

Wirkung von EMF auf das menschliche Gehirn

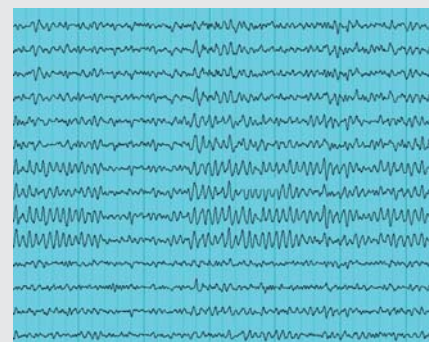
Überblick über bisherige Untersuchungen
zu EEG, Schlaf, kognitiven Funktionen
und Stoffwechselveränderungen

Das an der Kopfhaut gemessene Elektroenzephalogramm (EEG) hat sich seit der erstmaligen Untersuchung durch Hans Berger (1924, publiziert 1929) als weltweites System zur Messung von Hirnfunktionen etabliert. Hierbei werden die Gehirnwellen nach Frequenzbereichen in Alpha-, Beta-, Thetawellen etc. eingeteilt. Alphawellen beispielsweise zeigen sich im Normalfall bei Erwachsenen im entspannten Wachzustand mit einer Frequenz von 8 bis 13 Hz. „Nach den Ergebnissen von Adey (1992) und anderen kommen GSM-ähnliche elektromagnetische Felder (EMF) als Auslöser von Interferenzen mit dem EEG in Betracht, weil ihre Amplituden mit Frequenzen pulsmoduliert sind, die in der Nähe des typischen EEG Frequenzbereichs (0 ... 30 Hz) liegen“ (Hinrichs & Heinze 2006). So wurde seit Mitte der 1990er Jahre zunehmend intensiv und mit verschiedenen Methoden erforscht, ob die damals vermutete Beeinflussung der menschlichen Gehirnfunktion durch schwache Mobilfunk- oder andere Hochfrequenzfelder im Experiment am Menschen nachgewiesen werden kann. Im vorliegenden Beitrag werden chronologisch die wichtigsten Meilensteine in den jeweiligen Forschungszweigen zusammengefasst. Der Stand der vorliegenden Recherche ist Oktober 2007.

Erste Studien zur Untersuchung des Wach-EEGs

In frühen „Wach-EEG“-Studien beobachteten v. Klitzing (1995) und Reiser (1995) mit Hilfe der Standardmethode zur Auswertung des EEGs, der Spektralanalyse, eine Zunahme der Alphawellen-Anteile (d. h. Frequenzen 8 - 12 Hz) beziehungsweise auch der Betawellen-Anteile (12 - 30 Hz) im Wachzustand während und nach der Exposition von Probanden in den Feldern von Therapiegeräten (v. Klitzing) beziehungsweise Mobiltelefonen (Reiser). Eine spätere Überprüfung der Ergebnisse von v. Klitzing unter besser definierten experimentellen Bedingungen konnte unter seiner Beteiligung die ersten Beobachtungen nicht bestätigen (Jahre 1996). Auch Röschke und Mann stellten 1997 mit gleicher Auswertungsmethode keinen Einfluss von 900 MHz-Mobilfunkfeldern auf das Wach-EEG im Ruhezustand fest. Eine Arbeitsgruppe im Bundesamt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin fand Ende der 90er Jahre unter Mobilfunk-Feldeinfluss Veränderungen im Wach-EEG während der Ausführung visueller und akustischer Beobachtungs- und Unterscheidungsaufgaben (Eulitz 1998; Freude 1998, 2000). Hierbei wurden erstmals unter Anwendung von EMF während der EEG-Ableitungen sogenannte „ereigniskorrelierte“ Hirnpotentiale gemessen, also solche, die im Zusammenhang mit sensorischen, motorischen oder psychischen Prozessen auftreten.

Frank Gollnick, Wilma Dubois



14-kanaliges EEG
mit Alphawellen



EEG-Ableitung
mit 32 Elektroden

Das Bild basiert auf dem Bild „EEG mit 32 Elektroden“ aus der freien Enzyklopädie Wikipedia und steht unter der GNU-Lizenz für freie Dokumentation. Der Urheber des Bildes ist Kristina Walter.

Schlafuntersuchungen

Mann und Röschke entdeckten im Jahr 1996 im **Schlaflabor** anhand polysomnographischer Aufzeichnungen (enthält EEG-, EKG-, Atmungs-, Bewegungs-, Muskelspannungs- und andere Registrierungen) eine Verkürzung der Einschlafphase und Veränderungen bei der Traumschlafphase (REM-Phase) unter der Einwirkung von GSM900-Mobilfunkfeldern. In zwei späteren Studien der gleichen Arbeitsgruppe (Wagner 1998, 2000) wurden diese Ergebnisse jedoch nicht reproduziert.

1999 begann eine Schweizer Arbeitsgruppe um Peter Achermann eine Reihe von Schlafuntersuchungen, die bis heute andauert (Borbely 1999; Huber 2000, 2002, 2003; Regel 2007a). Mehrfach wurden hierbei Einflüsse von EMF auf die spektrale Leistung des EEG's während des Nicht-REM-Schlafes sowie eine Verkürzung der normalen Wachphasen zwischen den verschiedenen Schlafstadien beobachtet. Diese Ergebnisse deuten auf eine schlaffördernde (sedierende) Wirkung von EMF hin. In einem Teil der Schweizer Untersuchungen wurden die Effekte nur bei pulsmodulierten Feldern (Huber 2002) beziehungsweise kürzlich auch in Abhängigkeit von der Felddosis nachgewiesen (Regel 2007a).

