

Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Mobilfunk- Basisstationen unter häuslichen Bedingungen¹

Literaturstudie

N. Leitgeb

Graz, im Dezember 2005

¹ *Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Autors wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesministeriums für Umwelt-, Naturschutz und Reaktorsicherheit bzw. des BfS) übereinstimmen.*

Inhaltsverzeichnis

1	Aufgabenstellung	3
2	Schlafstudien	3
	2.1 Epidemiologische Studien	5
	2.2 Laborstudien	10
3	EEG- Studien im Wachzustand	13
	3.1 Spektrale Leistung	14
	3.2 Eventbezogene EEG- Veränderungen	18
4	Elektrosensibilität	20
5	Zusammenfassung	23
	Abkürzungsverzeichnis	26
	Literatur	28

1 Aufgabenstellung

Für die im Forschungsvorhaben zu klärende Fragestellung ist eine aktuelle Literaturrecherche zu den möglichen Einflüssen von Hochfrequenzfeldern des Mobilfunks auf die Gehirnaktivität (EEG), die Schlafqualität und das Wohlbefinden von Menschen und die möglichen ursächlichen Zusammenhänge, speziell in Hinblick auf Elektrosensibilität zu erstellen.

Hierbei sind experimentelle Studien, sowie epidemiologische Arbeiten im Umkreis von Sendemasten kritisch vor allem in Hinblick auf die Methoden zu bewerten.

2 Schlafstudien

Insbesondere von besorgten Bürgern wurde die Hypothese aufgestellt, dass die Schlafphase bezüglich Gesundheitsbeeinflussungen durch schwache elektromagnetische Felder besonders kritisch sei.

Der menschliche Schlaf ist charakterisiert durch verschiedene Schlafphasen, die während der Nacht meist in mehreren Wellen durchlaufen werden. Die Anzahl der Wellen und die Länge der einzelnen Schlafstadien sind dabei großen intra- und interpersonellen Schwankungen unterworfen. Die verschiedenen Schlafstadien vom Leicht- bis zum Tiefschlaf lassen sich anhand von 30s- Epochen polysomnographischer Aufzeichnungen von EEG, EOG und EMG klassifizieren. Nach den Einstufungskriterien von Rechtschaffen und Kales unterscheidet man folgende Stadien:

Tabelle 1: Schlafstadien und ihre Kennzeichen

Stadium	Charakteristik	EEG	EOG	EMG
Wach		α -Aktivität dominiert	Lidschläge, rasche Augenbewegungen	hoher Muskeltonus
(NREM) 1	Übergangsstadium zwischen Wachen und Schlaf, auch innerhalb der Schlafzyklen	geringe Amplituden, θ -Aktivität, Vertex-Zacken	verlangsamte Augenbewegungen	normaler Muskeltonus
(NREM) 2	stabiler Leichtschlaf	geringe Ampl., θ -Aktivität, EEG-Spindeln	kaum Augenbewegungen	mäßiger Muskeltonus
(NREM) 3	mitteltiefer Schlaf	Gruppen hoher δ -Wellen	kaum Augenbewegungen	geringer Muskeltonus
(NREM) 4	Tiefschlaf, vor allem in erstem Schlafzyklus	Gruppen hoher δ -Wellen	kaum Augenbewegungen	geringer Muskeltonus
REM	Traumphase	geringe Ampl, θ -Aktivität, Sägezähne	rasche Augenbewegungen	niedriger bis mittlerer Muskeltonus

Da sich die Schlafstadien NREM 3 und NREM 4 wenig unterscheiden, werden sie häufig (und auch im Rahmen der Schlafstudie EPROS) zu einem Schlafstadium, dem Stadium 3 (Langwellenschlaf) zusammengefasst.

Die potentiellen Einflüsse hochfrequenter elektromagnetischer Wellen wurden in einer Reihe von epidemiologischen Studien und experimentellen Studien im Schlaflabor untersucht. Eine wesentliche wissenschaftliche Schwachstelle der meisten Studien ist es jedoch, dass die Überprüfungen auf statistische Signifikanz der Ergebnisse unzureichend ist. Unter statistischer Signifikanz versteht man dabei die Prüfung, bis zu welchem (niedrigen) Prozentsatz ein Ergebnis auch durch Zufall erklärbar wäre. Das übliche Signifikanzniveau von 0,05 bedeutet dabei, dass ein

Ergebnis zu 95% nicht zufällig zustande gekommen ist, aber dass eine Restwahrscheinlichkeit von 5% besteht, dass doch der Zufall dafür verantwortlich sein könnte. So wie die Chance auf einen Zufallstreffer im Lotto mit der Anzahl der Lose steigt, so steigt auch die Wahrscheinlichkeit einer zufälligen Signifikanz, wenn in einer Studie statt einem Untersuchungsparameter mehrere Kenngrößen untersucht werden. Um dies zu berücksichtigen, würde es den Regeln der Statistik entsprechen, das Einparameter- Signifikanzniveau 0,05 z.B. durch die Anzahl der untersuchten Parameter zu dividieren und somit die Signifikanz- „Latte“ höher zu legen (Bonferoni-Korrektur). Da dies die in den bisherigen Untersuchungen nicht gemacht wurde, sind die Signifikanz- Angaben nicht ausreichend belastbar.

2.1 Epidemiologische Studien

In epidemiologischen Studien wurde die mögliche Gleichzeitigkeit des Auftretens von Schlafstörungen und elektromagnetischen Feldern untersucht. Sie stellen zwar wertvolle wissenschaftliche Instrumentarien dar, sind jedoch vom Ansatz her meist nicht geeignet, einen ursächlichen Zusammenhang festzustellen. Ihre Aussagekraft hängt darüber hinaus von einer Reihe von kritischen Randbedingungen ab. Wenn bei epidemiologischen Studien zwei Bevölkerungsgruppen, die exponierte und die nicht exponierte, verglichen werden, ist sicher zu stellen, dass sich diese Gruppen in keinen anderen relevanten Aspekten von einander unterscheiden. Wenn die Reaktion der selben Gruppe auf eine Exposition untersucht werden soll, ist es entscheidend, dass den Mitgliedern die Expositionsverhältnisse nicht bekannt werden. Darüber hinaus ist auch die Genauigkeit der quantitativen Abschätzung der Exposition ein wesentliches Kriterium.

Schwarzenburg- Kurzwellen- Studie

Altpeter et al. (1995) untersuchten 404 Bewohner in drei verschiedenen Zonen im Umkreis des schweizer Kurzwellensenders Schwarzenburg, nämlich

- Zone A: 400 - 900m mit durchschnittlich 2,5mA/m und lokalen Spitzen bis 50mA/m
- Zone B: 900 – 1.500m mit durchschnittlich 0,8mA/m und lokalen Spitzen bis 8mA/m
- Zone C: 1.500 – 4.000m mit durchschnittlich 0,1mA/m

Unter anderem wurden die Bewohner mittels Fragebogen über ihr Schlafverhalten befragt, und zwar:

- in einer Querschnittsbefragung 404 Bewohner bezüglich der Schlafqualität
- in Längsschnittstudien wurden Tagebuchaufzeichnungen geführt
 - von 187 Personen während 30 Tagen Tagebuchaufzeichnungen bei wechselnden Senderrichtungen;
 - von 60 Personen während 10 Tagen, wobei der Sender vom 3. bis zum 6. Tag abgeschaltet war.

Die Querschnittsstudie ergab, dass der Prozentsatz der Personen mit Schlafstörungen in der Zone A mit 23% am höchsten war, in der Zone B 18% betrug und in Zone C auf 7% verringert war.

Bei wechselnden Senderrichtungen stieg der Anteil der Personen mit Schlafstörungen bei Erhöhung der durchschnittlichen Immission von 1mA/m auf 8 mA/m um 13% Zunahme. Bei Abstellen des Senders ergab sich mit Verzögerung von einem Tag eine Verbesserung der in den Tagebüchern verzeichneten Schlafqualität.

Auch wenn die Ergebnisse statistisch signifikant waren, ist ihre Aussagekraft eingeschränkt, weil es die Umstände nicht zuließen, Einfachblind- Verhältnisse zu erreichen. Einerseits, weil bereits durch Kontrolle des Radioempfanges auf die Aktivität des Senders geschlossen werden konnte, andererseits, weil in Zone A der Betrieb des Senders durch Sekundäreffekte bemerkt werden konnte und schließlich, weil in einer emotional sehr aufgeheizten Situation die gegenseitige Information über den Senderzustand nicht ausgeschlossen werden konnte. Ein Indiz dafür ist die eintägige Verzögerung der Aufzeichnungen über die verbesserte Schlafqualität, die durch den zwischenzeitlichen Informationsfluss erklärt werden könnte.

