

Weitere Forschung ist nötig, um zu bestätigen, dass elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen Krebs erregend für den Menschen sind.“

**Quelle:** Bortkiewicz A, Gadzicka E, Szymczak W (2017): Review: Mobile Phone Use and Risk for Intracranial Tumors and Salivary Gland Tumors – A Meta-Analysis. *International Journal of Occupational Medicine and Environmental Health* 30 (1), 27–43

## Mobilfunk und Krebs

# Wirkung von UMTS-Strahlung auf Glioblastomzellen

**Einige epidemiologische Studien hatten ergeben, dass Mobilfunkstrahlung Glioblastome beim Menschen hervorruft. Weil Genom-Instabilität ein Risikofaktor für die Entstehung von Krebs ist, wurde in diesen Experimenten die Wirkung von UMTS-Strahlung, die in Smartphones genutzt wird, auf die Bildung von Chromosomenschäden untersucht. Chromosomenschäden wurden nicht gefunden, aber signifikant erhöhte Apoptoseraten bei 1 W/kg, der SAR, die als ICNIRP-Grenzwert gilt.**

Etwa 4,8 Mrd. Menschen nutzen Mobiltelefone, sind also nicht-ionisierender Strahlung ausgesetzt. Die IARC-Einstufung (möglicherweise Krebs erregend beim Menschen) basierte auf erhöhten Glioblastomfällen in epidemiologischen Studien. Als Mechanismen werden Genschäden angenommen, wenn auch experimentell widersprüchliche Ergebnisse vorliegen. Grundsätzlich können verschiedene Schäden entstehen, die die Struktur der Zellkerne, Chromosomen oder Gene betreffen. Genschäden sind z. B. Doppel- oder Einzelstrangbrüche der DNA, es können Mikrokern, dizentrische Chromosomen oder Genervielfältigungen auftreten. In dieser Studie sollte herausgefunden werden, ob Schäden dieser Art durch Einwirkung von UMTS-Strahlung zu finden sind. Die Experimente wurden mit zwei menschlichen Glioblastomzelllinien durchgeführt, die sich im p53-Gen unterscheiden, U87 (Wildtyp) und U251 (Mutante).<sup>\*</sup> Bei diesen Zelllinien wurde in epidemiologischen Studien ein erhöhtes Gliomrisiko durch Nutzung des Mobiltelefons gefunden. Es wurden SARs angewendet wie sie beim Telefonieren vorkommen.

Die Zelllinien U87 und U251 wurden 16 Stunden verschiedenen SAR-Dosen ausgesetzt (0,25, 0,50 und 1,0 W/kg bei 1950 MHz, intermittierend 10 min. an, 5 min. aus). 1 W/kg ist der ICNIRP-Grenzwert für Dauereinwirkung des UMTS-Signals auf Menschen. Eine Zellgruppe erhielt zusätzlich Mitomycin C (MMC) als positive Kontrolle. Mitomycin C ist eine zytostatische Substanz, die in Kombination mit Strahlung eine synergistische Wirkung haben kann. Die Strahlung allein verursacht vielleicht keine DNA-Schäden, verändert aber die Empfindlichkeit von Zellen gegenüber mutagenen Chemikalien. Die niedrigeren SAR-Dosen sollten Aufschluss über eine dosisabhängige Wirkung geben. Außerdem wurden Zellen mit und ohne zusätzliches Serum (FCS) im Wachstumsmedium untersucht. Wenn FCS im Kulturmedium fehlt, werden die Zellen in der G<sub>0</sub>/G<sub>1</sub>-Phase der Zellteilung angehalten (Ergebnis früherer Experimente). Neben den Chromosomen- und DNA-Schäden wurden auch Apoptose, Nekrose und mitotische Inzidenz untersucht. Die Experimente wurden verblindet als unabhängige Doppelansätze durchgeführt, die Temperatur variierte um  $\pm 0,3$  °C.

