

In: VALDOR Symposium „Values in Decisions on Risks“ herausgegeben von K. Andersson. Stockholm (Schweden), 2006. S. 290 – 297.
http://www.congrex.com/valdor2006/papers/40_Belyaev.pdf

Risikoabschätzung von Langzeitexpositionen gegenüber nichtthermischer Mobilfunk-Mikrowellenstrahlung

Igor Y. Belyaev

Fachbereich Genetik, Mikrobiologie und Toxikologie, Universität Stockholm, Schweden (SE-10691)

Deutsche Übersetzung von Katharina Gustavs

1. Einführung

Die zahlreichen Funkquellen führen dazu, dass die allgemeine Bevölkerung ständig Mikrowellenstrahlen (MW) im nichtthermischen Bereich ausgesetzt ist. Seit den bahnbrechenden Untersuchungen zu Beginn der siebziger Jahre [1, 2] sind verschiedenste biologische Reaktionen auf nichtthermische Mikrowellenstrahlung einschließlich negativer Auswirkungen auf die Gesundheit weltweit von vielen Forschungsgruppen beschrieben worden [3, 4]. Zahlreiche Untersuchungsergebnisse lieferten überzeugende Beweise, dass Mikrowellenstrahlung unterhalb der thermischen Schwelle biologische Wirkungen auslöst. Dabei stellte sich auch heraus, dass diese Wirkungen von mehreren physikalischen Parametern und biologischen Variablen abhängig sind: Trägerfrequenz eines „Resonanztyps“ innerhalb eines spezifischen Frequenzfensters; Modulation und Polarisation; nichtlineare Abhängigkeit von der Leistungsflussdichte innerhalb eines spezifischen Feldstärkefensters einschließlich ultraschwacher Leistungsflussdichten und spezifischer Absorptionsraten (SAR) vergleichbar mit Feldstärken von Mobilfunkanlagen; Versmälerung des Frequenzfensters mit abnehmender Strahlungsintensität; hohe Empfindlichkeit nichtthermischer Mikrowelleneffekte auf die Expositionsdauer und -unterbrechung; Abhängigkeit von Zelldichte, die auf Zell-Zell-Interaktion während nichtthermischer Mikrowelleneinstrahlung hindeutet; genetische Veranlagung, physiologische Variable während der Exposition und das oxidationshemmende Potenzial, freie Radikale zu neutralisieren und Mikrowelleneffekte zu minimieren. Auch wenn sie noch nicht bestätigt werden konnten, gibt es Beobachtungen, die darauf hindeuten, dass Geschlecht, Einzelmerkmale, Sauerstoffkonzentration, statische Magnetfelder und elektromagnetische Streufelder während der Exposition für die von nichtthermischer Mikrowellenstrahlung ausgelösten Wirkungen durchaus von Bedeutung sein könnten [5]. Die meisten dieser Gesetzmäßigkeiten lassen deutlich erkennen, dass Mikrowelleneffekte im Niedrigdosisbereich nicht mit Hilfe von irgendwelchen thermischen Effekten erklärbar sind.

Trotz einer beachtlichen Anzahl von biologischen Studien zur nichtthermischen Mikrowellenstrahlung sind nur sehr wenige davon durchgeführt worden, um Erstergebnisse von nichtthermischen Mikrowelleneffekten zu replizieren. Dabei sollte darauf hingewiesen werden, dass die „Replikationsstudien“ gewöhnlich nicht mit den ursprünglichen Studien vergleichbar sind, da entweder die Beschreibung wichtiger Parameter fehlt oder deutliche Unterschiede zwischen den Parametern der Erststudie und der Replikationsstudie bestehen.

