

# ..frequentia

## Mobilfunk und Krebs

**Karzinogenese • Krebsrisiko • Tumore im Kopfbereich • epidemiologische Studien  
Tierexperimente • zytologische und zytogenetische Untersuchungen *in vitro***

Jiri Silny, Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit (femu), Universitätsklinikum der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

### Zusammenfassung

Für die mutmasslichen athermischen Wirkungen der GSM-Mobilfunkfelder im Organismus fehlen bisher nachvollziehbare physikalische Mechanismen, die sich, zumindest ansatzweise, experimentell belegen lassen. Hunderte epidemiologische Studien, Tierexperimente und zytologische bzw. zytogenetische Untersuchungen *in vitro* wurden bei der Suche nach Effekten der Mobilfunkfelder auf die Karzinogenese durchgeführt. Die gemeinsame Bewertung der Ergebnisse in einzelnen Studientypen, getrennt wie auch insgesamt betrachtet, liefern bisher keinen konsistenten Hinweis auf eine Krebs promovierende Wirkung der heute durchwegs verwendeten digitalen GSM-Mobilfunkfelder. Diese Feststellung gilt für die starken, aber kürzer einwirkenden Felder der Handys, und umso mehr für die schwachen Felder der Basisstationen. Eine Langzeitwirkung dieser Felder ist aufgrund der Ergebnisse von Tierexperimenten nicht wahrscheinlich, wird aber in einer laufenden, grossen europäischen epidemiologischen Studie noch geprüft.

### Einleitung

Die rasche Einführung des digitalen Mobilfunks im letzten Jahrzehnt hat in der Öffentlichkeit wie auch bei Experten Besorgnis über ein eventuell erhöhtes Krebsrisiko durch die gesendeten Mikrowellen ausgelöst. Den Anstoss zu dieser Diskussion gaben einige hypothetische Ansätze wie auch einzelne orientierende Experimente und ihre Interpretationen, die als Hinweis auf kanzerogene Wirkungen der Mobilfunkfelder gedeutet wurden. Zur Überprüfung des Zusammenhangs wurden in den vergangenen Jahren weltweit eine Vielzahl von Messungen der Emission und Immission durch die Felder von Mobilfunkanlagen, Untersuchungen der möglichen Wirkungsmechanismen und zahlreiche unterschiedliche experimentelle Studien zur Karzinogenese in Feldern des Mobilfunks durchgeführt. Die dabei entstandenen und in wissenschaftlichen Journalen publizierten Ergebnisse bilden die Grundlage der Darstellung des aktuellen Wissensstandes in dieser Abhandlung. Der vorgegebene kurze Umfang des Beitrags erlaubt es nicht, alle Aspekte der Problematik zu erläutern und mehrere hundert Publikationen zu diskutieren. Hier werden vor allem grössere und jüngere Arbeiten behandelt, die die Diskussion massgeblich in die eine oder andere Richtung lenken.

**Mobilfunkfelder gehören zu den nichtionisierenden elektromagnetischen Wellen. Ein Zerfall chemischer Bindungen und die Bildung aktiver Radikale, wie unter Einwirkung von z.B. Röntgen- oder Gamma-Strahlen, ist in Feldern des Mobilfunks nicht möglich.**

Den Erläuterungen der medizinischen Aspekte werden die wichtigsten technischen Gegebenheiten vorangestellt.

### Emission und Immission von Mobilfunkfeldern

Die Rundfunk-, Fernseh- und Mobilfunksender wie auch verschiedenartige Kommunikationsdienste bauen im Alltag hochfrequente Felder auf, denen der Mensch in fast allen Lebenslagen ausgesetzt ist. Herkömmliche Systeme senden Funkwellen in Richtung von der Sendeantenne zum Empfänger, wobei die Stärke der Welle mit dem Abstand vom Sender zum Empfänger stark abnimmt.

Beim digitalen Mobilfunk bleibt ein eingeschaltetes Handy nicht nur während eines Gespräches, sondern auch danach mit einer Basisstation in Funkkontakt. Dazu senden beide Systemteile kurz unterbrochene Schwingungspakete von Mikrowellen in unterschiedlichen Frequenzbereichen zwischen 900 MHz und 2000 MHz in beide Richtungen. Die gesendeten elektromagnetischen Felder werden auch als niederfrequent gepulste Mikrowellen bezeichnet. Im Nahbereich einer Antenne entstehen durch Reflexion und Absorption der Mikrowellen, z. B. an Gebäuden, komplexe Verteilungen der Feldstärken, und die Welle erfährt beim Eintritt in das Gebäude eine zusätzliche starke Dämpfung. Messungen der Feldstärken in Häusern und frei zugänglichen Bereichen in der unmittelbaren Umgebung von Basisstationen ergaben in den meisten Fällen durchschnittliche Feldstärken von deutlich unter 1 V/m. Dagegen können in der

unmittelbaren Nähe eines Handys lokal Werte über 40 V/m auftreten. Die Felder der Basisstationen liefern in den meisten Fällen nur einen kleinen Beitrag zur Gesamtmission durch hochfrequente elektromagnetische Felder im Alltag, wo meist die Funkwellen der Fernseh- und UKW-Sender dominieren.

