

# Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones

Leif G. Salford, Arne E. Brun, Jacob L. Eberhardt, Lars Malmgren, Bertil R.R. Persson, Lund University, the Rausing Laboratory at Lund University Hospital, S-22185 Lund, Sweden, 29.01.2003, doi:10.1289/ehp.6039

[www.ehponline.org](http://www.ehponline.org)

**Übersetzung nur mit der original Salford Studie verwenden!**

[www.hese-project.org](http://www.hese-project.org)

## Schädigung von Nervenzellen im Hirn von Säugetieren nach Exposition gegenüber GSM Handy-Strahlung:

Übersetzung von Dr. Gäbler und Dr. Volker Schorpp

### *Einführende Vorbemerkung des Übersetzers Dr. Schorpp:*

*In dieser Studie wurden lebende Ratten für zwei Stunden der Mikrowellenstrahlung ausgesetzt, welche von einem GSM Handy generiert wurde, vergleichbar dem Gesprächsmodus. Das Handy wurde an TEM-Zellen angeschlossen. Eine TEM-Zelle ist eine genau definierte (elektrotechnische) Vorrichtung zur reproduzierbaren Bestrahlung der Ratten. Der SAR-Wert ist die Spezifische AbsorptionsRate, das heißt, die auf das Körpergewicht bezogene, absorbierte Strahlungsleistung in Watt pro Kilogramm Körpermasse.*

*Albumin ist ein körpereigenes Eiweiß, das im Normalfall nicht durch die Blut-Hirn-Schranke BHS gelangt. Die Blut-Hirn-Schranke ist eine Schicht aus vielen Zellen, die wie eine teildurchlässige Membran wirkt und sich zwischen Hirnwasser und Blutserum befindet. Die BHS reguliert den Stoffwechsel zwischen Blutserum und Hirnwasser. Sie gewährleistet, dass nicht alles, was im Blut ist, auch an die Hirnzellen gelangt. Einige Stoffe des Blutserums dürfen und müssen die Membran durchdringen, für andere Stoffe wiederum wirkt die BHS als lebenswichtige Barriere. Die einfachste Modellvorstellung der BHS ist eine Schranke, die für manche Molekülarten offen ist, aber für andere, zum Teil giftige, ist sie geschlossen. Für Albumin ist eine gesunde BHS geschlossen. Neuronen sind die Nervenzellen im Gehirn, welche für viele Hirnfunktionen verantwortlich sind. GSM ist die Abkürzung für Global System for Mobile Communications (Globales System für Mobilkommunikation). Mit dieser Technik modulierter Hochfrequenzstrahlung (Mikrowellen) funktionieren Handys in Europa.*

### **Zusammenfassung:**

Die möglichen Risiken für den menschlichen Körper durch radiofrequente, elektromagnetische Wechselfelder sind von wachsender Bedeutung für die Gesellschaft. Wir haben schon früher gezeigt, dass schwache, gepulste Mikrowellenstrahlung signifikante Durchlässigkeiten der Blut-Hirn-Schranke (BHS) für Albumin verursacht. Jetzt haben wir untersucht, ob die krankhafte Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke mit einer Schädigung der Neuronen verbunden sein kann. Drei Gruppen von je acht Ratten wurden für zwei Stunden elektromagnetischen GSM-Mobilfunk-Feldern unterschiedlicher Stärke ausgesetzt. Wir fanden und präsentieren hier zu ersten Mal hoch signifikante Beweise ( $p < 0.002$ ) für Neuronenschäden in den Gehirnen bestrahlter Ratten, im Kortex, im Hippocampus und in den Basalganglien.

