

## 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 selbst getroffen und durch sein subjektives Urteil der Relevanz bestimmt.

Roland Glaser


### **Kein theoretisches Modell kann bisher die Wirkung von HF-Feldern unterhalb der Grenzwerte erklären.**

Der Vorsitzende des „Management Committee UK Mobile Telecomm. and Health Res. Programme“ hat auf der Grundlage des Reports 2003, sowie in Kooperation mit internationalen Experten eine Übersicht über den derzeitigen Stand der Entwicklung möglicher Modelle zur Wirkung hochfrequenter Felder auf biologische Systeme publiziert. Ausgangspunkt sind die entsprechenden physikalischen Parameter, errechnet für 1 GHz-Felder einer Intensität an der oberen Grenze der Zulassung (10 W/kg): Quantenenergie = 4  $\mu\text{eV}$  (im Vergleich zu 26 meV pro Schwingungsmodus der thermischen Bewegung!), elektrische Feldstärke = 100 V/m, magnetische Flussdichte etwa 0,3  $\mu\text{T}$ . Hinzu kommen noch niederfrequente Anteile des Mobiltelefons, die allerdings gering sind und hier nicht weiter betrachtet werden. Membran-Potentiale der Zellen können in diesem Frequenzbereich nicht mehr nennenswert verändert werden. Die resonante Beeinflussung von molekularen Vibrationen ist im Fre-

quenzbereich des Mobilfunks nicht möglich. Die ursprünglich von **Fröhlich** vorgeschlagene Theorie kohärenter Oszillation scheidet an den viskosen Dämpfungseigenschaften des Wassers. Eine thermische Beeinflussung von Proteinen würde eine lokale Erwärmung voraussetzen, was jedoch bei kleinen Strukturen wegen der schnellen Wärmeableitung unwahrscheinlich ist. Auch die seinerzeit von **Chiabrera** diskutierte Änderung der Kalziumbindung, die Möglichkeit der dielektrophoretischen Zell-Zell-Wechselwirkung, die von **Kirschwink** diskutierte Rolle von Magnetit-Partikeln und die Entstehung freier Radikale wird dargestellt. Soweit sich diese Effekte überhaupt quantitativ abschätzen lassen, sind dafür höhere Feld-Intensitäten erforderlich. Bisher gibt es auch keine Hinweise darauf, dass die Felder des Mobilfunks im Gewebe demoduliert werden und in Folge durch niederfrequente Felder wirken könnten. Selbst für die Pulsfrequenz des GSM-Feldes ist die Entstehung niederfrequenter elektrischer Pulsfelder unwahrscheinlich. Um die immer wieder publizierten Ergebnisse experi-




menteller Untersuchungen zu erklären, schlägt der Autor vor, mikrothermische Effekte näher zu beleuchten und generell bei solchen Mechanismen eine theoretische Quantifizierung voranzutreiben, bei denen dies bisher noch strittig ist. Generell wird jedoch der von **R. K. Adair** geäußerten Meinung zugestimmt, wonach aus theoretischer Sicht physiologische HF-Effekte einer Intensität von weniger als 100 W/m<sup>2</sup> außerordentlich unwahrscheinlich sind (**Challis, L. J.: Mechanisms for interaction between RF fields and biological tissue. Bioelectromagnetics 26, S98-S106, 2005**).



**Wirken Felder des Handys auf das Innenohr? Seit langem ist das „Mikrowellen-Hören“ bekannt, ein Klicken im Ohr, ausgelöst durch starke und steile HF-Pulse.** Für diesen thermoelastischen Vorgang sind bekanntlich SAR-Werte von mindestens 30 W/kg erforderlich, also weit mehr, als ein Handy erzeugen kann. Untersuchungen über mögliche Einflüsse geringerer Intensitäten zeigten bisher keine Effekte, krankten aber in der Regel an zuverlässiger Dosimetrie. Jetzt liegen Untersuchungen einer italienischen Gruppe vor, die an Ratten mögliche Störungen so genannter otoakustischer Emissionen unter Feldeinwirkung erfassten. Man versteht darunter aktive Schall-Emissionen der Zellen des Innenohrs, ausgelöst durch zwei interferierende Schallfrequenzen. Solche Messungen gelten als zuverlässige Tests von Störungen des primären Hör-Empfindens. Diese Tests wurden sowohl unter dem Einfluss kontinuierlicher, als auch GSM-modulierter Felder im Frequenzbereich von 900-960 GHz durchgeführt, wobei SAR-Werte verwendet wurden, die deutlich über denen lagen, die bei Menschen durch Nutzung von Mobiltelefonen auftreten (1 - 2 W/kg, an getöteten Tieren gemessen und in Übereinstimmung mit Modellberechnungen). Wiederholte Tests erfolgten nach Kurz- und Langzeit- Befeldung (2 bis 3 Stunden/Tag, 5 Tage/Woche, bis 4 Wochen). Es konnten jedoch keine Unterschiede zu den nicht exponierten Kontrollen festgestellt werden. Da die