Die Immission der Mikrowellen wird mit einer spezifischen Absorptionsrate (SAR) mit der Einheit W/kg pro 1 g bzw. 10 g Körpermasse charakterisiert. Dabei handelt es sich um die im jeweiligen Volumen des Körpers von den Mikrowellen aufgenommene Energie. Die SAR-Werte für Basisstationen sind mit Werten unter 0,01 W/kg vernachlässigbar klein. Bei Handys liegen sie zwischen 0,1 und 2 W/kg, wodurch eine maximale Erwärmung im Kopf von wenigen Zehntel Grad Celsius auftreten kann. Als weiterer besonderer gesundheitlicher Aspekt wird häufig die Tatsache aufgeführt, dass die schwachen Felder der Basisstationen flächendeckend und fast ununterbrochen gesendet werden, wohingegen die Exposition durch die wesentlich stärkeren Felder eigener Handys nur gelegentlich und nach freiwilliger Entscheidung zum Tragen kommt.

### Wirkungsmechanismen der Mobilfunkfelder im Organismus

Mobilfunkfelder gehören zu den nichtionisierenden elektromagnetischen Wellen, die eine um mehr als sieben Zehnerpotenzen niedrigere elementare Energie im Vergleich mit molekularen Bindungskraften tragen. Damit sind ein Zerfall chemischer Bindungen und die Bildung aktiver Radikale, wie unter Einwirkung der ionisierenden elektromagnetischen Wellen, z. B. Röntgen- oder Gamma-Strahlen, in Feldern des Mobilfunks nicht möglich.

Deshalb wird eine Tumorentstehung durch Mobilfunkfelder als sehr unwahrscheinlich angesehen. Mikrowellen werden beim Eindringen in den Körper stark absorbiert, wodurch insbesondere in den oberen Körperschichten Energie aufgenommen wird. Die Energieaufnahme geht mit einer Erwärmung des Gewebes einher, wobei erst starke Mikrowellen eine gesundheitsrelevante Erwärmung von Organen im Bereich von wenigen Grad Celsius verursachen können.

Felder der Handys mit SAR-Werten unter 2 W/kg können wegen der Nähe zum Kopf bei einer maximalen Leistung und einer Nutzung über 10 Minuten eine Erwärmung von wenigen Zehntel Grad Celsius im Gehirn verursachen, eine Anhebung, die durchaus im physiologischen Variationsbereich liegt. Dagegen ist

der Beitrag der wesentlich schwächeren Felder der Basisstationen zur Körpertemperatur gänzlich vernachlässigbar.

In einigen spekulativen Ansätzen werden den Mobilfunkfeldern aufgrund ihres Charakters als niederfrequent gepulste Mikrowellen besondere, nicht näher definierte athermische Wirksamkeiten angelastet. Allerdings konnten zu diesen Behauptungen bisher weder nachvollziehbare Hypothesen der Wirkungsmechanismen aufgestellt werden noch lässt sich ihre Existenz *in vitro* oder *in vivo* bestätigen.

Im Gegensatz zu anderen etablierten Umwelttoxinen stehen zur Wirkung der Mobilfunkfelder keine Hinweise auf:

- physikalisch/physio-pathologische Wirkungsmechanismen
  - organ- oder zellspezifische Effekte
  - Feldstärke bzw. Dosisabhängigkeit eventuelle Effekte
- zur Verfügung.

Damit fehlen jegliche Wegweiser für experimentelle Untersuchungen, die Suche nach eventuellen Effekten muss sehr breit angelegt werden. Als Anhaltspunkt bleibt nur die Annahme, dass, je stärker die athermisch auf den Organismus einwirkenden Felder sind, desto deutlicher die Effekte ausfallen müssten. Da zukünftig mit weiteren neuen Anwendungen (z. B. UMTS-Mobilfunk) der niederfrequent pulsmodulierten Mikrowellen gerechnet werden muss, ist das Anliegen der Überprüfung eventueller gesundheitlicher Risiken dieser Felder mehr als gerechtfertigt. Allerdings, je schwächer die Wirkungen der Mobilfunkfelder sind, desto zeit- und kostenintensiver werden die zum Beleg von Effekten notwendigen Untersuchungen. Daher kann die Medizin eine mögliche gänzliche Unschädlichkeit der Mobilfunkfelder nicht nachweisen.

### Experimentelle Untersuchungen: Methoden und ihre Einschränkungen

Zur Überprüfung eines mutmasslichen Zusammenhangs zwischen Krebs und Mobilfunkfeldern wurden inzwischen folgende umfangreiche Untersuchungen durchgeführt:

- epidemiologische Studien
- Tierexperimente
- zytologische und zytogenetische Untersuchungen.

Jede dieser Methoden stellt bestimmte Mindestanforderungen an den Umfang, die Vollständigkeit und

**In einigen spekulativen Ansätzen werden den Mobilfunkfeldern besondere, nicht näher definierte athermische Wirksamkeiten angelastet, deren Existenz sich bisher weder *in vitro* noch *in vivo* bestätigen lässt.**

die Qualität der erhobenen Daten; Forderungen, die oft nur beschränkt erfüllt werden. Dadurch wird die bereits durch die Methode eingeschränkte Aussagekraft einzelner Arbeiten noch weiter eingeeengt.