## Einleitung:

„Das seit jeher größte, biologische Experiment am Menschen.“ So wurde die willentliche Mikrowellenbestrahlung der Gehirne eines Viertels der Weltbevölkerung durch Mobiltelefone bezeichnet (Salford et al. 2001)

In naher Zukunft werden Mikrowellen auch von einer Fülle anderer kabelloser Geräte ausgesendet werden, sowohl im Büro als auch in der Wohnung. Die möglichen Risiken für den menschlichen Körper von elektromagnetischen Wechselfeldern im Radiofrequenzbereich (RF) sind von wachsender Bedeutung für die Gesellschaft. Für einen Überblick siehe Hyland (Hyland 2000). Die meisten Forschungen in diesem Bereich befassten sich mit der Frage, ob die RF-Strahlung Krebswachstum verursachen oder begünstigen kann. Einige haben ein zunehmendes Krebsrisiko aufgezeigt (Hardell et al. 2002; Repacholi et al. 1997), während die meisten Studien, unsere eigene eingeschlossen, keine derartigen Effekte aufgezeigt haben (Salford et al. 1997a), oder sogar ein abnehmendes Krebsrisiko gefunden wurde (Adey et al. 1999).

Das Interesse möglicher Risiken für den menschlichen Körper durch Mikrowellen wurde seit den 60er Jahren geweckt, noch vor dem Aufkommen der Mobiltelefone, als Radartechnik und Mikrowellenherde dieses mögliche Gesundheitsproblem aufwarfen. Schon früh veröffentlichten Oscar und Hawkins Studien über Effekte der Mikrowellenstrahlung auf die Blut-Hirn-Schranke (Oscar and Hawkins 1977). Sie zeigten, dass bei sehr geringen Energieflussdichten ( $< 10 \text{ W/m}^2$ ) die elektromagnetischen Felder in einem begrenzten Bestrahlungsfenster signifikante Durchlässigkeiten der BHS verursachten. Es gelangten  $^{14}\text{C}$  Mannitol, Innulin und auch Dextran (gleiches Molekulargewicht wie Albumin) von den Kapillaren in das umgebende Kleinhirngewebe. Diese Ergebnisse wurden jedoch in einer Studie mit  $^{14}\text{C}$  Saccharose nicht wiedergefunden (Gruenau 1982). Kürzlich wurde in einer Reagenzglas-Studie gezeigt, dass 1,8 GHz Strahlung die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke für Saccharose (pflanzlicher Zucker) vergrößert (Schirmacher et al. 2000). Shivers (Shivers et al. 1987; Prato et al. 1990) untersuchte den Effekt von MRI (Magnet-Resonanz-Bildgebung) auf das Rattengehirn. Sie zeigten, dass die kombinierte Bestrahlung mit elektromagnetischen Wechselfeldern, gepulsten und statischen Magnetfeldern einen signifikanten, pinozytotischen (*tröpfchenweisen*), Albumin-Transport aus den Kapillaren ins Gehirn verursachen.

Angeregt von dieser Arbeit, hat unsere Gruppe seit 1988 die Wirkung von 915 MHz Strahlung bei verschiedenen Leistungsflussdichten und Modulationen in einem Rattenmodell studiert, bei der die Bestrahlung mit unterschiedlichen Zeitdauern in einer TEM- Zelle stattfindet. In Versuchsreihen mit mehr als 1600 Tieren haben wir bewiesen, dass athermische Energien von beidem, sowohl gepulst modulierten als auch kontinuierlichen RF-Wechselfeldern – einschließlich der von echten GSM-Handys – die Fähigkeit haben, die Blut-Hirn-Schranke signifikant für das den Tieren körpereigene Albumin (nicht aber Fibrinogen) zu öffnen und dass dieses ins Gehirn gelangt und sich in den ( *bzw. um die*) Neuronen und Gliazellen ansammelt, welche die Kapillaren umgeben (Malmgren 1998; Person et al. 1997; Persson and Salford 1996; Salford et al. 1992, 1993, 1994, 1997, 2001) (siehe Figur 1). Die Ergebnisse wurden jüngst in einem anderen Labor wiederholt (Töre et al. 2001). Ähnliche Ergebnisse wurden auch von anderen gefunden (Fritze et al. 1997).

