

Neues aus der Wissenschaft


Die folgenden Beiträge beziehen sich auf neuere wissenschaftliche Originalarbeiten zur Wirkung hochfrequenter Felder des Mobilfunks. Die Auswahl der Publikationen ist vom Autor Prof. Roland Glaser selbst getroffen und durch sein subjektives Urteil der Relevanz bestimmt.

Roland Glaser

Wirken die Felder des Mobilfunks auf die Endozytose von Zellen? Moleküle, die zu groß sind, um die Membran zu passieren, können durch Membran-Ab schnürungen, zunächst als Vesikel verpackt, von der Zelle ausgeschieden („Exocytose“) oder aufgenommen werden („Endozytose“). Um diesen Prozess experimentell zu verfolgen setzt man gewöhnlich fluoreszierende Moleküle ein, die sich nach Aufnahme in der Zelle leicht nachweisen lassen. Eine französische Arbeitsgruppe untersuchte nun mit Hilfe des Fluoreszenzfarbstoffes Lucifer-Yellow und einem fluoreszierenden hochmolekularen Dextran (MW 71 kD), ob sich dieser Prozess durch die Einwirkung gepulster (217 Hz, 0,58 ms) und kontinuierlicher 900 MHz Felder sowie entsprechender bipolarer Rechteckimpulse beeinflussen lässt. Man verwendete drei Arten von Zellen: Melanoma-Zellen der Maus (B16-F1), menschliche Krebszellen (A253) und Hamster-Fibroblasten (DC-3F), die jeweils einen Tag vor dem Experiment in Petrischalen ausgesät wurden. Ab einem Peak-SAR (nicht jedoch mittlerem SAR!) von 2,6 W/kg konnte eine Erhöhung der Endozytose-Aktivität der Zellen um das 1,5-fache beobachtet werden, der auch bei 4,5 W/kg nicht weiter anstieg. Die Autoren sprechen von einem „Alles-oder-Nichts-Effekt“, der nach 10 Minuten Exposition messbar war und sich in Relation zur Kontrolle bis 30 Minuten nicht veränderte. Ähnlich verhalten sich die Zellen bei Applikation der Rechteck-Pulse einer Feldstärke entsprechend den HF-Pulsen (1,2 bis 8 V/cm). Leider werden die Messungen photometrisch an homogenisierten Zellen durchgeführt, nur hin und wieder werden mikroskopische Beobachtungen ohne quantitative Aussage angeführt. So weiß man nicht, ob alle Zellen eine um 50 % gesteigerte Endozytose zeigen, oder ob der Effekt viel

intensiver, aber nur bei einer kleinen Population von Zellen auftritt. Dass die Fluoreszenzfarbstoffe in intrazellulären Vesikeln vorliegen, wie erwähnt, ist selbstverständlich. Ob bei Feldeinfluss die vermehrte Aufnahme aber ebenfalls durch eine erhöhte Vesikulation erfolgt oder durch ein Leck in absterbenden Zellen, das lässt sich aus den photometrischen Daten nicht schließen. Die Autoren meinen (ohne weitere Begründung), dass die Hypothese eines thermischen Effektes eliminiert werden kann. Warum eigentlich? Sprechen doch der Umstand, wonach der Peak-SAR wirksam ist, wonach es einen „Alles-oder-Nichts“-Effekt gibt, wonach die Effekte bei Temperaturen unter 31 Grad nicht auftreten, eigentlich dafür. Andererseits ignoriert der Vergleich der HF-Impulse mit Rechteck-Impulsen gleicher Feldstärke völlig das entsprechende Impedanzverhalten der Membran. Nur kurz wird darauf eingegangen. Immerhin sind die Resultate interessant, näher analysiert und auch mikroskopisch überprüft zu werden, auch wenn die Autoren zu dem Schluss kommen, dass aus ihren Resultaten nicht auf ein akutes Risiko geschlossen werden kann (Mahrouf, N.; PologeaMoraru, R.; Moisescu, M. G.; Orlovski, S.; Leveque, P., and Mir, L. M.: In vitro increase of the fluid-phase endocytosis induced by pulsed radiofrequency electromagnetic fields. Importance of the electric field component. *Biochim. Biophys. Acta; Biomembranes* **1668**,126-137. 2005).