Mobilfunk- Studien

a) **Santini et al.** (2002) untersuchten mit Hilfe eines Fragebogens unter anderem auch Schlafstörungen im Umkreis von Mobilfunk- Basisstationen und werteten 570 zurückgesandte Fragebögen (270 Männer, 260 Frauen) hinsichtlich 16 vorgegebener unspezifischer Gesundheitsbeschwerden aus, darunter auch „Schlafstörungen“. Die Häufigkeit war in vier vorgegebenen Kategorien (nie, manchmal, oft, sehr oft) anzugeben. Die Entfernung zur Basisstation war von den

Personen selbst zu schätzen und einer der vorgegebenen Kategorien (<10m, 10-50m, 50-100m, 100-200m, 200-300m und >300m) zuzuordnen. Es wird berichtet, dass der Prozentsatz der Schlafgestörten bis zu einer Entfernung von 200m signifikant erhöht war.

Die Studie leidet unter erheblichen Methodischen Schwächen und erfüllt in wesentlichen Punkten die Mindestkriterien für eine wissenschaftliche Arbeit nicht. Es fehlen wichtige Angaben. So wird z. B. nicht angegeben, wie viele Fragebögen insgesamt ausgesendet wurden, aufgrund welcher Kriterien die Adressaten ausgewählt wurden und wie groß die Antwortraten in Abhängigkeit von den Entfernungszonen waren. Wie zwischenzeitliche Untersuchungen ergeben habe, sind die Entfernungsschätzungen von Betroffenen extrem ungenau und hängen auch vom Umstand ab, ob eine direkte Sichtverbindung besteht. Da bereits die Entfernungsschätzungen als äußerst ungenau einzustufen sind und überdies nach übereinstimmender Meinung von Experten die Entfernung als Surrogat für die Immissionsverhältnisse ungeeignet ist, lassen sich aus der Studie keine belastbaren Schlüsse ziehen. Es ist vielmehr zu vermuten, dass ein Response-Bias wesentlich zu den unkritisch getroffenen Schlussfolgerungen beigetragen hat.

- b) **Navarro et al.** (2002, nicht peer-reviewed) führten eine Befragung mit einem leicht modifizierten Santini- Fragebogen in dem spanischen Ort La Nora mit ca. 1.900 Einwohnern durch. Es wurden 144 Fragebögen retourniert. An 97 Adressen wurde daraufhin im Frequenzbereich 400MHz - 3GHz die Maximal-Immission im Schlafbereich gemessen. Die Auswertung von 94 Fragebögen bezüglich der durchschnittlichen Präsenz von 16 unspezifischen Symptomen mit subjektiv zugeordnetem Häufigkeitsgrad (nie, manchmal, oft, sehr oft) nach Zuordnung in 3 Expositionsklassen (<0,5V/m, 0,5-1V/m, 1-1,5V/m, 1,5-2V/m) ergab bei einigen Symptomen, insbesondere bei Appetitlosigkeit, ein Anstieg mit zunehmender Exposition. Bei Schlafstörungen zeigte sich dies jedoch nicht.

Auch wenn die Studie statt auf dem ungeeigneten Surrogat Entfernung bereits auf Messergebnissen beruht, weist sie erhebliche Defizite auf. So erfassen die „Breitbandmessungen“ nicht den Rundfunkbereich um 100MHz, der oft den

Hauptanteil zur Immission beiträgt. In einer späteren Publikation wird sogar darauf verwiesen, dass nach Angaben in den Fragebögen ca. 40% der Befragten näher als 4km von Rundfunk- und Fernsehsendern zu leben. Es werden weder die Strategie zur Auswahl der Adressaten noch die Antwortrate angegeben. In später gegebenen Erläuterungen wurde erklärt, dass die Fragebögen lediglich an öffentlich zugänglichen Stellen wie Frisöre oder Apotheken zur freien Mitnahme ausgelegt worden waren. Dies erklärt das Unvermögen, eine Responserate oder auch nur die Anzahl der angenommenen Fragebögen anzugeben. Darüber hinaus wurden ein Drittel der eingelangten Fragebögen nicht in die Auswertung einbezogen. Schließlich fehlen die Angaben über die Belegung der einzelnen Expositionsgruppen. Angesichts dieser gravierenden methodischen Unzulänglichkeiten muss mit einem erheblichen Selektions- und Response- Bias gerechnet werden.

- c) **Oberfeld et al.** (2002, nicht peer-reviewed) berichten über eine neuerliche Auswertung der Daten der Navarro- Studie, wobei jedoch zusätzlich, an 6 Standorten Frequenzselektive Messungen durchgeführt worden sind, aus denen geschlossen wurde, dass für alle Probanden der Hauptanteil der Exposition durch Mobilfunk verursacht worden sei. Im Vergleich zur am niedrigsten exponierten Gruppe wurden für die 16 erhobenen Beschwerden Risikofaktoren und Konfidenzintervalle berechnet. Auf diese Weise wurden nun für 13 der 16 Symptome signifikant erhöhte Risiken gefunden. Mit 39fachem Risiko lagen „depressive Tendenzen“ an der Spitze. Auch für Schlafstörungen wurde ein 10,39faches Risiko angegeben.

Die neuerliche Auswertung macht die gravierenden Mängel bei der Datenerhebung nicht besser, sondern fügt sogar weitere hinzu. Nach wie vor wird die Belegung der Expositionsgruppen nicht angegeben, extrem hohe Konfidenzintervalle (z.B. 4,02 - 386,4) weisen jedoch auf äußerst geringe Fallzahlen hin. Die frequenzspezifische Messung 3 bis 4 Jahre nach der Datenerhebung, an nur 6% der Standorte und überdies ohne Angabe des Auswahlkriteriums lassen weder eine belastbare Extrapolation auf die Grundgesamtheit noch auf die seinerzeitigen Immissionsverhältnisse zu.

d) **Hutter et al.** (2002, nicht peer-reviewed) führten an 365 Personen in 200m Umkreis von 10 Mobilfunk- Basisstationen (5 in ländlicher Umgebung und 5 in Wien) mit einem standardisierten Fragebogen Interviews durch. In 336 Wohnungen konnten die Hochfrequenz- Immissionen durch Breitbandmessungen am Schlafplatz und in ca. 180 Fällen auch an der Stelle maximaler Immission durchgeführt werden. Die Auswahl der Personen erfolgte in 185 Fällen randomisiert über das Telefonverzeichnis, in 180 Fällen (Zitat:) „zufällig durch den Augenschein vor Ort“. Die Untersuchung der Schlafqualität erfolgte mit Hilfe der Pittsburg Schlaf Skala als einer von mehreren Studienparameter. Unter anderem wurden die Schlafdauer, Einschlafprobleme, Durchschlafvermögen und Erholungswert abgefragt. Die Personen wurden drei Immissionsklassen ($50\mu\text{W}/\text{m}^2$, $50\text{-}100\mu\text{W}/\text{m}^2$, $>100\mu\text{W}/\text{m}^2$) zugeordnet, die Klassenbelegungen wurden jedoch nicht angegeben. Als zusätzlicher Kofaktor wurde unter anderem die Besorgnis über die Basisstation abgefragt. Es zeigte sich, dass sich bei den Personen ohne erhöhte Besorgnis kein Zusammenhang des Schlafqualitätsscores mit der gemessenen Immission ergab, bei Besorgten hingegen ergab sich ein insgesamt schlechterer und in der höchsten Immissionsklasse statistisch signifikant schlechterer Schlafqualitätsscore.

Die Studie weist den Vorteil auf, dass in den meisten Fällen die Immission am Schlafplatz gemessen und der Schlafstatus mit einem standardisierten und validierten Fragebogen ermittelt wurde. Nachteilig ist, dass wichtige Angaben fehlen, z. B. wie mit den Ergebnissen der 29 Personen umgegangen wurde, bei denen keine Messungen durchführbar waren, wie groß die Belegung in den einzelnen Immissionsklassen war und wie groß der Anteil des Mobilfunks im Vergleich zu anderen Sendern, insbesondere Rundfunk- und Fernsehsendern, war.

e) **Al-Khlaiwi et al.** (2004) befragten 437 Personen, vorwiegend im Alter von 18 bis 42 Jahren mit einem Fragebogen nach der Dauer der täglichen Telefonate (5-10min, 10-30min, 30-60min, 60-120min, >120min), der Gesamtdauer der Handynutzung (<1y, 1-5y, 5-10y) und unspezifischer Gesundheitssymptome, unter anderem nach Schlafstörungen. Der mittlere Prozentsatz der

Schlafgestörten wird mit 4% angegeben. Die Autoren schließen, dass die Verwendung von Mobiltelefonen ein Gesundheitsrisiko darstellt.

