

Forschungsvorhaben

Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen

Endbericht

N. Leitgeb

März 2007

Univ.-Prof. Dr. Norbert Leitgeb
Institut für Krankenhaustechnik mit
Europaprüfstelle für Medizinprodukte
Inffeldgasse 18
A.8010 Graz

Der Bericht gibt die Auffassung und Meinung des Auftragnehmers wieder und muss nicht mit der Meinung des Auftraggebers (Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit) übereinstimmen.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	3
1.1	Schlafstudien.....	4
1.1.1	Epidemiologische Studien	5
1.1.2	Laborstudien	10
1.1.3	EEG- Studien	14
1.2	Elektrosensibilität	23
1.3	Zusammenfassung.....	25
2	Schlafuntersuchung.....	27
2.1	Methodik.....	27
2.1.1	Untersuchungsdesign	28
2.2	Probandenrekrutierung.....	30
2.3	Datenerfassung	33
3	Ergebnisse	35
3.1	Untersuchte Probanden	35
3.1.1	Zusammensetzung.....	36
3.1.2	Charakterisierung der Probanden	38
3.2	elektromagnetische Immissionen	46
3.2.1	Gesamt- HF- Immission	47
3.2.2	Zeitliche Immissionsschwankungen	49
3.2.3	Gesamt- Mobilfunkanteil	51
3.2.4	Uplink- Anteil	52
3.2.5	Schirmfaktor	53
3.3	Elektrosensitivität	55
3.4	Schlafcharakterisierung.....	59
3.4.1	Schlafparameter.....	59
3.4.2	Relevanzüberprüfung.....	63
3.4.3	Quantifizierung des Schlafproblems.....	64
3.5	Schlafuntersuchung.....	65
3.5.1	Zusammenhang mit der HF- Immission	65
3.5.2	EQ- Diagramm	66
3.5.3	Gesamtauswertung der Schlafparameter.....	70
3.5.4	Varianzanalyse.....	84
4	Kofaktorenanalyse.....	91
4.1	Reihenfolge der Versuchsbedingungen	91
4.2	Magnetfeld-Immissionen	93
4.3	Wochentage	94
4.4	Aus den Fragebögen ermittelte Kofaktoren.....	96
4.4.1	Multivariate Analyse	96
4.4.2	Zusammenhang Kofaktoren mit Abschirmungen und HF-Immission ..	98
5	Diskussion.....	99
6	Zusammenfassung.....	107
7	Literaturverzeichnis	112
8	Abbildungsverzeichnis.....	118
9	Tabellenverzeichnis.....	122
10	Abkürzungsverzeichnis	123

1 Einleitung

In den letzten Jahrzehnten haben Schlafstörungen deutlich zugenommen. Mehr als 20% der Bevölkerung leiden zumindest gelegentlich unter Schlafstörungen wie z. B. Einschlafstörungen, Durchschlafstörungen, gestörte Schlafmuster oder gestörte Schlafperiodik. Ein zunehmender Teil davon führt dies auf die Einwirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Sendeanlagen, insbesondere von Mobilfunk- Basisstationen zurück.

Abgesehen von wissenschaftlichen Untersuchungen wird in einer Reihe von anekdotischen Berichten über Schlafstörungen geklagt, in denen die Betroffenen den Einfluss von Mobilfunkwellen von Mobilfunk- Basisstationen als Ursache vermuten. Darüber hinaus haben diese Vermutungen auch eine politische Dimension erreicht und bereits zu Petitionen und Appellen an öffentliche Stellen zur Herabsetzung der Expositionsgrenzwerte und Einschränkung des Mobilfunks geführt (Freiburger Appell 2002, Mobilfunk-Petition 1999, Mobilfunk-Petition 2003, Resolution zur Minimierung der allgemeinen Elektrosmog- Belastung 1999).

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 [53] unterscheidet man folgende Stadien:

Tabelle 1-1: 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 vorliegenden Schlafstudie) zu einem gemeinsamen Schlafstadium, dem Stadium 3 (Langwellenschlaf) zusammengefasst.

1.1 Schlafstudien

Erste wissenschaftliche Berichte über auf Sendeanlagen bezogene Schlafstörungen stammen von epidemiologischen Untersuchungen von Personen in der Nähe von Rundfunksendern.

Experimentell wurde das Schlafverhalten bisher in Schlaflabors an Instituten und Kliniken unter Provokationsbedingungen studiert. Dabei wurde die Exposition gegenüber elektromagnetischen Wellen simuliert. Allerdings führten die bisherigen Arbeiten zu keinem klaren Bild. Bei nicht geglücktem Elektrosensibilitätsnachweis wurde von elektrosensiblen Probanden die Klage geführt, dass sie sich in der ungewohnten Umgebung und aufgrund des „Elektrosmog¹“-Stresses sowie wegen zu kurzer Expositionspausen in einer Ausnahmesituation befunden und daher nicht wie gewohnt reagiert hätten.

1.1.1 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 derselben 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

¹ Da Probanden bevorzugt den Begriff „Elektrosmog“ für die niederfrequenten elektrischen, magnetischen und die hochfrequenten elektromagnetischen Felder in ihrer Umgebung verwenden, wird dieser Terminus in dieser Studie verwendet, obwohl er wissenschaftlich nicht exakt ist.

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 Expositionsclassen 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 und 2006) 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 Pittsburgh Schlaf Skala als einer von mehreren Studienparametern. 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.

- f) **Herr et al.** (2005) untersuchten 132 freiwillige Probanden mittels Fragebogen zu umwelt- und arbeitsmedizinischen Schwerpunkten, körperlichen Beschwerden, gesundheitsbezogener Lebensqualität und Persönlichkeit den Zusammenhang zur Dauer der Mobilfunknutzung. Unter anderem wurde die Schlafqualität mit dem Pittsburgh Schlafqualitätsindex erfasst. Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigten keinen Zusammenhang zwischen der Handynutzungsdauer und der Schlafqualität. Die Schlafqualität sank jedoch mit steigender Anzahl ungeklärter körperlicher Beschwerden und höherem Stress.

1.1.2 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 Nächten 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 Einschlaflatenz 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 Pittsburg 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 pO_2 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.

Hinrichs et al. (2005) exponierten 13 gesunde Versuchspersonen in zwei von vier aufeinanderfolgenden Nächten in zufälliger Reihenfolge mit einem homogenen, vertikal polarisierten GSM-1800 EMF Feld. Die Schlaf-Muster wurden pro Expositionsbedingung über die jeweils zwei Nächte gemittelt. Insgesamt ließ sich anhand der Ergebnisse kein statistisch signifikanter Einfluss der EMF Exposition auf den Schlaf nachweisen.

*Tabelle 1-2: Zusammenschau der Ergebnisse von Schlafuntersuchungen
 0 ... keine Veränderung, + ... statistisch signifikante Erhöhung, - ...
 statistisch signifikante Erniedrigung, ns...nicht signifikant („Trend“), x ... in
 der Literatur nicht näher spezifizierte statistisch signifikante Veränderung*

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
Altpeter 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	0
Borbély ₉₉	GSM		8h/15 _{on/off}																+	+
Huber ₀₀	GSM		30min																+	+
Fritzer ₀₀	GSM	10	-																	+ REM
Wagner ₀₀	GSM	20	8h/5m/cm ²	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0				0	0
Lebedeva ₀₁	GSM		8h											ns						+ ns
Navarro ₀₂	Basis		Frage	0																
Hutter ₀₂	Basis		Frage	0																
Herr ₀₅	-	132	Frage	0																
Huber ₀₂	GSM		30min		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	+	+
Santini 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	0		
Al-Khalawi ₀₅	GSM		Frage	-																

1.1.3 EEG- Studien

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 zwischen einem 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.

Spektrale Leistung

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 Mobiltelefons 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 Unterschiede 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 Parameter 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 den 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.

Tabelle 1-3: Zusammenschau der Ergebnisse von EEG-Spektraluntersuchungen

0 ... keine Veränderung, + ... statistisch signifikante Erhöhung, - ... statistisch signifikante Erniedrigung, ns...nicht signifikant („Trend“), x ... in der Literatur nicht näher spezifizierte stat. signifikante Veränderung
 $\alpha, \beta, \delta, \theta$...EEG- Frequenzbänder, Σ EEG spektrale Summe, MKD...Multikanal-Korrelationsdimension, CA...Cortex Aktivität, KL..kognitiver Leistungstest

Autor	Exp.	N	T _{exp}	α 8-13Hz	$\alpha 1$ 8-9,5Hz	$\alpha 2$ 9,75-13Hz	β 13-32Hz	$\beta 1$ 12,75-16,5Hz	$\beta 2$ 16,75-35Hz	δ 1-4Hz	θ 4-8Hz	EEG Σ Spek 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 $\alpha 1, \beta 1$ und $\beta 2$ GSM: 15min verspätet bei $\beta 1, \delta$
Klitzing ⁹⁵	150 MHz	17	2-3mal 15min	+											
Gehlen ⁹⁶	GSM	27	10min		0	0		0	0	0	0	0			
Heinz 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

Event- bezogene 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, 577 μ s, 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 Telefons. Zum einen wurde ein Mobiltelefon (GSM 900MHz, 217Hz, 577 μ s, 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, 577µs, 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, 576µs, 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.

Tabelle 1-4: Zusammenschau der Untersuchungen Event- bezogener EEG-Änderungen

*0 ... keine Veränderung, + ... statistisch signifikante Erhöhung, - ... statistisch signifikante Erniedrigung, ns...nicht signifikant („Trend“), x ... in der Literatur nicht näher spezifizierte statistisch signifikante Veränderung
N₂, P_{3a}...EEG-Elektrodenpositionen*

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	-			-	-		+				widersprüchlich e Trends
Maby ₀₄	GSM	-	-			-	-						

1.2 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 „Elektrosensibilität“ 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 Elektrosensibilität im Sinne einer übersteigerten Reaktion auf die Einwirkung elektromagnetische Felder gibt, ist nach wie vor offen. In bisherigen Provokationsexperimenten konnte der Nachweis nicht geführt werden (**Leitgeb et. al.** 2003, **Rubin et. al.** 2005). Unbestritten ist hingegen, dass 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.** (2007) 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 zugeschrieben 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 Schweizer Mobilfunkforschungsprogramms hat einen Zusammenhang mit Elektrosensibilität nicht bestätigen können (**Regel et al., 2006**).

1.3 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.

2 Schlafuntersuchung

Mit Hilfe einer neuartigen Untersuchungsmethodik sollte den subjektiven Überzeugungen nachgegangen werden, dass Hochfrequenz- Sendeanlagen bei Expositionen weit unterhalb der Referenzwerte Schlafstörungen verursachen könnten. Dazu wird erstmals nicht die Reaktion auf zusätzlich erzeugte Felder, sondern auf die Abschirmung der vorhandenen Immissionen vor Ort in den Schlafzimmern der Probanden untersucht, wo die Schlafprobleme auftreten. Dadurch sollten die bisherigen *Provokationsexperimente* in fremder Umgebung durch „*Protektionsexperimente*“ ergänzt werden. Außer der Realitätsnähe der Untersuchungsbedingungen hat dies auch den Vorteil, dass dieser „schonendere“ und realitätsnähere Ansatz eine wesentlich bessere Akzeptanz durch die Betroffenen findet.

2.1 Methodik

Die EPROS- Studie wurde als explorative Feldstudie im Doppelblind- Crossover- Design durchgeführt. Dabei wurde angestrebt, pro Proband wenigstens 9 unter unterschiedlichen Bedingungen verbrachte Nächte zu analysieren, davon jeweils drei Nächte

- unter einem Verum- „Elektrosmog“- Schirm,
- unter einem die elektromagnetischen Immissionen nicht beeinflussenden Sham- Schirm und
- unter ungeschirmten Kontrollbedingungen.

Zusätzlich war eine weitere (die erste) Untersuchungsnacht erforderlich, um den Probanden mit der Untersuchungsprozedur und den am Körper zu tragenden Geräten vertraut zu machen. In dieser Eingewöhnungsnacht wurde zwar das gesamte Mess- und Untersuchungsprogramm abgewickelt, die Daten wegen der methodischen Einflussfaktoren jedoch nicht ausgewertet.

Die Erfahrung hat gezeigt, dass pro Proband mit ein bis zwei zusätzlichen Wiederholungsuntersuchungen gerechnet werden musste, weil z.B. zu starke EKG- Einstreuungen das EEG einer untersuchten Nacht unauswertbar gemacht haben, ein Defekt in der Elektrodenverbindung aufgetreten ist oder sich andere

unvorhersehbare Ereignisse ergeben haben, z.B. eine plötzliche Durchfallerkrankung.

2.1.1 Untersuchungsdesign

Ziel der Untersuchung ist es nicht, durch eine Querschnittsstudie an einer repräsentativen Zufallsstichprobe die Prävalenz eines Effektes festzustellen, sondern an aufgrund des besonderen Leidensdrucks ausgewählten elektrosensiblen Personen festzustellen, ob ein Effekt überhaupt existiert. Wenn dies bei den besonders kritischen Fällen nicht der Fall wäre, wäre auch bei weniger kritischen Fällen keine Auswirkung zu erwarten. Bei der Festlegung des Studiendesigns wurden folgende Zielsetzungen beachtet:

- Es wurden vor allem jene Probanden untersucht, die unter einem starken Leidensdruck stehen und die überzeugt sind, dass die Ursache in der Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern liegt.
- Es wurden pro Proband mehr Nächte als bisher üblich untersucht, um damit eine bessere statistische Absicherung der Ergebnisse zu ermöglichen.
- Die Untersuchung wurde vor Ort in den Schlafzimmern der Betroffenen durchgeführt, also an jenen Stellen, an denen über die Probleme berichtet wird.
- Mit Hilfe eines mobilen „Elektrosmog“- Schirmes wurde die Reaktion auf den **Wegfall** der elektromagnetischen Exposition untersucht. Zur Abschirmung wurde ein mobiler Schirm aus doppelagigem elektrisch leitfähigem Gewebe angefertigt, der es ermöglichte, den Schlafplatz allseitig zu umschließen. Dies bedeutet, dass die Schirmstoffe auch am Boden verlegt und allseitig mit Klammern mit dem Überwurf verbunden wurden.
- Zur Erkennung von möglichen zusätzlichen Beeinflussungen z.B. durch einen Placebo- Effekt oder durch unbeabsichtigte Nebenwirkungen des Schirmes, z. B. wegen beeinträchtigter Luftzirkulation, wurde das Schlafverhalten zusätzlich zu der ungeschirmten Kontroll- Bedingung auch unter einem Schein- Schirm (Sham- Bedingung) untersucht. Auf diese Weise bildete jeder Proband seine eigene Kontrolle (Crossover- Design). Es ist gelungen, zwei optisch und taktil von

einander nicht unterscheidbare Stoffe zu finden, von denen nur einer die absorbierenden Eigenschaften hat.

- Um unerwünschte Nebenwirkungen des Schirmes möglichst zu vermeiden, wurde eine würfelförmige Ausführung gewählt. Dadurch konnte im Schlafbereich ein großes Luftvolumen gewährleistet werden.
- An den Einstiegsschlitzten wurden die Stoffe ca. 50cm überlappt. Die Probanden wurden angewiesen, die überlappenden Teile zusätzlich mit Klammern zusammenzufügen.
- Um definierte Ausgangsverhältnisse zu gewährleisten, wurden beide Schirmstoffe jeweils vor jeder Untersuchung eines neuen Probanden gewaschen.
- Die bei den Probanden erreichten Schirmfaktoren wurden während der gesamten Studiendauer an jedem Untersuchungsabend überprüft. Dies diente einerseits der Qualitätskontrolle der Schirmmontage. Darüber hinaus wurde eine Trendkontrolle durchgeführt, um potenzielle systematische Veränderungen des Schirmfaktors z. B. aufgrund der Waschvorgänge, rechtzeitig erkennen zu können.
- In einem Vorgespräch vor Ort wurden die Räumlichkeiten auf ihre Eignung besichtigt und die Probanden auf die Wichtigkeit der sorgfältigen Beachtung der schriftlich übergebenen Verhaltensanweisungen aufmerksam gemacht (keine Medikamenteneinnahme, sorgfältiges Schließen des Schirmes beim Zubettgehen usw.).
- Die Reihenfolge der Untersuchungsbedingungen Verum/ Sham/ Kontrolle wurde durch einen Zufallszahlengenerator ermittelt.
- Die Probanden wurden weder über die Tatsache verschiedener Schirme an sich noch über die Schirmbedingungen informiert.
- Die Messwerterfassung vor Ort und die Auswertung der Daten wurde von unabhängigen Teams vorgenommen. Die Reihenfolge der Versuchsbedingungen war nur dem Team vor Ort bekannt.
- Die Messdaten wurden für das Auswerteteam geblindet, die Bekanntgabe der Untersuchungsbedingungen erfolgt erst nach abgeschlossener Auswertung (Doppelblind- Design).

- Um allfällige Überprüfungsmöglichkeiten des Probanden einzuschränken, wurde der Schirm jeden Abend auf- und jeden Morgen abgebaut;
- Die Immissionsverhältnisse am Schlafplatz wurden kontinuierlich überwacht. Dies ermöglicht es,
 - eine Qualitätskontrolle zu gewährleisten und eine nicht sorgfältige Montage des Schirmes oder ungenügendes Schließen der Einstiegsschlitze durch den Probanden erkennen zu können.
 - Immissionsschwankungen erkennen zu können, z.B. wegen Schwankungen der Sendeleistungen der externen Sendeanlagen oder wegen beeinträchtigter Ausbreitungsbedingungen bei Schlechtwetter.
 - in Abwesenheit der Untersucher Manipulationen am Schirm erkennen zu können;
 - eine Überprüfung der Schirmbedingungen durch den Probanden mit Hilfe eines Handys erkennen zu können, z.B. würde das Einbringen eines Handys einen signifikanten Anstieg im Mobilfunk-Frequenzband verursachen.

2.2 Probandenrekrutierung

Ein wesentliches Element der Schlafstudie war es, jenen unter Schlafstörungen leidenden „*elektrosensiblen*“ Personen eine Hilfestellung anzubieten, die subjektiv überzeugt waren, dass ihre Schlafprobleme vom hochfrequenten „Elektrosmog“ herrührten. Probanden, die aus anderen Motiven (z.B. kostenlose Immissionsmessung, Hoffnung auf einen Zusatzverdienst) an der Schlafstudie teilnehmen wollten, waren daher auszuschließen. Gleichzeitig galt es, zu untersuchen, ob überhaupt ein kausaler Zusammenhang zwischen Schlafstörungen und „Elektrosmog“ existiert. Aus diesem Grund wurde versucht, Personen mit besonders massiven Schlafstörungen und glaubhaft verfestigten Überzeugungen über einen Zusammenhang mit hochfrequenten Immissionen in die Studie einzubeziehen.

Für die Beteiligung an den Untersuchungen mussten hohe Anforderungen an das Durchhaltevermögen und die Disziplin der Probanden gestellt werden. Einerseits musste täglich ein Zeitaufwand von jeweils ca. einer Stunde am Abend und am Morgen und die Unbequemlichkeit auf sich genommen werden, mit Elektroden an

Stirn und der Brustwand zu schlafen und andererseits mussten die Einschränkungen der abendlichen Freizeitaktivitäten während der 10 bis 12-tägigen Untersuchungsdauer akzeptiert werden.

Wie Erfahrungen von anderen Studien mit „Elektrosensiblen“ zeigen, ist es äußerst schwierig, geeignete Probanden zu finden, wenn sie von Wissenschaftlern aktiv um Mitwirkung gebeten werden. Aus diesem Grund wurde daher ein alternativer Ansatz gewählt, in dem das Ziel der individuellen Hilfestellung betont wurde. Es wurde wahrheitsgemäß darauf hingewiesen, dass die Schlafuntersuchungen nicht nur das wissenschaftliche Ziel haben, die Vermutungen über einen möglichen Zusammenhang zwischen Schlafstörungen und der Einwirkung hochfrequenter elektromagnetischer Felder wissenschaftlich zu klären, sondern wesentlich auch das humanitäre Ziel verfolgen, den Betroffenen zu signalisieren, dass sie mit Ihren Sorgen und Befürchtungen ernst genommen werden.

Um dieses Angebot bekannt zu machen, wurden die Medien (APA und DPA) über die EPROS- Studie informiert und auf diese Weise den potentiellen Probanden die Möglichkeit geboten, sich von sich aus aktiv um die Teilnahme zu bewerben. Dieser Ansatz erwies sich als äußerst erfolgreich. Bereits innerhalb weniger Wochen nach der ersten Pressemitteilung hatten sich über 200 Interessenten, im Laufe der weiteren Monate 400 zusätzliche Interessenten gemeldet. Insgesamt wurden ca. 600 Freiwillige verzeichnet und weitere ca. 500 Interessierte über E-Mail und Telefon über die Studie informiert.

Die potentiellen Probanden wurden aufgrund folgender Kriterien gereiht:

- Vorliegen akuter Schlafstörungen (manche Interessenten klagten über andere unspezifische Krankheitssymptome);
- Häufigkeit der Schlafstörungen (gelegentliche Schlafstörungen waren nicht ausreichend);
- Größe des Leidensdrucks;
- Stärke der subjektiven Überzeugung eines Zusammenhanges der Symptome mit Sendeanlagen. Als Indikatoren dafür galten z.B.
 - aktives „Elektrosmog“- Vermeidungsverhalten,

- getätigte Aufwendungen zur Messung der elektromagnetischen Immissionen,
- getätigte Aufwendungen zur Abhilfe gegen „Elektrosmog“,
- aktives Symptom- begründetes Engagement gegen Sendeanlagen;
- Stärke des Interesses an einer Mitwirkung (z.B. wiederholtes Nachfragen).

Zusätzlich mussten folgende Bedingungen erfüllt sein:

- Die räumlichen Gegebenheiten vor Ort mussten die Aufstellung des HF-Schirmes erlauben.
- Die zeitlichen Verpflichtungen der Probanden mussten die Durchführung der zusätzlichen Untersuchungen am Abend, am Morgen und für die Dauer eines Blocks von 10 bis 12 Nächten erlauben.

Als Ausschlusskriterien galten:

- geringe bzw. fehlende Überzeugung eines Zusammenhanges mit „Elektrosmog“;
- nur sporadisch auftretende Schlafstörungen (dies würde die Vergleichbarkeit der Nächte in Frage stellen);
- ungenügende zeitliche Flexibilität, insbesondere am Morgen wegen zu frühen Arbeitsbeginns;
- ungeeignete räumliche Verhältnisse, die das geschlossene Aufstellen des Schirmes verhinderten, z.B. Betten, die in Wandverbauten integriert waren;
- Medikamenten- Einnahme (insb. von Schlafmitteln bzw. Mitteln die sich auf den Schlaf auswirkten);
- potentielle organische Ursachen für Schlafstörungen (z.B. Schilddrüsenerkrankung);
- erkennbare andere Motive (z.B. Erhalt kostenloser Immissionsmessungen).

Um die Akzeptanz eines Ergebnisses zu erhöhen, wurde versucht, Probanden aus verschiedenen Gebieten einzubeziehen und nicht nur im näheren Umfeld auszuwählen.

2.3 Datenerfassung

Vor Beginn der Untersuchung eines Probanden wurde mit Hilfe eines Anamnesefragebogens der Gesundheitsstatus, die Einstellung des Probanden zu „Elektrosmog“ und die Schlafqualität während des letzten Monats mit Hilfe des Pittsburgh Sleep Quality Index (Riemann und Backhaus, 1996) erhoben.

Zusätzlich wurden pro untersuchter Nacht folgende Daten erfasst:

Am Abend:

- Abend- Befindlichkeit mit standardisiertem SSA- Schlafragebogen (Saletu et al. 1987);
- Abend- Müdigkeit mit einem validierten computergesteuerten Reaktionstest;
- Abend- Elektrosensitivität mit dem in Graz entwickelten speziellen Test, bei dem die Wahrnehmbarkeit von am Unterarm eingekoppelten 50Hz- Wechselströmen und die Varianz von 6 Wiederholungsmessungen ermittelt werden (Leitgeb et al. 2003);

Während des Schlafes

- Schlaf- Polysomnographie mittels einer EEG- Stirnelektrode, am Augenrand applizierte EOG- Elektroden und an der Brustwand angebrachten EKG- Elektroden und einem miniaturisierten Datenerfassungsgerät (Somnomedics®).
- Die tatsächliche HF- Exposition (Langzeitmessung und –registrierung im Inneren des Schirmes während der gesamten Nacht, frequenzselektiv im Frequenzbereich 80MHz bis 2,5GHz)²;

Am Morgen:

² Die Felderfassung erfolgt mit dem mobilen TS-EMF Messsystem der Firma Rohde& Schwarz im Frequenzbereich 80MHz bis 2,5 GHz.

- Morgen- Befindlichkeit mit standardisiertem Fragebogen;
- Morgen - Müdigkeit;
- Morgen - Elektrosensitivität.

Als potentielle **Einflussfaktoren** wurden darüber hinaus erfasst:

- (aufregende) Tagesereignisse und Stressbelastung;
- Abendessen (insb. schwer Verdauliches oder größere Mengen);
- Getränke (insb. Alkohol, Kaffee und Tee);
- Mondphase;
- Außentemperatur;
- Menstruationszyklus;
- Medikamentennahme (Schlaftabletten bilden eine Kontraindikation);
- Stärke der niederfrequenten Magnetfeld- Immissionen.

Die Auswertung der Somnographie wurde unterstützt durch eine praktische Ärztin, eine Psychologin und den Leiter eines klinischen Schlaflabors. Sie umfasste die Datenbewertung in Hinblick auf

- Störgrößen (z. B. Kontrolle der Schirmwirkung, der Immissionsverhältnisse, Signalqualität z. B. bezüglich Signal/Rausch- Verhältnis und Einstreuungen),
- Schlüssigkeit und Widerspruchsfreiheit (z. B. Kreuzkorrelationsmatrizen zur Feststellung von Korrelationen und Überprüfung von Soll- Abhängigkeiten, z.B. von objektiven und subjektiven Schlafparametern),
- Parameterberechnung,
- zusammenfassende Bewertung.

3 Ergebnisse

3.1 Untersuchte Probanden

Von den insgesamt ca. 600 potentiellen Probanden wurden 97 in die Studie aufgenommen, davon haben jedoch 46 Personen ihre Teilnahme vorzeitig abgesagt. Die Gründe waren:

- Nach wiederholten Telefonaten mit Interessierten entschieden sich schließlich 26 Personen noch vor einer konkreten Terminvereinbarung, doch nicht an der Studie teilzunehmen.
- Nach positiven Vorgesprächen und abgeschlossener Terminplanung zogen **20** ProbandInnen in letzter Minute ihre Zusage telefonisch zurück. Dies ersparte zwar die Hinfahrt, machte jedoch Umplanungen erforderlich.

Da die Untersuchungen seriell durchgeführt werden mussten und eine koordinierte Terminplanung erforderten, waren die Absagen mit zusätzlichen Projektverzögerungen verbunden.

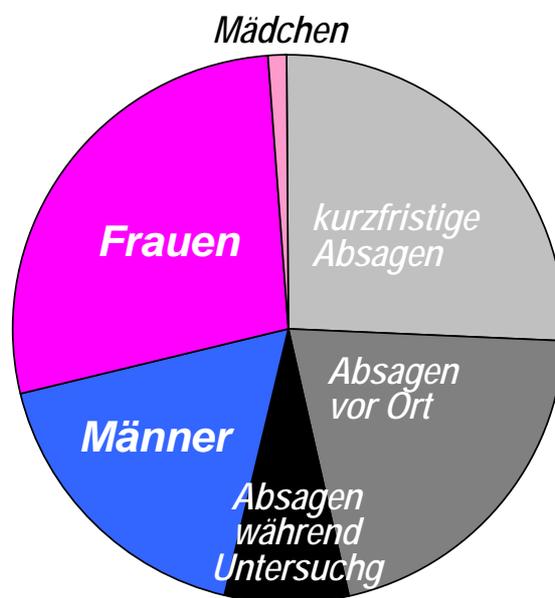


Bild 3-1: Verteilung der 97 in die Gesamtuntersuchung einbezogenen Probanden

Von den verbliebenen 51 Probanden gab es noch weitere insgesamt 7 Personen, die erst nach dem Untersuchungsbeginn vor Ort die Untersuchung vorzeitig abgebrochen haben, weil sich herausstellte, dass

- bei einer Probandin der zunächst geheim gehaltene Wunsch nach kostenloser Messung im Vordergrund stand. Nachdem bekräftigt wurde, dass die Messergebnisse erst am Ende des gesamten Untersuchungsblocks bekannt gegeben werden, hat sie die weitere Beteiligung abgesagt;
- nach mehreren Nächten die psychische und körperliche Belastung durch die Untersuchung von drei weiteren Probanden als zu groß empfunden wurde;
- eine weitere Probandin empfand den erforderlichen zeitlichen Aufwand als zu groß;
- bei zwei Probanden zwischenzeitlich gesundheitlicher Probleme aufgetreten waren.

In diesen Fällen waren die Auswirkungen auf Kosten und Zeitplanung am unangenehmsten.

3.1.1 Zusammensetzung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens EPROS Deutschland war die vollständige Untersuchung von 20 Probanden³ vorgesehen. Da bereits in vorangegangenen Untersuchungen, insbesondere im Projekt EPROS Österreich (gefördert von den Österreichischen Bundesministerien für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sowie dem Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie) 24 Probanden vollständig untersucht werden konnten, konnten somit insgesamt Daten über **44 Probanden** in die vorliegende Gesamtauswertung einbezogen werden.

³ Zur Gewährleistung des Datenschutzes und der Anonymität wird im Weiteren, wenn nicht gesondert ausgewiesen, die Bezeichnung „Proband“ ohne geschlechtliche Differenzierung verwendet.

Von den 44 Probanden waren 17 Männer sowie 26 Frauen und ein 10-jähriges Mädchen, das auf dringenden Wunsch der Mutter (außerhalb des EPROS-Deutschland- Kontingents) untersucht worden ist (*Bild 3-2*).

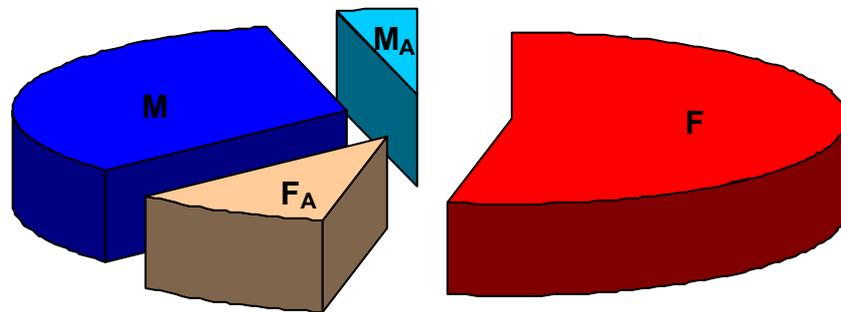


Bild 3-2: Verteilung der 51 untersuchten Probanden:

F ... 27 Frauen (incl. einem Mädchen) mit allen auswertbaren Untersuchungs Nächten,

F_A ... 5 Frauen mit unvollständiger Anzahl von Untersuchungs Nächten,

M ... 17 Männer mit allen auswertbaren Untersuchungs Nächten,

M_A ... 2 Männer mit unvollständiger Anzahl von Untersuchungs Nächten

Insgesamt und einschließlich der Eingewöhnungsnächte wurden bei den 44 Probanden (17 Männer, 26 Frauen und ein Mädchen) **475 Nächte** untersucht.

Bereits in der Pilotphase des EPROS- Projektes musste bei einem bereits untersuchten Probanden nach der Untersuchungsserie festgestellt werden, dass die aufgezeichneten Daten nicht in die Auswertung einbezogen werden konnten, da sich bei der (damals noch nachträglichen) EEG- Auswertung herausgestellt hatte, dass die aufgezeichneten Schlaf- EEGs aufgrund von Elektrodenartefakten und EKG- Signaleinstreuungen in fast der Hälfte der Untersuchungs Nächten nicht auswertbar waren, sodass nur die subjektiven Schlafparameter in die Auswertung einbezogen werden konnten (als Konsequenz waren in weiterer Folge nach jeder Nacht eine Überprüfung der Datenqualität vorgenommen und, wenn nötig, Zusatznächte untersucht worden).