Die Ergebnisse zeigten keine signifikanten Chromosomen- und DNA-Schäden durch die eingesetzten Feldstärken, aber

es wurden signifikant erhöhte Apoptoseraten in den U251-Zellen beobachtet (d. h. in den Mutanten, die Red.). Das fehlende Serum führte zur Hemmung der Zellteilung. Es gab keine Hinweise auf die Bildung von Mikrokernen (mit und ohne FCS) oder andere Anomalien. Bei gleichzeitiger Einwirkung von UMTS-Strahlung und MMC (MMC-Zusatz vor der Bestrahlung, positive Kontrolle) sah man signifikant erhöhte Chromosomenveränderungen und leicht erhöhte Anzahl nekrotischer Zellen in den Kulturen mit, nicht in denen ohne Serum. Die Kernteilungs-Indizes wurden weder durch MMC noch durch UMTS-Strahlung beeinflusst.

Bei der höchsten Dosis von 1 W/kg war eine signifikante 2-fach erhöhte Einleitung der Apoptose in den U251-Zellen mit und ohne FCS zu sehen, sichtbar aufgrund der morphologischen Erscheinung der Zellen. Bei den U87-Zellen gab es keine signifikanten Veränderungen.

Dies ist die erste Untersuchung zu gentoxischen Wirkungen von UMTS-Strahlung auf menschliche Glioblastomzellen. Das einzige statistisch signifikante Ergebnis war die 2-fach erhöhte Apoptoserate in U251-Zellen bei der höchsten Dosis nach Bestrahlung, mit und ohne Serum. Apoptose wurde auch in vielen anderen Experimenten mit verschiedenen Zellen (menschlichen Brustkrebs-, Maus-Endothel-, Maus-Hirnzellen, andere Organe) mit verschiedenen Frequenzen gefunden. Hinweise auf Induktion der Apoptose betraf nur die Zelllinie U251, die eine Mutation im p53-Gen hat, anders als der Wildtyp U87. Dasselbe fand man bei ionisierender Röntgenstrahlung. In einer Studie konnte oxidativer Stress die Apoptose in U251-Zellen induzieren über den Caspase-3-unabhängigen Signalweg. Da keine Chromosomenschäden festgestellt wurden, müssen andere Mechanismen vorliegen. Der signifikante Anstieg der Apoptose in der Zelllinie mit dem Defekt im p53-Gen deutet auf eine Einwirkung der UMTS-Strahlung auf physiologische Prozesse hin, die zur Entsorgung der Zellen führt. Weitere Experimente sollen durchgeführt werden, um die biologischen Folgen und die ursächlichen molekularen Mechanismen zu klären.

### Quelle:

Al-Serori H, Kundi M, Ferk F, Mišić M, Nersesyan A, Murbach M, Lah TT, Knasmüller S (2017): Evaluation of the potential of mobile phone specific electromagnetic fields (UMTS) to produce micronuclei in human glioblastoma cell lines. *Toxicology in Vitro* 40, 264–271

## Hochfrequenzbelastung in einer Großstadt

# Hohe HF-Feldstärken in der Stockholmer Altstadt

**Messungen einiger Hochfrequenzfelder (87–5850 MHz) in der Stockholmer Altstadt ergaben z.T. hohe Feldstärken, vor allem an Plätzen, wo sich viele Menschen aufhalten. Hohen Anteil an den Feldern haben Mobilfunk und LTE. Da Mobilfunkstrahlung als möglicherweise Krebs erregend beim Menschen gilt, sind chronisch einwirkende geringe Feldstärken als gesundheitsgefährdend zu betrachten. Das Ziel dieser Studie war, die tatsächlichen Feldstärken in der Stockholmer Altstadt und rund um das nahe gelegene Parlamentsgebäude zu bestimmen.**

Die Forschungsgruppe um Prof. Hardell hatte erstmals vor 15 Jahren ein erhöhtes Hirntumorrisiko durch epidemiologische Berechnungen festgestellt, was weltweit von anderen bestätigt wurde. 2011 stufte die IARC Mobilfunkstrahlung als möglicherweise Krebs erregend ein. Die Grenzwerte