Die Studie weist extreme wissenschaftliche Defizite auf. So wird weder das Auswahlkriterium für die Probanden noch die Antwortquote oder Hinweise auf die Fragestellungen angegeben, auch fehlt jegliche Dosimetrie oder statistische Auswertung. Die Ergebnisse werden unvollständig dargestellt und die Schlüsse auf nicht nachvollziehbare Weise gezogen

2.2 Laborstudien

Experimentell wurden potentielle Änderungen des Schlafverhaltens durch elektromagnetische Hochfrequenzfelder bisher erst in wenigen Schlaflabors in Kliniken untersucht. Die Vielfalt der klinischen Möglichkeiten, den Schlaf durch kontinuierliche Aufnahme von Biosignalen und ggf. auch durch Videoaufzeichnungen genau zu erfassen, muss jedoch durch eine Reihe von methodischen Nachteilen erkauft werden, nämlich:

- die Probanden müssen in einer für sie ungewohnten Umgebung schlafen;
- die Anzahl der untersuchbaren Nächte ist gering; Untersuchungen müssen daher oft ohne vorlaufende Eingewöhnungsnächte durchgeführt werden;
- die Expositionsbedingungen müssen durch Labor- Sendeanlagen realisiert werden und können die reale Situation vor Ort nicht ausreichend nachbilden, weder in Hinblick auf die Expositionsstärke, den Frequenzgehalt und die Signalstruktur noch in Bezug auf die räumliche Feldverteilung.

Mann und Röschke (1996) exponierten 14 Männer nach einer Adaptationsnacht gegenüber einem eingeschalteten GSM- Handy mit einer Sendeleistung von 8W während zweier Nächte wobei das Handy randomisiert ein- bzw. ausgeschaltet war. Da 2 Probanden aus technischen Gründen ausgeschlossen werden mussten, reduzierte sich die Auswertung auf die verbleibenden 12 Personen. Unter Exposition ergab sich eine signifikant ($p < 0,05$) reduzierte Einschlafzeit und eine reduzierte Dauer des REM- Schlafes. bei den anderen Schlafparametern (Schlaffeffizienz, Wachzeiten, Stadium 1, Stadium 2, Stadium 3) zeigte sich keine Veränderung.

Die Exposition wurde nicht gemessen, sondern aus der Antennenleistung und dem Abstand von 40cm zum Kopf des Probanden wurde die herrschende Intensität zu $50\mu\text{W}/\text{cm}^2$ lediglich rechnerisch abgeschätzt. Da die statistische Analyse ohne Bonferoni- Korrektur vorgenommen wurde, ist die Signifikanz der Ergebnisse in Frage zu stellen.

Wagner et al. (1998) führten eine weitere Untersuchung an 24 gesunden Probanden durch, in der wieder die Schlafparameter je einer Nacht mit bzw. ohne Exposition verglichen wurden. In diesem Fall erfolgte die Exposition großflächiger mit Hilfe einer zirkular polarisierten Antenne und einem simulierten GSM- Signal. Die Intensität wurde gemessen und betrug $20\mu\text{W}/\text{cm}^2$. Die Messungen an zwei Probanden wurden von der Auswertung wegen zu geringer Schlaffeffizienz ausgeschlossen. Die statistische Auswertung Ergebnisse brachte keine signifikanten Ergebnisse.

Die Autoren sprechen zwar von (statistisch nicht signifikanten) Tendenzen bezüglich verringerter Einschlafzeit und REM- Dauer sowie verlängerter REM- Latenz, kommentieren jedoch nicht ähnlich große Unterschiede bezüglich anderer Kenngrößen wie z. B. Stadium 2 und Wachzeiten. Angesichts des Umstandes, dass nicht einmal eine Bonferoni- Korrektur für multiparametrische Analyse vorgenommen wurde, ist die Diskussion über „Trends“ in Hinblick auf eine belastbare Aussage irrelevant.

Wagner et al. (2000) untersuchten mit dem gleichen Studiendesign, jedoch höherer Exposition gegenüber $5000\mu\text{W}/\text{cm}^2$ weitere 20 Probanden und fanden keine Auswirkungen, weder auf konventionelle Schlafparameter, noch auf die Leistungsspektren des Schlaf- EEGs.

Borbély et al. (1999) exponierten 24 Männern während der ganzen Nacht gegenüber intermittierenden GSM- ähnlichen Feldern (15min ein/aus), die durch eine $3\lambda/2$ -Antenne erzeugt wurde. Sie fanden keine Auswirkungen auf den REM- Schlaf, fanden jedoch, dass die Wachzeiten signifikant ($p < 0,02$) verkürzt und die Leistung in den EEG- Spektralbändern α und β kurz nach dem Einschlafen erhöht waren. Kein Einfluss wurde auf die klassischen Schlafparameter wie Einschlafzeit und die

Schlafstadien gefunden. Ebenso wurde keine Modulation des EEG im on/off-Rhythmus festgestellt.

Huber et al. (2000) untersuchten 16 Personen nach einer 30min- Handy- Exposition vor einem 3-stündigen Vormittagsschlaf (verum rechts, verum links, sham) ohne Exposition während der Schlafphase. Die lokale SAR betrug ca. 1W/kg. Sie fanden, dass die Leistung in den EEG- Spektralbändern α und β kurz nach dem Einschlafen erhöht waren. Es wurde kein Einfluss auf die üblichen Schlafparameter (Latenzzeiten, Schlafstadien) und die subjektive Schlafbewertung gefunden.

Huber et al. (2002) fanden in einer weiteren Studie an 16 Probanden nach einer 30min- Handy-Exposition (GSM-, Sinussignale und sham) keinen Einfluss auf die üblichen Schlafparameter (Latenzzeiten, Schlafstadien, Wachdauer, Bewegungshäufigkeit) und berichten dass die Leistung in den EEG- Spektralbändern α (vor dem Einschlafen) und β (am meisten in der 4. und 5. NRFREM- Phase) erhöht waren. Darüber hinaus fanden sie mit Hilfe von PET Untersuchungen 10 min nach 30-minütiger unilateraler Exposition (während des Wachzustandes) gegenüber GSM-ähnlichen Signalen eine Asymmetrie mit ipsilateraler signifikanter Erhöhung des zerebralen Blutflusses im dorsolateralen prefrontalen Cortex.

Fritzer et al. (2000) untersuchten an 10 Männern den Einfluss einer Exposition durch ein GSM Telefon auf den Schlaf. Sie fanden weder nach einer noch nach 6 Nächten signifikante Veränderungen gegenüber der Kontrollnacht. Bei den 10 männlichen Kontrollpersonen war jedoch nach 6 Nächten ohne Exposition das α -Band während der REM- Phase gegenüber der Kontrollnacht signifikant erhöht.

Lebedeva et al. (2001) exponierten 20 Personen je 2 Nächte lang (sham, verum) gegenüber einem GSM- Telefon. Sie berichten über eine erhöhte Dauer des Schlafstadiums 2, was typisch für den Schlaf älterer Personen sei und über einen statistisch signifikanten Anstieg ($p < 0,05$) der Leistung im α -Band des EEGs, allerdings nur in der P_z - und nicht in der C_z - Ableitung.

Cew et al. (2003, nicht peer-reviewed) erhoben mit Fragebögen die Schlafqualität von 144 Probanden. Als Maß wurde der subjektive Pittsburgh Sleep Quality Index verwendet. Sie fanden keinen Zusammenhang mit der täglichen Benützungsdauer der Mobiltelefone. Die Schlafqualität war jedoch korreliert mit der Anzahl unspezifischer somatischer Beschwerden. Ein wesentlicher Nachteil der Studie ist die geringe Dynamik der Ergebnisse der subjektiven Schlafbewertungen.