Bei epidemiologischen Studien werden statistische Vergleiche der Tumorzinzidenz, Prävalenz oder Mortalität der Nutzer und Nichtnutzer von Handys bzw. der stark unterschiedlich von den Feldern der Basisstationen exponierten Gruppen verglichen. Das Verhältnis der Häufigkeit aus Fall- und Kontrollgruppe wird als Odds Ratio (OR) oder relatives Risiko (RR) bestimmt. Wegen der grossen Latenz der meisten Krebserkrankungen muss ein langer Zeitraum der Exposition durch Mobilfunk ausgewertet werden, was retrospektiv nur aufgrund von Krebsregistern möglich ist. Die relativ niedrige Inzidenz vieler Tumoren (ca. 5 von 100 000) verlangt die Heranziehung grosser Fall- und Kontrollgruppen, damit für die Statistik ausreichend grosse homogene Gruppen gebildet werden können. Möglichst viele Faktoren wie Alter, Geschlecht, Tumortyp, sozio-ökonomische Angaben und eben die Stärke und Dauer der Exposition müssen bei der Bildung homogener Gruppen und der Auswahl der Vergleichspaare berücksichtigt werden. Aber bereits der wichtigste Faktor bei der Überprüfung des Zusammenhangs zwischen Krebs und Feldern des Mobilfunks, die Stärke und Dauer der Exposition, kann retrospektiv nur grob geschätzt werden. Geräte zur Aufzeichnung dieser Daten befinden sich erst im Entwicklungsstadium. Aufgrund dieser Unsicherheit und der grundsätzlichen Einschränkung der Epidemiologie, einen kausalen Zusammenhang zwischen einer Noxe und einer Krankheit aufzuzeigen, können Ergebnisse dieser Studien nur als Hinweis verstanden werden, der durch tiefer gehende Untersuchungen verifiziert werden muss.

Insgesamt stützen die Ergebnisse der epidemiologischen Untersuchungen keinen Zusammenhang zwischen dem Aufkommen verschiedener Tumoren im Kopfbereich und der Nutzung der digitalen GSM-Handys.

Allerdings erfasst die Epidemiologie bisher nur Intervalle der GSM-Handy-Nutzung bis zu etwa fünf Jahren. Wegen der oft wesentlich längeren Latenzzeiten der Krebserkrankungen sind grössere Langzeitstudien erforderlich und zum Teil auch schon in Bearbeitung.

Hierzu bieten sich z. B. Tierexperimente mit gezüchteten kleinen Tieren wie Mäusen oder Ratten an, die unter gut standardisierten Bedingungen in grösserer Zahl durchgeführt werden können. Zur beschleunigten Untersuchung der Krebspromotion in Mobilfunkfeldern wird die Tumorentstehung durch genotoxische Chemikalien, ionisierende Strahlen oder durch Injektion von Tumorzellen vorgenommen. Alle diese Verfahren sind nicht organ- oder zellspezifisch und führen oft zu diffusen Ergebnissen. Eine einheitlichere Krebsinitiation wird bei transgenen Tieren erreicht, bei denen die für die jeweilige Krebserkrankung verantwortlichen Gene inaktiviert sind. Geeignete transgene Tiermodelle stehen bisher leider nur für wenige Krebserkrankungen zur Verfügung.

Zytogenetische Untersuchungen können vorteilhaft eventuelle mutagene Wirkungen von Mobilfunkfeldern aufzeigen, die die späteren karzinogenen Prozesse einleiten und bestimmen. Sie eignen sich deshalb insbesondere zum Auffinden physiopathologischer Wirkungsmechanismen, wenn bereits, z. B. in Tiermodellen, ein bestimmter Zusammenhang belegt wurde. Chromosomale Schäden, wie z. B. chromosomale Aberration, Mikrokerne oder Schwesterchromatidenaustausche, lassen sich statistisch mit einem erhöhten Krebsrisiko korrelieren, erlauben aber, isoliert betrachtet, keine Risikoabschätzung für den Menschen.

1 Eger H, Hagen KU, Lucas B, Vogel P, Voit H. Einfluss der räumlichen Nähe von Mobilfunkanlagen auf die Krebsinzidenz. *Umwelt, Medizin, Gesellschaft* 2004; 17:326-32.

2 Wu RY, Chiang H, Shao BJ, Li NG, Fu YD. Effects of 2.45 GHz microwave radiation and phorbol ester 12-O tetradecanoylphorbol-13-acetate on dimethylhydrazine-induced colon cancer in mice. *Bioelectromagnetics* 1994; 15:531-8.

Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, et al. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors in Fischer 344 rats chronically exposed to 836 MHz modulated microwaves. *Radiat Res* 1999; 152:293-302.

Adey WR, Byus CV, Cain CD, Higgins RJ, Jones RA, Kean CJ, et al. Spontaneous and nitrosourea-induced primary tumors of the central nervous system in Fischer 344 rats exposed to frequencymodulated microwave fields. *Cancer Res* 2000; 60:1857-63.

Bartsch H, Bartsch C, Seebald E, Deerberg F, Dietz K, Vollrath L, Mecke D. Chronic exposure to a GSM-like signal (mobile phone) does not stimulate the development of DMBA-induced mammary tumors in rats: results of three consecutive studies. *Radiat Res* 2002; 157:183-90.

3 Heikkinen P, Kosma VM, Hongisto T, Huuskonen H, Hyysalo P, Komulainen H, et al. Effects of mobile phone radiation on X-ray-induced tumorigenesis in mice. *Radiat Res* 2001; 156:775-85.

Heikkinen P, Kosma VM, Alhonen L, Huuskonen H, Komulainen H, Kumlin T, et al. Effects of mobile phone radiation on UV-induced skin tumorigenesis in ornithine decarboxylase transgenic and non-transgenic mice. *Int J Radiat Biol* 2003; 79:221-33.

4 Salford LG, Brun A, Eberhardt JL, Persson BR. Experimental studies of brain tumour development during exposure to continuous and pulsed 915 MHz radiofrequency radiation. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993; 30:293-302.

Chagnaud J-L, Moreau J-M, Veyret B. No effect of shortterm exposure to GSM-modulated low-power microwaves on benzopyrene-induced tumours in rat. *Int J Radiat Biol* 1999; 75:1251-6.

