

Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation

*-
Experimentelle Studie zur
Objektivierung möglicher
psychologischer und physiologischer
Effekte unter häuslichen Bedingungen*

Abschlussbericht

erstellt im Auftrag des
Bundesamtes für Strahlenschutz

März 2008

erstellt unter der Projektleitung von

**Prof. Dr. rer. nat. Heidi Danker-Hopfe und
Dr.-Ing. Hans Dorn**

Interdisziplinäre Schlafmedizin
Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin
Eschenallee 3, 14050 Berlin
Tel.: +49 30 8445 8600 / 8601/ 8613
Fax.: +49 30 8445 8233
E-Mail: heidi.danker-hopfe@charite.de
hans.dorn@charite.de

unter Mitwirkung von

Dr. Cornelia Sauter

Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin
Eschenallee 3, 14050 Berlin
Tel.: +49 30 8445 8634
Fax.: +49 30 8445 8233
E-Mail: cornelia.sauter@charite.de

Dipl.-Ing. Markus Schubert

Institut für Mobil- und Satellitentechnik IMST GmbH
Carl-Friedrich-Gauss Str. 2
47475 Kamp Lintfort
Tel.: +49 2842 981 100
Fax: +49 2842 981 199
E-Mail: christian.bornkessel@imst.de



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.

Danksagung:

Unser Dank gilt all denen, die zum Gelingen des Projekts beigetragen haben:

- allen voran gilt unser Dank den **Probandinnen** und **Probanden**, die mit viel persönlichem Engagement zum Erfolg der Studie beigetragen haben. Ohne ihre Unterstützung wäre eine erfolgreiche Durchführung der Studie nicht möglich gewesen.
- **Bürgermeister / Ortsvorsteher**
- **Personen**, die an den Standorten **Strom und Stellfläche für die mobile Basisstation** bereit gestellt haben
- den **Mitarbeitern des Labors für Klinische Psychophysiologie** (zu dem das Schlaflabor gehört): Martina Grosch und Michaela Noack, die als medizinisch-technische Angestellte das Projekt betreut haben und die Datenerhebung vor Ort begleitet haben; Dipl.-Psych. Johannes Boeckh der als wissenschaftlicher Mitarbeiter das Projekt betreut hat. Alle Mitarbeiter haben mit großem Engagement und persönlicher Flexibilität zur hohen Datenqualität und zügigen Durchführung der Datenerhebung beigetragen.
- den **studentischen Mitarbeitern**: Axel Jakuscheit, Almut Heinken, Dominik Nitsch und Maren Hopfe, die an der Studienorganisation (Vorbereitung von Fragebögen etc.) sowie der Dateneingabe beteiligt waren. Auch sie zeichneten sich durch eine große Flexibilität und Bereitschaft zur Übernahme von Verantwortung aus.
- den **Mitarbeitern der IMST GmbH**, 47475 Kamp Lintfort und **EM-Institut GmbH**, 93049 Regensburg: Projektleiter Dipl.-Ing. Markus Schubert (**IMST GmbH**) und Prof. Dr. Matthias Wuschek (**EM-Institut GmbH**), sowie dem Projektteam Dipl.-Ing. Peter Schmidt (**EM-Institut GmbH**) und Dr. Christian Bornkessel (**IMST GmbH**) für die individuelle Expositionserfassung im Feld.
- der **Bundesnetzagentur**: Dipl.-Ing. Josef Opitz, Verena Schäfer und den Mitarbeitern in den regionalen Niederlassungen, zu denen die ausgewählten Studienorte gehörten für die Außenmessung zur Überprüfung der Eignung der Studienorten unter dem Aspekt vorhandener hochfrequenter elektromagnetischer Felder.
- den **Betreiberfirmen**: **T-Mobile Deutschland GmbH** (Dipl.-Ing. Jürgen Schönauer, Dr. Ine Gerstenschläger), **E-Plus Mobilfunk GmbH & Co. KG** (Dr.-Ing. Dietmar Gerhardt) und **O2 (Germany) GmbH & Co. OHG** (Dr. Frank Schönborn) und **Vodafone D2 GmbH** (Dr. Volker Bökelmann).
- Hubert Epp, Roland Krumm, Dipl.-Ing. Peter E. Schmidt, Dipl.-Ing. Rolf Schmidt und Dipl.-Ing. Jürgen Krüler (**T-Mobile Deutschland GmbH**) für den Transport und den Aufbau der Sendeanlage
- **Fa. Anritsu GmbH**, welche Messtechnik für die experimentelle Basisstation zur Verfügung gestellt hat.
- **Dr. Peter Schlattmann** für die Fallzahlplanung.
- **Frau PD Dr. Blanka Pophof** vom Bundesamt für Strahlenschutz, die uns in der Betreuung des Projekts stets eine fachkompetente Ansprech- und Diskussionspartnerin war.

Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung	9
	Summary.....	12
A	Literaturübersicht	15
A 1	Einleitung	15
A 2	Risikowahrnehmung von elektromagnetischen Feldern im Mobilfunkfrequenzbereich....	18
A 3	Untersuchungen zum Einfluss von Handynutzung und Mobilfunk-basisstationen in nationalen und internationalen Forschungsprogrammen	23
A 3.1	Das International EMF Project der WHO	23
A 3.2	EMF-Forschungsförderung auf europäischer Ebene.....	25
A 3.3	Forschungsförderung durch die Forschungsgemeinschaft Funk e.V.	27
A 3.4	Forschungsförderung durch das Bundesamt für Strahlenschutz	28
A 3.5	Forschungsförderung durch das Mobile Telecommunications and Health Research (MTHR) Programm	31
A 4	Elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen und Mobilfunk- basisstationen.....	32
A 4.1	Studiendesigns zur Untersuchung des Einflusses von elektromagnetischen Feldern	33
A 4.1.1	Experimentelle Studien im Labor	34
A 4.1.2	Experimentelle Studien im Feld	35
A 4.1.3	Kohorten-Studien	35
A 4.2	Gesundheitsbezogene Zielparameter in Mobilfunkbasisstationsstudien.....	37
A 4.3	Ansätze zur Expositionsbestimmung in Mobilfunkbasisstationsstudien	39
A 4.4	Kriterien für angemessene epidemiologische Mobilfunkbasisstationsstudien.....	42
A 5	Biologische Effekte und gesundheitliche Relevanz	45
A 5.1	Physiologische Grundlagen des Schlafes	45
A 5.2	Klinische Aspekte von Schlafstörungen.....	48
A 6	Review der Literatur zu Mobilfunkbasisstationsstudien	50
A 6.1	Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen.....	50
A 6.1.1	Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf.	51
A 6.1.2	Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf die Befindlichkeit.	52
A 6.1.3	Schweizer Anschlussstudie zur holländischen TNO-Studie.	55
A 6.2	Epidemiologische Studien zum Einfluss elektromagnetischerFelder von Mobilfunkbasisstationen.....	56
A 6.2.1	Studie aus Frankreich	56
A 6.2.2	Studie aus Österreich	57
A 6.2.3	Studie aus Spanien.....	59

A 6.2.4	Studie aus Deutschland	62
A 6.3	Experimentelle Feldstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen.....	63
A 6.3.1	Studie aus der Schweiz	63
A 6.3.2	Studie aus Deutschland	63
A 7	Elektrosensibilität / Elektromagnetische Hypersensitivität.....	65
A-0	Update der Literatur	69
A-0 1	Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen.....	69
A-0 1.1	Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf.	69
A-0 1.2	Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf die Befindlichkeit.	69
A-0 1.3	Schweizer Anschlussstudie zur holländischen TNO-Studie.	70
A-0 2	Epidemiologische Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen.....	71
A-0 2.1	Feldstudie aus Deutschland.....	71
A-0 2.2	Feldstudie aus Österreich	71
A-0 2.3	Feldstudie aus Ägypten	72
A-0 2.4	Umfragestudie aus Deutschland (Bevölkerung)	72
A-0 2.5	Umfragestudien aus der Schweiz (Bevölkerung).....	73
A-0 2.6	Umfragestudie aus Österreich (Allgemeinmediziner)	73
A-0 2.7	Umfragestudie aus der Schweiz (Allgemeinmediziner)	73
B	Beschreibung der Studie	74
B 1	Ziele und Hypothesen	74
B 2	Studiendesign	76
B 2.1	Standortauswahl	78
B 2.2	Außenmessung durch die Bundesnetzagentur.....	81
B 3	Studienpopulation	82
B 4	Technische Rahmenbedingungen	82
B 4.1	Ausstattung der mobilen experimentellen Basisstation	82
B 4.2	Technische Überwachung der Expositionsanlage.....	84
B 5	Datenerhebung	85
B 5.1	Allgemeine Fragebögen.....	87
B 5.1.1	Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen (LISST)	87
B 5.1.2	Pittsburgh Schlafqualitätsindex (PSQI).....	88
B 5.1.3	Fragebogen zur Tagesschläfrigkeit: Epworth Schläfrigkeitsskala (ESS).....	88
B 5.1.4	Morgen-/Abend-Typ-Bestimmung (MEQ)	88
B 5.1.5	Selbstbeurteilungsskala zur Depression (SDS).....	89

B 5.1.6	Selbstbeurteilungsskala zur Angst (SAS).....	90
B 5.1.7	NEO-Fünf-Faktoren Inventar (NEO-FFI)	90
B 5.1.8	Fragebogen zur Einstellung zum Mobilfunk (nach infas-Interview).....	92
B 5.2	Aufnahme und Dokumentation von hochfrequenten elektromagnetischen Immissionen (Bericht der Fa. IMST)	93
B 5.2.1	Einleitung	93
B 5.2.2	Messdurchführung	93
B 5.2.2.1	Übersichtsmessung	94
B 5.2.2.2	Wohnraummessungen.....	95
B 5.2.3	Messorte	95
B 5.2.3.1	Frebershausen.....	96
B 5.2.3.2	Ahlshausen	98
B 5.2.3.3	Tautenburg.....	100
B 5.2.3.4	Sillerup	102
B 5.2.3.5	Ober-Werbe	104
B 5.2.3.6	Mitterode	106
B 5.2.3.7	Licherode	108
B 5.2.3.8	Schöndorf.....	110
B 5.2.3.9	Weipoltshausen.....	112
B 5.2.3.10	Madenhausen	114
B 5.2.4	Literaturverzeichnis IMST-Bericht.....	116
B 5.3	Daten zur Schlafqualität.....	117
B 5.3.1	Daten zur subjektiven Schlafqualität.....	117
B 5.3.2	Daten zur objektiven Schlafqualität.....	121
B 5.4	Maßnahmen zur Gewährleistung guter klinischer / epidemiologischer Praxis	122
B 6	Datenanalyse	124
B 6.1	Kriterien zur Auswahl des primären Zielparameters.....	124
B 6.2	Auswahl sekundärer Zielparameter	124
B 6.3	Fallzahlplanung	125
B 6.4	Statistische Auswertung.....	126
C	Ergebnisse.....	128
C 1	Charakterisierung der Stichprobe	128
C 1.1	Verteilung nach Alter und Geschlecht (n=397).....	128
C 1.2	Drop out Analyse.....	131
C 1.3	Zusammensetzung der Stichprobe nach Alter und Geschlecht (n = 376).....	132
C 1.4	Ergebnisse des Landecker Inventars zur Erfassung von Schlafstörungen	132
C 1.5	Ergebnisse des Pittsburgh Schlafqualitäts- Index	134
C 1.6	Ergebnisse der Epworth Schläfrigkeitsskala.....	136
C 1.7	Ergebnisse des Fragebogens zur Morgen- Abendtyp-Bestimmung.....	137
C 1.8	Ergebnisse der Selbstbeurteilungsskala für Depression	139

C 1.9	Ergebnisse der Selbstbeurteilungsskala für Angst	141
C 1.10	Ergebnisse des Persönlichkeitsinventars NEO-FFI	143
C 1.10.1	Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus	143
C 1.10.2	Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Extraversion	145
C 1.10.3	Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Offenheit für Erfahrungen	146
C 1.10.4	Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Verträglichkeit	147
C 1.10.5	Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Gewissenhaftigkeit	148
C 1.11	Ergebnisse des Fragebogens zur Einstellung zum Mobilfunk	150
C 1.12	Ergebnisse zur Entfernung des Wohnortes vom Sendemast	158
C 1.13	Expositionsverteilung	160
C 2	Subjektive Schlafqualität	163
C 2.1	Verteilung von Einflussfaktoren auf den Schlaf	164
C 2.1.1	Müdigkeit und Erschöpfung am Tag vor der Testnacht	164
C 2.1.2	Tagschlaf	165
C 2.1.3	Außergewöhnliche Belastungen	167
C 2.1.4	Konsum von Genussmitteln	168
C 2.1.5	Bettzeit	174
C 2.1.6	Außergewöhnliche Ereignisse	174
C 2.1.7	Ursachen für einen schlechten Schlaf	175
C 2.1.8	Träumen	177
C 2.1.9	Medikamente	178
C 2.1.10	Probleme mit dem Registriergerät	178
C 2.1.11	Telefonate von 22:00 bis 06:30	179
C 2.2	Unterschiede in der subjektiven Schlafqualität zwischen Nächten mit und ohne Exposition	179
C 2.2.1	Ebene der Gruppe: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf der Basis individueller Mittelwerte	180
C 2.2.2	Ebene des Individuums: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf individueller Basis	187
C 3	Objektive Schlafqualität	196
C 3.1	Drop out Analyse der Schlaf-EEG Daten	196
C 3.2	Unterschiede in der objektiven Schlafqualität zwischen Nächten mit und ohne Exposition	197
C 3.2.1	Ebene der Gruppe: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf der Basis individueller Mittelwerte	197
C 3.2.2	Ebene des Individuums: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf individueller Basis	205
C 4	Einflussfaktor Exposition	212
C 4.1	Einflussfaktor Exposition und subjektive Schlafqualität	212
C 4.2	Einflussfaktor Exposition und objektive Schlafqualität	213

C 5	Psychologische Einflussfaktoren	214
C 5.1	Subjektive Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI) und Entfernung vom Sendemast.....	214
C 5.2	Psychologische Einflussfaktoren und subjektive Schlafqualität	215
C 5.2.1	Einflussfaktoren Entfernung vom Sendemast und PSQI-Gesamtscore	215
C 5.2.2	Subjektive Schlafqualität während der Studie und weitere psychologische Einflussfaktoren.....	217
C 5.3	Psychologische Einflussfaktoren und objektive Schlafqualität	222
C 5.3.1	Einflussfaktoren Entfernung vom Sendemast und PSQI-Gesamtscore	222
C 5.3.2	Objektive Schlafqualität während der Studie und weitere psychologische Einflussfaktoren.....	224
C 6	Diskussion der Ergebnisse	231
D	Literatur.....	237
E	Liste der Abkürzungen	249

Zusammenfassung

Die in den vergangenen Jahren rasante Verbreitung der Mobilfunktechnologie hat zu großem öffentlichen und wissenschaftlichen Interesse an möglichen biologischen Auswirkungen und gesundheitlichen Risiken geführt und kontroverse Diskussionen ausgelöst. Eine in Deutschland im Jahr 2006 durchgeführte Befragung an einer repräsentativen Bevölkerungsstichprobe hat ergeben, dass knapp ein Drittel der Befragten (27%) wegen elektromagnetischer Felder von Mobilfunktendeanlagen, Handys oder schnurlosen Telefonen gesundheitlich besorgt war und jeder Elfte (9%) sich dadurch gesundheitlich beeinträchtigt fühlte. In dieser, wie auch in ähnlichen Untersuchungen, zählen Schlafstörungen zu den vorrangig geklagten Symptomen. Insgesamt dokumentieren die zur Risikowahrnehmung vorliegenden Daten deutlich den Bedarf an wissenschaftlich fundierten, methodisch gut durchdachten Untersuchungen zu möglichen biologischen/physiologischen Effekten elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Organismus.

Die Relevanz des Zielparameters Schlaf ergibt sich im wesentlichen daraus, dass ein gestörter Schlaf die am häufigsten genannte Beschwerde im Zusammenhang mit Exposition durch Mobilfunksignale ist. Zum anderen ist der Schlaf ein sehr komplexer biologischer Prozess, der vom Zentralen Nervensystem kontrolliert wird. Er ist ein gut definierter biologischer Zustand, der sensitiv auf externe Einflüsse reagiert, und er ist somit ein geeignetes Modell, um mögliche Effekte elektromagnetischer Felder auf das Zentrale Nervensystem zu untersuchen.

Die vorliegende doppel-blinde placebo-kontrollierte Studie untersuchte einen möglichen Einfluss einer Mobilfunkbasisstation auf die objektive und subjektive Schlafqualität unter häuslichen Bedingungen in einer großen repräsentativen Gruppe der deutschen Allgemeinbevölkerung. Dabei wurde besonderes Augenmerk auf die Differenzierung möglicher physiologischer - durch die erzeugten elektromagnetischen Felder (GSM) - und psychologischer Effekte - durch die Anwesenheit der Sendeanlage - gelegt. Während einer Untersuchungsdauer von zwei Wochen wurden die Teilnehmer aus zehn deutschen Orten, die über keine Mobilfunkversorgung verfügten, während fünf Nächte in randomisierter Form mittels einer mobilen Mobilfunkbasisstation exponiert und während sieben Nächte (davon zwei Adaptationsnächte) scheinexponiert. Die Exposition (u.a. Feldstärkepegel) wurde in den Schlafzimmern der Teilnehmer vorzugsweise am Kopfende des Bettes gemessen. Der Nachtschlaf wurde mit ambulanten Polygrafiegeräten registriert (objektive Schlafparameter) und mittels Abend- und Morgenprotokollen von den Teilnehmern hinsichtlich der Schlafqualität (subjektive Schlafqualität) beurteilt.

Insgesamt nahmen 397 Personen an der Studie teil, davon schieden 21 wegen unterschiedlicher Gründe (z.B. beruflich, Krankheit, Unverträglichkeit der Elektroden) aus der Studie vorzeitig aus. Von den verbliebenen 376 waren 191 Frauen und 185 Männer (Range: 18-81 Jahre). Die Gesamtgruppe war hinsichtlich der subjektiven Schlafqualität (Pittsburgh Sleep Quality Index), Schlafstörungen (Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen), Tagesschläfrigkeit (Epworth Schläfrigkeitsskala), Fragebogen zur Morgen- und Abendtypbestimmung, Selbstbeurteilungsskalen zu

Depression und Angst (Zung), Persönlichkeit (Fünf-Faktoren Persönlichkeitsinventar) und Einstellung zu Mobilfunk (infas Fragebogen) für die Allgemeinbevölkerung repräsentativ. Für die Analyse der objektiven Schlafqualität standen nach Ausschluss von Polygrafien mit mangelhafter Datenqualität Datensätze von 335 Personen zur Verfügung. In die Auswertung der subjektiven Schlafqualität gingen Daten von 365 Personen ein, da Daten von elf Personen, die in einer größeren Entfernung als 500m lebten, ausgeschlossen werden mussten.