Für die Schlafauswertung konnten daher bezüglich der subjektiven Schlafparameter (Auswertung der Fragebögen) alle **44 Probanden** analysiert werden, in Hinblick auf die aus den Schlaf- EEGs gewonnenen objektiven Schlafparameter konnten jedoch nur Daten von **43 Probanden** einbezogen werden. Da das Problem mit den Elektrodenartefakten bereits in der Pilotphase aufgetreten war, ergaben sich somit

bei den weiteren Probanden, die im Rahmen dieses Forschungsvorhabens untersucht werden konnten, keine weiteren diesbezüglichen Probleme.

3.1.2 Charakterisierung der Probanden

Die untersuchten Probanden zeigten keine geschlechtsspezifischen Altersunterschiede. Der Altersmittelwert der Frauen (ohne dem 10-jährigen Mädchen) lag bei $56 \pm 10,6$ Jahren, jener der Männer $55 \pm 10,5$ Jahren.

Von den untersuchten Probanden lebten etwa gleich viele auf dem Land wie in der Stadt, die Mehrzahl der berufstätigen Personen arbeiten jedoch in der Stadt (*Bild 3-3*).

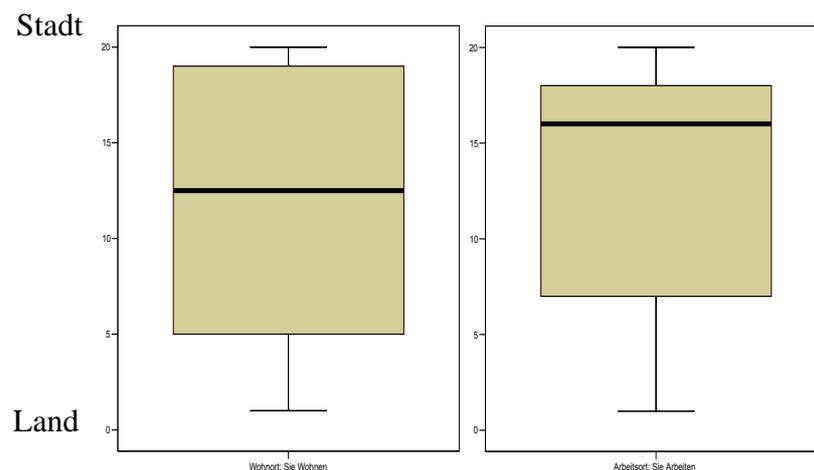


Bild 3-3: Boxplots zur Gegenüberstellung des Arbeits- (rechts) bzw. Wohnortes (links).

Von den untersuchten Probanden gaben 90% an, über eigene Beobachtungen zur Überzeugung gelangt zu sein, dass ihre Beschwerden mit „Elektrosmog“ in Zusammenhang stehen. Ihre Vermutung sei anschließend durch Informationen aus Radio, Fernsehen und Zeitungen bestätigt worden. Immerhin 8 der 44 Probanden wurden zusätzlich von ihrem Arzt in ihrer Überzeugung, „Elektrosmog“ sei der Verursacher, bestärkt (*Bild 3-4*).

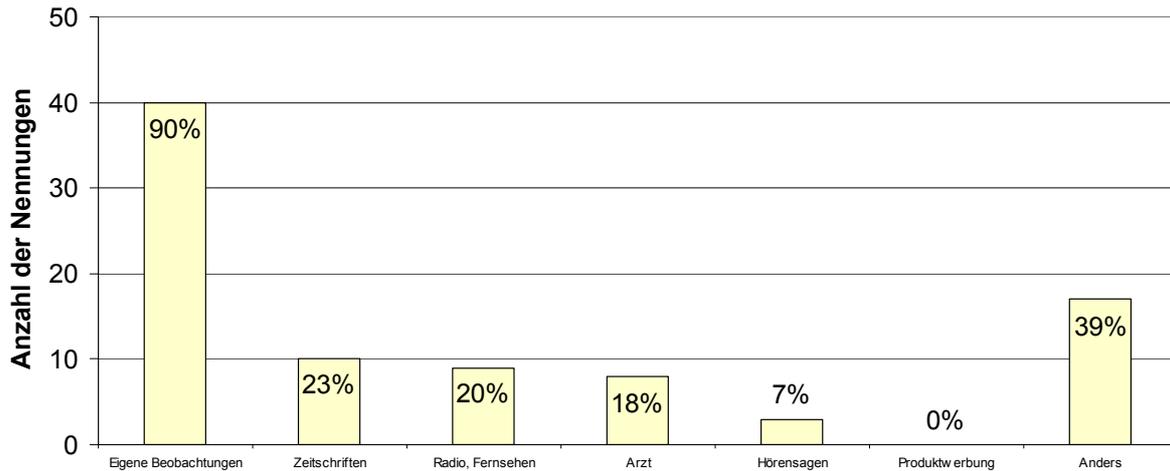


Bild 3-4: Informationsquellen, die zur Überzeugung geführt haben, dass das Schlafproblem durch „Elektrosmog“ verursacht wird.

Anmerkung: Fast 98% aller praktischen Ärzte schließen eine gesundheitsrelevante Beeinflussung durch „Elektrosmog“ nicht aus (Leitgeb et. al. 2005).

Die Auswahl der Probanden erfolgte entsprechend ihrer subjektiven Überzeugung über die kausale Rolle des „Elektrosmogs“. Die Kontrollbefragung mittels Anamnesefragebogen bestätigte das Auswahlkriterium. Alle Probanden zeigten ein aktives Vermeidungsverhalten bezüglich „Elektrosmog“- Quellen. In Hinblick auf die Quellen können jedoch zwei Personengruppen unterschieden werden. Die eine Gruppe, nämlich 75% der Probanden, vermeiden soweit möglich unterschiedlichste Quellen, wogegen dies 25% der Probanden nur hinsichtlich Quellen hochfrequenter elektromagnetischer Wellen tun (*Bild 3-5*). Die Länge der farbigen Balken in *Bild 3-5* gibt an, wie intensiv die unterschiedlichen Quellen aktiv vermieden werden („nie“, „wenn möglich“ oder „immer“).

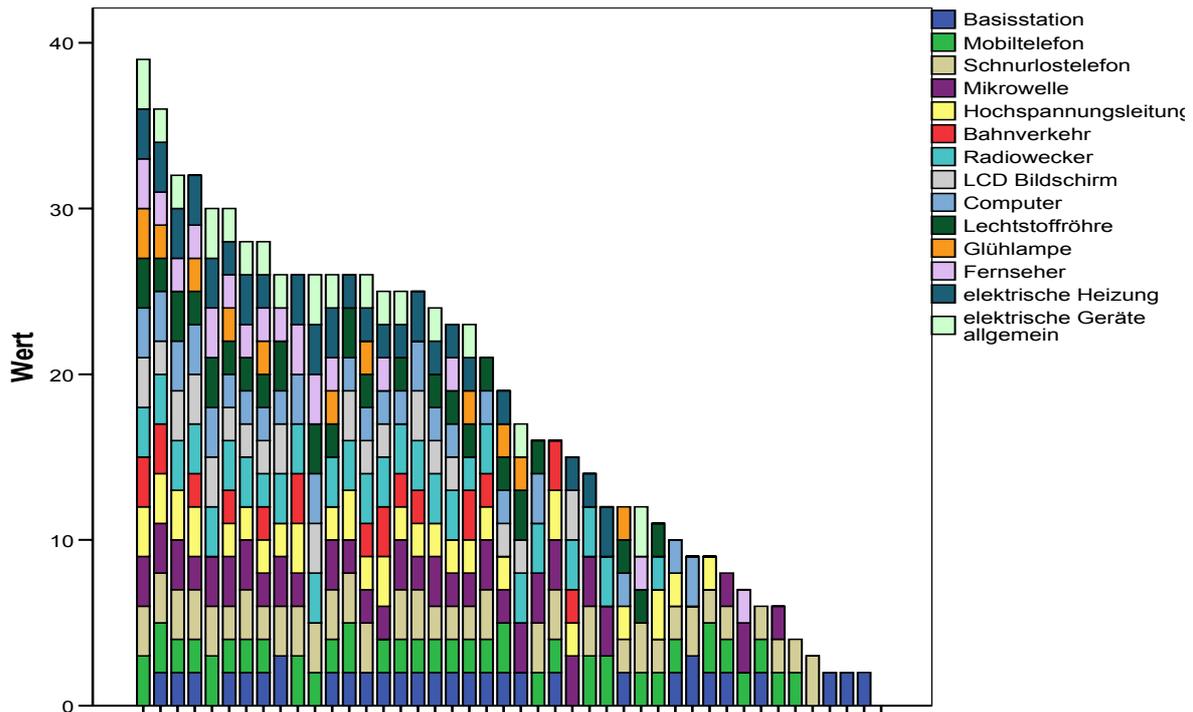


Bild 3-5: „Elektrosmog“- Quellen, die von den Probanden aktiv gemieden werden. Die Balkenlänge pro Quelle ist verlängert dargestellt, wenn die Vermeidung nicht nur „wenn möglich“, sondern „immer“ erfolgte (einer der 44 Probanden hat die Frage nicht beantwortet).

Basisstationen, Mobiltelefone und Schnurlostelefone wurden am häufigsten als „Elektrosmog“- Verursacher genannt. Nur in einigen wenigen Fällen wurden nur eine oder zwei Quellen als Verursacher angeführt. Mehr als die Hälfte der untersuchten Probanden bezeichneten drei verschiedene Quellen als mögliche Verursacher ihrer Symptome (*Bild 3-6*). Die Länge der farbigen Balken in *Bild 3-6* gibt die Häufigkeit der auftretenden Symptome verursacht durch die angegebenen Quellen an („nie“, „gelegentlich“ oder „immer“).

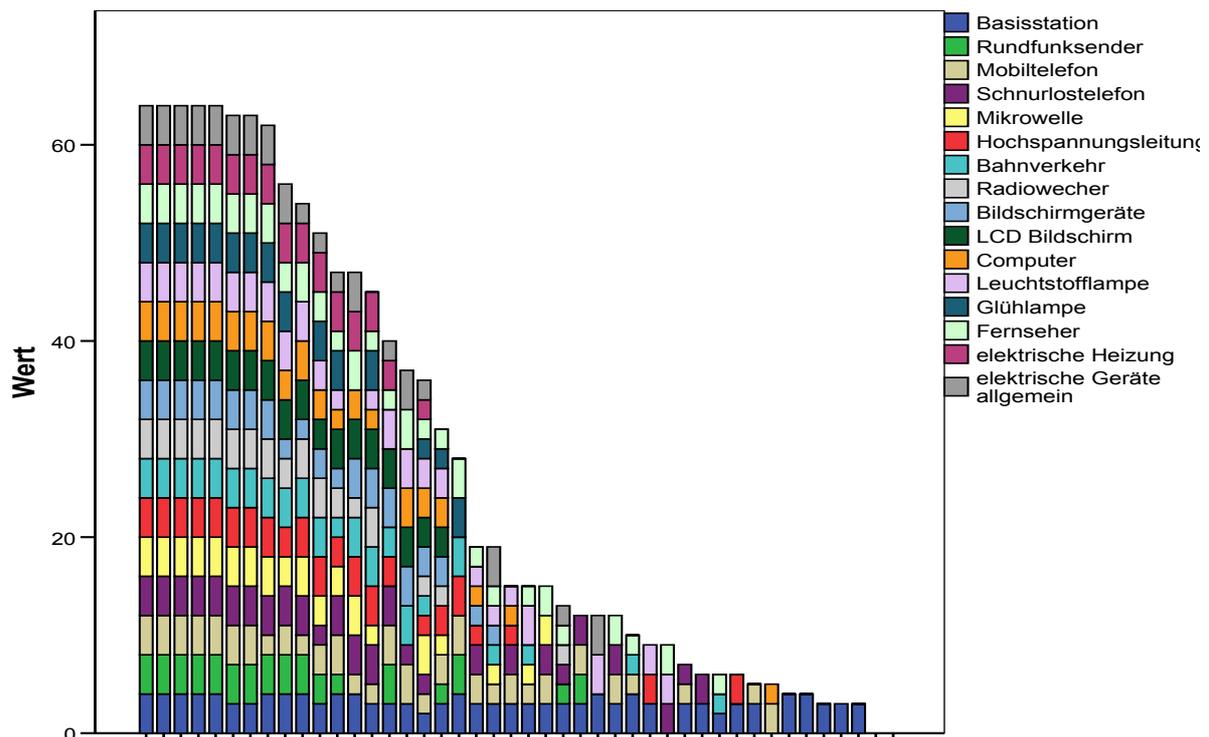


Bild 3-6: Vermutete Verursacher der Schlafprobleme. Die Balkenlänge pro Quelle ist verlängert, wenn angegeben wurde, dass die Quelle die Schlafprobleme nicht nur „gelegentlich“, sondern „immer“ verursacht (zwei der 44 Probanden haben die Frage nicht beantwortet).

In Hinblick auf das Studiendesign, war es wichtig, abzuklären, wie schnell Probanden nach ihrer Einschätzung auf den Wegfall des „Elektrosmog“ reagierten. Das Einsetzen der Beschwerden bei „Elektrosmog“ tritt demnach bei 75% der Probanden sofort ohne Verzögerung ein. Dies bestätigte die Untersuchungsannahme, dass die Abschirmung unmittelbare Effekte haben sollte.

Etwa 25% der Probanden gaben an, die „Elektrosmog“- Beschwerden träten verzögert ein, davon bei neun Probanden von ca. 30min bis zu 3 Stunden verzögert, bzw. bei einem weiteren Probanden um ca. 12 Stunden und bei zwei weiteren um 2-3 Tage verzögert.

Die Aussagen über verzögerte Symptome wurden überprüft, indem in diesen Fällen in den ersten zwei Untersuchungs Nächten Schirmbedingungen vorgesehen wurden und erst die weitere Reihenfolge vom Zufallsgenerator festgelegt wurde. Die Ergebnisse bestätigten die Angaben der Probanden jedoch nicht. Subjektive Reaktionen traten, wenn es sie gab, auch in ihren Fällen, unverzögert auf.

Ob die Einstellung zum „Elektrosmog“ durch die Bildung oder die Zugehörigkeit zu einer bestimmten sozialen Schicht beeinflusst wird, wurde durch die Erfassung der Ausbildung und des Berufs untersucht. So haben 44% der Probanden als höchste abgeschlossene Ausbildung eine Lehre absolviert, 9% sind Pflichtschulabsolventen, 28% haben einen Maturaabschluss und 19% einen Hochschulabschluss (*Bild 3-7, links*). Dies bestätigt das Ergebnis früherer Arbeiten (Levallois et al. 2002 und Hillert et al. 2002) wonach Befürchtungen über „Elektrosmog“ von der Ausbildung nicht abhängen. Auch hinsichtlich der Berufsgruppen- Zugehörigkeit zeigt das untersuchte Probandenkollektiv keine Besonderheiten (*Bild 3-7, rechts*).

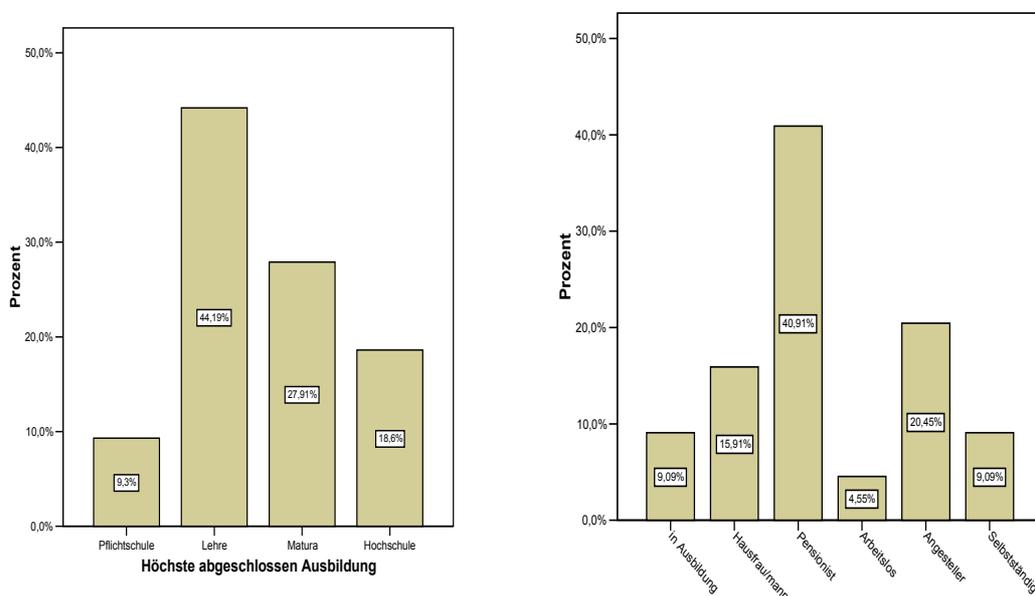


Bild 3-7: Sozialer Hintergrund der Probanden in Bezug auf die Ausbildung (links) und die Berufsgruppe (rechts).

Der persönliche Hintergrund der Probanden wurde in einem Anamnesefragebogen erfasst. Ihre Einstellung zu gesundheitlichen Risiken ließ sich mit Hilfe der Fragen „Ernähren Sie sich gesund?“, „Rauchen Sie?“ und „Trinken Sie Alkohol?“ erfassen. Das Ergebnis zeigt, dass sich über 65% der Probanden gesund ernährten, nur 14% der Probanden „regelmäßig“ und 5% „gelegentlich“ Rauchen. Alkohol nahmen ca. 70% der Probanden „gelegentlich“ zu sich (*Bild 3-8*).

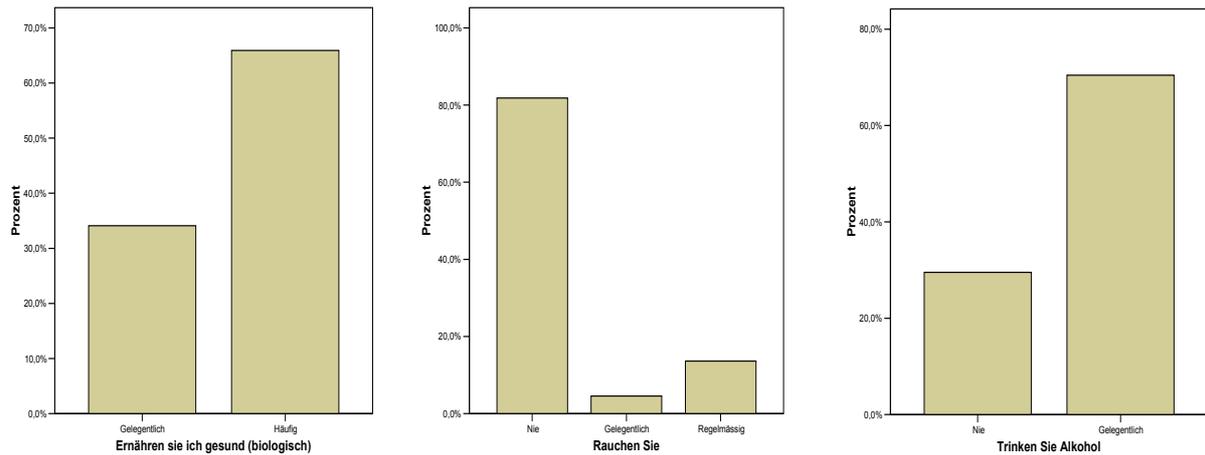


Bild 3-8: Lebensgewohnheiten der Probanden in Bezug auf Ernährung (links), Rauchen (Mitte) und Alkoholkonsum (rechts).

Vor Beginn der Untersuchung bezeichneten ca. 40% der Probanden ihren Gesundheitszustand als „eher schlecht“. Allerdings gaben nur 75% der Probanden an, dass sie **aktuelle** Gesundheitsbeschwerden hätten, wobei wiederum nur 48% der Probanden Schlafstörungen als ihr derzeitiges Problem angaben (*Bild 3-9*). Allerdings gaben bei der Frage „Welche Ihrer Beschwerden führen sie auf „**Elektrosmog**“ zurück?“ 82% der Probanden an, dies seien „Schlafstörungen“⁴. Von den acht Probanden die dies nicht angegeben hatten, gaben vier keine Symptome an und die restlichen vier gaben primär Kopfschmerzen, Ohrengeräusche und Hautjuckreiz als Symptome an, die sie auf Elektrosmog zurückführten.

Über 90% der Probanden hatten ihre gesundheitlichen Beschwerden schon bereits länger als ein Jahr (*Bild 3-10*).

⁴ Dies ist insofern etwas überraschend, weil das Bestehen von Schlafstörungen und die subjektive Überzeugung über die Rolle des „Elektrosmog“ ein wichtiges Akzeptanzkriterium war.

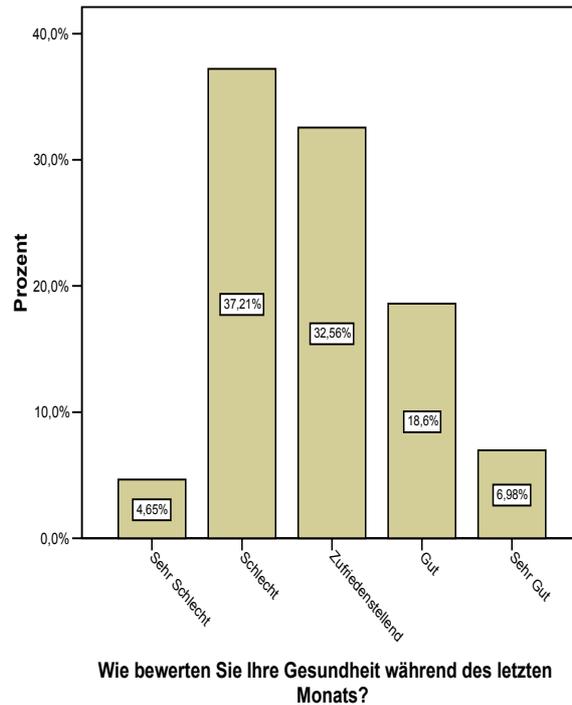


Bild 3-9: Einschätzung des Gesundheitszustandes während des letzten Monats.

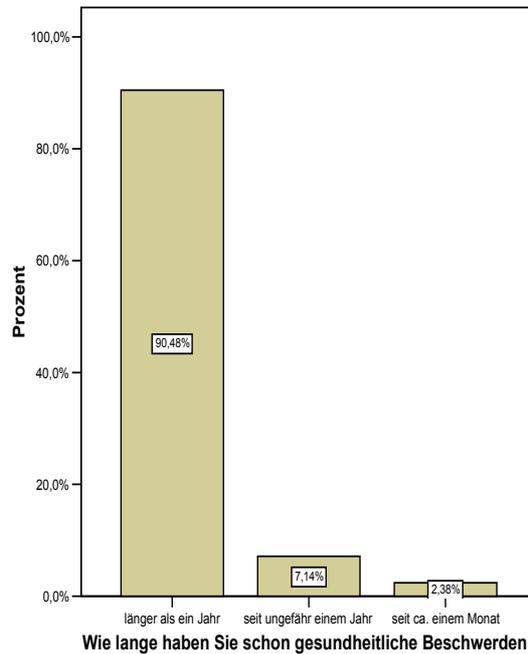


Bild 3-10: Dauer der Gesundheitsbeschwerden.

Ungefähr die Hälfte, nämlich 21 der 44 Probanden gab an, unter Allergien zu leiden. Am häufigsten mit insgesamt je 9 Nennungen wurden „Medikamente“ angegeben, gefolgt von „Wasseradern“ mit 7 Nennungen, „Staub“ mit 5 Nennungen und „Pollen/Gräser und Schimmel“ mit je 4 Nennungen.

Auf die Frage „Wie oft fühlen Sie sich im Schlaf durch „Elektrosmog“ gestört?“ gaben über 90% der Probanden an, dies sei täglich der Fall. Dieser hohe Prozentsatz ist jedoch dadurch bedingt, dass tägliche Schlafstörungen eine Aufnahmebedingung in die Studie darstellten.

Bezüglich der Häufigkeit des Auftretens von Gesundheitsstörungen gaben (naturgemäß) alle Probanden „Schlafstörungen“ an. Ein Großteil der Probanden zeigte weitere Beschwerden wie z.B. „Tagesmüdigkeit“ mit maximaler Häufigkeit (Wert 4 = „immer“). Ebenfalls sehr häufig genannt wurden „Konzentrationsprobleme“, „Kopfschmerzen“ und „Erinnerungsprobleme“ (*Bild 3-11*). Die Länge der einzelnen Balken entspricht der Häufigkeit der auftretenden Symptome („1x im Monat“, „1x pro Woche“, „mehrmals pro Woche“ oder „täglich“), wobei im *Bild 3-11* bei Angabe „nie“ kein Balken eingezeichnet wurde.

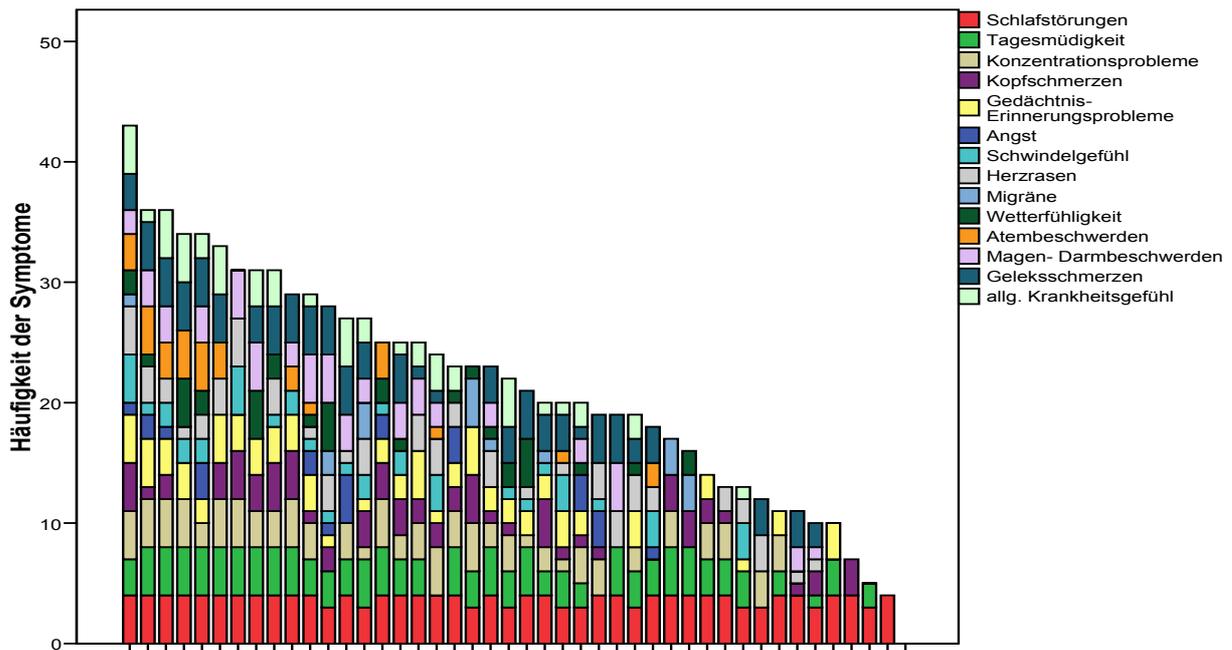


Bild 3-11: Anzahl und Häufigkeit der Gesundheitsstörungen pro Proband. Die Länge der einzelnen Balken entspricht der Häufigkeit der auftretenden Symptome, d.h. „1x im Monat“, „1x pro Woche“, „mehrmals pro Woche“ oder „täglich“ (einer der 44 Probanden hat die Frage nicht beantwortet).

Zur Quantisierung des individuellen Schlafproblems wurde aus dem Anamnesefragebogen der „Pittsburgher Schlafqualitätsindex (PSQI)“ (Buysse et al. 1988) ermittelt, der auf der Befragung nach den üblichen Schlafgewohnheiten des Probanden während der letzten zwei Wochen beruht. Insgesamt wird ein PSQI-

Gesamtwert aus 7 Teilangaben gebildet. Sein Wertebereich umfasst 21 Punkten, wobei 0 Punkte keinerlei Schwierigkeiten und 21 Punkte große Schwierigkeiten bedeuten. Der „Cut-Off“ zur Trennung zwischen „guter“ und „schlechter Schläfer“ liegt bei einem PSQI- Gesamtwert von 5. Es zeigt sich, dass mit einer Ausnahme alle Probanden als schlechte Schläfer einzustufen waren (*Bild 3-12*).

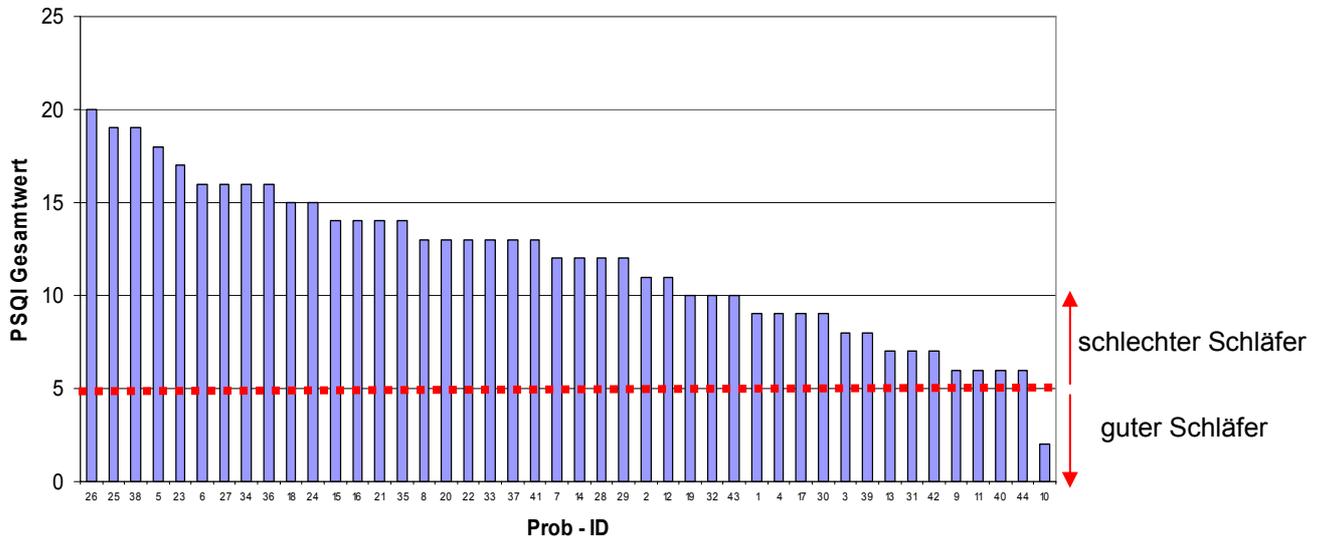


Bild 3-12: Schweregrad der Schlafstörungen, ermittelt als PSQI aufgrund der Fragebogen- Antworten über die letzten 14 Tage. Probanden mit PSQI- Werten über 5 sind als schlechte Schläfer einzustufen.

3.2 elektromagnetische Immissionen

Im Rahmen der Studie konnte kontinuierlich und über viele Nächte hindurch die Immission von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern untersucht werden. Dies erlaubt es, folgende Fragen zu klären:

1. Wie groß ist die Gesamt- Immission im Vergleich zu den zulässigen Referenzwerten?
2. Wie stark sind an einem Standort die zeitlichen Schwankungen der Hochfrequenz- Immissionen?
3. Wie groß sind die Anteile des Mobilfunks im Vergleich zur Gesamtimmission?
4. Wie groß ist der Anteil der von den Handys ausgesendeten Uplink- Signale im Vergleich zur gesamten Mobilfunk- Immission?

3.2.1 Gesamt- HF- Immission

Die HF- Immission wurden mit dem Messsystem TS-EMF von Rohde & Schwarz mit der dazugehörenden Breitband- Messsonde erfasst. Die Frequenzanalyse wurde mit dem Spektrumanalysator FSH3 von Rohde & Schwarz durchgeführt. Die Messsonde befand sich dabei ständig mittig innerhalb des Schirmes, ca. 1m über dem Schlafplatz (*Bild 3-13*). Die Immissionen wurden im Frequenzbereich zwischen 80MHz und 2,5GHz aufgenommen, wobei jedoch in Bereichen besonders intensiver Frequenznutzung mit höherer Frequenzauflösung gemessen wurde. Dies bewirkt in diesen Frequenzbändern einen kleineren Rauschpegel und erklärt die stufenförmigen Absenkungen in dargestellten Spektren (*Bild 3-14*).