Wir und andere (Oscar and Hawkins 1977; Persson et al. 1997) haben darauf hingewiesen, dass, wenn ein solch relativ großes Molekül wie Albumin die Blut-Hirn-Schranke passieren kann, auch viele andere, kleinere Moleküle, einschließlich giftige, aufgrund der Bestrahlung ins Gehirn gelangen könnten. Wir sind bisher nicht zu dem Schluss gekommen, dass solche Durchlässigkeiten schädlich für das Gehirn sind. Hassel hat jedoch gezeigt, dass eine in das Hirngewebe von Ratten gespritzte Albuminlösung zu Schädigungen der Neuronen an der Einspritzseite führt, wenn die Konzentration von Albumin der eingespritzten Lösung wenigstens 25% der (*natürlichen*) Albuminkonzentration im Blut beträgt (Hassel et al. 1994). In dieser Studie haben wir untersucht, ob die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke Neuronenschäden verursachen kann.

## Material und Methoden:

Für die Bestrahlung von Ratten wurde eine TEM Zelle (Transverse Elektromagnetic transmission line cell) verwendet, entworfen und in der Größe skaliert anhand früherer, vom National Bureau of Standards (Crawford 1974) konstruierter Zellen. TEM-Zellen erzeugen einheitliche elektromagnetische Felder für Standardmessungen. Ein original GSM Handy mit einstellbarer Ausgangsleistung ist über ein Koaxialkabel mit der TEM-Zelle verbunden. Es wurde ohne Stimmenmodulation gearbeitet.

Die Zelle befindet sich in einer Holzkiste (15 x 15 x 15cm), welche den Außenleiter und die Zentralplatte stützt. Der äußere Leiter ist aus Messingnetz gemacht und ist an den inneren Wänden der Box befestigt. Die Zentralplatte oder Zwischenwand ist aus Aluminium gefertigt.

Die TEM-Zellen befanden sich in einem temperaturkontrollierten Raum und die Temperatur in den TEM-Zellen wurde konstant gehalten mit zirkulierender Raumluft durch Löcher der Holzkiste.

Die SAR-Verteilung im Rattenhirn wurde mit der FDTD-Methode (Martens et al. 1993) simuliert und Schwankungen im Rattenhirn von weniger als 6dB ermittelt (*SAR-Wert-Unterschiede im Rattengehirn weniger als um den Faktor 4*).

Die Ratten wurden in Plastikkästen (12 x 12 x 7 cm) platziert, um einen Kontakt mit der Zentralplatte und dem äußeren Leiter zu vermeiden. Der Boden der Kästen wurde mit einem aufnahmefähigen Papier ausgelegt, um Urin und Kot aufzunehmen.

32 männliche und weibliche Fischer-344-Ratten im Alter zwischen 12 und 26 Wochen und einem Gewicht von  $282 \pm 91$ g wurden in 4 Gruppen von je 8 Ratten unterteilt.

Die Spitzenausgangsleistung des GSM Handys speiste 2 TEM-Zellen jeweils gleichzeitig 2 Stunden lang mit 10 mW bzw. 100 mW bzw. 1000 mW pro Zelle. So wurden die Rattengruppen jeweils unterschiedlichen Peak -Leistungsflussdichten von  $0,24 \text{ W/m}^2$  bzw.  $2,4 \text{ W/m}^2$  bzw.  $24 \text{ W/m}^2$  ausgesetzt. Durch diese Bestrahlung resultieren durchschnittliche Ganzkörper - SAR-Werte von 2 mW/kg bzw. 20 mW/kg bzw. 200 mW/kg. Für weitere Details zu den Bestrahlungsbedingungen und SAR-Berechnungen siehe Martens bzw. Malgrem (Martens et al. 1993;Malgrem 1998). Die vierte Rattengruppe wurde gleichzeitig für 2 Stunden in ausgeschalteten TEM -Zellen gehalten. Die Tiere waren wach während der Bestrahlung und konnten sich innerhalb der Bestrahlungskammer bewegen.

Die Tiere jeder Bestrahlungsgruppe durften noch ca. 50 Tage nach der Bestrahlung leben. Sie wurden täglich genau beobachtet, um während dieser Zeit neurologische oder Verhaltensstörungen festzustellen. Danach wurden sie betäubt und getötet durch eine Perfusionsfixierung mit 4% Formaldehyd.