Die primären Zielparameter waren die objektive und subjektive Schlafeffizienz, an sekundären Parametern wurde zur Erfassung der subjektiven Schlafqualität die „Erholbarkeit“ am Morgen (visuelle Analogskala), die „subjektive Einschlafzeit“, die „subjektive Wachdauer“ (geschätzt in Minuten), die „subjektive Gesamtschlafzeit“ (geschätzt abzüglich der nächtlichen Wachzeiten) und die „subjektive Bettzeit“ (von „Licht aus“ bis „Licht an“) erhoben. Als sekundäre objektive Parameter wurden die „Latenz zu Stadium 1“ und „Latenz zu Stadium 2“, die „Wachdauer“ (in Minuten), „der Wachanteil“ (Prozent der Gesamtschlafzeit), die „Gesamtschlafzeit“ und die „Bettzeit“ herangezogen.

Die Vergleiche der individuellen Mittelwerte auf Gruppenniveau zeigten weder einen Unterschied zwischen den beiden Expositionsbedingungen in den objektiven noch in den subjektiven Zielparametern zur Erfassung der Schlafqualität. Bei Betrachtung der Differenzen der Mittelwerte zwischen Verum- und Scheinexposition auf der individuellen Ebene, zeigten sich signifikante Unterschiede bei 57 Personen in der subjektiven Schlafqualität und bei 36 in der objektiven Schlafqualität. Insgesamt wurden bei 49 Individuen Verbesserungen (objektive Schlafqualität: 15; subjektive Schlafqualität: 34) und bei 44 Verschlechterungen (objektive Schlafqualität: 21; subjektive Schlafqualität: 23) unter Exposition beobachtet.

Weder für die objektive noch für die subjektive Schlafqualität überschritt die Häufigkeit signifikanter Ergebnisse der untersuchten Merkmale die bei multiplem Testen per Zufall zu erwartende Häufigkeit. Eine Einzelfallanalyse unter Zuhilfenahme der Abend- und Morgenprotokolle brachte bei 50 der 57 Personen sehr deutliche Hinweise auf Einflussfaktoren unabhängig von der Expositionsbedingung, die zu Unterschieden in den subjektiven Parametern zwischen den Bedingungen beigetragen haben können. In der Fallanalyse der objektiven Schlafqualität betraf dies 32 der 36 Personen. Zu diesen Einflussfaktoren, die zufallsbedingt vor bzw. in Expositions Nächten häufiger oder weniger oft als in Scheinexpositions Nächten genannt wurden, zählten „Konsum von Alkohol“, „Tagschlaf“, Einnahme von „Medikamenten“ mit zentralnervöser Wirkung oder entsprechenden Nebenwirkungen, Konsum „koffeinhaltiger Getränke“, „geistige und seelische Belastung“, „nicht Abschalten können“, sowie „positive und negative Ereignisse“. Die Schlafqualität der 11 Personen, die keine plausiblen Einflussfaktoren in den Abend- oder Morgenprotokollen aufwiesen, war bei sechs Personen unter Exposition besser und bei fünf Personen schlechter als unter Scheinexposition. Bei Berücksichtigung der Expositionsstärke in Form der Feldpegelstärke zeigte sich kein Zusammenhang von Verbesserungen oder Verschlechterungen der objektiven oder subjektiven Schlafqualität in Abhängigkeit vom Feldstärkepegel.

Ausgehend von der Überlegung, dass die schlichte Präsenz einer Basisstation möglicherweise einen psychologisch bedingten Effekt auf die Schlafqualität haben könnte, und unter der Annahme, dass dieser Effekt bei Personen, die in unmittelbarer Nähe (≤ 100 m) zur Basisstation leben, ausgeprägter ist als bei Personen, die in größerer Distanz wohnen, wurde die Hypothese überprüft ob sich die Schlafqualität in Nächten ohne Exposition zwischen den beiden auf der Basis der Entfernung definierten Gruppen unterscheidet. Die Entfernung des Wohnsitzes vom Sendemast war lediglich für die „subjektive Gesamtschlafzeit“ (Basis Mediane) und die „subjektive Einschlafzeit“ (Basis arithmetisches Mittel und Median) bedeutsam. Abweichend von der Hypothese eines schlechteren Schlafes in größerer Nähe zur Basisstation war die subjektive Einschlafzeit in der Gruppe, die nahe der Basisstation wohnte um ca. 3 Minuten kürzer und die subjektive Gesamtschlafzeit um 15 bzw. 25 Minuten länger als in der weiter entfernt wohnenden. Eine entsprechend signifikante positive Korrelation zwischen Entfernung und Einschlafzeit in Scheinexpositions Nächten kann - wie auch das zuvor geschilderte Ergebnis – am ehesten als Zufallsergebnis gewertet werden. Diese Annahme wurde auch dadurch bestätigt, dass sich die objektiven Schlafparameter zwischen den beiden Gruppen mit unterschiedlicher Entfernung vom Sendemast nicht unterschieden und kein einziger objektiver Schlafparameter mit dem Maß der Entfernung korrelierte.

Auch die bloße Sichtbarkeit der Sendeanlage vom Fenster oder vom Bett aus stellte keinen Einflussfaktor auf die Zielparameter der objektiven und subjektiven Schlafqualität dar. Dabei ist zu berücksichtigen, dass nur 13,6% der Probanden den Sendemast vom Fenster des Schlafzimmers aus sehen konnten und nur 1,1% vom Bett aus. Es konnten allerdings eindeutige Effekte allein durch die Existenz einer Mobilfunkbasisstation verbunden mit der Besorgnis über mögliche gesundheitliche Risiken beobachtet werden. Die primären objektiven und subjektiven Schlafparameter „Schlafeffizienz“ und die sekundären Zielparameter objektive und subjektive „Wachdauer nach Schlafbeginn“ und „subjektive Einschlafzeit“ waren bei größerer Besorgnis signifikant negativ beeinflusst. Da die Daten dieser Analyse aus Scheinexpositions Nächten stammen, in denen die Teilnehmer nicht exponiert waren, können physiologische Effekte ausgeschlossen werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die vorliegende Studie keine Hinweise auf kurzfristige physiologische Effekte einer Mobilfunkbasisstation auf die objektive und subjektive Schlafqualität in einer großen repräsentativen Bevölkerungsgruppe ergeben hat. Im Gegensatz dazu führte die Sorge um die Gesundheit ganz spezifisch in Bezug auf Mobilfunksendeanlagen und nicht wegen Mobilfunk im Allgemeinen zu einer signifikant schlechteren Schlafqualität, obwohl die Anlage nicht in Betrieb war.

Summary

The rapid spread of mobile communication in previous years resulted in an increasing public and scientific interest in possible biological consequences and health risks and lead to controversial discussions. In a representative population survey performed in Germany in 2006 almost one third of the population (27%) stated to be concerned with regard to their health due to electromagnetic fields from base stations, mobile or cordless phones, 9% reported to be impaired. In this study, like in similar ones, sleep disturbances are among the most prevalent complaints. Overall data on risk perception underline the need for scientifically based, well designed studies on possible biological/physiological effects of electromagnetic fields on the human organism.

The relevance of the primary outcome sleep results from the observation that a disturbed sleep is one of the most often mentioned complaints in the context of mobile communication exposition. Furthermore sleep is a complex biological process controlled by the central nervous system. Sleep is a well defined biological state which sensitively reacts to external stimuli, thus being an appropriate model to investigate possible effects of electromagnetic fields on the central nervous system.

The present double-blind placebo controlled study was conducted to investigate potential influences of a mobile phone base station on objective and subjective sleep quality at home in a large representative sample of German residents. The differentiation of potential physiological – evoked by electromagnetic fields of GSM type – and psychological effects – as a consequence of the presence of the mobile phone base station – were of special interest. During a two-week study period, participants from ten different German villages, which were not supplied with mobile phone base stations prior to the study, were exposed to electromagnetic fields emitted by an experimental mobile phone base station for five nights and to sham exposure for seven nights (including two adaptation nights) in random order. Levels of exposure (e.g. field intensity) were measured individually in subjects' bedrooms preferably at the pillow. Sleep was registered by an ambulatory device (objective sleep quality) and subjects rated their subjective sleep quality by the use of evening and morning protocols of sleep quality.

Initially In total 397 subjects participated in the study, 21 of them quit at an early stage for different reasons (work-related, illness, electrode intolerance). 191 of the 376 remaining subjects were female, 185 male (range: 18 – 81 years). The total sample was representative of the average population with regard to subjective sleep quality (Pittsburgh Sleep Quality Index), sleep disorders (Landecker Inventory for Sleep Disorders), excessive daytime sleepiness (Epworth Sleepiness Scale), Morningness-, Eveningness Questionnaire, Self-Rating Depression and Anxiety Scales (Zung), NEO Personality Inventory, and general public's fears and anxieties with regard to the possible risks of high frequency electromagnetic fields of on mobile telecommunications (annual infas survey).

Due to poor quality of some polygraphic recordings objective data of 335 subjects were entered into analysis, while analysis of subjective sleep quality data of 365 subjects was available. Eleven of 376

subjects had to be eliminated from further evaluation because they lived in a distance > 500 meters from the mobile phone base station.

Primary end points were objective and subjective sleep efficiency, secondary subjective parameters encompass „restfulness“ in the morning (visual analogue scale), „subjective sleep latency“, „subjective wake time“ (estimated time in minutes), „subjective total sleep time“ (estimated time less nocturnal wake period), „subjective time in bed“ (from „lights off“ until „lights on“). Secondary objective parameters comprised „sleep stage 1 latency“, „sleep stage 2 latency“, „wake time“ (minutes), „percentage of wake“ (percentage of total sleep time), „total sleep time“, and „time in bed“.

Group comparisons of means calculated individually for the different exposure conditions showed no difference between the exposure conditions neither for objective nor for subjective parameters of sleep quality. At an individual level of data analysis differences between real and sham exposure, differences for subjective sleep quality reached statistical significance in 57 subjects and for objective sleep quality in 36 subjects. In total, 49 subjects showed improvements (objective sleep quality: 15; subjective sleep quality: 34) and 44 worsenings (objective sleep quality: 21; subjective sleep quality: 23) under real exposure conditions.

The frequency of significant results for objective and subjective sleep quality did not exceed the number expected just by chance in a multiple testing situation. Analysis of individual cases taking into account information from evening- and morning protocols showed clear hints for factors, which were independent of actual exposure condition, but could have led to altered subjective sleep quality in 50 out of 57 subjects. With regard to objective sleep quality reasonable factors were found for 32 out of 36 persons. Factors, which were unequally distributed between exposure and non-exposure nights were „alcohol intake“, „daytime sleep“, intake of „medications“ affecting the nervous system or having associated side effects, „caffeine intake“, „cognitive and emotional distress“, „not able to relax“ and „positive or negative events of the day“. Sleep quality of the remaining 11 subjects, for which there was no obvious explanation, was improved in six subjects and deteriorated in five subjects under exposure compared to sham exposure condition. Taking into account the level of field intensity, there was no apparent correlation between improvements and worsenings of objective and subjective sleep quality and the level of measured field strength.

Based on the assumption that the simple presence of a mobile phone base station may have a psychologically mediated effect on sleep quality and considering that this effect might be more pronounced in persons living in a close distance to the station ($\leq 100\text{m}$) than in persons living in a greater distance (101 – 500m), the hypothesis was tested, whether sleep quality of nights under sham condition differs between those predefined groups. The distance of the base station was only significant for „subjective total sleep time“ (median) and for „subjective sleep latency“ (mean and median). Dissident from our hypothesis of worse sleep quality next to the base station, subjective sleep latency was approximately 3 minutes shorter and subjective total sleep time was between 15 and 25 minutes longer in the group next to the station. A significant positive correlation between

distance and sleep latency in sham exposure nights had to be interpreted most likely as a random event. This assumption is supported by the fact, that objective sleep parameters did not differ between groups defined in terms of distance to the base station and not a single objective sleep parameter was correlated to distance.

Visibility of the base station from the subjects' windows or from their beds had no significant effect on objective and subjective sleep quality. At the same time it has to be taken into consideration that only 13.6% of subjects were able to see the base station from their bedrooms' windows and only 1,1% from their beds. However, an effect of the concerns about possible health risks resulting from the base station has consistently been observed. The primary objective and subjective sleep parameter "sleep efficiency" and the secondary objective and subjective sleep parameters "wake after sleep onset" and "subjective sleep latency" were negatively influenced by increased concerns. Since these results originate from sham exposure nights, during which subjects were not exposed, physiological effects can be ruled out.

In summary, the present study does not provide evidence for short-term physiological effects from electromagnetic fields emitted by mobile phone stations on objective and subjective sleep quality in a broad representative population group. However, concerns about possible health risks resulting specifically from mobile phone base stations and not only from mobile telephony in general were associated with a significant worse sleep quality, although the base station was not operating.

I Einleitung

Kapitel A umfasst die ursprüngliche Literaturübersicht, die den Zeitraum bis August 2005 abdeckte. In Kapitel A 0 werden weitere Studien, die nach diesem Zeitraum bis November 2007 erstellt worden sind, dargestellt.

A Literaturübersicht

A 1 Einleitung

Seit Einführung der modernen Mobilfunk Telekommunikation zu Beginn der 90er Jahre hat die neue Technologie eine rasante Verbreitung gefunden. Dem Jahresbericht der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post für das Jahr 2004 (RegTP 2005) ist zu entnehmen, dass die Zahl der Mobilfunkkanäle bereits im Jahr 2001 die Zahl der Festnetzkanäle überschritten hat (56,1 Millionen vs. 52,5 Millionen). Während die Zahl der Festnetzkanäle bis zum Jahr 2004 nur geringfügig auf 54,6 Millionen gestiegen ist, hat die Zahl der Mobilfunk-Kanäle im selben Zeitraum eine rasante Steigerung auf 71,3 Millionen erfahren (Abb. 1).

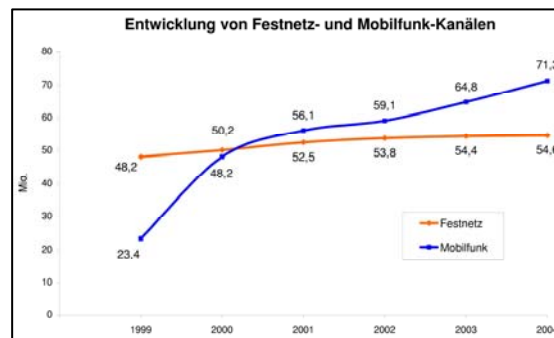


Abb. 1 Entwicklung von Festnetz- und Mobilfunkkanälen in den Jahren 1999 bis 2004 (aus RegTP 2005).

In der Entwicklung der Gesamt-Teilnehmerzahl ist beim Übergang zum 21. Jahrhundert eine Verdoppelung zu verzeichnen, danach lässt sich eine stetige weitere Zunahme beobachten. Die Gesamt-Teilnehmerzahl in den Netzen (C, D1, D2, E1 und E2) betrug im Jahr 2004 71,316 Millionen, womit eine Penetrationsrate von 86,4% erreicht ist, was im Vergleich zum Vorjahr (78,5%) einen Anstieg um 7,9% ausmacht (Abb. 2). Weltweit wurde die Zahl der Mobilfunknutzer für Dezember 2004 auf 1,4 Milliarden geschätzt, davon allein knapp 500 Millionen in Europa und mehr als 600 Millionen in Asien (Walker 2005).

Eine Folge der zunehmenden Verbreitung der Mobilfunktechnologie ist ein Anstieg der Zahl von Mobilfunkbasisstationen. Am 30. Juni 2005 betrug die Zahl der Mobilfunkstandorte nach persönlicher Mitteilung der Bundesnetzagentur (2005, vormals Regulierungsbehörde für Telekommunikation, RegTP) 55296, wobei knapp 80% der Standorte von einer (38,6%) oder zwei (40,8%) Mobilfunkbasisstationen genutzt werden. Die Tatsache, dass entsprechende Anlagen häufig in der

Nähe von Wohnungen bzw. Häusern installiert sind und damit bewusst wahrgenommen werden, hat in den letzten Jahren dazu beigetragen, dass in Teilen der Bevölkerung Besorgnis über mögliche gesundheitliche Risiken aufgetreten ist (Kap. A 2).

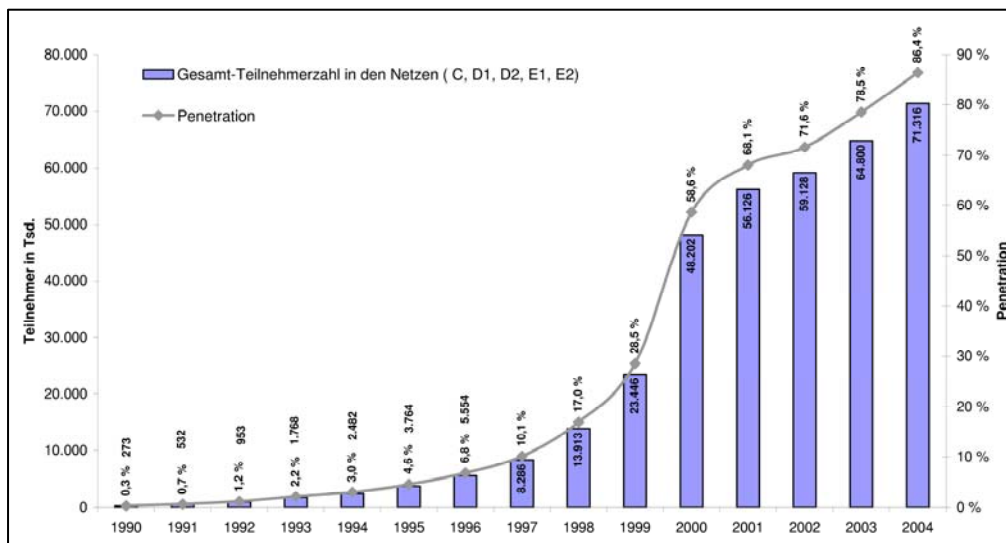


Abb. 2 Teilnehmerentwicklung in Mobiltelefonnetzen (Penetration und Zuwächse) in den Jahren 1990 bis 2004 (aus RegTP 2005).

Das Medium Mobilfunk ist verglichen mit anderen Hochfrequenzquellen noch relativ jung. Aufgrund der weiten Verbreitung dieser Technologie ist das öffentliche Interesse an möglichen biologischen Auswirkungen und gesundheitlichen Risiken sehr groß und hat kontroverse Diskussionen ausgelöst. Letztendlich schlichten lassen sich solche Kontroversen nur durch sachliche Aufklärung, zu der u.a. Ergebnisse von Studien beitragen, die wissenschaftlichen Standards entsprechen. Von der World Health Organisation und den Regierungen vieler Länder sind deshalb auf nationaler und internationaler Ebene Forschungsprogramme aufgelegt worden, um einer Antwort auf die vielen noch offenen Fragen näher zu kommen (Kap. A 3).

Bei Studien, die in diesem Zusammenhang durchgeführt wurden und werden, ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen solchen, die einen Einfluss von elektromagnetischen Feldern im Mobilfunkfrequenzbereich als solches durch Simulation eines entsprechenden Signals untersuchen und solchen, die speziell den Effekt von existenten Mobiltelefonen bzw. Mobilfunkbasisstationen untersuchen, wobei sich die Art der Signale von Mobiltelefonen und Mobilfunkbasisstationen unterscheidet (Kap. A 4). Unterschiedliche Studiendesigns zur Untersuchung des Einflusses elektromagnetischer Felder werden in Kap. A 4.1 diskutiert, wobei im folgenden methodische Aspekte von Mobilfunkbasisstationsstudien hinsichtlich der gesundheitsbezogenen Zielparameter (Kap. A 4.2), der Ansätze zur Expositionsbestimmung (Kap. A 4.3) und der Kriterien für angemessene epidemiologische Studien (Kap. A 4.4) im Vordergrund stehen.

Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen biologischen/physiologischen Effekten und einer daraus eventuell ableitbaren gesundheitlichen Relevanz (Kap. A 5). Die Relevanz des Zielparameters Schlaf

ergibt sich im wesentlichen daraus, dass ein gestörter Schlaf die am häufigsten genannte Beschwerde im Zusammenhang mit Exposition durch Mobilfunksignale ist (Kap. A 2). Zum anderen ist der Schlaf ein sehr komplexer biologischer Prozess, der vom Zentralen Nervensystem kontrolliert wird. Er ist ein gut definierter biologischer Zustand, der sensitiv auf externe Einflüsse reagiert, und er ist somit ein geeignetes Modell, um mögliche Effekte elektromagnetischer Felder auf das Zentrale Nervensystem zu untersuchen (Kap. A 5.1). Das möglicherweise erhöhte Risiko für das Auftreten eines gestörten Schlafs bei Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen ist abzuwägen vor dem Hintergrund der Prävalenz von medizinisch relevanten Schlafstörungen und deren allgemeiner Ursachen (Kap. A 5.2).

In Kap. A 6 werden schließlich die Ergebnisse verschiedener Human-Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen dargestellt, wobei zwischen Human-Laborstudien (Kap. A 6.1), epidemiologischen Studien (Kap. A 6.2) und experimentellen Feldstudien (Kap. A 6.3) unterschieden wird.

Wie bereits erwähnt werden nur Studien herangezogen, die sich mit Effekten von Mobilfunkbasisstationen beschäftigen. Eine weitere inhaltliche Einschränkung dieser Literaturübersicht besteht darin, dass lediglich Studien berücksichtigt sind, die in einem experimentellen Setting den Effekt eines Mobilfunkbasisstationssignals auf den Zielparameter Schlaf untersuchen sowie epidemiologische Studien zu Mobilfunkbasisstationen, die sich mit Befindlichkeitsstörungen beschäftigen.

Abschließend wird das Problem der elektromagnetischen Hypersensitivität (EHS) noch kurz angesprochen (Kap. A 7). Für einen ausführlichen Review der Literatur zu Mobilfunkbasisstationen und EHS sei auf Seitz et al. (2005) verwiesen sowie auf einen Review, der in einem vom Bundesamt für Strahlenschutz vergebenen Projekt zum Thema *Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen* anzufertigen war und auf der Homepage des BfS unter (http://emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_verg/bio_096_ZwB_01.pdf) einsehbar ist.

A 2 Risikowahrnehmung von elektromagnetischen Feldern im Mobilfunkfrequenzbereich

Im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms (vgl. Kap. A 3.3) wurde zum 1. September 2003 ein Projekt mit dreijähriger Laufzeit zum Thema „*Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks- jährliche Umfragen*“ vergeben. Die Projektleitung hat das Institut für angewandte Sozialwissenschaften (infas). Die Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks wurden 2001 in einer repräsentativen Umfrage ermittelt. Inzwischen liegen zwei Ergebnisberichte für Datenerhebungen aus den Jahren 2003 und 2004 vor (infas 2004, 2005), die auf folgender Internetseite als Downloads angeboten werden: http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.html.

Die Ergebnisse der vom 13. September bis 31. Oktober 2004 an einer ADM-Stichprobe von 2.508 Personen im Alter ab 14 Jahren durchgeführten telefonischen CATI-Befragung („computer assisted telephone interview“; Responserate 59.5%) zeigen zum einen, dass die Zahl der Personen, die zumindest gelegentlich mit einem Handy telefoniert haben, von 73% (2003) auf 78% (2004) gestiegen ist, wobei der Zuwachs in erster Linie durch eine stärkere Nutzung durch mittlere und höhere Altersgruppen bedingt ist. Von den Nichtnutzern lehnen 5% das Handy grundsätzlich ab. Weitere 5% nennen gesundheitliche Gründe als Ursache der Nichtnutzung. Der mit 60% weitaus am häufigsten genannte Grund ist jedoch ein fehlender Bedarf.

Der Anteil der Befragten, die wegen elektromagnetischer Felder durch Mobilfunk-Sendeanlagen, Handys oder schnurlosen Telefonen gesundheitlich besorgt sind, ist mit 30% (2004; 31% im Jahr 2003) nahezu konstant geblieben. Der Anteil der Befragten, die meinen, tatsächlich gesundheitlich beeinträchtigt zu sein, beträgt 9% (2004; 8% im Jahr 2003), wobei jeder zehnte der gesundheitlich Betroffenen auf Nachfrage den Grad der Beeinträchtigung mit „gar nicht beeinträchtigt“ spezifiziert. Etwas mehr als ein Drittel (37%) gibt an, wenig beeinträchtigt zu sein, während 15% stark und 34% ziemlich beeinträchtigt sind.

Die in einer offenen Frage erhobene Art der gesundheitlichen Beeinträchtigung lässt erkennen, dass nur 33% der Befragten, die sich gesundheitlich beeinträchtigt fühlen, diese Beeinträchtigung konkret benennen können/wollen. Im Vordergrund standen, wie Tab. 1 zu entnehmen ist, Kopfschmerzen/Migräne mit 15% und Schlafprobleme mit 11%.

Während in der Untersuchung aus dem Jahr 2003 unter den Besorgten Mobilfunk-Sendeanlagen mit 23% noch die im Vergleich zu Handys (20%) größere Sorgenquelle darstellten, hat sich die Rangfolge in der Untersuchung von 2004 umgekehrt: Handys 22% und Mobilfunk-Sendeanlagen 19%.

Tab. 1 Art der subjektiven Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder (Daten aus Infas 2005).

Art der Beeinträchtigung	in % der Beeinträchtigten 2004	Vergleichswert 2003
Schlafprobleme	11%	11%
Allgemeines Unwohlsein, Kreislaufbeschwerden, Schläppheit	7%	11%
Kopfschmerzen, Migräne	15%	9%
Psychische/seelische Beschwerden, auch: Konzentration	4%	8%
Ohrgeräusche, Ohrerwärmung	4%	6%
(Angst vor) Krebs	3%	2%
Herzprobleme	2%	2%
Hautprobleme	1%	1%
Rheuma, Gelenkbeschwerden	1%	1%
Augenprobleme	1%	1%

Eine vergleichende Einordnung der Risikowahrnehmung potenzieller Umwelt- und Gesundheitsbelastungen im Hinblick auf das damit verknüpfte persönliche gesundheitliche Gefährdungspotenzial zeigt, dass Mobilfunksendeanlagen und Handys im Stellenwert hinter Luftverschmutzung, Verzehr von Fleisch aus unbekannter Herkunft, Nebenwirkungen von Medikamenten, starkes Zigarettenrauchen, Teilnahme am Straßenverkehr, und Strahlung von elektrischen Geräten rangieren (vgl. Abb. A 3).

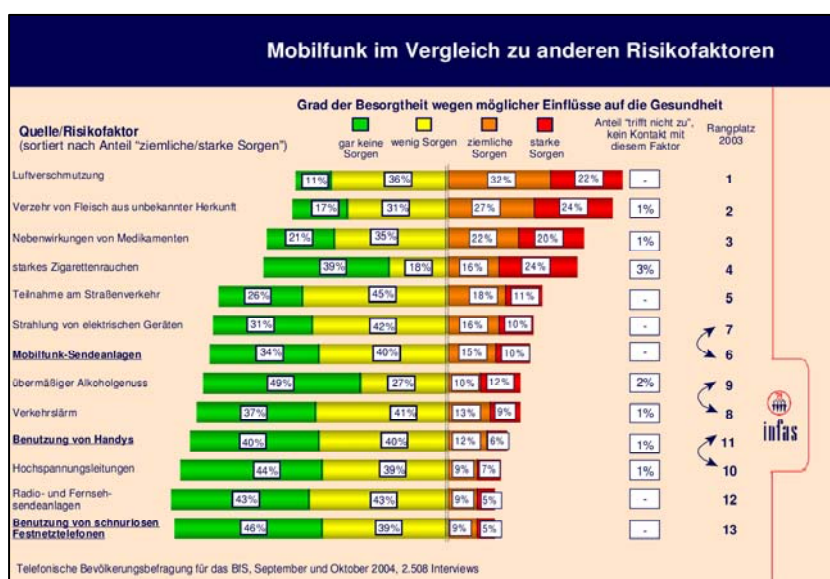


Abb. 3 Mobilfunk im Vergleich zu anderen Risikofaktoren (aus infas 2005).

Eine der Umfrage von Infas entsprechende repräsentative Befragung zu Sorgen und gesundheitlichen Beschwerden im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern wurde in der Schweiz im Auftrag des Bundesamts für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) durchgeführt. Der Bericht wurde im Februar 2005 vorgelegt (Rösli et al. 2005). Die vorgestellten Ergebnisse basieren auf einer im Zeitraum von Mai bis Juli 2004 in der deutsch- und französischsprachigen Schweiz an einer Zufallsstichprobe von 2048 Personen im Alter ab 14 Jahren durchgeführten telefonischen Befragung („computer assisted telephone interview“ CATI; Responserate 55%).

Zunächst wurde für 12 Faktoren (Luftverschmutzung, UV-Strahlung, Gentechnologie, Teilnahme am Straßenverkehr, Stress, Lebensmittelzusätze, Mobilfunkbasisstationen, Verkehrslärm, Hochspannungsleitungen, Handynutzung, Strahlung von elektrischen Geräten und Nutzung schnurloser Festnetztelefone) der Grad der gesundheitlichen Besorgnis (stark, mittel, wenig, gar nicht, trifft nicht zu/weiss nicht/keine Antwort) abgefragt. Insgesamt machen sich 91% der Befragten zumindest wegen einer der genannten Umwelteinflüsse starke oder ziemliche Sorgen, wobei Besorgnis wegen Luftverschmutzung die führende Position einnahm (69% der Befragten sind „stark“ oder „ziemlich besorgt“). Von den Faktoren, die mit elektromagnetischen Feldern zusammenhängen, nahmen Mobilfunkbasisstationen mit insgesamt 36% „stark“ bzw. „ziemlich stark“ Besorgten die führende Position ein, allerdings rangierte dieser Faktor insgesamt hinter Luftverschmutzung, UV-Strahlung, Gentechnologie, Teilnahme am Straßenverkehr, Stress und Lebensmittelzusätzen auf Platz sieben. Die restlichen EMF-Quellen nehmen die hinteren vier Positionen ein, wobei Handynutzung mit (29%) den drittletzten und Nutzung von schnurlosen Telefonen (18%) den letzten Platz belegten.

EMF-attributierte Gesundheitsbeschwerden wurden mit einer Frage nach gegenwärtigen bzw. früheren gesundheitlichen Beeinträchtigungen durch die Faktoren Lärm, Luftverschmutzung, Wetter, Stress oder „Elektrosmog“ (in der weiteren Auswertung bei Rösli et al. 2005 als EMF bezeichnet) abgefragt. Es zeigte sich, dass EMF mit 2.7% aktuell und 2.2% in der Vergangenheit als Ursache für gesundheitliche Beeinträchtigungen am wenigsten genannt wurden (Abb. 4). Als bedeutendste Quellen gesundheitlicher Beeinträchtigung von den genannten Faktoren erweisen sich das Wetter und der Stress.

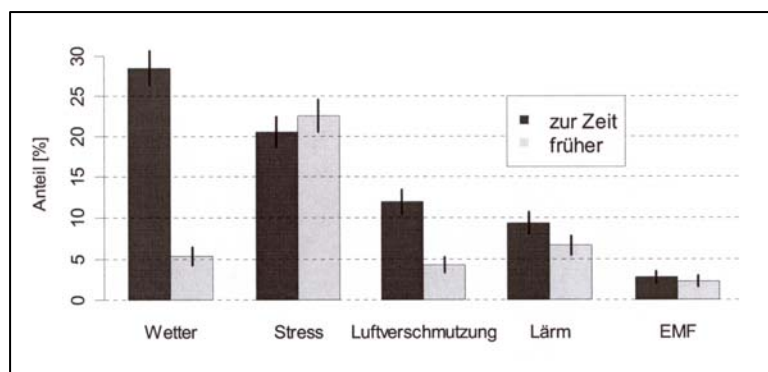


Abb. 4 Anteil der Personen mit Gesundheitsbeschwerden auf die Frage: „Nun möchten wir von Ihnen wissen, ob Sie jetzt oder früher einmal wegen der folgenden Einflüsse gesundheitliche Beeinträchtigungen erlitten haben.“ Vertikale Striche bezeichnen 95% Vertrauensintervalle (aus Rösli et al. 2005).

Es zeigt sich ferner, dass Schlafstörungen im Zusammenhang mit dem Einflussfaktor EMF zwar die am häufigsten genannte Beschwerde sind, Schlafstörungen sind jedoch auch für den Einflussfaktor Lärm die primäre Beschwerde. Für den Faktor Stress sind sie nach Nervosität die am zweithäufigsten geklagte Beschwerde (Tab. 2).

Tab. 2 Die drei jeweils am häufigsten genannten Beschwerden, im Zusammenhang mit einer bestimmten Exposition. Prozentangaben beziehen sich auf die Häufigkeit der Nennung innerhalb der Gruppe, die Beschwerden auf den jeweiligen Einflussfaktor zurückführte. Mehrfachnennungen waren möglich (aus Rösli et al. 2005).

Einfluss	Häufigste Beschwerde	Zweithäufigste Beschwerde	Dritthäufigste Beschwerde
Stress	23% Nervosität	21% Schlafstörung	18% Kopfschmerzen
Lärm	36% Schlafstörung	21% Nervosität	14% Aggressivität/ Reizbarkeit
EMF	43% Schlafstörung	34% Kopfschmerzen	10% Müdigkeit/ Konzentrations- beschwerden
Wetter	55% Kopfschmerzen	14% anderes	12% Rheuma/ Gelenk- erkrankungen
Luftverschmutzung	73% Atemwegsprobleme	9% Hautausschlag	7% anderes

In einer epidemiologischen Pilotstudie zum Einfluss von Mobilfunkbasisstationen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden aus Österreich (Hutter et al. 2002; vgl. Kap. A 6.2.2) wurde u.a. der Frage nachgegangen, welchen Stellenwert Mobilfunkbasisstationen im Vergleich zu neun anderen Umweltfaktoren haben. Die Untersuchung wurde an 360 Personen, je 180 Anwohner von städtischen (Wien) und ländlichen (Kärnten) Mobilfunkbasisstationen, durchgeführt. In der Rangfolge der Besorgnis um mögliche gesundheitliche Gefährdungen nahmen Basisstationen nach Abgasen durch Straßenverkehr, Verkehrslärm und Staub Platz fünf ein. Weniger besorgt waren die Befragten in absteigender Reihenfolge wegen Lärmquellen, Geruchsimmissionen, Hochspannungsleitungen, Luftverschmutzung und Wasserverschmutzung. Während für verkehrsbezogene Umweltfaktoren und Lärmquellen Unterschiede im Ausmaß der Besorgnis zwischen der Stadt- und der Landbevölkerung zu beobachten waren (die Stadtbevölkerung war wegen dieser Faktoren besorgter als die Landbevölkerung), galt das für alle übrigen Faktoren, einschließlich Mobilfunkbasisstationen, nicht.

In einer weiteren österreichischen Studie wurde in kleinerem Umfang der Frage nachgegangen, ob Personen, die an öffentlichen Anhörungen im Zusammenhang mit einer geplanten Aufstellung eines Mobilfunksendemastes teilnehmen, im Hinblick auf mögliche gesundheitliche Auswirkungen stärker besorgt sind als andere Bevölkerungsgruppen (Hutter et al. 2004). Dazu wurde vor Beginn von vier Informationsveranstaltungen an die jeweiligen Teilnehmer ein Fragebogen ausgegeben, der nach der persönlichen Bewertung verschiedener Umweltrisiken einschließlich solcher der Mobilfunkkommunikation fragte. Es wurde ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Antworten keinen Einfluss auf die Diskussion haben würden. Die Fragen wurden auf einer Skala mit sechs Ausprägungen bewertet, die

von „überhaupt kein Risiko“ bis „sehr hohes Risiko“ reichten. Insgesamt wurden 123 der verteilten Fragebögen zurückgegeben, dies entspricht einer Rücklaufquote von 48%. Als Vergleichsgruppe diente eine Stichprobe von 366 Medizinstudenten in präklinischen Semestern.

Es zeigte sich zum einen, dass sowohl die Medizinstudenten als auch die Teilnehmer an den Informationsveranstaltungen das größte Risiko den Umweltfaktoren Asbest, Rauchen und Kernkraftwerke zuschrieben (Abb. 5). Die Besorgnis lag in etwa in der Größenordnung wie bei Verkehrslärm und Luftverschmutzung. Allerdings war die Besorgnis der Teilnehmer an den Informationsveranstaltungen hinsichtlich der Faktoren Mobiltelefone und Basisstationen (sowie Kernkraftwerke) signifikant höher als bei Medizinstudenten. Beide Gruppen schätzten das von Mobilfunkbasisstationen ausgehende Risiko höher ein als das von Mobiltelefonen. Ein Trend zu höherer Risikoeinschätzung zeigte sich bei älteren Personen und bei Frauen.

Die in Summe 5% der Bevölkerung, die gegenwärtig oder früher Probleme wegen EMF hatten, wurden in dieser Studie als elektromagnetisch hypersensible Personen (EHS-Personen) betrachtet.

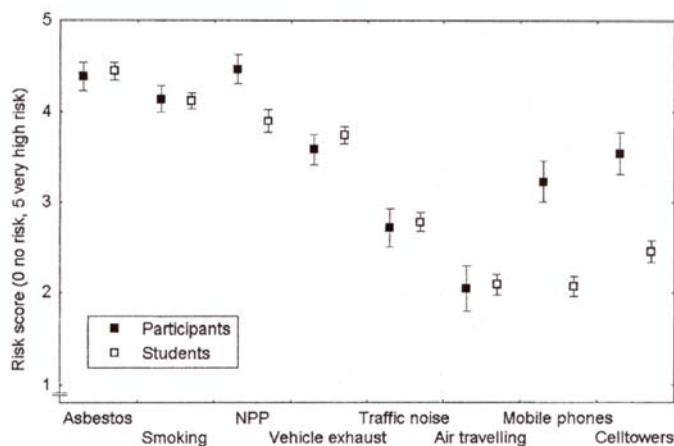


Abb. 5 Mittelwerte und Konfidenzintervalle der Risikobewertung bei Teilnehmern von öffentlichen Anhörungen und bei einer studentischen Vergleichsgruppe für verschiedene Gesundheitsrisiken: NPP: Nuclear Power Plant (aus Rössli et al. 2005).

Die Ergebnisse der Studien aus Deutschland und der Schweiz belegen, dass Schlaf ein Indikator ist, der sensibel auf vielschichtige Arten von Umwelteinflüssen reagiert.