Bild 3-13: Messposition der HF- Messsonde

Die Berechnung der Gesamtmission als Anteil vom zulässigen Referenzwert erfolgte unter Berücksichtigung der frequenzabhängigen Referenzwertkurve und dem Eigenrauschen des Spektralanalyators und wurde mithilfe folgender Formel berechnet:

$$I_{ges} = \sqrt{\sum_{f_i=80MHz}^{3GHz} \left(\frac{E_{f_i}}{E_{RW,f_i}} \right)^2} \leq 1 \quad (3-1)$$

für alle $E_{f_i} > 3\text{db}$ vom Eigenrauschen des Spektralanalyators

I_{ges} Gesamtmission

E_{f_i} gemessener Spektralanteil der elektrischen Feldstärke bei der Frequenz f_i

E_{RW,f_i} Referenzwert der elektrischen Feldstärke bei der Frequenz f_i

Vor jeder Messung wurde der Rauschpegel des Analysators bei nicht angeschlossener Messsonde ermittelt.

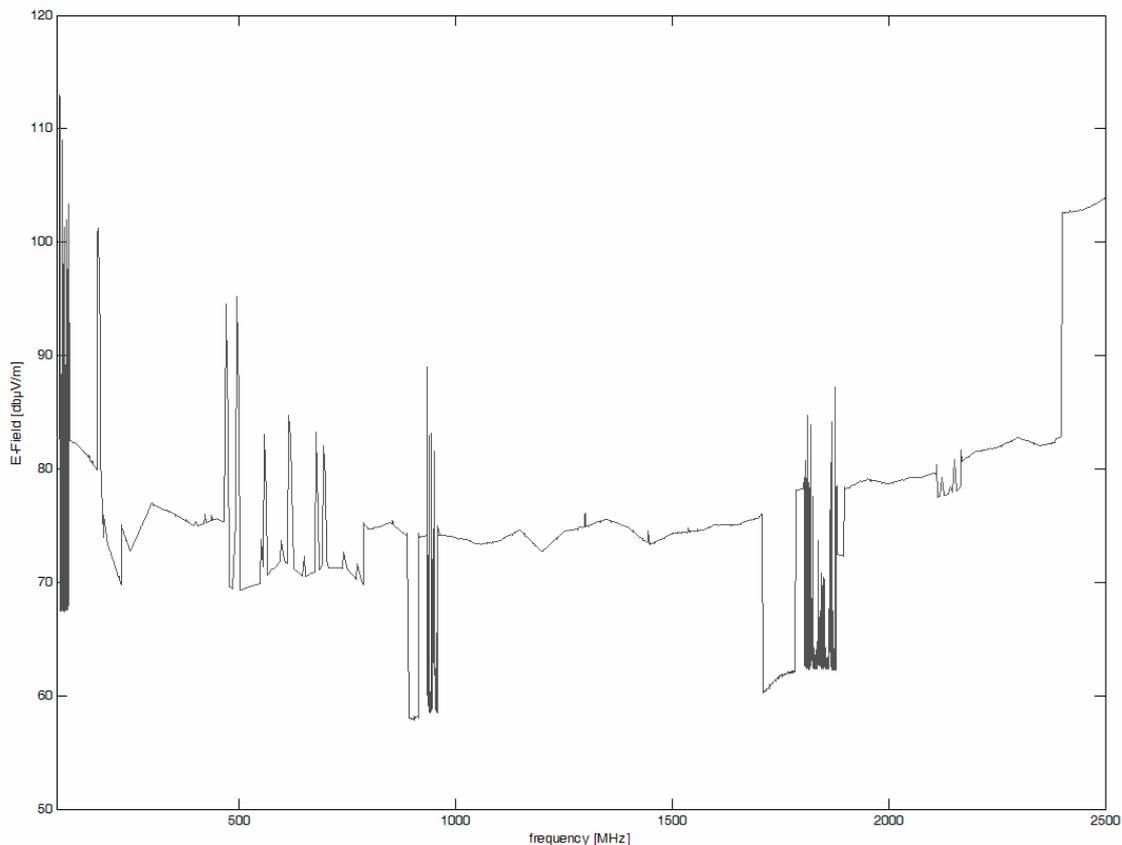


Bild 3-14: Mittelwert aller in 6 ungeschirmten Nächten gemessenen Spektren an einem Standort.

Anmerkung: Der signifikant verringerte Rauschanteil in einzelnen Frequenzbändern ist in der dort gewählten feineren Frequenzauflösung begründet.

Es zeigt sich, dass der größte ermittelte Mittelwert der Gesamtimmission über jeweils eine Nacht 3,5% des Referenzwertes betragen hat; überwiegend lagen die Nacht-Mittelwerte jedoch unter 0,5%.

Anmerkung: Bei den vier höchsten Immissionen (Bild 3-15) dominierte der UKW- Anteil. Im Bereich Graz (Bild 3-15, rote Punkte) werden die Immissionen durch UKW- und Fernsehanteile dominiert, da sich auf einem Berg, in ca. 15km Entfernung, ein Rundfunk- und Fernsehsender mit einer Sendeleistung von insgesamt über 2MW befindet.

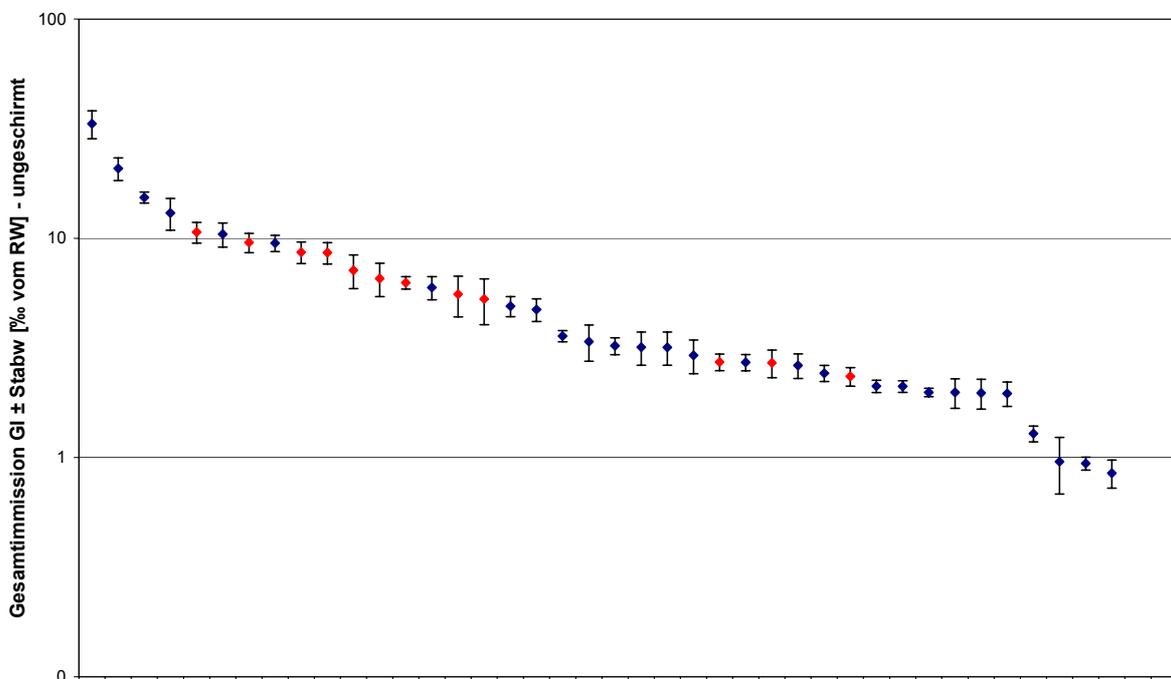


Bild 3-15: Gesamtimmission (GI) durch hochfrequente elektromagnetische Felder (Gesamtmittelwerte und Streubereiche) im Frequenzbereich 80MHz bis 2,5GHz, an verschiedenen Schlafplätzen, gemittelt über je 6 ungeschirmte Nächte (Messwerte aus dem Großraum Graz wurden in rot dargestellt).

3.2.2 Zeitliche Immissionsschwankungen

Bild 3-15 zeigt, dass die Streubereiche und damit die zeitlichen Schwankungen der Immissionen unterschiedlich groß sind. Die Streuungen der Nacht- Mittelwerte können von wenigen Prozent bis zu ca. 20% reichen. Bild 3-16 zeigt beispielhaft die

Schar übereinander gezeichneter Einzelspektren während aller 6 ungeschirmten Untersuchungs Nächte an einem Standort. Die Variabilität der Immission zeigt sich darin als Verbreiterung des Linienzuges des Spektrums.

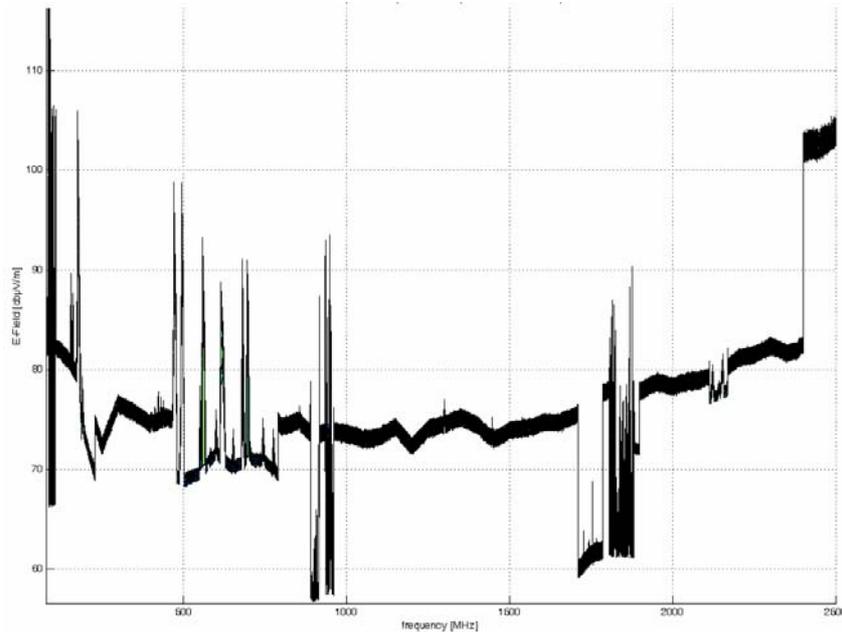


Bild 3-16: Übereinander gezeichnete Einzelspektren am Standort gemäß Bild 3-14, gemessen in allen 6 ungeschirmten Nächten.

Anmerkung: Die zeitliche Variation der Einzelspektren lässt sich insbesondere an der Verbreiterung der Linie des Rauschpegels erkennen.

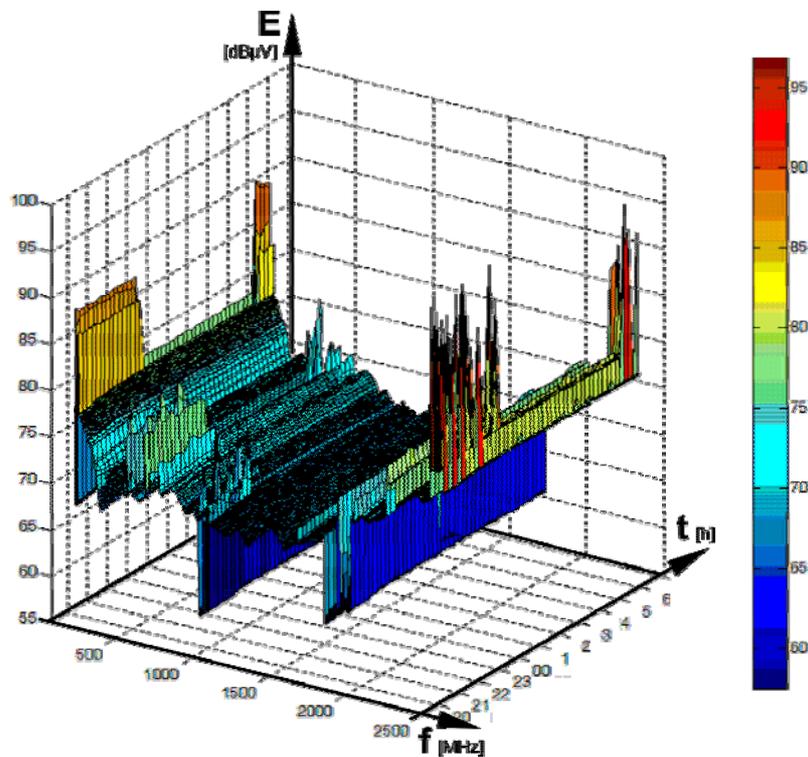


Bild 3-17: Variation der HF- Immission in den verschiedenen Frequenzbändern am Beispiel einer geschirmten Nacht.

In Bild 3-17 ist die Variation der HF- Immission in den verschiedenen Frequenzbändern am Beispiel einer geschirmten Nacht dargestellt. Man erkennt die Absenkung nach dem Schließen des Schirmes und die Schwankungen durch Änderung der Sendestärke bzw. der durch die Wellenausbreitung verursachten Variationen.

Aus den Ergebnissen geht hervor, dass die Immissionen in den Schlafzimmern der Probanden weit unterhalb der Referenzwerte gelegen sind. Auch kurzzeitig lag die Ausschöpfung des Referenzwertes stets unterhalb von 5%.

3.2.3 Gesamt- Mobilfunkanteil

In Hinblick auf die von den Probanden aufgestellten Vermutungen über die Ursache ihrer Schlafstörungen ist der relative Anteil des Mobilfunks an der Gesamtimmission von Interesse. Der Prozentsatz sagt allerdings nichts über die absolute Größe aus, weil diese naturgemäß auch von der Stärke der sonstigen Hochfrequenzeinstrahlung, insbesondere der Stärke der UKW- Rundfunkwellen, abhängt.

Bild 3-18 zeigt die Gegenüberstellung des Anteils der GSM- Mobilfunkimmission über dem Anteil der UKW- Immission in Promille des Referenzwertes an verschiedenen Schlafplätzen. Einige Punkte sind deckungsgleich, weil die Immissionen entweder aus Zufall gleich waren oder weil am gleichen Standort zwei Personen (hinter einander) untersucht worden sind. Man erkennt, dass in 77% der Fälle der Rundfunkanteil dominiert.

Anmerkung. Bei Immissionen unter 1⁰/₁₀₀ vom Referenzwert ergibt die Berechnung der relativen Anteile aufgrund des geringeren Signal/ Rausch- Abstandes und der damit verbundenen größeren Messunsicherheit noch ausreichend zuverlässige Werte.

Der Feldstärkemessbereich des HF-Messsystems liegt im Bereich von 1mV/m bis 100V/m. Der Referenzwert für elektrische Felder im GSM-Bereich liegt bei 40V/m (GSM 900MHz) bzw. 58V/m (GSM 1800MHz). Der gemessene Rauschpegel liegt bei rund 4mV/m (GSM 900MHz) bzw. rund 3mV/m (GSM 1800MHz). Unter Berücksichtigung eines 3dB-Rauschabstand ergibt das eine „Bewertungsgrenze“, die ausreichend weit unterhalb der gemessenen Gesamtimmission liegt.

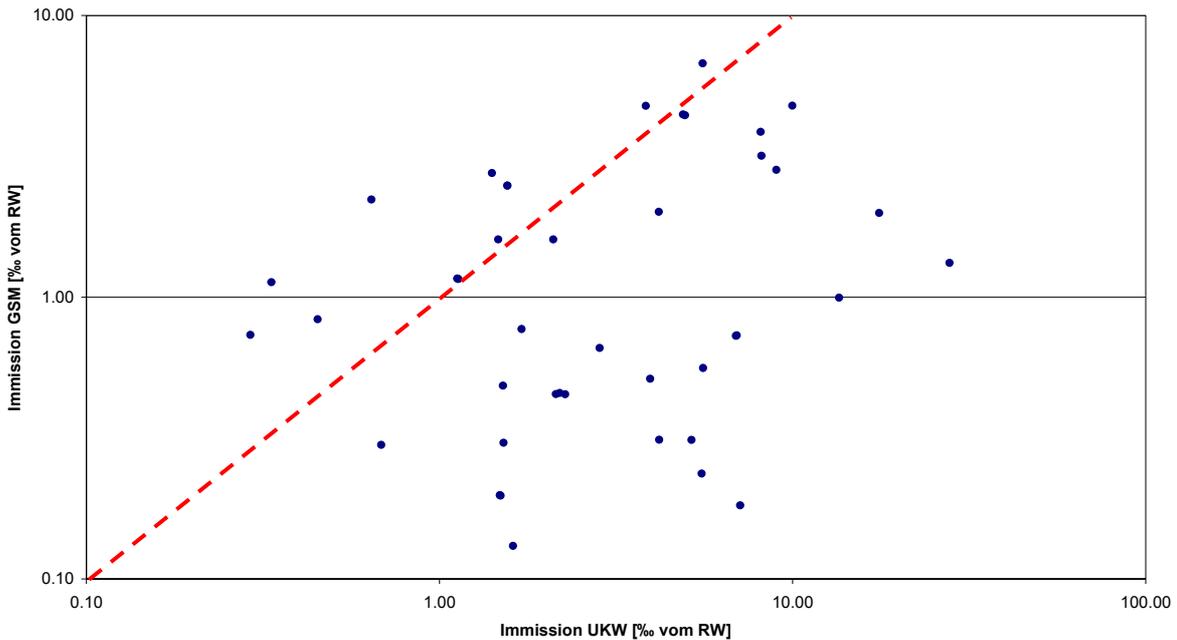
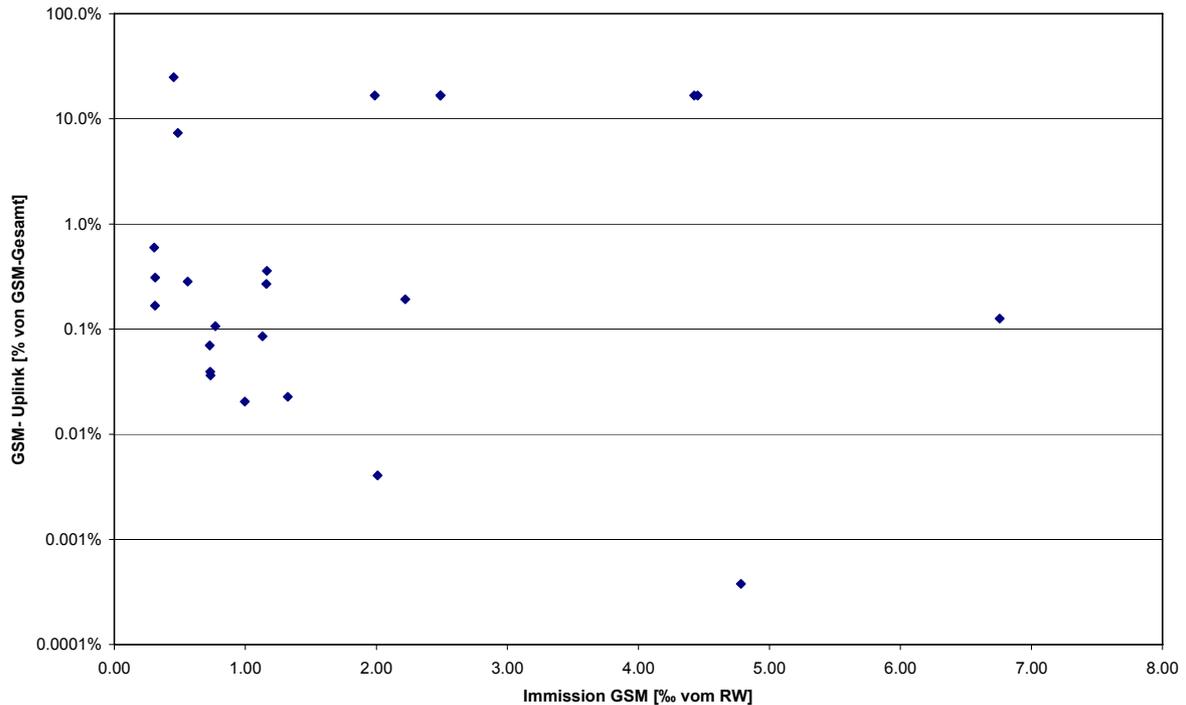


Bild 3-18: Anteil der GSM- Mobilfunkimmission bei den 44 Probanden in Abhängigkeit der UKW- Immission in Promille vom Referenzwert. Je Proband wurden jeweils die Mittelwerte des Immissionsanteils von ungeschirmten Nächten dargestellt. (Einige Punkte sind deckungsgleich, weil die Immissionen entweder aus Zufall gleich waren oder weil am gleichen Standort zwei Personen (hintereinander) untersucht worden sind.)

3.2.4 Uplink- Anteil

Die Mobilfunkimmission wird einerseits durch die Aussendungen der Mobilfunk-Basisstation (Downlink) und andererseits durch die von den Handys zurückgesendeten Signalanteile (Uplink) bestimmt. Während die Sendeleistung einer Basisstation mit einem Antennengewinn gerichtet ausgestrahlt wird, stellen Handys Rundstrahler dar, die mit kleinerer Sendeleistung senden und im Gesamtgebiet innerhalb einer Mobilfunkzelle verteilt sind. Es ist daher anzunehmen, dass (von Häufungsbereichen wie Fußgängerzonen oder Versammlungsstätten abgesehen) die von den innerhalb einer Mobilfunkzelle zufällig verteilten Standorten der Handynutzung ausgehenden Uplink- Anteile im Mittel einen räumlich relativ gleichmäßigeren Hintergrundpegel verursachen als die Downlink- Anteile eines fix positionierten Senders mit der im Mittel quadratischen Abnahme der Signalintensität.



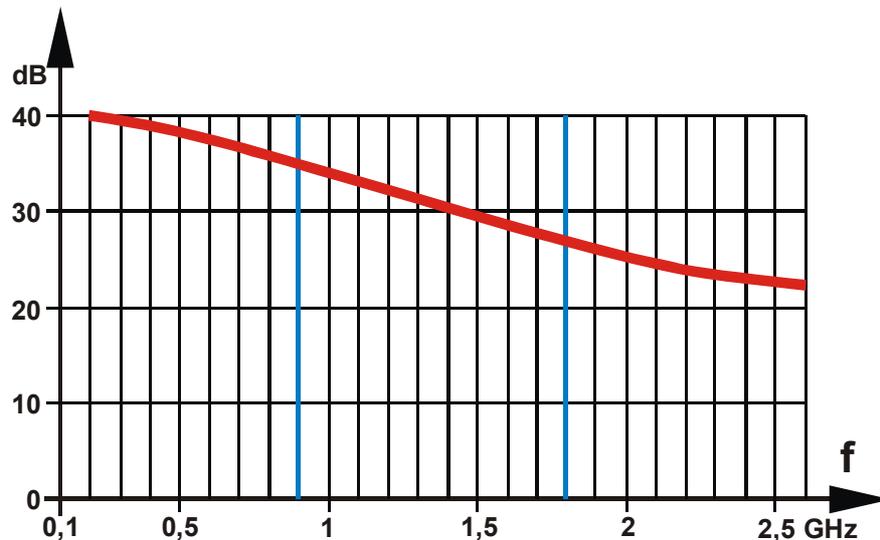


Bild 3-20: Frequenzabhängiger Schirmfaktor des verwendeten Schirmgewebes

Zur Überprüfung der Schirmbedingung, z.B. ob der Schirm sorgfältig aufgebaut wurde, nach dem Zubettgehen gut geschlossen wurde und auch während der gesamten Nacht geschlossen blieb (bzw. nach nächtlichem Aufstehen auch wieder sorgsam geschlossen wurde) wurde der Schirmfaktor für die Gesamtimmission nach folgender Formel berechnet:

$$\alpha_{\text{Schirm}} = 20 \log \frac{\text{Mittelwert } I_{\text{ges,ug}}}{\text{Mittelwert } I_{\text{ges,g}}} \quad [\text{in dB}]$$

(3-2)

$I_{\text{ges,ug}}$ Gesamtimmission während ungeschirmter (Kontroll- und Sham-) Nächte
 $I_{\text{ges,g}}$ Gesamtimmission während geschirmter (Verum-) Nächte
 α_{Schirm} Schirmfaktor in dB

In Bild 3-21 ist die Menge der bei allen Probanden nach (3-2) ermittelten Schirmfaktoren als Boxplot dargestellt. Der Median beträgt 19,3dB und der Interquartilbereich liegt zwischen 15dB und 24dB.

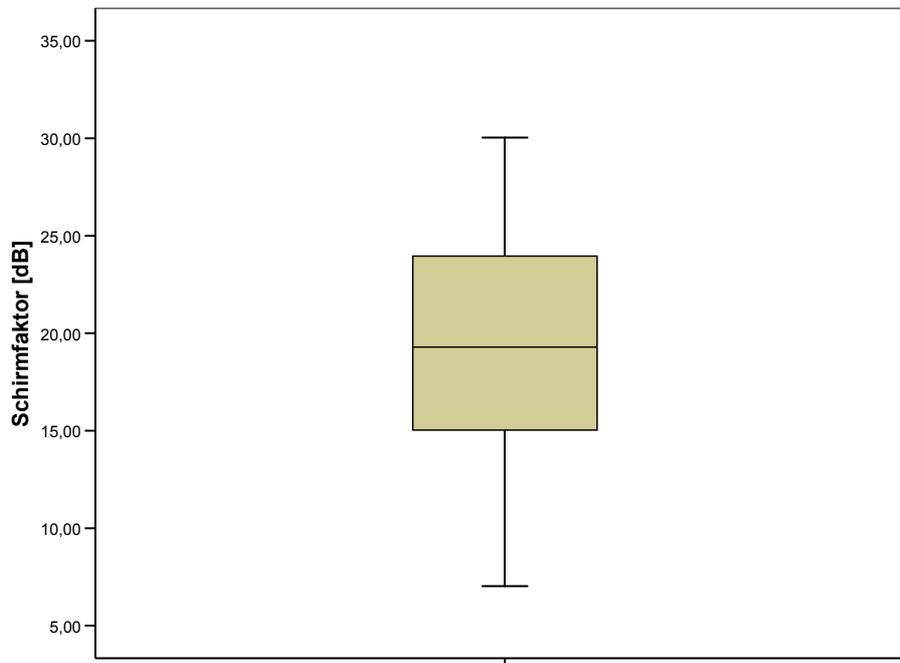


Bild 3-21: Boxplot des Schirmfaktors der Gesamtmission [in dB] für alle untersuchten Probanden.

Die Überprüfung der Schirmfaktoren diente auch der Kontrolle, ob durch die erforderlichen Waschvorgänge eine Verschlechterung der Schirmwirkung bewirkt wurde. Es ergaben sich jedoch keine zeitabhängigen Veränderungen.

3.3 Elektrosensitivität

Die Frage, ob es Personen gibt, die besonders sensitiv auf „Elektrosmog“ reagieren, wurde in vorangegangenen umfangreichen Arbeiten im Niederfrequenzbereich untersucht. Dazu wurde mit Hilfe speziell entwickelter Reizstromgeräte die Wahrnehmbarkeitsschwelle für 50Hz-Wechselströme im Doppelblindversuch gemessen, die mittels Elektroden am Unterarm der Probanden direkt eingekoppelt wurden. Im Vergleich mit den Ergebnissen an der Allgemeinbevölkerung konnte gezeigt werden, dass die Reizschwellen bei Personen, die sich selbst als „elektrosensibel“ bezeichnen, tatsächlich tendenziell nach niedrigeren Werten verschoben waren (Leitgeb und Schröttner, 2003).

Netzfrequente elektrische Ströme stellen im Wesentlichen unspezifische Reize dar. Die Messungen der Reizschwellen für 50Hz- Wechselströme lassen zwar keine direkte Extrapolation auf Empfindlichkeiten gegenüber hochfrequenten

elektromagnetischen Feldern zu, sie können jedoch als relative Indikatoren für den Zustand des autonomen Nervensystems und damit die allgemeine reaktive Ausgangslage einer Person angesehen werden. In diesem Sinn war die Einbeziehung dieses Untersuchungsparameters vorgesehen.

Da die Wahrnehmbarkeitsmessungen pro Bestimmung 6 Mal durchgeführt wurden, lässt sich ein Elektrosensitivitätsdiagramm zeichnen, in dem der Mittelwert der gemessenen Wahrnehmbarkeitsschwellen- Serie auf der Abszisse (SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich) und die Streuung der Messwerte auf der Ordinate (SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß) aufgetragen werden. Anhand der an der Bevölkerung erhobenen Daten kann darin der Normalbereich und die Empfindlichkeits- bzw. Unempfindlichkeitsbereiche angegeben werden (*Bild 3-23, Bild 3-24*). Der Normalbereich erstreckt sich von $152\mu\text{A}$ bis $590\mu\text{A}$. Darunter bzw. darüber liegen die Empfindlichkeits- bzw. Unempfindlichkeitsbereiche, wobei Werte außerhalb der 2σ -Grenze, also unter $81\mu\text{A}$, dem Bereich „sehr empfindlich“ und Werte über $1.072\mu\text{A}$ dem Bereich „unempfindlich“ zugeordnet wurden.

Die im Elektrosensitivitätsdiagramm aufgetragenen Streuungen wurden jeweils auf die Wahrnehmbarkeitsschwellen der jeweiligen Probanden normiert. Der Normalbereich der normierten Streuungen (ermittelt aus der log-Normalverteilung) liegt zwischen 1,24 und 2,38. Unter 1,24 liegt der Bereich der kleinen Streuungen. Der Bereich sehr kleiner Streuungen liegt unterhalb von 1,12. Über dem Normalbereich liegt der Bereich erhöhter Streuung, Werte über 5,30 liegen im Bereich sehr großer Streuung.

Es ist bemerkenswert, dass sich insgesamt die Elektrosensitivität sowohl der weiblichen als auch der männlichen Probanden von jener der Allgemeinbevölkerung unterscheidet (Leitgeb und Schröttner, 2003). Die Bilder *Bild 3-22, Bild 3-23* und *Bild 3-24* zeigen, dass die Wahrnehmbarkeitsschwellen des Probandenkollektivs im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung deutlich nach niedrigeren Werten verschoben sind. Der Vergleich der Verteilungen der Wahrnehmungswahrscheinlichkeiten zeigt, dass der Median der Wahrnehmbarkeitsschwellen der Probanden deutlich kleiner ist, als jener der Allgemeinbevölkerung. Der Unterschied ist statistisch hoch signifikant

($p < 0,001$). Dies ist deshalb bemerkenswert, weil die individuelle Elektrosensitivität kein Kriterium für die Einbeziehung in die Studie darstellte.

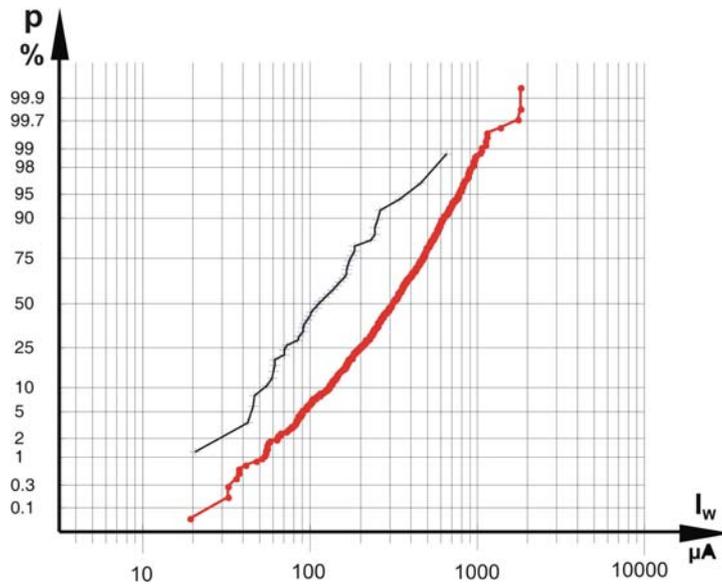


Bild 3-22: Die Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung von 50Hz-elektrischen Strömen von 44 (männlichen und weiblichen) Probanden im Vergleich zur erwachsenen Allgemeinbevölkerung (die erhöhte Empfindlichkeit von Frauen wurde dabei durch Division mit dem Faktor 0,77 berücksichtigt)

Bezüglich der Wahrnehmbarkeitsschwelle zeigen die Bilder *Bild 3-23* und *Bild 3-24* bei den Probanden erhöhte Streuungen im Vergleich zum Normalbefund.