Eine australische Arbeitsgruppe konnte die Schweizer Ergebnisse in Bezug auf die erste Nicht-REM-Schlafphase unter ähnlichen Bedingungen bestätigen (Loughran 2005) während Fritzer et al. (2007) keine Feldeinflüsse auf den Schlaf beobachteten. Die Australier fanden außerdem, wie die Schweizer, eine den REM-Schlaf fördernde Wirkung. Lebedeva et al. (2001) hingegen beschrieben eine Reduzierung des REM-Schlaf-Anteils und langsamer EEG-Wellen (Delta- und Theta-Wellen) sowie eine Zunahme des Alpha-Wellen-Anteils, was auf eine eher schlafhemmende Wirkung von EMF hinweist. Im Gegensatz zu der genannten frühen Studie von Mann und Röschke (1996) beobachteten Hung et al. (2007) kürzlich eine *Verlängerung* der Einschlafphase, allerdings nur im Gesprächsmodus des verwendeten Testsignals, nicht aber im „Zuhör-Modus“ oder bei einer Scheinexposition. Während die bisher erwähnten Ergebnisse der Schlafstudien mit GSM900-Testsignalen erzielt wurden, konnten Hinrichs et al. (2005) unter GSM1800-Feldexposition keine Effekte nachweisen.

Andere methodische Ansätze zur Erkundung der Schlafqualität unter EMF-Einwirkung wurden von Leitgeb (2004), Herr (2005) und Hutter (2006) verfolgt. Während Leitgeb im Rahmen einer doppelblind durchgeführten Pilotstudie die elektromagnetischen Umgebungsfelder in der häuslichen Umgebung über dem Bett der Probanden abschirmte und während der Nacht polysomnographische Daten registrierte, arbeiteten die beiden anderen Arbeitsgruppen mit standardisierten Fragebögen zur Schlafqualität. Anhand der ausgewerteten Fragebögen wurde kein Einfluss von EMF (Dauer der Handy-Nutzung beziehungsweise Nähe zur Basisstation) auf die Schlafqualität festgestellt. Leitgeb bestätigte in den bisher veröffentlichten Daten seiner Feldabschirmungs-Studie zunächst die methodische Durchführbarkeit des neuartigen Ansatzes und beschrieb die Feldbedingungen in der häuslichen Umgebung der ersten Probanden. Die Ergebnisse der Hauptstudie sollen bald publiziert werden.

Untersuchung kognitiver Leistungen

Alan Preece leitete 1999 mit einer Studie an 36 Probanden eine neue Linie in der EMF-Forschung ein, in der **kognitive Tests** im Vordergrund standen, nunmehr oft ohne die gleichzeitige Ableitung eines EEGs. Das auffallendste Ergebnis war eine Verkürzung der Reaktionszeit um 14,5 Millisekunden in einem entsprechenden Test unter Anwendung eines *analogen* Mobiltelefonsignals. Ein *digitales* GSM900-Signal zeigte keinen Effekt. Eine entsprechende Untersuchung an Kindern (Preece 2005), die nur mit GSM900-Signalen durchgeführt wurde, ergab ebenfalls keinen Effekt des digitalen

Signals. Preece's ursprüngliches Experiment zog eine Welle von Studien nach sich, die sich mit der Wirkung von EMF auf kognitive Leistungen am Menschen beschäftigten. Dabei kam eine Reihe verschiedener Testmethoden zum Einsatz, die sich grob in **Verarbeitungsgeschwindigkeitstests** (Reaktion, Auswahl) sowie **Gedächtnistests** (Kurzzeit-, Langzeitgedächtnis) unterteilen lassen. Die auslösenden Reize wurden entweder visuell oder akustisch präsentiert.

Zwei eng zusammen arbeitende finnische Arbeitsgruppen widmeten sich ab dem Jahr 2000 intensiv dieser Forschungslinie. Die Arbeitsgruppe um Christina Krause kombinierte kognitive Tests zwar oft mit EEG-Ableitungen, bei denen die kognitiven Tests als Stimulus für die Wach-EEG-Ableitung dienten, in den meisten dieser Arbeiten wurden die kognitiven Tests jedoch zusätzlich separat ausgewertet. Hierbei ergab sich in drei von sechs Studien unter Anwendung verschiedener Reizarten (visuell oder akustisch) unter Feldeinfluss ein Effekt. Antwort- und Reaktionszeiten beschleunigten sich unter Feldeinfluss, in einem Fall erhöhte sich die Fehlerrate bei einer Gedächtnisaufgabe. Die positiven Befunde konnten jedoch in keinem Fall intern reproduziert werden (Krause 2000a, 2000b, 2004, 2007, Koivisto 2000a, 2000b). Zwei der Arbeiten mit Effekt wurden außerdem von anderen Arbeitsgruppen nicht bestätigt (Haarala 2003a, 2004; Hamblin 2006, Russo 2006).

In 5 Studien der finnischen Arbeitsgruppe um Christian Haarala wurde anhand verschiedener kognitiver Tests bezüglich der Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Gedächtnisleistung sowohl an erwachsenen Probanden als auch an Kindern keine Wirkung der eingesetzten EMF (GSM900) beobachtet. Die Art der Feldexposition (gepulst oder kontinuierlich, nur rechts- oder linksseitig) wirkte sich hierbei nicht aus (Haarala 2003a, 2004, 2005, 2007, Aalto 2006).

Andere Arbeitsgruppen, die sich wesentlich mit der Erforschung von EMF-Wirkungen auf kognitive Leistungen auseinandersetzen, finden sich in Australien (Croft), Großbritannien (Fox), Estland (Hinrikus) und der Schweiz (Achermann). Überwiegend konzentrierte man sich auf die Parameter Reaktionszeit und Genauigkeit, wobei mehrfach Effekte gefunden wurden, jedoch mit z.T. gegensätzlichen Vorzeichen (Croft 2002, Hamblin 2004, Regel 2007a, 2007b). Allerdings werden die Schweizer Ergebnisse (Regel 2007a und b: Abnahme der Reaktionsgeschwindigkeit, Zunahme der Genauigkeit) durch vorangegangene eigene (Huber 2002, 2005) und finnische (Aalto 2006) Untersuchungen zur Hirndurchblutung (siehe unten) untermauert, weil dabei unter Feldexposition die Durchblutung im präfrontalen Kortex anstieg. Dieses Hirnareal ist wesentlich für die Funktion des Arbeitsgedächtnisses.