Die Hirne wurden von den Schädeln mittels einer verletzungsfreien Technik abgelöst (abtrennen der Knochenstrukturen an der Schädelbasis, gefolgt von einem Mittelschnitt vom Foramen magnum hin zur Nase) nach einer ausgedehnten Zeitdauer von 30 Minuten, in der die Tiere nach dem Töten in natürlicher Lage fixiert waren. Jedes Gehirn wurde kranzförmig in 1-2 mm dicke Scheiben geschnitten, welche alle in Paraffin eingelegt wurden und dann zu 5 Mikrometer geschnitten, angefärbt für RNA/DNA mit Cresyl Violet, um dunkle Neuronen sichtbar zu machen. Durch das Verwenden von Albumin-Antikörpern (Dakopatts) wird Albumin zum Vorschein gebracht, als bräunliche, fleckige oder mehr diffuse Verfärbungen (Figur 1a und 1b). Die mikroskopische Analyse wurde ohne Kenntnis der Testsituation durchgeführt.

Das Auftreten dunkler Neuronen wurde vom Neuropathologen halbquantitativ mit drei möglichen Bewertungsstufen beurteilt. Bewertung 0 für keine oder nur gelegentliche dunkle Neuronen, Bewertung 1 für moderates Erscheinen dunkler Neuronen und Bewertung 2 für reichliches Erscheinen dunkler Neuronen (Figur 3). Die Kruskal Wallis Ein-Weg-Analyse (Rang-Varianz-Analyse) wurde für einen simultanen, statistischen Test der Stufenverteilungen für die 4 Bestrahlungsbedingungen verwendet. Als die Nullhypothese (hier: Annahme keiner Schädigung) ausgeschlossen werden konnte, wurden Vergleiche zwischen der Kontrollbedingung und jeder der Bestrahlungsbedingungen gemacht, mit dem nonparametrischen Mann-Whitney Test für unabhängige Stichproben.

## **Ergebnisse und Diskussionen:**

Kontroll- und Testtiere zeigten die gleiche, normale, diffuse Albumin-Immunverfärbung im Hypothalamus, eine Art eingebaute Methodenkontrolle.

Die Kontrolltiere zeigten entweder keine oder eine gelegentliche und oft fragwürdige Albumin Positivreaktion außerhalb des Hypothalamus. In einem Kontrolltier wurde eine moderate Menge dunkler Neuronen beobachtet (*Stufe 1*), während in allen anderen Kontrolltieren eine solche Veränderung nicht präsent war.

Bestrahlte Tiere zeigten gewöhnlich mehrere positive Albuminzentren um die feineren Blutgefäße herum, in weißer und grauer Substanz. Hier hatte sich das Albumin in das Gewebe zwischen den Zellkörpern ausgebreitet und umgab Neuronen, welche (*im Inneren*) entweder frei von Albumin waren oder in einigen Stellen Albumin enthielten (*also Albumin auch in Neuronen eindrang*). Ebenso waren unregelmäßig verteilte Neuronen positiv, welche nicht mit dem Eindringen von Albumin zwischen die Neuronen in Zusammenhang standen.

Die Cresyl Violett Anfärbung brachte verstreute und gruppierte, dunkle Neuronen zum Vorschein, welche oft geschrumpft und dunkel verfärbt waren, homogenisiert, unter Verlust unterscheidbarer , inneren Zellstrukturen. Einige dieser dunklen Neuronen waren auch albuminpositiv oder enthielten zytoplasmische Mikrovakuolen, was einen aktiven, krankhaften Prozess anzeigt. Dabei traten angrenzend an die veränderten Neuronen keine Blutungen und keine erkennbare Gliazellenreaktion auf, weder bei den Astrozyten noch bei den Mikroglia. Veränderte Neuronen wurden überall aufgefunden, aber besonders im Kortex, im Hippocampus und in den Basalganglien unter normalen Neuronen verteilt (Figur 2). Der Prozentsatz anormaler Neuronen lag grob geschätzt bei maximal ca. 2% aber in einigen begrenzten Bereichen dominierten sie das Bild.

