

Auswirkungen von Mobilfunkfeldern auf das Zentralnervensystem im Wach- und Schlafzustand

Gutachter:

Dr. Peter Ullsperger
Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin
Gruppe „Arbeitsgestaltung bei psychischen Belastungen, Stress“
10317 Berlin, Nöldnerstr. 40/42

Inhaltsverzeichnis

1	Zielstellung des Gutachtens	E-5
2	Auswahl der berücksichtigten Studien	E-5
3	Darstellung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes	E-6
4	Gesamtbewertung für das Themenfeld	E-9
5	Literaturverzeichnis	E-10
6	Anhang: Tabellen Übersicht über die bewerteten Studien	E-16

1 Zielstellung des Gutachtens

Dieses Gutachten befasst sich mit den Auswirkungen von Mobilfunkfeldern (EMF) auf das Zentralnervensystem (ZNS) im Wach- und Schlafzustand. Beurteilt wurden Publikationen der Jahre 2000 bis 2003. Einbezogen wurden Experimente am Menschen und am Tier.

Folgende drei Endpunkte wurden definiert:

1. Akute gesundheitliche Auswirkungen
2. Verhalten/Schlafvariablen
3. Auswirkungen auf Parameter des EEG und des Blutflusses (rCBF).

Die Endpunkte wurden aufgrund der Literatur und eigener Erfahrungen definiert.

2 Auswahl der berücksichtigten Studien

Berücksichtigt wurden Originalarbeiten, die in „peer-reviewed“ Fachzeitschriften publiziert wurden. Es wurden nur Arbeiten am intakten Organismus (Mensch oder Tier) einbezogen, d.h. Arbeiten über Zellpräparate wurden nicht eingeschlossen. Weiter musste die Expositionsbedingung nachvollziehbar und die Feldintensität angegeben sein. Eine Ausnahme bildet die TNO-Studie, die bis jetzt nur als Bericht vorliegt. Sie wurde aus aktuellem Anlass mit einbezogen.

Übersichtsarbeiten sind im Literaturverzeichnis aufgeführt, wurden jedoch bei der Bewertung nicht berücksichtigt.

Die Auswahl der Literatur erfolgte in Abstimmung zwischen den Gutachtern Dr. Peter Achermann und Dr. Peter Ullsperger auf der Basis systematischer Recherchen:

- Recherche bei PubMed und Web of Science
- Eigene Literaturlisten
- Literaturliste auf der Web site: Cellular Phone Antennas (Mobile Phone Basis Stations) and Human Health; John Moulder, Professor of Radiation Oncology, Medical College of Wisconsin, Milwaukee, Wisc., U.S.A.
<http://www.mcw.edu/gcrc/cop/cell-phone-health-FAQ/toc.html>

Die Arbeiten sind im Literaturverzeichnis aufgelistet, unterteilt nach den Kategorien

1. Experimentelle Arbeiten (auswertbar und im Gutachten berücksichtigt),
2. Tierexperimentelle Arbeiten (auswertbar und im Gutachten berücksichtigt),
3. Übersichtsarbeiten (nicht berücksichtigt),
4. Experimentelle Arbeiten (nicht berücksichtigt, genügen nicht den Qualitätsanforderungen).

Die Arbeiten der Kategorie 4 genügen nicht den Qualitätsanforderungen zumeist bezüglich der Angaben zur Exposition, die Expositionsbedingungen entsprechen nicht dem wissenschaftlichen Standard zur Untersuchung eines bestimmten Einflussfaktors.

Ganz allgemein ist festzustellen, dass es sich in den Kategorien 1 und 2 nicht zuletzt aufgrund der bisher unbekanntenen Wirkmechanismen in der Mehrzahl um explorative Pilotstudien handelt, die zudem nur als Kurzmitteilungen publiziert sind.

Wegen der vielfältigen Variationsmöglichkeiten in den explorativen Studien ist die Vergleichbarkeit nicht gegeben, was auch eine übergreifende Verallgemeinerung der Befunde zur Darstellung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes erschwert.

3 Darstellung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes

Eine bewertende Übersicht der im Gutachten berücksichtigten Publikationen findet sich im Anhang in Tabellenform (S. E-16). Als erschwerend für eine verallgemeinernde Darstellung des wissenschaftlichen Kenntnisstandes erweisen sich insbesondere folgende Aspekte:

- Fehlende Hypothesen über Wirkmechanismen von (pulshaltigen) elektromagnetischen Feldern schwacher Intensität (unter 2 W/kg).
- Selbst bei detaillierter und nachvollziehbarer Darstellung der Expositionsbedingungen liegen kaum Studien aus verschiedenen Labors vor, in denen mit identischen Expositionsbedingungen gleiche Funktionsparameter untersucht wurden. Dies betrifft sowohl Lokalisation und Entfernung der Quelle in Bezug zu dem biologischen Objekt, Frequenz und Pulshaltigkeit des Signals, als auch die zeitliche Struktur der Exposition (Dauer, Wiederholung, Untersuchung des direkten Effekts bzw. der Nachwirkung, zeitlicher Abstand von der Exposition) (Ausnahme: Haarala et al. (2003a)).
- Probleme technischer Artefakte, elektromagnetische Immunität der Messgeräte: Beeinflussung der Expositionsparameter durch Elektroden und Sensoren zur Effektmessung; unmittelbare technische Beeinflussung der Messapparatur z.B. durch Signalüberlagerungen (Beispiel: Braune et al. (1998) - keine Bestätigung der Befunde in Braune et al. (2002)); unbeabsichtigte Begleitphänomene der Exposition wie z.B. durch die Probanden wahrnehmbare Erwärmungen oder Begleitgeräusche der Exposition (Beispiel: Koivisto et al. (2000a,b), Haarala et al. (2003b)).
- Probleme biologischer Artefakte und der physiologischen Variabilität: blinde und doppelt blinde Versuchsdurchführung; Auswahl der abhängigen Variablen unter Berücksichtigung ihrer Reproduzierbarkeit, Validität, Sensitivität und Diagnostizität. Auswahl der zu untersuchenden kognitiven Funktionen (z.B. einfache Reiz-Reaktionsaufgaben, Gedächtnisprozesse, exekutive Funktionen usw.).
- Problem der zeitabhängigen Parameteränderungen, denen auch bei balancierten Versuchsplänen nur bedingt zu begegnen ist. Von der Exposition unabhängig treten z.T. gegenläufige, zeitabhängige Parameteränderungen auf, z.B. durch Gewöhnung (an die experimentelle Situation), Training oder Ermüdung. Stabilität komplexer Verhaltensmuster im Wach- und Schlafzustand in standardisierten Versuchssituationen sind zunächst nachzuweisen, bevor zuverlässige Schlussfolgerungen über die Wirkung eines Einflussfaktors gezogen werden können.
- Problem der Auswahl und Größe der Probandengruppen: Alter, Geschlecht, sonstige Besonderheiten inklusive Persönlichkeitseigenschaften, Gesundheit, aktuelle Befindlichkeit, Wachheitsgrad, Körpertemperatur usw.; Anamnese auch zur EMF-Exposition.
- Statistische Probleme: Anwendung angemessener statistischer Verfahren, Berücksichtigung von power (nur: TNO-Report) und Effektgröße; Fehler 1. und 2. Art, Annahme der Nullhypothese.
- Problem der Beliebigkeit der ausgewählten abhängigen Variablen (nicht zuletzt wegen fehlender Hypothesen über Wirkmechanismen) und Berücksichtigung des „state of the art“ bei Erfassung und Auswertung der Parameter, z.B.: EEG, Schlaf-