Keine Feldeffekte fand man in den Studien von Hamblin 2006, Russo 2006 und Cinel 2007, wobei die beiden ersteren als Replikationsstudien für Koivisto 2000b (Veränderung von Fehlerrate und Reaktionszeit unter Feldeinfluss, s.o.) gelten können. Spezielle kognitive Testmethoden wie zum Beispiel „Trail-making Test“, „Stroop-Test“ und „Face-masking Test“ wurden von Keetley 2006 (Australien), Lee 2001, 2003 (Japan) sowie Rodina 2005 (Estland) angewendet. Wenn hierbei Feldeffekte festgestellt wurden, deuteten diese auf eine verbesserte kognitive Leistungsfähigkeit hin (Keetley, Lee), während Rodina 2005 keine Effekte fand (hier allerdings bei Anwendung von 450 MHz-TETRA-Signalen). Gegensätzliche Effekte bei leichteren und schwereren Aufmerksamkeits- oder Gedächtnisaufgaben beobachtete Lass 2002 (Estland), ebenfalls bei 450 MHz.

Mit dem Einsatz von **UMTS-Signalen** beschäftigten sich im Rahmen der Erforschung kognitiver Leistungen von Probanden bislang vier Studien. Während in einer Wiener Arbeitsgruppe Nahfeldbedingungen bei der Untersuchung der visuellen Wahrnehmung zum Einsatz kamen (Schmid 2005, Unterlechner 2007), arbeiteten Zwamborn et al.

2003 in den Niederlanden mit UMTS- und GSM-Fernfeldern (Basisstationssignale) an elektrosensiblen und nicht elektrosensiblen Probanden („TNO-Studie“). In Wien wurden keine Einflüsse der UMTS-Felder auf die visuelle Wahrnehmung und die Verarbeitung visueller Reize festgestellt. In der niederländischen „TNO-Studie“ wurde erstmals ein schwacher, aber signifikanter Einfluss des eingesetzten UMTS-Feldes (aber *nicht* der GSM900- und GSM1800-Felder) auf Menschen im Laborexperiment festgestellt (vermindertes Wohlbefinden in den Gruppen der elektrosensiblen *und* auch der nicht elektrosensiblen Probanden). Vereinzelt Auswirkungen auf die kognitiven Leistungen traten unsystematisch verteilt auf. Da aus der Wissenschaftsgemeinschaft eine Reihe von Kritikpunkten zum Studiendesign und zur statistischen Auswertung geäußert wurden (zusammengefasst in Dürrenberger 2004) und da der positive Befund unabhängig bestätigt werden sollte, wurde eine Replikationsstudie in der Schweiz finanziert. In dieser Untersuchung konnten die Befunde unter UMTS-Exposition nicht wiederholt werden (Regel 2006).

Außer den genannten befassten sich noch 18 weitere Studien verschiedener Arbeitsgruppen mit kognitiven Leistungsparametern. In 10 dieser Forschungsarbeiten wurde ein Einfluss der jeweils untersuchten EMF beobachtet, in 8 dagegen nicht. Somit wurden zu diesem Forschungsschwerpunkt insgesamt 48 Studien, in denen entweder kognitive Funktionen allein oder in Verbindung mit der Ableitung eines Wach-EEG's untersucht wurden, durchgeführt. Davon wurden 27 Studien mit einem positivem Befund abgeschlossen, also etwas mehr als die Hälfte.

Untersuchung des Wach-EEGs (Haupt-Studienphase)

Die mit den frühen Arbeiten von v. Klitzing begonnene Forschungslinie „Wach-EEG“ wurde ebenfalls etwa ab dem Jahr 2000 in großem Maßstab fortgeführt, z. T. in Kombination mit kognitiven Tests, wie auch schon in den frühen Studien von Freude 1998 und Eulitz 1998. Die bereits erwähnten Arbeitsgruppen um Rodney Croft und Christina Krause waren hier besonders aktiv.

Krause et al. publizierten Daten, in denen der Parameter **ERD/ERS** (Ereignis-korrelierte Desynchronisation/Synchronisation) im Zusammenhang mit EMF analysiert wurde und fanden in vier aufeinander folgenden Studien unter Feldeinfluss Veränderungen in bestimmten EEG-Frequenzbändern (Krause 2000a, 2000b, 2004, 2006). In einer fünften, bislang letzten Studie, welche die Ergebnisse der ersten drei bestätigen sollte, waren die Ergebnisse dann uneinheitlich: Während sehr kleine Veränderungen im Alpha-Band der Gehirnwellen (~8 bis 12 Hz) unter Feldeinfluss bestätigt werden konnten, waren die ERD/ERS-Antworten im EEG „wechselnd, unsystematisch und inkonsistent“ (Krause 2007).

Die Arbeitsgruppe um Rodney Croft fand in drei von vier Studien Feldeffekte, wobei die Untersuchung **ereigniskorrelierter Potentiale** im Mittelpunkt stand (Croft 2002, 2007; Hamblin 2004, 2006). Hamblin 2006 ist als interne Reproduktionsstudie für Hamblin 2004 zu betrachten. Der Effekt konnte jedoch nicht repliziert werden. In Croft 2007 wurde, wie vormals bei v. Klitzing 1995, das Ruhe-EEG und die Alpha-Wellen-Leistung gemessen. Auch Croft et al. beobachteten hier, allerdings unter Anwendung anderer Funkfrequenzen (GSM900), eine Veränderung der Alpha-Aktivität unter Feldeinfluss. In dieser Studie wurden vergleichbare Effekte beobachtet, die auch Curcio 2005 erzielt hatte. In zwei weiteren Studien dieser italienischen Arbeitsgruppe wurden ebenfalls Effekte unter Feldeinfluss, unter anderem unter Anwendung der **transkraniellen Magnetstimulation** (*ppTMS*) und verfeinerter Ruhe-EEG-Auswertemethoden, beschrieben (Ferreri 2006, Vecchio 2007).