Das Vorkommen dunkler Neuronen unter verschiedenen Bestrahlungsbedingungen ist in Figur 3 dargestellt, welche zwischen der Dosis der elektromagnetischen Strahlung (SAR-Wert) und der Anzahl dunkler Neuronen eine signifikante, positive Beziehung zeigt.

Ein non-parametrischer Kombinationstest für die 4 Bestrahlungssituationen (gemeinsam) lässt erkennen, dass sich die Verteilungen der Bewertungsstufen signifikant zwischen den Gruppen unterscheiden ( $p < 0,002$ ).

Wir präsentieren hier zum ersten Mal Beweise für Neuronenschäden durch athermische Mikrowellenexposition. Der Kortex ebenso wie der Hippocampus und die Basalganglien in den Gehirnen von bestrahlten Ratten enthalten geschädigte Neuronen. Wir sind uns dessen bewusst, dass unsere Studie nur wenige Tiere umfasst, aber die kombinierten Ergebnisse sind hoch signifikant und zeigen einen klaren Dosis-Wirkungs-Zusammenhang.

Die beobachteten dunklen Neuronen werden aus folgenden Gründen nicht als Artefakt erachtet. Die Gehirne wurden in der natürlichen richtigen Lage durch Perfusion fixiert und unverletzt entnommen. Die dunklen Neuronen waren zwischen den normal erscheinenden Neuronen verteilt (siehe Figur 2a, b). Des Weiteren ist das Vorhandensein von Vakuolen in mehreren der dunklen Neuronen ein klares Zeichen, dass die Schädigung im lebenden Tier auftritt. Wir können nicht ausschließen, dass die beschriebenen Veränderungen der Neuronen einen apoptotischen Zelltod darstellen.

Die Albuminaufnahme der Neuronen und andere beschriebene Veränderungen scheinen eine ernsthafte Neuronenschädigung zu zeigen, welche vermittelt sein könnte durch Schädigung von Zellorganellen unter Freisetzung sowohl hydrolytischer, lysosomaler Enzyme, als auch z.B. abgelagerter, schädlicher Stoffe, wie Schwermetalle, welche gespeichert waren in zytoplasmatischen Organellen (Lysosomen).

Die Zeitdauer zwischen der letzten Bestrahlung und dem Töten ist sehr wichtig für den Nachweis der fokalen Durchlässigkeiten, weil aus einem Blutgefäß ins Gewebe ausgetretenes Albumin sich schnell zu (*so geringen*) Konzentration verdünnt, welche einen genauen immunhistologischen Nachweis nicht mehr erlauben.

Das erste Albumin-Austreten ins Hirngewebe jedoch (welches wir innerhalb von Stunden bei ca. 40% aller bestrahlten Tiere unserer vorausgegangenen Studie sahen) kann ein zweites Öffnen der Blut-Hirn-Schranke herbeiführen, was zu einem Teufelskreis führt – denn wir fanden einen Albumin-Austritt ins Gehirn sogar noch 8 Wochen nach der Bestrahlung.

Der Grund für unsere Wahl 12 bis 26 Wochen alte Ratten zu verwenden ist, dass sie in Bezug auf ihr Alter (*biologischer Entwicklungsstand der Gehirne*), vergleichbar mit (menschlichen) handysüchtigen Teenagern sind. Die Situation des heranwachsenden Gehirns sollte eine besondere Beachtung von der Gesellschaft verdienen, weil biologische und im Wachsen begriffene Prozesse verletzlich sind. Der intensive Handygebrauch von Jugendlichen ist ein ernsthaftes Mahnzeichen. Derartige Neuronenschäden, wie hier beschrieben, müssen nicht sofort beweisbare Folgen haben, selbst bei wiederholtem Auftreten. Es könnte jedoch langfristig zu reduzierter Gehirnreservekapazität (*Gehirnleistung*) führen, welche sich durch eine andere, spätere, neuronale Krankheit herausstellen könnte oder durch eine Abnutzungserscheinung im Alter.