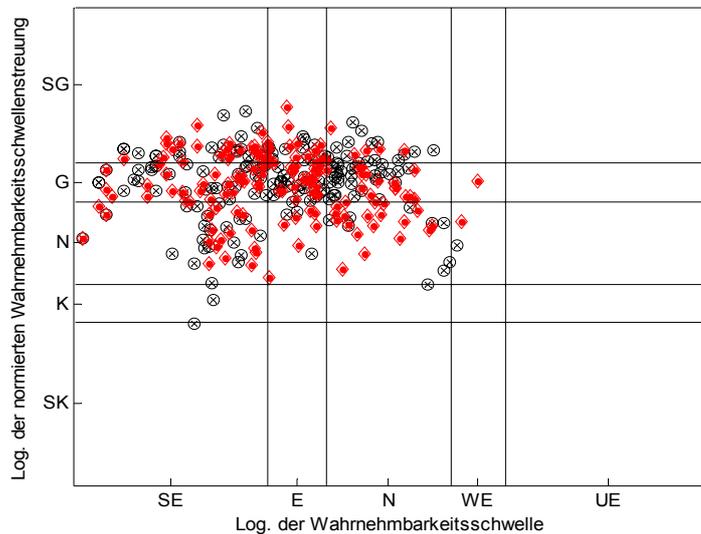


Bild 3-23: Wahrnehmbarkeitsschwellen für 50Hz-elektrische Ströme und auf die Wahrnehmbarkeitsschwelle normierte Streuung der aufeinanderfolgenden Einzelmessungen in doppelt-logarithmischem Maßstab, bestimmt an 17 männlichen Probanden, gemessen am Abend (Kreise) und am Morgen (Rauten). SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich; SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß

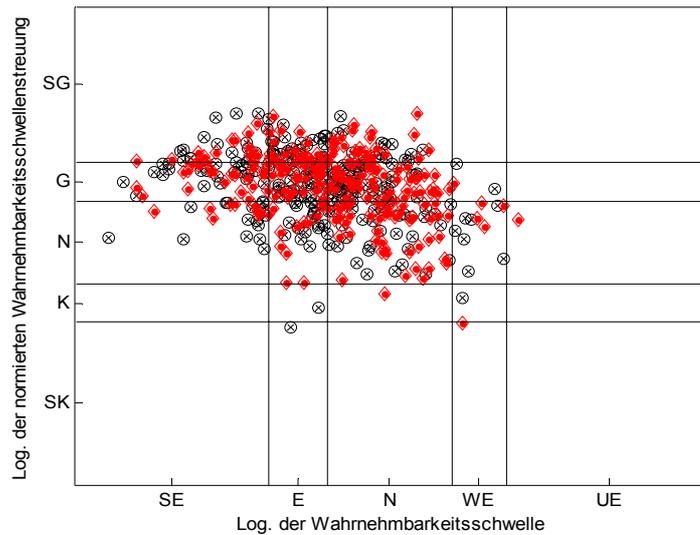


Bild 3-24: Wahrnehmbarkeitsschwellen für 50Hz-elektrische Ströme und auf die Wahrnehmbarkeitsschwelle normierte Streuung der aufeinanderfolgenden Einzelmessungen in doppelt-logarithmischem Maßstab, bestimmt an 27 weiblichen Probanden, gemessen am Abend (Kreise) und am Morgen (Rauten). SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß

Charakterisiert man die Elektrosensitivität einzelner Probanden durch den Medianwert der gemessenen Wahrnehmbarkeitsschwellen (*Bild 3-22*), zeigt sich, dass

- 27% der Probanden als sehr elektrosensitiv,
- 36% der Probanden als elektrosensitiv einzustufen waren und
- nur die Ergebnisse von 37% der Probanden im Normalbereich lagen bzw. ein Proband im wenig empfindlichen Bereich lag.

Die Reproduzierbarkeit der Wiederholungsmessungen war überwiegend (bei 84%) der Probanden schlechter als bei der Allgemeinbevölkerung, nur bei 14% der Probanden lag sie im Normalbereich (*Bild 3-25*).

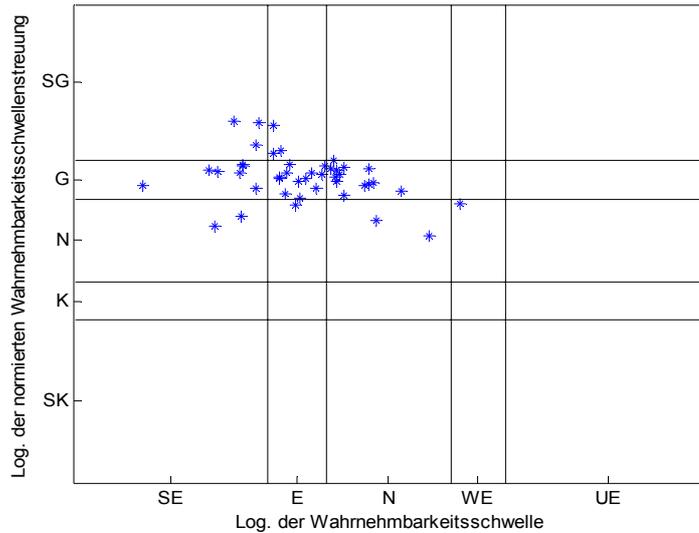


Bild 3-25: Median der Streuung der Wahrnehmbarkeitsschwellen bei Wiederholungsmessungen in Abhängigkeit des Medians der gemessenen Wahrnehmbarkeitsschwellen in doppelt-logarithmischem Maßstab, ermittelt für 44 Probanden. SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß

3.4 Schlafcharakterisierung

3.4.1 Schlafparameter

Im Gegensatz zu klinischen Fragestellungen, in denen es darum geht, massive Schlafstörungen im Sinne von pathologisch / nicht-pathologisch zu unterscheiden, ist die Aufgabenstellung im Rahmen der EPROS- Untersuchung diffiziler, weil hier bereits geringgradige Beeinflussungen durch die Schirmbedingungen erkannt werden sollen. Aus diesem Grund wurden zunächst möglichst viele, insgesamt 39 objektive und subjektive Parameter ermittelt, von denen direkt oder indirekt Aussagen über die Schlafqualität zu erwarten waren.

3.4.1.1 Objektive Schlafparameter

Objektive Schlafparameter werden aus den polysomnographisch aufgenommenen Biosignalen abgeleitet (*Tabelle 3-1*).

Tabelle 3-1: Objektive Schlafparameter

Schlafparameter	Definition
Zeit im Bett	Zeit zwischen Zubettgehen (Licht aus) und dem Wecken (Licht an).
Schlafperiodendauer	Zeit zwischen Schlafbeginn (Beginn Stadium 2) und der letzten Schlafepoche.
Gesamtschlafzeit	Netto-Schlafzeit nach Abzug aller Wachphasen und Pausen.
Wachzeit	Summe der Wachphasen während der Schlafperiodendauer.
Bewegungszeit	Summe der Zeiten mit mehr als 15s langen Körperbewegungen.
Schlafstadiendauern	Summe der Zeiten jeweils in den Schlafstadien 1, 2, 3.
REM-Schlafdauer	Summe der REM- Stadiendauern länger als 15min.
Prozentueller Anteil der Schlafstadien	Schlafstadiendauern, bezogen auf die >Zeit im Bett<, die Schlafperiodendauer oder die Gesamtschlafzeit.
Schlafeffizienz	Verhältnis von Gesamtschlafzeit und Zeit im Bett (in %).
Schlaflatenzen	Zeit von >Licht aus< bis zum ersten Stadium 1, 2 oder 3.
REM-Latenz	Zeit vom Beginn des Stadiums 2 bis zur ersten REM-Phase.
REM-Intervall	Dauer des REM- Stadiums plus nachfolgender NREM-Phasen bis zum nächstfolgenden REM- Stadium.
Schlafstadienwechsel	Anzahl der Übergänge zwischen aufeinander folgenden Schlafstadien (einschließlich der Wachzustände).

3.4.1.2 Subjektive Schlafparameter

Subjektive Schlafparameter wurden durch Befragung mit den standardisierten Fragebögen möglichst zeitnah zum Aufwachen erhoben (*Tabelle 3-2*). Die

standardisierten Fragen nach der Befindlichkeit z.B. mit Eigenschaftswörterlisten wurden in Hinblick auf die Aspekte Aufwachqualität, Schlafqualität, Schlaffeffizienz und gesundheitliche Beschwerden ausgewertet. Zusätzlich wurde aus diesen Teilkenngößen eine integrale Kennzahl, der SSA (**S**elf-rating scale for **S**leep **A**wakening quality), ermittelt.

Tabelle 3-2: Durch Auswertung von Fragebögen erhaltene subjektive Schlafparameter.

Schlafparameter	Beschreibung
Gesamt-SSA	Altersabhängige subjektive Bewertung der Schlafqualität, zusammengesetzt aus Aufwach-, Schlafqualität und Aufwachbeschwerden.
Aufwachqualität	Subjektiv bewertetes Empfinden beim Aufwachen.
Schlafqualität	Am Morgen subjektiv bewertete Schlafqualität.
Aufwachbeschwerden	Ausmaß der nach dem Aufwachen subjektiv empfundenen Gesundheitsbeschwerden.
Schlaffeffizienz	Verhältnis von Gesamtschlafzeit und Zeit im Bett (in %), ermittelt aus den Zeitangaben der Probanden.

3.4.1.3 Zusätzliche biologische Parameter

Zur weiteren Erfassung des Schlafzustandes und/oder der biologischen Ausgangslage wurden folgende zusätzliche objektiv ermittelbare Parameter erfasst (Tabelle 3-3):

Tabelle 3-3: Zusätzliche objektive Parameter.

Schlafparameter	Definition
mittlere Herzfrequenz	Über die Gesamtschlafzeit gemittelte Herzfrequenz.
Herzratenvariabilität	Variabilität der Herzperiodenlänge, gemittelt über die Gesamtschlafzeit
Herzfrequenz-Dezeleration	Anzahl der Perioden mit sich verlangsamender Herzfrequenz.
Herzfrequenz-Akzeleration	Anzahl der Perioden mit sich erhöhender Herzfrequenz.
Körperlagenwechsel	Anzahl der Wechsel der Körperlagen (erfasst mit Bewegungssensor), ggf. differenziert zwischen Rücken-, Bauch-, rechter und linker Seitenlage.
Abend-Elektrosensitivität	Wahrnehmbarkeitsschwelle, gemessen am Abend
Morgen-Elektrosensitivität	Wahrnehmbarkeitsschwelle, gemessen am Morgen
Abend- Reaktionszeit	Mit standardisiertem Verfahren gemessene Multiple-Choice-Reaktionszeit, ermittelt am Abend
Morgen-Reaktionszeit	Mit standardisiertem Verfahren gemessene Multiple-Choice-Reaktionszeit, ermittelt am Morgen

3.4.2 Relevanzüberprüfung

Zur Überprüfung der Relevanz der Parameter für die Schlafcharakterisierung wurde das Ergebnis der Befragung mit dem standardisierten Fragebogen, der SSA- Wert, als Referenz herangezogen. Mit Hilfe einer Kreuzkorrelationsanalyse wurde untersucht, bei wie vielen Probanden die ermittelten Schlafparameter mit dem Referenzwert wenigstens mittelstark (Korrelationskoeffizient $>0,4$) korreliert sind (Bild 3-26).

Bezogen darauf, bei wie vielen Probanden ein Schlafparameter mit dem subjektiven Eindruck (positiv oder negativ) korreliert ist, steht die subjektive Schlaffeffizienz mit einem Score von 19 (83%) an der Spitze, gefolgt von der objektiven Schlaffeffizienz, der Wachzeit und der REM- Dauer, bezogen auf die Zeit im Bett. Die geringsten Häufigkeiten an Korrelationen zeigten sich bei der maximalen Herzfrequenz, die nur bei einem Probanden korreliert war, und bei den Körperlagenwechsel- Parametern.



Bild 3-26: Reihung von Schlafparametern N_{SIndex} nach der Anzahl N_{PKorr} der Probanden, bei denen Korrelationen von Schlafparametern mit dem subjektiven Schlafkoeffizienten (SSA) auftreten.

3.4.3 Quantifizierung des Schlafproblems

Bereits aufgrund der Anamnese mit Hilfe des PSQI (Pittsburgh Sleep Quality Index) wurde retrospektiv festgestellt, dass die Probanden (mit einer Ausnahme) als schlechte Schläfer einzustufen waren. In den aktuellen Untersuchungen wurde für die Nächte ohne Einfluss der Schirmbedingung, also die Kontrollnächte mit Hilfe des standardisierten Schlaffragebogens die subjektive Schlafqualität erhoben und mit dem altersbezogenen Normalbereich verglichen.

Das Ergebnis unterscheidet sich etwas von der anamnestischen Einschätzung. Es zeigte sich nämlich, dass die Schlafqualität nicht nur bei einer, sondern insgesamt bei fünf Personen in allen drei Nächten innerhalb des Normalbereichs blieb. Bei weiteren 7 Personen lag die Mehrheit der Kontrollnächte im Normalbereich (*Bild 3-27*). In 24 Fällen (55%), war die Schlafqualität in allen Kontrollnächten schlechter als normal.

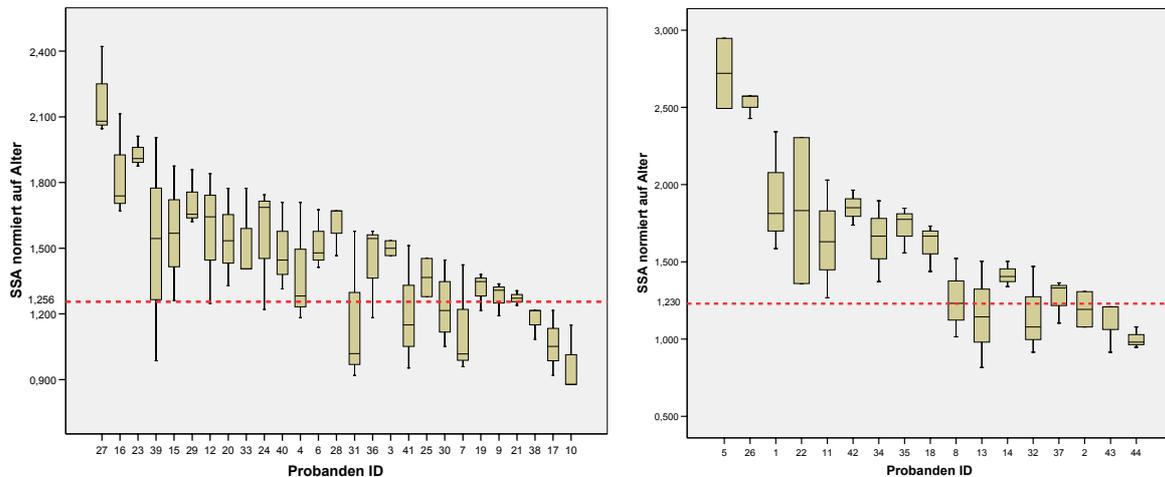


Bild 3-27: Boxplot der auf das Alter normierten subjektiv empfundenen Schlafqualität (SSA) für die untersuchten Probanden mit eingezeichneter Obergrenze des Normalbereichs für Männer (links) und Frauen (rechts).

3.5 Schlafuntersuchung

3.5.1 Zusammenhang mit der HF- Immission

Als Arbeitshypothese liegt der Auswertung die Annahme zugrunde, dass sich die Schlafqualität durch den Verum- Schirm, also die Verringerung der Immission, verbessern sollte, während sie bei Sham- und Kontrollbedingungen gleich schlecht bleiben sollte.

Wertet man alle Kontrollnächte (also Nächte ohne Einfluss eines Schirmes) gemeinsam aus und untersucht sie in Hinblick auf eine potenzielle Abhängigkeit der subjektiven Schlafqualität (SSA) von der HF- Immission, lässt sich die Hypothese nicht bestätigen. Es ergibt sich kein statistisch signifikanter Zusammenhang. Während sich bezüglich des SSA- Wertes keine Abhängigkeit erkennen lässt, zeigt der Verlauf der Lowess- Regressionskurve für die subjektive Aufwachqualität insbesondere bei niedrigen Immissionen lediglich einen der Hypothese gegenläufigen Trend, nämlich eine Verbesserung der subjektive Aufwachqualität mit zunehmender GSM- Immission bis zu ca. 3 Promille vom Referenzwert (*Bild 3-28*).

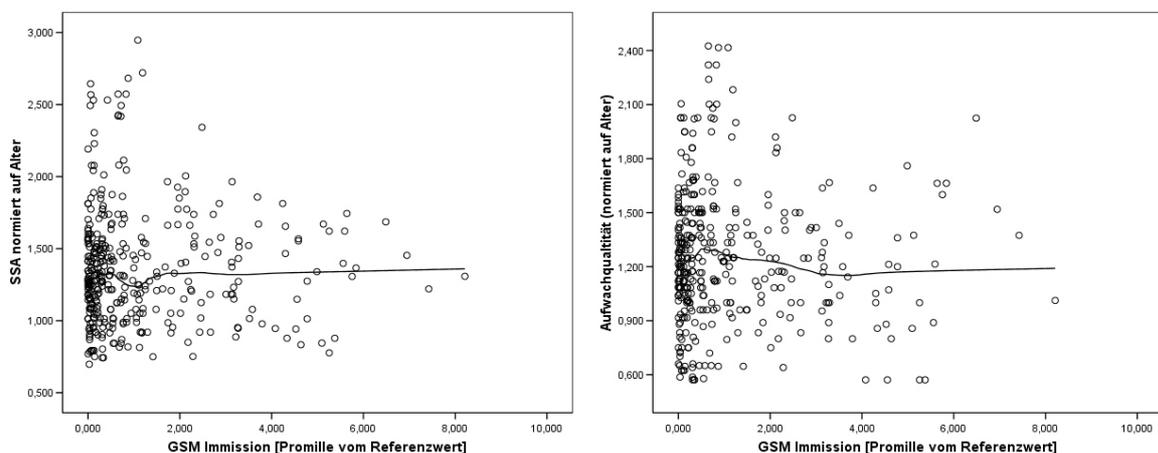


Bild 3-28: Streudiagramm der auf das Alter normierten subjektiv empfundenen Schlafqualität (SSA), links und der subjektiven Aufwachqualität, rechts, in Abhängigkeit der GSM- Immission.

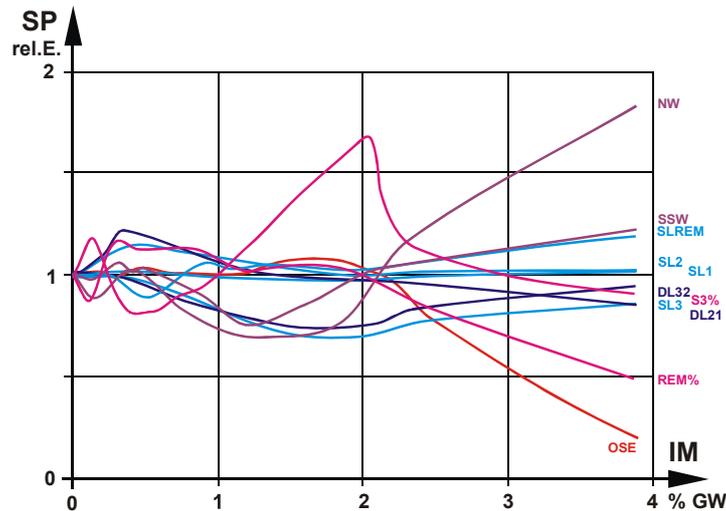


Bild 3-29: Verlauf der Lowes- Regressionskurven für objektive Schlafparameter in Abhängigkeit der Gesamtimmission in Prozent des Referenzwertes.

NW...Anzahl der nächtlichen Wachereignisse, SLREM...Latenz bis zum Erreichen der ersten Traumphase, SL1... Latenz bis zum Erreichen des Schlafstadiums 2, SL2... Latenz bis zum Erreichen des Schlafstadiums 2, SL3... Latenz bis zum Erreichen des Schlafstadiums 3, DL21... Latenz vom Schlafstadium 1 bis zum Erreichen des Schlafstadiums 2, DL32... Latenz vom Schlafstadium 2 bis zum Erreichen des Schlafstadiums 3, REM%...Anteil der Schlafphasen an der Gesamtschlafzeit, OSE...objektive Schlafeffizienz

Bezüglich der objektiven Schlafparameter lassen sich in Abhängigkeit der Immission ebenfalls keine signifikanten Zusammenhänge feststellen. Die normierten Lowess- Regressionskurven schwanken überwiegend um die Gerade 1. Mit zunehmender Gesamtimmission lassen sich lediglich für drei Parameter Trends in Hinblick einer Schlafverschlechterung mit zunehmender Immission erkennen. Während die Anzahl der nächtlichen Aufwachereignisse (NW) mit zunehmender Immission zunimmt, nehmen die objektive Schlafeffizienz (OSE) und der Anteil der Traumphasen (REM %) an der Schlafzeit tendenziell ab. Alle drei Trends sind zwar in sich konsistent, aber statistisch nicht signifikant.

3.5.2 EQ- Diagramm

Eine Herausforderung bei der Auswertung der verschiedenen Schlafparameter ist die Zusammenschau der Einzelergebnisse für die drei verschiedenen Untersuchungsbedingungen Verum / Sham / Kontrolle. Die konventionelle Weise,

z.B. in Form des Vergleiches von drei Boxplots, ermöglicht dabei keinen befriedigenden Überblick. Es wurde daher eine alternative Auswertemethode entwickelt.

Bei der Auswertung der drei Untersuchungsbedingungen Verum / Sham / Kontrolle sind grundsätzlich folgende Befunde möglich:

- Verbesserung der Schlafqualität nur unter Verum- Bedingungen (Effekt);
- Verschlechterung der Schlafqualität nur unter Verum- Bedingungen (negativer Effekt);
- Verbesserung der Schlafqualität unter beiden Schirmbedingungen (Verum und Sham) wegen des Glaubens an eine Schutzwirkung (Placebo- Effekt)
- Verschlechterung der Schlafqualität unter beiden Schirmbedingungen (Verum und Sham) wegen Nebeneffekte der Schirme wie z.B. beeinträchtigter Luftaustausch (Nebenwirkung).

Diese Möglichkeiten können in Form folgender mathematischer Bedingungen beschrieben werden:

Effekt:

Ein schirmungsbedingter Effekt tritt ein, wenn die Ergebnisse für einen Schlafparameter bei Kontrolle (K) und Sham (S) (ungefähr) gleich sind und sich nur Sham und Verum (V) unterscheiden. Mit der Streubreite σ erhält man somit die Bedingung:

$$|S-V| > \sigma \text{ und } |K-S| < \sigma \quad (3-3)$$

Ja nach Vorzeichen von S-V ist der Effekt als Schlaf verbessernd (positives Vorzeichen) oder Schlaf verschlechternd (negatives Vorzeichen) anzusehen, wenn sich der Parameterwert bei Schlafverbesserung verkleinert, wie dies z.B. bei den subjektiven Schlafparametern der Fall ist.

Placebo:

Eine Placebowirkung tritt auf, wenn ein Schlafparameter sowohl bei Sham als auch bei Verum eine (ungefähr gleich große) Schlafverbesserung zeigt und beide Ergebnisse sich von der Kontrolle ausreichend unterscheiden, also sich vom Streubereich abheben. Mit der Streubreite σ erhält man somit die Bedingung:

$$K-S > +\sigma \text{ und } |S-V| < \sigma \quad (3-4)$$

Dabei ist wieder vorausgesetzt, dass sich der Wert eines Schlafparameters verringert, wenn sich der Schlaf verbessert.

Beeinträchtigung:

Eine Beeinträchtigung tritt auf, wenn ein Schlafparameter sowohl bei Sham als auch bei Verum eine ausreichende (und ungefähr gleich große) Schlafverschlechterung zeigt und beide Ergebnisse sich von der Kontrolle ausreichend unterscheiden, also sich vom Streubereich abheben. Mit der Streubreite σ erhält man somit die Bedingung:

$$K-S > -\sigma \text{ und } |S-V| < \sigma \quad (3-5)$$

Mit diesen grundlegenden Überlegungen konnte eine gemeinsame zusammenfassende Darstellungsweise, das „Effekt-Quadratendiagramm“ (EQD) entwickelt werden. Wenn die Differenz zwischen Kontrolle und Sham auf der Abszisse und die Differenz zwischen Sham und Verum auf der Ordinate aufgetragen werden, liegen die geometrischen Orte der vier möglichen Ergebnisse in jeweils eigenen Quadranten (*Bild 3-30*). Der geometrische Bereich für Ergebnisse, die mit keinem Effekt verbunden sind, ist darin der Streubereich um die Quadrantenteiler, also die diagonalen Trennlinien zwischen den Quadranten.

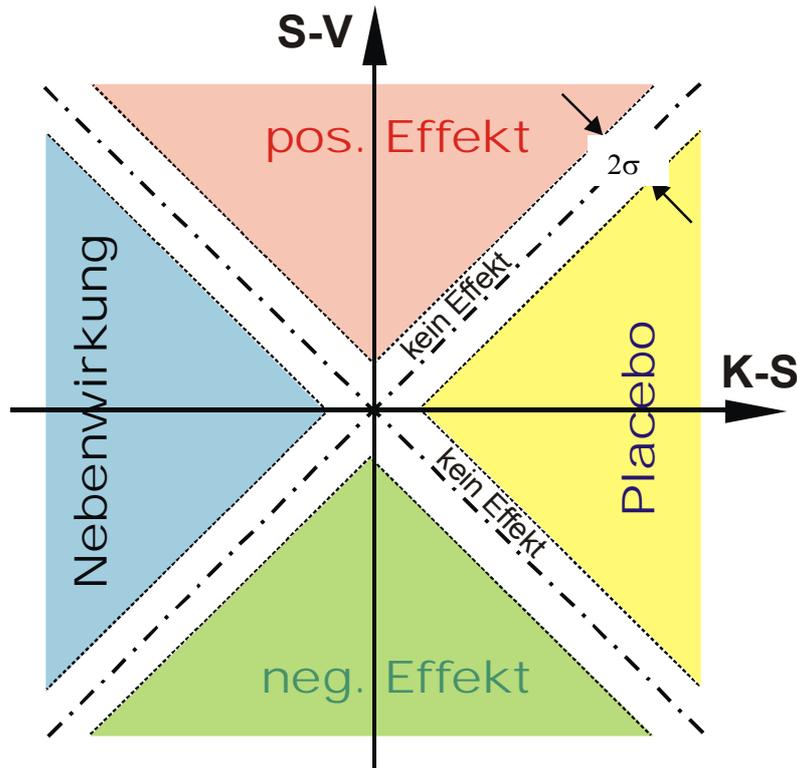


Bild 3-30: Effekt- Quadratendiagramm für die gemeinsame Auswertung von Sham/Verum und Kontrollversuchen. σ ... Streuung der Werte um den Quadrantenteiler (strichpunktiert).

EQ- Diagramme wurden entweder für einzelne Schlafparameter erstellt, in denen die Ergebnisse aller Probanden eingezeichnet wurden oder für einzelne Probanden, in denen die Ergebnisse aller Schlafparameter dargestellt wurden. Da die Schlafparameter sowohl unterschiedliche Dimensionen als auch Wertebereiche umfassen, war eine Normierung erforderlich. Dazu wurden zunächst die Variablen im EQ- Diagramm (die Differenzen der Mittelwerte der Schlafparameter der Schirmbedingungen (K-S) bzw. (S-V) pro Proband jeweils auf den Mittelwert seiner Kontrollnächte normiert. Anschließend wurden die für alle 44 Probanden ermittelten Koordinatenwerte parameterspezifisch (durch den jeweiligen Maximalwert) so normiert, dass die Koordinatenwerte (S-V) und (K-S) jeweils auf den Wertebereich zwischen -1 und +1 beschränkt wurden (vgl. Bild 3-31).

Der Streubereich wurde ermittelt, indem die Werteverteilung um den Quadrantenteiler statistisch analysiert und die Streuung der Normalverteilung ermittelt wurde. Die Streuungen σ müssen dabei für die einzelnen Schlafparameter nicht gleich sein.

Anmerkung: Wenn keine signifikanten Auswirkungen vorliegen und die Daten normalverteilt sind, ist der Mittelwert Null und die Trenngeraden durch den Mittelwert fallen mit den Quadrantenteilern zusammen (z.B. Bild 3-40). Wenn eine Teilgruppe von Probanden (nicht notwendiger Weise statistisch signifikante) Auswirkungen zeigt, wird die Datenverteilung schief. Dies lässt sich an einer Verschiebung der Mittellinien erkennen (z.B. Bild 3-31).

Mit Hilfe des so entwickelten Effekt- Quadranten- Diagramms (EQ- Diagramm) konnten die Ergebnisse der Untersuchungen über alle Probanden und die Schlafparameter in das Quadratendiagramm eingetragen und gemeinsam bewertet werden. Diese neue Darstellungsart ermöglicht die Zusammenschau vieler Teilergebnisse und ist daher dem konventionellem Vergleich von Verum- / Sham- / Kontrolle- Boxplots überlegen.

Liegt ein Wert außerhalb des Streubereichs, weist er auf eine potentiell signifikante Auswirkung hin. Derartige Hinweise ersetzen jedoch noch nicht die statistische Analyse. Ob eine Auswirkung vorliegt, ist daher durch Signifikanztest abzuklären.

3.5.3 Gesamtauswertung der Schlafparameter

3.5.3.1 Subjektive Schlafparameter

Die subjektive Einschätzung der Schlafqualität wurde jeden Morgen mit Hilfe eines standardisierten Schlafragebogens erhoben, in der mit einer Reihe von Einzelfragen die Aufwachqualität, die Schlafqualität und die Anzahl der Beschwerden erfragt wurden. Die drei Teilaspekte wurden überdies zum subjektiven Schlafparameter SSA zusammengefasst.

Mit Hilfe des EQ- Diagramms, in dem die Ergebnisse für alle Probanden eingetragen sind, kann untersucht werden, ob sich überhaupt Ergebnisse außerhalb des Streubereichs finden lassen und wenn, ob sie auf einen Effekt im Sinne einer Verschlechterung der Schlafqualität durch HF- Immissionen hindeuten. Es ist jedoch anzumerken, dass das EQ- Diagramm eine Übersicht über die Daten vermittelt, jedoch die Prüfung auf statistische Signifikanz nicht ersetzen kann.

Es zeigt sich, dass die Mehrheit der Ergebnisse entlang der Quadrantenteiler innerhalb der Streubereiche bleiben und sich somit insgesamt kein dominierender Effekt ergibt. Einige Einzelergebnisse deuten jedoch auf mögliche Beeinflussungen hin.

Die Analyse der subjektiven Schlafqualität anhand des SSA-SQ Wertes (*Bild 3-31*) zeigt, dass die Ergebnisse von zwei Probanden außerhalb des Streubereichs im Effektquadranten liegen, während sich bei vier Probanden Hinweise auf Placebo-Effekte ergeben. Es ist bemerkenswert, dass sich kein Hinweis auf Nebenwirkungen durch die Schirme selbst ergibt.

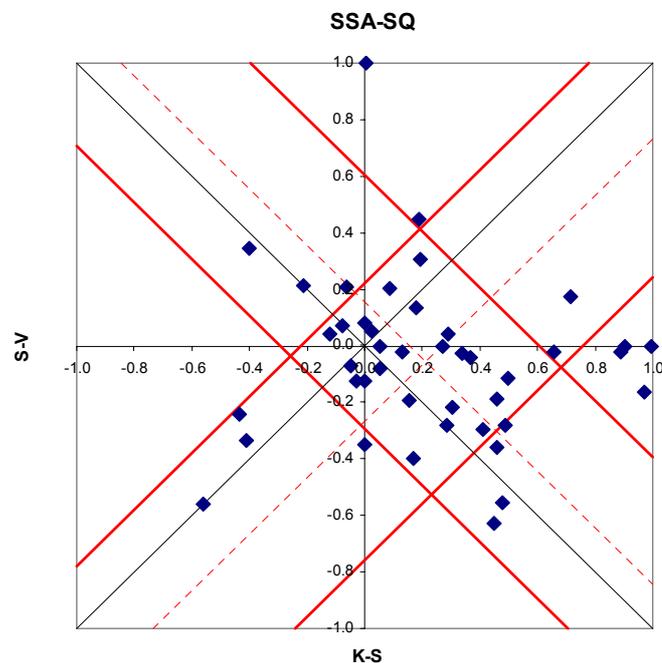


Bild 3-31: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektiv empfundene Schlafqualität (SSA-SQ) der 44 Probanden.

In Bezug auf die subjektive Aufwachqualität SSA-AQ liegt kein Ergebnis im Effektquadranten und drei im Placebo- Quadranten (*Bild 3-32*). Bei einem Probanden ergibt sich der Hinweis auf eine Beeinflussung durch die Schirme.

