb-Moleküls geht schneller vor sich als bei den Proben ohne Feldeinwirkung. Die Hb-Moleküle aggregieren unter Einfluss von 940-MHz-Feldern bei 54 °C, die unexponierten bei 52 °C. Die thermische Denaturierung des Proteins (Entfaltung) beginnt bei steigender Temperatur zwischen 40 und 70 °C in den exponierten Proben etwas später als bei den Kontrollen und ist auch später beendet. Das heißt, die Hb-Moleküle, die mit 940 MHz behandelt wurden, waren etwas stabiler gegenüber Temperatureinwirkung. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, dass die Sauerstoffbindung immer geringer wurde je länger die 940-MHz-Felder einwirkten.

Durch die Einwirkung von 910 und 940 MHz werden die Hämoglobinmoleküle also in ihrer Bindungsfähigkeit für Sauerstoff beeinträchtigt (bei 37 °C) durch Konformationsänderungen. In der Lunge binden die Hb-Moleküle weniger Sauerstoff und entlassen mehr in das Gewebe. Diese Veränderungen in der funktionalen Aktivität entstehen wahrscheinlich durch die Änderung der Tertiärstruktur unter Einwirkung von elektromagnetischen Feldern mit Frequenzen, die beim Mobilfunk verwendet werden. Die Aggregation der Moleküle wird verzögert im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen. Die Einwirkung von 940 MHz verursacht eine Verdichtung der Hb-

Moleküle, auch hier durch Veränderung der Tertiärstruktur. Diese Experimente zeigen, dass es sich bei Einwirkung von 910 und 940 MHz um nicht-thermische Reaktionen handelt.

#### Quelle:

Mousavy SJ et al. (2009): Effects of mobile phone radiofrequency on the structure and function of the normal human hemoglobin. International Journal of Biological Macromolecules 44, 278–285

## Epidemiologie

### Mehr Krebs bei Radarpersonal des belgischen Militärs

**Unter belgischen Militärangehörigen, die zwischen 1963 und 1994 mit Radargeräten gearbeitet hatten, wurden erhöhte Raten von verschiedenen Krebsarten festgestellt. Statistisch hochsignifikant erhöht waren lymphatische Blutkrebsarten im Vergleich zu Militärpersonal, das im gleichen Zeitraum keinen Kontakt mit Radargeräten hatte.**

Seit den 1950er Jahren wurde die Radartechnik beim Militär vielfach betrieben und man befürchtete später, dass die Mikrowellen (1–10 GHz kontinuierlicher Strahlung von 1,5 kW mit Pulsen von bis zu 500 kW) und die nebenbei entstehende ionisierende Strahlung Krebs verursachen könnten, denn das Personal war wahrscheinlich sehr hohen Feldstärken ausgesetzt.

Untersucht wurden in dieser retrospektiven Kohortenstudie belgische Berufssoldaten, die von 1963 bis 1994 in einer Kaserne im östlichen Nordrhein-Westfalen stationiert gewesen waren. Eine Untersuchungsgruppe (4417 Personen) war in unmittelbarem Kontakt mit Radartechnik beschäftigt, die Kontrollgruppe umfasste 2932 Personen, die im gleichen Zeitraum in anderen Bereichen arbeiteten. Zwischen 1968 und 2004 gab es 424 Todesfälle unter den Radarsoldaten und 271 unter denen der Kontrollgruppe. Die Daten wurden aus den Todes- und Krebsregistern zusammengetragen. Altersgruppen, Geburtsjahr und Lebensgewohnheiten unterschieden sich nicht bei den beiden Gruppen. Auch die Zahlen für die Todesursachen unterschieden sich kaum für Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Ver-

## Weitere Themen

### DNA-Reparatur und Mobilfunk, S. 2

GSM- und UMTS-Frequenzen schwächen die Reparaturmechanismen in menschlichen Lymphozyten.