Loughran et al. (2005, nicht peer-reviewed) untersuchten an 50 Probanden je eine Nacht, wobei 30 min lang vor Schlafbeginn eine Exposition gegenüber einem ein/bzw. ausgeschalteten GSM- Handy nahe der rechten Hirnhemisphäre vorgenommen wurde. Es wurden EEG, EKG, EOG und EMG sowie pO₂ und Atemtätigkeit gemessen. Im Vergleich der beiden Expositionsbedingungen ergab sich ein signifikanter Unterschied bezüglich der REM- Latenz ($p < 0,05$), wobei jedoch nicht angegeben wurde, ob sich die Latenzzeit verkürzt oder verlängert hat. Bei den anderen Schlafparametern konnte kein Unterschied festgestellt werden.

Da keine Bonferoni- Korrektur vorgenommen wurde, ist die Signifikanz des Ergebnisses in Frage zu stellen.

3 EEG- Studien im Wachzustand

Das elektrische Signal, das durch die Aktivität der Gehirnzellen erzeugt wird (EEG), lässt sich durch Elektroden am Schädel messtechnisch erfassen. Im Unterschied zum rhythmischen Signal der Herzaktivität (EKG) verändert sich jedoch das EEG ständig und in nicht vorhersehbarer Form, z. B. durch Aufmerksamkeitsschwankungen und wahrgenommene Reize aus der Umwelt. Um es dennoch diagnostisch auswerten zu können, gibt es unterschiedliche Ansätze: Die visuelle Befundung von auffallenden Unregelmäßigkeiten, die Untersuchung der Frequenzverteilung (die nicht so starken Schwankungen unterliegt) und die Untersuchung kurzer EEG- Zeitabschnitte, die auf ein Ereignis, z.B. einen Lichtblitz oder einen taktilen Reiz folgen. Diese Ereignis- bezogenen Antworten (ERP: event-related potentials) können auch wiederholt provoziert und zur Verringerung des Signalrauschens auch gemittelt werden. Untersuchungen potentieller Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Wellen auf das EEG können grob in zwei Typen

von Studien unterteilt werden: Einerseits solche, die ereignisbezogene Hirnpotentiale und andererseits solche, die das spontane EEG durch Analyse der spektralen Leistungsverteilung untersuchen. Hierbei wird zwischen den Frequenzbändern Alpha (8-13Hz), Beta (13-32Hz), Delta (1-4Hz) und Theta (4-8Hz) unterschieden, wobei in manchen Arbeiten zusätzlich ein Alpha1 (8-9,5Hz) und Alpha2 (9,75-13Hz) Band sowie einem Beta1 (12,75-18,5Hz) und Beta2 (18,75-35Hz) Band unterschieden wird.

3.1 Spektrale Leistungsverteilung

Klitzing (1992) berichtet über Veränderungen der α -Leistung des EEGs aufgrund von Untersuchungen in 5 fest vorgegebenen Intervallen von je 15min Dauer bei Exposition gegenüber mit 217Hz gepulsten 150MHz- Feldern im jeweils 2. und 4. Intervall, jedoch ohne Angaben über die statistische Signifikanz.

Meckelburg et al. (1995) versuchten, diese Ergebnisse in einer nachfolgenden Studie unter Mitwirkung von Klitzings zu replizieren, konnten sie jedoch nicht bestätigen. Bei der Auswertung der EEGs ergaben sich Hinweise, dass die berichteten Veränderungen der α -Leistung auf Vigilanzänderungen während der langen Versuchsdauer zurückzuführen sein dürften.

Klitzing (1995) exponierte 17 Probanden gegenüber einer Strahlung von 150MHz, die mit 217Hz gepulst war, mehrmals innerhalb von 15 Minuten. Nach der ersten Exposition kam es zu einer deutlich erhöhten Amplitude im Alpha-Band, was jedoch in der Arbeit nicht statistisch belegt wurde.

Reiser et al. (1995) untersuchten 36 Probanden unter drei Versuchsbedingungen, nämlich Scheinexposition, Exposition durch das Feld eines „Mega Wave“ Therapiegerätes und Exposition durch ein D-Netz Mobiltelefon. Die Exposition dauerte jeweils 15 min, und das EEG wurde jeweils 15 min vor und 30 min nach Exposition aufgezeichnet. Untersucht wurden die Leistungsspektren Alpha1, Alpha2, Beta1, Beta2, Delta und Theta. Die Ergebnisse zeigten eine Erhöhung des

Leistungsspektrum für das Alpha1-, Beta1- und Beta2- Band während und nach der Exposition mit dem Therapiegerät. Auch die Exposition mit dem Mobiltelefon zeigte eine Erhöhung des Leistungsspektrums im Beta1 und Delta Band, jedoch erst 15min danach.

Heinze und Hinrichs (1996) untersuchten das Spontan-EEG und SEPs an 16 bzw. 12 Probanden bei Sham und Exposition gegenüber 217Hz-gepulsten 1,8GHz-Feldern eines Handys und einer simulierten Basisstation in 4 randomisiert aufeinander folgenden jeweils 4min dauernden Untersuchungsbedingungen. Bei den untersuchten EEG- Parametern konnte unter keinen Bedingungen eine statistisch signifikante Änderung festgestellt werden.

Gehlen et al. (1996) untersuchten insgesamt 52 Probanden, wobei 27 Probanden als Kontrollpersonen ohne Exposition dienten. An 25 Probanden wurde 30 Minuten lang das EEG aufgezeichnet, wobei sie in den mittleren 10 Minuten dem Feld eines Mobilelefons ausgesetzt waren. Die Auswertung zeigte weder im Gesamtspektrum, noch in den Einzelspektren einen Effekt der Exposition. Zusätzlich wurden die Probanden bezüglich ihrer kognitiven Leistungsfähigkeit untersucht. Auch in diesen Tests ergaben sich keine statistisch signifikanten Unterscheide zu den Expositionsbedingungen.

Röschke und Mann (1997) untersuchten das Wach-EEG an 34 gesunden Männern bei geschlossenen Augen. Hierzu wurden 2 10-minütige EEG-Registrierungen mit einer dazwischen liegenden Pause von 30 Minuten durchgeführt. Die Exposition erfolgte mit einem GSM Telefon. Ausgewertet wurde das gesamte EEG-Frequenzspektrum und die Spektren in den einzelnen Frequenzbänder. Bei keinem der untersuchten Parametern zeigte sich ein signifikanter Einfluss durch die Exposition.

Lebedeva et al. (2000) untersuchten an 24 Freiwilligen das EEG in zwei Experimenten, nämlich mit GSM Exposition und Scheinexposition von jeweils 15min Dauer unter dem Bedingungen „Augen offen“ und „Augen zu“. Mittels nichtlinearer Analyse eine sog. Multikanal-Korrelationsdimension errechnet. Es ergab sich ein signifikanter Einfluss der Exposition, der bei geschlossenen Augen stärker war.

Hietanen et al. (2000) untersuchten an 19 Probanden mögliche Auswirkungen von unterschiedlichen Mobiltelefonen (analog und digital) im Wachzustand und unter der Bedingung „Augen geschlossen“. Jeder Proband absolvierte 6 Experimente (5 unter Exposition und 1mal unter Scheinbedingung) mit einer Expositionszeit von 20min. Nur bei einem der 5 Telefonmodelle zeigte die statistische Analyse ein signifikantes Ergebnis im Leistungsspektrum des Delta Bandes, welches jedoch als statistischer Zufall und nicht als signifikanter Effekt der Gehirnaktivität angesehen wurde.

Croft et al. (2002) exponierten 24 Personen gegenüber einem Mobiltelefon in 3 Durchläufen unter verschiedenen Expositionsbedingungen. Die Untersuchungen zeigten bei Exposition eine signifikante Erniedrigung der Amplitude im Delta Band und eine signifikante Erhöhung der Amplitude im Alpha Band. Zusätzlich wurde ein Test zur Bestimmung von Genauigkeit und Reaktionszeit durchgeführt, wobei jedoch kein Einfluss der Exposition gefunden wurde.

Huber et al. (2002) fanden bei einer Exposition durch Mobilfunkwellen ohne Pulsmodulation keinen Einfluss auf die Spektralleistung von Schlaf- und Wach-EEG. Die Exposition mit Pulsmodulation führte jedoch zu einer Zunahme der Spektralleistung im Alpha Band.