(ICNIRP) basieren auf kurzzeitiger (akuter) Strahlenbelastung, dauernde (chronische), kumulative Langzeiteinwirkung geringer Feldstärke mit langzeitigen Gesundheitsrisiken ist nicht berücksichtigt. Die vielen Ergebnisse von Laborexperimenten, die seit 1982 Krebs erregende Wirkung der Strahlung unterhalb der thermischen Schwelle gezeigt haben, werden ignoriert. Viele andere Studien haben schädliche Wirkungen weit unterhalb der thermischen Schwelle der ICNIRP-Werte gefunden. Vor dem Hintergrund der IARC-Einstufung und der ständig steigenden Hochfrequenzbelastung durch immer mehr technische Einrichtungen wurden zur aktuellen Situation Messungen durchgeführt. Im November 2015 hatten Messungen am Hauptbahnhof in Stockholm z.T. sehr hohe Werte ergeben (1669 Messpunkte), die mit einem Exposimeter bei Frequenzen von 87–5850 MHz aufgezeichnet worden waren. Die Werte reichten von  $921 \mu\text{W}/\text{m}^2$  ( $0,092 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) bis max.  $>95.544 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (6 V/m, dem höchst möglichen Messwert dieser Geräte). Die höchsten Werte im Bahnhof stammten von einer Mobilfunk-Basisstation (GSM 900+UMTS). Die Menschen dort werden unfreiwillig unnötig hohen Feldstärken ausgesetzt. Diese Art Messung wurde jetzt in den Straßen der Altstadt fortgesetzt. Die Stockholmer Altstadt ist nicht weit vom Bahnhof entfernt und zu Fuß gut zu erreichen, sie ist von Einheimischen und Touristen stark besucht. Viele Menschen wohnen dort, es gibt viele Geschäfte, Restaurants und Cafés mit Terrassen, außerdem befinden sich dort das Oberste Gericht, Schloss und Parlamentsgebäude.

Die Messungen erfolgten auf 5 Touren in der Altstadt mit Exposimetern für 20 festgelegte Frequenzen zwischen 87 und 5850 MHz. Dieser Frequenzbereich umfasst Radio- und TV-Sender, TETRA, Mobilfunk, DECT und WLAN und WiMAX. Die Altstadt liegt auf einer Insel und ist deshalb gut abzugrenzen. Die Messungen wurden tagsüber im April 2016 durchgeführt (4 Wochentage, ein Wochenende), alle 4 sec. wurde ein Wert aufgezeichnet. Alle Hauptstraßen und wenige Nebenstraßen wurden einbezogen, genauere Messungen gab es um den Obersten Gerichtshof, den Königspalast und das Parlamentsgebäude (weil hier Entscheider sitzen) sowie auf 3 belebten Plätzen (weil hier viele Menschen draußen sitzen). An den Hauptstraßen wurde mehrmals, in Nebenstraßen nur einmal gemessen.

Insgesamt kamen 10.437 Messwerte während der Messrunden mit ca. 12 Stunden Gesamtmeßzeit (696 min.) zusammen. FM-Radio war relativ gering, aber Mobilfunk GSM 900 und UMTS Downlink hatten hohe Durchschnittswerte ( $10.273 \mu\text{W}/\text{m}^2$ ). Die höchsten Werte kamen von Basisstationen (5 Bänder) zwischen 24.385 (LTE800 Downlink) und  $95.523 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (LTE 2600 Downlink). Der höchste Wert kam von einem GSM1800-MHz-Telefon mit  $19.137 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Der Gesamt-Mittelwert betrug  $19.990 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . In den Straßen um den Königspalast fand man während der 4-Stunden-Messung geringe Feldstärken, der höchste Durchschnittswert betrug  $306 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (UMTS2100 Downlink), der Gesamtdurchschnitt  $756 \mu\text{W}/\text{m}^2$  (min. 0,3, max.  $50.967 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , 17,6 % der Gesamtwerte in der Altstadt). Am Gerichtshof betrug der durchschnittliche Gesamtwert  $404 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , das Maximum  $4.088 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , fast alle Werte stammten von Mobilfunk-Downlinks. Am Parlamentsgebäude, das außerhalb der Altstadt auf einer eigenen Insel liegt, wurde ca. 1,5 Stunden gemessen. Die Werte sind signifikant niedriger.

Die höchsten Werte wurden am Järntorget-Platz gemessen mit einem Durchschnittswert von  $24.277 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , das ist 60-fach höher als am Obersten Gerichtshof. Der Maximalwert am Järntorget betrug  $173.302 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , das ist 42-fach höher als am Obersten Gerichtshof mit  $4088 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Am Järntorget

fand man auch FM-Radio-Frequenzen. Die hohen Feldstärken sind durch Mobilfunk-Downlinks außer 1800 MHz bedingt, der Wert für GSM900+UMTS betrug  $10.273 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , ein außergewöhnlich hoher Einzelwert war  $95.990 \mu\text{W}/\text{m}^2$  von LTE 2600 Downlink. Die Messungen ergaben einen Gesamtdurchschnitt von  $19.990 \mu\text{W}/\text{m}^2$ .