2. Risikoabschätzung von Mobilfunksignalen

Die Sicherheitsrichtlinien einiger Organisationen wie z. B. der ICNIRP [6] beruhen auf thermischen Effekten bei akuten Expositionen und können daher nicht vor möglichen nichtthermischen Effekten bei Langzeitexpositionen gegenüber nichtthermischer Mobilfunk-Mikrowellenstrahlung schützen. Die Behörden einiger Länder wie z. B. die russische Strahlenschutzbehörde RNCNIRP haben deutlich niedrigere Sicherheitsrichtlinien verabschiedet

[7], die auf Langzeitstudien und der Anerkennung von nichtthermischen Wirkungen beruhen. Die Sachlage hat sich insofern verändert, dass die allgemeine Bevölkerung inzwischen ständig nichtthermischer Mikrowellenstrahlung (viel länger als die früher untersuchte Expositionsdauer) von verschiedenen Funkquellen ausgesetzt ist, einschließlich Mobiltelefone und Mobilfunkanlagen nach GSM- und UMTS/3G-Standard, WLAN (Wireless Local Area Networks oder drahtlose lokale Netzwerke), WPAN (Wireless Personal Area Networks oder drahtlose persönliche Netzwerke wie z. B. Bluetooth), schnurlose DECT-Telefone (Digital Enhanced (früher European) Cordless Telecommunications). Die RCNIRP räumt ein, dass die derzeit gültigen Sicherheitsrichtlinien* insofern nicht mit der Wirklichkeit übereinstimmen, weil die allgemeine Bevölkerung einer Vielzahl von Mikrowellensignalen gleichzeitig ausgesetzt ist, deren Expositionsdauer mit der Lebensdauer vergleichbar ist [8].

Die Mehrzahl der Mikrowellensignale, die im tatsächlichen Mobilfunk Anwendung finden, sind bis jetzt noch nicht auf ihre schädlichen Wirkungen überprüft worden. Es gibt nur sehr wenig Forschung zu den gebräuchlichen Signalen sowie Expositionsdauer und Unterbrechungsmustern, die den Langzeitexpositionen gegenüber dem Mobilfunk im wirklichen Leben entsprechen würden. In einigen Studien sind sogenannte „Mobilfunk ähnliche“ Signale untersucht worden, die den tatsächlichen Expositionen in wichtigen Aspekten gar nicht entsprachen: z. B. Trägerfrequenz, Modulation, Polarisierung, Expositionsdauer und – unterbrechung. Inwieweit diese Studien für die Einschätzung der Gesundheitsrisiken von Mobilfunk-Mikrowellenstrahlung relevant sind, ist unbekannt. Zum Beispiel GSM-Handynutzer setzen sich während eines Telefonats verschiedenen Trägerfrequenzen der Mikrowellenstrahlung aus. In Europa gibt es 124 verschiedene Kanäle/Frequenzen, die bei GSM900 zur Anwendung kommen. In dem Frequenzband zwischen 890 MHz und 915 MHz sind die Kanäle 0.2 MHz breit. Handynutzer werden von der Mobilfunkbasisstation in Abhängigkeit von der Anzahl der verbundenen Teilnehmer mit verschiedenen Frequenzen versorgt. Während eines Telefonats kann die Basisstation die Frequenz ändern. Wir haben gezeigt, dass negative Auswirkungen durch die nichtthermischen Mikrowellen der GSM-Mobiltelefone von der Trägerfrequenz abhängig sind [9-11]. Frequenz abhängige Effekte der GSM-Mikrowellenstrahlung auf die 53BP1/ γ -H2AX DNS-Reparaturzentren sind in Replikationsstudien an menschlichen Lymphozyten von gesunden und elektrosensiblen Personen, menschlichen Fibroblasten und menschlichen Stammzellen beobachtet worden [9-11].