### Epidemiologische Studien zum Krebsrisiko bei Nutzern von Handys

Die stärksten Immissionen durch die Felder des Mobilfunks erfahren die Handy-Nutzer, und zwar im Bereich des Kopfes. Deshalb ist es nahe liegend, dass sich die meisten epidemiologischen Studien vor allem auf die Vergleiche der Häufigkeit von Akustikusneurinomen, Hirntumoren wie Gliomen oder Meningeomen, Sehnerv-Tumoren bzw. Uveal-Melanomen bei Nutzern und Nichtnutzern der Handys konzentrieren. Dabei werden häufig auch die Seitigkeit der Handynutzung und des Aufkommens der Krebserkrankungen oder die Nutzung der früheren analogen und heutigen digitalen Handys getrennt bewertet (siehe S. 6/7).

Die epidemiologischen Studien zeigen, falls überhaupt, nur geringe Unterschiede in der Häufigkeit verschiedener Tumoren zwischen einer exponierten und einer nicht exponierten Gruppe. Insgesamt stützen die Ergebnisse keinen Zusammenhang zwischen dem Aufkommen verschiedener Tumoren im Kopfbereich und der Nutzung der digitalen GSM-Handys. Die digitale Technik hat in Europa längst die alten analogen Handys verdrängt, die eine höhere Sendeleistung erzeugen. Die vereinzelt und inkonsistent schwach erhöhten OR-Werte müssen unter dem Aspekt der niedrigen Fallzahlen, einer groben Abschätzung der Feldexposition sowie anderer Faktoren relativiert werden. Allerdings erfasst die Epidemiologie bisher nur Intervalle der GSM-Handy-Nutzung bis zu etwa fünf Jahren. Wegen der oft wesentlich längeren Latenzzeiten der Krebserkrankungen sind grössere Langzeitstudien erforderlich und zum Teil auch schon in Bearbeitung.

### Epidemiologische Studien zum Krebsrisiko durch Felder der Basisstationen

Epidemiologische Untersuchungen zum Krebsrisiko in Feldern der Basisstationen sind aus folgenden Gründen problematisch:

- Die schwachen Felder der Basisstationen sind durch andere, zum Teil wesentlich stärkere Fernseh-, UKW- und Handy-Felder überlagert. Der tatsächliche Anteil der Basisstationen kann nur in aufwändigen Messungen ermittelt werden.
- Es gibt keine echte Kontrollgruppe ohne Exposition.

Trotzdem werden derartige Untersuchungen durchgeführt und in die öffentliche Diskussion eingespeist. So z. B. vergleichen Eger et al. (2004)<sup>1</sup> die Anzahl der jährlichen Tumorfälle in einer 320 Personen zählenden Bevölkerungsgruppe, die nahe an einer Basisstation wohnt, mit einer 647 Personen zählenden Gruppe, die einem Fernbereich zugeordnet wird. Zwischen den Jahren 1994 und 2004 werden im Nahbereich 18 Erkrankungen, im Fernbereich hingegen nur 16 Malignome gezählt. Der statistische Vergleich der erfassten Periode liefert eine 2,27-fach höhere Häufigkeit von Krebserkrankungen für die im Nahbereich wohnende Gruppe. Diese Ergebnisse müssen kritisch bewertet werden, da

- unterschiedliche Krebserkrankungen, die zytogenetisch uneinheitlich sind, zusammengezählt werden und dabei das Mobilfunkfeld als eine einzige Ursache betrachtet wird.
- Es wurde nur ein örtlicher Vergleich angestellt, der auch zufällig oder durch andere Faktoren bedingt zustande kommen könnte. (Forts. S. 8)

Higashikubo R, Culbreath VO, Spitz DR, LaRegina MC, Pickard WF, Straube WL, et al. Radiofrequency electromagnetic fields have no effect on the in vivo proliferation of the 9L brain tumour. *Radiat Res* 1999; 152 :665-71.

5 Repacholi MH, Basten A, GebSKI V, Noonan D, Finnie J, Harris AW. Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. *Radiat Res* 1997; 147:631- 40.

Utteridge TD, GebSKI V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. Long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. *Radiat Res* 2002; 158:357-64.

Sommer AM, Streckert J, Bitz AK, Hansen VW, Lerchl A. No effects of GSM-modulated 900 MHz electromagnetic field on survival rate and spontaneous development of lymphoma in female AKR/J mice. *BioMed Central* 2004; 4:77 (<http://www.biomedcentral.com/1471-2407/4/77>).

6 Toler JC, Shelton WW, Frei MR, Merritt JH, Stedham MA. Long-term, low-level exposure of mice prone to mammary tumours to 435 MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res* 1997; 148:227-34.

Frei MR, Jauchem JR, Dusch SJ, Merritt JH, Berger RE, Stedham MA. Chronic, low-level (1.0 W/kg) exposure of mice prone to mammary cancer to 2450 MHz microwaves. *Radiat Res* 1998; 150:568-76.

7 Litovitz TA, Krause D, Penafiel M, Elson EC, Mullins JM. The role of coherence time in the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity. *Bioelectromagnetics* 1993; 14:395-403.

Penafiel LM, Litovitz T, Krause D, Desta A, Mullins JM. Role of modulation on the effect of microwaves on ornithine decarboxylase activity in L929 cells. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:132-41.

8 Kwee S, Raskmark P. Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation 2. Microwave radiation. *Bioelectrochem Bioenerg* 1998; 44:251-5.