Tiere unter Narkosebedingungen vermessen wurden, diskutiert man einen entsprechenden Einfluss auf das Resultat, glaubt jedoch dies vernachlässigen zu können. Weitergehende Versuche sind angekündigt (**Galioni, P.; Lovisolo, G. A., Mancini, S., Parazzini, M.; Pinto, R.; Piscitelli, M.; Ravazzani, P.; Marino, C.: Effects of 900 MHz electromagnetic fields. Exposure on cochlear cells' functionality in rats. Evaluation of distortion product oto acoustic emissions. Bioelectromagnetics 26, 536-547, 2005**).




**Wie reagiert das Gehirn von Kindern auf das Feld eines Mobiltelefons?** Psychotests zeigten, wenn überhaupt, so nur sehr schwache Einflüsse eines Handys auf neurologische Vorgänge bei Probanden. Mitunter wurde eine geringe Verkürzung der Reaktionszeit oder eine Erhöhung der Vigilanz gemessen. Meist waren die Ergebnisse allerdings nicht reproduzierbar. Abgesehen von einer Untersuchung von Lee et al. (Neuroreport 2001, **127**, 29) an chinesischen Teenagern wurden bisher jedoch alle diese Messungen an Erwachsenen durchgeführt. Der Grund dafür dürfte sein, dass solche Studien mit Kindern natürlich ganz besondere Anforderungen in ethischer Hinsicht stellen. Jetzt gibt es zwei Untersuchungen zu diesem Problem: eine englische und, unabhängig davon, eine finnisch-schwedische.

In der englischen Untersuchung wurden 18 Jungen und Mädchen im Alter von 10 bis 12 Jahren beobachtet. Die Eltern der Kinder durften während einer Trainings- und Vorbereitungsphase, nicht jedoch während der eigentlichen Tests anwesend sein. Die Exposition erfolgte durch ein an einer Kopfhörer-Halterung fixiertes Telefon (Nokia 3110) mit zwei Leistungsstufen, entsprechend maximalen Sendeleistungen von 0,2 W (0,025 W im Mittel) und 2 W (0,25 W im Mittel). Natürlich waren Kontrollen und Expositionen doppelt verblindet. Es wurden Tests zu Kurzzeitgedächtnis und räumlicher Bildererkennung durchgeführt. Dabei ermittelte man die Reaktionszeit, die Korrektheit bzw. Fehlerhäufigkeit und einen Index, welcher die Störan-

fälligkeit der Reaktion angibt. Obgleich sich eine geringfügige Verkürzung der Reaktionszeit bei sendendem Handy andeutete, entsprach keine der gemessenen Veränderungen den Bedingungen der Signifikanz. Die individuelle Variabilität der Daten war bei den Kindern größer als bei Erwachsenen, was wohl darauf zurückzuführen ist, dass sich die Kinder in unterschiedlichen Stadien der Entwicklung befanden. In der Diskussion wird darauf verwiesen, dass Unterschiede bisheriger Studien offenbar darauf zurückzuführen sind, dass nicht der mittlere SAR-Wert des Kopfes, sondern der schwerer bestimmbare Energieeintrag im Gehirn selbst für die Reaktion entscheidend ist. Kleinste Verschiebungen der Antennenposition können jedoch bereits zu einer diesbezüglichen Veränderung führen (**Preece, A. W., Goodfellow, S. Wright M. G., Butler, S. R., Dunn, E. J., Johnson, Y., Manktelow, T. C., Wesnes, K. : Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics* 26, S138-S143, 2005**). Die finnisch-schwedische Studie folgte mit Modifikationen im Muster derjenigen, die Christian Haarala et al. zuvor bereits an Erwachsenen durchgeführt hatte (***Bioelectromagnetics* 25, 452, 2004**, siehe „Neues aus der Wissenschaft“ Heft 1, 2005). 16 Jungen und 16 Mädchen im Alter zwischen 10 und 14 Jahren wurden verschiedenen Tests unterzogen, die sich im wesentlichen auf Reaktionsgeschwindigkeit, Vigilanz und Kurzzeit-Gedächtnis bezogen. Auch hier wurde natürlich im Doppelblind-Verfahren gearbeitet, wobei die Exposition durch ein am Kopf fixiertes GSM-Telefon erfolgte (902 MHz, 217 Hz-Pulse, mittlere Leistung 0,25 W). Phantom-Messungen ergaben mittlere SAR-Werte zwischen 0,99 und 1,44 W/kg; Spitzenwert bis 2,07 W/kg. Die Tests dauerten jeweils etwa eine Stunde und wurden am Folgetag wiederholt. Der Test am zweiten Tag zeigte etwas kürzere Reaktionszeiten als am ersten, dies war jedoch unabhängig davon, ob der erste Tag als Kontrolle, der zweite mit Exposition erfolgte oder umgekehrt, und war dem-