GSM verwendet GMSK-Modulation (Gaussian Minimum Shift Keying). Im Gegensatz zu GSM-Mobiltelefonen verwenden die UMTS-Mobiltelefone der dritten Generation (3G) praktisch QPSK-Modulation (Quadrature Phase Shift Keying) und strahlen breitbandige Signale mit einer Bandbreite von 5 MHz ab. Aufgrund möglicher „effektiver“ Frequenzfenster innerhalb der Frequenzbänder kann die UMTS-Mikrowellenstrahlung rein theoretisch eine größere biologische Wirkung erzeugen. Wir haben ein reales UMTS-Signal, wie es in Schweden von 3G-Mobilfunkanbietern verwendet wird, untersucht. Die schädlichen Wirkungen, die durch die UMTS-Mikrowellenstrahlung in menschlichen Lymphozyten, Fibroblasten und Stammzellen induziert wurde, waren signifikant [9, 11]. Die Ergebnisse standen mit unserer Hypothese im Einklang, die besagt, dass UMTS-Mikrowellenstrahlung aufgrund seiner Signalcharakteristik größere Schadenswirkungen als die GSM-Mikrowellenstrahlung auslösen kann.

3. Dringender Bedarf an Risikoabschätzung und zusätzlichen Perspektiven

Man sollte davon ausgehen, dass einige Bevölkerungsgruppen wie z. B. Kinder, Schwangere und sehr empfindliche Personengruppen besonders empfindlich auf nichtthermische Mikrowellenexpositionen reagieren können. Es zeichnet sich immer deutlicher ab, dass das SAR-Konzept, das zur Festlegung von Sicherheitsrichtlinien weite Verbreitung gefunden hat, als einziger Bewertungsmaßstab für die Abschätzung der Gesundheitsrisiken durch Mobilfunk-Mikrowellenstrahlung nicht sinnvoll ist. Inwieweit andere Expositionsparameter wie z. B.

Trägerfrequenz, Modulation, Polarisation, Expositionsdauer und -unterbrechung auch wichtig sind und berücksichtigt werden sollten, ist eine dringende Frage, die es zu klären gilt. Um diese Frage jedoch klären zu können, wäre es sehr hilfreich, das Wissen um die biophysikalischen Wirkmechanismen der nichtthermischen Mikrowelleneffekte mit einzubeziehen. Wir sind weit davon entfernt, ein umfassendes Verständnis über die Wirkungsweise der nichtthermischen Mikrowelleneffekte zu besitzen. Es sind noch viele Fragen offen: Z. B. ist unklar, ob die Wirkung der nichtthermischen Mikrowellenstrahlung von zeitgleichem elektromagnetischen Rauschen und statischer Magnetfeldexposition abhängig ist. Abgesehen von der grundlegenden Bedeutung dieser Erkenntnisse, würde dieses Wissen die Entwicklung eines ungefährlichen Mobilfunks fördern.

Bisher haben die meisten Laborstudien und fast alle epidemiologischen Studien die Besonderheiten der nichtthermischen Mikrowelleneffekte nicht berücksichtigt und daher können im Hinblick auf gesundheitliche Auswirkungen von Mobilfunk-Mikrowellenstrahlung nur sehr begrenzte Schlussfolgerungen aus diesen Studien gezogen werden. In diesem Zusammenhang sollte nicht unerwähnt bleiben, dass sich eine Gruppe von Epidemiologen, die schon seit Langem das Verhältnis von Mobiltelefon-Nutzung und Krebsrisiko untersuchen, auch immer mit der Art des Mikrowellensignals und der Expositionsdauer befasst hat [12-15]. Die Hardell-Gruppe war die erste epidemiologische Gruppe, die versucht hat, die Mikrowellensignale von schnurlosen Telefonen, analogen und digitalen Mobiltelefonen getrennt zu untersuchen. In aller Regel waren die analogen Mobiltelefone am stärksten mit dem Krebsrisiko verknüpft. Schnurlose Telefone waren stärker mit dem Risiko für Hirntumore, Akustikusneurinome und T-Zellen-Lymphom verknüpft oder in demselben Maß wie digitale und analoge Mobiltelefone, obgleich die schnurlosen Telefone deutlich niedrigere SAR-Werte aufwiesen [12, 14-16]. Auf der epidemiologischen Ebene kann dieses wichtige Untersuchungsergebnis als eine unabhängige Bestätigung jener Beobachtungen gewertet werden, die in eigens dafür konzipierten In-vitro- und In-vivo-Studien gemacht wurden and besagen, dass die nichtthermischen Mikrowelleneffekte nicht einzig und allein von der Leistungsflussdichte und dem SAR-Wert abhängen, sondern auch von anderen Parametern. Es sollte auch darauf hingewiesen werden, dass epidemiologische Daten kontrovers sind und methodische Unterschiede Diskussionsgegenstand zwischen verschiedenen Forschergruppen sind [16, 17]. Von einem mechanistischen Standpunkt* aus gesehen ist der Ansatz der Hardell-Gruppe jedoch stichhaltiger und das sollte man mit berücksichtigen, wenn man diese Ergebnisse mit denen anderer epidemiologischer Gruppen vergleicht, die sich entweder der komplexen Abhängigkeiten nichtthermischer Mikrowelleneffekte von einer Vielzahl von physikalischen und biologischen Parametern nicht bewusst sind oder sie ignorieren [17].