EEG, langsame Potentiale (Bp; CNV), ereigniskorrelierte Potentiale mit zahlreichen Komponenten, Hirnstammpotentiale, Event-related desynchronisation bzw. synchronisation, usw.

Insgesamt ist festzustellen, dass bis auf die TNO-Studie (GSM und UMTS, Basisstation) in allen in die Auswertung einbezogenen Studien am Menschen mit einem Mobiltelefon-typischen **GSM-Signal (Pulsfrequenz 217 Hz)** exponiert wurde bei einer SAR **unter 2W/kg**.

So kann davon ausgegangen werden, dass in allen hier einbezogenen Untersuchungen die **Temperaturerhöhung im ZNS** bei oder unter 0,1° C lag (vgl. dazu z.B. Diskussion in TNO-Report). Der Einfluss der Temperaturerhöhung bei Expositionsdichten weit jenseits der Normgrenzen wurde im Tierexperiment (Yamaguchi et al. (2003)) bei 25W/kg im Labyrinthtest nachgewiesen.

Der Nachweis von Huber et al. (2002), dass Änderungen im Schlaf-EEG nur nach pulsmoduliertem Signal und nicht nach cw-Signal nachweisbar waren, deutet eher auf einen möglichen sogenannten „**athermischen**“ **Wirkungsmechanismus** hin.

Der Befund von Huber et al. (2002) mit nachgewiesenen Effekten im Schlaf-EEG nach der Exposition problematisiert alle Untersuchungen, in denen in rascher Folge die Exposition kurzzeitig an- und ausgeschaltet wurde, bei gleichzeitiger Erfassung der Messgrößen. Beim Vorhandensein von **Post-Expositionseffekten** ist mit Überlagerungen zu rechnen, die die Aussagekraft der Untersuchungsprotokolle bei Vergleich von EMF-on und EMF-off Epochen in Frage stellen. Hier sind grundsätzliche Überlegungen zu zukünftig zu wählenden Untersuchungsdesigns erforderlich. Bis auf die Arbeit von Jech et al. (2001) und den TNO-Report wurden in allen ausgewerteten Untersuchungen **gesunde (junge) Personen** als Probanden untersucht. Damit sind verallgemeinernde Schlussfolgerungen derzeit lediglich für diese Personengruppe möglich.

Die ausgewerteten Arbeiten gestatten aufgrund der Unterschiedlichkeit und unsystematischen Variation der Expositionsparameter keine Schlussfolgerungen zu einer eventuellen Dosis-Wirkungsbeziehung im Bereich unterhalb des Normgrenzwertes von 2W/kg.

Die Evidenzlage zu dem **Endpunkt „akute gesundheitliche Auswirkung“** wird folgendermaßen eingeschätzt:

Bei Expositionen mit gepulstem GSM-Signal bei Intensitäten unter 2 W/kg ist für gesunde junge Erwachsene keine akute gesundheitliche Auswirkung nachweisbar. Alle beschriebenen Effekte liegen eindeutig im Bereich physiologischer Normvariationen ohne jegliche pathophysiologische Relevanz.

Die Auswirkungen mit geringer Effektgröße (z.T. nicht reproduzierbar) beruhen möglicherweise auf einem unspezifischen Einfluss auf zentralnervöse Aktivierungsprozesse, der in gleicher Größenordnung auch durch zahlreiche andere, begleitende Störgrößen hervorgerufen sein kann.

Die Evidenzlage zu dem **Endpunkt „Verhalten, Schlafvariablen“** wird folgendermaßen eingeschätzt:

In keiner Studie wurde das Vorhandensein des GSM-EMF subjektiv wahrgenommen. Auch sogenannte Elektrosensible konnten das EMF von aktiven Mobiltelefonen nicht detektieren (Hietanen et al. (2002)).

Änderungen von Verhaltensparametern bei einfachen Reaktionsaufgaben und kognitiven Tests (Koivisto et al. (2000b)) werden in der Multi-Center-Studie (Haarala et al. 2003a) nicht bestätigt. Reaktionszeitverkürzungen werden im TNO-Report (Simulation des Einflusses einer Basisstation: nur bei beschwerdefreien Probanden signifikant bei GSM-EMF, bei Probanden mit Beschwerden nur unter UMTS-Exposition?) und von Jech et al. (2001) an Nakolepsie-Patienten beschrieben.

Die Verhaltensänderungen im Tierversuch (Labyrinthtest) werden auf Temperaturerhöhung (Yamaguchi et al. (2003) und akustische Expositionseffekte (Wang et al. (2000)) zurückgeführt und nicht als EMF-Effekt auf das ZNS bestätigt (Sienkiewicz et al. (2000), Dubreuil et al. (2002, 2003)).