nach Resultat des Trainings und der Gewöhnung an die Tests. Die umfangreichen und sehr sachkundigen statistischen Analysen der Daten zeigten keinerlei Einfluss der Felder auf die psychischen Leistungen der Kinder. Die Ergebnisse entsprachen demnach denen vorausgegangener Untersuchungen an Erwachsenen, abgesehen davon, dass sich Reaktionszeit und Fehlerhäufigkeit bei Kindern und Erwachsenen deutlich voneinander unterschieden. Fehlermöglichkeiten anderer Studien, die über geringe Differenzen psychischer Parameter bei Erwachsenen berichteten, könnten darauf zurückzuführen sein, dass zum Teil nicht doppel-blind gearbeitet wurde. Andererseits wird auch in dieser Arbeit betont, dass eine exakte Dosimetrie an der Grenze möglicher Schwellenwerte von besonderer Bedeutung sei. Die Autoren unterstreichen, dass die vorgelegten Messungen natürlich keinerlei Aussage über mögliche Langzeiteffekte der Felder erlauben (**Haarala, Ch., Bergman, M., Laine, M., Revonsuo, A., Koivisto, M., Hämäläinen, H.: Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function. *Bioelectromagnetics* 26, S144-S150, 2005**).

**Zusammenfassend: Sind Kinder durch Handys stärker gefährdet?** Der so genannte „Steward Report“ aus dem Jahre 2000, der eine Zurückhaltung bezüglich der Handy-Nutzung durch Kinder empfahl, löste eine breite Diskussion dieses Themas aus. Im Gegensatz zu dem UK Department of Health, sah die niederländische Behörde keinen Grund für eine entsprechende Empfehlung (**van Rongen et al.: *Bioelectromagnetics* 2004, 25, 142**, siehe auch „Neues aus der Wissenschaft“, Heft 3, 2004). Der Chef der russischen Strahlenschutzbehörde Yu, G. Grigoriev missbilligte diese Entscheidung und verwies auf die höhere Empfindlichkeit des sich entwickelnden kindlichen Organismus (***Bioelectromagnetics* 2004, 25, 322**). **Luc Martens** (Universität Gent) fasst die Situa-