Daten über Mikrowelleneffekte bei extrem niedrigen Strahlungsintensitäten und die damit verbundene Signifikanz der Expositionsdauer sowie Daten über die Abhängigkeit negativer Auswirkungen nichtthermischer GSM/UMTS-Mobilfunkstrahlung von der Trägerfrequenz und Art des Mikrowellensignals legen nahe, dass Mikrowellenstrahlung von Mobilfunkanlagen auch bei lang anhaltender Expositionsdauer negative Wirkungen auslösen kann, und spornen dazu an, bei entsprechenden Studien genau die Signale zu verwenden, die tatsächlich von Mobilfunkanlagen ausgesendet werden [18].

Dass die negativen Auswirkungen nichtthermischer Mikrowellenstrahlung von der Trägerfrequenz und Signalcharakteristik abhängig sind, sollte bei der Festlegung von Sicherheitsrichtlinien und dem Studiendesign von In-vivo-Untersuchungen und epidemiologischen Untersuchungen berücksichtigt werden. Eine wichtige Schlussfolgerung, die sich aus den vorhandenen In-vitro- und In-vivo-Studien ergibt, ist, dass man bei der Risikoabschätzung epidemiologischen Studien nicht den Vorrang geben sollte, so lange es kein geeignetes Studiendesign gibt, das das mechanistische Verständnis* der nichtthermischen

Mikrowelleneffekte mit einbezieht. Für diese Betrachtungsweise gibt es zwei Hauptargumente. Erstens ist es so gut wie unmöglich, nicht exponierte Kontrollgruppen auszuwählen, da in vielen Ländern die gesamte Bevölkerung einem breiten Spektrum von Mikrowellensignalen unterschiedlichster Art wie z. B. Mobiltelefonen, Mobiltelefonanlagen verschiedener Technologien, WLAN, WPAN, DECT-Telefonen ausgesetzt ist. Außerdem gilt es zu bedenken, dass die Expositionsdauer (mindestens 10 Jahre Latenzzeit bei Krebs) im Hinblick auf negative gesundheitliche Folgen durch nichtthermische Mikrowellenstrahlung wichtiger sein kann als die Leistungsflussdichte und SAR-Werte. Und es kann gar nicht genug betont werden, dass eine falsche Klassifikation der nicht exponierten Gruppe ein typischer Fehler in jenen epidemiologischen Studien ist, die im Hinblick auf nichtthermische Mikrowelleneffekte nicht auf mechanistischen Vorgehensweisen beruhen [19]. Wenn die Einteilung der Telefonnutzer in eine „exponierte“ Gruppe und eine „nicht exponierte“ Kontrollgruppe subjektiv ist, dann sind auch die Ergebnisse nicht eindeutig. Es ist ganz offensichtlich, dass derartige epidemiologische Studien nicht als Grundlage für Risikoabschätzungen dienen können. Zweitens sind die negativen Wirkungen „schädlicher“ Signale dadurch maskiert, dass die Menschen verschiedenen Signalen/Frequenzen gleichzeitig ausgesetzt sind, von denen manche keine Wirkung haben können oder rein theoretisch sogar nützliche. Aus diesem Grund sind gegenwärtige epidemiologische Studien häufig entweder uneindeutig, wenn die Ergebnisse negativ ausfallen (also kein Risiko gefunden wurde), oder es wird die Gefahr besonders schädlicher Signale deutlich unterschätzt, wenn die Ergebnisse positiv sind.