In einer weiteren Untersuchung dieser Gruppe, **Huber et al** (2003) wurden 16 Probanden 30 Minuten lang durch Dipolantennen in 11cm Entfernung zum Kopf exponiert, worauf ein 3-stündiger Vormittagsschlaf folgte. Während der Expositionsphase wurde das Wach EEG kontinuierlich aufgezeichnet. Die Spektralanalyse ergab eine Reduktion der Spektralleistung in den Frequenzbändern 10,5-11Hz und 18,75-19,5Hz.

Kramerenko et al. (2003) untersuchten das EEG an 10 jungen Männern und 10 Kindern im Alter von 12 Jahren vor und während eines Mobiltelefongesprächs. Bereits 10-15 Sekunden nach Gesprächsbeginn kam es zu einem Anstieg der Spektralleistung in Arealen nahe dem Mobiltelefon. Dieser Effekt trat bei den untersuchten Kindern noch deutlicher auf, mit höheren Amplituden und längerer

Dauer. Festzuhalten ist, dass dieser Arbeit keine statistische Auswertung zu Grunde liegt.

D'Costa et al. (2003) führten zwei Experimente mit unterschiedlichen Mobiltelefonen durch. Insgesamt waren 10 Personen je 5x 5min lang einer Exposition bzw. einer Scheinexposition ausgesetzt. Die Ergebnisse zeigten statistisch signifikante Unterschiede im Alpha und Beta Band.

Papageorgiou et al. (2004) untersuchten an 10 Frauen und 9 Männern einen möglichen geschlechtsspezifischen Unterschied einer Exposition durch ein Mobiltelefon. Es ergab sich ein statistisch signifikanter geschlechtsspezifischer Unterschied der Gehirnaktivität im Sinne einer Abnahme der spektralen EEG-Leistung bei Männern, bei Frauen ergab sich jedoch eine Zunahme.

Hinrikus et al. (2004) exponierten 20 Personen gegenüber elektromagnetischen Feldern einer Antenne, die in 10cm Abstand am Kopf angebracht wurde, bei einer Frequenz von 450MHz und einer Pulsfrequenz von 7Hz. Die Exposition dauerte jeweils eine Minute und wurde 10mal wiederholt. Es ergaben sich insgesamt keine statistisch signifikanten Änderungen jedoch Tendenzen an Einzelperson. In Einzelfällen kam es zu Rhythmusstörungen im Alpha und/oder Theta-Band, wobei aber die Art der Störung und Lateralität unterschiedlich waren.

3.2 Eventbezogene EEG-Veränderungen

Freude et al. (1998) untersuchten in zwei unterschiedlichen Experimenten 16 gesunde Probanden zwischen 21 und 26 Jahren auf einen möglichen Einfluss von Mobiltelefonen (916.2MHz, gepulst 217 Hz, 577µs, 2.8W max. Leistung, 350mW mittlere Leistung) auf die Gehirnaktivität. Als erstes wurde das Auslösen eines Bereitschaftspotentials durch wiederholtes Drücken einer Maustaste untersucht und anschließend wurden visuelle Tests durchgeführt. Beide Experimente wurden in einer Untersuchungsreihe mit und ohne GSM Exposition durchgeführt. Das EEG (30 Elektroden, 10-20 System) und EOG wurden kontinuierlich aufgezeichnet. Die Exposition dauerte im ersten Experiment ca. 3min im zweiten ungefähr 5min. Die Ergebnisse zeigten keinen Hinweis einer Beeinflussung des geistigen Leistungsvermögens, jedoch zeigten sich während der visuellen Tests signifikante Erniedrigungen der Gehirnpotentiale im zentralen und temporalen Bereich.

Eulitz et al (1998) zeichneten das EEG und EOG von 13 gesunden Männern (21-27 Jahre) während eines auditiven Diskriminierungstests mit und ohne GSM Exposition (Expositionsdaten siehe Freude 1998) auf. Im EEG ergab sich kein Einfluss der Mobilfunk- Exposition auf die Antworten auf die vorgegebenen Stimuli. Eine Mittelung über die Leistungsspektren ergab jedoch einen Modulationseffekt im Frequenzband 18.75 bis 31.25 Hz hauptsächlich an der direkt exponierten Hemisphäre und während der relevanten Stimuli.

Hladky et al. (1999) untersuchten visuell evozierte Potentiale bei Benützung eines GSM Telefones. Zum einen wurde ein Mobiltelefon (GSM 900MHz, 217Hz, 577µs, Leistung 0.2W bis 2W) während eines Gesprächs direkt ans Ohr gehalten, und zum anderen wurden Gedächtnis- und Aufmerksamkeitstests während des Gesprächs durchgeführt. In beiden Experimenten zeigte sich kein Einfluss der EMF Exposition auf die visuell evozierten Potentiale. Es zeigte sich lediglich dass das Telefonieren selbst und nicht die emittierten EMF die Testergebnisse stark beeinflussen.

Freude et al. (2000) führten Ihre Untersuchungen mit der Expositionseinrichtung von 1998 in zwei weiteren Experimenten fort. Hierzu wurden an einer Gruppe von 20

gesunden Männern (21 bis 30 Jahre) zusätzlich zu visuellen Tests zwei weitere Tests, eine einfache Fingerbewegung und ein Reaktionstest, jeweils mit und ohne EMF Exposition durchgeführt. Die Ergebnisse zeigten keinen Einfluss der Exposition auf die Testergebnisse aller durchgeführten Untersuchungen. Die Ergebnisse aus der Untersuchung im Jahre 1998, die eine signifikante Erniedrigungen der Gehirnpotentiale aufgrund der EMF Exposition zeigten, konnten während des visuellen Test reproduziert werden, nicht jedoch während der zusätzlich durchgeführten Untersuchungen.

Krause et al. (2000) untersuchten EEG- Veränderungen während auditiver und visueller Aufgabenstellungen bei Exposition gegenüber Mobilfunk- Handys. Sie fanden keine Veränderungen im Ruhe- EEG, jedoch während der kognitiven Aufgaben.

In der Replikationsstudie, **Krause et al.** (2004), konnten sie diese Ergebnisse jedoch nicht bestätigen.

Jech et al. (2001) untersuchten an 22 Patienten mit Narkolepsie (9 Männer, 13 Frauen) mögliche Auswirkungen von GSM Expositionen (GSM 900MHz, 217Hz, 577 μ s, max. Leistung 2W) auf EEG und evozierte Potentiale. Nach einer 45minütigen Exposition waren im EEG keine Änderungen erkennbar. Es ergaben sich jedoch während der Exposition Veränderungen der evozierten Potentiale. Es kam zu einer signifikanten Verkürzung der Reaktionszeit. Die Autoren schließen daraus auf eine mögliche Unterdrückung der Schläfrigkeit aufgrund der GSM Exposition.

Hamblin et al. (2004) untersuchten an 12 Probanden eine mögliche Auswirkung einer einstündigen Mobilfunkexposition auf akustisch evozierte Potentiale (AEP) in zwei Durchläufen, nämlich unter Sham- und Expositionsbedingungen (894.8MHz, 576 μ s, 217Hz, 250mW). Es ergaben sich Unterschiede hinsichtlich Amplitude und Latenzzeiten der untersuchten AEPs, die links-frontal und links-zentral am größten waren und eine verlängerte Reaktionszeit. Insgesamt wird eine mögliche Beeinflussung durch EMF wie von Mobiltelefonen erzeugt auf neuronale Aktivitäten nicht ausgeschlossen.

Maby et al. (2004) untersuchten gesunde Probanden und Epilepsie- Patienten und fanden eine Veränderung von Amplitude und Latenzzeit der AEPs. Die Änderung der AEP-Amplituden fanden sich bei beiden Gruppen, die Änderung der AEP-Latenzzeit nur in der Gruppe der gesunden Probanden. Es wurde in dieser Arbeit auf einen Einfluss von EMF auf die auditive Gehirnaktivität geschlossen.

4 Elektrosensibilität

Der Begriff der „Elektrosensibilität“ wurde von Personen geprägt, die überzeugt waren, dass ihre Krankheitssymptome von Elektromog verursacht würden. Den Umstand, dass andere Personen unter gleichen Expositionsbedingungen keine Symptome entwickelten erklärten sie damit, dass sie gegenüber Elektromog überempfindlich wären. Im deutschsprachigen Raum wird die vermutete Überempfindlichkeit gegenüber elektromagnetischen Feldern mit dem Begriff „Elektrosensibilität“ bezeichnet. In der Zwischenzeit findet man auch weitere, weitgehend synonyme Begriffe, wie z.B. Elektrohypersensibilität, Elektrosensitivität oder elektromagnetische Hypersensitivität. In englischsprachiger Literatur werden die Begriffe „sensitivity to electricity“, „electrosensitivity“, „hypersensitivity to electricity“ und „electromagnetic hypersensitivity (kurz EHS)“ verwendet.