Aus der Schweizer Arbeitsgruppe um Peter Achermann sind hier zwei Studien erwähnenswert: in Huber 2002 wurden die frühen Resultate von v. Klitzing 1995 unterstützt,

indem nur mit gepulsten, nicht aber mit unmodulierten GSM900-Feldern eine erhöhte Alphawellen-Aktivität im Wach-EEG nachgewiesen wurde. Dies bestätigte sich in einer zweiten Schweizer Studie derselben Arbeitsgruppe (Regel 2007b).

In einer japanischen Arbeitsgruppe um Yoshikazu Ugawa, die seit 2003 auf diesem Forschungsgebiet aktiv ist, wurde in drei Studien weder auf auditorisch, somatosensorisch noch auf motorisch **evozierte Potenziale** ein Feldeinfluss beobachtet (Arai 2003, Yuasa 2006, Inomata-Terada 2007). Dabei wendeten Inomata-Terada et al. wie auch die Gruppe um Curcio (Curcio 2005) zur Stimulation die transkranielle Magnetstimulation an. Die japanische Arbeitsgruppe fand hierbei im Gegensatz zur italienischen Arbeitsgruppe keinen Effekt.

Maby und Mitarbeiter aus Rennes in Frankreich widmeten sich in drei Studien der Untersuchung akustisch evozierter Potentiale an Epilepsie-Patienten und gesunden Probanden (Maby 2004, 2005, 2006). Neuere Auswertemethoden, wie zum Beispiel die „Support-Vector-Machine“-Analyse und die Auswertung spezieller Komponenten ereigniskorrelierter Potentiale (**N100-, P200-Wellen**), kamen hierbei zum Einsatz. Die Forscher fanden sowohl an gesunden Probanden als auch an Epilepsiepatienten zum Teil gegensätzliche Effekte infolge der Feldexposition und äußerten den Verdacht, dass gewisse Effekte auf lokale Erwärmung im Bereich der EEG-Elektroden zurück geführt werden könnten. Die positiven Befunde von Maby 2004 konnten von Hamblin 2006 nicht bestätigt werden.

Aus heutiger Sicht zeigt sich im Studienzweig der Wach-EEG-Ableitung, wie sehr uneinheitlich die vorliegenden Resultate dort sind, vor allem im Hinblick auf gefundene oder nicht gefundene Effekte unter Feldeinfluss.

Untersuchung der regionalen Hirndurchblutung

Seit 2002 nähert man sich der Erforschung von EMF-Wirkungen auf das menschliche Gehirn auch mit den sehr kostenintensiven Methoden der **Positronen-Emissions-Tomographie (PET)** und der **Funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRI, functional magnetic resonance imaging)**, bei denen die Intensität der lokalen Hirndurchblutung in einzelnen Hirnarealen sichtbar gemacht werden kann. Dies gibt Rückschlüsse auf den Stoffwechselumsatz und somit auf die aktuelle Aktivität der Hirnareale. Veröffentlicht wurden bisher zwei Studien der Schweizer Arbeitsgruppe um Peter Achermann (Huber 2002, 2005) und zwei Studien von der Gruppe Haarala et al. aus Finnland (Haarala 2003b, Aalto 2006). In allen vier Studien fand man Effekte unter dem Einfluss pulsmodulierter GSM900-Felder, die jedoch im Detail zum Teil nicht ganz konsistent erscheinen. Huber et al. stellten in beiden Studien unter einseitiger, lokaler Feldexposition am Kopf einen *Anstieg* der Durchblutung im präfrontalen Kortex (Arbeitsgedächtnis) nur auf der Seite der Exposition fest, in Huber 2005 jedoch nur bei Anwendung eines simulierten Uplink-Signals (Mobiltelefon sendet zur Basisstation) und nicht bei Anwendung eines Downlink-Signals (Basisstation sendet zum Mobiltelefon). Die finnische Arbeitsgruppe beobachtete unter vergleichbaren Expositionsbedingungen (Uplink-Signal, ebenfalls nur einseitig) in einer Studie (Haarala 2003b) eine beidseitige *Abnahme* der Durchblutung im auditiven Kortex (Verarbeitung des Hörens) und in der zweiten Studie (Aalto 2006) ebenfalls eine *Abnahme* der Durchblutung „unterhalb der Antenne (des Test-Mobiltelefons) im unteren schläfenseitigen Kortex“ (d.h. einseitig und etwa dort, wo sich der auditive Kortex befindet). Außerdem ergab sich in dieser Studie jedoch im präfrontalen Kortex (etwas weiter entfernt von der Antenne) ein *Anstieg* der Durchblutung, was wiederum die Befunde der Schweizer Gruppe bestätigt.

In einer anderen Schweizer Arbeitsgruppe um Juerg Froehlich wendete man mit gleicher Zielsetzung erstmals die **Nah-Infrarot-Spektrophotometrie (NIRS)** an, die nach

Angaben der Autoren im Vergleich zur PET eine viel höhere zeitliche Auflösung bei hoher Empfindlichkeit und – wie fMRI – ohne die Verwendung radioaktiver Markierungsstoffe bietet (Wolf 2006). In der Studie wurden Daten zur Konzentration oxidierten und nicht oxidierten roten Blutfarbstoffs (Hämoglobins) im Gehirn gewonnen, die Rückschlüsse auf die Durchblutung zulassen. Unter einseitiger Feldexposition in pulsmodulierten GSM900-Signalen wurden selbst bei einem hohen eingesetzten SAR-Wert von 12 W/kg nur „grenzwertig signifikante, kurzzeitige Reaktionen beobachtet, die einer *Abnahme* der Hirndurchblutung und des zerebralen Blut-Volumens entsprechen und die viel kleiner waren als normale physiologische Veränderungen, die zum Beispiel durch eine normale funktionelle Aktivierung des Gehirns ausgelöst werden“. Dosis-Wirkungs-Effekte wurden hier nicht gefunden.