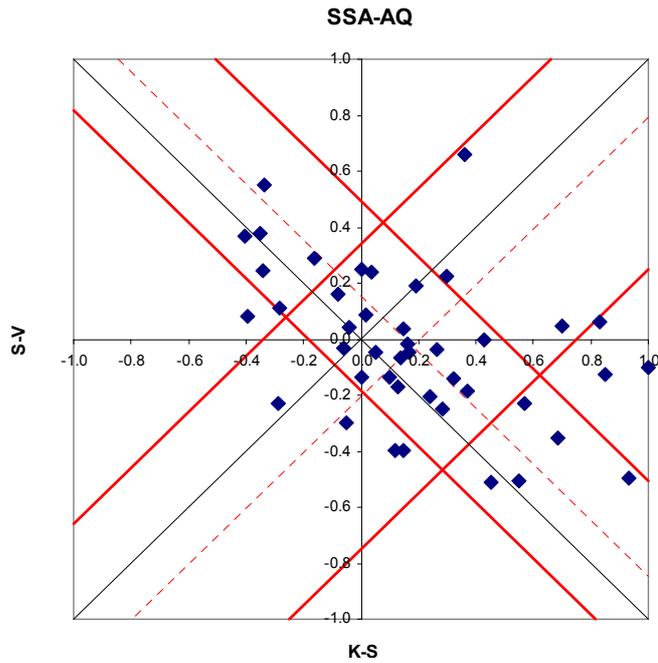


Bild 3-32: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektiv empfundene Aufwachqualität (SSA-AQ) der 44 Probanden.

Bei der subjektiven Schlafeffizienz (Bild 3-33) zeigt sich insgesamt, dass die Streubereiche der Ergebnisse kleiner sind. Dennoch liegt kein Probandenergebnis im Effektbereich. Zwei Ergebnisse liegen im Placebobereich und ebenfalls keines im Bereich einer Beeinflussung durch die Schirme an sich.

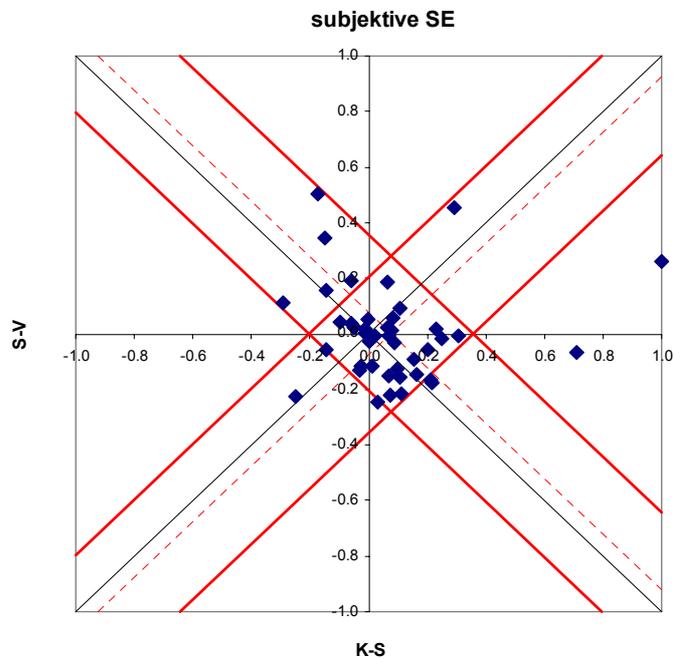


Bild 3-33: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektive Schlafeffizienz der 44 Probanden.

Die Schlafparameter subjektive Schlafqualität, subjektive Aufwachqualität und subjektive Aufwachbeschwerden werden auch zu einem Gesamtparameter für die Schlafcharakterisierung dem SSA- Wert zusammengefasst und sollen dadurch belastbarere Aussagen erlauben.

In diesem Fall ergeben sich in vier Fällen konsistentere Hinweise auf einen Placebo- Effekt. Ein Ergebnis liegt jedoch im Effekt- Quadranten und ein Ergebnis knapp im Quadranten der Beeinflussung durch Schirme an sich (*Bild 3-34*).

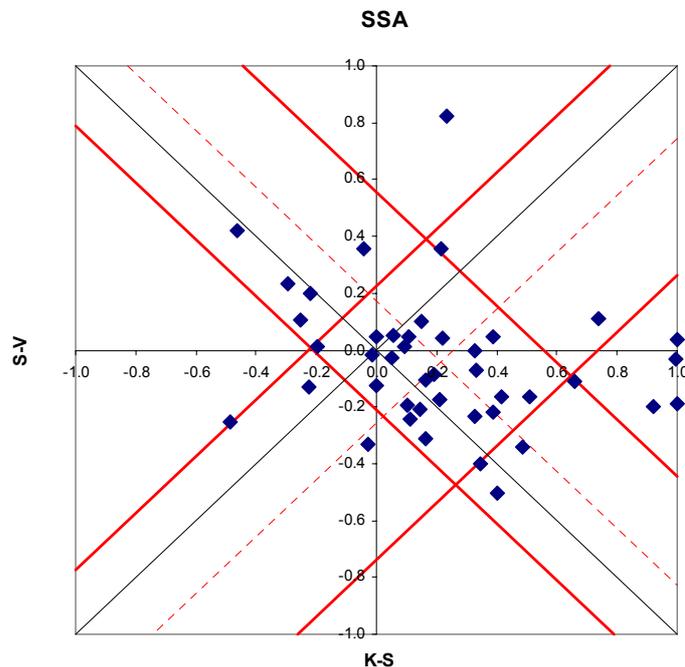


Bild 3-34: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektive Schlafbewertung, dem SSA-Index der 44 Probanden.

Insgesamt zeigt die Auswertung der subjektiven Einschätzungen, dass sich bei der überwiegenden Mehrheit der Probanden die subjektive Überzeugungen, dass die Schlafstörungen von „Elektrosmog“ verursacht sein könnte, unter kontrollierten Doppelblind- Bedingungen **nicht bestätigen** ließen.

Die Ergebnisse der EQ- Diagramme für die einzelnen subjektiven Schlafparameter sind in *Tabelle 3-4* zusammengefasst. Sie gibt pro Schlafparameter und Ergebnisquadrant die Anzahl jener Probanden an, deren Ergebnisse sich im Quadranten außerhalb des parameterspezifischen Streubereichs befanden.

Tabelle 3-4: Anzahl der Probanden pro Ergebnisquadrant, deren subjektive Schlafparameter außerhalb des Streubereichs lagen.

Parameter	Effekt		Placebo	Beein- trächtigung	gesamt
	positiv	negativ			
SSA- Index	1	0	4	1	6
subj. Schlafqualität	2	0	4	0	6
subj. Aufwachqualität	0	0	3	1	4
subj. Schlaffeffizienz	0	0	2	0	2
Gesamt subjektiv	3	0	13	2	

Es zeigt sich, dass die außerhalb des Streubereiches liegenden Ergebnisse vergleichsweise selten sind. Die höchsten Scores pro Parameter betragen 6. Nur 3 Einzelergebnisse von Parametern lagen im Effekt- Quadranten (verbesserte Schlafqualität durch Verum- Abschirmung) außerhalb des Streubereichs, während dies für den Placebo- Quadranten 13 waren. Kein Ergebnis lag im Quadranten negativer Effekte (also Schlafverschlechterung durch „Elektrosmog“- Abschirmung) und nur zwei im Beeinflussungsquadranten.

Da sich jedoch eine Nullhypothese bereits durch ein einziges gesichertes Gegenbeispiel falsifizieren lässt, verdienen die Einzelergebnisse im Effektquadranten besondere Beachtung.

3.5.3.2 Objektive Schlafparameter

Von der Vielzahl der möglichen objektiv ermittelbaren Schlafparameter enthält nur ein Teil für die Differenzierung der Schlafqualität unabhängige Informationen. Die Gründe dafür liegen darin, dass sie

- im Wesentlichen das gleiche aussagen, wie z.B. die Anteile der Schlafphasen, bezogen auf die Gesamtzeit im Bett, auf die Gesamtschlafdauer oder auf die Schlafzeit;
- von einander abhängig sind, weil z. B. die Erhöhung des relativen Anteils eines Schlafstadiums zwangsläufig die Verringerung der anderen zur Folge haben muss;

- der Zusammenhang mit der Schlafqualität nicht eindeutig ist, wie z. B. die Verlängerung oder Verkürzung der REM- Dauer.

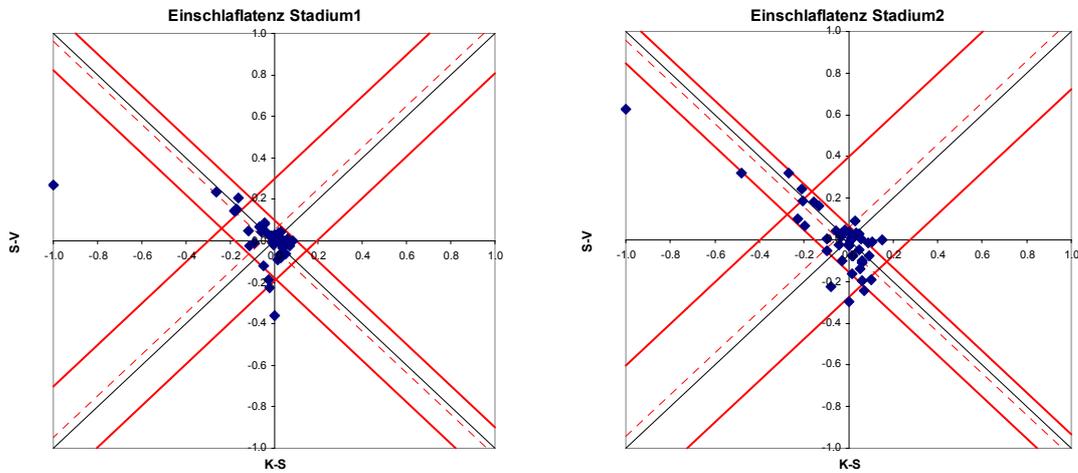


Bild 3-35: Effekt-Quadrantendiagramm für die Einschlaf latenz zum Stadium 1 (links) und Stadium 2 (rechts).

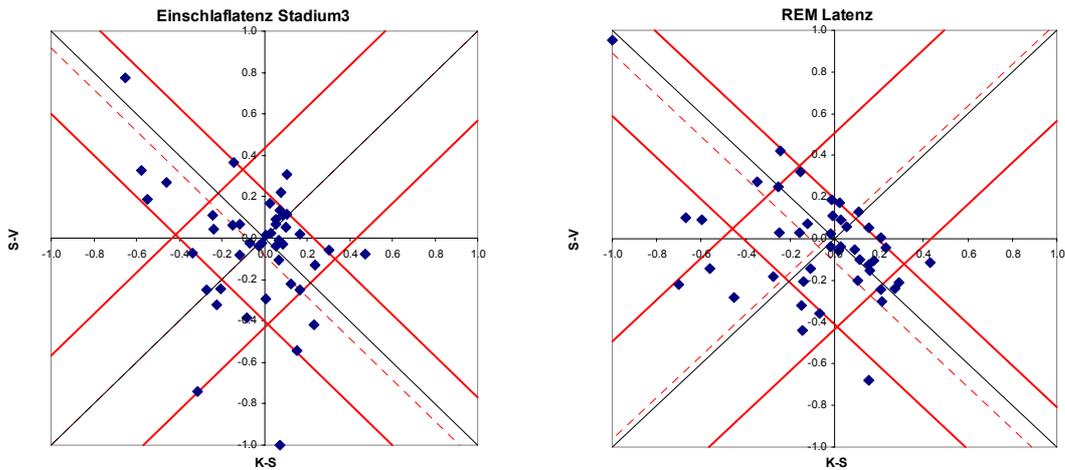


Bild 3-36: Effekt-Quadrantendiagramm für die Einschlaf latenz zum Stadium 3 (links) und zum REM-Stadium (rechts).

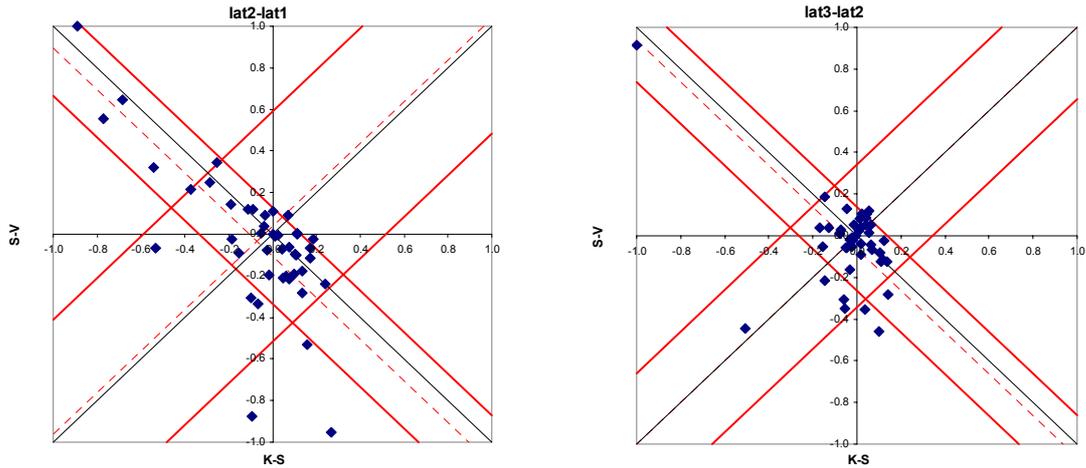


Bild 3-37: Effekt-Quadrantendiagramm für die Einschlaflatenz vom Stadium 1 zum Stadium 2 (links) und vom Stadium 2 zum Stadium 3 (rechts).

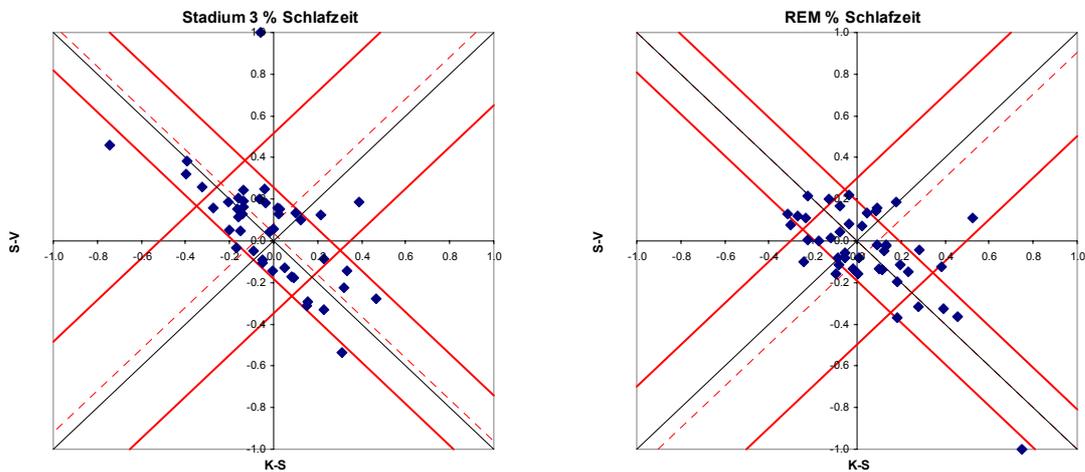


Bild 3-38: Effekt-Quadrantendiagramm für den Anteil des Stadiums 3 (links) und des REM- Stadiums (rechts) an der Gesamtschlafzeit.

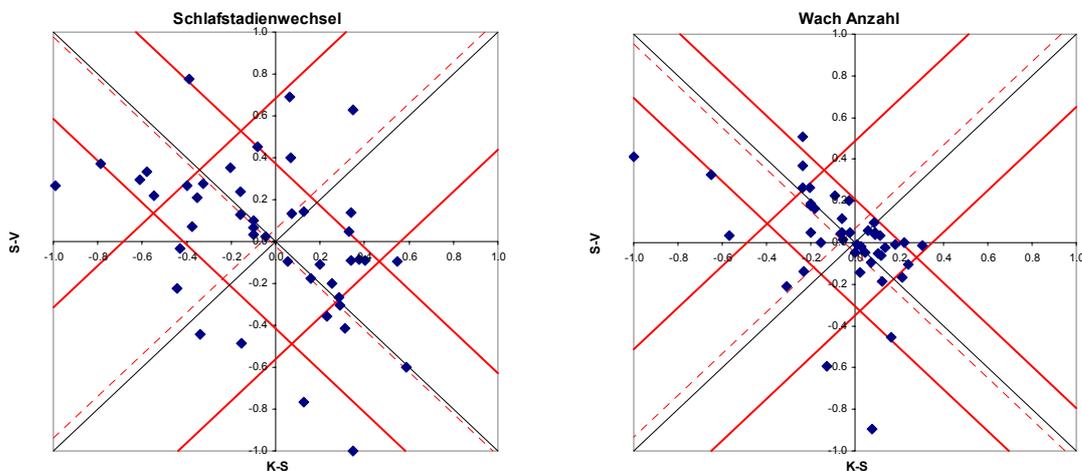


Bild 3-39: Effekt-Quadrantendiagramm für die Anzahl der Schlafstadienwechsel (links) und der nächtlichen Wachphasen (rechts).

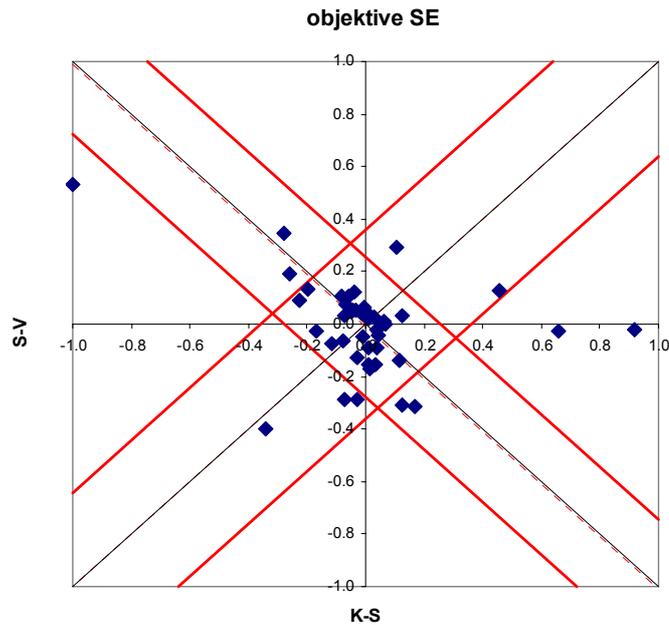


Bild 3-40: Effekt-Quadrantendiagramm für die objektive Schlafeffizienz.

Die Ergebnisse der EQ- Diagramme für die einzelnen objektiven Schlafparameter sind in *Tabelle 3-5* zusammengefasst.

Tabelle 3-5 gibt pro Schlafparameter und Ergebnisquadrant die Anzahl jener Probanden an, deren Ergebnisse sich im Quadranten außerhalb des parameterspezifischen Streubereichs befanden. Im Vergleich zur Auswertung der subjektiven Schlafparameter zeigt sich bei den objektiven Schlafparametern ein differenzierteres Bild.

Tabelle 3-5: Anzahl der Probanden pro Ergebnisquadrant, deren objektive Schlafparameter außerhalb des Streubereichs lagen.

Parameter	Effekt		Placebo	Beeinträchtigung	gesamt
	positiv	negativ			
Latenz Stad.1	0	2	0	1	3
Latenz Stad.2	0	2	0	2	4
Latenz Stad.3	0	1	1	0	2
Latenzdiff. 2-1	0	3	0	0	3
Latenzdiff. 3-2	0	2	0	0	2
REM-Latenz	0	1	1	2	4
% REM (SZ)	0	1	1	1	3
% Stadium 3 (SZ)	1	1	0	1	3
Schlafstadienwechsel	1	2	1	1	5
Wachanzahl	1	2	0	3	6
Schlafeffizienz	0	0	2	1	3
gesamt	3	17	6	12	

Sieht man von Sekundäreinflüssen wie Placebo und Beeinträchtigung ab, so ergeben sich unter den „Effekt“- Spalten der *Tabelle 3-5* sieben Schlafparameter, bei denen eine Veränderung nur in einer Richtung (und zwar bezüglich einer tendenziellen Verschlechterung der Schlafqualität unter Verum-Bedingungen) beobachtet wurde, während sich bei drei anderen Schlafparametern Veränderungen sowohl in Richtung einer Schlafverbesserung als auch einer Schlafverschlechterung ergeben haben. Wie bereits bei der subjektiven Schlafeffizienz konnte auch bei der objektiven Schlafeffizienz weder ein positiver noch ein negativer Effekt festgestellt werden.

Es zeigt sich, dass die Ergebnisse jener Parameter, bei denen sich unter Verum-Bedingungen ein Effekt nur in einer Richtung gezeigt hat, konsistent sind.

- Alle erfassten Latenzzeiten liegen übereinstimmend im Quadranten der „negativen Effekte“, d. h. sie deuten auf ein verzögertes Einschlafen unter

Verum- Bedingungen hin. Es gibt kein Gegenbeispiel, also keine Latenzzeit, für die sich auch einmal eine Verkürzung ergeben hätte (Tabelle 3-5).

Anmerkung: Die Verlängerung der Latenzen bei Verringerung der Exposition steht in Einklang mit Veröffentlichungen, in denen von einer Verkürzung der Latenzzeiten unter Provokationsbedingungen, also Erhöhung der Exposition, berichtet wird.

- Für den Anteil REM- Phasen ergab sich in einem Fall eine Verringerung. Dies wurde als „negativer Effekt“ bewertet.

Anmerkung: Die zusammenfassende Tabelle erlaubt keine Zuordnung zu einzelnen Probanden. Hinweise auf einen Placebo-Effekt oder eine Beeinträchtigung werden bei Probanden-spezifischen Auswertungen berücksichtigt.

Bemerkenswert ist das Auseinanderklaffen der Ergebnisse für die subjektiven und die objektiven Schlafparameter. Während subjektive Schlafparameter Hinweise auf eine Verbesserung, jedoch nicht auf eine Verschlechterung des Schlafes durch die Abschirmung ergaben, ist dies bei den objektiven Schlafparametern umgekehrt.

Die EQ- Diagramme dienen zur Zusammenschau der Ergebnisse, sie können jedoch die statistische Analyse nicht ersetzen. Für eine belastungsfähigere Aussage wurden diese Hinweise daher statistisch überprüft (Kapitel 3.5.4).

3.5.3.3 Probandenbezogene Schlafauswertung

Um ein personenbezogenes Gesamtbild über die Schlafparameter und eine mögliche Reaktion der Probanden zu erhalten, wurden Probanden- spezifische EQ-Diagramme erstellt. Darin wurden die Schlafparameter in der gleichen Normierung wie bei den Parameter- spezifischen EQ- Diagrammen dargestellt. Damit konnten die Probanden hinsichtlich ihres Verhaltens charakterisiert und in verschiedene Reaktionsgruppen unterteilt werden: Bild 3-41 zeigt ein charakteristisches Ergebnis für einen Probanden mit der überwiegenden Anzahl der Schlafparameter in den Effekt- Quadranten (positive bzw. negative Veränderung der Schlafparameter). Es liegen keine Ergebnisse im Placebo- und nur eines im Beeinflussungs- Quadranten.

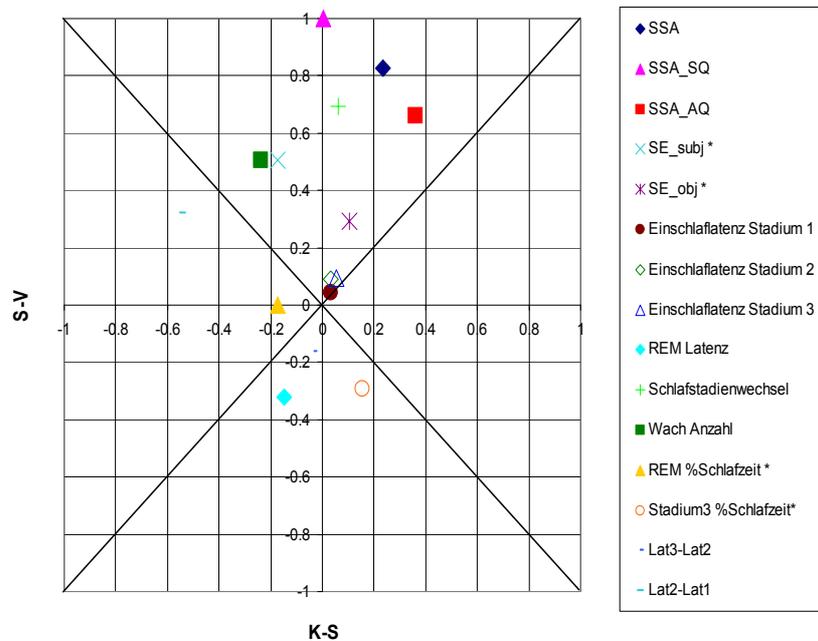


Bild 3-41: Lage der Schlafparameter im Effekt-Quadranten- Diagramm am Beispiel eines Probanden der unter Verum- Schirmbedingung Veränderungen der Schlafparameter zeigte.

In *Bild 3-42* sind Ergebnisse eines Probanden dargestellt, der unter beiden Schirmbedingungen (Verum und Sham) besser schlief. Dies deutet auf einen ausgeprägten Placebo- Effekt hin. Dies wird durch den Umstand bestätigt, dass die subjektiven Schlafparameter im Placebo- Quadranten liegen, während die anderen Schlafparameter im Streubereich um die Quadrantenteiler bleiben. Um eine belastungsfähigere Beurteilung zu erreichen, wurden die Reaktionen durch statistische Analysen probandenspezifisch überprüft (Kapitel 3.5.4).

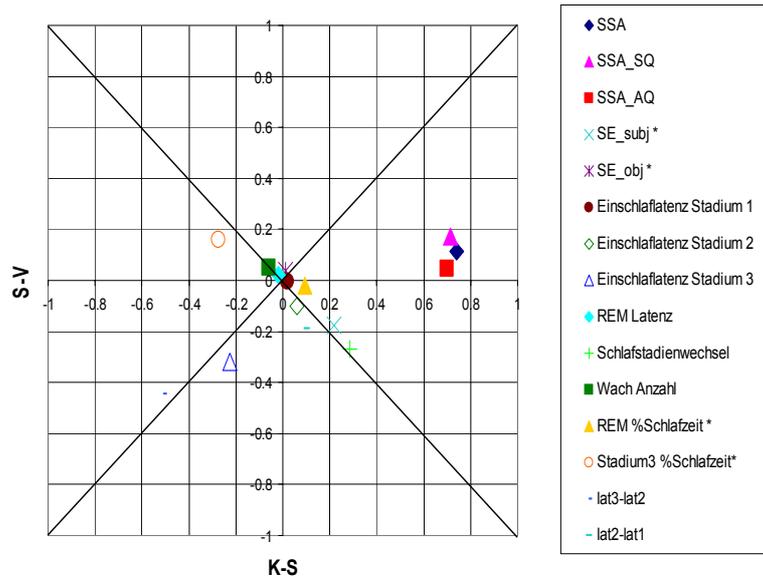


Bild 3-42: Lage der Schlafparameter im Effekt-Quadrantendiagramm am Beispiel eines Probanden der unter beiden Schirmbedingungen (Verum und Sham) besser schlief (**Placebo-** Effekt).

3.5.3.4 Boxplots der Schlafparameter

Um ein Gesamtbild über die Variabilität der einzelnen untersuchten Schlafparameter zu bekommen, wurden Boxplots der Probandenergebnisse für alle Schlafparameter für die verschiedenen Schirmbedingungen erstellt (Bild 3-45 bis Bild 3-50). Man kann erkennen, dass sich bei den subjektiven Schlafparametern (ausgenommen der Schlaffeffizienz) die Ergebnisse für Sham und Verum nicht unterschieden, jedoch beide Unterschiede zur Kontrollbedingungen aufweisen (Bild 3-43 und Bild 3-44). Dies bestätigt den Hinweis auf Placebo- Effekte. Die statistische Überprüfung ergab in allen drei Fällen, dass die Unterschiede ($p < 0,001$) signifikant waren.

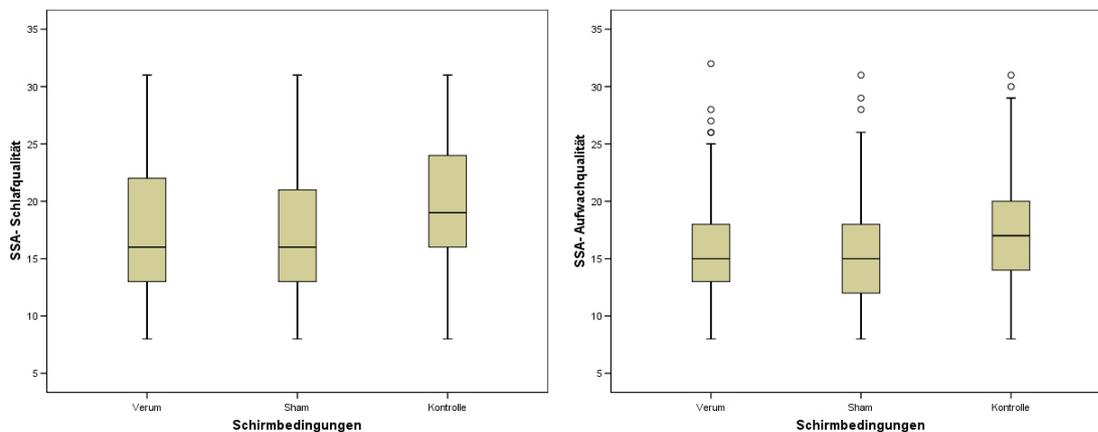


Bild 3-43: Boxplots für die subjektive Schlafqualität (links) und die subjektive Aufwachqualität (rechts).

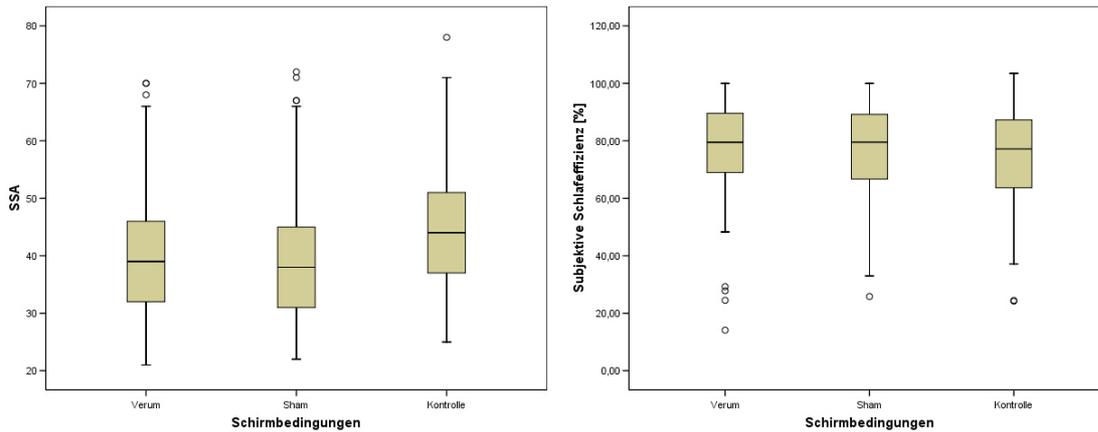


Bild 3-44: Boxplots für den SSA Index (links) und die subjektive Schlafeffizienz (rechts).

Aus den Boxplots (Bild 3-45 bis Bild 3-50) der objektiven Schlafparameter lassen sich keine deutlichen Unterschiede erkennen. Die gepoolte statistische Analyse ergab bei keinem der Parameter signifikante Unterschiede.