Insgesamt dokumentieren die zur Risikowahrnehmung vorliegenden Daten deutlich einen Bedarf an wissenschaftlich fundierten, methodisch gut durchdachten Untersuchungen zu möglichen biologischen/physiologischen Effekten elektromagnetischer Felder auf den menschlichen Organismus.

Dieser Bedarf wird auf internationaler und nationaler Ebene wahrgenommen und in entsprechenden Forschungsprogrammen umgesetzt (vgl. Kap. A 3).

A 3 Untersuchungen zum Einfluss von Handynutzung und Mobilfunkbasisstationen in nationalen und internationalen Forschungsprogrammen

Der Forschungsbedarf zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder des Mobilfunks ergibt sich u.a. aus den in Kap. A 2 zusammengestellten Untersuchungsergebnissen. Er spiegelt sich aber auch in den derzeit geförderten bzw. ausgeschrieben nationalen und internationalen Forschungsprogrammen wider. Bevor im Folgenden die Forschungsförderung und –koordination auf weltweiter, europäischer und nationaler Ebene näher ausgeführt werden, sei an dieser Stelle auf einen Service der Weltgesundheitsorganisation für Wissenschaftler verwiesen. Im Rahmen ihres internationalen EMF-Projekts (Kap. A 3.1) hat die WHO eine Datenbank mit Untersuchungen zu biologischen Effekten und gesundheitlichen Risiken von elektromagnetischen Feldern eingerichtet (WHO database), die unter <http://www.who.int/peh-emf/research> abgerufen werden kann. Diese Datenbank wird mit Hilfe von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (FGF) aktualisiert und unterhalten. Auf der genannten Internetseite ist auch die Datenbank des *Institute of Electric and Electronic Engineers* (IEEE database) zugänglich, die mehr Einträge enthält, als die Datenbank der WHO. Darüber hinaus sind über diese Seite Informationen zu nationalen Forschungsaktivitäten in einzelnen Ländern abrufbar.

A 3.1 Das International EMF Project der WHO

Auf internationaler Ebene wird der Forschungsbedarf im Wesentlichen von der WHO definiert. Als Teil ihrer Aufgabe zum Schutz der öffentlichen Gesundheit sowie in Reaktion auf die Bedenken der Öffentlichkeit im Hinblick auf gesundheitliche Effekte, die von einer Exposition gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern ausgehen, hat die WHO im Jahr 1996 das *International EMF Project* ins Leben gerufen. Aufgabe dieses Projektes ist es, die wissenschaftlichen Hinweise auf mögliche gesundheitliche Konsequenzen einer EMF Exposition im Frequenzbereich 0 bis 300 GHz zu bewerten. In diesem Projekt wird unterschieden zwischen statischer Exposition (0 Hz), extrem niedrigen Frequenzen (ELF, >0 bis 300 kHz), intermediären Frequenzen (IF, > 300 kHz bis 10 MHz) und Radiofrequenzen (RF, 10 MHz bis 300 GHz). Zu den acht spezifizierten Schlüsselaufgaben zählen u.a. die Identifikation von Wissenslücken sowie die Entwicklung und Förderung von Forschungsprogrammen, mit denen die bestehenden Wissenslücken gefüllt werden können.

Bis zum Jahr 2007 soll das *International EMF Project* seine Bewertung zum Gesundheitsrisiko abgeschlossen haben. Es wird davon ausgegangen, dass bis zu diesem Zeitpunkt die gegenwärtig geförderten Projekte sowie die geplanten Projekte genügend Resultate liefern, um definitive Aussagen treffen zu können.

Aus einem im Jahr 1997 in Genf abgehaltenen Koordinations-Meeting resultierte die *WHO EMF Research Agenda*, die in periodischen Abständen aktualisiert wird. Eine wesentliche Ergänzung erhielt die Agenda durch den Beitrag eines *ad hoc Komitees* eingeladener Experten vom Juni 2003.

Die 2003 WHO Research Agenda for Radiofrequency Fields definiert Forschungsansätze mit hoher Priorität, die zur Abschätzung des Gesundheitsrisikos durch die WHO beitragen sollen. Wissenschaftler sowie nationale Fördereinrichtungen bzw. –institutionen auf Regierungs- und Industriebene sind aufgefordert, sich an dieser Agenda zu orientieren. Die Research Agenda ist im Hinblick auf die Bedeutung der Forschungsansätze für die Bewertung des Gesundheitsrisikos in Teilbereiche untergliedert: Epidemiologie, Laborstudien an Menschen, Laborstudien an Tieren sowie Laborstudien an Zellkulturen, Zellen und zellfreien Systemen. Während die beiden erstgenannten Bereiche sich direkt mit gesundheitsbezogenen Endpunkten beschäftigen, sind Studien an Tieren und Zellen von größerer Bedeutung für die Bewertung von Kausalität und biologischer Plausibilität. In jedem der Teilbereiche sind die Aktivitäten wiederum unterschieden in „overarching issues“, die für einen Forschungsbereich übergreifende Anwendbarkeit haben, „ongoing“, d.h. Studien, die gegenwärtig durchgeführt werden, „short-term or urgent needs“, Forschungsaspekte, die so schnell wie möglich initiiert werden sollten und „long-term or future needs“, womit Studien gemeint sind, von denen nicht erwartet wird, dass sie noch zur Risikobewertung durch die WHO beitragen können, sondern die vielmehr für spätere Reviews von Bedeutung sein werden.

An dieser Stelle sei lediglich der Bereich Epidemiologie näher ausgeführt, für den Bereich Human Studies sei auf die Ausführungen bei Danker-Hopfe und Dorn (2004) verwiesen. Unter „ongoing“ wird in diesem Zusammenhang das Design und die Entwicklung eines Personendosimeters genannt, das zum Design epidemiologischer Studien in der Nähe von Basisstationen und anderen festen Quellen beitragen soll. Unter „overarching issues“ wird ausgeführt, dass Expositionssurveys (im Gegensatz zu einfachen Quellenevaluationen) notwendig sind, um die Gesamtexposition eines Individuums zu erfassen. Dazu gehören u.a. die relativen Beiträge der Exposition durch Wohnort und Beruf, sowie der Einfluss von Alter, Geschlecht und Mobilität. In die Kategorie „long-term or future needs“ werden u.a. Studien eingeordnet, die den Effekt von festen Expositionsquellen (zu denen auch Mobilfunkbasisstationen zählen) auf den Schlaf und andere „weiche“ Endgrößen untersuchen.

In einer im Jahr 2002 publizierten Arbeit hat Repacholi in einer Übersicht über den gegenwärtigen Stand des International EMF Project darauf hingewiesen, dass in epidemiologischen und Humanstudien an Freiwilligen neben dem Endpunkt Krebs auch andere Outcome Variablen untersucht werden sollten: *Other health outcomes investigated following RF exposure, include headaches, general malaise, short-term memory loss, nausea, changes in the EEG and other central nervous system functions, and sleep disturbances. There have also been anecdotal reports from several countries of subjective disorders such as headaches associated with the use of mobile telephones. Whether exposure to RF fields at very low-levels can cause such subjective effects has not been substantiated from current evidence, but further research is indicated* (Repacholi 2002, S17 Originalmanuskript).

Am 15./16. Juni 2005 fand in Genf im Rahmen des WHO International EMF Project ein Workshop speziell zum Thema „Base Stations and Wireless Networks“ statt. Der von Colin Roy angefertigte *Rapporteur's Report* findet sich ebenso wie die Präsentationen der Vortragenden im Internet auf der

Homepage der WHO (Roy, 2005). Die Beiträge beschäftigten sich u.a. mit einer Bewertung der Exposition des Menschen durch elektromagnetische Felder von schnurlosen Geräten in der häuslichen und betrieblichen Umwelt (Kuster, 2005), modulierter Radiofrequenzenergie (Valberg 2005), einem Review zu non-thermischen Gesundheitseffekten von Hochfrequenzfeldern (Veyret, 2005), einem Review wissenschaftlicher Studien zum Thema Basisstationen und Symptome elektromagnetischer Hypersensitivität (Fox, 2005), mit Studien zu Basisstationen und anderen Telekommunikationsmasten (Ahlbom, 2005), mit einer Feasibility-Studie zu dosimetrischen Kriterien zukünftiger epidemiologischer Studien zu Gesundheitseffekten von Mobilfunkbasisstationen (Neubauer, 2005), mit einer individuellen Bestimmung der Exposition gegenüber Hochfrequenz (Wiert, 2005) in Laborstudien und Studien an Freiwilligen (Mann 2005), mit einer Bewertung der Hochfrequenz-Exposition in der Allgemeinbevölkerung in einer Pilotstudie aus Frankreich (Cardis, 2005), mit der von Basisstationsantennen auf Dächern und Gebäuden ausgehenden beruflichen RF Exposition (Mild, 2005), mit der Behandlung von Risiken von Mobilfunkbasisstationen: eine vergleichende Studie in fünf Ländern (Borraz and Salomon, 2005), mit den Möglichkeiten zur lokalen Entscheidungsfindung für Mobilfunkbasisstationen (Vecchia 2005), mit der „EC Coordination Action EMF-NET“, Basisstationen und Gesundheitsaspekte (Ravazzani 2005), mit epidemiologischen Studien zur Mobilfunkbasisstationsexposition (Leitgeb, 2005), „Wireless networks – regulatory good practice“ (Rowley, 2005), mit der Notwendigkeit der öffentlichen Akzeptanz von Mobiltelefonen und einer drahtlosen Kommunikation (Marsalek, 2005) sowie mit der Risikowahrnehmung und Risikokommunikation (Barnett, 2005; Renn, 2005). Eine Zusammenfassung und die Präsentationen dieses Workshops sind unter http://www.who.int/peh-emf/publications/reports/iac_2005_minutes.pdf abrufbar. Es ist geplant, zu diesem Workshop Proceedings herauszugeben sowie ein Fact- oder Information Sheet und eine wissenschaftliche Publikation.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass sich unter <http://www.who.int/peh-emf/project/mapnatreps/en/index.html> ein Überblick über die am *International EMF Project* der WHO teilnehmenden Länder und deren Aktivitäten findet.

A 3.2 EMF-Forschungsförderung auf europäischer Ebene

Auf der Ebene der Europäischen Union wurden bzw. werden im 5. Rahmenprogramm acht Projekte mit einem Gesamtmittelvolumen von 10 Millionen EUR gefördert. Im 6. Forschungsrahmenprogramm sind für Koordinationsmaßnahmen insgesamt 1.5 Millionen EUR vorgesehen, eine direkte Förderung von EMF-Projekten ist nicht vorgesehen.

Zu den von der EU geförderten Maßnahmen gehört die COST Action. COST ist ein Akronym für *European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research*. Es handelt sich dabei um eine grundlegende Struktur zur Koordination von Forschung auf europäischer Ebene, d.h. es wird keine direkte Forschungsförderung betrieben. Innerhalb von COST gibt es 18 Schwerpunkte („actions“), darunter auch die *COST 281 Action*, mit dem Titel *Potential Health Implications from Mobile Communication Systems*, die im Jahr 2001 ihre Arbeit aufgenommen hat. An dieser *COST 281 Action* nehmen gegenwärtig 25 europäische Länder aktiv teil. Primäres Ziel ist das bessere

Verständnis gesundheitlicher Risiken, die aus sich entwickelnden Technologien erwachsen, insbesondere aus neuen Kommunikations- und Informationstechnologien, die zu einer Exposition gegenüber elektromagnetischen Feldern führen können.

Zu den regelmäßigen Aktivitäten von COST 281 gehört die Organisation von Workshops zu speziellen Themen. Der fünfte COST 281 Workshop, der vom 15.- 16. November 2003 in Budapest stattgefunden hat, stand in direktem thematischen Bezug zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder im Mobilfunkfrequenzbereich auf das Zentrale Nervensystem: *Mobile Telecommunications and the Brain*. Das Programm und die Abstracts sind auf der Homepage von COST 281 (<http://www.cost281.org>) nachzulesen. Zu erwähnen sei in diesem Zusammenhang noch, dass COST 281 sich auch an der Organisation eines von der Forschungsgemeinschaft Funk (FGF) und dem Ministerium für Umwelt und Verkehr des Landes Baden-Württemberg organisierten Workshops zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* beteiligt hat, der vom 7. - 10. Dezember 2003 in Immenstaad stattgefunden hat. Das Programm und die Abstracts dieser Veranstaltung sind ebenfalls auf der COST 281 Homepage nachzulesen.

Neben Präsentationen zu Grundlagen des Schlafes (Riemann, 2003; Penzel, 2003), zu Exposition und Dosimetrie (Hansen, 2003; Kuster and Schuderer 2003; Navarro, 2003), zu Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf den Schlaf (Achermann, 2003; Mann and Röschke, 2003; Röschke and Mann, 2003) sowie auf kognitive Prozesse (Schmid et al. 2003; Haarala, 2003; Lowden and Akerstedt, 2003; Bornhausen et al., 2003; Berz et al., 2003; Maier and Schaller, 2003) wurden die Ergebnisse einer epidemiologischen Studie zum Zusammenhang zwischen Häufigkeit und Dauer der Nutzung von Mobiltelefonen und der subjektiven Schlafqualität, gemessen mit dem Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI) vorgestellt (zur Nieden, 2003). In einer weiteren Präsentation wurden die Ergebnisse einer epidemiologischen Studie bei Anwohnern des Fernsehsenders Schwarzenburg vorgestellt (Altpeter et al., 2003). Danker-Hopfe und Dorn (2003a) stellten die Ergebnisse einer Machbarkeitsstudie zur Untersuchung des Einflusses elektromagnetischer Felder auf den Schlaf von Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen vor, während Rössli et al. (2003c) sich in ihrem Beitrag allgemein mit den Möglichkeiten zur Untersuchung des Einflusses von elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks in realen Lebenssituationen auseinandersetzten.

In der Präsentation von Danker-Hopfe und Dorn (2003a) wurden die Ergebnisse einer vom *Niedersächsischen Ministerium für Frauen, Arbeit und Soziales* finanzierten Machbarkeitsstudie vorgestellt. In der Hauptstudie soll bei Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen überprüft werden, ob die von Mobilfunkbasisstationen ausgehenden elektromagnetischen Felder einen Einfluss auf den Schlaf von Anwohnern haben. Vom Design handelt es sich bei der geplanten Studie um eine experimentelle doppelblinde placebo-kontrollierte randomisierte cross-over Studie im Feld. Die Machbarkeitsstudie wurde in Flachsmeer/Westoverledingen (Ostfriesland) durchgeführt. Die Datenerhebung umfasst u.a. Daten zur subjektiven Schlafqualität (erfasst mit dem Pittsburgh Sleep Quality Index, PSQI) und Daten zur objektiven Schlafqualität, die unter häuslichen Bedingungen mit

einem Gerät erfasst wurden, das aus einem fronto-polar registrierten EEG-Kanal mittels Neuronaler Netzwerk Technologie Schlafstadien und ein Schlafprofil ermittelt. Die Ergebnisse basieren auf Daten von n=105 Personen (47 Männer: 43.0 ± 14.8 Jahre und 58 Frauen: 43.4 ± 13.0 Jahre) und einer Gesamtzahl von 1260 registrierten Nächten. Für jeden Teilnehmer wurden 12 Nächte registriert (zweimal sechs konsekutive Nächte mit einem einwöchigen Intervall dazwischen). Die Dropout-Rate betrug in dieser Studie 2.8%, was eine hohe Compliance belegt. Der Anteil fehlender Daten in den Schlaffragebögen war sehr gering. Nach Ausschluss von drei Adaptationsnächten und von Aufzeichnungen mit technischen Problemen verblieben für 91% der Probanden noch mindestens sechs auswertbare Nächte. Vier von insgesamt 11 EEG basierten Schlafparametern zeigten signifikante Unterschiede zwischen „guten“ und „schlechten“ Schläfern, die auf der Basis des PSQI-Scores unterschieden wurden. Die „guten“ Schläfer hatten einen höheren Schlafeffizienz-Index, eine kürzere Einschlafzeit sowie geringere prozentuale Anteile von NREM1 und Wach nach Schlafbeginn. Da der Schlafeffizienz-Index ein Parameter ist, der sowohl Ein- als auch Durchschlafstörungen reflektiert, scheint er für eine Folgestudie, in der die Exposition (doppelblind, placebo-kontrolliert, randomisiert im cross-over Design) experimentell variiert wird, der geeignete primäre Zielparameter zu sein.

A 3.3 Forschungsförderung durch die Forschungsgemeinschaft Funk e.V.

Die Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (FGF) ist ein gemeinnütziger Verein, dem Behörden, Dienstleister, Netzbetreiber, Industrie sowie Vereine und wissenschaftliche Einrichtungen als Mitglieder angehören. Seit ihrer Gründung 1992 finanziert die FGF Studien unterschiedlicher Themenschwerpunkte, die an wissenschaftliche Einrichtungen vergeben werden. Dabei erteilt die FGF nur Forschungsaufträge, die dem von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) geforderten Standard entsprechen. Studien nach WHO-Standard müssen unter anderem nachvollziehbar und reproduzierbar sein. Die Auswahl der Forschungsprojekte orientiert sich dabei an den Forschungszielen nationaler und internationaler Expertengruppen.

Die FGF hat sich u.a. zur Aufgabe gemacht, offenen Fragen der biologischen Wirkung elektromagnetischer Felder auf Mensch und Umwelt nachzugehen. In diesem Zusammenhang stehen die von der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. veranstalteten Workshops (vgl. Kap. A 3.2). Ein weiteres Ziel der FGF ist eine umfassende Aufklärung der Öffentlichkeit über den Stand der Wissenschaft. Und als drittes schließlich hat die FGF in der Vergangenheit Forschung zu diesem Thema gefördert.

Im Jahr 2001 wurden zwei Forschungsprojekte ausgeschrieben: *„Possible effects of mobile phones on central nervous systems in humans“*, dieses Projekt wurde an eine finnische Arbeitsgruppe vergeben, und *„Influence of high-GHz signals on the vegetative nervous system (VNS) and hormone parameters“*, dieses Projekt wurde an ein deutsches universitäres Forschungsinstitut vergeben. Erwähnt sei in diesem Zusammenhang, dass die FGF im Jahr 2000 eine Studie zum Thema *„Kurz- und Langzeitauswirkungen elektromagnetischer Hochfrequenzfelder auf die Qualität des menschlichen Schlafes und die hieraus resultierende Tagesbefindlichkeit“* an Prof. Aldenhoff von der Universität Kiel vergeben

hat. Die Datenerhebung erfolgte im Jahr 2001, der Abschlussbericht wurde im Jahr 2002 abgenommen. Zu diesem Projekt wurde im Jahr 2004 ein Ergänzungsauftrag erteilt (FGF 2004). Zu den in 2004 geplanten und abgeschlossenen Projekten zählt auch die Pilotstudie EPROS: Elektrosensibilität und Schlafstörungen (Electrosensitive protected sleep study), die von Professor Norbert Leitgeb von der Universität Graz an drei Personen, „die sich selbst als elektrosensibel und dadurch schlafgestört einstufen“ (FGF 2004, S. 14), durchgeführt wurde. Die Hauptstudie zu diesem Projekt wird vom Österreichischen Lebensministerium finanziert, das Bundesamt für Strahlenschutz schließt sich mit der Finanzierung 20 weitere Personen an (vgl. Kap. A 3.4).