## Epidemiologische Studien zum Krebsrisiko bei Nutzern von Mobilfunk-Handys

### Muscat et al. (2002, 2000)<sup>a</sup>

prüfen bei 469 Patienten mit primären Hirntumoren und im Alter zwischen 18 und 80 Jahren eine eventuelle Assoziation zwischen der Exposition durch die analogen, in den USA verwendeten Handys. Zur Kontrolle werden 422 Patienten ohne Hirntumor gepaart ausgesucht. Die berechneten OR-Werte liegen bei den meisten Hirntumoren um 1, nur bei dem selten vorkommenden Neuroepitheliom ergibt sich eine OR von 2,1.

### Stang et al. (2001)<sup>b</sup>

vergleichen 118 Patienten mit Uveal-Melanomen mit 475 Kontrollpatienten ohne diese Erkrankung bezüglich einer eventuellen Einflussnahme von Feldern der Handys. Dabei wird die etwaige Exposition sehr grob geschätzt und in Klassen eingeteilt. Der statistische Vergleich liefert eine OR von 3,0, was die Autoren selbst, aufgrund der vielen methodischen Unzulänglichkeiten, als ein vorläufiges Ergebnis einstufen.

### Inskip et al. (2001)<sup>c</sup>

bewerten intrakraniale Tumore bei Nutzern analoger Handys. Insgesamt werden 782 Patienten, davon 489 mit Gliomen, 197 mit Meningeomen und 86 mit Akustikusneurinomen, mit 799 Patienten ohne eine Krebserkrankung verglichen. Das relative Risiko von 0,9 für Gliome, 0,7 für Meningeome und 1,4 für Akustikusneurinome sowie ein häufiges Auftreten des Tumors auf der anderen Kopfseite als der des üblichen Telefonierens sprechen gegen eine Assoziation zwischen Krebs und Handy-Feldern.

### Auvinen et al. (2002)<sup>d</sup>

ziehen in einer Inzidenz-Fall-Kontrollstudie über Hirntumore bei Nutzern von Handys das finnische Krebsregister heran. 399 Patienten mit Hirntumoren (198 Gliome, 129 Meningeome und 72 andere Tumore einschliesslich Lymphome) und 34 Patienten mit Speicheldrüsentumoren werden mit je 5 Kontrollen gepaart. Die Vergleiche liefern OR-Werte um 1,3 für Hirntumore wie auch für Tumore der Speicheldrüse. Nur für das Gliom und analoge Handys ergibt sich eine schwach erhöhte OR von 2,1, für die digitalen Handys wird allerdings kein signifikanter Befund ermittelt.

a Muscat JE, Malkin MG, Thompson S, Shore RE, Stellman SD, McRee D, et al. Handheld cellular telephone use and risk of brain cancer. *JAMA* 2000; 284:3001-7.

Muscat JE, Malkin MG, Shore RE, Thompson S, Neugut AI, Stellman SD, Bruce. Handheld cellular telephones and risk of acoustic neuroma. *Neurology* 2002; 58:1304-6.

b Stang A, Anastassiou G, Ahrens W, Broman K, Bornfeld N, Jöckel KH. The possible role of radiofrequency radiation in the development of uveal melanoma. *Epidemiology* 2001; 12:1-6.

c Inskip PD, Tarone RE, Hatch EE, Wilcosky TC, Shapiro WR, Selker RG, et al. Cellular-telephone use and brain tumors. *N Engl J Med* 2001; 433:79-86.

d Auvinen A, Hietanen M, Luukkonen R, Koskela RS. Brain tumors and salivary gland cancers among cellular telephone users. *Epidemiology* 2002; 13:356-9.

## Epidemiologische Studien zum Krebsrisiko bei Nutzern von Mobilfunk-Handys

### Johansen et al. (2001)<sup>e</sup>

untersuchen in einer retrospektiven Kohorte die Daten des dänischen Krebsregisters aus den Jahren 1982 bis 1995. Bei 420 000 Handy-Nutzern wurden 8 Fälle von Okulartumoren und insgesamt 3391 Tumore unterschiedlicher Art festgestellt. Beide Zahlen liegen zum Teil deutlich unter der durchschnittlichen Rate dieser Erkrankungen in der dänischen Bevölkerung, ein Ergebnis, das eine Assoziation zwischen Krebsaufkommen und Funkfeldern der Handys nicht stützt.

### Hardell et al. (2003, 2002, 2000, 1999)<sup>f</sup>

ergänzen periodisch Daten des schwedischen Krebsregisters und bewerten sie neu. Auch die letzten Ergebnisse, die auf 1 617 Hirntumoren bei Patienten im Alter zwischen 20 und 80 Jahren basieren, zeigen eine erhöhte OR von 3,5 für das Akustikusneurinom (7 Fälle) und das vestibuläre Schwannom (177 Fälle) allein bei Nutzern analoger Handys. Vergleiche für Nutzer digitaler Handys ergeben für keine Art von Hirntumoren eine signifikante OR-Anhebung, allerdings werden erst etwa fünf Jahre der Nutzung digitaler Handys erfasst.

### Lönn et al. (2004)<sup>g</sup>

bewerten in einer Fall-Kontroll-Studie das Risiko von Akustikusneurinomen bei der Nutzung von Handys in drei städtischen Bezirken in Schweden anhand von Krebsregistern. Zur Bewertung stehen gut gepaarte 148 Fälle und 640 Kontrollen im Alter zwischen 20 und 69 Jahren. Für digitale GSM-Handys wie auch für die Nutzung bis zu fünf Jahren ergibt sich im Durchschnitt eine OR um 1. Die Analysen liefern OR-Werte um 1 auch für die Nutzung analoger Handys bis zu einer Dauer von neun Jahren. Für eine Gruppe von 14 Fällen, die länger als 10 Jahre lang analoge Handys verwenden, erhöht sich die OR auf 1,8, und für 9 Fälle mit ipsilateraler Exposition sogar auf 3,9.