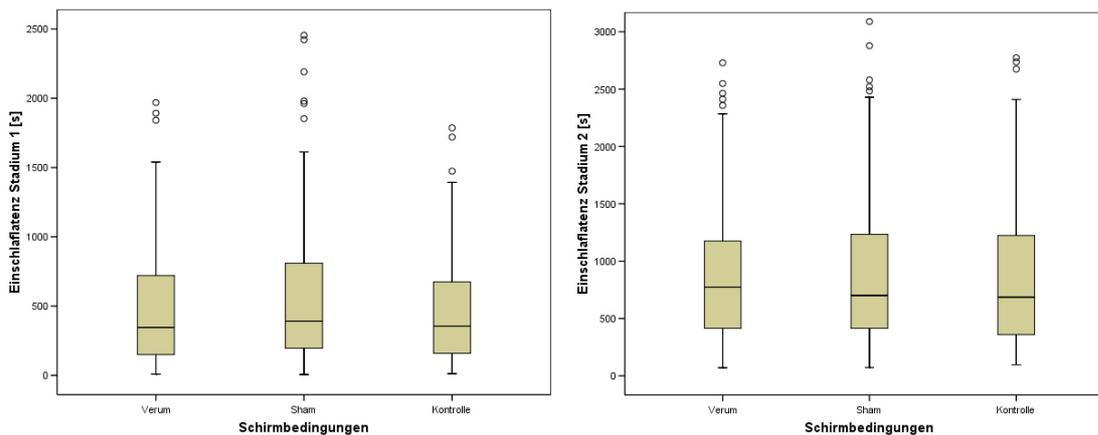


Bild 3-45: Boxplots für die Einschlafzeit zum Stadium 1 (links) und Stadium 2 (rechts).

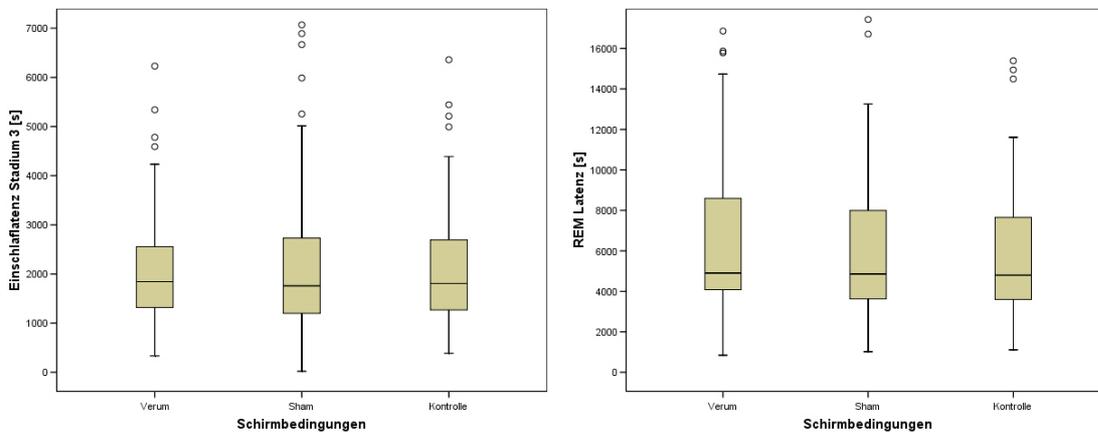


Bild 3-46: Boxplots für die Einschlafzeit zum Stadium 3 (links) und zum REM-Stadium (rechts).

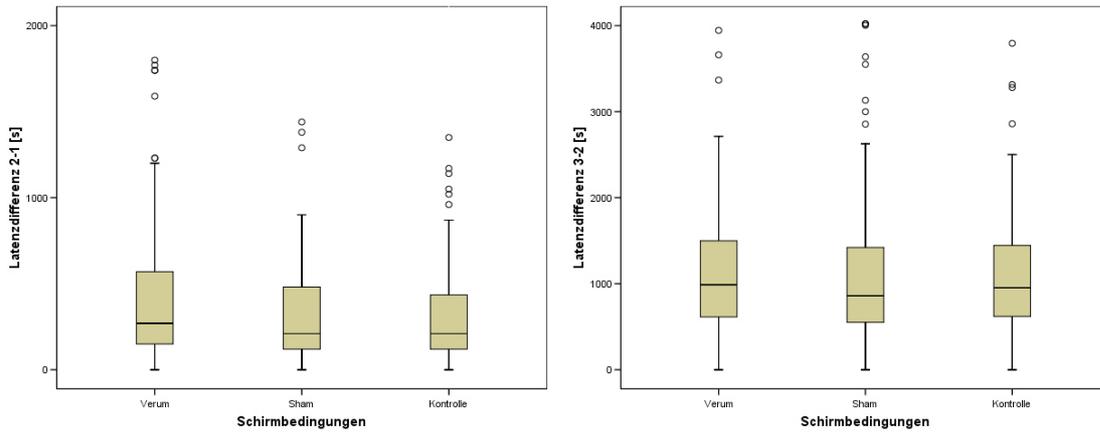


Bild 3-47: Boxplots für die Einschlafzeit vom Stadium 1 zum Stadium 2 (links) und vom Stadium 2 zum Stadium 3 (rechts).

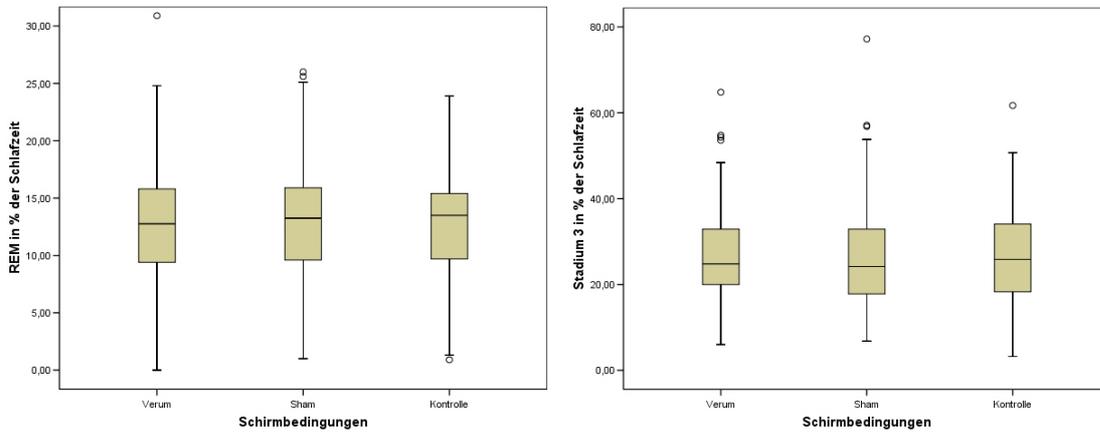


Bild 3-48: Boxplots für den Anteil des Stadiums 3 (links) und des REM-Stadiums (rechts) an der Gesamtschlafzeit.

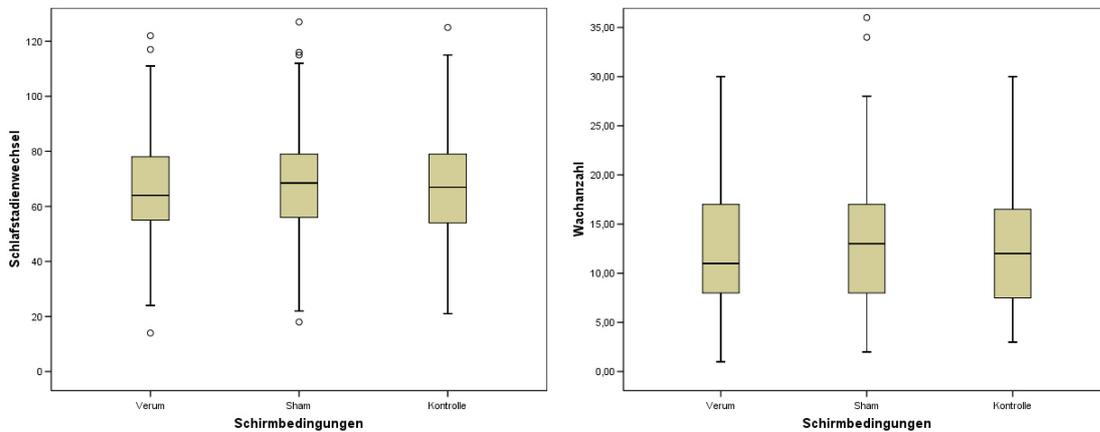


Bild 3-49: Boxplots für die Anzahl der Schlafstadienwechsel (links) und der nächtlichen Wachphasen (rechts).

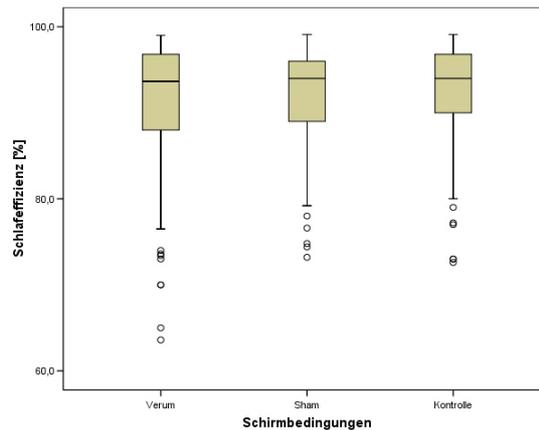


Bild 3-50: Boxplot für die objektive Schlafeffizienz.

Die statistische Teststärke der Ergebnisse (Power) hängt naturgemäß nicht nur von der Anzahl der Beobachtungen, sondern auch von der Größe der festgestellten Unterschiede ab. Für die statistisch signifikanten Placebo- Effekte bezüglich der drei subjektiven Schlafparameter wurde die Power errechnet. Bezogen auf eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $\alpha \leq 0,05$ und basierend auf der Gesamtanzahl aller untersuchten Nächte für die drei Versuchsbedingungen ergab sich für die festgestellten signifikanten Unterschiede eine statistische Power von über 0,9.

3.5.4 Varianzanalyse

In Ergänzung zur Zusammenschau der Ergebnisse mit Hilfe des EQ- Diagramms wurde eine detaillierte statistische Analyse vorgenommen.

Mit der Statistik- Software SPSS wurde zunächst mit Hilfe der Varianzanalyse überprüft, ob die abhängigen Variablen, nämlich die unterschiedlichen *Schlafparameter* von einer Faktorvariablen, nämlich der *Schirmbedingung*, statistisch signifikant abhängen. Die Faktorvariable *Schirmbedingung* unterteilt die Grundgesamtheit in drei Gruppen (Sham, Verum und Kontrolle). Mit Hilfe der Varianzanalyse wurden die Nullhypothesen über die Auswirkungen der Schirmbedingungen auf die Mittelwerte verschiedener Gruppierungen einer gemeinsamen Verteilung der Schlafparameter getestet.

Modellannahmen zur Durchführung der Varianzanalyse waren Varianzhomogenität und das Vorliegen der Daten in normalverteilter Form. Um diese Annahmen zu überprüfen, wurden Residuen- Diagramme, der Levene- Test auf Homogenität der Varianzen und der Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung angewendet. Konnten die Modellannahmen nicht bestätigt werden, wurden in diesen Fällen nichtparametrische Tests (Kolmogorov-Smirnov-Test und Mann-Whintney U Test) durchgeführt, um auf signifikante Unterschiede in den Schlafparametern zwischen den Schirmbedingungen zu prüfen.

Ergaben sich im Modell Abweichungen zwischen den Mittelwerten, so wurden zusätzlich Post-Hoc- Mehrfachvergleiche durchgeführt, um die Ergebnisse zu bestätigen. Folgende Tests wurden verwendet:

- Spannweitentest nach Duncan
- Student-Newman-Keuls (S-N-K) - Test
- Tukey-B - Test
- Dunnett – Test

Die Analyse nach **Duncan**, der Student-Newman-Keuls- (**S-N-K**-) Test und der **Tukey-B** -Test sind Spannweitentests, mit denen Mittelwerte von Gruppen geordnet und ein Wertebereich berechnet werden, um Unterschiede feststellen zu können. Mit dem paarweisen T-Test für mehrere Vergleiche nach **Dunnett** werden alle Bedingungen (Schirmbedingungen) mit einer einzelnen Kontrollbedingung (*Kontroll-Schirmbedingung*) verglichen. Die Ergebnisse der Varianzanalyse sind in den folgenden Kapiteln zusammengefasst.

3.5.4.1 Subjektive Parameter

Wie in Kapitel 3.5.3.1 beschrieben, wurde die subjektive Einschätzung der Schlafqualität jeden Morgen mit Hilfe eines standardisierten Schlafragebogens erhoben. In Tabelle 3-6 ist jeweils die Anzahl der Probanden pro Schlafparameter zusammengestellt, bei denen sich für die subjektiven Schlafparameter ein statistisch signifikantes Ergebnis ($p < 0,05$) ergab. Zur Klassifizierung waren dabei folgende Bedingungen zu erfüllen:

- als „Effekt“ wurde klassifiziert, wenn sich die Verum- Bedingung sowohl bezüglich der Kontrolle als auch bezüglich der Sham- Bedingung statistisch signifikant unterschied. Als positiv wurde der Effekt bezeichnet, wenn sich unter Verum- Bedingungen eine Verbesserung, als negativ wurde ein Effekt bezeichnet, wenn sich eine Verschlechterung der Schlafqualität ergab.
- Als „Placebo“ wurde bezeichnet, wenn sich die Schlafqualität sowohl unter der Verum- als auch unter der Sham- Bedingung im Vergleich zur Kontroll- Bedingung statistisch signifikant **verbesserte**.
- Als „Beeinträchtigung“ wurde bezeichnet, wenn sich die Schlafqualität sowohl unter der Verum- als auch unter der Sham- Bedingung im Vergleich zur Kontroll- Bedingung statistisch signifikant **verschlechterte**.

Tabelle 3-6: Anzahl der Probanden pro subjektivem Schlafparameter, bei denen sich ein statistisch signifikantes Ergebnis ($p < 0,05$) zeigte.

Parameter	Effekt		Placebo	Beein- trächtigung	gesamt
	positiv	negativ			
SSA- Index	3	0	5	0	8
subj. Schlafqualität	1	0	5	0	6
subj. Aufwachqualität	1	0	5	0	6
subj. Schlafeffizienz	1	0	3	0	4
Gesamt subjektiv	6	0	18	0	

Insgesamt 6 Einzelergebnisse der subjektiven Schlafparameter ergaben sich für statistisch signifikante ($p < 0,05$) und positive, aber keine Signifikanz für negative Effekte, während sich 18 Signifikanzen für Placebowirkungen ergaben. Keine statistisch signifikanten Ergebnisse zeigten sich für Beeinflussungen durch die Schirmung an sich.

Insgesamt zeigt die statistische Überprüfung eine weitgehende Übereinstimmung mit den aus EQ- Diagrammen abgeleiteten Hinweisen (*Tabelle 3-4*).

3.5.4.2 Objektive Parameter

Analog zu Kapitel 3.5.4.1 wurden auch die objektiven Schlafparameter statistisch untersucht. Es zeigte sich, dass die Ergebnisse aus den EQ- Diagrammen weitgehend bestätigt wurden. Wie aus *Tabelle 3-7* ersichtlich, ergaben sich mit Ausnahme der Latenzzeit bis zum Auftreten des Stadiums 3 bei den Latenzzeiten wieder konsistente Ergebnisse, ebenfalls im Sinne statistische signifikanter Verlängerungen unter Verum- Bedingungen sowohl im Vergleich zur Kontroll- als auch zur Sham- Bedingung. Bei zwei Probanden war die Anzahl des Schlafstadienwechsels signifikant verringert.

Bezüglich Placebo- Wirkungen zeigten sich im Gegensatz zu den subjektiven Parametern (mit einer Ausnahme) keine signifikanten Ergebnisse.

Tabelle 3-7: Anzahl der Probanden pro objektivem Schlafparameter, bei denen sich ein statistisch signifikantes Ergebnis ($p < 0,05$) zeigte.

Parameter	Effekt		Placebo	Beein- trächtigung	gesamt
	positiv	negativ			
Latenz Stad.1 (sz)	0	0	0	0	0
Latenz Stad.2 (sz)	0	1	0	0	1
Latenz Stad.3 (sz)	0	0	0	1	1
Latenzdiff. 2-1	0	1	0	0	1
Latenzdiff. 3-2	0	2	0	0	2
REM-Latenz	0	1	1	0	2
% REM (SZ)	1	0	0	2	3
% Stadium 3 (SZ)	0	0	0	1	1
Schlafstadienwechsel	2	0	0	0	2
Wachanzahl	1	2	0	1	4
Schlafeffizienz	1	1	0	0	2
gesamt	5	8	1	5	

3.5.4.3 Zusammenfassung der Parameteranalyse

Die Schlafparameter- bezogene Auswertung ergab weitgehend konsistente Ergebnisse in Hinblick auf eine Verlängerung der Einschlafzeiten unter Verum- Bedingungen, also bei Verringerung der Immission elektromagnetischer Felder. Dies ist in Übereinstimmung mit publizierten Ergebnissen über eine Verkürzung von Einschlafzeiten unter Provokationsbedingungen, also bei Erhöhung der Immissionen.

Die bisherigen Untersuchungen waren auf die Schlafparameter an sich fokussiert, wobei nicht unterschieden wurde, wie viele signifikante Schlafparameter- Unterschiede auf einen einzigen Probanden entfielen. Eine Probanden- spezifische Analyse wurde daher getrennt dazu vorgenommen.

3.5.4.4 Probanden- spezifische Analyse

Im Rahmen der Probanden- spezifischen Analysen wurde zunächst mit einer statistischen Modellanalyse geprüft, ob sich zwischen den drei Versuchsbedingungen statistisch signifikante Unterschiede feststellen lassen. In einem zweiten Schritt wurde anschließend mit Hilfe nichtparametrischer Tests, nämlich des Kolmogorov-Smirnov-Tests und des Mann-Whitney U-Test, für jeden Probanden überprüft, in welcher Weise sich die Ergebnisse der drei Schirmbedingungen signifikant ($p < 0,05$) unterscheiden. Dabei wurden folgende Anforderungen festgelegt:

- Für die Schlussfolgerung, dass ein Schlaf verbessernder (positiver) Effekt der hochfrequenten Immission auftritt, wurde gefordert, dass sich in den zwei unabhängigen Tests die Ergebnisse der Verum- Bedingung sowohl von jenen der Sham- als auch der Kontroll- Bedingungen statistisch signifikant unterscheiden mussten. Zusätzlich wurde gefordert, dass sich die Ergebnisse von Sham- und Kontroll- Bedingungen statistisch **nicht** unterscheiden durften.

- Für die Einstufung als Placebo- Effekt oder Beeinträchtigung war erforderlich, dass sich die Ergebnisse der Kontrollbedingungen sowohl von jenen der Verum- als auch der Sham- Bedingungen statistisch signifikant unterscheiden mussten. Zusätzlich wurde gefordert, dass sich die Ergebnisse von Sham- und Verum- Bedingungen statistisch **nicht** unterscheiden durften. Schlafverbesserungen unter Schirm- Bedingungen wurden als Placeboeffekt durch den Glauben an eine Schirmwirkung, Schlafverschlechterungen als Beeinträchtigungen durch die Schirmung an sich gedeutet.
- Sollte sich herausstellen, dass alle drei Bedingungen von einander statistisch signifikant unterschiedlich waren, so war vorgesehen, das Ergebnis als nicht zuordenbar einzustufen und jedenfalls nicht als Schlafbeeinflussung durch den Verum- Schirm zu deuten.

Anmerkung: Wenn es einem Probanden möglich gewesen wäre, zwischen Verum und Sham zu unterscheiden, könnte ein Placeboeffekt eines "informierten" Probanden einen Effekt der hochfrequenten Immissionen vortäuschen. Erst recht wäre es einem Probanden möglich, durch bewusste Täuschung zumindest beim morgendlichen Ausfüllen des Fragebogens Einflüsse des Verum- Schirmes vorzutäuschen. Aus diesem Grund sind im Untersuchungsdesign mehrere Kontrollen und Plausibilitätstests vorgesehen worden.

Die Probanden- spezifische Analyse zeigte, dass sich nur bei 18 Probanden, also 41 Prozent der Probanden wenigstens bei einem Schlafparameter ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den Versuchsbedingungen feststellen ließ, der nach der Zusatzanalyse als positiver Effekt, negativer Effekt, Placebo oder Beeinträchtigung eingestuft werden konnte.

Anmerkung: Bei diesen Ergebnissen wurde keine Bonferroni- Korrektur vorgenommen, da diese nur auf unabhängige Einzelvergleichstests anwendbar ist und hier zu einem überstrengen Kriterium führen würden.

Tabelle 3-8 zeigt die Zusammenstellung der signifikanten Ergebnisse. Zur Unterstützung der Schlussfolgerungen wurden zusätzlich Ergebnisse bis zu einer Signifikanzgrenze $p=0,1$ eingetragen. Mit Hilfe der Tabelle 3-8 lassen sich mehrere Gruppen von Probanden identifizieren:

- Eine Gruppe von 3 Probanden, in der sich primär die subjektiven Schlafparameter unter Verum- Bedingungen signifikant verbesserten; bei einem Probanden war der Schlaf zusätzlich unter Verum- Bedingungen signifikant ruhiger (verringerte Anzahl von Aufwach- Ereignissen und weniger häufige Schlafstadienwechsel);
- eine Gruppe von 4 Probanden, bei denen unter Verum- Bedingungen eine oder mehrere Einschlafzeiten signifikant verlängert war. Das Gesamtbild wird gestützt dadurch, dass bei einem Probanden (D) zusätzlich zum signifikanten Ergebnis noch zwei weitere Latenzzeiten an der Signifikanzgrenze lagen und bei einem anderen Probanden (F) zusätzlich zur signifikant verlängerten Latenzzeitdifferenz vom Stadium 2 in das Stadium 3 auch die Latenzzeitdifferenz vom Stadium 1 in das Stadium 2 an der Signifikanzgrenze lag.
- eine Gruppe von 6 Probanden, bei denen sich meist bei mehreren subjektiven Schlafparametern signifikante Placebo- Wirkungen bestimmen ließen.
- Bei 2 weiteren Probanden ergab sich ein begründeter Verdacht auf eine Placebowirkung bei der subjektiven Schlafeffizienz (N) oder bei zwei Einschlafzeiten (O).
- Eine weitere Gruppe von 3 Probanden mit signifikanten Einzelergebnissen vorwiegend nur eines Schlafparameters ließ sich nicht konsistent einer Art von Schlafbeeinflussung zuordnen.

Tabelle 3-8: Zusammenfassung der Ergebnisse aller 18 Probanden, die mindestens bei einem der untersuchten Schlafparameter ein statistisch signifikantes Resultat zeigen (E...pos. Effekt, nE...neg. Effekt, P...Placebo, B...Beeinträchtigung). Klein geschrieben sind Resultate an der Signifikanzgrenze. Die Zahlenwerte geben das ermittelte Signifikanzniveau an.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
SSA- Index	E <0,001	E 0,05	E 0,05					P <0,001	P 0,05	P 0,003	P <0,001	P 0,017						
subj. Schlafqualität	E <0,001	E 0,11						P <0,001	P 0,043	P 0,001	P 0,001	P 0,001						nE 0,08
subj. Aufwachqualität	E <0,001	E 0,19						P 0,001	P <0,001	P 0,008	P 0,001	nE 0,10	P 0,033					
subj. Schlafeffizienz	E 0,08	E 0,05						P 0,021	P 0,005	P 0,05					P 0,06			
Latenz Stad. 1				nE 0,06									P 0,10			P 0,06		
Latenz Stad. 2				nE 0,035												P 0,10		
Latenz Stad. 3				nE 0,07														B 0,05
Latenzdiff. 2-1					nE 0,023	P 0,06												
Latenzdiff. 3-2					nE 0,032	nE 0,035												
REM Latenz								nE 0,01							P 0,027			
Schlafstadienwechsel	E 0,028							E 0,015										
Wach Anzahl	E 0,042										nE 0,01					B 0,003		nE 0,007
% REM der Schlafzeit					E 0,005											B 0,031	B 0,003	
% Stadium 3 der Schlafzeit												B 0,039						
Schlafeffizienz	E 0,002																	nE 0,041

Ob statistisch signifikante Veränderungen auch durch andere Ursachen bedingt sein könnten, wurde in der Kofaktoren- Analyse untersucht.

4 Kofaktorenanalyse

Im Verlauf der Untersuchungen wurde eine Reihe von Kofaktoren erfasst. Diese betrafen sowohl persönliche Daten und Tagesereignisse als auch sonstige Randbedingungen, z. B. wie Versuchsablauf, Wochentag, Temperatur, niederfrequente Magnetfelder und individuelle Aspekte wie Stress oder Alkoholkonsum. Eine mögliche Beeinflussung der Ergebnisse wurde mit Hilfe univariater und multivariater statistischer Analysemethoden untersucht.

4.1 Reihenfolge der Versuchsbedingungen

Um feststellen zu können, ob die Reihenfolge der Versuchsbedingungen eine Rolle gespielt haben könnte, wurde der subjektive Schlafparameter SSA aller Probanden über die fortlaufende Nummer aller Kontrollnächte aufgetragen. Da die EQ- Diagramm- Auswertung gezeigt hat, dass schirmbedingte Veränderungen auftraten, wurden dazu die Ergebnisse sowohl von Sham- als auch Verum- Nächten ausgeklammert. Der Umstand, dass die Schlafqualität mit dem Alter abnimmt, wurde dadurch berücksichtigt, dass eine Normierung auf den altersspezifischen Normwert vorgenommen wurde. *Bild 4-1* zeigt, dass die Ergebnisse der Probanden weit streuen, jedoch keine systematischen Abhängigkeiten erkennen lassen.

Anmerkung: Der Umstand, dass nach der Eingewöhnungsnacht in der ersten und zweiten Untersuchungsnacht keine Kontrollbedingungen aufscheinen liegt darin begründet, dass manche Probanden angaben, längere Zeit für die Adaptation an neue Bedingungen zu benötigen. Es wurden daher in den ersten zwei der mindestens 9 Untersuchungsnächte eine „Schirmung“ vorgenommen und nur zufällig zwischen Sham oder Verum gewechselt.

Die Regressionsanalyse ergibt eine mit der Reihenfolge der Untersuchungsnacht kaum ansteigende Gerade, (der Regressionskoeffizient ist kleiner 0,001). Eine relevante Beeinflussung über den zeitlichen Ablauf der Untersuchungen kann damit ausgeschlossen werden.

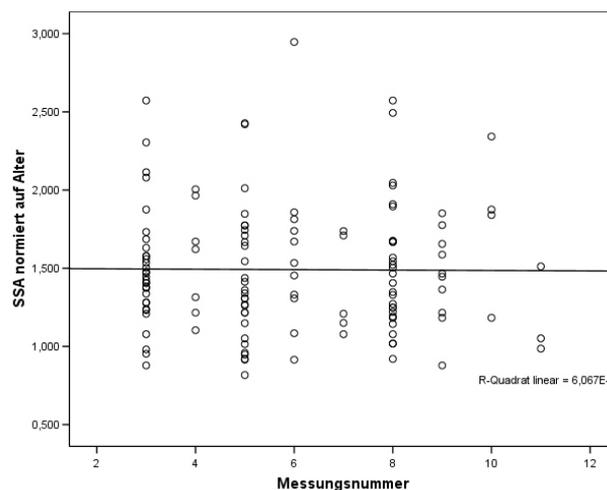


Bild 4-1: Altersnormierte subjektiver Schlafqualitätsindex (SSA) der Kontrollnächte aller Probanden, aufgetragen über die Messnummer mit Regressionsgerade.

4.2 Magnetfeld-Immissionen

Um allfällige Einflüsse niederfrequenter Magnetfelder zu erfassen, wurden diese ab Proband Nr. 17 und somit auch während aller Nächte der EPROS- Deutschland-Studie mit erfasst. Um Verfälschungen durch eine Schirmungen (z.B. Placebo-Effekte) auszuschließen, wurde die Auswertung auf die Kontrollnächte beschränkt. Mit zunehmender Magnetfeldimmission ergab sich eine leicht ansteigende Regressionsgerade im Sinne einer tendenziellen Schlafverschlechterung mit zunehmender Magnetfeldimmission, die jedoch statistisch nicht signifikant war und vorwiegend durch nur wenige Werte bei relativ höheren Immissionen von über 150nT bestimmt wird. Der Regressionskoeffizient beträgt 0,023, ein Zusammenhang konnte statistisch nicht nachgewiesen werden.

Die Analyse **aller** Nächte (inklusive Sham und Verum) ergibt eine gegenläufige Neigung der Regressionsgeraden, ein Zusammenhang ist ebenfalls nicht nachweisbar ($R = 0,032$).

Eine Beeinflussung der Ergebnisse durch die vorherrschenden Magnetfeldimmissionen kann daher ausgeschlossen werden.

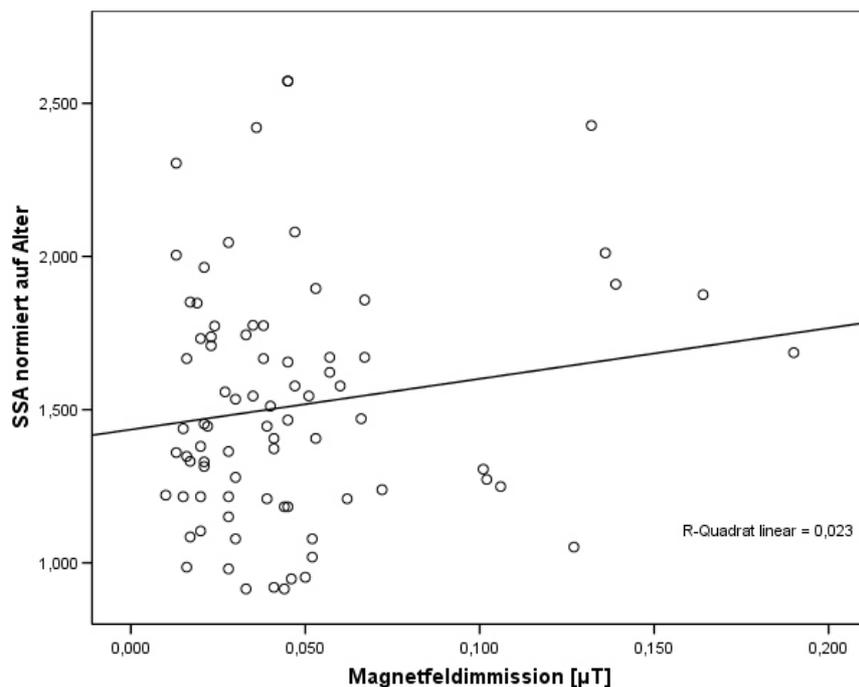


Bild 4-2: Altersnormierte subjektive Schlafqualität (SSA) der Kontrollnächte, aufgetragen über die Niederfrequenz- Magnetfeldimmission am Schlafplatz.

4.3 Wochentage

Angesichts der begrenzten Gesamtdauer des Projektes musste zur zügigen Anwicklung zur Einhaltung des vorgegebenen Zeitrahmens ein Kompromiss eingegangen werden:

1. Die zeitliche Nähe der untersuchten Nächte war anzustreben, um einerseits die grundsätzliche Vergleichbarkeit der einzelnen Nächte möglichst gut zu gewährleisten und andere Einflüsse wie z.B. Menstruationsperiode, Mondphasen usw. weitestgehend auszuschalten und andererseits die Gesamtdauer der Untersuchungen in einem vertretbaren Rahmen zu halten. Ein weiterer Vorteil war die kürzere Beanspruchung der Probanden, die während der Untersuchungsphase ihren Lebensstil an die Rahmenbedingungen anpassen mussten. Dies sprach für die Messung in einem geschlossenen zeitlichen Paket in aneinanderfolgenden Tagen auch über das Wochenende hinweg.
2. Eine Beschränkung der Untersuchungen auf Wochenende hätte den Vorteil geboten, einem möglichen Einfluss des erhöhten Stresses und der durch die Berufstätigkeit erzwungenen (vorzeitigen) Beendigung des Schlafes an Werktagen ausweichen zu können. Dies hätte jedoch neben den im ersten Punkt erwähnten Nachteilen auch eine erhebliche Verlängerung der Projektdauer bedeutet und die Bereitschaft zur Teilnahme eingeschränkt.
3. Eine Beschränkung auf die Arbeitstage hätte die Unterschiede des Tagesablaufs zwischen Arbeitstag und Wochenende vermieden, wäre jedoch auch noch mit einer ca. 40%igen Verlängerung der Projektdauer verbunden gewesen.

Nach Abwägung der Alternativen wurde die 1. Variante gewählt und beschlossen, eine allfällige Beeinflussung der Ergebnisse durch nachträgliche Analyse zu untersuchen.

Die Verteilung der drei Untersuchungsbedingungen auf Arbeitstage und Wochenenden ist in *Bild 4-3* dargestellt. Insgesamt entfallen 24% der Nächte auf Wochenenden und 76% auf Arbeitstage, was dem statistischen Erwartungswert 28,6% bzw. 71,4% sehr nahe kommt. Dies ist an sich nicht überraschend und kann als Indikator dafür angesehen werden, dass die Festlegung der Untersuchungsbedingungen durch das Zufallsprinzip vom Untersuchungsteam vor Ort tatsächlich eingehalten worden ist. Schwankungen erklären sich durch die fallweise Notwendigkeit, Untersuchungsbedingungen bereits untersuchter Nächte im Fall von Schwierigkeiten bei der Datenerfassung zu wiederholen.