A 3.4 Forschungsförderung durch das Bundesamt für Strahlenschutz

Das Bundesamt für Strahlenschutz ist eine organisatorisch selbständige wissenschaftlich – technische Bundesbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Am 28. April 2005 fand in Berlin das 3. Fachgespräch des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) zum Thema „Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm – eine Zwischenbilanz“ statt. Das BfS setzt auf dieser Basis und unter Berücksichtigung der Ergebnisse der ersten beiden Fachgespräche vom Juni 2001 und September 2003 das *Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm* (DMF) um. Auf diesem 3. Fachgespräch wurden erste Ergebnisse aus dem DMF vorgestellt und in die internationale Diskussion eingeordnet. Das *Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm* wird mit insgesamt 17 Millionen EUR gefördert, 8.5 Millionen EUR wurden vom Bundesumweltministerium für die Jahre 2002 bis 2005 zur Verfügung gestellt, die restlichen 50% haben die Mobilfunkbetreiber in ihrer Selbstverpflichtung vom 6. Dezember 2001 zugesagt. Ziel des *Deutschen Mobilfunk Forschungsprogrammes* ist es, nach Ausführungen des Präsidenten des BfS, Wolfram König, vorhandene Unsicherheiten zu reduzieren, drängende, in der Wissenschaft und in der Öffentlichkeit diskutierte Fragen zu klären und zur sachlichen Aufklärung der Bevölkerung beizutragen.

Das komplexe Themengebiet wird in vier Bereiche untergliedert: Biologie, Dosimetrie, Epidemiologie und Risikokommunikation. Im Vorfeld des Fachgesprächs, an dem Vertreter aus Politik, Wissenschaft, Wirtschaft, Umwelt- und Verbraucherverbänden teilgenommen haben, wurde die Öffentlichkeit über ein Internetportal an der Diskussion um relevante Forschungsprojekte beteiligt. Sachbezogene Beiträge wurden in der Diskussion berücksichtigt. Insgesamt werden im Bereich Biologie 24 Projekte bearbeitet, ein Projekt ist bereits abgeschlossen, 17 sind vergeben und sechs sind in Planung. Im Bereich Epidemiologie werden neun Projekte bearbeitet, eines davon ist bereits abgeschlossen, fünf sind vergeben und weitere drei in Planung. Eine detaillierte Auflistung der Projekte sowie der Tagungsbericht von Geschwentner et al. (2005) findet sich im Internet unter www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de.

Unter den 24 im Bereich Biologie gelisteten Studien sind insgesamt acht dem Bereich Humanstudien zuzuordnen während die übrigen tierexperimentell sind, oder das Problem *in-vitro* auf zellulärer bzw. molekularer Ebene untersuchen. Ein bereits abgeschlossenes Projekt zum Thema *Machbarkeitsstudie zur Untersuchung altersabhängiger Wirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf der*

Basis relevanter biophysikalischer und biologischer Parameter, das von Mai bis Oktober des Jahres 2004 gefördert und von der ATC Seibersdorf Research GmbH durchgeführt wurde, sollte klären, ob sich die Hypothese einer höheren Empfindlichkeit von Kindern und Jugendlichen gegenüber hochfrequenten elektromagnetischen Feldern im Vergleich zu Erwachsenen aus den vorliegenden wissenschaftlichen Informationen begründen lässt. Eine umfassende Klärung der Frage eines möglichen höheren gesundheitlichen Risikos von Kindern durch HF-Exposition wird aufgrund der Vielzahl noch ungeklärter Einzelaspekte als derzeit nicht möglich erachtet. Der vollständige Bericht steht unter <http://www.emf-forschungsprogramm/forschung/biologie> zur Verfügung. Es wird aber das Fazit gezogen, dass eine Hauptstudie zu diesem Thema sinnvoll sei. Die Ergebnisse der Machbarkeitsstudie fließen in die in Planung befindliche Hauptstudie ein.

Auf eine in der Planung befindliche Studie zum Thema *Kurz- und mittelfristige Effekte durch GSM- und UMTS-Signale auf Gehirnfunktion und kognitive Leistungsfähigkeit* soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da sie weder mit dem Zielparаметer Schlaf noch speziell mit Mobilfunkbasisstationen zu tun hat. Eine nähere Beschreibung findet sich unter <http://www.emf-forschungsprogramm/forschung/biologie>. Vergeben ist eine Studie zum Thema *Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen*, in dem als Zielparаметer sowohl der Schlaf, als auch das spontane Wach-EEG, evozierte und ereigniskorrelierte Potentiale sowie kognitive Funktionen unter GSM, UMTS und Sham Exposition untersucht werden sollen. Dieses Projekt wird von Danker-Hopfe und Dorn, Charité – Universitätsmedizin Berlin, Campus Benjamin Franklin, durchgeführt. Mit Ergebnissen aus diesem Projekt ist im Herbst 2006 zu rechnen.

Ein weiteres Projekt, das von dieser Arbeitsgruppe in einer Pilotphase durchgeführt wird, beschäftigt sich direkt mit dem Schlaf von Anwohnern einer Mobilfunkbasisstation. Das Thema der Studie lautet *Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation- Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen*. Die Schwerpunkte des Projekts liegen in der Untersuchung verschiedener Schlafparameter bei Personen, die im näheren Umkreis von Basisstationen des Mobilfunks (500 m) leben. Die Schlafqualität soll unter häuslichen Bedingungen parallel mittels Befragung (subjektive Schlafqualität) und mittels Registrierung physiologischer Parameter (Schlaf-EEG; objektive Schlafqualität) untersucht werden, und zwar mit und ohne Abstrahlung von Mobilfunksignalen durch eine Basisstation. Dies soll in einer Doppelblind-Studie im cross-over Design geschehen. Die Auswertung der subjektiven und objektiven Daten soll Aufschluss geben über den Einfluss der von der Basisstation ausgehenden HF-EMF auf die Schlafqualität. Ein möglicher Einfluss psychologischer Komponenten soll berücksichtigt und ausgewertet werden. Eine abgeschlossene Machbarkeitsstudie zu einer derartigen Untersuchung liegt vor. Zunächst ist eine dreimonatige Pilotphase zu dieser Studie vergeben worden. Innerhalb dieser Zeit sollen die Forschungsnehmer die Einzelheiten der notwendigen Zusammenarbeit mit den Netzbetreibern und der Bundesnetzagentur festlegen, sowie die Zustimmung der Ethikkommission einholen. Wird die Pilotphase erfolgreich abgeschlossen, kann die Hauptstudie durchgeführt werden.

Gefördert wird darüber hinaus eine *Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen*, die von der Technischen Universität Graz durch-

geführt wird. Die Pilotstudie hierzu wurde von der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (vgl. Kap. A 3.3) gefördert. Bisherige Untersuchungen an „Elektrosensiblen“ erfolgten primär als Provokationsexperimente, in denen eine Exposition simuliert wurde. Bei nicht geglücktem Elektrosensibilitätsnachweis haben dabei die Elektrosensiblen geklagt, dass sie sich in der ungewohnten Umgebung und aufgrund des EMF-Stresses sowie wegen zu kurzer Erholungszeiten in einer Ausnahmesituation befunden und daher nicht wie gewohnt reagiert hätten. In dem hier vorgeschlagenen Untersuchungsansatz soll von den bisherigen Provokationsexperimenten in fremder Umgebung abgegangen und durch "Protektionsexperimente" die Reaktion auf den Wegfall der elektromagnetischen Exposition in den Wohnungen von Betroffenen untersucht werden. Es soll den subjektiven Überzeugungen nachgegangen werden, dass Hochfrequenz-Sendeanlagen bei Expositionen weit unterhalb des Grenzwertes Schlafstörungen verursachen können. Unter häuslichen Bedingungen soll die subjektiv empfundene Schlafqualität durch Messung von Langzeitparametern objektiviert werden.

Auf zwei weitere derzeit geförderte Untersuchungen an „elektrosensiblen“ Personen *Untersuchung elektrosensibler Personen im Hinblick auf Begleitfaktoren bzw. -erkrankungen, wie z.B. Allergien und erhöhte Belastung mit bzw. Empfindlichkeit gegenüber Schwermetallen und Chemikalien* (vergeben an die Johannes Gutenberg Universität Mainz) und *Untersuchung des Phänomens "Elektrosensibilität" mittels einer epidemiologischen Studie an "elektrosensiblen" Patienten einschließlich der Erfassung klinischer Parameter* (vergeben an das Bezirksklinikum Regensburg) soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, da weder Mobilfunkbasisstationen noch der Schlaf primärer Fokus dieser Studien ist. Für Details zu diesen Studien sei auf die entsprechende Homepage des Bundesamtes für Strahlenschutz verwiesen.

Aus dem Bereich Epidemiologie seien an dieser Stelle nur die Studien erwähnt, in denen Befindlichkeitsstörungen (darunter auch der Schlaf) von Anwohnern von Mobilfunkbasisstationen eine Rolle spielen. In diesem Zusammenhang ist die von den Universitäten Bielefeld und Mainz, sowie vom DKFZ Heidelberg und der NFO Infratest München gemeinsam durchgeführte *Querschnittsstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen* zu nennen. In der Studie soll in einem bundesweiten Querschnitt an ca. 40.000 Personen die Hypothese überprüft werden, dass die Felder von Mobilfunkbasisstationen zu gesundheitlichen Beschwerden bei den Anwohnern führen können und dass es dafür besonders sensible Personen gibt. In einer Pilotphase wurde die Durchführbarkeit der Studie ebenso wie die Machbarkeit der Geokodierung von Haushalten und Basisstationen überprüft. Aufbauend auf die Ergebnisse dieser Studie, die in einem ersten Zwischenbericht zusammengefasst sind, der unter <http://www.emf-forschungsprogramm/forschung/epidemiologie> abrufbar ist, wurde das Design der Hauptstudie spezifiziert.

In einer geplanten Studie sollen *Akute Gesundheitseffekte durch Mobilfunk bei Kindern* untersucht werden. Es soll überprüft werden, ob Kinder und Jugendliche gegenüber elektromagnetischen Feldern des Mobilfunks eventuell besonders empfindlich sind. In einer bevölkerungsbezogenen Querschnittsstudie soll der Zusammenhang der akuten subjektiven Befindlichkeit mit der individuell gemessenen und selbst eingeschätzten Exposition von Mobilfunkfeldern bei Kindern und Jugendlichen untersucht

werden. Der Einsatz von Personendosimetern wird derzeit in einer vom Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz finanzierten Pilotstudie getestet.

A 3.5 Forschungsförderung durch das Mobile Telecommunications and Health Research (MTHR) Programm

Ein dem *Deutschen Mobilfunk Forschungsprogramm* äquivalentes, umfangreiches Forschungsförderungsprogramm, das von der Regierung und von der Industrie finanziert wird, gibt es auch in England, das *Mobile Telecommunications and Health Research* (MTHR) – Programm. Es wurde im Jahr 2001 mit einer initialen Fördersumme von 7.4 Millionen englische Pfund ins Leben gerufen. Eine Übersicht über die in diesem Programm geförderten Projekte findet sich unter <http://www.mthr.org.uk>. Der Homepage ist zu entnehmen, dass seit Kurzem drei neue Forschungsbereiche gefördert werden, darunter zwei, die mit Mobilfunkbasisstationen zu tun haben. Bei dem einen handelt es sich um eine Erweiterung einer bereits geförderten Studie, in der untersucht werden soll, ob elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen eine Reihe von Symptomen bei Personen auslösen können, die diesen Feldern ausgesetzt sind. Die Direktorin dieses Projekts ist Elaine Fox von der University of Essex. Bei dem anderen Projekt handelt es sich um eine Pilotstudie zur Bewertung von Personendosimetern, die in epidemiologischen Studien zu Erkrankungen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern von Mobilfunkbasisstationen eingesetzt werden sollen. Dieses Projekt wird von Dr. Simon Mann vom National Radiation Protection Board (NRPB) geleitet.

A 4 Elektromagnetische Felder von Mobiltelefonen und Mobilfunkbasisstationen

Exposition durch elektromagnetische Felder verschiedenster Quellen ist für die Mehrheit der Bevölkerung allgegenwärtig. Hinsichtlich des Mobilfunks ist grundsätzlich zu unterscheiden zwischen den von Mobilfunkbasisstationen ausgehenden elektromagnetischen Feldern und der Exposition, die aus dem Gebrauch von Mobiltelefonen resultiert. Die Expositionen beim Gebrauch von Mobiltelefonen (selbst oder durch Personen in der Nähe) sind infolge der physikalischen und geometrischen Bedingungen normalerweise viel stärker als die durch Mobilfunkbasisstationen verursachten Expositionen. Allerdings sind letztere durchgehend präsent und variieren nur in gewissem Grade durch die schwankende Auslastung der Basisstationen im Tagesverlauf (Silvi et al. 2001). Mobile Telefonate in unmittelbarer Nähe jedes einzelnen Menschen machen dagegen meist nur einen geringen zeitlichen Anteil des Tages aus. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass die Exposition durch Mobiltelefone primär am Kopf erfolgt, während von Mobilfunkbasisstationen eine Ganzkörperexposition ausgeht. Auf dem bereits erwähnten, von der WHO am 15./16. Juni 2005 in Genf veranstalteten Workshop zum Thema „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“, wies der Leiter des WHO-EMF Projekts, Mike Repacholi, explizit auf Folgendes hin: *„One lesson is that perceptions can be wrong about potential health risk from new technology. ... Today, people are more worried about RF exposure from base stations despite the fact that handsets expose users to 1000 times more power output near the head and that emissions from base stations are self-limiting“*:

Bei Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder ist also grundsätzlich zu unterscheiden, ob damit mögliche Risiken einer mehr oder weniger selbst bestimmten individuellen Nutzung von Mobiltelefonen untersucht werden soll, oder ob eine Bewertung eventueller Risiken von Mobilfunkbasisstationen unter dem Aspekt des Anwohnerschutzes vorgenommen werden soll.

Die Emission von Mobiltelefonen variiert zwischen 0.2 und 0.6 Watt (WHO 2000), während die Emission von z.B. „Walkie Talkies“ 10 Watt und mehr betragen kann. Die Exposition nimmt mit der Distanz zum Mobiltelefon rapide ab, was bedeutet, dass die Exposition durch ein Mobiltelefon, das in einiger Entfernung vom Kopf gehalten wird, viel niedriger ist als bei Platzierung des Telefons am Ohr.

Der Vergleich von Exposition durch GSM Mobiltelefone mit der von GSM Basisstationen hängt stark von Annahmen bezüglich der Dauer der Mobiltelefonnutzung pro Tag, den Übertragungsbedingungen, die sich auf die Leistungsregelung auswirken, sowie von der Netzauslastung ab (Neubauer et al. 2005). Auf der Basis unterschiedlicher Annahmen kommen verschiedene Autoren auch zu unterschiedlichen Ergebnissen. Dale und Wiart (2004, zit. nach Neubauer et al. 2005) kamen zu dem Ergebnis, dass die über den Tag gemittelte lokale Exposition durch Mobiltelefone und Basisstationen in der gleichen Größenordnung ist. Im Hinblick auf die Ganzkörperexposition ist bei den von Dale and Wiart (2004) getroffenen Annahmen die Exposition durch Mobilfunkbasisstationen über den Tag gesehen größer.

Neubauer et al. (2005) kamen dagegen zu dem Ergebnis, dass eine Exposition des ZNS in Höhe von 1V/m durch eine Basisstation über 24 Stunden bei einem typischen Mobiltelefon der Exposition innerhalb 1 Sekunde entspricht. Im Hinblick auf den Gesamtkörper beträgt die Relation 24 Stunden zu 3 Minuten. Generell stellt sich die Frage, welcher physikalische Parameter von elektromagnetischen Signalen heranzuziehen ist und in welcher Weise er adäquat zu mitteln ist, um „Exposition“ zu beschreiben.

Die Vielfalt der EMF-Quellen stellt für eine exakte Expositionserfassung in epidemiologischen Studien gerade auch in Hinsicht auf den Einfluss der von Mobilfunkbasisstationen ausgehenden elektromagnetischen Felder ein sehr großes Problem dar. Mit den Möglichkeiten und Grenzen epidemiologischer Studien zu Gesundheitseffekten von Mobilfunkbasisstationen setzt sich ein kürzlich erschienener Review eines internationalen Expertengremiums (Neubauer et al. 2005) auseinander. Sie beschäftigen sich ausführlich mit dosimetrischen Ansätzen (spezifische Aspekte der Feldverteilung in der Umgebung von Basisstationen: Variationen der Immission in Raum und Zeit, meteorologischen Parametern, sowie dem Beitrag anderer Emissionsquellen; verfügbare Methoden und Ausstattung; Spektrum der Exposition, wie es in Messprojekten erfasst wurde; existierende Konzepte zur Expositionserfassung) und epidemiologischen Ansätzen (experimentelle vs nicht experimentelle Studien; eine Darstellung vorliegender Ergebnisse aus epidemiologischen Studien zu Mobilfunkbasisstationen und deren kritische Bewertung). Schließlich stellten sie Kriterien für angemessene epidemiologische Studien zu den von Mobilfunkbasisstationen ausgehenden elektromagnetischen Feldern auf. In ihrer Zusammenfassung weisen die Autoren darauf hin, dass ein wichtiger erster Schritt in diesem noch relativ neuen Problemfeld möglicher gesundheitlicher Risiken, die von Mobilfunkbasisstationen ausgehen, darin besteht, Kenntnisse über die Expositionsverteilung und deren Variation in der allgemeinen Bevölkerung aus den verschiedenen Quellen zu erhalten. Sie räumen der Entwicklung von Geräten Priorität ein, die eine individuelle Expositionserfassung ermöglichen, um den Beitrag einzelner Expositionsquellen für Individuen und deren Variation in Raum und Zeit abschätzen zu können.

Die internationale Expertengruppe leitet aus ihrer Auseinandersetzung mit den Möglichkeiten und Grenzen (der Machbarkeit) von Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen u.a. Kriterien für geeignete Zielparameter entsprechender epidemiologischer Studien sowie Empfehlungen für Erfolg versprechende Ansätze ab. Die Ausführungen dazu sind in den folgenden Abschnitten kurz zusammengefasst.

A 4.1 Studiendesigns zur Untersuchung des Einflusses von elektromagnetischen Feldern

In vorliegenden Untersuchungen zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf verschiedene gesundheitsbezogene Endpunkte (siehe Kap. A 4.2) sind unterschiedliche Studiendesigns verwendet worden. Grundsätzlich kann unterschieden werden zwischen experimentellen Studien, die vorwiegend im

Labor Anwendung finden, und nicht experimentellen Studien (Beobachtungsstudien), deren primärer Einsatzbereich Feldstudien sind. Innerhalb der experimentellen Studien unterscheiden Neubauer et al. (2005) klinische Trials, Laborstudien bzw. experimentelle Humanstudien und experimentelle Versuche im Feld. Bei den nicht experimentellen Studien unterscheiden sie zwischen Kohortenstudien, Fall-Kontroll-Studien, Querschnittstudien und ökologischen Studien. Jedes der angesprochenen Designs hat spezifische Vor- und Nachteile, die im folgenden nach den Ausführungen von Neubauer et al. (2005) kurz zusammengefasst sind. In dieser Zusammenstellung wurde auf klinische Trials verzichtet, da es sich hierbei um Studien an Patienten handelt, die mit elektromagnetischen Feldern therapiert werden.