### Christensen et al. (2004)<sup>h</sup>

überprüfen in einer prospektiven populationsbasierten Studie, inwieweit sich ein Akustikusneurinom bei 106 Patienten im Vergleich mit 212 zufällig gepaarten Kontrollen bei Handy-Nutzung statistisch in Verbindung bringen lässt. Das durchschnittliche relative Risiko dieser Erkrankung liegt bei 0,9, auch nach einer intensiven und länger als 10 Jahre dauernden Handy-Nutzung, und spricht damit gegen eine Assoziation zwischen Feldern der Handys und dem Akustikusneurinom.

<sup>e</sup> Johansen C, Boice JD, McLaughlin JK, Olsen JH. Cellular telephones and cancer – a nationwide cohort study in Denmark. *J Natl Cancer Inst* 2001; 93:203-7.

<sup>f</sup> Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A, Hansson Mild K. Use of cellular telephones and the risk for brain tumours: a case-control study. *Int J Oncol* 1999; 15:113-6.

Hardell L, Nasman A, Pahlson A, Hallquist A. Case-control study on radiology work, medical X-ray investigations, and use of cellular telephones as risk factors for brain tumors. *Med Gen-Med* 2000; May 4, E2.

Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. *Eur J Cancer Prev* 2002; 11:377-86.

Hardell L, Hansson Mild K, Carlberg M. Case-control study on the use of cellular and cordless phones and the risk for malignant brain tumours. *Int J Radiat Biol* 2002; 78:931-6.

Hardell L, Hansson Mild K, Carlberg M. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. *Int J Oncol* 2003; 22:399-407.

Hardell L, Hansson Mild K, Sandstrom M, Carlberg M, Hallquist A, Pahlson A. Vestibular schwannoma, tinnitus and cellular telephones. *Neuroepidemiology* 2003; 22:124-9.

<sup>g</sup> Lönn S, Ahlbom A, Hall P, Feychting M. Mobile Phone Use and the Risk of Acoustic Neuroma. *Epidemiology* 2004; 15:653-9

<sup>h</sup> Christensen HC, Schüz J, Kosteljanetz M, Poulsen HS, Thomsen J, Johansen C. Cellular telephone use and risk of acoustic neuroma. *Am J Epidemiol* 2004; 159:277-83.

Seit der Einführung des GSM-Mobilfunks wurde eine Reihe von grösseren Tierexperimenten durchgeführt, die sich als Langzeitexperimente unter starker Exposition bewerten lassen. Unterschiedliche Tiermodelle mit induzierten Tumoren oder transgenen Tieren liefern, bis auf eine Ausnahme, keine Bestätigung einer Krebs promovierenden Wirkung der applizierten Mobilfunkfelder.

- Insbesondere in Gebäuden in der Nähe der Basisstation wird das Feld nicht automatisch mit der Entfernung schwächer, sondern durch unterschiedliche bauliche Gegebenheiten beeinflusst.

Aus diesen Gründen, und nicht zuletzt wegen der niedrigen Zahl von Fällen, können die Ergebnisse dieser Studie nicht verallgemeinert werden.

## Tierexperimente

Seit der Einführung des GSM-Mobilfunks wurde eine Reihe von grösseren Tierexperimenten mit je bis zu mehreren hundert Mäusen oder Ratten zur Überprüfung einer mutmasslichen Krebspromotion durch diese Felder durchgeführt. Mit einer Dauer bis zu 78 Wochen und einer applizierten SAR bis zu 2 W/kg lassen sich diese Versuche als Langzeitexperimente mit einer starken Exposition bewerten.

Unterschiedliche Tumorinitiierungen, wie z. B. chemischer Art<sup>2</sup>, durch ionisierende Strahlen<sup>3</sup> oder durch Injektion bzw. Implantation von Tumorzellen<sup>4</sup>, kamen bei einer Reihe von Untersuchungen zur Anwendung. Statistische Vergleiche der Überlebensdauer, Anzahl und Grösse der gebildeten Tumoren, der exponierten und schein-exponierten Tiere, liefern keine Hinweise auf eine Krebs promovierende Wirkung der applizierten Mobilfunkfelder.

Alternativ wurden zur Überprüfung der Krebspromotion durch die Mobilfunkfelder verschiedenartige transgene Tiermodelle herangezogen. Repacholi et al. (1997) untersuchen in einer acht Monate dauernden Studie transgene weibliche Mäuse, die spontan Lymphome entwickeln. Die Ergebnisse zeigen durchschnittlich eine 2,4-fache Erhöhung der Lymphome bei exponierten gegenüber nicht exponierten Tieren. In der Replikation dieser Studie bei Utteridge et al. (2002) mit insgesamt 960 Tieren konnten diese Ergebnisse allerdings nicht bestätigt werden. Auch Sommer et al. (2004) stellen keine Einwirkungen von Mobilfunkfeldern auf die Entwicklung von Lymphomen in transgenen Mäusen fest<sup>5</sup>.

9 Stagg RB, Thomas WJ, Jones RA, Adey WR.: DNA synthesis and cell proliferation in C6 glioma and primary glial cells exposed to a 836.55 MHz modulated radiofrequency field. *Bioelectromagnetics* 1997; 18:230-6.