Grundsätzlich bedeuten Sensibilität und Sensitivität nicht das Selbe. So wird unter *Elektrosensitivität* die *Fähigkeit* einer Person verstanden, elektromagnetische Einwirkungen (Felder) wahrzunehmen, ohne dabei notwendiger Weise bereits Krankheitssymptome zu entwickeln. Der Begriff „Elektrisensibi**l**ität“ hingegen bezieht sich auf die Entwicklung von Krankheitssymptomen aufgrund der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern. Ob hoch- oder niederfrequente Felder als Verursacher gesehen werden, wird in der Terminologie nicht berücksichtigt, obwohl sie durch grundsätzlich andere Wechselwirkungsmechanismen wirken.

Ob es Elektrosensi**l**ität im Sinne einer übersteigerten Reaktion auf die Einwirkung elektromagnetische Felder gibt, ist nach wie vor offen. In bisherigen Experimenten konnte der Nachweis nicht geführt werden (**Leitgeb et al.** 2003, **Rubin et al.** 2005). Unbestritten ist hingegen, dass die Hypothese der Elektrosensibilität in der

Wahrnehmung der Bevölkerung und der Ärzte einen hohen Stellenwert einnimmt (**Leitgeb et al.** 2005).

Untersuchungen über einen Zusammenhang von Mobilfunkfeldern mit potentiellen elektrosensiblen Reaktionen sind erst in jüngerer Zeit durchgeführt worden. Grundsätzlich konnten jedoch **Schröttner et al.** (2005) zeigen, dass die Ergebnisse von Elektrosensibilitätsuntersuchungen von der Strategie zur Rekrutierung der Probanden abhängen. Hierzu wurden Ergebnisse von Wahrnehmbarkeitsschwellenuntersuchungen an unterschiedlichen Gruppen elektrosensibler Personen mit den Ergebnissen der Allgemeinbevölkerung verglichen und signifikante Unterschiede festgestellt. Untersuchungen im Hinblick auf eine Beeinflussung des Schlafverhaltens elektrosensibler Personen durch hochfrequente Felder wurden erstmals in einer Pilotstudie von **Leitgeb et al.** (2004) untersucht. Ziel dieser Studie war es die Frage eines grundsätzlichen potentiellen Zusammenhanges zwischen Schlafstörungen und hochfrequenten Immissionen an aufgrund ihres Leidensdrucks selektierten Personen zu untersuchen. Es wurden nur jene Probanden untersucht, die unter einem starken Leidensdruck stehen und die überzeugt waren, dass die Ursache in der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern liegt. Die Ergebnisse dieser Machbarkeitsstudie belegen, dass das gewählte neue Untersuchungsdesign trotz des großen Aufwandes sowohl für die Probanden als auch für das Untersuchungsteam umsetzbar ist, um die Frage, ob es potentielle gesundheitsrelevante Einflüsse unterhalb der bestehenden Grenzwerte gibt, zu beantworten. Darüber hinaus bestätigte die Pilotstudie die Entscheidung gegen das System QUISI, das eine automatisierte EEG-Schlafauswertung vornimmt, aber die Biosignale für nachfolgende Überprüfungen nicht abspeichert. Dies führte zur Entscheidung, die Schlafuntersuchungen mit dem Somnografiesystem Somnoscreen der Firma Somnomedics durchzuführen, das es erlaubt, im Rahmen der EPROS- Studie die EEG Signale mit aufzuzeichnen und die Software- Ergebnisse durch visuelle Befundung zu überprüfen und zu korrigieren.

Hietanen et al. (2002) exponierten 20 Probanden (7 Männer, 13 Frauen), die behaupteten, gegenüber Mobiltelefonen elektrosensibel zu sein, jeweils 30min in randomisierter Folge gegenüber einem analogen und zwei GSM- Handys mit einer zusätzlichen Sham- Exposition. Die Probanden wurden nach wahrgenommenen

Symptomen befragt, zusätzlich wurden Blutdruck, Herzrate und Atmung aufgenommen. Es konnte keine der Personen die reale Exposition von der Sham-Exposition unterscheiden, obwohl über eine Reihe von unspezifischen Symptomen berichtet wurde.

Zwamborn et al. (2003) untersuchten zwei Gruppen von Personen: Einerseits 36 Personen (11 Männer, 25 Frauen) mit Symptomen, die sie der Einwirkung elektromagnetischer Mobilfunkfelder zuschrieben und andererseits 36 Kontrollpersonen (22 Männer, 14 Frauen), die sie hintereinander jeweils 30min lang mit 15min Pausen gegenüber Sham, GSM 900-, GSM 1800- und UMTS- (ähnlichen) Feldern exponierten. Im Vergleich zur Sham- Exposition ergaben sich durch GSM900 und GSM1800 bezüglich des Wohlbefindens in keiner der Gruppen statistisch signifikante Beeinflussungen, bezüglich UMTS fanden sich in der Gruppe der Elektrosensiblen bezüglich Angst und körperlichen Beschwerden zusätzliche Signifikanzen. In Hinblick auf kognitive Tests fanden sich bei den Elektrosensiblen bei GSM1800 und bei Kontrollpersonen gegenüber GSM900 keine signifikanten Beeinflussungen, während bezüglich UMTS die Unterschiede bei den Kontrollpersonen häufiger signifikant waren als bei Elektrosensiblen.

Die Studie weist einige Schwachstellen auf. Zum Beispiel war in den beiden Vergleichsgruppen die Zusammensetzung Männer/Frauen trotz des bekannt unterschiedlichen Reaktionsverhaltens stark unterschiedlich. Die nur 15min-Washout-Pausen stellen nicht sicher, dass Crossover- Artefakte vermieden werden konnten. Die verwendeten Fragebögen waren für die Erfassung von kurz hintereinander folgenden Befindlichkeitsänderungen nicht validiert. Ermüdungsartefakte wurden nicht ausgeschlossen: trotz der langen Gesamt-Untersuchungsdauer wurden keine Vigilanztests vorgenommen. Aufgrund der erheblichen methodischen Schwächen lassen sich daher keine belastbaren Schlüsse ziehen. Insgesamt belegt die Studie keine erhöhte Empfindlichkeit Elektrosensibler. Eine Replikationsstudie im Rahmen des Mobilfunkforschungsprogramms ist kurz vor der Fertigstellung.

5 Zusammenfassung

In der Mehrheit der Studien wird über einen Einfluss der Exposition durch EMF, wie sie von Mobiltelefonen ausgesendet werden, berichtet. Die statistischen Signifikanzen sind jedoch unterschiedlich. Es wurde in keiner Studie eine Bonferoni-Korrektur des Ergebnisses durchgeführt. Da die Expositionsbedingungen jedoch sehr unterschiedlich sind, fehlen darüber hinaus Bestätigungen durch unabhängige andere Gruppen. Die bisherigen Ergebnisse sind daher lediglich als Hinweise auf ein mögliches Auftreten spektraler Veränderungen anzusehen, das zur Exposition zeitlich verzögert sein und über die Expositionszeit hinaus anhalten kann. Aufgrund der vorliegenden Studien kann eine mögliche Beeinflussung des Wach- EEGs durch EMF von Mobiltelefonen nicht ausgeschlossen werden.

Zwei von den drei Arbeiten zu auditiv evozierten EEG- Potentialen zeigten einen möglichen Einfluss von EMF von Mobiltelefonen. Die Untersuchungsergebnisse zu visuell evozierten Potentialen und sonstigen durchgeführten Tests zur Gehirnaktivität sind widersprüchlich.

In Bezug auf die Schlafstudie weisen die Ergebnisse auf die Wichtigkeit hin, die Rohdaten der EEG- Registrierungen für weitere Auswertungen verfügbar zu haben, da die berichteten subtilen Effekte aus den software- generierten Schlafparametern nicht ableitbar sind.

Ob Elektrosensibilität im Sinne einer kausalen Beziehung zu elektromagnetischen Feldern besteht, ist nach wie vor nicht belegt. Es zeigte sich jedoch, dass die Strategie zur Rekrutierung der Probanden einen Einfluss auf das Untersuchungsergebnis hat.