Technische Weiterentwicklung bei der Exposition

Seit der ersten, im hier behandelten Zusammenhang erwähnten Studie von v. Klitzing (1995) ergaben sich weitreichende technische Fortentwicklungen in den Bereichen der Expositionsanlagen und der Körperdosimetrie. Hieran waren vor allem die Arbeitsgruppen um Volkert Hansen (Univ. Wuppertal), Niels Kuster (IT'IS, ETH Zürich), Gernot Schmid (ARC Seibersdorf, Österreich) und Andrew Wood (Swinburn Univ., Australien) maßgeblich beteiligt. Wurden anfangs frei im Raum, nahe am Kopf der Probanden aufgestellte Stabantennen in zum Teil nicht abgeschirmten Räumen verwendet, ging man im Laufe der Zeit zu immer besser definierten Feldbedingungen über und benutzte im Nahfeldbereich meist modifizierte Mobiltelefone, Kopfhörer oder neuerdings Planarantennen, die sehr definierte Felder erzeugen und sehr genau justiert werden können, in abgeschirmten, feldtechnisch genau berechenbaren Untersuchungsräumen. Auch bei den vereinzelt eingesetzten Fernfeldern (zum Beispiel TNO- und deren Replikationsstudie) wurden immer kontrolliertere und genauer definierbare Expositionsbedingungen eingehalten. Die SAR-Verteilung im Kopf als Resultat einer experimentellen Feldexposition im Labor konnte außerdem immer genauer bestimmt werden. In neuester Zeit wird zunehmend ein Augenmerk auf mögliche störende Interaktionen zwischen den an der Kopfhaut angebrachten EEG-Ableitungselektroden und der eingestrahlten EMF gelegt (Hamblin 2007, Schmid 2007). Hierbei kann es einerseits zu Einflüssen der Felder durch Demodulation auf die hoch verstärkten EEG-Signale kommen, andererseits auch zu Einflüssen der metallischen EEG-Elektroden auf die Feldverteilung und damit auf die SAR-Verteilung auf der Kopfhaut, im Schädelknochen sowie im Hirnkortex (durch lokale Feldüberhöhungen oder Abschirmungseffekte). Bei Nicht-Berücksichtigung sind hierdurch Ergebnisverzerrungen bei der EEG-Ableitung möglich. Trotz der technischen Weiterentwicklung werden teilweise auch heute nicht immer Expositionseinrichtungen bei den Experimenten verwendet, die den vorhandenen Möglichkeiten entsprechen.

Eingeschränkte Qualität mancher Studien

Deutliche Unterschiede in der Qualität der Planung, Durchführung und Auswertung der Studien führen zwangsläufig zu einem unterschiedlichen wissenschaftlichen Gewicht in der Gesamtbetrachtung. In einem Review von Valentini et al. (2007) beschäftigte man sich eingehend mit diesem Problem und stellte die folgenden **Minimalkriterien** für die Akzeptanz als eine relevante Studie beziehungsweise Publikation auf:

- (a) Mindestens einfach-geblindete Versuchsbedingungen (d. h., wenigstens die Probanden sollten im Experiment nicht über die aktuell eingestellte Bedingung „Feld an“ oder „Feld aus“ informiert sein, besser auch der Versuchsleiter nicht).
- (b) Zufallsverteilte und/oder statistisch ausgeglichene Gruppen im Experiment

- (c) Detaillierte Charakterisierung der Expositionsbedingungen
- (d) Unverzerrte statistische Analysen (zum Beispiel Korrektur für Mehrfachvergleiche)
- (e) Neben der Expositions-Bedingung auch eine Scheinexpositions-Bedingung („Sham“).

Valentini et al. (2007) schlossen in ihrem Review 17 Publikationen von einer weiteren Auswertung aus, weil sie ein oder mehrere dieser Kriterien nicht erfüllen. Im hier besprochenen Zusammenhang erfüllen die folgenden Publikationen die in Klammern genannten Kriterien laut Valentini et al. (2007) nicht: Urban 1998 (a, c), Lebedeva 2000, 2001 (a, c), Bak 2003 (a, b, c), Oysu 2005 (a, b, c), Arai 2003 (a, c), Sievert 2005 (a, b), Eulitz 1998 (b, c), Hietanen 2000 (c, d), Papageorgiou 2004 (a, c, d), Papageorgiou 2006 (a, c), Freude 1998 (b, weil gleiche Probanden in Freude 2000 einbezogen wurden).

Nur in sorgfältig ausgeführten Reviews kann solchen Qualitätskriterien ausreichend Beachtung geschenkt werden. Valentini et al. kommen bei Betrachtung der für sie ausschließlich relevanten Publikationen insgesamt zu dem Schluss, dass „Mobilfunkfelder die normale Physiologie durch Änderung der kortikalen Erregbarkeit beeinflussen können“ („may influence“).

Reports nationaler Expertengruppen 2007

- **SCENIHR** (Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks) Europäische Kommission (SCENIHR)
Report 2007: “Possible Effects of Electromagnetic Fields (EMF) on Human Health”
(http://ec.europa.eu/health/ph_risk/committees/04_scenihhr/docs/scenihhr_o_007.pdf) 2007
- **Deutsche SSK** (Strahlenschutzkommission)
Report 2006: Mobilfunk und Kinder
(<http://www.ssk.de/werke/kurzinfo/2006/ssk0619.htm>)
- **SSI Rapport 2007** (Swedish Radiation Protection Authority) Schwedische Strahlenschutzbehörde
Report 2007 “Recent Research on EMF and Health Risks”
(http://www.ssi.se/ssi_rapporter/pdf/ssi_rapp_2007_4.pdf)
- **BAFU** (BAFU Report 2007 Bundesamt für Umwelt) Schweiz
BAFU Report 2007 -10-25“Hochfrequente Strahlung und Gesundheit” Bewertung von wissenschaftlichen Studien im Niedrigdosisbereich. Stand: September 2006
(http://www.bafu.admin.ch/publikationen/index.html?action=show_publ&lang=de&id_thema=8&series=UW&nr_publ=0722)
- **MTHR** (Mobile Telecommunications and Health Research Programme) Management Committee, Großbritannien
Report 2007
(http://www.mthr.org.uk/documents/MTHR_report_2007.pdf)
- **Department of Communications, Marine and Natural Resources, Irland**
Report 2007 “Health Effects of Electromagnetic Fields”
(<http://www.dcmnr.gov.ie/NR/rdonlyres/9E29937F-1A27-4A16-A8C3-F403A623300C/0/ElectromagneticReport.pdf>)

Beurteilung durch nationale Expertengruppen

In einigen Reports nationaler Expertengruppen, die im Jahr 2007 veröffentlicht wurden (siehe Kasten), kommt man in Bezug auf das hier behandelte Thema zu einer relativ einheitlichen Einschätzung. Es gebe keine neuen, gesicherten Hinweise auf gesundheitliche Auswirkungen auf den Menschen durch die untersuchten EMF.