Die RNCNIRP hat vorgeschlagen, dass Richtlinien und Risikoabschätzungen für nichtthermische Mikrowellenstrahlung dringend auf der Grundlage von Studien entwickelt werden sollten, für die folgende Prioritäten gelten [7]:

- (1) Akute und chronische Wirkungen realitätsgetreuer Mikrowellensignale so wie sie derzeit Anwendung finden (GSM, UMTS/3G Mobiltelefone und Mobilfunkanlagen ...) sollten in Experimenten mit primär menschlichen Zellen und geeigneten Methoden untersucht werden. In diesen Untersuchungen sollten genau definierte Mikrowellensignale daraufhin überprüft werden, inwieweit sie negative Wirkungen hervorrufen. Die „unwirksamen“ Signale und Frequenzkanäle/-bänder, die keine Wirkung auf die menschlichen Zellen ausüben, sollten für die zukünftige Entwicklung eines ungefährlichen Mobilfunks genau bestimmt werden.
- (2) Tier- und Freiwilligenstudien unter kontrollierten Bedingungen einer Langzeitexposition gegenüber sowohl schädlichen als auch unwirksamen Mikrowellensignalen, die in In-vitro-Studien vorrangig an menschlichen Zellen bestimmt werden. Daten von akuten Expositionen Freiwilliger haben für die Risikoabschätzung nur einen sehr begrenzten Wert, da die mögliche Summierung von Wirkungen, die durch tatsächliche Langzeitexpositionen im Alltag auftreten, nicht bewertet werden.
- (3) Entwicklung von zuverlässigen und sachbezogenen Methoden, um die persönliche Exposition gegenüber dieser Strahlung zu kontrollieren.

- (4) Epidemiologische Untersuchungen zu zeitverschobenen negativen Gesundheitsfolgen sollten auf der Grundlage von mechanistischen Studien entworfen werden. Da nichtthermische Mikrowellenstrahlung auf eine Vielzahl von Zellarten einwirkt wie z. B. Hirnzellen [20, 21], Blutzellen [9-11, 22-24], Haut und Fibroblasten [9, 25-28], Stammzellen [9, 29, 30], Fortpflanzungsorgane und Spermienqualität [31-35], vorgeburtliche Entwicklung und Zeugungsfähigkeit [36, 37], sollten verschiedene Krebsarten (Tumore mit unterschiedlichen Lokationen und Leukämie) und auch andere wichtige Krankheiten überprüft werden. Jüngste Daten deuten darauf hin, dass verschiedene Krebsarten im Grunde genommen eine gemeinsame Basis besitzen, die auf epigenetischen Veränderungen in Stammzellen beruht [38]. Daher sind die Laborstudienresultate zu nichtthermischen Mikrowelleneffekten bei Stammzellen [9, 29, 30] für die Krebsrisikoabschätzung wahrscheinlich besonders wichtig.