A 4.1.1 Experimentelle Studien im Labor

In Laborstudien kann die Exposition entweder mit einem Cross-over Design, d.h. einem Design, bei dem jedes Individuum nacheinander verschiedenen Expositionsbedingungen ausgesetzt ist, oder in einem Parallelgruppendesign durchgeführt werden. In letzterem Fall werden mehrere Gruppen gebildet, von denen jede nur einer Expositionsbedingung ausgesetzt ist. Der Vorteil eines Cross-over Designs besteht darin, dass die Variabilität zwischen Individuen vernachlässigt werden kann, da jedes Individuum seine eigene Kontrolle ist. Ein Confounding durch unterschiedliche Gruppencharakteristika ist hier ausgeschlossen. Bei einem Cross-over-Design ist es jedoch möglich, dass sogenannte „Carry over“ Effekte entstehen, d.h. dass ein Effekt, der unter Expositionsbedingung A entstanden ist, während der Expositionsbedingung B noch anhält.

Vorteile:

Der Vorteil von Laborstudien ist eindeutig, dass die Exposition unter gut kontrollierbaren Bedingungen erzeugt werden kann. Als minimale Anforderung an Laborstudien gilt, dass sie doppelblind und randomisiert durchgeführt werden müssen (Goldstandard). Cross-over Studien erlauben darüber hinaus die Kontrolle interindividueller Störgrößen (sofern Carry over Effekte ausgeschlossen werden können). Dieses Studiendesign ist deshalb zur Untersuchung sensitiver physiologischer Parameter geeignet.

Nachteile:

Der bedeutendste Nachteil von experimentellen Laborstudien im Labor ist, dass damit nur eine Untersuchung von Effekten möglich ist, die kurzfristig auftreten. Aufgrund ethischer Einschränkungen können lediglich physiologische Effekte untersucht werden, nicht aber gesundheitsrelevante Effekte. Da unter Laborbedingungen die Stichprobenumfänge im Vergleich zu Feldstudien aus logistischen Gründen vergleichsweise klein sein müssen, können nur vergleichsweise „große“ Effekte beobachtet werden. Die Rekrutierung von Probanden für Laborstudien birgt die Gefahr eines Selektionsbias, woraus eine Einschränkung der Generalisierbarkeit der Ergebnisse resultieren kann. Neubauer et al. (2005) weisen darauf hin, dass physiologische Parameter möglicherweise zu sensitiv und zu unspezifisch sind, so dass die Untersuchung einer großen Anzahl sensitiver Parameter zu vermehrt falsch positiven Ergebnissen führen kann. Andererseits ist zu bedenken, dass die artifizielle Laborumgebung subtile physiologische Effekte möglicherweise überdeckt.

A 4.1.2 Experimentelle Studien im Feld

In diesem Zusammenhang soll unter einer experimentellen Feldstudie eine Studie verstanden werden, bei der die Expositionsbedingung in der natürlichen Umwelt der Probanden experimentell variiert wird. In einer solchen Studie werden Personen exponiert, die sonst nicht exponiert wären, was ein ethisches Problem sein könnte.

Vorteile:

Ein wesentlicher Vorteil von experimentellen Feldstudien ist, dass Personen unter den Bedingungen ihres normalen täglichen Lebens untersucht werden können. Sofern die Exposition im Feld nicht experimentell, sondern „natürlich“ variiert wird, gilt, dass der Selektionsbias möglicherweise niedriger ist als in entsprechenden Laborstudien und dass längere Untersuchungszeiträume abgedeckt werden können. Abhängig von den untersuchten Parametern und den einzusetzenden Instrumenten kann im Vergleich zu Laborstudien eine größere Anzahl von Probanden mit geringerem Aufwand untersucht werden, was die statistische Power der Ergebnisse erhöht.

Nachteile:

Das größte Problem in Feldstudien stellt die Blindung für die Expositionsbedingung dar. Unter normalen Bedingungen können Emissionen von Mobilfunkbasisstationen mit Mobiltelefonen jederzeit überprüft werden. Entsprechende Messgeräte können selbst Signale anzeigen, die mit Mobiltelefonen nicht erkannt werden. Aus logistischen Gründen können im Feld nur einfache physiologische Messungen durchgeführt werden.

A 4.1.3 Kohorten-Studien

Eine Kohortenstudie basiert auf einer Gruppe gesunder Personen, die im Hinblick auf die Exposition variieren. In einer prospektiven Kohortenstudie werden Expositionsmessungen vor dem Auftreten von Erkrankungen (bzw. Beeinträchtigungen der Gesundheit) durchgeführt. Sie gelten als der Goldstandard im Hinblick auf die Untersuchung kausaler Zusammenhänge. Aufgrund der langen Latenz für das Auftreten von Erkrankungen werden häufig jedoch retrospektive Kohortenstudien durchgeführt, d.h. Studien, in denen Expositionsparameter rückblickend erhoben werden, was sich z.T. als schwierig erweist. Da dies ein Untersuchungsdesign ist, das primär in der Untersuchung von (seltenen) Erkrankungen wie z.B. Krebs angewendet wird und nicht im Zusammenhang mit der Beeinträchtigung des Wohlbefindens, sei für detaillierte Ausführungen u.a. auf Neubauer et al. (2005) verwiesen.

A 4.1.4 Fall-Kontroll-Studien

In Fall-Kontroll-Studien werden „Fälle“ identifiziert, d.h. z.B. erkrankte Personen oder Personen, die sich selbst als elektrosensitiv bezeichnen. Für diese Personen wird der Expositionsstatus bestimmt und mit dem von Kontrollpersonen verglichen.

Vorteile:

Insbesondere für seltene Erkrankungen sind Fall-Kontroll-Studien effizienter als Kohortenstudien, da die Exposition nur für eine Stichprobe bestimmt werden muss, und nicht für die gesamte Gruppe. Eine geringere Fallzahl ermöglicht eine detaillierte Expositionserfassung.

Nachteile:

Ein Nachteil gegenüber Kohortenstudien ist, dass bei der Wahl der Kontrollgruppe durch Selektion oder geringe Teilnahmeraten ein zusätzlicher Bias auftreten kann. Die Expositionsermittlung muss gewöhnlich retrospektiv erfolgen. Ein wichtiger Punkt ist, dass die Bestimmung der Expositionsbedingungen bei Fällen und Kontrollen mit gleicher Gründlichkeit erfolgen muss, was manchmal dadurch erschwert wird, dass Fälle vermehrt über ihre Exposition nachdenken.

A 4.1.5 Querschnittsstudien

In einer Querschnittsstudie werden die Prävalenz der Erkrankung (bzw. Befindlichkeitsstörung) gleichzeitig mit der Exposition gemessen, was kausale Schlussfolgerungen sehr einschränkt.

Vorteile:

Querschnittsstudien sind in der Regel kostengünstig und schnell an großen Stichproben durchzuführen. Prinzipiell können Kurzzeit- und Langzeiteffekte untersucht werden.

Nachteile:

Kausale Schlussfolgerungen sind, wie bereits erwähnt, nicht möglich. Schlussfolgerungen basieren gewöhnlich auf nicht bewiesenen Annahmen. Häufig ist es nicht möglich, Ursache und Effekt zu trennen, der Status kann den Expositionsstatus beeinflussen. Im Hinblick auf Erkrankungen ist festzuhalten, dass „Fälle“ mit langer Erkrankungsdauer in der Stichprobe häufig überrepräsentiert sind, während solche mit kurzer Erkrankungsdauer oft eine geringe Wahrscheinlichkeit des Einschlusses haben.

A 4.1.6 Ökologische Studien

In ökologischen Studien wird die Exposition nicht auf individuellem Niveau erhoben, sondern für Gruppen von Personen, wobei der Grad der Exposition in der Gruppe variieren kann. Ökologische Studien haben ihren Sinn im Rahmen der Generierung von Hypothesen, für das Überprüfen von Hypothesen sind sie nicht geeignet.

Vorteile:

In ökologischen Studien werden vorhandene bzw. routinemäßig erhobene Daten verwendet, die Daten sind also leicht und günstig verfügbar. Es können viele Hypothesen generiert werden.

Nachteile:

Der wichtigste Nachteil ist, dass kausale Schlussfolgerungen überhaupt nicht möglich sind. Zusammenhänge, die sich auf Gruppenebene abzeichnen, müssen auf individueller Ebene nicht zwangsläufig auch existieren. Informationen zu Confoundern sind nur auf der Gruppenebene verfügbar, nicht individuell. Da ökologische Studien häufig auf existierende Daten zurückgreifen, kann die Datenqualität erheblich variieren bzw. eingeschränkt sein.

Für eine umfassendere Darstellung und Diskussion der in diesem Abschnitt (Kap. A 4.1) kurz skizzierten Studiendesigns sei auf den Bericht einer internationalen Expertengruppe zum Thema „Study on the feasibility of epidemiological studies on health effects of mobile Telephone Base stations – final report“ verwiesen (Neubauer et al. 2005). Die Studie wurde finanziert von der Swiss Research Foundation on Mobile Communication, dem Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft sowie Schweizer Bundesamt für Gesundheit. Beteiligt waren an der Studie Kollegen von den Universitäten Bern (Schweiz), Mainz (Deutschland) und Chalmers (Schweden), dem Karolinska Institut in Schweden, der France Telecom, der Foundation of Research Information Technologies in Society (Schweiz), der Austrian Research Centers Seibersdorf Research GmbH (Österreich) sowie Professor Kheifets (Los Angeles, USA).

A 4.2 Gesundheitsbezogene Zielparameter in Mobilfunkbasisstationsstudien

Hinsichtlich der gesundheitsbezogenen Zielparameter unterscheiden Neubauer et al. (2005) zwischen chronischen Erkrankungen (Krebs, neurodegenerative Erkrankungen, kardiovaskuläre Erkrankungen etc.), physiologischen Parametern (Blutdruck, Elektroencephalogramm, Hormonkonzentrationen etc.) und sog. „softs health outcomes“, d.h. Befindlichkeitsvariablen. Zu letzteren zählen sie u.a. Kopfschmerzen, Schwindel und Schlafstörungen. Die Einordnung der Schlafstörungen bei Neubauer et al. (2005) basiert auf der Annahme, dass die Qualität des Schlafes subjektiv mittels Fragebögen erhoben wird. Da der Schlaf inzwischen jedoch mit ambulanten Registriergeräten im Feld auch physiologisch, d.h. EEG-basiert, „gemessen“ werden kann, ist es von der Erhebungsmethode (Fragebögen vs.

ambulante Registrierung) abhängig, ob Effekte auf den Schlaf in den Bereich Befindlichkeit oder physiologische Auswirkungen einzustufen sind.

In Bezug auf physiologische Parameter als Endpunkt geben die Autoren zu Bedenken, dass man diese zwar messen kann, dass sie aber einer permanenten Anpassung an schwankende Umweltbedingungen unterworfen sind, wobei zu berücksichtigen ist, dass dieses Argument für den Schlaf weniger gilt als für andere Parameter. Veränderungen, die gemessen werden können, müssen jedoch keineswegs eine gesundheitliche Gefährdung darstellen; andererseits können schon geringe Schwankungen innerhalb des Normbereichs gesundheitsschädigende Effekte aufzeigen (z.B. eine geringfügige Reduktion der Lungenkapazität bei gesunden Nichtrauchern nach dem Rauchen von Zigaretten). Daraus sollte nicht geschlossen werden, dass Rauchen keine gesundheitliche Gefährdung darstellt.

Bezüglich der Variablen, die eine Beeinträchtigung der Gesundheit reflektieren, sollten nach Neubauer et al. (2005) folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- Studien zu Langzeiteffekten sind problematisch: Lebensqualität und Beschwerdeangaben sind am eigenen Befinden kalibriert und damit nur für kurze Zeit bzw. Stimmungszustände gültig (es ist bekannt, dass Personen mit schlechter Gesundheit manchmal eine höhere Lebensqualität angeben als gesunde Personen). Zu ergänzen ist hier, dass von Personen mit ausgeprägter Tagesschläfrigkeit z.B. infolge eines obstruktiven Schlafapnoesyndroms bekannt ist, dass sie ihre Schläfrigkeit auf entsprechenden Skalen häufig geringer einschätzen als nicht schlafgestörte Probanden.
- Ein Parallelgruppen-Vergleich ist problematisch, da es viele Einflussfaktoren auf die Zielvariable gibt, die entweder im Design oder in der Analyse kontrolliert werden müssen, da sie sonst zu erheblichem Bias führen können.
- Cross-over Designs sind zu bevorzugen, sie sind jedoch nur über einen vergleichsweise kurzen Zeitraum möglich.
- Es sollten validierte Fragebögen verwendet werden.
- Die Bewertung von subjektiven Beschwerden in Mobilfunkbasisstationsstudien ist schwierig, wenn die Teilnehmer für die Expositionsbedingung nicht blind sind.

Im Folgenden (Kap. A 6) werden ausschließlich Studien besprochen, in denen der Zielparameter Schlaf in Kombination mit einer Exposition untersucht wurde, wie sie von Mobilfunkbasisstationen ausgeht. Bezüglich Literaturreviews zu epidemiologischen Studien mit anderen Endpunkten bzw. mit einer Exposition, wie sie von Mobiltelefonen ausgeht, sei u.a. auf Neubauer et al. (2005), Rössli et al. (2003a) und Berg et al. (2004) verwiesen.

A 4.3 Ansätze zur Expositionsbestimmung in Mobilfunkbasisstationsstudien

Die Expositionsbestimmung stellt in Studien zu Mobilfunkbasisstationen, wie bereits erwähnt, ein großes Problem dar. Mögliche Ansätze zur Lösung sind:

- Die Verwendung von Monitoring-Systemen zur Ermittlung der zeitlichen Variation der verschiedenen Expositionsbeiträge (von Interesse für Studien unter der Voraussetzung, dass die Personen sich im wesentlichen am gleichen Ort aufhalten, wie z.B. in Schlafstudien)
- Die Verwendung von tragbaren Dosimetern zur Bestimmung der individuellen Exposition (von Interesse wenn Personen ihren Aufenthaltsort im Verlauf des Tages häufig ändern)
- Die Verwendung von numerischen und/oder analytischen Tools zur Ermittlung von Schätzwerten der Exposition von fest installierten Sendeanlagen
- Detaillierte Messungen in Innen- und Außenräumen verbunden mit Untersuchungen zu zeitlichen Schwankungen.

Die elektrische Feldstärke an einem Ort hängt von der Sendeleistung, den Eigenschaften der Antenne und von der Richtung ab. Sie sinkt mit dem Quadrat der Entfernung zur Sendeantenne. Da die Feldstärke darüber hinaus durch die Bebauung und Reflexionen beeinflusst wird, ist der Abstand kein geeigneter Proxy für die Exposition an einem Ort (Neubauer et al. 2005; Neitzke et al. 2004; Rööslü et al. 2003a, Schüz und Mann 2000). Neitzke et al. (2004) weisen darauf hin, dass die Feldverteilung durch Absorption, Reflexion, Beugung, Streuung und Brechung bzw. durch die Verteilung und die Eigenschaften von Gebäuden, Vegetation und anderen Objekten beeinflusst ist. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass Wohnungen, die in mehr als 500 Meter Abstand zur nächsten Mobilfunkbasisstation liegen, in der Regel als „gering exponiert“ eingestuft werden können, da dort die mit ihrer Methode ermittelten Leistungsdichten unter $10\mu\text{W}/\text{m}^2$ liegen.

Zur Untersuchung der tatsächlichen Immissionen von Mobilfunkbasisstationen hat das Bayerische Landesamt für Umweltschutz im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz ein umfangreiches EMF-Monitoring-Programm durchgeführt. An 400 Messpunkten in Wohngebieten in 275 bayrischen Kommunen wurde mit einem Spektrumanalysator für den Frequenzbereich 60 kHz bis 3 GHz eine frequenzselektive Feldstärkemessung in 21 Messpaketen durchgeführt. Für jeden Standort erfolgten 10 Messdurchläufe, aus denen für jedes der Messpakete und jeden der Messorte mittlere Immissionswerte berechnet wurden. Die ausgewerteten Daten zeigten, dass an keinem Messort Immissionen durch elektromagnetische Felder auftraten, die mehr als 4% der Grenzwerte betragen. Der Mittelwert der Summenimmission über alle Messorte beträgt etwa 0.8% vom Grenzwert. Mit knapp zwei Drittel (72%) der Gesamtimmission stehen Rundfunk (55%) und Fernsehen (17%) an der Spitze. Der Anteil des Mobilfunks betrug dagegen „nur“ 25% (Bayerisches Landesamt für Umweltschutz 2004).

Weitere Messkampagnen wurden durchgeführt von:

- der Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post (jetzt Bundesnetzagentur) in den Jahren 1996/97 und 1999/2000 an mehr als 2500 Messpunkten. Die Ergebnisse finden sich in der EMF-Datenbank dieser Behörde
- der Firma EMV-Services GmbH (ein Unternehmen der TÜV Nord Gruppe) im Mai/Juni 2004 im Auftrag des Informationszentrums Mobilfunk (IZMF). Die Datenerhebung erfolgte an 71 Messorten in Hessen
- der Firma IMST GmbH im Frühjahr 2004 an insgesamt 55 Standorten in Berlin.

Die Ergebnisse dieser Studien sind bei Bornkessel et al. (2005) zusammengefasst.

Im Rahmen des vom Bundesamt für Strahlenschutz vergebenen Projekts *Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“* wurde von einer Arbeitsgruppe des ECOLOG Instituts um Herrn Neitzke (Neitzke et al 2004) ein messtechnisches Verfahren zur Bestimmung der HF-Exposition in Wohnungen im Frequenzbereich 80 MHz bis 2.5 GHz entwickelt. In diesem noch laufenden Projekt wurden Messungen in 610 Innenräumen in 180 Wohnungen durchgeführt. Die in dieser Studie ermittelten Mobilfunk-Immissionen lagen in der Regel deutlich unter den Werten, die in Untersuchungen mit immissionschutzrechtlichem Hintergrund gemessen wurden. Dies führen die Autoren auf unterschiedliche Aufgabenstellungen und die daraus resultierenden Messmethoden zurück. Die maximalen Mobilfunk-Immissionen (Leistungsflussdichten) waren in dieser Studie in mehr als 50% der Fälle nicht mehr als doppelt so groß wie die räumlichen Mittelwerte. Die Variationen der über jeweils eine Sekunde gemittelten Immissionen betragen über längere Zeiträume (bis zu einer Woche) in der Regel weniger als 20% (Neitzke et al. 2004).