Higashikubo R, Ragouzis M, Moros EG, Straube WL, Roti Roti JL. Radiofrequency electromagnetic fields do not alter the cell cycle progression of C3H 10T and U87MG cells. *Radiat Res* 2001; 156:786-95.

10 Capri M, Scarcella E, Fumelli C, Bianchi E, Salvioli S, Mesirca P, Agostini C, Antolini A, Castellani G, Bersani F, Franceschi C. In Vitro Exposure of Human Lymphocytes to 900 MHz CW and GSM Modulated Radiofrequency: Studies of Proliferation, Apoptosis and Mitochondrial Membrane Potential. *Radiat Res* 2004; 162:211-8.

11 Vijayalaxmi DZ, Frei MR, Dusch SJ, Guel V, Meltz ML, Jauschem JR. Frequency of micronuclei in the peripheral blood and bone marrow of cancer-prone mice chronically exposed to 2450- MHz radiofrequency radiation. *Radiat Res* 1997; 147:495-500.

Vijayalaxmi DZ, Bisht KS, Pickard WF, Meltz ML, Roti Roti JL, Moros EG. Chromosome damage and micronucleus formation in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (847.74 MHz, CDMA). *Radiat Res* 2001; 156:430-3.

Vijayalaxmi DZ, Leal BZ, Meltz ML, Pickard WF, Bisht KS, Roti Roti JL, et al. Cytogenetic studies in human blood lymphocytes exposed in vitro to radiofrequency radiation at a cellular telephone frequency (835.62 MHz, FDMA). *Radiat Res* 2001; 155 :113-21.

Vijayalaxmi DZ, Pickard WF, Bisht KS, Prihoda TJ, Meltz ML, La Regina MC, et al. Micronuclei in the peripheral blood and bone marrow cells of rats exposed to 2450 MHz radiofrequency radiation. *Int J Radiat Biol* 2001; 77:1109-15.

Bisht KS, Moros EG, Straube WL, Baty JD, Roti Roti JL. The effect of 835.62 MHz FDMA or 847.74 MHz CDMA modulated radiofrequency radiation on the induction of micronuclei in C3H 10T(1/2) cells. *Radiat Res* 2002; 157:506-15.

McNamee JP, Bellier PV, Gajda GB, Miller SM, Lemay EP, Lavalley BF, et al. DNA damage and micronucleus induction in human leukocytes after acute in vitro exposure to a 1.9 GHz continuous-wave radiofrequency field. *Radiat Res* 2002; 158:523-33.

Toler et al. (1997) und Frei et al. (1998) überprüfen die Promotionswirkung der Mobilfunkfelder mit transgenen Tieren, die spontan Brustkrebs entwickeln. Keine dieser Studien zeigt eine Einflussnahme der angewendeten Mobilfunkfelder<sup>6</sup>.

Unterschiedliche Tiermodelle mit induzierten Tumoren oder transgenen Tieren liefern, bis auf eine Ausnahme, keine Bestätigung einer Krebs promovierenden Wirkung der applizierten Mobilfunkfelder. Dabei wird mit der Stärke der applizierten Felder und einer langen Expositionsdauer ein «worst case»-Szenario für den Menschen nachgebildet.

### Zytologische und zytogenetische Untersuchungen

Mehrere hundert zytologische und zytogenetische Untersuchungen *in vitro* setzen sich mit der Wirkung von Mikrowellen, und insbesondere mit Mobilfunkfeldern, auseinander. Dabei werden bei einer Expositionsdauer bis zu wenigen Stunden auch häufig Felder mit SAR-Werten über 2 W/kg angewandt, die eine punktuelle Erwärmung der Proben nicht ausschliessen. Die beobachtete Erhöhung des Proliferations-Indikators ODC<sup>7</sup>, oder direkt der Proliferation<sup>8</sup> unter Einwirkung von Mobilfunkfeldern, liesse sich hiermit erklären. SAR-Werte unter 2 W/kg bewirken dagegen keine Änderung der Proliferation in Fibroblasten und verschiedenen Krebszell-Linien<sup>9</sup>, ein Befund, der auch für humane Lymphozyten bestätigt wird<sup>10</sup>. Die Bildung von Mikrokernen durch Mobilfunkfelder wird von den meisten Autoren verneint<sup>11</sup>. Die starke und lange Exposition mit einer SAR von bis zu 100 W/kg bei Koyama et al. (2003) ist von einer starken Formation von Mikrokernen begleitet<sup>12</sup>.

**Bisher wurde von mehreren voneinander unabhängigen Gruppen in Untersuchungen *in vitro* kein Effekt bestätigt, der auf eine eventuelle Wirkung von GSM-Mobilfunkfeldern bei der Karzinogenese hinweisen würde.**

Lai und Singh (1995, 1996) stellen DNA-Schäden wie Einfach-Strangbrüche im Hirngewebe unter der Wirkung von Mobilfunkfeldern mit einer SAR unter 1,2 W/kg fest<sup>13</sup>. In Replikationen können diese Effekte nicht bestätigt werden. Auch jüngere Arbeiten können eine DNA-Schädigung in Mobilfunk ähnlichen Mikrowellen nicht feststellen<sup>14</sup>.

Bei den Untersuchungen der Beeinflussung zytologischer und zytogenetischer Parameter durch Mobilfunkfelder zeigen sich etwa vergleichbare Bilder. Eine Gruppe stellt neuartige Effekte fest, die in nachfolgenden mehrfachen Überprüfungen nicht bestätigt werden konnten. Bisher wurde von mehreren voneinander unabhängigen Gruppen *in vitro* kein Effekt bestätigt, der auf eine eventuelle Wirkung von GSM-Mobilfunkfeldern bei der Kanzerogenese hinweisen würde.