Für die Risikoabschätzung nichtthermischer Mikrowellenexpositionen sind die gemeinsamen Bemühungen von Wissenschaftlergruppen innerhalb spezieller nationaler und internationaler Programme vonnöten. An dieser Zusammenarbeit sollten Wissenschaftler mit ganz unterschiedlichem Spezialwissen beteiligt sein, besonders diejenigen, die mit dem Erforschen der Wirkmechanismen nichtthermischer Mikrowelleneffekte Erfahrung haben. Ansonsten ist damit zu rechnen, dass irreführende Schlussfolgerungen gezogen oder uneindeutige Ergebnisse erbracht werden.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit bin ich dem Schwedischen Rat für Arbeitsleben und Sozialforschung, der Schwedischen Strahlenschutzbehörde und der Russischen Stiftung für Grundlagenforschung zu Dank verpflichtet.

Anmerkungen:

* Sicherheitsstandards: All current standards including the Russian ones(Igor Belyeav, Mail 09.06.2008).

* Definition "Mechanistic point of view": Approach of Hardell is more based on the current knowledge regarding the mechanisms of the nonthermal effects of microwaves than approaches of other epidemiological groups (Igor Belyeav, Mail 09.06.2008).

Literatur

- [1] N. D. Devyatkov, "Influence of electromagnetic radiation of millimeter range on biological objects (in Russian)," *Usp Fiz Nauk*, pp. 453-454, 1973.
- [2] R. L. Vilenskaya, A. Z. Smolyanskaya, V. G. Adamenko, Z. N. Buldasheva, E. A. Gelvitch, M. B. Golant, and D. Y. Goldgaber, "Induction of the lethal colicin synthesis in *E. coli* K12 C600 (E1) by means the millimeter radiation (in Russian)," *Bull. Eksperim. Biol. Med.*, vol. 4, pp. 52-54, 1972.
- [3] W. R. Adey, "Cell and molecular biology associated with radiation fields of mobile telephones," in *Review of Radio Science, 1996-1999*, S. Ueno, Ed. Oxford: Oxford University Press, 1999, pp. 845-872.
- [4] H. Lai, "Biological effects of radiofrequency electromagnetic field," in *Encyclopedia of Biomaterials and Biomedical Engineering*, G. L. Bowlin, Ed. New York, NY: Marcel Decker, 2005, pp. 1-8.
- [5] I. Belyaev, "Non-thermal Biological Effects of Microwaves," *Microwave Review*, vol. 11, pp. 13-29, <http://www.mwr.medianis.net/pdf/Vol11No2-03-IBelyaev.pdf>, 2005.
- [6] ICNIRP, "ICNIRP Guidelines. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *Health Physics*, vol. 74, pp. 494-522, 1998.
- [7] Y. Grigoriev, V. Nikitina, N. Rubtcova, L. Pokhodzey, O. Grigoriev, I. Belyaev, and A. Vasin, "The Russian National Committee on Non-Ionizing Radiation Protection (RNCNIRP) and the radiation guidelines," presented at Transparency Forum for Mobile Telephone Systems, Stockholm, 2005.
- [8] Y. G. Grigoriev, "Electromagnetic fields of mobile radio communication and danger estimation for the population," presented at 6th International Symposium on Electromagnetic Compatibility and Electromagnetic Ecology, Saint-Petersburg, Russia, 2005.
- [9] E. Markova, V. Altanero, L. Malmgren, B. Persson, and I. Belyaev, "Specific signals from mobile communication induce adverse effects in primary human cells of different types: stem cells, lymphocytes, fibroblasts," *Lancet*, submitted, 2006.
- [10] E. Markova, L. Hillert, L. Malmgren, B. R. Persson, and I. Y. Belyaev, "Microwaves from GSM Mobile Telephones Affect 53BP1 and gammaH2AX Foci in Human Lymphocytes from Hypersensitive and Healthy Persons," *Environ Health Perspect*, vol. 113, pp. 1172-1177, 2005.
- [11] I. Y. Belyaev, E. Markova, L. Hillert, L. O. G. Malmgren, and B. R. R. Persson, "Non-thermal microwaves from UMTS and GSM mobile phones result in long-lasting effects on DNA repair 53BP1/gamma-H2AX foci in human lymphocytes," *Environ Health Perspect*, submitted, 2005.
- [12] L. Hardell, M. Eriksson, M. Carlberg, C. Sundström, and K. Hansson Mild, "Use of cellular or cordless telephones and the risk for non-Hodgkin's lymphoma," *Int Arch Occup Environ Health*, vol. DOI 10.1007/s00420005-0003-5, 2005.
- [13] L. Hardell and K. H. Mild, "Mobile phone use and acoustic neuromas," *Epidemiology*, vol. 16, pp. 415; author reply 417-418, 2005.
- [14] L. Hardell, K. H. Mild, and M. Carlberg, "Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours," *Int J Oncol*, vol. 22, pp. 399-407, 2003.
- [15] L. Hardell, K. H. Mild, A. Pahlson, and A. Hallquist, "Ionizing radiation, cellular telephones and the risk for brain tumours," *Eur J Cancer Prev*, vol. 10, pp. 523-529, 2001.
- [16] M. Kundi, K. Mild, L. Hardell, and M. O. Mattsson, "Mobile telephones and cancer - a review of epidemiological evidence," *J Toxicol Environ Health B Crit Rev*, vol. 7, pp. 351-384, 2004.