**Wir können nicht ausschließen, dass eine ganze Generation von Handynutzern nach einigen Jahrzehnten (häufigen) täglichen Gebrauchs negative Effekte erleiden kann, möglicherweise schon in ihrem mittleren Lebensalter.**

### Korrektur

Die Bilder 1 (*a und b*) im ursprünglichen Manuskript bezogen sich auf das Kapitel "Material und Methoden" und zeigten Albumin-Durchlässigkeiten über die wir früher berichteten. Die Bilder zeigten Hirnquerschnitt-Beispiele von Ratten, die sofort nach der Mikrowellenbestrahlung getötet wurden. Weil dies mißverstanden werden könnte und im Interesse der Klarheit haben wir mit der Erlaubnis des Herausgebers die Bilder 1 (*a und b*) ausgetauscht.

Die neuen Bilder 1 (*a und b*) beziehen sich nun auf das Kapitel "Ergebnisse" und zeigen Tiere der aktuellen Studie (*nach 50 Tagen getötet und seziiert*). Bild 1a zeigt das Gehirn eines scheinexponierten Kontrolltieres und Bild 1b zeigt ein 2 Stunden lang mit 2 mW/kg bestrahltes Tier.

### Bilder und Bildbeschreibungen:



Bild 1a:

Geringfügig vergrößerter, zentraler Hirnquerschnitt einer unbestrahlten Kontrollratte nach dem Auftragen von Albumin-Antikörpern, mit bräunlich erscheinender Albumin-Verfärbung in den zentralen, niederen Teilen des Gehirns, dem Hypothalamus, ein normales Merkmal.

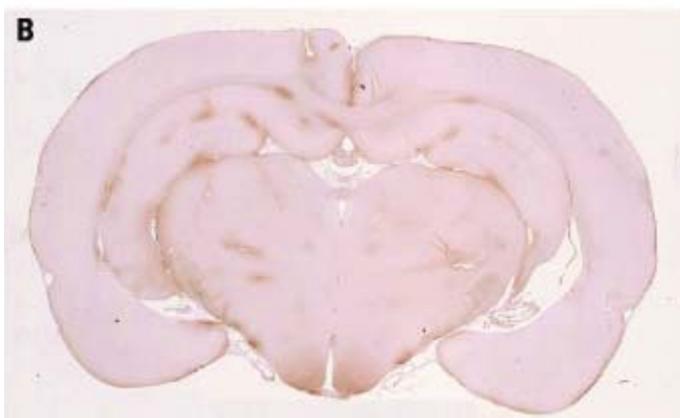


Bild 1b:

Wie Bild 1a, nur einer bestrahlten Ratte, Ganzkörper SAR 2mW/kg, nach dem Auftragen von Albumin-Antikörpern. Das Albumin erscheint in einer Vielzahl kleiner, bräunlicher, fokaler Bereiche, welche Durchlässigkeiten von vielen Gefäßen repräsentieren.

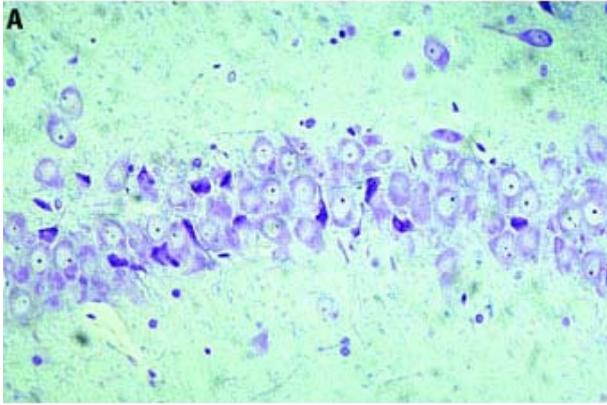


Bild 2a:

Stark vergrößerte mikroskopische Hirnaufnahme nach dem Anfärben mit Cresyl Violet. Eine Reihe von Nervenzellen in einem Bereich des pyramidalen Zellbandes des Hippocampus einer strahlenexponierten Ratte. Zwischen den normalen, großen, blassblauen Nervenzellen befinden sich schwarze und geschrumpfte Nervenzellen, sogenannte dunkle Neuronen.