Wieder ein vergeblicher Versuch zur Objektivierung der „Elektrosensitivität“. An der Universität Regensburg wurde im Auftrag des Bundes-Umwelt-Ministeriums eine Untersuchung an Probanden durchgeführt, die unter Symptomen leiden, welche auf einer Liste




von 36 Beschwerden als typisch für Folgen elektromagnetischer Felder aufgeführt sind (Kopfschmerzen, Schlaflosigkeit, Nackenschmerzen, Konzentrationschwäche...). Es wurden drei Gruppen von jeweils etwa 30 Personen miteinander verglichen: „Elektrosensitive“, d. h. solche, die ihre Beschwerden auf die Belastung durch elektromagnetische Felder zurückführen und als Vergleich zwei Gruppen, die dafür andere Ursachen vermuten. Diese beiden Kontrollgruppen unterschieden sich voneinander durch die Schwere ihres Leidens. Unter strengen Doppel-Blind-Bedingungen wurde getestet, wie die Probanden auf Reize durch einen herkömmlichen Magnetstimulator reagieren (Hirn-Reizung des dorsolateralen präfrontalen Cortex). Als einziger Unterschied erwies sich, dass die Probanden aus der Gruppe der „Elektrosensitiven“ deutlich häufiger Empfindungen im Falle von Schein-Expositionen angaben als jene aus den beiden Kontrollgruppen. Die Autoren schließen zwar, dass die vorliegenden Untersuchungen die Hypothese nicht stützen, wonach elektromagnetische Felder die Ursache der Leiden der „Elektrosensitiven“ sind, verweisen jedoch auch auf die Grenzen dieser Aussage: Der Reiz mit dem Magnetstimulator ist nicht identisch mit dem Einfluss einer Mobilfunkanlage, noch weniger mit der komplexen elektromagnetischen Beeinflussung des Menschen in normaler Umgebung. Somit werden die Ergebnisse auch nur als erster Schritt in einer Reihe weiterer Untersuchungen gewertet (Frick, U.; Kharraz, A.; Hauser, S.; Wiegand, R.; Rehm, J.; vonKovatsits, U.; Eichhammer, P. Comparison perception of singular transcranial magnetic stimuli by subjectively electrosensitive subjects and general population controls. *Bioelectromagnetics*. **26**, 287-298. 2005).



Feldeffekte bei Patienten mit allergischem Syndrom?

In einer Kurzmitteilung berichtet H. Kimata über Experimente, bei denen 30 Personen, die an einem atopischen Eczema-Dermatitis-Syndrom (AEDS) leiden, während 30 Minuten unter dem Einfluss des Feldes eines am Kopf befestigtes Handys standen (Toshiba C5001T). Beim ersten Experiment wurde die eine Hälfte der Probanden befeldet, die andere nicht. Bei Wiederholung des Experiments nach 15 Tagen wurde gewechselt. Die Versuche und Auswertung erfolgten blind. Direkt nach dem Test wurde den Personen Blut entnommen, die mononuclearen Lymphozyten über 14 Tage kultiviert und ihre Reaktion auf Latex und

auf Pollen japanischer Zedern geprüft. Nicht das Zeder-spezifische IgE, wohl aber das Latex-spezifische zeigte bei den befeldeten Personen eine deutliche Veränderung ($p < 0,01$). Bei gesunden Probanden konnten derartige Reaktionen dagegen nicht gefunden werden. Der Autor hält eine Verifikation der Ergebnisse für erforderlich (Kimata, H.: Microwave radiation from cellular phones increases allergen-specific IgE production. *Allergy* **60**, 838-839. 2005).