Eine Studie zu zeitlichen Schwankungen der durch Mobilfunkbasisstationen bedingten Immissionen in Wohnräumen wurde von Silvi et al. (2001) durchgeführt. Es fanden über einen längeren Zeitraum Registrierungen von gemittelten (über 6 Minuten) Ersatzfeldstärken (d.h. unter Berücksichtigung aller Polarisationssebenen) in Räumen statt und zwar am Punkt der größten Exposition in der Wohnung. Anhand des Tagesverlaufes lassen sich Basisstationen klassifizieren in solche, die stark für geschäftliche Verbindungen (überwiegend vormittags) genutzt werden, und solche, in denen private Telefonate (in den Abendstunden) überwiegen. Ein Beispiel für das Ausmaß der Tagesschwankungen durch die variierende Auslastung findet sich in Abb. 6.

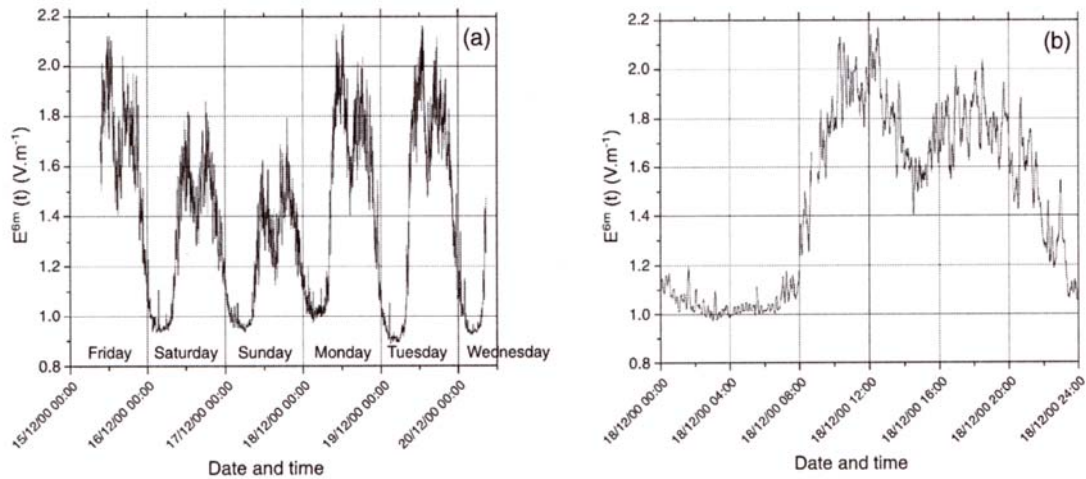


Abb. 6 (a) zeitlicher Trend der über sechs Minuten gemittelten E-Feld-Werte an einem der Messorte
 (b) zeitlicher Trend der über sechs Minuten gemittelten E-Feld-Werte im Tagesverlauf an einem der Messorte (aus Silvi et al. 2001).

Der enge Zusammenhang zwischen Immissionen und Umfang des Telefonverkehrs bei einer Basisstation ist Abb. 7 zu entnehmen.

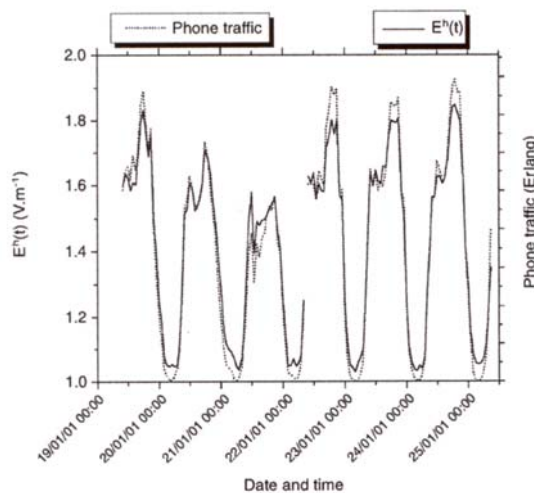


Abb. 7 Trend der über eine Stunde gemittelten E-Feld-Werte und der Geschäftsverkehr der betreffenden Station (aus Silvi et al. 2001).

Erwähnt seien an dieser Stelle zwei weitere Studien (Lönn et al. 2004; Arduino et al. 2004), die sich zwar mit der abgestrahlten Leistung der Endgeräte befassen, jedoch lässt sich aus den Ergebnissen überschlägig auf die Bedingungen bei Basisstationen rückschließen, da die Leistungsregelung sich näherungsweise gleich auf Basisstation wie Endgerät auswirkt. In der Studie von Lönn et al. (2004) wurde die Verteilung der Powerlevel von Mobiltelefonen in vier geografischen Regionen in Schweden mit unterschiedlichen Bevölkerungsdichten untersucht. Es zeigte sich, dass in ländlichen Gebieten der

höchste Powerlevel etwa 50% der Zeit genutzt wurde, während die geringste Wert nur 3% der Zeit genutzt wurde. In städtischen Gebieten betragen die entsprechenden Werte 25% (höchste) und 22% (niedrigste Powerlevel). Daraus folgt, dass der Grad der Urbanisation als wichtiger Faktor zur Bestimmung individueller Expositionen berücksichtigt werden sollte.

Dieses für Schweden beobachtete Ergebnis kann nicht zwangsläufig verallgemeinert werden. Eine italienische Studie (Ardoino et al. 2004) hat gezeigt, dass die durchschnittliche Reduktion der emittierten Power deutlich geringer ist, als potenziell durch eine adaptive Powerkontrolle erreichbar sein sollte. Solche Effekte scheinen in erster Linie durch eine häufige Übergabe zur Erzielung von Traffic optimisation bedingt zu sein.

A 4.4 Kriterien für angemessene epidemiologische Mobilfunkbasisstationsstudien

Wie bereits erwähnt, ist die Expositionserfassung in epidemiologischen Studien sehr schwierig. Dies ist ein Grund weshalb der Effekt elektromagnetischer Felder in Humanstudien, soweit es die Zielvariable zulässt (für chronische Erkrankungen nicht möglich) primär im Labor untersucht wird. Die Zahl der Laborstudien, in denen eine Exposition durch Mobiltelefone untersucht wird, ist deutlich größer als die Zahl von Studien, in denen eine Mobilfunkbasisstationsexposition simuliert wird. Sowohl in Laborstudien als auch in epidemiologischen Studien ist die Expositionserfassung von entscheidender Bedeutung für die Aussagefähigkeit der erzielten Ergebnisse. In Laborstudien lassen sich die Expositionsbedingungen allerdings einfacher kontrollieren als in Feldstudien. Für Hinweise auf Aspekte des Expositionsdesigns, die in Laborstudien zu befolgen sind, sei auf Kuster et al. (2004) verwiesen. Veyret (2005) hat in seinem Vortrag auf dem WHO Workshop *Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences*, der am 15. und 16. Juni 2005 in Genf stattgefunden hat, angemerkt, dass Laborstudien mit sehr geringen Expositionen (wie sie von Basisstationen ausgehen), schwierig durchzuführen sind, schwer auf den Menschen zu übertragen und allgemein nicht nötig sind. Dennoch gibt es Laborstudien aus der Schweiz, die sich sorgfältig und angemessen mit der Untersuchung eines solchen Einflusses auf den Schlaf beschäftigen (Borbély et al. 1999, Huber et al. 2000, 2003).

Für Mobilfunkbasisstationsstudien im Feld sprechen Neubauer et al. (2005, S. 84/85) folgende Empfehlungen aus:

- Exposition durch die Signale von Mobilfunkbasisstationen ist im Hinblick auf eine 24-stündige Ganzkörperexposition von Bedeutung, für die Exposition einzelner Körperteile (z.B. Kopf) ist sie im Vergleich zu anderen Quellen (z.B. Mobiltelefone) vernachlässigenswert. Exposition durch Mobilfunkbasisstationen könnte für kumulative Effektmechanismen relevant sein. Für Effekte, die vermutlich nur bei Überschreitung eines Schwellenwertes auftreten, ist sie kaum von Bedeutung.
- Immissionen durch Mobilfunkbasisstationen weisen eine erhebliche räumliche Streuung auf. Zuverlässige Expositionsbestimmungen sind deshalb nur für Orte möglich, an denen sich

Personen über eine längere Zeit aufhalten (z.B. Bett, Büro). Es sollte überprüft werden, ob Mobilität zu einer nennenswerten Unsicherheit führt.

- Da nur ein kleiner Teil der Bevölkerung in erheblich stärkerem Maße durch Mobilfunkbasisstationen (oder andere Hochfrequenzquellen) exponiert ist, spielt die Spezifität bei der Expositionserfassung eine große Rolle, d.h. es sollte sichergestellt sein, dass nur tatsächlich höher exponierte Personen als solche betrachtet werden. Wenn die Sensitivität gering ist und ein Teil der tatsächlich exponierten Personen als nicht exponiert eingestuft wird, führt dies bei Vorliegen eines Effekts nicht zu einer Unterschätzung, da die Mehrheit der als nicht exponiert eingestuften Personen immer noch nicht exponiert ist.
- In Abhängigkeit von der Hypothese zur Spezifität eines Effekts, muss der Einfluss anderer Hochfrequenzquellen berücksichtigt werden, oder auch nicht. Bei Annahme eines Effekts nur einer bestimmten Signalart, wäre der Einfluss anderer Quellen weniger bedeutsam. Diese Annahme ist jedoch durch wissenschaftliche Hinweise nicht belegt. Solange allerdings keine Effektspezifität bekannt ist, empfiehlt es sich alle relevanten Expositionsquellen zu berücksichtigen.
- Da die Signale von Mobilfunkbasisstationen und Endgeräten einander ähneln, ist selbst bei Annahme eines spezifischen Effekts die Exposition durch Mobiltelefone zu berücksichtigen.
- Vor dem Hintergrund der problematischen Expositionserfassung wird vorgeschlagen, zunächst unmittelbare bzw. Kurzzeiteffekte zu untersuchen.
- Im Hinblick auf sogenannte „soft outcomes“ ist die Blindung von großer Bedeutung. Subjektive Bewertungen von Symptomen können bewusst oder unbewusst durch das Wissen um den Grad der Exposition beeinflusst sein. Eine in höherem Maße objektive Bestimmung sowohl der Symptome als auch der Exposition führt zu einem verbesserten Studiendesign.
- Langzeiteffekte in sogenannten „soft outcomes“ sind methodisch problematisch und sind nicht zu empfehlen.

Aufgrund der zahlreichen Probleme epidemiologischer Studien wird deren Sinnhaftigkeit in diesem Forschungszusammenhang sehr kontrovers und heftig diskutiert.

Auf dem WHO Workshop *Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences* hat Leitgeb (2005) für COST 281 herausgestellt, dass epidemiologische Studien zum Überprüfen von Hypothesen nützlich sind, dass sie jedoch keine kausale Beziehung nachweisen können, wo andere Evidenzen fehlen. Es wurde u.a. festgestellt, dass der Beitrag von Basisstationen zur Hochfrequenzexposition von Individuen gering ist und dass die Erfassung der Exposition (nicht zuletzt wegen sich verändernder Technologie) schwierig ist. Insgesamt wurde epidemiologischen Studien zur Wirkung elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen geringe Priorität beigemessen. Gleichzeitig wurde aber erwähnt, dass der Druck von Politik und Öffentlichkeit zur Durchführung entsprechender Studien groß ist.

Vor diesem Hintergrund sind aus Sicht der Autoren des vorliegenden Reviews Felduntersuchungen (sowohl epidemiologische als auch experimentelle) von besonderer Bedeutung. Es sollte jedoch

sichergestellt sein, dass die Wirkung der Existenz von Mobilfunkbasisstationen einerseits und der von ihnen ausgehenden elektromagnetischen Felder andererseits getrennt erfasst werden können. Auf diese Weise kann zur Aufklärung beigetragen werden.

A 5 Biologische Effekte und gesundheitliche Relevanz

Biologische Effekte sind zunächst messbare Reaktionen des Organismus (bzw. von Teilsystemen des Organismus) auf Reize oder Veränderungen in der Umwelt. Die Fähigkeit zu einer solchen Reaktion war und ist eine der wesentlichen Voraussetzungen für die Evolution unserer Spezies. Dieser Adaptabilität des menschlichen Organismus ist es zu verdanken, dass Menschen in ganz unterschiedlichen Biotopen bzw. unter ganz unterschiedlichen Umweltbedingungen erfolgreich existieren können. Die biologische Reaktionsfähigkeit des menschlichen Organismus ist eine unabdingbare Voraussetzung, um auf Veränderungen in der Umwelt adäquat reagieren zu können. Wenn jedoch externe Reize bzw. Veränderungen der Umwelt im biologischen System Veränderungen bzw. physiologische Reaktionen hervorrufen, die außerhalb der physiologischen Variationsbreite liegen, so kann es zu einer gesundheitlich schädigenden Wirkung kommen. Eine gesundheitlich schädigende Wirkung kann somit als die Folge einer biologischen Reaktion definiert werden, die zu einer feststellbaren Beeinträchtigung der Gesundheit oder des Wohlbefindens exponierter Personen führt (World Health Organisation 2002).

Innerhalb des *International EMF Projects* wurde eine eigene Definition für Gesundheitsrisiken entwickelt: „*A health hazard is a biological effect outside the normal range of physiological compensation that is detrimental to health or well-being*“ (Repacholi 2001, S. 324). In dieser Definition ist mit „Effekt“ eine physiologische Reaktion auf die Exposition gemeint. Damit ein biologischer Effekt zu einem Gesundheitsrisiko wird, muss er also außerhalb der normalen Kompensationsmöglichkeit des Organismus liegen (Repacholi 2001).

Gesundheit wird jedoch von der WHO allgemein wie folgt definiert: „*Health is a state of complete physical, mental and social well-being, not merely the absence of disease or infirmity*“ (Repacholi 2001, S. 324). Diese Definition impliziert, dass Gesundheit eine wichtige subjektive Komponente beinhaltet, was insbesondere bei der Bewertung von möglichen Gesundheitsrisiken, die von Mobilfunkbasisstationen ausgehen, berücksichtigt werden muss. Gesundheitsrisiken können in diesem Zusammenhang sowohl psychologisch wie auch physiologisch bedingt sein. In beiden Fällen kann es zu einer messbaren Beeinträchtigung der Lebensqualität kommen, die uneingeschränkt ernst zu nehmen ist.

Zum besseren Verständnis der Relevanz von Schlafstörungen seien in Kap. A 5.1 zunächst einige physiologische Grundlagen zum Schlaf dargestellt. Einen Überblick über medizinische/klinische Aspekte von Schlafstörungen gibt Kap. A 5.2.

A 5.1 Physiologische Grundlagen des Schlafes

Bis zum Ende der 20er Jahre des 20. Jahrhunderts konnte Schlaf lediglich verhaltensbiologisch als Zustand der Ruhe und aus dem subjektiven Erleben heraus beschrieben werden. Mit der Einführung des Elektroenzephalogramms (EEG) durch den deutschen Psychiater Hans Berger (1929) wurde der Schlaf auf physiologischer Ebene messbar. Es zeigte sich, dass Schlaf eine ganz spezielle dynamische Aktivität des Gehirns ist. Der Übergang vom Wachzustand in den Schlaf ist gekennzeichnet

durch eine Umorganisation der neuronalen Funktion in mehreren Stufen. Diese Umorganisation äußert sich u.a. in einer zunehmenden Verlangsamung der Hirnstromaktivität, die in regelmäßigen Abständen durch Phasen von Aktivierung unterbrochen wird, sowie im Auftreten besonderer Potentialmuster, die einen im Vergleich zum Wach andersartigen Zustand signalisieren. Die im EEG nachweisbare unterschiedliche neuronale Aktivität im Schlaf hat zur Unterscheidung von 5 Schlafstadien geführt: der durch schnelle Augenbewegungen (rapid eye movements) gekennzeichnete REM-Schlaf, sowie vier weitere non-REM (NREM) Schlafstadien (NREM1 – NREM4), die auf der Basis des Anteils langsamer und hochamplitudiger Wellen im EEG differenziert werden.

Die Abfolge der Schlafstadien in der Nacht ist in Abb. 8 schematisch dargestellt. Das Schlafprofil (Hypnogramm) zeigt, dass der Schlaf zyklisch verläuft, wobei ein Schlafzyklus mit NREM-Schlafstadien beginnt und mit dem Ende einer REM-Schlafphase endet. Im Verlauf einer Nacht werden durchschnittlich 4 bis 5 Schlafzyklen durchlaufen. Zu Beginn der Nacht dominiert der Tiefschlaf (NREM3 und NREM4) während zum Ende der Nacht die REM-Schlafphasen an Länge zunehmen.

Aus dem Schlafprofil lassen sich eine ganze Reihe von Parametern zur Quantifizierung des Schlafes ableiten, von denen die wichtigsten in Tab. 3 zusammengestellt sind.

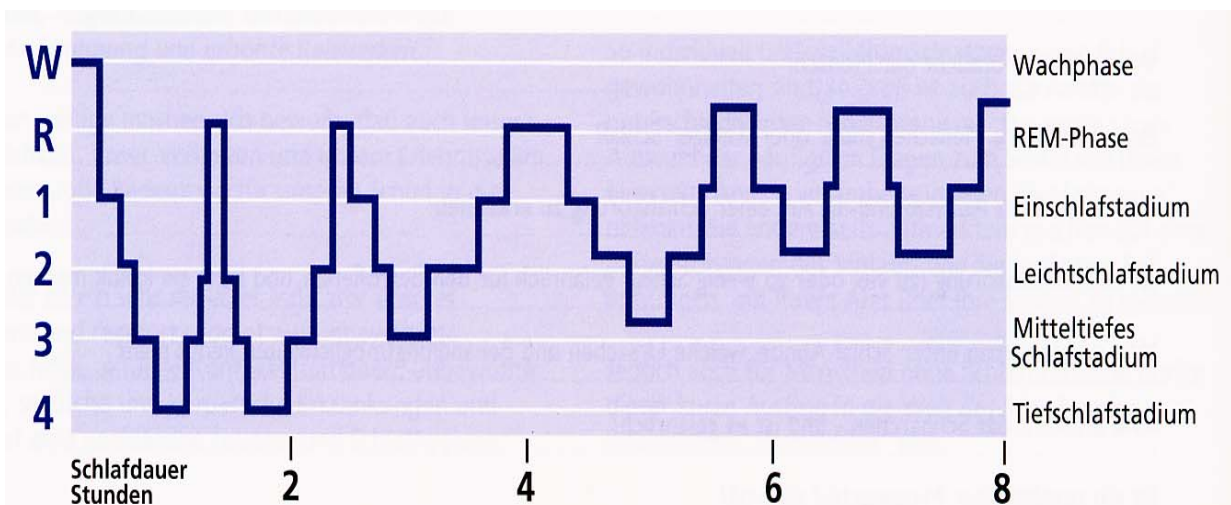


Abb. 8 Schematische Darstellung eines Schlafprofils (Sanofi-Synthelabo Arzneimittel GmbH).