12 Koyama S, Nakahara T, Wake K, Taki M, Isozumi Y, Miyakoshi J. Effects of high frequency electromagnetic fields on micronucleus formation in CHO-K1 cells. *Mutat Res* 2003; 541:81-9.

13 Lai H, Singh NP. Acute low-intensity microwave exposure increases DNA-single-strand breaks in rat brain cells. *Bioelectromagnetics* 1995; 16:207-10.

Lai H, Singh NP. Single- and double-strand DNA-breaks in rat brain cells after acute exposure to radiofrequency electromagnetic radiation. *Int J Radiat Biol* 1996; 69:513-21.

14 Malyapa RS, Ahern EW, Bi C, Straube WL, La Regina M, Pickard WF, Roti Roti JL. DNA damage in rat brain cells after in vivo exposure to 2450 MHz electromagnetic radiation and various methods of euthanasia. *Radiat Res* 1998; 149:637-45.

Hook GJ, Zhang P, Lagroye I, Li L, Higashikubo R, Moros EG, Straube WL, Pickard WF, Baty JD, Roti Roti JL. Measurement of DNA Damage and Apoptosis in Molt-4 Cells after In Vitro Exposure to Radiofrequency Radiation. *Radiat Res* 2004; 161:193-200.

Lagroye I, Anane R, Wettring A, Moros EG, Straube WL, LaRegina M, Niehoff M, Rickards WF, Baty J, Roti Roti JL. Measurement of DNA damage after acute exposure to pulsed-wave 2450 MHz microwaves in rat brain cells by two alkaline comet assay methods. *Int J Radiat Biol* 2004; 80:11-20.

### Ergänzende Literatur

Silny J, Meyer M, Wiesmüller GA, Dott W. Gesundheitsrelevante Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks und anderer neuer Kommunikationssysteme. Umweltmed Forsch Prax 2004; 9:127-136.

Silny J. Auswirkungen hochfrequenter Felder auf den Menschen. Literaturstudie. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 2004; Online-Ausgabe unter [http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/e-smog/literaturstudie\\_silny.pdf](http://www.lfu.baden-wuerttemberg.de/lfu/abt3/e-smog/literaturstudie_silny.pdf).

WBLDB, Wissensbasierte Literaturdatenbank und EMF-Portal über elektromagnetische Wechselwirkungen im Organismus. Internetzugang unter <http://www.femu.rwth-aachen.de>.

### Der Autor

#### Prof. Dr.-Ing. habil. med. Jiri Silny

Prof. J. Silny erwarb nach einem Doppelstudium seinen Doktorgrad im Fach Elektrotechnik im Jahr 1976 und habilitierte sich 1986 in der Medizinischen Fakultät der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen. Er war Leiter der Abteilung für Biophysikalische Messtechnik des Helmholtz-Instituts für Biomedizinische Technik. Seit 1996 leitet er das Forschungszentrum für Elektromagnetische Umweltverträglichkeit (femu) an der RWTH Aachen.

Seine Forschungsschwerpunkte liegen auf dem Gebiet der elektromagnetischen Wechselwirkungen mit dem Organismus und mit Implantaten sowie in der Umsetzung der Forschungsergebnisse bei der Abschätzung von Wirkungsschwellen und Sicherheitsabständen bei Umwelt- und Arbeitsschutz. Ein weiterer Schwerpunkt ist die Entwicklung von neuartigen Verfahren in medizinischer Diagnostik und Therapie. Bisher hat er mehr als 200 Veröffentlichungen für wissenschaftliche Zeitschriften verfasst oder mitverfasst und ist an zahlreichen Buchpublikationen zum Thema beteiligt.

### Koordinaten

Forschungszentrum für Elektro-Magnetische Umweltverträglichkeit, Universitätsklinikum der RWTH Aachen, Büro: Ebene 3, Gang D, Raum 17, Pauwelsstr. 30, D-52074 Aachen  
 Telefon: +49 (0) 241/80-87007  
 Telefon: +49 (0) 241/80-87287 (Anmeldung)  
 Telefax: +49 (0) 241/80-82636  
 e-Mail: [silny@femu.rwth-aachen.de](mailto:silny@femu.rwth-aachen.de)

### Impressum

Auflage: 8000  
 Herausgeber: Forum Mobil, Kramgasse 16, 3011 Bern  
 Layout und Redaktion: Burson-Marsteller AG  
 Druck: Varicolor AG, 3000 Bern 32

Das Forum der Mobilkommunikation Schweiz (Forum Mobil) ist ein von der Schweizer Mobilfunkbranche gegründeter Verein mit dem Ziel, Fakten rund um den Mobilfunk sachlich aufzuarbeiten und bereitzustellen. Das Forum Mobil ist Schnittstelle zwischen allen Dialogpartnern und wirkt als Plattform für wichtige Fragen rund um Mobilfunk und mobile Kommunikation. Es publiziert fundierte Argumente, Fakten und Informationsunterlagen, nutzt Seminare, Expertenhearings und Informationsveranstaltungen und bietet verschiedenen Partnern einen Informationsservice.

«frequentia» und weitere Informationen zu Mobilfunk und Medizin sind auch im Internet verfügbar: [www.forummobil.ch/medizin/](http://www.forummobil.ch/medizin/)

**F**  
**•**  
**BIL**  
**•**  
**M**  
**•**  
**RUM**