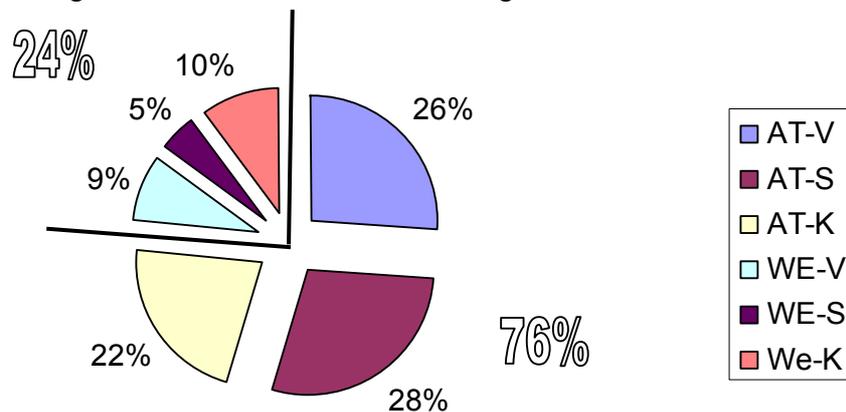


Bild 4-3: Verteilung der drei Untersuchungsbedingungen Sham (S), Verum (V) und Kontrolle (K) in den zwei Wochenabschnitten Arbeitstage (AT) und Wochenende (WE).

Um einen potenziellen Einfluss des Wochentages auf die ermittelten Schlafparameter erkennen zu können, wurden die Ergebnisse aller berufstätigen Probanden nach Arbeitstag und Wochenende getrennt ausgewertet. *Bild 4-4* zeigt die Gegenüberstellung der Boxplots der untersuchten Schlafparameter, jeweils normiert auf den Median der Ergebnisse an Arbeitstagen. Man erkennt, dass sich bis auf die Einschlafzeit und den Anteil des REM-Schlafes an der Gesamtschlafzeit keine wesentlichen Abweichungen der Mediane ergeben.

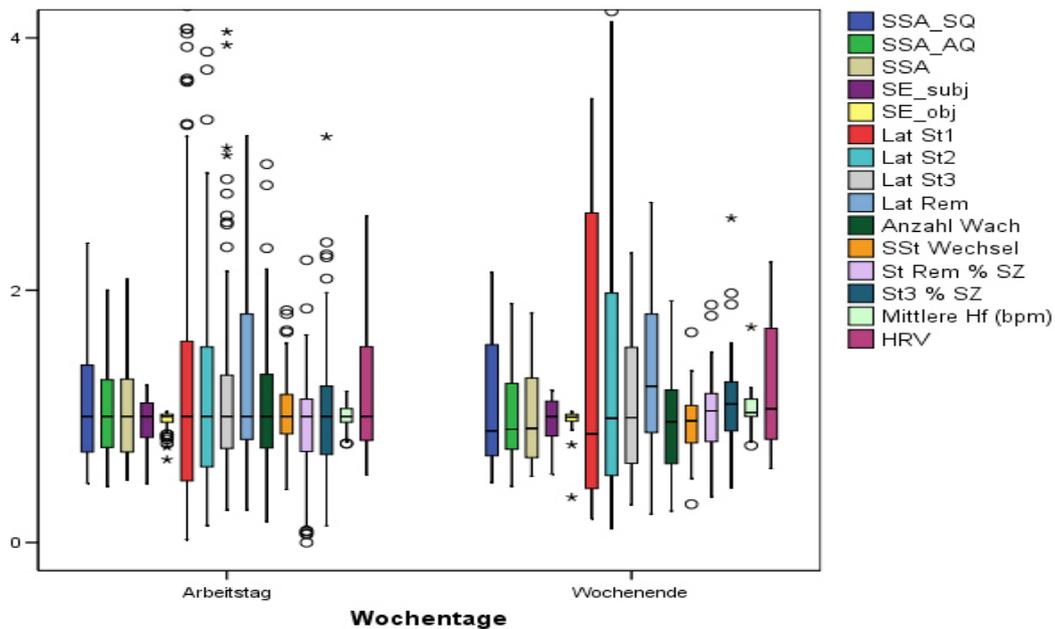


Bild 4-4: Gegenüberstellung der Boxplots der Ergebnisse für die jeweils auf den Medianwert der Arbeitstage normierten Schlafparameter aller berufstätigen Probanden an Arbeitstagen und Wochenenden.

Die Überprüfung mit Hilfe der nichtparametrischen statistischen Tests nach Mann-Whitney-U und Kolmogorov-Smirnov ergab, dass diese Abweichungen statistisch nicht signifikant sind. Da die REM- Phasen gehäuft in den Morgenstunden auftreten, ist zu erwarten, dass sich unter der Woche wegen der Schlafverkürzung durch das erzwungene frühere Aufstehen eine Verringerung des REM- Anteils ergibt.

4.4 Aus den Fragebögen ermittelte Kofaktoren

4.4.1 Multivariate Analyse

Die bisherigen statistischen Untersuchungen konzentrierten sich auf univariate Varianzanalysen, also die paarweise Untersuchung in Hinblick auf potentielle Zusammenhänge jeweils zweier Untersuchungsgrößen. Um das gleichzeitige Zusammenwirken mehrerer Parameter berücksichtigen zu können, wurde eine multivariate Varianzanalyse vorgenommen. Damit wird untersucht, welche Gruppen multiplikativ verknüpfter Kofaktoren gemeinsam auf ein Ergebnis einen statistisch signifikanten ($p < 0,05$) Einfluss haben könnten. Auf diese Weise können von den untersuchten Schlafparametern jene identifiziert werden, bei denen ein Einfluss von Kofaktoren nicht auszuschließen ist.

In Hinblick auf die Arbeitshypothese von besonderem Interesse ist die Untersuchung jener Probanden, deren Ergebnisse die Nullhypothese in Frage stellen, weil sich bei Abschirmung eine Verbesserung der Schlafqualität ergeben hat. Exemplarisch sind nachfolgend die Ergebnisse der Analyse für Probanden A dargestellt.

Proband A

Bei Proband A zeigte sich aufgrund der multivariaten Analyse eine Korrelation der HF- Immission mit allen subjektiven Schlafparametern und bezüglich der Schlafunruhe (Wachanzahl und Schlafstadienwechsel) (Tabelle 4-1). Es ist bemerkenswert, dass ein gleiches Muster an Korrelationen wie jenes der HF- Immission bezüglich der Aktiviertheit am Abend ergab, die mit dem Befindlichkeits-Fragebogen ermittelt wurde. Es wurde daher geprüft, ob die gleichzeitige Korrelation von Aktiviertheit und HF- Immission einen Effekt der Abschirmung vortäuschen könnte. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass die beiden Faktoren miteinander nicht korreliert sind und somit die Korrelation mit der HF- Immission keine Folge der Beeinflussung durch den Zustand der Aktiviertheit ist.

Die Elektrosensitivität am Abend ist nur mit dem subjektiven Schlafparameter SSA, die Elektrosensitivität am Morgen hingegen mit mehreren objektiven Schlafparametern korreliert (Tabelle 4-1).

Wie aus Tabelle 4-1 zu erkennen ist, ergab die univariate Einflussanalyse der einzelnen Parameter nur mehr für einen einzigen Parameter einen signifikanten Zusammenhang. Demnach war die subjektive Aufwachqualität mit dem „Zeitpunkt des Schlafengehens“ statistisch signifikant verknüpft. Es zeigte sich, dass Proband A bei früherem Schlafengehen eine schlechtere Aufwachqualität aufwies. Da sich jedoch bei der Untersuchung dieses Kofaktors kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Schirmbedingungen zeigte, kann ein verfälschender Einfluss auf das Ergebnis ausgeschlossen werden (vgl. Kapitel 4.4.2).

*Tabelle 4-1: Durch multivariate Varianzanalyse ermittelte Zusammenhänge zwischen Kofaktoren und Schlafparametern für Proband A.
(Nach weiterer univariater Analyse verblieb nur mehr der grau unterlegte Parameter als beeinflussender Faktor über).*

Kofaktor	SSA	SSQ	SAQ	SE	WA	SSW
HF-Immission	X	X	X		X	X
Abend-Aktiviertheit	X	X	X		X	X
Abend-Reaktionszeit	X					X
Zeitpunkt des Schlafengehens	X		X			
Gesamtschlafzeit	X					X
Abendessenzeit				X		
Abend-Elektrosensitivität	X					
Morgen-Elektrosensitivität				X		X
Elektrosensitivitäts-Differenz (A-M)				X		

Insgesamt hat die multivariate Varianzanalyse gezeigt, dass keiner der erfassten Kofaktoren das Untersuchungsergebnis signifikant beeinflussen konnte. Der randomisierte Untersuchungsansatz hat sich somit bewährt.

Faktoren wie Arbeitstag und Wochenende, die einen Einfluss auf einzelne Schlafparameter haben können, konnten sich nicht systematisch auswirken, allerdings die Streuung erhöhen und somit die Signifikanz beeinflussen. Gemeinsam mit der relativ geringen Anzahl der Nächte pro Versuchsbedingung ist aus diesem Grund das Signifikanzkriterium $p < 0,05$ als besonders schwer zu erfüllen anzusehen.

4.4.2 Zusammenhang Kofaktoren mit Abschirmungen und HF-Immission

Um zu überprüfen, ob mögliche aus den Fragebögen ermittelte Verhaltens-Kofaktoren einen Zusammenhang mit den Schirmbedingungen bzw. der HF Immission aufweisen, wurden in einem ersten Schritt Korrelationsanalysen vorgenommen. Die Überprüfung, ob es einen signifikanten Zusammenhang gibt

wurde mit Hilfe der nichtparametrischen Tests nach Mann-Whitney-U und Kolmogorov-Smirnov durchgeführt.

Die Ergebnisse sind in *Tabelle 4-2* dargestellt. Es zeigt, sich dass es aufgrund des randomisierten Untersuchungsansatzes **keinen** Kofaktor gab, der einen signifikanten Zusammenhang ($p < 0,05$) mit den Schirmbedingungen aufwies und somit keine signifikanten Beeinflussungen der Ergebnisse aufgetreten sind.

Tabelle 4-2: Ergebnisse der Korrelationsanalyse mit den relativ kleinsten statistischen Signifikanzwerten (p-Werte) nach dem Mann-Whitney-U (MW-Test) und Kolmogorov-Smirnov Test (KS-Test).

Kofaktor	Proband	p-Wert	
		MW-Test	KS-Test
Koffeinkonsum	A	0,189	0,173
Arbeitstag / Wochenende	A	0,315	0,283
Getränkekonsum	D	0,262	0,979
Müdigkeit vor Schlaf	B	0,2	0,181
	C	0,548	0,979
Belastungen tagsüber	F	0,167	0,336

5 Diskussion

Es konnte gezeigt werden, dass sich durch die Abschirmung der hochfrequenten elektromagnetischen Immissionen bei nur 7 Probanden (Proband A bis G, *Tabelle 3-8*), also ca. 16% der Gesamtanzahl, statistisch signifikante positive oder negative Effekte der Verum- Bedingung auf die Schlafqualität ergeben haben.

Die statistisch signifikanten Hinweise auf Placebo-Wirkungen bei der gepoolten Auswertung wurden bei insgesamt 8 Probanden (d. h. bei 18%) erhärtet. Bei 6 Probanden (H bis M), also bei ca. 14%, konnte gezeigt werden, dass deren Schlafqualität lediglich durch den Glauben an eine abschirmende Wirkung verbessert wurde, weil sich bei Schein- Schirmen die gleichen positiven Veränderungen ergaben, wie bei dem tatsächlichen Schirm (Placebo- Effekt). Bei 2 weiteren Probanden ergab sich ein Verdacht auf eine Placebowirkung.

Bei weiteren 3 Probanden ergaben sich jeweils bei einem Schlafparameter signifikante Ergebnisse, die jedoch keine konsistenten Schlussfolgerungen zuließen.

Bei einem überwiegenden Anteil von 59% ließen sich keinerlei statistisch signifikante Unterschiede nachweisen. Dies ist nicht selbstverständlich, weil ja die schwerwiegendsten Fälle der ca. 600 Freiwilligen in Hinblick auf die subjektive Überzeugung bezüglich einer kausalen Rolle des „Elektrosmog“ für die Untersuchungen ausgewählt worden waren. Für diese überwiegende Mehrheit konnten daher die subjektiven Überzeugungen nicht bestätigt werden.

Entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse der Probanden, bei denen sich ein signifikantes Ergebnis gezeigt hat, war es, annehmen zu können, dass sie die Bedingungen Verum und Sham nicht voneinander unterscheiden konnten. Wenn dies doch möglich gewesen wäre, würde ein Placebo- Effekt eines „informierten“ Probanden als Elektrosmog- Effekt missgedeutet werden.

Da einige Probanden sich bereits aktiv gegen Mobilfunkbetreiber engagiert hatten, war auch eine bewusste Täuschung bei den subjektiven Angaben zur Unterstützung ihrer Anliegen nicht grundsätzlich auszuschließen. In diesem Fall hätte ein informierter Proband die Möglichkeit, bei den subjektiven Schlafparametern das Ergebnis zu manipulieren, wenn er nach Verum- Nächten wahrheitswidrig eine bessere Schlafqualität angeben würde.

Auch wenn die beiden Schirmmaterialien von ihrer Beschaffenheit her ununterscheidbar waren und den Probanden die Existenz eines Schein- Schirmes verschwiegen wurde, war es nicht grundsätzlich auszuschließen, dass es Probanden geben konnte, die die Schirmbedingungen nachprüfen. Aus diesem Grund wurden bereits durch das Untersuchungsdesign Möglichkeiten zur Erkennung derartiger Versuche berücksichtigt.

So wurde z. B. mit der Aufzeichnung der hochfrequenten elektromagnetischen Immissionen bereits unmittelbar nach Aufbau des Schirmes begonnen und bis zum Abbau am folgenden Morgen lückenlos fortgeführt. Die Erfahrung mit dem Großteil der Probanden bestätigte, dass sich nach dem Aufbau des Verum- Schirmes

entsprechend verringerte Immissionswerte ergaben, die bis zum Öffnen des Schirmes beim Schlafengehen weitgehend konstant blieben. Wollte jedoch ein Proband die Schirmwirkung überprüfen, so musste er den Schirm öffnen und nach einiger Zeit wieder schließen (bzw. bei einem zuvor offenen Schirm in umgekehrter Reihenfolge vorgehen). Auf diese Weise waren entsprechende kurzzeitige atypische Veränderungen im Zeitverlauf der HF-Registrierung zu erwarten. Im Rahmen der Endauswertung wurden daher die Immissionsverläufe auf atypische Veränderungen untersucht.

Eine zusätzliche Kontrollmöglichkeit ergab sich durch Überwachung der GSM-Frequenzbänder. Wenn die Nachschau mit einem aktivierten Handy vorgenommen würde und dieses lange genug unter den Schirm gebracht würde, um vom Messzyklus des Messgerätes registriert zu werden, war zusätzlich auch eine deutliche Veränderung im GSM-Frequenzband zu erwarten.

Wenn ein Proband die Blind-Bedingung durch Überprüfung aufgehoben hatte, und ein Placebo-Effekte und/oder eine bewusste Täuschungsabsicht gegeben war, so wären zusätzlich auch Auswirkungen auf die subjektiven Angaben über Schlafqualität und die Elektromog-Stärke am Morgen wahrscheinlich.

Für die Überprüfung der potentiellen Aufhebung der Blind-Bedingung durch den Probanden standen daher folgende Kriterien zur Verfügung, die ganz oder teilweise erfüllt sein konnten:

- atypische kurzzeitige Veränderungen (Artefakte) der HF-Registrierung am Abend vor Verum-Nächten;
- atypische Angabe einer besseren subjektiven Schlafqualität nach Verum-Bedingungen;
- atypisch zuverlässigere Einschätzung der niedrigen Elektromog-Immission nach Verum-Nächten.

Aufgrund der Analysen der Immissionsaufzeichnungen und der subjektiven Angaben konnte bei den meisten Probanden ausgeschlossen werden, dass sie die Schirmbedingungen überprüft hatten. In einigen wenigen Fällen ergaben sich jedoch

überzeugende Hinweise darauf, dass Probanden die Schirmsituation überprüft und damit das Untersuchungskonzept unterlaufen hatten.

Es ist bemerkenswert, dass die Überprüfung der Immissionsverläufe ergab, dass sich bei allen drei Probanden mit signifikant verbesserten **subjektiven** Schlafparametern atypische Veränderungen in den HF-Registrierungen an den Verum- Vorabenden nachweisen ließen.

Besonders deutlich trifft dies auf Proband A zu. Bei ihm hatten sich nach Verum-Nächten bei den meisten subjektiven und zwei objektiven Schlafparametern signifikante Verbesserungen ergeben.

In Fall Proband A ergaben sich mehrere Indizien für dessen Versuche, die Expositionsbedingungen herauszufinden.

1. Es zeigte sich, dass bei Verum- Bedingungen ausnahmslos in allen HF-Registrierungen ca. 40 min nach der Beendigung des Schirmaufbaus und der Verabschiedung der Mitarbeiter atypische Veränderungen nachzuweisen waren, wie sie auftreten, wenn der Verum- Schirm, z. B. zu Überprüfungszwecken, geöffnet wird (*Bild 5-1*).

Anmerkung: Die Anzahl der Verum- Nächte ist bei ihm deshalb höher, weil nach der erfolgten Auswertung der Untersuchungsserie wegen der Auffälligkeit der Ergebnisse zusätzliche Untersuchungs Nächte vereinbart worden waren.

2. Ein weiteres Indiz dafür, dass sich der Proband Kenntnis über die Verum-Situation verschafft haben dürfte, liegt darin, dass ausnahmslos alle subjektiven Schlafparameter mit der Verum- Situation signifikant (bzw. an der Signifikanzgrenze) korreliert waren. Die verbleibenden zwei Signifikanzen der objektiven Schlafparameter „Schlafstadienwechsel“ und „Anzahl der Wachereignisse“, also Parameter, die die Schlafruhe charakterisieren, sind ebenfalls mit der Annahme eines gegebenen Vorwissens über die Verum-Bedingung konsistent. Es ist bemerkenswert, dass sich bei diesem Probanden jedoch keine Zusammenhänge mit Einschlaf latenzen finden ließen.

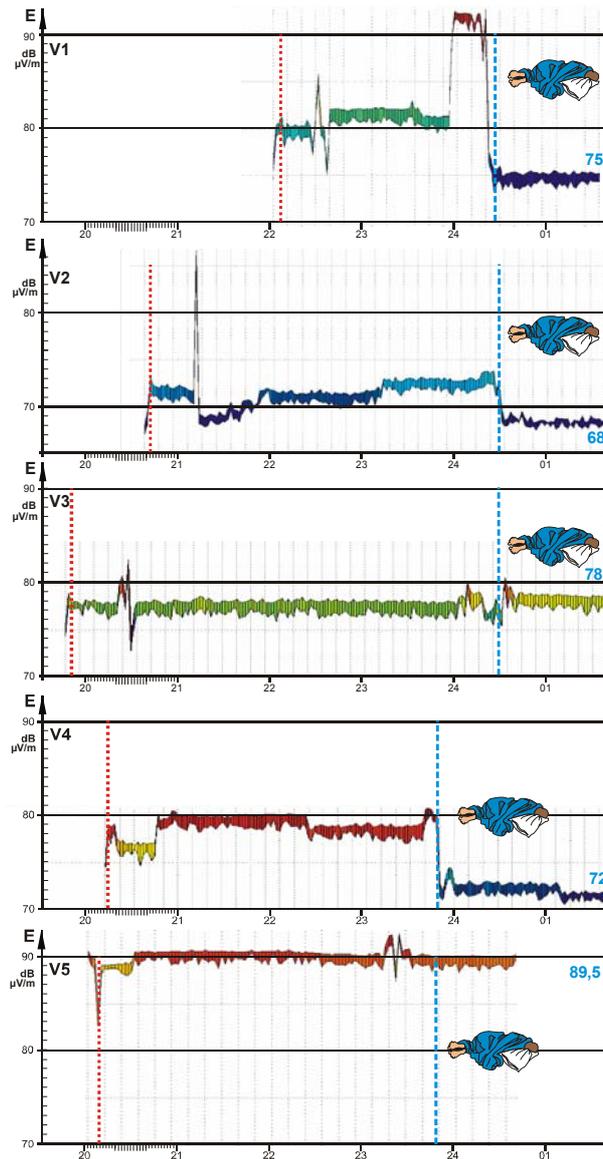


Bild 5-1: HF- Immissionsüberwachung zur Kontrolle atypischer Ereignisse (Proband A) mit charakteristischen Veränderungen jeweils ca. 40min nach Aufbau des Schirmes. Rot gestrichelte Linie...Ende des Schirmaufbaues, Blau gestrichelte Linie...Zeitpunkt des Zu-Bett-Gehens.

3. Die morgendliche Befragung über den subjektiven Eindruck des Vorhandenseins von Elektromog ergab bei Proband A selbst nach 5 Verum- Nächten mit einer auffällig hohen, nämlich 100%igen Trefferquote, dass nur nach Verum- Nächten angegeben wurde, dass kein Elektromog spürbar sei. Dies war umso auffälliger, weil die Schirmwirkung nicht in allen Nächten gleich gut und in einer Verum-Nacht (V5) die Immissionen wegen des nicht sorgfältigen Abschlusses der Einstiegsschlitze sogar doppelt so groß war, als sonst unter Verum- Bedingungen üblich. Jedoch selbst nach dieser Verum- Nacht wurde der Elektromog noch

immer als „nicht vorhanden“ beurteilt. Geht man von der Hypothese aus, dass das Unterscheidungsvermögen des Probanden nicht gut genug gewesen sein könnte, um eine Änderung von 12dB zu differenzieren, so führt dies zum Widerspruch, weil bereits ein Unterschied von weiteren 6 dB innerhalb der Sham- und Kontrollsituationen mit den subjektiven Angaben „mäßig“ und „stark“ durchaus feiner differenziert wurde. Die 100%ige Trefferquote steht auch im Widerspruch mit der sonstigen Beurteilungsunschärfe. Dies zeigte sich daran, dass mitten in einem Immissionsbereich, der sonst als „mäßig“ bezeichnet wird, vom Probanden fälschlicherweise auch die Beurteilung „stark“ angegeben wurde (*Bild 5-2*).

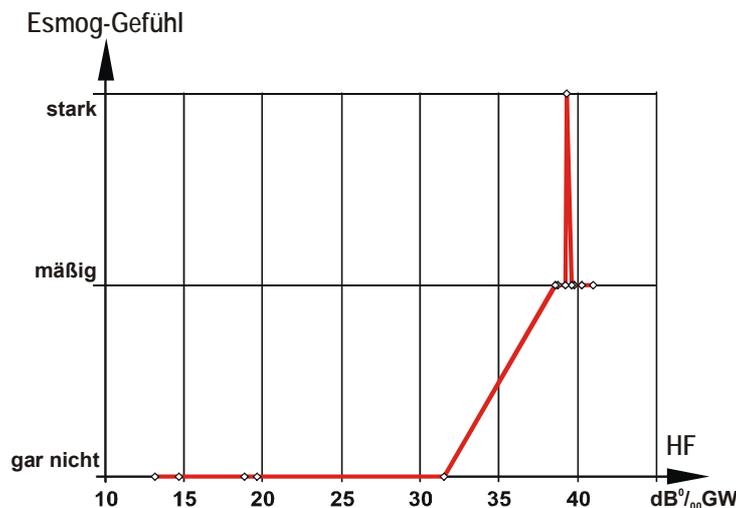


Bild 5-2: Angabe von Proband A über das Elektrosmoggefühl in der Nacht in Abhängigkeit der gemessenen HF-Immission (in dB der Promille vom Referenzwert)

- Als weiterer Test zur Erkennung, ob der Proband sich über die Schirmbedingungen Klarheit verschafft haben könnte, wurden schließlich die subjektiven Angaben über die Schlafdauer mit den objektiv aus dem Schlaf- EEG ermittelten Werten verglichen. Es zeigt sich dabei, dass nach Verum- Nächten weitgehend mit dem objektiven Befund übereinstimmende Angaben gemacht wurden, während nach Sham- und Kontrollnächten die Schlafdauer auffallend systematisch zu kurz angegeben wurde (*Bild 5-3*).

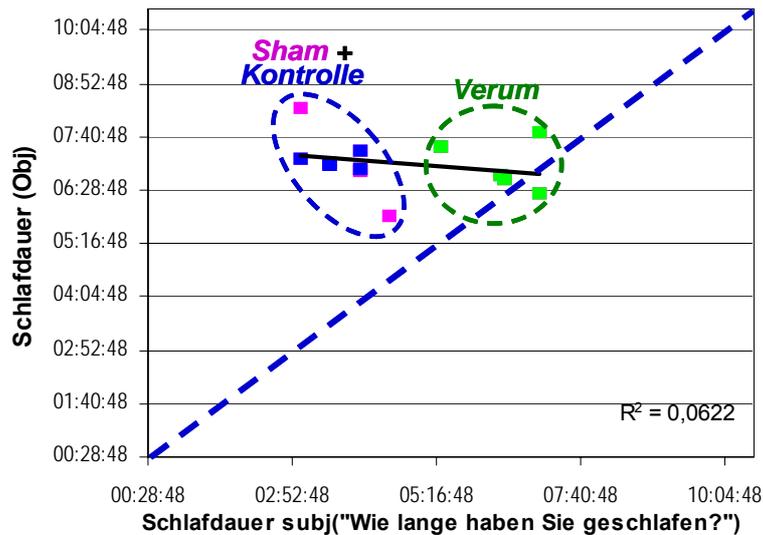


Bild 5-3: Angabe von Proband A über die subjektiv eingeschätzte Schlafdauer im Vergleich zum objektiven aus dem EEG ermittelten Befund.

Ein ähnlicher Befund ergab sich auch für Proband B: Bei ihm hoben sich die Verum-Angaben ebenfalls von den anderen Angaben ab und lagen näher am objektiven Ergebnis, während die Angaben für Sham und Kontrolle systematisch zu niedrig waren. Bei Angaben nach Sham- Nächten waren die Fehlschätzungen sogar besonders ausgeprägt.

Im Gegensatz dazu zeigt Proband C (bei dem sich lediglich für einen einzigen subjektiven Schlafparameter ein signifikantes Ergebnis gezeigt hatte) diese Anzeichen tendenziöser Angaben nicht. In seinem Fall heben sich die Verum-Angaben nicht von den übrigen ab, und es streuen alle Angaben um die Soll- Gerade des objektiven Befundes (Bild 5-4).

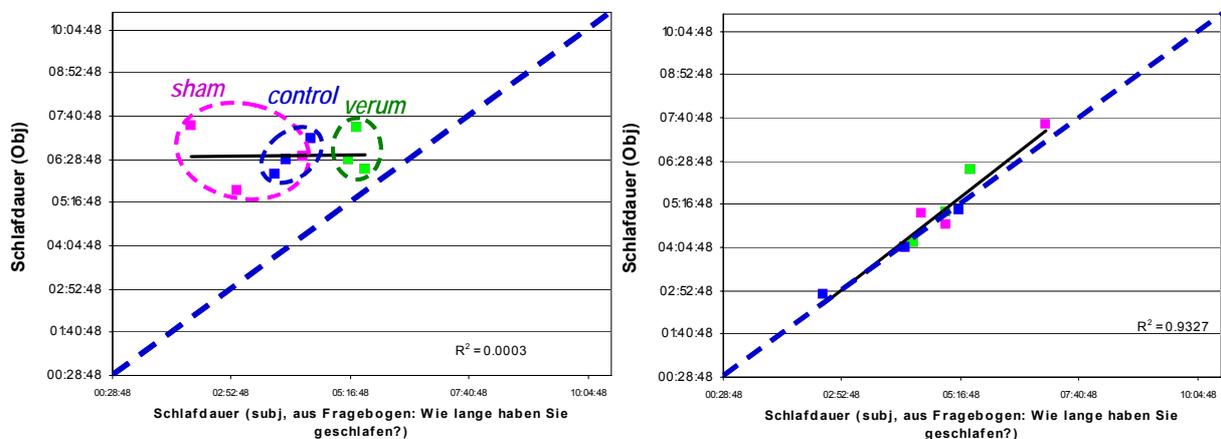


Bild 5-4: Angabe von Proband B (links) und Proband C (rechts) über die subjektiv eingeschätzte Schlafdauer im Vergleich zum objektiven aus dem EEG ermittelten Befund.

Bei allen drei Probanden, deren subjektive Schlafparameter unter Verum-Bedingungen signifikant verbessert waren, lagen somit Indizien über eine Überprüfung der Schirmbedingungen vor, bei den Probanden A und B gab es zusätzlich Indizien in Hinsicht auf manipulative subjektive Angaben. Die Ergebnisse der drei Probanden können daher nicht als Nachweis für eine potentielle Beeinflussung des Schlafes durch Elektrosmog gewertet werden.

Bei der Gruppe der 4 Probanden mit signifikant veränderten Latenzzeiten konnten keine Indizien für eine Manipulation gefunden werden. Dies wird auch durch das Fehlen signifikanter Ergebnisse für willkürlich manipulierbare subjektive Schlafparameter unterstützt. Im Fall dieser Gruppe muss daher die Veränderung auf die Versuchsbedingungen zurückgeführt werden. Die festgestellten Veränderungen waren innerhalb der Gruppe konsistent. Die statistisch signifikanten Unterschiede der Ergebnisse unter Verum- Bedingungen ($p < 0,05$) wurden durch das Gesamtbild der verringerten p-Werte für andere Latenzzeiten gestützt.

Die Ergebnisse stimmen bezüglich der Parameter und deren Trend mit Arbeiten aus der Literatur (Wagner und Röschke 1996, 1998 und Loughran et al. 2005) überein, in denen ebenfalls über Beeinflussungen der Einschlafzeiten berichtet wurde. Die berichtete Verkürzung bei Immissionserhöhung in Provokationsexperimenten ist somit konsistent mit der hier festgestellten Verlängerung bei Immissionsverringern.

Für die Einstufung als signifikantes Ergebnis wurde in *Tabelle 3-8* für jeden der untersuchten 15 Schlafparameter die gleichzeitige Erfüllung dreier statistischer Bedingungen gefordert, nämlich jeweils zwei statistisch signifikante Unterschiede ($p < 0,05$) zweier Versuchsbedingungen im Vergleich zu einer dritten und kein statistisch signifikanter Unterschied zwischen den ersten zwei Bedingungen. Dies stellt daher ein härteres Kriterium dar als unabhängige einfache Vergleichstests zweier Datenmengen. Bei gleichzeitiger Untersuchung mehrerer unabhängiger Variablen ist zwar eine höhere Wahrscheinlichkeit für das Auffinden (zufälliger) Signifikanzen gegeben. Die Berücksichtigung dieses Umstandes erfolgt meist durch die Bonferroni- Korrektur des Signifikanzniveaus. Diese ist jedoch nur auf unabhängige Einzelvergleichstests anwendbar. Da in der Studie für die Feststellung einer Veränderung jedoch drei Bedingungen zu erfüllen waren, sind die Voraussetzungen für die Bonferroni- Korrektur nicht gegeben und würden zu einem

überstrengen Kriterium führen. Um nicht dem Vorwurf ausgesetzt zu sein, die Ergebnisse wären mit Absicht so lange „korrigiert“ worden, bis nur mehr wenig herauskommt und angesichts der nicht erfüllten Rahmenbedingungen wurde die Anwendung der Bonferroni- Korrektur als nicht zielführend angesehen.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der EPROS- Schlafstudie konnte der Schlaf von 20 Probanden untersucht und insgesamt 214 Nächte analysiert werden. Die Ergebnisse wurden mit jenen der vorangegangenen von anderer Seite⁵ finanzierten Untersuchung gepoolt, sodass Resultate von insgesamt 44 Probanden ausgewertet werden konnten. Die untersuchten Probanden litten unter ständigen schwerwiegenden Schlafstörungen und waren subjektiv fest überzeugt, dass von außen einwirkende hochfrequente elektromagnetische Felder die Ursache dafür seien.