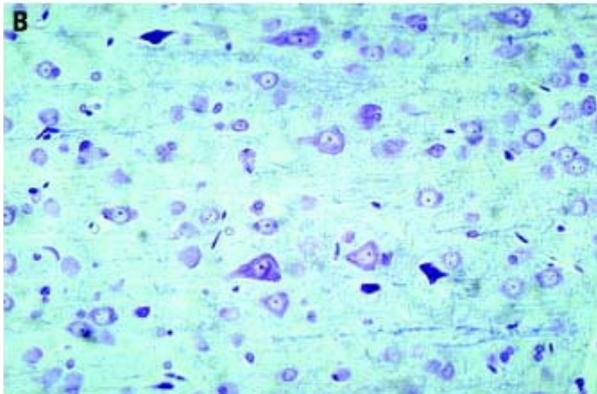


Bild 2b:

Stark vergrößerte mikroskopische Hirnaufnahme nach dem Anfärben mit Cresyl Violet. Der Kortex einer strahlenexponierten Ratte zeigt normale, blassblaue Nervenzellen, vermischt mit abnormalen, schwarzen und geschrumpften, dunklen Neuronen in allen Tiefen des Kortex, am wenigsten in den äußeren, oberen Schichten.

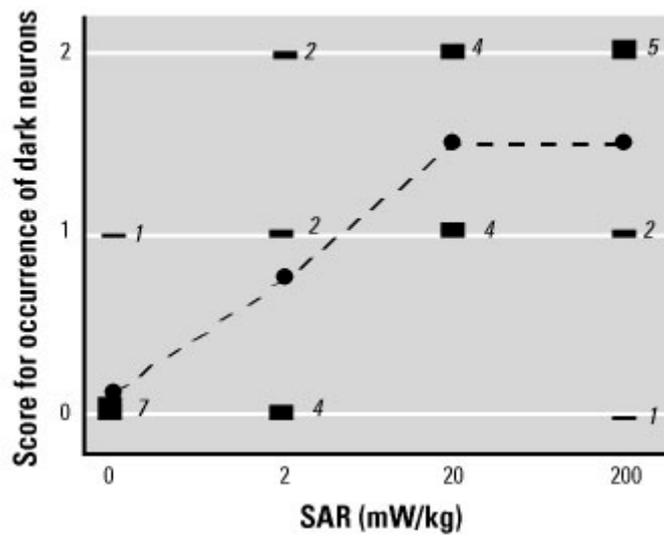


Bild 3:

Die Verteilung der Bewertungsstufen für das Auftreten "dunkler Neuronen" als Funktion der Expositionsbedingung. Die gestrichelte Linie verbindet die Mittelwerte jeder Bestrahlungsbedingung. Ein simultaner, nonparametrischer Vergleich aller vier Bedingungen ergab signifikante Unterschiede ( $p < 0,002$ ). Die p-Werte in dem Diagramm beschreiben Vergleiche jeder Bestrahlungsbedingung bezogen auf die Kontrollgruppe.