### Magnetresonanz und Schwangerschaft, S. 3

Die Erwärmung des Gewebes durch MRT bei ungeborenen Kindern ist nach Versuchen an einem Modell höher als erwartet.

letzungen oder andere äußere Umstände, waren aber statistisch signifikant verschieden bei den Krebsfällen, hauptsächlich bei den lymphatischen Blutkrebsarten. Der Unterschied war hoch signifikant mit Faktor 7,22. Bei Augen- und Hirntumoren betrug der Faktor 2,71 und bei den anderen Krebsarten (Magen-Darm-, und Urogenitalbereich oder Atemwege) 2,43. Die Dauer der Beschäftigung war bei den lymphatischen Krebsarten 2–14 Jahre, die Zeitspanne vom Beginn der Beschäftigung bis zum Ausbruch der Krankheit betrug 3–39 Jahre. Bei Tumoren des Gehirns und Nervensystems war die Latenzzeit 20 Jahre oder mehr. 12 von den 19 Männern, die an Hirn- oder Blutkrebs gestorben sind, waren Radartechniker, 3 Mechaniker. Letztere arbeiteten 50–100 m vom Hauptgebäude entfernt und waren stärkeren Feldern ausgesetzt, wenn die Anlagen getestet wurden. 4 von 11 Blutkrebs-Todesfällen waren Ingenieure gewesen, die mit der Wartung der Geräte beauftragt waren und deshalb nah an den Elektronenröhren gearbeitet hatten, und zwar vor den 70er Jahren. Danach wurden besser abgeschirmte Geräte benutzt. Da die Daten der Personengruppen nahezu gleich waren (Lebensumstände, Geburtsjahr, kaum unterschiedliche Belastung durch Chemikalien), kann man davon ausgehen, dass es keinen „Kohorteneffekt“ gibt. Zu klären ist, ob die erhöhten Krebsraten durch die Mikrowellen oder die Röntgenstrahlung hervorgerufen wurden.

#### Quelle:

Degrave E, Meeusen B, Grivegnée AR, Boniol M, Autier P (2009): Causes of death among Belgian professional military operators: A 37-year retrospective cohort study. *International Journal of Cancer* 124, 945–951

### Mobilfunkforschung

## Verminderte DNA-Reparatur durch UMTS und GSM 900

**Diese Untersuchungen an menschlichen primären Zellkulturen von Lymphozyten ergaben, dass durch einige Frequenzen, die im 900-MHz-Bereich (GSM) und bei UMTS zum Einsatz kommen, die Reparaturmechanismen nach DNA-Schädigung gehemmt werden. Das ist ein weiterer Beweis für den Fenstereffekt und DNA-Schädigung durch Mobilfunkfrequenzen bei nicht-thermischen Feldstärken.**

In die DNA-Reparatur nach deren Schädigung sind verschiedene Proteine eingebunden, z. B. das phosphorylierte H2AX- und das TP53-Protein (ein Tumor-Suppressor-bindendes Protein). Das Vorhandensein dieser Proteine markiert Bruchstellen in der DNA, die durch Strahlung oder gentoxische Chemikalien entstanden sind. Die beiden hier verwendeten Proteine werden phosphoryliert, wenn ein DNA-Schaden aufgetreten ist. Sie bilden dann sofort ein Gerüst um die Schadensstellen herum, das Chromatin wird eingebunden und die Reparatur eingeleitet.

Primäre Lymphozyten von Blutproben gesunder und (nach eigener Aussage) elektrosensibler Menschen wurden verschiedenen Frequenzen ausgesetzt, zusätzlich wurden eine negative und 2 positive Kontrollen mitgeführt. Die Untersuchungen wurden als Blindproben doppelt angesetzt. Die Feldstärken der Strahlung von 1947,4 MHz (UMTS) und 915 MHz (GSM 900) entsprachen SAR-Werten von 40 bzw. 37 mW/kg. Die positiven Kontrollen bestanden in Bestrahlung mit Cäsium-137 für die gentoxische Wirkung und Erhitzung auf 41 °C für die Stressreaktion.