Als neue Alternative zu Provokationsstudien wurden mit einem mobilen Schirm die vorhandenen Felder in den Schlafzimmern der Probanden abgeschirmt und die Schlafqualität der Probanden mit und ohne Schirm verglichen, um die potenzielle Rolle des hochfrequenten „Elektrosmogs“ untersuchen zu können. Dabei war es entscheidend, erkennen zu können, ob bereits der Glaube an die Wirksamkeit des Schirmes eine Verbesserung oder ob die Beeinträchtigung durch die ungewohnte Umhüllung des Bettes mit einem Schirmstoff eine Verschlechterung der Schlafqualität bewirkt. Dies wurde dadurch ermöglicht, dass ein ununterscheidbarer zweiter Schirm verwendet wurde, mit dem eine „Elektrosmog“- Abschirmung lediglich vorgetäuscht wurde. Es konnten daher drei Untersuchungsbedingungen (Verum / Sham / Kontrolle) während mindestens je drei Nächte ausgewertet werden.

Durch Anwendung univariater und multivariater statistischer Analysemethoden Analyse konnte gezeigt werden, dass aufgrund des randomisierten Untersuchungsansatzes keine signifikanten Beeinflussungen der Schlafanalyse durch Kofaktoren aufgetreten sind.

⁵ Studie EPROS- Österreich, finanziert durch das österreichische Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sowie das Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

Eine wesentliche Voraussetzung für belastbare Ergebnisse war, dass die Untersuchungen unter Doppelblind- Bedingungen durchgeführt wurden und dass insbesondere auch die Probanden nicht wussten, wann die Elektrosmogabschirmung echt und wann nur vorgetäuscht war. Zur Qualitätssicherung waren im Versuchsdesign einige dies bezügliche Kontrollmöglichkeiten vorgesehen worden. Dies hat sich bewährt. Es musste festgestellt werden, dass drei Probanden die Schirmbedingungen durch Überprüfungsversuche herausgefunden haben dürften.

Obwohl es kein Auswahlkriterium war, zeigte es sich, dass die meisten Probanden eine gegenüber der Allgemeinbevölkerung **erhöhte Elektrosensitivität** aufwiesen.

Die Messungen der elektromagnetischen Immissionen haben die Erwartungen der Probanden nicht bestätigt, wonach in ihren Schlafzimmern atypisch hohe elektromagnetische Immissionswerte festzustellen sein würden.

Die gepoolte Auswertung für die Gesamtgruppe aller Probanden ergab einen statistisch nicht signifikanten Trend zu einer Verbesserung der subjektiv empfundenen Schlafqualität mit zunehmender Immissionsstärke. Auch bezüglich des vom Mobilfunk stammenden Immissionsanteils ergab sich kein signifikanter Zusammenhang.

Mit Hilfe einer neu entwickelten Darstellungsmethode, des Effekt- Quadranten- Diagramms, konnte eine Zusammenschau der Einzelergebnisse vorgenommen und alle drei Untersuchungsbedingungen gemeinsam sowohl für einzelne Schlafparameter als auch für einzelne Probanden bewertet werden.

Bei der überwiegenden Anzahl der Probanden konnte die subjektive Überzeugung widerlegt werden, dass Elektrosmog an den Schlafstörungen schuld sei.

Die gepoolte Auswertung ergab statistisch signifikante Placebo- Effekte bei subjektiven Schlafparametern. Dies wurde durch Probanden- spezifische Auswertungen bestätigt. Bei 18 Prozent der Probanden konnte nachgewiesen

werden, dass bereits der Glaube an eine Schirmwirkung zu einer Schlafverbesserung führte (Placebo- Effekt).

Bei 7 Prozent der Probanden konnte der Nachweis erbracht werden, dass sie sich über die Versuchsbedingungen Klarheit verschafft hatten. Ihre Ergebnisse mussten daher für die Untersuchung einer potentiell kausalen Wirkung der hochfrequenten Immissionen ausgeschieden werden.

Bei 9 Prozent der Probanden konnte eine statistisch signifikante Beeinflussung des Einschlafverhaltens durch die Verringerung der hochfrequenten Immissionen festgestellt werden. Die Ergebnisse waren innerhalb der Gruppe konsistent (d.h. es ergaben sich bei keinem Probanden gegenteiligen Veränderungen) und wurden durch ergänzende an der Signifikanzgrenze liegende Befunde gestützt. Demnach ergaben sich bei allen signifikanten Ergebnissen der Gruppe bei Verringerung des „Elektrosmogs“ verlängerte Einschlafzeiten. Dies ist in Übereinstimmung mit Ergebnissen in der Literatur, wonach sich bei Verstärkung hochfrequenter Immissionen Verkürzungen der Einschlafzeiten ergaben.

Die Untersuchungen ergaben keinen Hinweis auf gesundheitsschädigende Einflüsse der hochfrequenten elektromagnetischen Immissionen den Schlaf, insbesondere auch nicht durch jene des Mobilfunks.

Die Studie zeigte jedoch, dass subtile Auswirkungen hochfrequenter Immissionen auf das Einschlafverhalten möglich sind. Dieses Ergebnis ist insbesondere in Hinblick auf die Diskussion über mögliche Wechselwirkungsmechanismen schwacher (nichtthermischer) hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Bedeutung und sollte daher durch weitere Untersuchungen abgesichert werden.

7 Summary

In this EPROS study during a total of 214 nights sleep of 20 volunteers could be analysed. The results were pooled with those gained at a preceding study funded by other institutions⁶ hence allowing analysis of data from overall 44 volunteers. The investigated persons suffered from permanent and severe sleep disturbances and were deeply convinced that environmental radiofrequency (RF) electromagnetic fields (EMF) caused their problems.

As a new alternative to provocation studies a mobile shield was used to reduce existing fields within the sleeping rooms of volunteers to investigate the potential role of RF electromagnetic fields and to compare sleep quality with and without shielding. It was essential to determine whether the belief in the efficiency of shielding improved or the unfamiliar encasement of the bed impaired sleep quality. This was made possible by additionally using a sham shield. Therefore, three test conditions (verum / sham / control) could be analysed with at least three nights for each condition.

An essential requirement for reliable results was to assure double-blind conditions, in particular to avoid that volunteers differentiated between sham and verum shields. For quality assurance several test possibilities were included into the study design. This has proven valuable. It could be detected that three volunteers had checked and discovered the real shielding conditions.

By univariate and multivariate statistical analysis it could be shown that the randomised study design prevented cofactors from significantly influencing the analysis of sleep parameters.

Although it was no selection criterium it turned out that most of the volunteers exhibited an increased electrosensitivity. The measurements of the RF electromagnetic immissions did not confirm volunteer's expectations to have atypically increased EMF levels within their sleeping rooms.

⁶ EPROS- Austria, funded by the Austrian Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft and the Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie.

The pooled analysis for all volunteers showed a non-significant trend to improved sleep quality with the RF-EMF levels in general. In particular, no statistical significant dependency could be found with mobile telecommunication field levels.

With a newly developed presentation method, the effect-quadrant diagram, it was made possible to synoptically view the individual results of all three test conditions both for single sleep parameters of all volunteers as well as for all sleep parameters of a single volunteer.

For a predominant number the subjective conviction of volunteers that RF electromagnetic pollution was the cause of their sleep disturbance could be falsified. The pooled analysis resulted in statistically significant placebo-effects for subjective sleep parameters. This was confirmed by volunteer-based analysis. For 18% of volunteers it could be demonstrated that their belief in shielding improved sleep (placebo-effect).

It could be proven that 7% of volunteers had checked the real shielding situation. Therefore, their results had to be rejected as evidence of a potential causal role of RF immissions.

However, the sleep onset behaviour of 9% of the volunteers was statistical significantly affected by RF-EMF shielding. The results were consistent within this group (no contrary effects could be found at any of these volunteers) and supported by additional results which were almost significant. All significant effects were related to increased sleep onset latency times. This is in agreement with reports on decreasing latencies with increasing RF-EMF immission levels.

The investigations did not indicate adverse health effects on sleep from RF-EMF immissions in general and from mobile telecommunication fields in particular. However, the study showed that subtle effects of RF-EMF emissions on the sleep onset behaviour might be possible. This finding is of particular importance regarding potential interaction mechanisms of weak (non-thermal) radiofrequency electromagnetic fields and should be verified by further investigations.

8 Literaturverzeichnis

1. Abelin, T., Altpeter, E. S., Pfluger, D., Krebs, T., v. Känel, J., Stärk, K., Griot, C. (1995): Gesundheitliche Auswirkungen des Kurzwellensenders Schwarzenburg. BEW Schriftenreihe 56
2. 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., Griot, C., Abelin, T. (1995): Studie über Gesundheitseffekte durch den Kurzwellensender Schwarzenburg, Bern, Schweiz, Bundesamt für Energie, Schlussbericht.
3. 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
4. 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
5. Buysse D.J., Reynolds C.F., Monk T.H., Berman S.R., Kupfer D.J. (1988): The Pittsburgh Sleep Quality Index: A New Instrument for Psychiatric Practise an Research, Psychiatry research, 28, 193-213
6. 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
7. 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
8. 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
9. Ehlert, I., Danker- Hopfe, H., Höller, L., Rickenbach, P., Baumgart- Schmitt, R., Herrmann, W. M. (1998): A Comparison between EEG Recording and Scoring by QUISI Version 1.0s and Standard PSG with Visual Scoring. Somnologie 2. 104...116

10. Eulitz C., Ullsperger P., Freude G., Elbert T.: Mobile phones modulate response patterns of human brain activity. *Neuroreport* 1998, 9(14): 3229-3232
11. Freiburger Appell, 9. Oktober 2002
12. Freude G., Ullsperger P., et al. (2000): Microwaves emitted by cellular telephones affect human slow brain potentials. *Eur J Appl Physiol*, 81(1-2): 18-27
13. 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
14. 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.
15. 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
16. Gfüllner, F., Simon, G. (2000): Untersuchungen zum vollautomatischen Schlaf-EEG- Analysesystem QUISI. *Pneumologie* 54, 580...583
17. 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
18. 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.
19. Herr C.E.W., zur Nieden A., Lindenstruth M., Stilianakis N.I., Seitz H., Eikmann T.F. (2005): Relating Use of Mobile Phones to Reported Sleep Quality. *Somnology*, 9(4), 199-202
20. Hietanen M., Kovala 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
21. Hillert L, Berglind N, Arnetz B B, and Bellander T. (2002): Prevalence of self-reported hypersensitivity to electric or magnetic fields in a population-based questionnaire survey. *Scand J Work Environ Health*, 28, 33-41.

22. Hinrichs H., Heinze H.J., Rotte M. (2005): Human Sleep under the Influence of a GSM 1800 Electromagnetic Far Field. *Somnology*, 9(4), 185-191
23. 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
24. 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
25. Huber R., Graf T., Cote K.A., Wittmann L., Gallmann E., Matter D., Schuderer J., Kuster N., Borbely A.A., Achermann P. (2000): Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. *Neuroreport* 11(15): 3321-3325
26. 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. *Bioelectromagnetics* 24, 262-276
27. 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
28. 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
29. Hutter, H-P., Moshhammer, H., Wallner, P., Kundi, M. (2006): Subjective Symptoms, Sleeping Problems, and Cognitive Performance in Subjects Living Near Mobile Phone Basestations. *Occup. Environm. Med.* 63(5), 307-313
30. 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
31. Von Klitzing, L. (1992): Electromagnetic fields pused with 217Hz alter EEG of man at very low energy levels. *Proc. ASnn. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol.*, 221-223

32. Von Klitzing, L. (1995): Low-Frequenzcy pulsed electromagnetic fields influence EEG of man. *Physica Media* 9, 77-80
33. 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
34. Krause, C. M., Sillanmaki, L., Koivisto, M., Haggqvist, A., Saarela, C., Revonsuo, A., Laine, M., Hamalainen, 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
35. 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
36. 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
37. 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
38. Leitgeb, N., Schröttner, J., Böhm, M. (2005): Does „electromagnetic pollution“ cause illness? *Wk. Med.Wochenschr.* 155/9, 237-241
39. Leitgeb, N., Schröttner, J., Cech, R., Kerbl, R. (2004): Untersuchung von Schlafstörungen um Hochfrequenz- Sendeanlagen. *Biomedizinische Technik* 49, 186-193
40. Leitgeb, N., Schröttner, J. (2003): Electrosensibility and Electromagnetic Hypersensitivity. *Bioelectromagnetics* 24, 387-394
41. Levallois P, Neutra R, Lee G, Hristova, L. (2002): Study of self-reported hypersensitivity to electromagnetic fields in California. *Environ Health Perspect*, 110 Suppl 4, 619-623.
42. 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
43. 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
44. Mann, K., Röschke, J. (1996): REM Suppression Induced by Digital Mobile Radio Telephones. *Wiener Med. Wochenschr.* 15(1), 67-75
 45. Mann, K., Röschke, J. (1996): Effects of Pulsed High-Frequency Electromagnetic Fields in Human Sleep. *Neuropsychobiol.* 33, 41-47
 46. 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
 47. Mobilfunk-Petition betreffend den flächendeckenden Ausbau der Mobilfunknetze in Österreich, Wien, 30. November 1999
 48. Mobilfunk-Petition, 7. Wien, Mai 2003
 49. Meckelburg, H.-J., Jahre, K., Matkey, K (1995): Der Einfluss von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf das Elektroenzephalogramm von Menschen. *Kleinheubacher Berichte* 38, 1-19
 50. 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
 51. 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
 52. 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
 53. Rechtschaffen, A., Kales, A. (1968): A manual of standardised terminology, techniques and scoring system for sleep stages of human subjects. Washington Public Services, US Gov. Printing Office, Washington, DC
 54. Regel, S. J., Negovetic, S., Rössli, M., Berdinas, V., Schuderer, J., Huss, A., Lott, U., Kuster, N., Achermann, P. (2006); UMTS basestation-like exposure, well-being, and cognitive performance. *Environ. Health Perspect.* 114, 1270-1275
 55. Reiser H., Dimpfel W., Schober F. (1995): The influence of electromagnetic fields on human brain activity. *Eur J Med. Res.* 1(1): 27-32

56. Resolution zur Minimierung der allgemeinen Elektromog- Belastung, Bonn, 19. Oktober 1999
57. Riemann D., Backhaus J. (1996): Behandlung von Schlafstörungen. Beltz, Weinheim.
58. Röschke, J., Mann, K. (1997): No Short-Term Effects of Digital Mobile Radio telephone on the Awake Human Electroencephalogram. *Bioelectromagnetics* 18: 172-176
59. Rubin, G. J., Munshi, J. D., Wessely, S. (2005): Electromagnetic Hypersensitivity: A systematic Review of Provocation Studies. *Psychosom. Med.* 67, 224-232
60. Saletu, B., Wessely, P., Grünberger, J., Schultes, M. (1987): Erste klinische Erfahrungen mit einem neuen schlafanstoßenden Benzodiazepin, Cinolazepam, mittels eines Selbstbeurteilungsbogens für Schlaf- und Aufwachqualität (SSA). *Neuropsychiatrie* 1, 169-176
61. 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
62. Schröttner, J., Leitgeb, N., Cech, R. (2007): Investigation of electric current perception thresholds of different EHS groups. *Bioelectromagnetics*, Vol.28 (3), 208-213
63. 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. *Bioelectromagnetics* 19: 199-202.
64. Wagner, P., Röschke, J., Mann, K., Fell, J., Hiller, W., Frank, C., Grözinger, M. (2000): Human Sleep EEG under the Influence of Pulsed RF electromagnetic fields. *Neuropsychobiol.* 42, 207-212
65. 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

9 Abbildungsverzeichnis

<i>Bild 3-1: Verteilung der 97 in die Gesamtuntersuchung einbezogenen Probanden..</i>	35
<i>Bild 3-2: Verteilung der 51 untersuchten Probanden:.....</i>	37
<i>Bild 3-3: Boxplots zur Gegenüberstellung des Arbeits- (rechts) bzw. Wohnortes (links).....</i>	38
<i>Bild 3-4: Informationsquellen, die zur Überzeugung geführt haben, dass das Schlafproblem durch „Elektrosmog“ verursacht wird.</i>	39
<i>Bild 3-5: „Elektrosmog“- Quellen, die von den Probanden aktiv gemieden werden. Die Balkenlänge pro Quelle ist verlängert, wenn die Vermeidung nicht nur „wenn möglich“, sondern „immer“ erfolgte.....</i>	40
<i>Bild 3-6: Vermutete Verursacher der Schlafproblem (in zwei Fällen wurden dazu keine Angaben gemacht). Die Balkenlänge pro Quelle ist verlängert, wenn behauptet wurde, dass die Quelle die Schlafprobleme nicht nur „gelegentlich“, sondern „immer“ verursacht.....</i>	41
<i>Bild 3-7: Sozialer Hintergrund der Probanden in Bezug auf die Ausbildung (links) und die Berufsgruppe (rechts).</i>	42
<i>Bild 3-8: Lebensgewohnheiten der Probanden in Bezug auf Ernährung (links), Rauchen (Mitte) und Alkoholkonsum (rechts).....</i>	43
<i>Bild 3-9: Einschätzung des Gesundheitszustandes während des letzten Monats. ...</i>	44
<i>Bild 3-10: Dauer der Gesundheitsbeschwerden.</i>	44
<i>Bild 3-11: Anzahl und Häufigkeit der Gesundheitsstörungen pro Proband. Die Länge der einzelnen Balken entspricht der Häufigkeit der auftretenden Symptome („1x im Monat“, „1x pro Woche“, „mehrmals pro Woche“ oder „täglich“).....</i>	45
<i>Bild 3-12: Schweregrad der Schlafstörungen, ermittelt als PSQI aufgrund der Fragebogen- Antworten über die letzten 14 Tage. Probanden mit PSQI- Werten über 5 sind als schlechte Schläfer einzustufen.</i>	46
<i>Bild 3-13: Messposition der HF- Messsonde</i>	47
<i>Bild 3-14: Mittelwert aller in 6 ungeschirmten Nächten gemessenen Spektren an einem Standort. (Anmerkung: Der signifikant verringerte Rauschanteil in einzelnen Frequenzbändern ist in der dort gewählten feineren Frequenzauflösung begründet).</i>	48
<i>Bild 3-15: Gesamtimmission (GI) durch hochfrequente elektromagnetische Felder (Gesamtmittelwerte und Streubereiche) im Frequenzbereich 80MHz bis 2,5GHz, an verschiedenen Schlafplätzen, gemittelt über je 6 ungeschirmte Nächte (Messwerte aus dem Großraum Graz wurden in rot dargestellt).</i>	49
<i>Bild 3-16: Übereinander gezeichnete Einzelspektren am Standort gemäß Bild 3-14, gemessen in allen 6 ungeschirmten Nächten.</i>	50
<i>Bild 3-17: Anteil der GSM- Mobilfunkimmission bei den 44 Probanden in Abhängigkeit der UKW- Immission in Promille vom Referenzwert. Dargestellt wurde jeweils der Mittelwert des Immissionsanteils von ungeschirmten Nächten je Proband.</i>	52

<i>Bild 3-18: Anteil des GSM- Uplink (in % des GSM- Anteils) in Abhängigkeit des GSM- Mobilfunk- Immissionsanteils (in Promille der Gesamtimmission).</i>	53
<i>Bild 3-19: Boxplot des Schirmfaktors der Gesamtimmission [in dB] für alle untersuchten Probanden.</i>	55
<i>Bild 3-20: Wahrnehmbarkeitsschwellen für 50Hz-elektrische Ströme und Streuung der aufeinanderfolgenden Einzelmessungen, bestimmt an 17 männlichen Probanden, gemessen am Abend (Kreise) und am Morgen (Rauten). SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich; SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß</i>	57
<i>Bild 3-21: Wahrnehmbarkeitsschwellen für 50Hz-elektrische Ströme und Streuung der aufeinanderfolgenden Einzelmessungen, bestimmt an 27 weiblichen Probanden, gemessen am Abend (Kreise) und am Morgen (Rauten). SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß</i>	58
<i>Bild 3-22: Die Wahrscheinlichkeit der Wahrnehmung von 50Hz-elektrischen Strömen von 44 (männlichen und weiblichen) Probanden im Vergleich zur erwachsenen Allgemeinbevölkerung (die erhöhte Empfindlichkeit von Frauen wurde dabei durch Division mit dem Faktor 0,77 berücksichtigt)</i>	57
<i>Bild 3-23: Median der Streuung der Wahrnehmbarkeitsschwellen bei Wiederholungsmessungen in Abhängigkeit des Medians der gemessenen Wahrnehmbarkeitsschwellen, ermittelt für 44 Probanden. SE..sehr empfindlich, E..empfindlich, N..normal, WE..wenig empfindlich, UE..unempfindlich SK..sehr klein, K..klein, N..normal, G..groß, SG..sehr groß</i>	59
<i>Bild 3-24: Reihung von Schlafparametern N_{SIndex} nach der Anzahl N_{PKorr} der Probanden, bei denen Korrelationen von Schlafparametern mit dem subjektiven Schlafkoeffizienten (SSA) auftreten.</i>	63
<i>Bild 3-25: Boxplot der auf das Alter normierten subjektiv empfundenen Schlafqualität (SSA) für die untersuchten Probanden mit eingezeichneter Obergrenze des Normalbereichs für Männer (links) und Frauen (rechts).</i>	64
<i>Bild 3-26: Streudiagramm der auf das Alter normierten subjektiv empfundenen Schlafqualität (SSA), links und der subjektiven Aufwachqualität, rechts, in Abhängigkeit der GSM- Immission.</i>	65
<i>Bild 3-27: Verlauf der Lowes- Regressionskurven für objektive Schlafparameter in Abhängigkeit der Gesamtimmission in Prozent des Referenzwertes.</i>	66
<i>Bild 3-28: Effekt- Quadratendiagramm für die gemeinsame Auswertung von Sham/Verum und Kontrollversuchen. ... Streuung der Werte um den Quadrantenteiler (strichpunktiert).</i>	69
<i>Bild 3-29: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektiv empfundene Schlafqualität (SSA-SQ) der 44 Probanden.</i>	71
<i>Bild 3-30: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektiv empfundene Aufwachqualität (SSA-AQ) der 44 Probanden.</i>	72
<i>Bild 3-31: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektive Schlafeffizienz der 44 Probanden.</i>	72
<i>Bild 3-32: Effekt-Quadrantendiagramm für die subjektive Schlafbewertung, dem SSA-Index der 44 Probanden.</i>	73

<i>Bild 3-33: Effekt-Quadrantendiagramm für die Einschlafzeit zum Stadium 1 (links) und Stadium 2 (rechts).</i>	75
<i>Bild 3-34: Effekt-Quadrantendiagramm für die Einschlafzeit zum Stadium 3 (links) und zum REM-Stadium (rechts).</i>	75
<i>Bild 3-35: Effekt-Quadrantendiagramm für die Einschlafzeit vom Stadium 1 zum Stadium 2 (links) und vom Stadium 2 zum Stadium 3 (rechts).</i>	76
<i>Bild 3-36: Effekt-Quadrantendiagramm für den Anteil des Stadiums 3 (links) und des REM- Stadiums (rechts) an der Gesamtschlafzeit.</i>	76
<i>Bild 3-37: Effekt-Quadrantendiagramm für die Anzahl der Schlafstadienwechsel (links) und der nächtlichen Wachphasen (rechts).</i>	76
<i>Bild 3-38: Effekt-Quadrantendiagramm für die objektive Schlafeffizienz.</i>	77
<i>Bild 3-39: Lage der Schlafparameter im Effekt-Quadranten- Diagramm am Beispiel eines Probanden der unter Verum- Schirmbedingung Veränderungen der Schlafparameter zeigte.</i>	80
<i>Bild 3-40: Lage der Schlafparameter im Effekt-Quadrantendiagramm am Beispiel eines Probanden der unter beiden Schirmbedingungen (Verum und Sham) besser schlief (Placebo- Effekt).</i>	81
<i>Bild 3-41: Boxplots für die subjektive Schlafqualität (links) und die subjektive Aufwachqualität (rechts).</i>	81
<i>Bild 3-42: Boxplots für den SSA Index (links) und die subjektive Schlafeffizienz (rechts).</i>	82
<i>Bild 3-43: Boxplots für die Einschlafzeit zum Stadium 1 (links) und Stadium 2 (rechts).</i>	82
<i>Bild 3-44: Boxplots für die Einschlafzeit zum Stadium 3 (links) und zum REM- Stadium (rechts).</i>	82
<i>Bild 3-45: Boxplots für die Einschlafzeit vom Stadium 1 zum Stadium 2 (links) und vom Stadium 2 zum Stadium 3 (rechts).</i>	83
<i>Bild 3-46: Boxplots für den Anteil des Stadiums 3 (links) und des REM- Stadiums (rechts) an der Gesamtschlafzeit.</i>	83
<i>Bild 3-47: Boxplots für die Anzahl der Schlafstadienwechsel (links) und der nächtlichen Wachphasen (rechts).</i>	83
<i>Bild 3-48: Boxplot für die objektive Schlafeffizienz.</i>	84
<i>Bild 4-1: Altersnormierte subjektiver Schlafqualitätsindex (SSA) der Kontrollnächte aller Probanden, aufgetragen über die Messnummer mit Regressionsgerade.</i>	92
<i>Bild 4-2: Altersnormierte subjektive Schlafqualität (SSA) der Kontrollnächte, aufgetragen über die Niederfrequenz- Magnetfeldimmission am Schlafplatz.</i>	94
<i>Bild 4-3: Verteilung der drei Untersuchungsbedingungen Sham (S), Verum (V) und Kontrolle (K) in den zwei Wochenabschnitten Arbeitstage (AT) und Wochenende (WE).</i>	95
<i>Bild 4-4: Gegenüberstellung der Boxplots der Ergebnisse für die jeweils auf den Medianwert der Arbeitstage normierten Schlafparameter aller berufstätigen Probanden an Arbeitstagen und Wochenenden.</i>	96

Bild 5-1: HF- Immissionsüberwachung zur Kontrolle atypischer Ereignisse (Proband A) mit charakteristischen Veränderungen jeweils ca. 40min nach Aufbau des Schirmes. Rot gestrichelte Linie...Ende des Shirmaufbaues, Blau gestrichelte Linie...Zeitpunkt des zu Bett gehen..... 103

Bild 5-2: Angabe von Proband A über das Elektrosmoggefühl in der Nacht in Abhängigkeit der gemessenen HF-Immission (in dB der Promille vom Referenzwert) 104

Bild 5-3: Angabe von Proband A über die subjektiv eingeschätzte Schlafdauer im Vergleich zum objektiven aus dem EEG ermittelten Befund..... 105

Bild 5-4: Angabe von Proband B (links) und Proband C (rechts) über die subjektiv eingeschätzte Schlafdauer im Vergleich zum objektiven aus dem EEG ermittelten Befund. 105

10 Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1-1: Schlafstadien und ihre Kennzeichen.....</i>	<i>4</i>
<i>Tabelle 1-2: Zusammenschau der Ergebnisse von Schlafuntersuchungen.....</i>	<i>14</i>
<i>Tabelle 1-3: Zusammenschau der Ergebnisse von EEG- Spektraluntersuchungen .</i>	<i>19</i>
<i>Tabelle 1-4: Zusammenschau der Untersuchungen Event- bezogener EEG- Änderungen.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabelle 3-1: Objektive Schlafparameter</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 3-2: Durch Auswertung von Fragebögen erhaltene subjektive Schlafparameter.</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 3-3: Zusätzliche objektive Parameter.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 3-4: Anzahl der Probanden pro Ergebnisquadrant, deren subjektive Schlafparameter außerhalb des Streubereichs lagen.....</i>	<i>74</i>
<i>Tabelle 3-5: Anzahl der Probanden pro Ergebnisquadrant, deren objektive Schlafparameter außerhalb des Streubereichs lagen.....</i>	<i>78</i>
<i>Tabelle 3-6: Anzahl der Probanden pro subjektivem Schlafparameter, bei denen sich ein statistisch signifikantes Ergebnis ($p < 0,05$) zeigte.</i>	<i>86</i>
<i>Tabelle 3-7: Anzahl der Probanden pro objektivem Schlafparameter, bei denen sich ein statistisch signifikantes Ergebnis ($p < 0,05$) zeigte.</i>	<i>87</i>
<i>Tabelle 3-8: Zusammenfassung aller 18 Probanden, die mindestens bei einem der untersuchten Schlafparameter ein statistisch signifikantes Ergebnis zeigen (E...pos. Effekt, nE...neg. Effekt, P...Placebo, B...Beeinträchtigung).....</i>	<i>90</i>
<i>Tabelle 4-1: Durch multivariate Varianzanalyse ermittelte Zusammenhänge zwischen Kofaktoren und Schlafparametern für Proband A.</i>	<i>98</i>
<i>Tabelle 4-2: Ergebnisse der Korrelationsanalyse mit den relativ kleinsten statistischen Signifikanzwerten (p-Werte) nach dem Mann-Whitney-U (MW-Test) und Kolmogorov-Smirnov Test (KS-Test).</i>	<i>99</i>

11 Abkürzungsverzeichnis

AEP	akustisch evoziertes Potential
B	Bewegungshäufigkeit
BP	Bereitschaftspotential
CA	Cortex Aktivität
Cz	EEG Elektrodenposition „central“ im Zentrum
D1...3	Dauer Stadium 1 bis 3
DREM	Dauer Stadium REM
EEG	Elektroenzephalogramm: Mit Hilfe von am Kopf angebrachten Elektroden aufgenommenes elektrisches Signal der Hirnaktivität.
EKG	Elektrokardiogramm: Mit Hilfe von am Körper angelegter Elektroden aufgenommenes elektrisches Signal der Herzaktivität.
EMG	Elektromyogramm: Mit Hilfe von Elektroden aufgenommene elektrische Signale der Muskelaktivität.
EOG	Elektrookulogramm: Mit Hilfe seitlich der Augen angebrachter Elektroden aufgenommene elektrische Signale der Augapfelposition.
EPROS	Electrosensitives PROtected Sleep.
Exp.	Exposition
GSM	Global Standard for Mobile Communications
HF	Über die Schlafzeit gemittelte Herzfrequenz
HV	Herzratenänderung während der Schlafzeit
HRV	Herzratenvariabilität
KL	kognitive Leistungstests
L1...3	Latenzzeiten Stadium 1 bis 3
LREM	Latenzzeit Stadium REM
MDK	Multikanal-Dimensionkorrelation
N	Anzahl der untersuchten Personen

NONREM	alle anderen Schlafphasen außer REM (s. unten)
NWach	Anzahl der Wachphasen
Pa	Spektralleistung im Alpha Band
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
pO ₂	Symbol für Sauerstoffpartialdruck
PSpid	Leistungsspektren der Spindeln
Pz	EEG Elektrodenposition „proximal“ im Zentrum
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index
REM	Rapid Eye Movement, Traumphase des Schlafes.
RZ	Reaktionszeit
SAB	Ausmaß der nach dem Aufwachen subjektiv empfundenen Gesundheitsbeschwerden.
SAQ	Subjektiv bewertetes Empfinden beim Aufwachen.
SDau	Schlafdauer
Seff	Schlafeffizienz
SEP	Somatosensibel evozierte Potenziale
SP	slow potentials
SQ	Schlafqualität
SSA	S elf-rating scale for S leep A wakening quality: Altersabhängige subjektive Bewertung der Schlafqualität, zusammengesetzt aus Aufwach- und Schlafqualität sowie den Aufwachbeschwerden.
SSA_SQ	Subjektiv bewertetes Empfinden beim Aufwachen.
SSA_AQ	Subjektiv bewertetes Empfinden beim Aufwachen.
SSE	Verhältnis von Gesamtschlafzeit und Zeit im Bett (in %), ermittelt aus den subjektiven Zeitangaben der Probanden.
SSQ	morgens subjektiv bewertete Schlafqualität.
SSW	Anzahl der Übergänge zwischen aufeinander folgenden Schlafstadien (einschließlich der Wachzustände).

SZ	Netto-Schlafzeit nach Abzug aller Wachphasen und Pausen.
TBtt	Zeit im Bett (engl. Time in bed)
Texp	Expositionsdauer
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
VMT	visual memory task
WA	Anzahl der Wachphasen während der Schlafperiodendauer.
$\Delta 1$, LatSt1	Zeit vom Ausschalten des Lichts bis zum ersten Auftreten des Schlafstadiums 1.
$\Delta 2$, LatSt2	Zeit vom Ausschalten des Lichts bis zum ersten Auftreten des Schlafstadiums 2.
$\Delta 3$, LatSt3	Zeit vom Ausschalten des Lichts bis zum ersten Auftreten des Schlafstadiums 3.
Δ REM	Zeit vom Ausschalten des Lichts bis zum ersten Auftreten der REM Phase