Änderungen von Schlafparametern (außer EEG) werden in den Publikationen des bewerteten Zeitraumes bis auf „Waking after sleep onset“ (Huber et al. (2003)) nicht nachgewiesen bzw. nicht reproduziert.

Systematische Untersuchungen sind erforderlich, um das Vorhandensein von EMF-Auswirkungen auf Verhalten und Schlafvariablen grundsätzlich zu klären.

Von einer pathophysiologischen Relevanz der bisher beschriebenen Parameteränderungen kann nicht ausgegangen werden.

Die Evidenzlage zu dem **Endpunkt „Auswirkungen auf Parameter des EEG und des Blutflusses rCBF“** wird folgendermaßen eingeschätzt:

Zum Einfluss auf rCBF liegen bisher nur die Arbeiten von Huber et al. (2002) (Zunahme des Blutflusses im dorso-lateralen Präfrontalkortex, Wirkmechanismus von pm-EMF unklar) und von Haarala et al. (2003b) vor (relative Abnahme des rCBF) im auditorischen Kortex. Möglicherweise nicht aufgrund von EMF, sondern akustischer Begleiterscheinungen des aktiven Telefons). Die Effekte müssen reproduziert werden, um als belastbare Interpretationsgrundlage für EEG-Effekte dienen zu können.

Ein initialer Anstieg im 9-14 Hz EEG-Spektralbereich des Schlaf-EEG wurde von Huber et al. (2003, 2000) wiederholt nachgewiesen. Die besondere Bedeutung dieses Befundes liegt in der Tatsache der Post-Expositionswirkung.

Die von Freude et al. (2000) nachgewiesene Änderung langsamer Potentiale, die Änderungen der P300-Komponente (Jech et al. 2001) und die Änderungen der Dimensionalität des EEG an Kaninchen unmittelbar nach Beginn der Exposition (Marino et al. (2003) können im Zusammenhang mit dem oben diskutierten unspezifischen Einfluss auf die zentralnervöse Aktivierung gesehen werden. Dagegen wurden keine Effekte auf Hirnstammpotentiale ((Arai et al. (2003)) und das vegetative Nervensystem (Braune et al. (2002)) nachgewiesen.

Die Auswirkungen auf Parameter des EEG und des Blutflusses bedürfen einer Bestätigung in weiteren Experimenten unter Berücksichtigung der oben angesprochenen Probleme.

Die aufgezeigten Parameteränderungen haben keine pathophysiologische Relevanz.

4 Gesamtbewertung für das Themenfeld

Die Datenlage anhand der im Zeitraum 2000 – 2003 publizierten experimentellen Arbeiten, die den gestellten wissenschaftlichen Anforderungen (hier insbesondere bezüglich der Exposition) genügen, vermittelt eine schwache, eher unzureichende Unterstützung der Annahme, dass das gepulste GSM-Signal des Mobiltelefons Hirnfunktionen und Verhaltensparameter beeinflussen kann. Es ist nicht auszuschließen, dass mögliche Effekte aufgrund ihrer schwachen Ausprägung nur gelegentlich erfasst werden oder gar durch begleitende unkontrollierte Störgrößen hervorgerufen werden.

Als wissenschaftlich interessante Frage ist m.E. weiterhin zu klären, ob das gepulste GSM-EMF eine reproduzierbare Wirkung auf ZNS und Verhalten ausübt und welche Mechanismen dafür in Frage kommen. Dazu sollten neben einer zuverlässigen Expositionsdosimetrie standardisierte experimentelle Protokolle multizentrisch untersucht werden und zwar unter Berücksichtigung von biologisch relevanter Effektgröße von Parameteränderungen und statistischer Power. Da die vorliegenden Ergebnisse vor allem auf Untersuchungen junger gesunder Personen beruhen, sind bisher keine Aussagen für andere Personengruppen möglich.

5 Literaturverzeichnis

5.1 Experimentelle Arbeiten (in die Auswertung einbezogen)

Arai, N., H. Enomoto, et al. (2003). Thirty minutes mobile phone use has no short-term adverse effects on central auditory pathways. *Clinical Neurophysiology* 114(8): 1390-4.

Braune, S. Riedel, A et al. (2002). Influence of a radiofrequency electromagnetic field on cardiovascular and hormonal parameters of the autonomic nervous system in healthy individuals. *Radiation Research* 158, 352-356.

Freude, G., P. Ullsperger, et al. (2000). Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol* 81(1-2): 18-27.

Haarala, C., L. Bjornberg, et al. (2003a). Effect of a 902 MHz electromagnetic field emitted by mobile phones on human cognitive function: A replication study. *Bioelectromagnetics* 24(4): 283-8.

Haarala, C., Aalto, S., et al. (2003b). Effects of a 902 MHz mobile phone on cerebral blood flow in humans: A PET study. *Neuroreport* 14 (16): 2019-2023.

Hietanen, M, Hamalainen, A.M. et al. (2002). Hypersensitivity symptoms associated with exposure to cellular telephones: no causal link. *Bioelectromagnetics* 23 (4):264-270.

Hietanen, M., Kovala, T. et al. (2000). Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. *Scandinavian Journal of Work Environment and Health* 26 (2): 87-92.

Huber, R., J. Schuderer, et al. (2003). Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. *Bioelectromagnetics* 24(4): 262-76.

Huber, R., V. Treyer, et al. (2002). Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. *J Sleep Res* 11(4): 289-95.

Huber, R., T. Graf, et al. (2000). Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 11(15): 3321-5.

Jech, R., K. Sonka, et al. (2001). Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 22(7): 519-28.

Koivisto, M., C. M. Krause, et al. (2000a). The effects of electromagnetic field emitted by GSM phones on working memory. *Neuroreport* 11(8): 1641-3.

Koivisto, M., A. Revonsuo, et al. (2000b). Effects of 902 MHz electromagnetic field emitted by cellular telephones on response times in humans. *Neuroreport* 11(2): 413-5.

Krause, C. M., L. Sillanmäki, et al. (2000). Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during a memory task. *Neuroreport* 11(4): 761-4.