Kein Einfluss von Feldern des UMTS-Systems auf das visuelle Erkennungs-System des Menschen.

Im Gegensatz zu mehreren Untersuchungen über mögliche Einflüsse von GSM-Signalen des Mobiltelefons auf Leistungen des menschlichen Gehirns gibt es bisher kaum Studien zu den entsprechenden UMTS-Feldern. In einem von der FGF gesponserten Projekt wurde nun untersucht, ob ein eingeschaltetes Handy der UMTS-Generation Einfluss auf die Verarbeitung optischer Signale im Gehirn haben könnte. 58 Probanden unterzogen sich vier Sehtests, wie sie in der klinischen Diagnose üblich sind. Dabei wurden sie im Doppelblind-Verfahren mit zwei unterschiedlichen Intensitäten eines UMTS-Signals, befeldet, bzw. einer Scheinbefeldung unterzogen (UMTS-Signal-Generator GUS6960S der Univ. Wuppertal; mittlerer SAR in Gehirn $-0,063$ W/kg – als „schwache“, bzw. $0,63$ W/kg als „starke“ Exposition). Die Exposition erfolgte über eine, an einem Kopfhörer fixierte, nach hinten gerichtete Antenne, der üblichen Haltung eines Telefons entsprechend. Getestet wurde die Schwelle des Flimmer-Erkennens, die Verfolgung verschlungener Linien, das schnelle Erfassen einer Situation im Straßenverkehr und die Kontrast-Empfindlichkeit bei der Erkennung eines Zeichens. In keinem der Tests konnte ein signifikanter Einfluss des Feldes auf das optische Erkennungssystem gefunden werden (Schmid, G.; Sauter, C.; Stepansky, R.; Lobentanz, I. S.; Zeitlhofer, J.: No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics*.; **26**, 243-250. 2005).




Chromosenschäden durch 1800 MHz Befeldung?

Nach einer ersten Arbeit aus dem Jahre 2000 (Mutat. Res. **472**, 51) mit Frequenzen von 2,45 und 7,7 GHz haben Zotti-Martelli et al. jetzt diese Versuche mit 1,8 GHz wiederholt. Blut von 9 gesunden Spendern wurde dabei 1, 2 und 3 Stunden lang einem Feld von


5, 10 und 20 mW/cm² ausgesetzt. Nach dreitägiger Inkubation der Proben in Kulturlösung wurde in gefärbten Ausstrichen die Anzahl der Lymphozyten ermittelt, die Mikro-Kerne enthielten – ein Indikator für aufgetretene Chromosomenschäden. Aus der Anzahl zweikerniger Zellen wurde ferner ein Zellteilungs-Index ermittelt. Dieses im Mai-Juni 2003 durchgeführte Experiment wiederholten die Autoren im September-Oktober des gleichen Jahres mit den gleichen Spendern. Die Exposition erfolgte bei Raumtemperatur (21-22° C); die gemessenen Temperaturerhöhungen betragen maximal 1° C. Resultierende SAR-Werte sind leider nicht angegeben. Die Ergebnisse zeigen eine signifikante Erhöhung der Anzahl von Mikrokernen nach 2 und 3 stündiger Befeldung mit mindestens 5 mW/cm², wobei weder eine Verstärkung des Effektes bei Erhöhung der Dosisleistung von 5 auf 10 und 20 W/cm², noch durch Verlängerung der Expositions-Dauer von zwei auf drei Stunden auftrat. Ein Einfluss auf die Zellteilung konnte nicht beobachtet werden. Obgleich die Tendenz gleich war, zeigten sich zwischen Sommer- und Herbst-Versuchen deutliche Unterschiede. Auch individuell schwankten die Werte beträchtlich, so dass die Autoren von weiteren Einflüssen auf die gemessenen Effekte ausgehen. Die Angaben sind mitunter etwas verwirrend und ungenau (Was bedeutet zum Beispiel: 0 Stunden Exposition bei 0, 5, 10 und 20 mW/cm² in Abb. 2?). Immerhin widerspricht es wissenschaftlichen Gepflogenheiten, Behauptungen auf selektive Literaturdaten zu stützen. So suggeriert man, es gäbe eine ganze Anzahl von Publikationen, welche ähnliche Effekte nachgewiesen hätten. Tatsächlich nennt man solche, ohne die dazu inzwischen publizierte Kritik zu erwähnen und ignoriert völlig die vielen Publikationen mit negativen Resultaten (z.B.: Bisht et al. 2002, d'Ambrosio et al. 2002, Koyama et al. 2003, Port et al. 2003, Zeni et al. 2003, sowie die Publikationen von Vijayalaxmi et al. der letzten Jahre). Auf diese Weise kann man vielleicht Leser dieser Zeitschrift beeindrucken, nämlich Genetiker, welche die Untersuchungen zu HF-Feldern nicht kennen, gleichzeitig klinkt man sich jedoch aus der wissenschaftlichen Diskussion des eigentlichen Problems aus (ZottiMartelli, L.; Peccatori, M.; Maggini, V.; Ballardin, M.; Barale, R.: Individual responsiveness to induction of micronuclei in human lymphocytes after exposure in vitro to 1800-MHz microwave radiation. *Mutat. Res.* **582**, 42-52. 2005).