- [17] A. Ahlbom, A. Green, L. Kheifets, D. Savitz, and A. Swerdlow, "Epidemiology of health effects of radiofrequency exposure," *Environ Health Perspect*, vol. 112, pp. 1741-1754, 2004.
- [18] I. Belyaev, "Nonthermal Biological Effects of Microwaves: Current Knowledge, Further Perspective, and Urgent Needs," *Electromagnetic Biology and Medicine*, vol. 24, pp. 375-403, 2005.
- [19] S. Lonn, A. Ahlbom, P. Hall, and M. Feychting, "Long-term mobile phone use and brain tumor risk," *Am J Epidemiol*, vol. 161, pp. 526-35, 2005.
- [20] A. Ilhan, A. Gurel, F. Armutcu, S. Kamisli, M. Iraz, O. Akyol, and S. Ozen, "Ginkgo biloba prevents mobile phone-induced oxidative stress in rat brain," *Clin Chim Acta*, vol. 340, pp. 153-62, 2004.
- [21] L. G. Salford, A. E. Brun, J. L. Eberhardt, L. Malmgren, and B. R. R. Persson, "Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones," *Environmental Health Perspectives.*, vol. 111, pp. 881-883, 2003.
- [22] G. d'Ambrosio, R. Massa, M. R. Scarfi, and O. Zeni, "Cytogenetic damage in human lymphocytes following GSMK phase modulated microwave exposure," *Bioelectromagnetics*, vol. 23, pp. 7-13, 2002.
- [23] I. Y. Belyaev, L. Hillert, M. Protopopova, C. Tamm, L. O. Malmgren, B. R. R. Persson, G. Selivanova, and M. Harms-Ringdahl, "915 MHz microwaves and 53BP1 foci in human lymphocytes from hypersensitive and healthy persons," *Bioelectromagnetics*, vol. 26, pp. 173-184, 2005.
- [24] R. Sarimov, L. O. G. Malmgren, E. Markova, B. R. R. Persson, and I. Y. Belyaev, "Non-thermal GSM microwaves affect chromatin conformation in human lymphocytes similar to heat shock," *IEEE Transactions on Plasma Science*, vol. 32, pp. 1600-1608, 2004.
- [25] F. Ozguner, G. Aydin, H. Mollaoglu, O. Gokalp, A. Koyu, and G. Cesur, "Prevention of mobile phone induced skin tissue changes by melatonin in rat: an experimental study," *Toxicol Ind Health*, vol. 20, pp. 133-139, 2004.
- [26] S. Pacini, M. Ruggiero, I. Sardi, S. Aterini, F. Gulisano, and M. Gulisano, "Exposure to global system for mobile communication (GSM) cellular phone radiofrequency alters gene expression, proliferation, and morphology of human skin fibroblasts," *Oncol Res*, vol. 13, pp. 19-24, 2002.
- [27] E. Diem, C. Schwarz, F. Adlkofer, O. Jahn, and H. Rudiger, "Non-thermal DNA breakage by mobile-phone radiation (1800 MHz) in human fibroblasts and in transformed GFSH-R17 rat granulosa cells in vitro," *Mutat Res*, vol. 583, pp. 178-183, 2005.
- [28] T. A. Litovitz, D. Krause, M. Penafiel, E. C. Elson, and J. M. Mullins, "The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity," *Bioelectromagnetics*, vol. 14, pp. 395-403, 1993.
- [29] J. Czyz, K. Guan, Q. Zeng, T. Nikolova, A. Meister, F. Schonborn, J. Schuderer, N. Kuster, and A. M. Wobus, "High frequency electromagnetic fields (GSM signals) affect gene expression levels in tumor suppressor p53deficient embryonic stem cells," *Bioelectromagnetics*, vol. 25, pp. 296-307, 2004.
- [30] T. Nikolova, J. Czyz, A. Rolletschek, P. Blyszczuk, J. Fuchs, G. Joytchev, J. Schuderer, N. Kuster, and A. M. Wobus, "Electromagnetic fields affect transcript levels of apoptosis-related genes in embryonic stem cell-derived neural progenitor cells," *Faseb J*, 2005.
- [31] M. Ozguner, A. Koyu, G. Cesur, M. Ural, F. Ozguner, A. Gokcimen, and N. Delibas, "Biological and morphological effects on the reproductive organ of rats after exposure to electromagnetic field," *Saudi Med J*, vol. 26, pp. 405-410, 2005.
- [32] D. J. Panagopoulos, A. Karabarbounis, and L. H. Margaritis, "Effect of GSM 900-MHz Mobile Phone Radiation on the Reproductive Capacity of *Drosophila melanogaster*," *Electromagnetic Biology and Medicine*, vol. 23, pp. 29-43, 2004.