Krause, C. M., L. Sillanmäki, et al. (2000). Effects of electromagnetic fields emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int J Radiat Biol* 76(12): 1659-67.

Radon, K., D. Parera, et al. (2001). No effects of pulsed radio frequency electromagnetic fields on melatonin, cortisol, and selected markers of the immune system in man. *Bioelectromagnetics* 22(4): 280-7.

Wagner, P., J. Roschke, et al. (2000). Human sleep EEG under the influence of pulsed radio frequency electromagnetic fields. Results from polysomnographies using submaximal high power flux densities. *Neuropsychobiology* 42(4): 207-12.

TNO-Report (2003). Effects of Global Communication system radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. The Hague, The Netherlands.

5.2 Tierexperimentelle Arbeiten (in die Auswertung einbezogen)

Bornhausen, M. and H. Scheingraber (2000). Prenatal exposure to 900 MHz, cell-phone electromagnetic fields had no effect on operant-behavior performances of adult rats. *Bioelectromagnetics* 21(8): 566-74.

Dubreuil, D., T. Jay, et al. (2003). Head-only exposure to GSM 900-MHz electromagnetic fields does not alter rat's memory in spatial and non-spatial tasks. *Behavioural Brain Research* 145(1-2): 51-61.

Dubreuil, D., T. Jay, et al. (2002). Does head-only exposure to GSM-900 electromagnetic fields affect the performance of rats in spatial learning tasks? *Behav Brain Res* 129(1-2): 203-10.

Marino, A. A., E. Nilsen, et al. (2003). Nonlinear changes in brain electrical activity due to cell phone radiation. *Bioelectromagnetics* 24(5): 339-46.

Sienkiewicz, Z. J., R. P. Blackwell, et al. (2000). Low-level exposure to pulsed 900 MHz microwave radiation does not cause deficits in the performance of a spatial learning task in mice. *Bioelectromagnetics* 21(3): 151-8.

Yamaguchi, H., G. Tsurita, et al. (2003). 1439 MHz pulsed TDMA fields affect performance of rats in a T-maze task only when body temperature is elevated. *Bioelectromagnetics* 24(4): 223-30.

Wang, B. and H. Lai (2000). "Acute exposure to pulsed 2450-MHz microwaves affects water-maze performance of rats." *Bioelectromagnetics* 21(1): 52-6.

5.3 Übersichtsarbeiten zur Thematik (nicht berücksichtigt)

Cook, C.M., Thomas, A.W., Prato, F.S. (2002). Human electrophysiological and cognitive effects of exposure to ELF magnetic and ELF modulated RF and microwave fields: A review of recent studies. *Bioelectromagnetics* 23: 144-157.

Hamblin, D. L. and A. W. Wood (2002). Effects of mobile phone emissions on human brain activity and sleep variables. *Int J Radiat Biol* 78(8): 659-69.

Hossmann, K. A. and D. M. Hermann (2003). Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 24(1): 49-62.

Hyland, G. J. (2000). Physics and biology of mobile telephony. *Lancet* 356(9244): 1833-6.

Petrides, M. (2001). Use of cellular telephones and performance on tests of attention. *NeuroReport* 12(4): A21.

Rothman, K.J. (2000). Epidemiological evidence on health risks of cellular telephones. *Lancet* 356: 1837-40.

Röösli, M., R. Rapp, et al. (2003). Radio and microwave frequency radiation and health - an analysis of the literature. *Gesundheitswesen* 65: 378-92.

Wood, A.W., Hamblin, D.L., Croft, R.J. (2003). The use of a phantom scalp to assess the possible direct pickup of mobile phone handset emission by electroencephalogram electrode leads. *Med. Biol. Eng. Comput.* 41: 470-472.

5.4 Experimentelle Arbeiten (genügen nicht den Qualitätsanforderungen, vgl. dazu kursiv-gedruckte Erläuterungen)

Burch, J. B., J. S. Reif, et al. (2002). Melatonin metabolite excretion among cellular telephone users. *Int J Radiat Biol* 78(11): 1029-36.
(Exposition wird durch nachträgliche Befragung eingeschätzt.)

Croft, R., J. Chandler, et al. (2002). Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clin Neurophysiol* 113(10): 1623-32.
(Zur Exposition wird aktives (?) Nokia 5110 als „Receiver“ verwendet. Dazu wird ein Q-Link-Ally EMF attenuator (???) untersucht.)

Edelstyn, N. and A. Oldershaw (2002). The acute effects of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 13(1): 119-21.

(Keine wiederholte Messung an den gleichen Probanden, 2 getrennte Kollektive mit und ohne EMF-Exposition, die mit einem SAR-Wert von 1,19/kg (!) angegeben ist. Bei kognitiven Tests ist der Vergleich zwischen exponierter und scheinexponierter Probandengruppe sehr problematisch.)

Hamblin, D.L., Wood, A.W. et al. (2004) Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. *Clinical Neurophysiology* 115, 171-178.

(Zur Exposition wird Nokia 6110 (mit 250 mW output-Listung) verwendet. Die EEG-Registrierung erscheint mangelhaft zu sein, es wird angegeben, dass eine von 2 NeuroScan-Headboxen während der Aufzeichnungen defekt war (keine on-line-Kontrolle?). Es bleibt unklar, welche Referenzelektrode und welche Erdung verwendet wurde. Auf Anfrage bei den Autoren keine entsprechende Antwort: bei 70dB akustischen Stimuli ist ein ERP mit 1 μ V N1-P2 Amplitude sehr anzuzweifeln. Die sog. EMF-Effekte liegen im NanoVolt-Bereich!)

Kramarenko, A. V. and U. Tan (2003). Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: A brain mapping study. *International Journal of Neuroscience* 113(7): 1007-1019.

(Methodisch problematisch, Artefakt verdächtig).

Lebedeva, N. N., A. V. Sulimov, et al. (2001). Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Crit Rev Biomed Eng* 29(1): 125-33.

(Darstellung der Methodik mangelhaft: Zur Exposition: „..were exposed to actual electromagnetic fields of a mobile phone...“)

Lebedeva, N. N., A. V. Sulimov, et al. (2000). Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Crit Rev Biomed Eng* 28(1-2): 323-37.