Keine Expression von Hitzeschockproteinen selbst bei starker 1950 MHz-Exposition. Nachdem die Gruppe um J. Miyakoshi vor Jahren bereits vergeblich versucht hatte, eine Erhöhung der Konzentration des Hitzeschockproteins HSP70 in Zellen eines Hirntumors (menschliche Glioma-Zellen M054) durch Exposition mit schwachen 60 Hz Feldern (Miyakoshi et al.: *Life Sciences* 2000; **66** 1187) und im 2,45 GHz-Bereich nachzuweisen (Tian et al.: *Intern. J. Radiat. Biol.* 2002; **78**, 433), liegen jetzt Ergebnisse von Experimenten vor, bei denen der 1,95 GHz-Bereich untersucht wurde. Diesmal exponierte man die Zellen eine bzw. zwei Stunden mit Feldern, die in den Proben SAR-Werte von jeweils 1, 2 und 10 W/kg erzeugten. Messungen ergaben dabei keine Temperaturerhöhung über 0,1° C. Neben Schein-Befeldung wurde eine Positiv-Kontrolle verwendet, bei denen über 2-3 Stunden die Temperatur auf 43° C erhöht wurde. Im Gegensatz zu den Feld-exponierten Zellen zeigte dies eine deutliche Zunahme sowohl des HSP27 als auch des HSP70. Auch fluoreszenz-mikroskopisch konnte nur bei diesen Positiv-Kontrollen ein Eindringen der HSP-Moleküle aus dem Zytoplasma in den Kern beobachtet werden. Bei 10 W/kg Exposition stellte man eine Verminderung der Phosphorylierung an einer der drei Stellen des HSP27 fest; ein Effekt, der den Ergebnissen von Leszczynski (*Differentiation* 2002; **70** 120) widerspricht und dessen Mechanismus und physiologische Bedeutung unklar sind (Miyakoshi, J.; Takemasa, K.; Takashima, Y.; Ding, G. R.; Hirose, H.; Koyama, S.: Effects of exposure to a 1950 MHz radio frequency field on expression of Hsp70 and Hsp27 in human glioma cells. *Bioelectromagnetics*; **26**, 251-257. 2005).