Es gab generell keine signifikanten Unterschiede an den DNA-Reparaturstellen zwischen den Proben der elektrosensiblen Personen und denen der Kontrollpersonen. Bei beiden Grup-

pen gab es bei UMTS, 915 MHz und Hitzeschockbehandlung hochsignifikante Hemmung der DNA-Reparaturstellen im Vergleich zu den scheinbestrahlten Proben. Diese Unterschiede hielten erstaunlicherweise 3 Tage an, nur die hitzebehandelten normalisierten sich etwas früher. Bei 905 MHz gab es keine eindeutigen Befunde. 915-MHz-Einwirkung resultierte auch in einer vorübergehenden signifikanten Verdichtung des Chromatins, ähnlich der Kondensation bei Erhitzung auf 41 °C. Dies zeigt, dass 915-MHz-Strahlung einen Stressfaktor darstellt ähnlich der Hitzeinwirkung. Durch die Verdichtung des Chromatins haben möglicherweise die Reparaturproteine keinen Zugang mehr zu den Bruchstellen. Im Gegensatz dazu entsteht durch ionisierende Strahlung (positive Kontrolle) eine Auflockerung des Chromatins. Es wirken demnach unterschiedliche Mechanismen bei der Reaktion auf ionisierende und nicht-ionisierende Strahlung.

UMTS und GSM 900 bewirken eine signifikante Konformationsänderung des Chromatins in menschlichen Lymphozyten, so dass die Reparatur der DNA behindert wird. Dieses Phänomen findet sich bei elektrosensiblen ebenso wie bei den gesunden Personen (Kontrollen). Es sind nur bestimmte Frequenzen, die die Schädigung hervorrufen. Möglicherweise entsteht ein Ungleichgewicht zwischen DNA-Schädigung und DNA-Reparatur. Die Hemmung der DNA-Reparatur geschieht bei Feldstärken, die unter der thermischen Schwelle und weit unter den ICNIRP-Sicherheits-Standards liegen. Bei Überlebensraten der Zellen und Apoptose gab es keine Unterschiede (unter 10 % abgestorbene Zellen), Apoptose war nicht die Ursache der Hemmung. Die Untersuchungen zeigen unzweifelhaft, dass Mikrowellen schädliche Einflüsse auf menschliche Lymphozyten haben, egal ob sich die Personen als elektrosensibel bezeichnen oder nicht. Die wirksamen Frequenzen sind die Trägerfrequenzen der Mobilfunkkommunikation. Dass Unterschiede bestehen sieht man auch daran, dass bei gleicher Feldstärke 915 MHz Schäden verursachen und 905 MHz nicht.

Die Forschergruppe, gebildet aus Wissenschaftlern von verschiedenen Universitäten (Schweden, Slowakei und Russland) haben hier erstmals gezeigt, dass UMTS-Frequenzen auf das Chromatin einwirken. Die Vorstellung war, dass UMTS-Frequenzen stärker wirksam sind als GSM-Frequenzen, weil die Bandbreite bei UMTS mit 5 MHz größer ist als bei GSM 900 (200 kHz). Diese Hypothese konnte mit diesen Experimenten bestätigt werden. Die Ergebnisse sind in zweierlei Hinsicht von großer Bedeutung: erstens basieren die Reaktionen nicht auf thermischen Wirkungen und zweitens kann man nun nach Trägerfrequenzen suchen, die unschädlich bzw. weniger biologisch wirksam sind.

#### Quelle:

Belyaev IY, Markova E, Hillert L, Malmgren LOG, Persson BRR (2009): Microwaves From UMTS/GSM Mobile Phones Induce Long-Lasting Inhibition of 53BP1/H2AX DNA Repair Foci in Human Lymphocytes. *Bioelectromagnetics* 30, 129–141

### Medizinische Diagnostik

## MRT: Diagnostik, Schwangerschaft und Wellness

**Es gibt nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen, die sich mit der Verteilung von Feldern bei Schwangeren befassen haben und wie weit der Fetus betroffen ist. Eine Untersuchung an einem Schwangeren-Modell zeigt, dass im Fetus hohe SAR-Werte erreicht werden. Die Ansichten über die Schädlichkeit der Felder, die während einer Magnetresonanz-Untersuchung einwirken, gehen auseinander.**