- [33] I. Fejes, Z. Za Vaczki, J. Szollosi, R. S. Kolosza, J. Daru, L. Kova Cs, and L. A. Pa, "Is there a relationship between cell phone use and semen quality?," *Arch Androl*, vol. 51, pp. 385-93, 2005.
- [34] R. J. Aitken, L. E. Bennetts, D. Sawyer, A. M. Wiklendt, and B. V. King, "Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline," *Int J Androl*, vol. 28, pp. 171-9, 2005.
- [35] B. Balmori, "Possible Effects of Electromagnetic Fields from Phone Masts on a Population of White Stork (*Ciconia ciconia*)," *Electromagnetic Biology and Medicine*, vol. 24, pp. 109 -119, 2005.
- [36] I. N. Magras and T. D. Xenos, "RF radiation-induced changes in the prenatal development of mice," *Bioelectromagnetics*, vol. 18, pp. 455-61, 1997.
- [37] A. Pырpasopoulou, V. Kotoula, A. Cheva, P. Hytiroglou, E. Nikolakaki, I. N. Magras, T. D. Xenos, T. D. Tsiboukis, and G. Karkavelas, "Bone morphogenetic protein expression in newborn rat kidneys after prenatal exposure to radiofrequency radiation," *Bioelectromagnetics*, vol. 25, pp. 216-27, 2004.
- [38] A. P. Feinberg, R. Ohlsson, and S. Henikoff, "The epigenetic progenitor origin of human cancer," *Nat Rev Genet*, vol. 7, pp. 21-33, 2006.

(Übersetzt für www.der-mast-muss-weg.de, Juni 2008)