Selbst bei 1 W/kg keine genotoxischen Effekte in menschlichen Lymphozyten. Obgleich die meisten Untersuchungen zu möglichen Einflüssen von Hochfrequenzfeldern des Mobilfunks auf Blutzellen zu negativen Ergebnissen führten, ist dieses Problem noch nicht aus der Welt, erscheinen doch immer wieder einzelne Arbeiten mit gegenteiligen Befunden. Eine Arbeitsgruppe aus Italien, die sich seit langem mit diesem Problem beschäftigt (siehe „Neues aus der Wissenschaft“ Heft 1, 2004), hat jetzt Lymphozyten aus Blut von 10 Spendern untersucht, und in verschiedenen Proben jeweils 2 Stunden einem GSM-Feld (900 MHz, 217 Hz gepulst) bei SAR-Werten von 0,3 und 1 W/kg ausgesetzt. Diese Blut-Proben ent-



hielten Lymphozyten, die unstimuliert waren, und sich dadurch alle genetisch im Ruhestadium (G0) befanden. Es wurde nicht nur der übliche alkalische Kommet-Test durchgeführt, der allgemeine Hinweise auf Chromosomen-Schäden liefert, man verfolgte nach mitogener Stimulation der Lymphozyten mikroskopisch auch spezielle Chromosomen-Aberrationen. Lediglich die Positivkontrollen unter Einsatz chemischer Mutagenen (MMS, MMC) zeigten Abweichungen von den Proben mit Schein-Befeldung. Obgleich bei der Exposition mit einem SAR von 1 W/kg eine Temperaturerhöhung von 0,2° C messbar war, konnte auch unter diesen Bedingungen kein Einfluss auf das genetische Material gefunden werden (Zeni, O.; Romano, M.; Perrotta, A.; Lioi, M. B.; Barbieri, R.; dAmbrosio, G.; Massa, R.; Scarfi, M. R.: Evaluation of genotoxic effects in human peripheral blood leukocytes following an acute in vitro exposure to 900 MHz radiofrequency fields. *Bioelectromagnetics* **26**, 258-265. 2005).




Regionale Durchblutungsänderungen im Gehirn nach Exposition mit GSM-Feld. Wir referierten bereits die Publikationen aus der Universität Zürich über Änderungen des Schlaf-EEG nach Befeldung mit einem GSM-Feld („Neues aus der Wissenschaft“, FGF-Newsletter 2/2003). Diesen Befunden ging die Gruppe jetzt unter Einsatz der PET-Technik (Positronen Emissions Tomographie) nach, um mögliche Durchblutungsänderungen im Gehirn als Ursache zu erfassen. Die Autoren vermuteten, dass die zum Teil widersprüchlichen Befunde über neuronale Änderungen als Resultat der Handy-Strahlung durch Unterschiede der verwendeten Modulations- bzw. Pulsationsarten zu erklären wären. In der vorliegenden Untersuchung an 16 Probanden wurden neben „Handset-like“ Signalen, die also das aktive Telefonieren selbst simulieren, auch solche verwendet, die der Emission einer Basisstation entsprechen (bstat). In beiden Fällen ergab der über 10 g gemittelte SAR-Wert im Gehirn 1 W/kg, wobei, bedingt durch die unterschiedlichen Puls-Muster, der „crest-factor“, d.h. die Relation zwischen dem maximalen und dem mittleren SAR-Wert, im Falle der bstat-Exposition 1,2, bei handset-Exposition hingegen 4,8 betrug. Nur im zweiten Fall konnten lokale Änderungen der Durchblutung festgestellt werden. Diese Orte lagen zwar im Bereich maximaler SAR-Werte, waren jedoch viel kleiner als diese Areale. Daraus glauben die Autoren zu schließen, dass

ein einfacher thermischer Einfluss dafür nicht in Frage kommt. Die tatsächliche Ursache dieses von der Puls-Modulation abhängigen Effektes ist unbekannt. Auf gesundheitliche Konsequenzen zu schließen halten die Autoren für verfrüht (Huber, R.; Treyer, V.; Schuderer, J.; Berthold, T.; Buck, A.; Kuster, N.; Landolt, H. P.; Achermann, P.: Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Europ. J. Neurosci.* **21**, 1000-1006. 2005).