Tabelle 2: Ergebnisse der Schlafuntersuchungen

Autor	Exp.	N	T _{exp}	SQ	S _{eff}	S _{Dau}	T _{Bett}	L ₁	L ₂	L ₃	L _{REM}	D ₁	D ₂	D ₃	D _{REM}	H _{RV}	N _{Wach}	B	P _{Spid}	P _a
Allpeter ₉₅	Kurz-welle		Frage	+																
Mann ₉₆	GSM	12	8h/50µ/cm ²	0				-				0	0	0	-				+ REM	+ REM
Mann ₉₈	GSM	12	8h/50µ/cm ²	0												0				
Wagner ₉₈	GSM	24	8h/20µ	0				0				0	0	0	0					0
Borbély ₉₉	"GSM"		8h/15 _{on/off}																	+
Huber ₀₀	GSM		30min																	+
Fritzer ₀₀	GSM	10	-																	+
Wagner ₀₀	GSM	20	8h/5m/cm ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Lebedeva ₀₁	GSM		8h																	
Navarro ₀₂	Basis		Frage	0																
Hutter ₀₂	Basis		Frage	0																
Huber ₀₂	GSM		30min		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					0
Sanlini ₀₂	Basis		100:300m	-																
Oberfeld ₀₂	Basis		100:300m	-																
Loughran ₀₅	GSM		30min		0	0	0	0	0	0	X	0	0	0	0					0
Al-Khlaifi ₀₅	GSM		Frage	-																

Tabelle 3: Ergebnisse der EEG- Spektraluntersuchungen

Autor	Exp.	N	T _{exp}	α _{8-13Hz}	α1 _{8-9,5Hz}	α2 _{9,75-13Hz}	β _{13-32Hz}	β1 _{12,75-18,5Hz}	β2 _{18,75-35Hz}	δ _{1-4Hz}	θ _{4-8Hz}	EEG ΣSpek _{0-50Hz}	MDK/CA	KL	Anmerkung
Klitzing ₉₅	150 MHz	17	5mal 15min	+ ↑											
Meckelburg ₉₅	GSM	3	5mal 15min	0											gemeinsam mit Klitzing
Reiser ₉₅	150kHz, GSM	36	je 15 min		+ ↑			+ ↑	+ ↑	+ ↑					150kHz: Zunahme der Spektralleistung α1, β1 und β2 GSM: 15min verspätet bei β1, δ
Klitzing ₉₅	150 MHz	17	2-3mal 15min	+ ↑											
Gehlen ₉₆	GSM	27	10min		0	0		0	0	0	0	0			
Heinze ₉₆	GSM	16 12	GSM	0											
Röschke ₉₇	GSM	34	30min	0			0			0	0	0			
Lebedeva ₀₀	GSM	24	15min										+	+	
Hietanen ₀₀	GSM	19	30min	0			0			+ ↑	0	0			statistischer Zufall
Croft ₀₂	GSM	24	4 mal je 5min	+ ↑			0			+ ↓	0				
Huber ₀₂	GSM	16	30min	+ ↑			0			0	0				nur bei Pulsmodulation
Kramarenko ₀₃	GSM	20	-	0			0			+ ↑	+ ↑	+ ↑			
Huber ₀₃	Dipol	16	30min	+ ↓			+ ↓								
D'Costa ₀₃	GSM	10	5mal je 5min	+			+			0	0				bei 80%Prob.: ↓ bei 20%: ↑
Papageorgiou Nanou ₀₄	GSM	19	45min									+			bei Männern: ↓ bei Frauen: ↑
Hinrikus ₀₄	450 MHz	20	10mal je 1min	+							+	0			Tendenzielle Effekte nur an Einzelpersonen

Tabelle 4: Ergebnisse der eventbezogenen EEG-Änderungen

Autor	Exp	N	T _{exp}	VEPs Latenzzeit	VEPs Amplituden	AEPs Latenzzeit	AEPs Amplituden	BP	RZ	VMT	SP	Spek- trum	Beeinflussung der Gehirnaktivität/ Leistungsfähig- keit
Freude ₉₈	GSM	16	3-5min		+↓			0					0
Eulitz ₉₈	GSM	13	3-5min			0	0					+ (mod.)	
Hladky ₉₉	GSM	12	5/6min	0	0								
Freude ₀₀	GSM	20	3-5min		+			0	0	0	+↓		0
Krause ₀₀	GSM	12	-									+	
Jech ₀₁	GSM	17	45min	0	+N ₂ ↓, P _{3a} ↑				+ ↓				+ (unterdrückt Schläfrigkeit)
Croft ₀₂	GSM	24	4 mal je 5min						0				
Krause ₀₄	GSM	12	-									0	
Hamblin ₀₄	GSM	12	-			+↓	+ ↓		+ ↑				~
Maby ₀₄	GSM	-	-			+↓	+ ↓						

Abkürzungsverzeichnis

AEP	akustisch evoziertes Potential
B	Bewegungshäufigkeit
BP	Bereitschaftspotential
CA	Cortex Aktivität
Cz	EEG Elektrodenposition „central“ im Zentrum
D _{1...3}	Dauer Stadium 1 bis 3
D _{REM}	Dauer Stadium REM
EEG	Elektroenzephalogramm
EKG	Elektrokardiogramm
EMG	Elektromyogramm
EOG	Elektrookulogramm
Exp.	Exposition
GSM	Global Standard for Mobile Communications
HRV	Herzratenvariabilität
KL	kognitive Leistungstests
L _{1...3}	Latenzzeiten Stadium 1 bis 3
L _{REM}	Latenzzeit Stadium REM
MDK	Multikanal-Dimensionkorrelation
N	Anzahl der untersuchten Personen
NONREM	alle anderen Schlafphasen außer REM (s. unten)
N _{Wach}	Anzahl der Wachphasen
Pa	Spektralleistung im Alpha Band
PET	Positronenemissionstomographie
pO ₂	Symbol für Sauerstoffpartialdruck
P _{Spid}	Leistungsspektren der Spindeln
Pz	EEG Elektrodenposition „proximal“ im Zentrum
REM	Rapid Eye Movement Phase bzw. Traumphase des Schlafes
RZ	Reaktionszeit
Seff	Schlafeffizienz
SEP	somatosensibel evozierte Potentiale
SDau	Schlafdauer

SP	slow potentials
SQ	Schlafqualität
TBett	Zeit im Bett (engl. Time in bed)
Texp.	Expositionsdauer
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VMT	visual memory task

Literatur

- Altpeter, E. S., Krebs, T., Pfluger, D. H., von Känel, J., Blattmann, R., Emmenegger, D., Cloetta, B., Rogger, U., Gerber, H., Manz, B., Coray, R., Baqumann, R., Stärk, K., Griopt, C., Abelin, T. (1995): Studie über Gesundheitseffekte durch den Kurzwellensender Schwarzenburg, Bern, Schweiz, Bundesamt für Energie, Schlussbericht.
- Al-Khlaiwi, T., Meo, S. A. (2004): Association of mobile phone radiation with fatigue, headache, dizziness, tension and sleep disturbance in Saudi population. *Saudi Med. J.* 25, 732-736
- Borbély, A. A., Huber, R., Graf, T., Fuchs, B., Gallman, E., Achermann, P. (1999): Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep EEG. *Neurosci. Lett.* 275, 207-210
- Cew, H., zur Nieden, A., Lindenstruth, M., Eikmann, T., (2003): Frequency and duration of Mobile Phone use and reported sleep quality according to PSQI. *Proc. Workshop EMF and Sleep, Immenstaad*, 24
- Croft R.J., Chandler J.S., Burgess A.P., Barry R.J., Williams J.D., Clarke A.R. (2002): Acute mobile phone operation affects neural function in humans. *Clinical Neurophysiol* 113(10): 1623-1632
- D'Costa H., Trueman G., Tang L., Abdel-rahman U., Abdel-rahman W., Ong K., Cosic I. (2003): Human brain wave activity during exposure to radiofrequency field emissions from mobile phones. *Australas Phys Eng Sci Med*, 26(4): 162-167
- Eulitz C., Ullsperger P., Freude G., Elbert T. (1998): Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport*, 9(14): 3229-3232
- Freude G., Ullsperger P., (2000): Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol*, 81(1-2): 18-27
- Freude G., Ullsperger P., Eggert S., Ruppe I. (1998): Effects of microwaves emitted by cellular phones on human slow brain potentials. *Bioelectromagnetics*, 16(6): 384-387
- Fritzer G., Göder, R., Friegel, L., Pannier, G. (2000): Kurz- und Langzeitauswirkungen elektromagnetischer HF- Felder auf die Qualität des

menschlichen Schlafes und der daraus resultierenden Tagesbefindlichkeit. FGF Bericht.