(Darstellung der Methodik mangelhaft: Zur Exposition: “The EMF was directed to the back of the head by a special antenna.”)

Lee, T.M.C., Lam, P.K., Yee, L.T.S., Chan, C.C.H. (2003) The effect of the duration of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones on human attention. *Neuroreport* 14: 1361-1364.

Lee, T. M., S. M. Ho, et al. (2001). Effect on human attention of exposure to the electromagnetic field emitted by mobile phones. *Neuroreport* 12(4): 729-31.

(Keine Studie mit Exposition, Untersuchung von User und Nonuser).

Maier, R. (2001). Do pulsed electromagnetic fields impair CNS activity? *Biomedizinische Technik* 46(1-2): 18-23.

(Fragestellung der Untersuchung „...nach einer Ruhephase ohne Feldbelastung sollte das Gedächtnis regeneriert sein...? nicht nachvollziehbar, Aussagekraft des untersuchten Parameters „sog. Ordnungsschwelle“ fraglich. Statistik fragwürdig).

Smythe, J. W. and B. Costall (2003). Mobile phone use facilitates memory in male, but not female, subjects. *Neuroreport* 14(2): 243-6.

(Keine Angaben zur Exposition, die eine Wiederholung des Experiments zulassen würde. „EMF exposure was produced using mobile phones (Ericsson A2618s) that operated at 1800 MHz with an SAR of 0,79 W/kg.“ Das Untersuchungsergebnis ist m.E. nicht ernst zu nehmen).

Wilen, J., Sandström, M., Mild, K.H. (2003) Subjective symptoms among mobile phone users – a consequence of absorption of radiofrequency fields? *Bioelectromagnetics* 24: 152-159.

5.5 Sonstige Arbeiten

Braune, S., Wrocklage, C., Raczek, J., Gailus, T. & Lücking, C. (1998): Resting blood pressure increase during exposure to a radio-frequency electromagnetic field. *Lancet*, 351, 1857-1858.

Publikation	Exposition	Dosimetrie	Probanden	Dauer und zeitliche Abfolge der Messung	Parameter (abhängige Variablen, physiologisch, Verhalten)	Verblindung
Freude et al. (2000)	GSM, GSM: 916,2 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz, mittlere Leistung 350 mW extern gespeistes GSM Handy in "intended use position"	SAR (10g): 0.882 mW /g (Abschirmwirkung der Elektrodenhaube bestimmt)	20 gesunde Männer (25,3 bzw. 25,7 Jahre)	während der Exposition, wiederholt für 3-4 min	EEG, gemittelte langsame Potentiale, Monitoring task	einfach blind
Hietanean, Kovala et al. (2000)	5 unterschiedliche Mobiltelefone (analog und digital; 900 MHz und 1800 MHz)		19 gesunde Personen (Männer 28-48 Jahre; Frauen 32-57 Jahre)	20 min Exposition in 6 30 min Experiments mit Sham-Exposition	EEG im Wachzustand, geschlossene Augen	
Huber, Graf et al. (2000)	GSM: 900 MHz, Pulsfrequenz: 2, 8, 217, 1736 Hz Antenne 11 cm vom Kopf, bds.	0,14 W/kg für Hemisphäre	16 gesunde Männer (22,3 Jahre)	30 min Expos. 10 min vor 3 h Schlaf, 3 Wiederholungen in 3 Wochen	EEG-Power-Spektren,	doppelblind
Koivisto et al. (2000b)	GSM: 902 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz Telephone, intended use, linkes Ohr, Antenne 4cm vom Kopf	0,25 W Netto-Einspeisungsleistung	48 gesunde Personen (26 Jahre)	Exposition für Hälfte der Pb am 1., für die andere Hälfte am 2. Tag. Exposition ca. 1 Stunde	12 kognitive Aufgaben, counterbalanced je 6 Aufgaben; Reaktionsparameter	einfach blind
Koivisto et al. (2000a)	GSM: 902 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz Telephone, intended use, linkes Ohr, Antenne 4cm vom Kopf	0,25 W Netto-Einspeisungsleistung	48 gesunde Personen (23,2 Jahre)	Aufgabe 2 x, mit bzw. ohne Exposition, 30 min; Lateinisches Quadrat	n-back task, Reaktionsparameter	einfach blind
Krause et al. (2000)	Standard GSM-Telephon, 902 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz, Antenne 2 cm vom Kopf entfernt	0,25 W (Abschirmung durch Elektroden nicht beachtet)	16 gesunde Personen (23,2 Jahre)	Sternberg's memory search paradigm; akustisch präsentierte Verben während der Exposition	event-related desynchronisation im EEG	einfach blind
Krause et al. (2000)	Standard GSM-Telephon, 902 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz, Antenne 2 cm vom Kopf entfernt, peak-2 W mit Batteriebetrieb,	0,25 W/kg, SAR nach Nokia gut unterhalb 2W/kg SAR	24 gesunde Personen (23,3 Jahre)	n-back task, visuell, 0 - 2 back, counterbalanced, jede Bedingung mit und ohne EMF (30 min je), insgesamt 60 min, Hälfte der Probanden am Anfang des Exp. Für 30 min exponiert	event-related desynchronisation im EEG	einfach blind,