tion aus heutiger Sicht zusammen (Die beiden oben genannten Studien von Preece und Haarala sind dabei noch nicht berücksichtigt). Das Problem hat eine biophysikalische und eine biologische Seite (der sicher signifikantere psychologische Aspekt wird bisher leider kaum berücksichtigt!). Wir haben inzwischen recht gute anatomische Vorstellungen von der Entwicklung von Schädel und Gehirn im Kindesalter. Demnach gibt es die deutlichsten Veränderungen im Wachstum von Kopf und Gehirn in den ersten Lebensjahren, was natürlich auch Änderungen der elektrischen Impedanz dieser Strukturen bedingt. Leider gibt es jedoch zu diesen dielektrischen Daten während der menschlichen Entwicklung kaum Angaben; man muss auf Parameter von Versuchstieren zurückgreifen. Die dosimetrischen Aussagen zu SAR-Werten im Kopf des Kindes bei Handy-Nutzung sind widersprüchlich. Geht man davon aus, dass deutliche Veränderungen dieser Parameter vorwiegend im Vorschulalter auftreten, die Handy-Nutzung jedoch danach, hauptsächlich ab etwa dem 10. Lebensjahr, einsetzt, so sind die physikalischen Parameter von Kindern im Vergleich zu Erwachsenen tatsächlich relativ gering. Vielleicht sind sogar Unterschiede in den Telefonier-Gewohnheiten der Kinder wichtiger als die auf anatomischen Ursachen beruhenden Differenzen dielektrischer Parameter (andere Haltung des Gerätes am Kopf, mehr SMS etc.). Zur biologischen Seite des Problems gibt es leider wesentlich weniger Angaben. Da Verhaltens-Untersuchungen an Kindern, insbesondere an jüngeren, aus ethischen Gründen auf Schwierigkeiten stoßen, gibt es dazu bisher nur wenig Information. Bezüglich möglicher Einflüsse von HF-Feldern des Mobilfunks auf Entwicklungsprozesse ist man ausschließlich auf Tierversuche angewiesen. Bisher konnten allerdings solche Effekte auch bei chronischer Exposition von Jungtieren nicht nachgewiesen werden. Der Autor kommt zu dem Schluss: Obgleich die meisten biologischen Studien keine gesteigerte Empfindlichkeit von Vorgängen der Entwicklung und von kognitiven Funktionen bei Kin-

dern zeigten, sind die Resultate laufender Untersuchungen abzuwarten (**Martens, L.: Electromagnetic safety of children using wireless phones. A literature review. Bioelectromagnetics 26, S133-S137, 2005**).



**Verursacht das Handy Nierenschäden? Gibt es Veränderungen der Schilddrüsen-Hormone?** Diese Fragen stellte sich eine türkische Arbeitsgruppe angesichts steigender Handy-Nutzung und des Umstandes, dass man das Handy oft am Gürtel trägt. In einer ersten Publikation wird über Experimente an drei Gruppen von Wistar-Ratten zu je 8 Tieren berichtet: scheinbefeldet, befeldet, befeldet nach Melatonin-Injektion. Man exponierte die Tiere täglich 30 Minuten in einem belüfteten Plastik-Rohr (5,5 cm Durchmesser, 12 cm lang) unter Narkose. Eine Dipolantenne, direkt am Rohr, emittierte 900 MHz (kontinuierlich) mit einer mittleren Leistungsflussdichte von 1,04 mW/cm<sup>2</sup>. Nähere Angaben zur Dosimetrie fehlen in dieser Publikation leider. In der zweiten Arbeit wird bei gleicher Installation und gleicher Leistungsflussdichte von 2 W/kg als SAR gesprochen. Nach 10 Tagen wurden die Tiere getötet, die Nieren entnommen, homogenisiert und biochemisch verarbeitet. Man stellte fest, dass in den befeldeten Tieren die Konzentration eines Indikators für Lipid-Peroxidation (MAD) und eines solchen, der auf Schäden der Nieren-Tubuli schließen lässt (NAG), erhöht war ( $p < 0,0001!$ ). Tiere, die vor der Exposition täglich mit 0,1 mg/kg Melatonin injiziert wurden, ließen hingegen keine Veränderungen erkennen. Die Autoren schließen aus diesen Befunden auf eine vermehrte Entstehung von Sauerstoffradikalen (ROS) durch den Einfluss des Feldes, was zu einer Schädigung der Nieren-Tubuli geführt haben könnte. Der Radikalfänger Melatonin, so wird angenommen, verhindert diesen Prozess. Unabhängig von der Unsicherheit der Ergebnisse (kleine Gruppen, fehlende Positiv- und Käfig-Kontrollen, keine Verblindung, keine histologischen Befunde, feh-

lende Dosimetrie) vermerken die Autoren selbst, dass eine Übertragung der Befunde auf den Menschen schon allein deshalb nicht möglich ist, weil die effektive Eindringtiefe der Felder zwar bei den Ratten, nicht aber beim Menschen bis zu den Nieren reicht (Oktem, F.; Ozguner, F.; Mollaoglu, H.; Koyu, A., and Uz, E.: Oxidative damage in the kidney induced by 900-MHz-emitted mobile phone. Protection by melatonin. Arch. Med. Res. **36**, 350-355. 2005).