- Gehlen W., Spittler J.F., Calabrese P., Truong M.K., Cohrs U., Heidrich M., Reinhard A. (1996): Biologisch-zerebrale Effekte in niederfrequent gepulsten Hochfrequenzfeldern. Edition Wissenschaft, 12a: 27
- Hamblin D.L., Wood, A.W., Croft R.J., Stough C. (2004): Examining the effects of electromagnetic fields emitted by GSM mobile phones on human event-related potentials and performance during an auditory task. Clin Neurophysiol, 115(1): 171-178
- Heinze, H. J., Hinrichs, H. (1996): Untersuchung über die Existenz cerebraler durch Mobilfunk-Geräte des DCS-1800-Netzes verursachter Effekte mittels EEG und SEP. Abschlussbericht der E-Plus- Studie.
- Hietanen M., Kovalainen T., Hämäläinen A.M. (2000): Human brain activity during exposure to radiofrequency fields emitted by cellular phones. Scand J Work Environ. Health, 26(2): 87-92
- Hinrikus H., Parts M., Lass J., Tuulik V. (2004): Changes in human EEG caused by low level modulated microwave stimulation. Bioelectromagnetics, 25(6): 431-440
- Hladky A., Musil J., Roth Z., Urban P., Blazkova V. (1999): Acute effects of using a mobile phone on CNS functions. Cent Eur J Public Health, 7(4): 165-167
- Huber R., Graf T., Cote K.A., Wittmann L., Gallmann E., Matter D., Schuderer J., Kuster N., Borbély A.A., Achermann P. (2000): Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. Neuroreport 11(15): 3321-3325
- Huber, R., Schuderer, J., Graf, T., Jütz, K., Borbély, A. A., Kuster, N., Achermann, P. (2003): Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. Bioelectromagnetic s 24, 262-276
- Huber, R., Treyer, V., Borbély, A. A., Schuderer, J., Gottselig, J. M., Landolt, H.-P., Werth, E., Berthold, T., Kuster, N., Buck, A., Achermann, P. (2002): Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional cerebral blood flow and sleep and waking EEG. J. Sleep Res. 11, 289-295
- Hutter, H-P., Moshhammer, H., Kundi, M. (2002): Mobile phone basestations. Effects on health and wellbeing. 2nd Int. Workshop Biol. Eff. of EMF, Rhodes, 344-352

- Jech R., Sonka K., Ruzicka E., Nebuzelsky A., Böhm J., Juklickova M., Nevsimalova S. (2001): Electromagnetic field of mobile phones affects visual event related potential in patients with narcolepsy. *Bioelectromagnetics* 22(7): 519-528
- Von Klitzing, L. (1992): Electromagnetic fields pulsed with 217Hz alter EEG of man at very low energy levels. *Proc. ASnn. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol.*, 221-223
- Von Klitzing, L. (1995): Low-Frequenzcy pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Media* 9, 77-80
- Kramarenko A.V., Tan U. (2003): Effects of high-frequency electromagnetic fields on human EEG: a brain mapping study. *Int J Neurosci* 113(7): 1007-1019
- Krause, C. M., Sillanmäki, L., Koivisto, M., Haggqvist, A., Saarela, C., Revonsuo, A., Laine, M., Hämäläinen, H. (2000): Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the electroencephalogram during a visual working memory task. *Int. J. Radiat. Biol.* 76, 1659-1667
- Krause, C. M., Haarala, C., Sillanmäki, L., Koivisto, M., Aalanko, K., Revonsuo, A., Laine, M., Hämäläinen, H. (2004): Effects of electromagnetic field emitted by cellular phones on the EEG during an auditory memory task: a double blind replication study. *Bioelectromagnetics* 25, 33-40
- Lebedeva N.N., Sulimov A.V., Sulimova O.P., Korotkovskaya T.I., Gailus T. (2001): Investigation of brain potentials in sleeping humans exposed to the electromagnetic field of mobile phones. *Crit Rev Biomed Eng* 29(1): 125-133
- Lebedeva N.N., Sulimov A.V., Sulimova O.P., Korotkovskaya T.I., Gailus T. (2000): Cellular phone electromagnetic field effects on bioelectric activity of human brain. *Crit Rev Biomed Eng* 28(1-2): 323-337
- Leitgeb, N., Schröttner, J., Böhm, M. (2005): Does „electromagnetic pollution“ cause illness? *Wr. Med.Wochenschr.* 155/9, 237-241
- Leitgeb, N., Schröttner, J. (2003): Electrosensibility and Electromagnetic Hypersensitivity. *Bioelectromagnetics*, 24, 387-394
- Leitgeb, N., Schröttner, J., Cech, R., Kerbl, R. (2004): Untersuchung von Schlafstörungen um Hochfrequenz- Sendeanlagen. *Biomedizinische Technik* 49, 186-193
- Loughran, S.P., Wood, A. W., Barton, J. J., Croft, R. J., Thompson, B., Stough, C. (2005): The effects of electromagnetic Fields emitted by GSM Mobile Phones on human Sleep. *Proc. BEMS, Dublin*, 121-122

- Maby E., Le Bouquin Jeannes R., Liegeois-Chauvel C., Gourevitch B., Faucon G. (2004): Analysis of auditory evoked potential parameters in the presence of radiofrequency fields using a support vector machines method. *Med Biol Eng Comput* 42(4): 562-568
- Reiser H., Dimpfel W., Schober F. (1995): The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med. Res.* 1(1): 27-32
- Mann, K., Röschke, J. (1996): Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. *Neuropsychobiol.* 33, 41-47
- Mann, K., Wagner, P., Brunn, G., Hassa, F., Hiemke, C., Röschke, J. (1998): Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on the neuroendocrine system. *Neuroendocrinol.* 67, 139-144
- Meckelburg, H.-J., Jahre, K., Matkey, K (1995): Der Einfluss von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroenzephalogramm von Menschen. *Kleinheubacher Berichte* 38, 1-19
- Navarro EA, Segura J, Gómez-Perretta C, Portolés M, Maestu C, Bardasano JL. Exposure from cellular phone base stations (2002): A first approach. *Proceedings of Biological Effects of EMFs 2nd Int. Workshop, Rhode*, 353-358
- Oberfeld, G., Navarro, A. E., Portoles, M., Ceferino, M., Gomez-Perretta, C. (2004): The microwave syndrome- Further aspects of a Spanish study. *Proc. Int. Workshop Biol. Eff. EMF, Kos*, 728-735
- Papageorgiou C.C., Nanou E.D., Tsiafakis V.G., Capsalis C.N., Rabavilas A.D. (2004): Gender related differences on the EEG during a simulated mobile phone signal. *Neuroreport* 15(16): 2557-2560
- Röschke, J., Mann, K. (1997): No Short-Term Effects of Digital Mobile Radio telephone on the Awake Human Electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18: 172-176
- Rubin, G. J., Munshi, J. D., Wessely, S. (2005): Electromagnetic Hypersensitivity: A systematic Review of Provocation Studies. *Psychosom. Med.* 67, 224-232
- Santini, R., Santini, P., Danze, J. M., LeRuz, P., Seigne, M. (2002): Enquête sur la santé de riverains de stations relais de téléphonie mobile: 1/ Incidence de la distance et du sexe. *Pathol. Biol.* 50, 369-373
- Schröttner, J., Leitgeb, N., Hillert, L. (2005): The influence of recruitment strategy on the results of electrosensitivity studies. *Bioelectromagnetics*, forwarded for publication.

- Wagner, P., Röschke, J., Mann, K., Hiller, W., Frank, C. (1998): Human sleep under the influence of pulsed radiofrequency electromagnetic fields: A Polysomnographic study using standardized conditions. *Bioelectromagnetic s* 19: 199-202.
- Wagner, P., Röschke, J., Mann, K., Fell, J., Hiller, W., Frank, C., Grözingler, M. (2000): Human Sleep EEG under the Influence of Pulsed RF electromagnetic fields. *Neuropsychobiol.* 42, 207-212
- Zwamborn, A. P. M., Vossen, S. H. J., van Leersum, B. J. A., Ouwens, M. A., Makel, W. N. (2003): Effects of GSM-RF fields of well-being and cognitive functions of human subjects with and without subjective symptoms. TNO report, The Hague