Ändern sich die Membran-Lipide durch HF-Exposition? Untersuchungen an Liposomen, künstlich hergestellten Vesikeln mit einer Wand aus mehreren Doppelschichten von Lipiden (hier: Phosphatidylcholin, Durchmesser 150 nm), dienen oftmals als übersichtliches Modellobjekt zur Untersuchung von Membraneigenschaften. Das osmotische Verhalten (gemessen durch Lichtstreuung) sowie das molekulare Verhalten der Lipide (IR- und NMR-Spektroskopie) wurde während 5 stündiger Exposition mit 900 MHz untersucht. Bei einem SAR-Wert von 12 W/kg kommt es dabei natürlich zu einer Temperatur-Erhöhung um etwa 5 Grad, was in der Kontrolle durch Erwärmung der Proben von außen simuliert wurde. Trotzdem zeigen die bestrahlten Proben im Vergleich zu den Kontrollen veränderte osmotische Eigenschaften, was die Autoren, verbunden mit den Resultaten aus IR- und NMR-Messungen, als Folge von Porenbildung durch veränderte Eigenschaften der Fettsäure-Reste der Lipide deuten. Trotz dieser Ergebnisse sehen die Autoren keinen Grund andere als thermische Einflüsse der Hochfrequenzfelder auf biologische Gewebe anzunehmen (Gaber, M. H.; El Halim, N. A.; Khalil, W. A.: Effect of microwave radiation on the biophysical properties of liposomes. *Bioelectromagnetics* **26**, 194-200. 2005).



Genetische Änderungen in Mäusespermien nach in-vivo Exposition mit 900 GHz. Im Unterschied zu anderen Zellen sind reife Spermien besonders empfindlich gegenüber genotoxischen Einflüssen, haben sie doch im Verlaufe ihres Reifungsprozesses alle für ihre eigentliche Befruchtungsfunktion entbehrlichen zellulären Systeme abgestoßen. Dazu gehören die Mechanismen der Gen-Reparatur ebenso wie die schützenden Antioxidantien. Aus diesem Grund untersuchte eine australische Gruppe mögliche genetische Veränderungen in Spermien von Mäusen, die im

Verläufe von 7 Tagen (12 Stunden pro Tag) einem 900 GHz-Feld ausgesetzt waren (TEM-Zelle; theoretisch abgeschätzter mittlerer SAR 90 mW/kg). Weder die Spermien-Menge noch ihre Beweglichkeit, Vitalität oder Morphologie wurden dadurch beeinflusst. Auch konnten keine Feld-induzierten Einzel- oder Doppelstrangbrüche der DNA nachgewiesen werden. Eine genaue Analyse von zwei herausgegriffenen DNA-Bereichen (β -globin-Gen und mitochondriales Genom) zeigte jedoch deutlich signifikante Unterschiede ($p=0,008$ bzw. $p=0,025$). Dies ergaben Messungen mit der QPCR-Technik („quantitative polymerase chain reaction technique“), einer Methode, welche empfindlich auf sehr verschiedene Veränderungen in dem jeweils untersuchten DNA-Abschnitt anspricht. Angesichts des Umstandes, dass der hier verwendete SAR-Wert weit unterhalb des Grenzwertes liegt, halten die Autoren diese Befunde für bemerkens- und überprüfenswert, obgleich sie daraus noch keine dramatischen Einflüsse auf die Reproduktion ableiten möchten (Aitken, R. J.; Bennetts, L. E.; Sawyer, D.; Wiklendt, A. M.; King, B. V.: Impact of radio frequency electromagnetic radiation on DNA integrity in the male germline. Intern. J. Andrology **28**, 171-179. 2005).