Die hohen Werte durch Mobilfunk rühren daher, dass die Basisstationen in der Altstadt oft sehr niedrig angebracht sind, so dass sie direkt auf die Geschäfte, Cafés und Restaurants und deren Terrassen strahlen. Dazu kommen die engen Straßen mit hohen Wänden, die die Strahlung durch Reflexionen in Aufenthaltsbereichen gefangen halten. Der BioInitiative-Report von 2012 setzte den Orientierungswert für mögliche Gesundheitsrisiken auf  $30\text{--}60 \mu\text{W}/\text{m}^2$  fest, als Vorsorgewert für Kinder sollte ein Zehntel davon gelten, also  $3\text{--}6 \mu\text{W}/\text{m}^2$ . Die Messergebnisse der Hochfrequenzstrahlung in Außenbereichen in Stockholms Altstadt sind signifikant oberhalb dieser Grenze. Der Wert von  $60 \mu\text{W}/\text{m}^2$  ist am Järntorget-Platz 405-fach überschritten. Die Feldstärken liegen aber unter dem ICNIRP-Referenzwert von  $10.000.000 \mu\text{W}/\text{m}^2$ , der keine nicht-thermischen Wirkungen berücksichtigt und somit nicht auf wissenschaftlicher Basis beruht. Der Wert vom Järntorget-Platz macht nur 0,24 % des ICNIRP-Wertes aus.

Das Ergebnis der Gesamt-Feldstärken von durchschnittlich  $4293 \mu\text{W}/\text{m}^2$  in der Altstadt ist auch von großer Bedeutung, wenn man bedenkt, dass schon  $2500 \mu\text{W}/\text{m}^2$  eine oxidative Wirkung (ROS-Bildung) auf lebende Zellen haben, wie Yakymenko und Mitarbeiter auf der Basis von 100 Studien 2015 beschrieben haben. Bei Ratten wurde oxidativer Stress schon bei SAR-Werten von  $85 \mu\text{W}/\text{kg}$  durch 900 MHz gefunden. ROS sind ein Faktor bei der Krebsentstehung. Langzeitstudien mit Labortieren bei oder unter den hier gemessenen Werten haben nicht-thermische Wirkungen bei Säugetieren gezeigt. Dazu gehört z. B. Veränderung der Blut-Hirnschranke beim Menschen und des Hirngewebes bei Ratten v. a. im Hippocampus, der für Lernen und Gedächtnis zuständig ist. Andere Organe, Gewebe und Zellen wie Hoden und Spermien werden verändert, zudem DNA-Reparatur u.a. Zellprozesse. Experimente geben Hinweise, dass wachsendes Gewebe stärker durch nicht-ionisierende Strahlung beeinflusst wird. Die Forschung zu Langzeitwirkungen der Strahlung wird weitergehen, denn die Langzeitwirkung auf die Gesundheit, z. B. Krebsentstehung, wurde noch nicht untersucht. Auch die Nahfeldwirkungen mit dem Handy am Ohr oder Internetnutzung werden einen großen Teil der Strahlung ausmachen. Die Feldbelastungen werden noch steigen, dazu kommen weitere Frequenzen trotz der bereits nachgewiesenen Gesundheitswirkungen. Leider gibt es keine Studien zum Langzeitrisiko für Menschen. Es gibt unnötig hohe Feldstärken in einigen Teilen der Altstadt, die zu dicht am Boden sind und ein Gesundheitsrisiko für sehr viele Menschen darstellen.

Diese Arbeit wurde vom Mr. Brian Stein, Cancer- und Allergifonden, Cancerhjälpen und der Pandora-Stiftung für unabhängige Forschung, Berlin, finanziert.

#### Quelle:

Hardell L, Carlberg M, Koppel T, Hedendahl L (2017): High radiofrequency radiation at Stockholm Old Town: An exposimeter study including the Royal Castle, Supreme Court, three major squares and the Swedish Parliament. *Molecular and clinical Oncology* 6, 462–476

**Kommentar:** Solche umfangreichen Messungen könnten in Innenstädten deutscher und anderer Großstädte ähnliche Werte ergeben. Es ist nur eine Frage der Finanzierung.