Im äußersten Fall, nämlich im Report 2007 des Schweizer Bundesamts für Umwelt (BAFU) „...wird die Evidenz für einen Effekt der Mobiltelefonexposition auf das **Spon-tan-EEG in Ruhe oder Schlaf** sowie auf die **Reaktion des Gehirns auf Reize** anhand der vorliegenden Resultate weiterhin als wahrscheinlich beurteilt. Die Art der Beeinflussung und die Bedeutung der Effekte für die Gesundheit lassen sich noch nicht abschätzen. Ob Mobilfunkstrahlung die **Durchblutung oder den Stoffwechsel des Gehirns**

verändert, ist zur Zeit noch nicht beurteilbar.“ „Belastbare Beweise einer Beeinflussung der **kognitiven Funktionen** konnten nicht gefunden werden“ (Deutsche Strahlenschutzkommission 2007). Das BAFU beurteilt Effekte der Mobiltelefonexposition auf die kognitiven Funktionen aufgrund der inkonsistenten Ergebnisse der aktuellen experimentellen Untersuchungen als „möglich“.

Dr. rer. nat. Frank Gollnick, Dr. rer. nat. Wilma Dubois, Forschungsgemeinschaft Funk e.V.

Literatur

Reviews:

- Cook CM, Thomas AW, Prato FS: Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: a review of recent studies. *Bioelectromagnetics* 2002; 23 (2): 144 - 157
- Hamblin DL, Wood AW: Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol* 2002; 78 (8): 659 – 669
- Wagner P, Grözinger M, Mann K, Röschke J: The Influence of All-Night Exposure to Pulsed Radiofrequency Electromagnetic Fields on Human Sleep. *Somnologie (Somnology)* 2005; 9 (4): 176 – 179
- Cook CM, Saucier DM, Thomas AW, Prato FS: Exposure to ELF magnetic and ELF-modulated radiofrequency fields: the time course of physiological and cognitive effects observed in recent studies (2001-2005). *Bioelectromagnetics* 2006; 27 (8): 613 - 627
- Valentini E, Curcio G, Moroni F, Ferrara M, De Gennaro L, Bertini M: Neurophysiological effects of mobile phone electromagnetic fields on humans: A comprehensive review. *Bioelectromagnetics* 2007 Sep;28(6):415-32

Originalartikel:

- Aalto S, Haarala C, Bruck A, Sipila H, Hamalainen H, Rinne JO: Mobile phone affects cerebral blood flow in humans. *J Cereb Blood Flow Metab* 2006; 26 (7): 885 – 890
- Adey WR: Signal function of brain electrical rhythms and their modulation by external electromagnetic fields. In: Basar E, Bullock TH (Eds.): *Brain Dynamics*. Birkhäuser, Boston, 325-353; 1992
- Arai N, Enomoto H, Okabe S, Yuasa K, Kamimura Y, Ugawa Y: Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways. *Clin Neurophysiol* 2003; 114 (8): 1390 – 1394
- Bak M, Sliwinska-Kowalska M, Zmyslony M, Dudarewicz A: No effects of acute exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on brainstem auditory potentials in young volunteers. *Int J Occup Med Environ Health* 2003; 16 (3): 201 – 208
- Berger H: Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Arch Psychiatr* 1929; 87: 527-570
- Borbely AA, Huber R, Graf T, Fuchs B, Gallmann E, Achermann P: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. *Neurosci Lett* 1999; 275 (3): 207 – 210
- Cinel C, Boldini A, Russo R, Fox E: Effects of mobile phone electromagnetic fields on an auditory order threshold task. *Bioelectromagnetics* 2007; 28(6):493-6

- Croft RJ, Chandler JS, Burgess AP, Barry RJ, Williams JD, Clarke AR: Acute mobile phone operation affects neural function in humans.
Clin Neurophysiol 2002; 113 (10): 1623 – 1632
- Croft RJ, Hamblin DL, Spong J, Wood AW, McKenzie RJ, Stough C: The effect of mobile phone electromagnetic fields on the alpha rhythm of human electroencephalogram.
Bioelectromagnetics 2007: in press (Sept. 2007 online in advance of print)
- Curcio G, Ferrara M, Moroni F, D'Inzeo G, Bertini M, De Gennaro L: Is the brain influenced by a phone call? An EEG study of resting wakefulness.
Neurosci Res 2005; 53 (3): 265 - 270
- Eulitz C, Ullsperger P, Freude G, Elbert T: Mobile phones modulate response patterns of human brain activity.
Neuroreport 1998; 9 (14): 3229 – 3232
- Ferreri F, Curcio G, Pasqualetti P, De Gennaro L, Fini R, Rossini PM: Mobile phone emissions and human brain excitability.
Ann Neurol 2006; 60 (2): 188 – 196
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I: Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials.
Bioelectromagnetics 1998; 19 (6): 384 - 387
- Freude G, Ullsperger P, Eggert S, Ruppe I: Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials.
Eur J Appl Physiol 2000; 81 (1-2): 18 – 27
- Fritzer G, Göder R, Friege L, Wachter J, Hansen V, Hinze-Selch D, Aldenhoff JB: Effects of short- and long-term pulsed radiofrequency electromagnetic fields on night sleep and cognitive functions in healthy subjects.
Bioelectromagnetics 2007; 28 (4): 316 - 325
- Haarala C, Bjornberg L, Ek M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hamalainen H: Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study.
Bioelectromagnetics 2003a; 24 (4): 283 – 288
- Haarala C, Aalto S, Hautzel H, Julkunen L, Rinne JO, Laine M, Krause B, Hamalainen H: Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: a PET study.
Neuroreport 2003b; 14 (16): 2019 – 2023
- Haarala C, Ek M, Bjornberg L, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hamalainen H: 902 MHz mobile phone does not affect short term memory in humans.
Bioelectromagnetics 2004; 25 (6): 452 – 456
- Haarala C, Bergman M, Laine M, Revonsuo A, Koivisto M, Hamalainen H: Electromagnetic field emitted by 902 MHz mobile phones shows no effects on children's cognitive function.
Bioelectromagnetics 2005; Suppl 7: S144 - S150
- Haarala C, Takio F, Rintee T, Laine M, Koivisto M, Revonsuo A, Hamalainen H: Pulsed and continuous wave mobile phone exposure over left versus right hemisphere: Effects on human cognitive function.
Bioelectromagnetics 2007; 28(4): 289-95
- Hamblin DL, Wood AW, Croft RJ, Stough C: Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task.
Clin Neurophysiol 2004; 115 (1): 171 – 178