Publikation	Maßnahmen zur Artefaktunterdrückung	Effekt	akute Gesundheitsrelevanz	Wirkmechanismus	repliziert?	Effektgröße / Relevanz der Studie/ Bemerkungen
Freude et al. (2000)	Filterung des EEG-Signals, zwei Blöcke balanciert	kein Effekt für Verhaltensparameter; Effekt auf langsame Potentiale	Effektgröße im Bereich physiol. Variabilität	athermisch?, unspezifische Erhöhung der zentralnervösen Aktivierung	von den gleichen Autoren	ja
Hietanean, Kovala et al. (2000)		Keine signif. EEG-Effekte	keine	kein		Hinweis auf statistisches Problem falsch positiver Befunde
Huber, Graf et al. (2000)	3 fach Wiederholung	kein subjekt. Effekt, Zunahme der power density (9,75-11,25 und 12,25 - 13,25) in ersten 30 min non-REM; Abnahme in den letzten 30 min von non-REM kein Seiteneffekt	Effektgröße im Bereich physiol. Variabilität	athermisch?, Wirkung auf thalamische Aktivität, Spindeln	von den gleichen Autoren	geringer, im physiologischen Variationsbereich liegender Effekt, Effekt nach der Exposition
Koivisto et al. (2000b)	balanciert über Probanden	einfache Reaktionszeit und Subtraktionszeit verkürzt, Anzahl falscher Alarme verringert	Effektgröße im Bereich physiol. Variabilität RT-Differenz 10 ms	unbekannte (akustische?) Ursache, facilitation effect on cognitive processing?	später nicht bestätigt; Feststellung, dass vom Handy während der Exposition Geräusch durch Batteriespeisung hörbar! (persönliche Mitteilung Haarala)	geringer, im physiologischen Variationsbereich liegender Effekt, der auch durch akustischen Störfaktor verursacht werden kann
Koivisto et al. (2000)	balanciert über Probanden	nur bei 3-back Task signif. Effekt	Effektgröße im Bereich physiol. Variabilität 36 ms Verkürzung bei 3-back Targets	unbekannte (akustische?) Ursache, facilitation effect on cognitive processing, nur bei höherer kognitiver Belastung	später nicht bestätigt; Feststellung, dass vom Handy während der Exposition Geräusch durch Batteriespeisung hörbar! (persönliche Mitteilung Haarala)	geringer, im physiologischen Variationsbereich liegender Effekt, der auch durch akustischen Störfaktor verursacht werden kann
Krause et al. (2000a)	balanciert über Pbn, 1. oder 2. Versuchshälfte	kein Effekt auf Leistungsparameter, kein Effekt bzgl. ERD u. ERS während Encoding, aber in allen Bändern während Retrieval	geringere ERS bei 4-6 Hz, sonst erhöhte ERS in den anderen Bereichen bei EMF-Exposition, Effekt in Zeitintervall 200-800 ms, sign. Haupteffekt im Band 8-10 Hz, Effektgröße im Bereich physiol. Variabilität	Effekt nur für retrieval, nicht für encoding, Verminderung der kortikalen Aktivität während memory retrieval, EMF alteriert die kortikale Aktivierung?	keine	geringer, im physiologischen Variationsbereich liegender Effekt, der auch durch andere Störfaktoren verursacht werden kann
Krause et al. (2000)	balanciert über Probanden	kein Effekt auf Leistungsparameter, keine Haupteffekte bzgl. EMF, einige Interaktionen, die aufgrund der "überzogenen" ANOVA schwer interpretierbar sind.	nicht-signifikante Befunde werden als Bestätigung des Einflusses von GSM auf kognitive Funktionen angesehen. EEG-Änderungen bei 0 und 1 back-task im Widerspruch zu Koivisto, Schlussfolgerung, dass Einfluss nicht modalitätsspezifisch	leichte (unwahrscheinliche) Temperaturerhöhung wird diskutiert.		bedingt verwertbar, statistisches Problem ANOVA mit Faktoren EMF (2), Time (15), Stimulus (2), memory load(3) und hemisphäre (2) bei 24 Pbn

Publikation	Exposition	Dosimetrie	Probanden	Dauer und zeitliche Abfolge der Messung	Parameter (abhängige Variablen, physiologisch, Verhalten)	Verblindung
Wagner et al. (2000)	GSM: Antenne 40 cm unter dem Kopfkissen, verbunden mit Motorola 1000 Handy, 900 MHz, 217 Hz Pulsfrequenz,	50 W/m ² , SAR (10g) 364 mW/kg bei power flux von 10 W/m ² , Exposition unter 2 W/kg	20 gesunde Männer (24 Jahre)	2 Sitzungen zu 3 aufeinanderfolgenden Nächten im Abstand von 7 Tagen, Hälfte der Pb exponiert in der 1. Meßnacht.	Schlaf-EEG, power Spektra, Schlafdauer, Sleep onset	einfach blind
Radon et al. (2001)	GSM: 900 MHz, 217 Hz Pulsfrequenz, 577 µs, 4 W peak power,	10 cm von dr Antenne entfernt 1W/m ² , SAR 0,025 W/kg, circularly polarized antenna	8 gesunde Männer (24,8 Jahre)	20 Sitzungen zu 4 Stunden, 10 mit EMF Exposition in zufälliger Abfolge	Speichelproben zur Bestimmung von Melatonin, Cortisol, Neopterin, sIgA (Speichel-Immunglobulin A)	doppelt blind
Braune et al. (2002)	GSM: 900 MHz, 217 Hz Pulsfrequenz,	SAR 0,5 W/kg (10 g), 1,5 cm Schaumstoff zwischen Handy und Kopf, Brummen des Mobiltelefones durch Rauschen überdeckt	40 gesunde Personen (24,9 Jahre)	2 Sitzungen an 2 Tagen mit counterbalanced Exposition bis 50 min	Blutdruck in verschiedenen Körperlagen, Noradrenalin, Adrenalin, Kortisol	einfach blind
Hietaneen, Hamalainen et al. (2002)	1 analoges und 2 digitale Telefone (900 MHz und 1800 MHz)		20 gesunde Personen (Elektrosensibel?)	zufällige Abfolge von 3 - 4 30 min Sitzungen	Blutdruck, Herzschlagfrequenz, Atemfrequenz, subjektive Angaben	doppelt blind
Huber et al. (2002)EXP 1	GSM: 900 MHz, Pulsfrequenz 2, 8, 217, 1736 Hz	SAR (10 g) 1W/kg, linksseitige Exposition	13 gesunde Männer (22,5 Jahre)	30 min Exposition, Untersuchung der Nachwirkung 10 min nach Exposition	PET-Messung, rCBF Anforderung: Stilles Zählen	doppelt blind
Huber et al. (2002)EXP 2	GSM, 900 MHz, cw-Signal, pm-Signal		16 gesunde Männer (22,3 Jahre)		Schlaf-EEG,	doppelt blind
Arai et al. (2003)	800 MHz, 0,8 W Leistung, gepulst (keine Angaben)	Antenne 4 cm vom Kopf entfernt, rechte Seite,	15 gesunde 26 - 50 Jahre	3 Messungen im Wochenabstand, 30 min, Messung vor und nach Exposition	akustisches Hirnstammpotential, Middle latency response	keine sham Exposition
Haarala et al. (2003a)	GSM: 902 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz, Mobiltelefon, am Kopf befestigt, linke Seite des Kopfes, "intended use position", Antenne ca 4 cm entfernt, Steuerung über Laptop. mittlere Leistung 0,25 W,	SAR 0,88W/kg über 1 g.	2 x 32 gesunde Personen (24,2 Jahre bzw. 29,3 Jahre)	Expositionsdauer 65 min.	Reaktionsparameter; 9 unterschiedliche cognitive Aufgaben, z.T. Wiederholung der Aufgaben aus Koivisto et al., Stroop, Temperatur zwischen telefon und Kopf gemessen 35,9 - 36 ° C;	doppelt blind
Haarala, Aalto et al. (2003b)			14 gesunde Personen		rCBF, visuelle Arbeitsgedächtnisaufgabe	doppelt blind (?), Geräusch-artefakte!