## Literaturverzeichnis:

- Adey W, Byus C, Cain C, Higgins R, Jones R, Kean C et al. 1999. Spontaneous and Nitrosourea-induced Primary Tumors of the Central Nervous System in Fisher 344 rats exposed to 836 MHz Modulated Microwaves. *Radiat Res* 152:293-302.
- Crawford M. 1974. Generation of standard EM field using TEM transmission cells. *IEEE Trans Electromagn Compat EMC-16*:189-195.
- Fritze K, Sommer C, Schmitz B, Mies G, Hossman K, Kiessling M et al. 1997. Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathol (Berlin)* 94:465-470.aa
- Gruenau SP, Oscar KJ, Folker MT, Rapoport SI. 1982. Absence of microwave effect on blood-brain-barrier permeability to [ C-14 ] - labeled sucrose in the conscious rat. *Experimental Neurology* 75:299-307.
- Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Carlberg M, Pålsson A, Lilja A. 2002. Cellular and Cordless telephones and the risk for brain tumours. *European Journal of Cancer Prevention* 11:377-386.
- Hasel B, Iversen E, Fonnum F. 1994. Neurotoxicity of Albumin in-vivo. *Neuroscience Letters* 167:29-32.
- Hyland G. 2000. Physics and Biology of Mobile Telephony. *Lancet* 356:1833-1836.
- Malmgren L. 1998. Radio frequency systems for NMR-imaging-Coil development and studies of non-thermal biological Effects. Series of Licentiate and Doctoral Theses, No. 6, Department of Applied Electronics, Lund University, Lund, Sweden.
- Martens L, Van Hese J, De Sutter D, De Wagter C, Malmgren L, Persson BRR, Salford LG. 1993. Electromagnetic field calculations used for exposure experiments on small animals in TEM-cells. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 30:73-81.
- Oscar K, Hawkins T. 1977. Microwave alteration of the blood-brain barrier system of rats *Brain Res* 126:281-293.
- Persson B, Salford L, Brun A. 1997. Blood-brain barrier permeability in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication . *Wireless Networks* 3:455-461.
- Prato F, Frappier J, Shivers R, Kavaliers M, Zabel P, Drost D et al. 1990. Magnetic resonance imaging increases the blood-brain barrier permeability to 153-gadolinium diethylenetriaminepentaacetic acid in rats. *Brain Res* 523:301-304.
- Repacholi M, Basten A, Gebiski V, Noonan D, Finnie J, Harris A. 1997. Lymphomas in E?-Pim1 Transgenic Mice Exposed to Pulsed 900 MHz Electromagnetic Fields. *Radiat Res* 147:631-640.
- Salford LG, Brun A, Eberhardt J, Malmgren L, Persson B. 1992. Electromagnetic fieldinduced permeability of the blood-brain barrier shown by immunohistochemical methods. In: *Interaction Mechanism of Low-Level Electromagnetic Fields in Living Systems* (Nordén B, Ramel C, eds). Oxford:Oxford University Pres, 251-258.
- Salford LG, Brun A, Eberhardt J, Persson B. 1993. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, 200 Hz. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics* 30:293-301.

Salford LG, Brun A, Sturesson K, Eberhardt J, Persson B. 1994. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz Electromagnetic Radiation, Continuous Wave and Modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. *Microscopy Research and Technique* 27:535-542.

Salford LG, Brun A, Persson B. 1997a. Brain tumour development in rats exposed to electromagnetic fields used in wireless communication. *Wireless networks* 3:463-469.

Salford LG, Persson B, Brun A. 1997b. Neurological Aspects on Wireless Communication. In: *Non-Thermal effects of RF Electromagnetic Fields. Non-Thermal effects of RF Electromagnetic Fields* (Bernhardt JH, Matthes R, Repacholi MH eds). Munich, Germany: International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, 131-143.

Salford LG, Persson B, Malmgren L, Brun A. 2001. Téléphonie Mobile et Barrière Sang-Cerveau. In : *Téléphonie Mobile – Effets Potentiels sur la Santé des Ondes Électromagnétiques de Haute Fréquence*. (Pietteur M, ed). Embog, Belgium. 141-152.

Schirmacher A, Winters S, Fischer S, Goeke J, Galla HJ, Kullnick U, et al. 2000. Electromagnetic fields (1.8 GHz) increase the permeability to sucrose of the blood-brain barrier in vitro. *Bioelectromagnetics* 21:338-345.

Shivers R, Kavaliers M, Teskey G, Prato F, Pelletier R. 1987. Magnetic resonance imaging temporarily alters blood-brain barrier in the rat. *Neuroscience Letters* 76:25-31.

Töre F, Dulou P-E, Haro E, Veyret B, Aubineau P. 2001. Two-hour Exposure to 2 W/kg, 900 MHz GSM microwaves induces Plasma Protein Extravasation in Rat Brain. In: *Proceedings from the 5th International Congress of the European Bioelectromagnetics Association, 6 September 2001* (Hietanen M, Jokela K, Juutilainen, J, ed). Finnish Institute of Occupational health, Helsinki, 43-45.