- Hamblin DL, Croft RJ, Wood AW, Stough C, Spong J: The sensitivity of human event-related potentials and reaction time to mobile phone emitted electromagnetic fields. *Bioelectromagnetics* 2006; 27 (4): 265 – 273
- Hamblin DL, Anderson V, McIntosh RL, McKenzie RJ, Wood AW, Iskra S, Croft RJ: EEG electrode caps can reduce SAR induced in the head by GSM900 mobile phones. *IEEE Trans Biomed Eng* 2007; 54 (5): 914 - 920
- Herr CEW, zur Nieden A, Lindenstruth M, Stilianakis NI, Seitz H, Eikmann TF: Relating Use of Mobile Phones to Reported Sleep Quality *Somnologie (Somnology)* 2005; 9 (4): 199 - 202
- Hietanen M, Kovala T, Hamalainen AM: Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scand J Work Environ Health* 2000; 26 (2): 87 – 92
- Hinrichs H, Heinze HJ, Rotte M: Human Sleep Under the Influence of a GSM 1800 Electromagnetic Far Field. *Somnologie (Somnology)* 2005; 9 (4): 185 - 191
- Hinrichs H, Heinze HJ: High frequency GSM-1800 fields with various modulations and field strengths: No short term effect on human awake EEG. Edition Wissenschaft der FGF e.V. 2006; 23: 1-11; Forschungsgemeinschaft Funk e.V.; www.fgf.de
- Huber R, Graf T, Cote KA, Wittmann L, Gallmann E, Matter D, Schuderer J, Kuster N, Borbely AA, Achermann P: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 2000; 11 (15): 3321 – 3325
- Huber R, Treyer V, Borbely AA, Schuderer J, Gottselig JM, Landolt HP, Werth E, Berthold T, Kuster N, Buck A, Achermann P: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 2002; 11 (4): 289 - 295
- Huber R, Schuderer J, Graf T, Jutz K, Borbely AA, Kuster N, Achermann P: Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 2003; 24 (4): 262 – 276
- Huber R, Treyer V, Schuderer J, Berthold T, Buck A, Kuster N, Landolt HP, Achermann P: Exposure to pulse-modulated radio frequency electromagnetic fields affects regional cerebral blood flow. *Eur J Neurosci* 2005; 21 (4): 1000 – 1006
- Hung CS, Anderson C, Horne JA, McEvoy P: Mobile phone 'talk-mode' signal delays EEG-determined sleep onset. *Neurosci Lett* 2007; 421 (1): 82 – 86
- Hutter HP, Moshammer H, Wallner P, Kundi M: Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations *Occup Environ Med* 2006; 63 (5): 307 - 313
- Inomata-Terada S, Okabe S, Arai N, Hanajima R, Terao Y, Frubayashi T, Ugawa Y: Effects of high frequency electromagnetic field (EMF) emitted by mobile phones on the human motor cortex. *Bioelectromagnetics* 2007; 28 (7): 553 - 561
- Klitzing von L: Low-Frequency pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Medica* 1995; XI (2): 77 - 80
- Koivisto M, Revonsuo A, Krause C, Haarala C, Sillanmaki L, Laine M, Hamalainen H: Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 2000a; 11 (2): 413 – 415

- Koivisto M, Krause CM, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H: The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 2000b; 11 (8): 1641 – 1643
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H: Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int J Radiat Biol* 2000a; 76 (12): 1659 – 1667
- Krause CM, Sillanmaki L, Koivisto M, Haggqvist A, Saarela C, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 2000b; 11 (4): 761 – 764
- Krause CM, Haarala C, Sillanmaki L, Koivisto M, Alanko K, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H: Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study. *Bioelectromagnetics* 2004; 25 (1): 33 – 40
- Krause CM, Bjornberg CH, Pesonen M, Hulten A, Liesivuori T, Koivisto M, Revonsuo A, Laine M, Hamalainen H: Mobile phone effects on children's event-related oscillatory EEG during an auditory memory task. *Int J Radiat Biol* 2006; 82 (6): 443 – 450
- Krause CM, Pesonen M, Haarala Bjornberg C, Hamalainen H: Effects of pulsed and continuous wave 902 MHz mobile phone exposure on brain oscillatory activity during cognitive processing. *Bioelectromagnetics* 2007: in press 28 (4): 296 – 308
- Lass J, Tuulik V, Ferenets R, Riisalo R, Hinrikus H: Effects of 7 Hz-modulated 450 MHz electromagnetic radiation on human performance in visual memory tasks. *Int J Radiat Biol* 2002; 78 (10): 937 – 944
- Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Kotrovskaia TI, Gailus T: Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Crit Rev Biomed Eng* 2000; 28 (1-2): 323 – 337
- Lebedeva NN, Sulimov AV, Sulimova OP, Korotkovskaya TI, Gailus T: Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Crit Rev Biomed Eng* 2001; 29 (1): 125 – 133
- Lee TM, Ho SM, Tsang LY, Yang SH, Li LS, Chan CC, Yang SY: Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport* 2001; 12 (4): 729 - 731
- Lee TM, Lam PK, Yee LT, Chan CC: The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 2003; 14 (10): 1361 – 1364
- Leitgeb N, Schröttner J, Cech R, Kerbl R: Investigation of sleep disorders in the vicinity of high frequency transmitters. *Biomed Tech (Berl)* 2004; 49 (7-8): 186 - 193
- Loughran SP, Wood AW, Barton JM, Croft RJ, Thompson B, Stough C: The effect of electromagnetic fields emitted by mobile phones on human sleep. *Neuroreport* 2005; 16 (17): 1973 – 1976
- Maby E, Le Bouquin Jeanes R, Liegeois-Chauvel C, Gourevitch B, Faucon G: Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method. *Med Biol Eng Comput* 2004; 42 (4): 562 – 568