Wieder ein vergeblicher Versuch, die Lai'schen Verhaltensexperimente an Ratten zu replizieren. Lai et al. publizierte 1994 Ergebnisse von Experimenten woraus er schloss, gepulste 2,45 GHz-Felder würden das Verhalten von Ratten signifikant verändern. Obgleich alle Versuche anderer Laboratorien scheiterten dies zu verifizieren, beharrt Lai auf seiner These, indem er immer wieder auf neue Versuchsbedingungen ausweicht ohne auf die Kritik Anderer substantiell einzugehen (Envir. Health Persp. 2004, **112**, A726; Physiol.& Behav. 2004, **82**, 785; Bioelectromagnetics 2005, **26**, 81). Viel Mühe und Geld werden ver(sch)wendet um dieses Problem endgültig zu klären. Wir berichteten bereits in den vorausgegangenen zwei Newslettern über Experimente aus dem Louis-Pasteur Institut in Strasbourg, in denen vergeblich versucht wurde, die Befunde von Lai zu replizieren. Vielleicht sind es kleine Modifikationen, die den Unterschied zu den positiven Ergebnissen von Lai ausmachen? Im einem früheren Experiment dieser Gruppe (Cassel et al., Behav. Brain Res. 2004, **155**, 37-43, siehe Neues aus der Wissenschaft Heft 1, 2005) wurde ein Labyrinth verwendet, welches sich von dem

Lai'schen nur dadurch unterschied, dass die 12 Gänge, in denen die Ratte, ausgehend von einem kreisrunden Zentralraum nach Futter zu suchen hatte, optisch offen, die Wände also durchsichtig waren. Lai hatte sie durch opale Wände abgegrenzt. Nun baute man also das Labyrinth um und glich auch diese Bedingung dem Lai'schen Original an. Trotzdem konnten keine Unterschiede zwischen den Kontrolltieren und jenen der Befeldeten gefunden werden (Cosquer, B.; Kuster, N.; Cassel, J. C.: Whole-body exposure to 2.45 GHz electromagnetic fields does not alter 12-arm radial-maze with reduced access to spatial cues in rats. Behav. Brain Res. **161**, 331-334. 2005).

Messungen zur Erwärmung der Oberflächen-Temperatur am Kopf beim Telefonieren mit einem Handy.

Einige Handy-Nutzer berichten von Wärme-Empfindung beim Telefonieren. Diesem Problem ging eine norwegische Gruppe mit Hilfe einer Infrarot-Kamera nach. Um Kalibrierungsfehler möglichst gering zu halten wurden Relativ-Messungen durchgeführt, wobei man die Seite mit dem Telefon mit jener ohne Handy verglich. Die Untersuchung erfolgte mit einem Test-Gerät GSM-900 an einem einzigen Probanden in 6 Sitzungen pro Tag (jeweils 30 Minuten), durch lange Pausen unterbrochen, und an 5 aufeinander folgenden Tagen. Man testete im doppelblind-Modus folgende Situationen: „Gerät aus“; „Gerät an mit kurzgeschlossener Antenne“; „Gerät an, sendend“. Für die letzten beiden Bedingungen wurde noch zwischen den Leistungsstufen 0,21 W und 0,002 W unterschieden. Man differenzierte ferner zwischen der Erwärmung des Außenohrs und derjenigen der Wange. In Übereinstimmung mit Messungen und theoretischen Berechnungen anderer Gruppen kamen die Autoren zu dem Schluss, dass die nach 15 und 30 Minuten messbare Erwärmung der Haut hauptsächlich durch den Kontakt des Gerätes mit Ohr und Wange zustande kommt, ein Effekt, der natürlich genau so beim ausgeschalteten Gerät auftritt und auf der thermischen Isolierung des physiologischen Wärmeaustausches beruht. Gering, aber signifikant erhöht sich die Erwärmung dann noch durch die Betriebswärme des Gerätes (angeschaltet mit kurzgeschlossener Antenne). Die Erhöhung der Oberflächen-Temperatur durch die eigentliche HF-Strahlung war nicht signifikant (Straume, A., Oftedal, G., and Johnson, A.: Skin temperature increase caused by a mobile phone: A methodological infrared camera study. Bioelectromagnetics **26**, 510-519. 2005).