Die zweite Publikation schildert Experimente an 20 Ratten, die zu je 10 in drei (Fehler in der Versuchsbeschreibung) Gruppen eingeteilt wurden, von denen eine befeldet, eine schein-befeldet, und die dritte als Käfigkontrolle diente. Die Tiere wurden in der gleichen Anlage und mit gleicher Leistungsflussdichte exponiert wie oben beschrieben, allerdings offenbar nicht unter Narkose. Diese Versuche wurden auf vier Wochen ausgedehnt, an 5 Tagen pro Woche jeweils 30 Minuten exponiert. Anschließend bestimmte man im Blut-Serum das thyroid-stimulierende Hormon (TSH), Tri-Jod-Thyronin, und Thyroxin. Während die schein-exponierten Tiere im Vergleich zu den Käfig-Kontrollen nur eine insignifikante Verminderung der Konzentration aller drei Hormone aufwiesen, war diese bei den exponierten Ratten mit  $p < 0,01$  signifikant vermindert. Die Autoren betrachten dies als Resultat der während der Exposition erfolgten Erwärmung. In der Diskussion werden die Hochfrequenzwirkungen leider immer wieder unsachgemäß mit Effekten im Niederfrequenzbereich vermischt (**Koyu, A.; Cesur, G.; Ozguner, F.; Akdogan, M.; Mollaoglu, F.; Ozen, S.: Effects of 900 MHz electromagnetic field on TSH and thyroid hormones in rats. Toxicology Letters 157, 257-262. 2005**).



**Wirken die Felder eines Handys auf die neuronalen Prozesse des Hörens?** Untersuchungen an gesunden Probanden und Epileptikern. Da Ohr und Hörzentrum der Antenne eines Handys am nächsten liegen, sind Untersuchungen möglicher Beeinflussungen dieses Systems von besonderer Bedeutung. Bisher konnten

keine derartigen Effekte gefunden werden. Es ist bemerkenswert, dass sich die vorliegende Arbeit eines französischen Teams nicht nur auf Daten von Gesunden stützt (9 Studenten beiderlei Geschlechts im Durchschnittsalter von 25 Jahren), sondern auch Personen einschließt, die an Epilepsie des rechten Seitenlappens leiden (4 Personen mittleren Alters von 32 Jahren). Die Probanden trugen einen Helm, an dem die 32 Ableitelektroden für das EEG und rechtsseitig auch eine Sendeantenne angebracht waren (900 MHz, GSM, 0,25 W, maximal 1,4 W/kg). Jede Sitzung beinhaltete vier Phasen: 1. – ohne Feld, 2. – minimales Feld, 3. – maximales Feld, 4. – ohne Feld. Jeder Proband nahm im Abstand von einigen Tagen an mehreren derartigen Sitzungen teil, wobei im Blind-Verfahren Kontrollversuche gleicher Art, aber ohne eingeschaltetes Feld, eingestreut waren. Gemessen wurde die EEG-Antwort auf akustische Pulse, die stochastisch folgend Frequenzen von 500 Hz bzw. 1 kHz aufwiesen (ein 24 ms dauerndes Signal pro Sekunde, jedes insgesamt 250 mal), ein Effekt, den man als Auslösung eines „auditorisch evozierten Potentials“ (AEP) bezeichnet. Die Auswertung erfolgte durch verschiedene Kreuz-Korrelationen zwischen den Signalen der 1. und 3. Phase eines Experiments bzw. zwischen den Experimenten mit und ohne Feld. Als Messwerte galten einmal die Zeitverschiebung zwischen akustischem Impuls und elektrophysiologischer Antwort, als auch die Maxima einer Fourier-Analyse der AEP (bis 40 Hz). Wie zu erwarten, war das Resultat vielgestaltig. Die Feldeinwirkungen streuten von „signifikant vermindert“ über „kein Effekt“ bis „signifikant erhöht“. Die Autoren sprechen von einem Gewöhnungseffekt, der die Einflüsse minderte. Die Epileptiker schienen im Vergleich mit den gesunden Probanden empfindlicher auf das Feld zu reagieren. Die Autoren betonen jedoch, dass es schwierig ist, aus den erhaltenen Resultaten auf mögliche gesundheitliche Konsequenzen zu schließen (**Maby, E.; Jeannes, R. L.; Faucon, G.; LiegoisChauvel, C., and DeSeze, R.: Effects of GSM signals on auditory evoked responses. Bioelectromagnetics 26, 341-350. 2005**).