- Maby E, Le Bouquin Jeannes R, Faucon G, Liegeois-Chauvel C, De Seze R: Effects of GSM signals on auditory evoked responses. *Bioelectromagnetics* 2005; 26 (5): 341 – 350
- Maby E, Jeannes Rle B, Faucon G: Scalp localization of human auditory cortical activity modified by GSM electromagnetic fields. *Int J Radiat Biol* 2006; 82 (7): 465 – 472
- Mann K, Roschke J: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiology* 1996; 33 (1): 41 – 47
- Oysu C, Topak M, Celik O, Yilmaz HB, Sahin AA: Effects of the acute exposure to the electromagnetic field of mobile phones on human auditory brainstem responses. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2005; 262 (10): 839 - 843
- Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Capsalis CN, Rabavilas AD: Gender related differences on the EEG during a simulated mobile phone signal. *Neuroreport* 2004; 15 (16): 2557 – 2560
- Papageorgiou CC, Nanou ED, Tsiafakis VG, Kapareliotis E, Kontoangelos KA, Capsalis CN, Rabavilas AD, Soldatos CR: Acute mobile phone effects on pre-attentive operation. *Neurosci Lett* 2006; 397 (1-2): 99 - 103
- Preece AW, Iwi G, Davies-Smith A, Wesnes K, Butler S, Lim E, Varey A: Effect of a 915-MHz simulated mobile phone signal on cognitive function in man. *Int J Radiat Biol* 1999; 75 (4): 447 - 456
- Preece AW, Goodfellow S, Wright MG, Butler SR, Dunn EJ, Johnson Y, Manktelow TC, Wesnes K: Effect of 902 MHz mobile phone transmission on cognitive function in children. *Bioelectromagnetics* 2005; 26 (S7): S138 - S143
- Regel SJ, Negovetic S, Roosli M, Berdinas V, Schuderer J, Huss A, Lott U, Kuster N, Achermann P: UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ Health Perspect* 2006; 114 (8): 1270 – 1275
- Regel SJ, Tinguely G, Schuderer J, Adam M, Kuster N, Landolt HP, Achermann P: Pulsed radio-frequency electromagnetic fields: dose-dependent effects on sleep, the sleep EEG and cognitive performance. *J Sleep Res* 2007a; 16 (3): 253 – 258
- Regel SJ, Gottselig JM, Schuderer J, Tinguely G, Retey JV, Kuster N, Landolt HP, Achermann P: Pulsed radio frequency radiation affects cognitive performance and the waking electroencephalogram. *Neuroreport* 2007b; 18 (8): 803 - 807
- Reiser H, Dimpfel W, Schober F: The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med Res* 1995; 1 (1): 27 – 32
- Rodina A, Lass J, Riipulk J, Bachmann T, Hinrikus H: Study of effects of low level microwave field by method of face masking. *Bioelectromagnetics* 2005; 26 (7): 571 - 577
- Roschke J, Mann K: No short-term effects of digital mobile radio telephone on the awake human electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 1997; 18 (2): 172 – 176
- Russo R, Fox E, Cinel C, Boldini A, Defeyter MA, Mirshekar-Syahkal D, Mehta A: Does acute exposure to mobile phones affect human attention? *Bioelectromagnetics* 2006; 27 (3): 215 – 220

- Schmid G, Sauter C, Stepansky R, Lobentanz IS, Zeitlhofer J: No influence on selected parameters of human visual perception of 1970 MHz UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 2005; 26 (4): 243 – 250
- Schmid G, Cecil S, Goger C, Trimmel M, Kuster N, Molla-Djafari H: New head exposure system for use in human provocation studies with EEG recording during GSM 900- and UMTS-like exposure. *Bioelectromagnetics* 2007; 28 (8): 636 – 647
- Sievert U, Eggert S, Pau HW: Can mobile phone emissions affect auditory functions of cochlea or brain stem? *Otolaryngol Head Neck Surg* 2005; 132 (3): 451 – 455
- Urban P, Lukas E, Roth Z: Does acute exposure to the electromagnetic field emitted by a mobile phone influence visual evoked potentials? A pilot study. *Cent Eur J Public Health* 1998; 6 (4): 288 – 290
- Vecchio F, Babiloni C, Ferreri F, Curcio G, Fini R, Del Percio C, Rossini PM: Mobile phone emission modulates interhemispheric functional coupling of EEG alpha rhythms. *Eur J Neurosci* 2007; 25 (6): 1908 – 1913
- Wagner P, Röschke J, Mann K, Hiller W, Frank C: Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: a polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetics* 1998; 19 (3): 199 – 202
- Wagner P, Roschke J, Mann K, Fell J, Hiller W, Frank C, Grozinger M: Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 2000; 42 (4): 207 – 212
- Wolf M, Haensse D, Morren G, Froehlich J: Do GSM 900 MHz signals affect cerebral blood circulation? A near-infrared spectrophotometry study. *Opt Express* 2006; 14 (13): 6128 – 6142
- Yuasa K, Arai N, Okabe S, Tarusawa Y, Nojima T, Hanajima R, Terao Y, Ugawa Y: Effects of thirty minutes mobile phone use on the human sensory cortex. *Clin Neurophysiol* 2006; 117 (4): 900 - 905