Publikation	Maßnahmen zur Artefakt- unterdrückung	Effekt	akute Gesundheitsrelevanz	Wirkmechanismus	repliziert?	Effektgröße / Relevanz der Studie/ Bemerkungen
Wagner et al. (2000)	balanciert über Pbn	Kein sign. Effekt weder für Schlafvariablen noch für EEG-Parameter	kein Effekt, keine Dosis-Wirkungs-Beziehung	nicht nachweisbar	frühere Untersuchung kann nicht reproduziert werden	
Radon et al. (2001)	randomisierte Abfolge	keine signifikanten Änderungen der Parameter, weder am Tage, noch in der Nacht, durch EMF-Exposition	kein Effekt	kein Effekt		
Braune et al. (2002)	balancierte Abfolge	keine signifikanten Änderungen der Parameter	kein Effekt durch EMF-Exposition, keine "athermische" Wirkung auf vegetative Funktionen	kein Effekt	früheres Untersuchungsergebnis wird nicht bestätigt	frühere Effekte können durch mangelnde Immunität des Messgerätes gegenüber EMF erklärt werden.
Hietanean, Hamalainen et al. (2002)		kein signifikanter Effekt bei Exposition	kein Effekt, keine subjektive Wahrnehmung			
Huber et al. (2002)EXP 1	cross-over design	dorso-lateral präfrontale Zunahme von rCBF nach pm-Signal-Exposition	Beziehung zu Arbeitsgedächtnis, funktionelle Konsequenzen unklar. Änderungen geringfügig und im physiologischen Bereich	Beeinflussung der cortico-thalamo-cortikalen Schleifen, die Grundlage für alpha und Schlafspindeln darstellen.		Relevanz der Wirkung nach der Exposition. Noch nicht publizierte Arbeit von Haarala et al. kann keinen Effekt auf rCBF nachweisen.
Huber et al. (2002)EXP 2	cross-over design	Zunahme von alpha-power in pm-Signal-Bedingung. Zunahme der Power der sleep-spindles nach pm-signal, nicht nach cw-Signal, keine Änderungen des REM-Schlaf-EEGs	Alpha-Zunahme nach pm-Signal im Wachzustand, athermischer Effekt, da die cw und die pm Exposition leistungsgleich waren. SAR 1 W/kg. Änderungen geringfügig und im physiologischen Bereich	athermischer Effekt		athermischer Effekt?, da nur das pm-Signal Effekt auslöst. Hinweis auf andauernde Wirkung nach der Exposition, Schlussfolgerungen für weitere Experimente
Arai et al. (2003)	vor und nach Exposition	Keine Änderungen der Hirnstammpotentiale und der middle latency responses	Die Erregungsleitung von Ohr zu Mittelhirn unbeeinflusst durch EMF, kein Einfluss auf auditorische Bahnen	kein Effekt		keine Dosimetrie, keine Angabe zu der Pulshaltigkeit
Haarala et al. (2003a)	Präsentation der Aufgaben counterbalanced, Wiederholung der Aufgaben an 2 Tagen, davon eine Sitzung mit EMF-Exposition, Multicenter-Studie!	Kein signifikanter Effekt für keinen Ttest nachweisbar, keine Änderungen der Genauigkeit, Fehler	kein Effekt auf Reaktionsparameter	besser kontrollierte Studie, Doppelblinddesign	gleiches Protokoll in Finnland und Schweden	Hohe Relevanz wegen Multi-Center Studie und exakter Versuchsdurchführung und Auswertung
Haarala, Aalto et al. (2003b)		bilaterale Änderung im auditorischen Kortex	keine			Effekt wird als Artefakt interpretiert durch akustische Begleitgeräusche bei EMF-on

Publikation	Exposition	Dosimetrie	Probanden	Dauer und zeitliche Abfolge der Messung	Parameter (abhängige Variablen, physiologisch, Verhalten)	Verblindung
Huber et al. (2003)	GSM: Pulsfrequenz 2, 8, 217 Hz; Nahfeld-Setup für ganzen Kopf in Exp. 1 bzw. in Exp. 2 unilaterale Exposition	1 W/kg (10g), in Exp. 1. Exakte Dosimetrie	Erweiterte Analyse früherer Untersuchungen	Wechsel von on und off alle 15 min über 8 Stunden	Schlaf-EEG, Wach-EEG, Körperposition, Herzschlagfrequenz (HSF)	
Jech et al. (2001)	GSM: 900 MHz Pulsfrequenz 217 Hz, Motorola d520 am rechten Ohr, max. Leistung 2 W	SAR 0,06W/kg (10g) (Effekt der EEG-Haube nicht beachtet)	22 Patienten mit Narkolepsie (m=48 Jahre)	Expositionsdauer 45 min während des Tests	Visuelles Oddball-Paradigma; P300; EEG, Reaktionszeit	doppelblind
TNO-Report (2003)	GSM: 900, Pulsfrequenz 217 Hz, GSM 1800, UMTS	Basisstation-Simulation, 1 V/m; Temperatur im Gehirn unter 0,1°C, 0,078 mW/kg	Männer und Frauen (18 - 75 Jahre), 2 Gruppen zu 36 Personen (55,7 bzw. 46,6 Jahre), Gruppe B mit Beschwerden	Testdauer 20 min, balanciert und randomisiert	Befindlichkeit wellbeing, und kognitive Leistung, Reaktionszeit, Dual-Task	doppelt blind
Bornhausen, Scheingraber (2000)	GSM 900 MHz, 217 Hz Pulsung	0,1 mW/cm ² ; 17,5 - 75 mW/kg SAR Ganzkörper	Pränatale Exposition von Ratten, über 20 Tage	8 Gruppen zu 10 Tieren	Verhaltensparameter in Skinner-Box	
Sienkiewicz et al. (2000)	GSM -Telefone-Simulation 900 MHz, 217 Hz Pulsung	0,05 W/kg Ganzkörper, 1 Stunde	Mäuse	exponierte und scheinexponierte Tiere	Labyrinth-Test	doppelt blind
Wang and Lai (2000)	2450 MHz, 2 µs Pulse, 500/s	Ganzkörper SAR 1,2 W/kg; über 1 Stunde vor dem Test	je 11 bzw. 1 x 12 Ratten	Exposition und Scheinexposition, cage-Kontrolle	Schwimmuster, Performance im Wasser-Labyrinth,	
Dubreuil et al. (2002)	GSM 900 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz	1 u. 3,5 W/kg	Kopfexposition von Ratten	45 min Exposition, Scheinexposition und Kontrolle	Labyrinth-Test	
Dubreuil et al. (2003)	GSM 900 MHz, Pulsfrequenz 217 Hz	1 u. 3,5 W/kg	Kopfexposition von Ratten	45 min Exposition, Scheinexposition und Kontrolle	komplexe Tests des räumlichen und nicht räumlichen Gedächtnisses	
Marino et al. (2003)	GSM: Nokia 5120, 824-849 MHz, Leistung 600 mW, aktives Telefon	"Kopfantenne", 60 Wechsel von 2 s Exposition und 5 s Unterbrechung	10 Kaninchen, individuell ausgewertet		nichtlineare EEG-Analyse, Bestimmung der Dimensionalität	
Yamaguchi et al. (2003)	gepulstes 1439 MHz Feld	7,5 W/kg und 25 W/kg (brain average)	168 Ratten	Kurzzeit (4 Tage) und Langzeitexposition (4 Wochen), jeweils für 1 Stunde bzw. 45 min vor dem Test	Verhalten im T-Labyrinth	

Publikation	Maßnahmen zur Artefaktunterdrückung	Effekt	akute Gesundheitsrelevanz	Wirkmechanismus	repliziert?	Effektgröße / Relevanz der Studie/ Bemerkungen
Huber et al. (2003)		Zunahme von power im Alpha-Bereich, keine topographischen Unterschiede, Verminderung der HSF im Wachzustand und Stadium1 Schlaf. HSF unverändert bei Exposition während des Schlafes.		Einfluss auf subkortikale Strukturen?		Beispielhafte Dosimetrie
Jech et al. (2001)	Wiederholung an 2 Tagen	keine Anzeichen erhöhter Schläfrigkeit, keine EEG-Änderungen nach Exposition. Während der Exposition verkürzte Reaktionszeit (20 ms); Positivierung (ca. 1µV) der N2 und P3(a?) Amplituden	Inhibition der exzessiven Schläfrigkeit bei Narkolepsie?	Erhöhung der zentralnervösen Aktivierung?		
TNO-Report (2003)		wellbeing sum score sign höher bei UMTS, Zunahme der RT bei 900 MHz in Gruppe A und 2100 MHz in Gruppe B, in B Verminderung der Rt in memory task, selektive attention, Verminderung in beiden Gruppen bei 2199 MHz, RT in dual task nur in B bei 1800 MHz	vorwiegend sign Effekte bei UMTS, bei kognitiven Tests, Wirkung von GSM 900 auf Reaktionszeit	Möglichkeit der Überlagerung verschiedener Effekte, Diskrepanzen zwischen den beiden Gruppen, die sich auch aus demografischer Sicht unterscheiden. Mechanismus unklar.		statistische Power beachtet! heterogene Altersgruppe, Basisstation, extrem schwaches Signal, Elektrosensible Personen, sehr geringe Abweichungen, carry-over effekts (vgl. Huber i.S. der Nachwirkung) Vermischung der Variablen
Bornhausen, Scheingraber (2000)	Untersuchung im Erwachsenenalter	keinerlei Leistungsunterschiede der pränatal exponierten Ratten	kein	Kein schädigender Einfluss auf fetale Entwicklung		
Sienkiewicz et al. (2000)		keine Verhaltensunterschiede zwischen exponierter und scheinexponierter Gruppe	kein	keine Folgen für Lernverhalten		keine Folgen für Lernverhalten bei Expositionsintensität wie bei Mobiltelefon
Wang and Lai (2000)	6 Trainingsitzungen	verlängerte Landezeit, ungenauere "räumliche Vorstellung"	kein	Möglichkeit, dass ein hörbarer Effekt bei Exposition die Änderungen hervorruft		
Dubreuil et al. (2002)	14 Tage Trainingssitzungen	keine Effekte der Exposition	kein			
Dubreuil et al. (2003)	12 Trainingstage	keine überdauernden sign. Effekte	kein			
Marino et al. (2003)		bei 9 von 10 Tieren Zunahme der Signalzufälligkeit nach 100 - 400 ms Exposition	kein	entgegengesetzte Wirkung zu einer visuellen Stimulation		Unspezifische Erhöhung der zentralnervösen Aktivierung? Unzureichende Dosimetrie,
Yamaguchi et al. (2003)		Kein Effekt auf die Leistungsparameter im T-Labyrinth bei einer Intensität, die die Körpertemperatur nicht verändert.	kein	2°C Temperatur Anstieg bei hoher Intensität mit Verschlechterung der Leistung		Kein Effekt ohne Wärmeeffekt