Tab. 3 Ausgewählte quantitative Schlafparameter

Schlafparameter	Berechnung
TIB	<i>Time in Bed</i> : Zeitdauer von "Licht aus" bis "Licht an" (min)
SPT	<i>Sleep Period Time</i> : Zeit vom Einschlafen (NREM2) bis zum Aufwachen (min)
TST	<i>Total Sleep Time</i> : SPT ohne Wachzeiten (min)
SEI	<i>Schlafeffizienz-Index</i> : $TST/TIB * 100$
SOL1	<i>Sleep Onset Latency</i> : Zeit von Licht aus bis zum ersten Auftreten von NREM1
SOL2	<i>Sleep Onset Latency</i> : Zeit von Licht aus bis zum ersten Auftreten von NREM2
REM-Latenz	Zeit vom Einschlafen bis zum ersten Auftreten von REM
Anteil der einzelnen Schlafstadien	Prozentualer Anteil der Schlafstadien NREM1, NREM2, NREM3, NREM4, REM und Wach bezogen auf SPT, TST bzw. TIB

Bei einem nicht schlafgestörten jungen erwachsenen Schläfer beträgt der REM-Schlafanteil in der Nacht ca. 20-25%, der NREM1-Anteil ca. 2-5%, der NREM2-Anteil 40-50% und der Tiefschlafanteil (NREM3 und NREM4) ca. 13-23%. Der Wachanteil nach Schlafbeginn liegt unter 5% (Hajak und Rütger 1985). Die bei Danker-Hopfe et al. (2005) publizierten Perzentilkurven zu ausgewählten Schlafparametern belegen anschaulich altersbedingte Veränderungen, wie sie in Abb. 9 exemplarisch für den Schlafeffizienz-Index dargestellt sind.

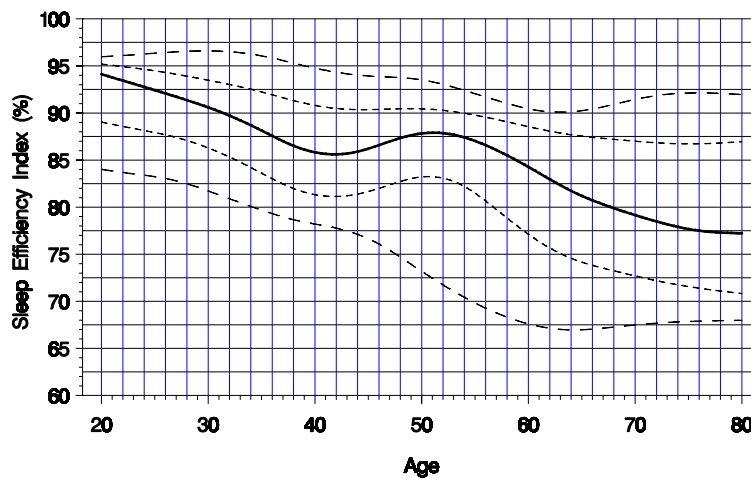


Abb. 9 Perzentilkurven für den Schlafeffizienz Index (SEI, aus Danker-Hopfe et al. 2005).

Schlaf ist ein sehr komplexer, vom Zentralen Nervensystem gesteuerter biologischer Prozess, der einerseits sensitiv auf externe Einflüsse reagiert (z.B. Lärm) und andererseits exogene Einflüsse und Stressoren auch weitgehend ausschaltet. Es ist ein Zustand, der im Allgemeinen 6 bis 8 Stunden anhält, so dass der Effekt über einen längeren Zeitraum beobachtet werden kann.

A 5.2 Klinische Aspekte von Schlafstörungen

Im Hinblick auf den Schlaf sei ergänzt, dass Schlafstörungen im Sinne einer Insomnie (Mangel an Schlafqualität und/oder Schlafquantität) oder Hypersomnie (exzessive Tagesmüdigkeit, die auf eine ungenügende Nachtschlafdauer zurückzuführen ist) zunächst subjektiv empfundene Beschwerden sind. Zu einer klinisch relevanten Erkrankung werden Insomnien, wenn die Beschwerden innerhalb eines Monats mindestens dreimal pro Woche auftreten und zu Einbußen des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit am Tag führen. Die Hypersomnie wird zu einer klinisch relevanten Erkrankung, wenn die Beeinträchtigung über eine Dauer von mindestens einem Monat nahezu täglich auftritt oder episodisch über einen längeren Zeitraum. Die hypersomnischen Beschwerden müssen so schwerwiegend sein, dass daraus Beeinträchtigungen der beruflichen Leistungsfähigkeit oder Einschränkungen der üblichen sozialen Aktivität und der zwischenmenschlichen Beziehungen resultieren.

Klinisch relevante Schlafstörungen werden in verschiedenen Klassifikationssystemen zu Gruppen zusammengefasst, darunter das ICD-10-System, das 1994 eingeführt wurde und inzwischen in zweiter Auflage vorliegt (WHO, 2005). Im ICD-10 werden Erkrankungen nach einem für alle Mitgliedsstaaten der World Health Organisation standardisierten Verfahren kodiert. Ein weiteres Klassifikationssystem ist das Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders (DSM-IV-TR, American Psychiatric Association 2000). Im schlafmedizinischen Bereich werden Schlafstörungen jedoch nach einem speziellen Klassifikationssystem: International Classification of Sleep Disorders (ICSD) diagnostiziert, das vor Kurzem in einer zweiten vollständig überarbeiteten Version erschienen ist (American Academy of Sleep Medicine, 2005). In diesem Klassifikationssystem werden insgesamt 81 Schlafstörungen unterschieden, die zu 8 Gruppen zusammengefasst sind:

- | | |
|--|------|
| 1. Insomnien | (11) |
| 2. Schlafbezogene Atmungsstörungen | (14) |
| 3. Hypersomnien zentralen Ursprungs, die nicht durch circadiane Schlaf-Wachstörungen, schlafbezogene Atmungsstörungen oder Gründe eines gestörten Nachtschlafes bedingt sind | (12) |
| 4. Circadiane Schlaf-Wach-Störungen | (9) |
| 5. Parasomnien | (15) |
| 6. Schlafbezogene Bewegungsstörungen | (8) |
| 7. Isolierte Symptome, Normvarianten und ungelöste Fragen | (9) |
| 8. Andere Schlafstörungen | (3) |

Die Gruppierungen erfolgten nach pragmatischen und empirischen Gesichtspunkten, die zum gegenwärtigen Zeitpunkt als am sinnvollsten erschienen. So liegt einigen Gruppen eine gemeinsame Beschwerde zugrunde (Insomnien und Hypersomnien), anderen eine angenommene gemeinsame Ätiologie (circadiane Schlaf-Wach-Störungen) und wieder anderen ein Organsystem, von denen die Schlafstörungen ausgehen (z.B. schlafbezogene Atmungsstörungen). Die Angaben in Klammern zeigen an, wie viele Schlafstörungen in dieser Gruppe zusammengefasst sind.

Festzuhalten ist, dass Schlafstörungen, die nach ICSD-2 diagnostiziert werden, weder verwechselt dürfen mit Schlafstörungen, die als Symptom bei anderen neurologischen, psychiatrischen, internistischen o.a. Erkrankungen auftreten, noch mit Schlafstörungen, die als allgemeine subjektiv empfundene Beschwerde geäußert werden. Die häufig mangelhafte Unterscheidung zwischen Schlafstörungen als klinisch relevante Erkrankung, Symptom und Beschwerde ist auch ein kritischer Faktor in epidemiologischen Studien und einer der Gründe für die große Variabilität von Prävalenzangaben. Ein Review der in den Jahren 1976 bis 1996 publizierten englischsprachigen Arbeiten zur Prävalenz von Schlafstörungen in den USA, Europa und Australien ergab Prävalenzraten von Schlafstörungen ganz allgemein von 6.9 bis 49% (WHO and WFSRS 1999). Die entsprechende Prävalenz chronischer bzw. schwerer Insomnien variierte zwischen 10 und 20%. In den alten Bundesländern ergab sich nach einer Studie von Hajak und Rüther (1995) eine Prävalenz von 20 bis 30%, für behandlungsbedürftige Schlafstörungen von 10 bis 15% der Bevölkerung.

Diese Daten belegen zum einen, dass Schlafstörungen in der allgemeinen Bevölkerung relativ häufig sind und zum anderen, dass sie relativ unspezifisch sind (siehe dazu auch Rösli et al. 2005). Es ist durchaus nachvollziehbar, dass allein die Existenz einer Mobilfunkbasisstation verbunden mit Unsicherheiten über mögliche gesundheitliche Risiken zur Beeinträchtigung des Schlafes führen kann. Daraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass die elektromagnetischen Felder, die von den Mobilfunkbasisstationen ausgehen, ursächlich zur Schlafstörung beitragen. Es kann sich dabei um einen sogenannten Nocebo-Effekt (dem Gegenstück zum Placebo-Effekt) handeln. Von ihm spricht man, wenn nachteilige Symptome durch Erwartungshaltungen z.B. infolge von Sorgen auftreten (Neubauer et al. 2005). Durch solche Mechanismen können Schlafstörungen entstehen, die nach ICSD-2 als klinisch relevante Erkrankungen zu diagnostizieren sind.

A 6 Review der Literatur zu Mobilfunkbasisstationsstudien

Im Vergleich zur Anzahl der Studien, in denen der Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobiltelefonen untersucht wird, ist die Zahl der Untersuchungen zum Einfluss von Mobilfunkbasisstationen relativ gering. Dies lässt sich zum einen darauf zurückführen, dass die von Mobiltelefonen ausgehenden elektromagnetischen Felder deutlich stärker sind (vgl. Kap. A 4) und es naheliegend ist, im Labor zunächst den Effekt der höheren Belastung durch elektromagnetische Felder zu untersuchen. Die Human-Laborstudien, in denen der Einfluss elektromagnetischer Felder von Basisstationen untersucht wurde, sind in Kap. A 6.1 zusammengestellt. Ein weiterer Grund für den Mangel an (qualitativ guten) Studien besteht sicher darin, dass es in epidemiologischen Feldstudien äußerst schwierig ist, die von Mobilfunkbasisstationen ausgehende Exposition präzise zu bestimmen (vgl. Kap. A 4.3 und A 4.4). Die bisher vorliegenden epidemiologischen Untersuchungen sind in Kap. A 6.2 zusammengestellt und werden dort kritisch diskutiert.

Die in den Kapiteln A 6.1 und A 6.2 dargestellten Studien wurden unter den Aspekten ausgewählt, dass es sich a) um Humanstudien und b) um Studien handelt, in denen Befindlichkeitsstörungen untersucht wurden. Auf eine Zusammenstellung der Literatur zu krankheitsbezogenen Endpunkten, wie z.B. Krebs, wurde an dieser Stelle verzichtet, da das Bundesamt für Strahlenschutz ein Projekt zum Thema *Epidemiologische Studie zum Zusammenhang zwischen Kinderkrebs und Expositionen um große Sendeeinrichtungen* an das Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Informatik der Universität Mainz vergeben hat, bei dem ein Literaturreview zu diesem speziellen Thema zu erstellen ist, der zu gegebener Zeit auf der entsprechenden Seite des Bundesamtes für Strahlenschutz (http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_verg/epi_015.html) abrufbar sein wird.

Es sei darauf hingewiesen, dass sich entsprechende Literaturübersichten u.a. auch bei Berg et al. (2004, für epidemiologische Studien), Neubauer et al. (2005, für epidemiologische und Laborstudien), Mann und Röschke (2004, epidemiologische und Laborstudien zum Zielparameter Schlaf) sowie in polnischer Sprache bei Bortkiewicz et al. (2004) finden.

A 6.1 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen

Wie bereits erwähnt ist die Zahl der Untersuchungen zu möglichen Effekten von Mobilfunkbasisstationssignalen im Vergleich zur Anzahl der Studien, in denen der Effekt der Endgeräteexposition untersucht wird, vergleichsweise gering. Dies gilt insbesondere für Humanstudien im Labor. In Kap. A 6.1.1 sind zunächst drei solche Laborstudien zum Schlaf aufgeführt. In Kap. A 6.1.2 wird dann die sogenannte TNO-Studie kurz vorgestellt, die in der Öffentlichkeit viel Beachtung gefunden hat und in Kap. A 6.1.3 wird kurz auf die in der Schweiz zur Zeit durchgeführte „Anschlussstudie“ zur TNO-Studie eingegangen.

A 6.1.1 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf.

Eine Zusammenstellung aller Laborstudien zum Schlaf findet sich bei Danker-Hopfe und Dorn (2005) darunter auch die im folgenden kurz ausgeführten Studien, die mit einem approximierten Basisstationssignal durchgeführt wurden.

In diesem Zusammenhang sind zunächst zwei Studien aus der Schweiz zu nennen (Borbély et al. 1999; Huber et al. 2000, 2003). Die Ergebnisse, die im Jahr 1999 erstmals publiziert wurden, basieren auf Daten von 24 gesunden jungen Männern im Alter von 20 bis 25 Jahren, die fünf Nächte im Schlaflabor verbrachten. Die erste Nacht diente als Screeningnacht, es folgten zwei Studiennächte mit jeweils unmittelbar vorangehender Adaptationsnacht. Die Studiennächte wurden im Abstand von mindestens einer Woche durchgeführt, wobei die Expositionsbedingungen randomisiert zugeordnet wurden. Es handelte sich um ein placebo-kontrolliertes cross-over Design. Die Expositionseinrichtung wurde von Nils Kuster und seiner Arbeitsgruppe von der Foundation for Research on Information Technologies in Society (ITIS) in der Schweiz entwickelt. Die Anlage exponiert mit drei $\lambda/2$ -Dipolantennen, die hinter dem Kopfende des Bettes in 30 cm Entfernung vom Kopf der liegenden Probanden angebracht waren. Das Pseudo-GSM 900MHz Signal war senkrecht zur Oberfläche des Bettes linear polarisiert. In den Studiennächten mit Exposition erfolgte eine intermittierende Befeldung, bei der die Anlage über einen Zeitraum von 8 Stunden (23:00 bis 7:00) in 15-minütigen Intervallen automatisch an- und abgeschaltet wurde, wobei immer mit einer tatsächlichen Exposition begonnen wurde. Die Autoren untersuchten zum einen EMF-Effekte auf Schlafparameter, die aus einem visuellen Scoring der Aufzeichnungen abgeleitet wurden, zum anderen Effekte auf NREM- und REM-spezifische Spektralpowerwerte. Die Ergebnisse zeigen, dass Wach nach Schlafbeginn (WASO) unter Exposition signifikant reduziert war, was auf einen schlaffördernden Effekt des verwendeten elektromagnetischen Feldes schließen lässt. Darüber hinaus war die Spektralpower im NREM-Schlaf erhöht, insbesondere zu Beginn der Nacht. Der maximale Anstieg war in den Frequenzbändern 10-11 Hz und 13.5-14 Hz zu beobachten.

Im zweiten Experiment der Züricher Arbeitsgruppe wurden die Auswirkungen einer 30-minütigen Exposition vor Beginn einer 3-stündigen Schlafphase am Vormittag untersucht, die 10 Minuten nach dem Ende der Exposition begann (Huber et al. 2000, 2003). In der Nacht vor dem Experiment wurde der Schlaf auf 4 Stunden beschränkt, um den Schlafdruck für den Tag zu erhöhen. An diesem Experiment, das als doppelblinde cross-over Studie durchgeführt wurde, nahmen 16 junge gesunde Männer im Alter von 20 bis 25 Jahren teil. Die drei Expositionsbedingungen (Exposition der linken Hemisphäre, Exposition der rechten Hemisphäre und Sham-Exposition) wurden randomisiert zugeordnet. Die Experimente erfolgten in jeweils einwöchigen Abständen. Für die Exposition saßen die Probanden aufrecht, wobei ihr Kopf zwischen zwei Platten positioniert war, um eine gut definierte Position im Hinblick auf die planaren Antennen sicherzustellen, die in jeweils 11 cm seitlichem Abstand und mit dem Mittelpunkt 4.2 cm über dem Ohrkanal lokalisiert waren. Wie auch in der ersten Studie wurde hier mit einem 900 MHz GSM Basisstationssignal (gepulst mit 217 Hz) exponiert. Die

Ergebnisse zeigten, dass in den ersten 30 Minuten Schlaf, die auf eine Exposition folgten, die Spektralpower des NREM-EEG erhöht war, insbesondere in den Frequenzbändern 9.75 -11.25 Hz und 12.25 – 14.25 Hz. Die Autoren schließen daraus, dass eine Exposition im Wach das EEG des nachfolgenden Schlafes modifiziert. Eine unilaterale Exposition führte nicht zu einer Hemispärenasymmetrie in der Spektralpower.

Die dritte Laborstudie zum Einfluss elektromagnetischer Felder auf den Schlaf, die mit einem Basisstationssignal durchgeführt wurde, stammt aus Magdeburg (Hinrichs et al. 2005). Es wurde das Signal einer mit 1736 Hz gepulsten GSM 1800 MHz Basisstation simuliert. Die Antenne wurde in 1,5 Metern Abstand vom Kopf der Probanden platziert. Der maximale SAR-Wert betrug ca. 0.072 W/kg (Durchschnitt über 10g), die Leistungsflussdichte betrug 2.3 W/m². An der Studie nahmen 13 junge gesunde Personen im Alter von 20 bis 28 Jahren (vorwiegend Frauen) teil. Die Probanden verbrachten fünf aufeinanderfolgende Nächte im Labor. Die erste Nacht diente als Adaptationsnacht, die folgenden vier Nächte wurden mit einem randomisierten Verfahren gepaart den Expositionsbedingungen Verum und Sham zugeordnet. Weder die visuelle Auswertung der Schlafstadien (Konsensusscoring zweier unabhängiger Experten) noch die Powerspektralwerte (6 Frequenzbänder x 6 Lokalisationen) ließen eine signifikante Variation mit der Exposition erkennen.

Die Ergebnisse der drei genannten Studien sind in Tab. 4 noch einmal zusammengestellt. Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Ergebnisse der mit unterschiedlichen Signalen (GSM 900 und GSM 1800, sowie verschiedenen Modulationsspektren), Expositionseinrichtungen, Expositionsstärken, Studiendesigns und Stichproben (nur Männer vs. vorwiegend Frauen) durchgeführten Studien keine einheitlichen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Existenz von physiologischen Effekten auf die Hirnstromaktivität im Schlaf zulassen. Hinweise auf eine gesundheitliche Beeinträchtigung lassen sich aus den bisher zum Schlaf vorliegenden Ergebnissen nicht ableiten.

A 6.1.2 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf die Befindlichkeit.

Im Jahr 2003 wurden die Ergebnisse einer holländischen Studie zum Einfluss elektromagnetischer Felder des Mobilfunks bei GSM (900 MHz und 1800 MHz) und UMTS (2100 MHz) auf das Wohlbefinden und auf kognitive Funktionen publiziert (Zwamborn et al. 2003). Diese Studie, die unter dem Namen TNO-Studie in der öffentlichen und wissenschaftlichen Diskussion große Beachtung gefunden hat, wurde an einer Stichprobe von Personen mit Symptomen, die sie darauf zurückführten, dass sie in unmittelbarer Nähe einer Basisstation lebten (n = 36; 11 Männer und 25 Frauen im Alter von 55.7 ± 12.0 Jahren, Gruppe A), sowie einer Kontrollstichprobe symptomfreier Personen (n = 36; 22 Männer und 14 Frauen im Alter von 46.6 ± 16.4 Jahre, Gruppe B) durchgeführt. Die Stichprobengröße basiert auf einer Fallzahlabeschätzung für die Reaktionszeit in einem kognitiven Test, in der ein Anstieg um 5% mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% und einer Power von 80% erkannt werden sollte.

Tab. 4 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf (vgl. Danker-Hopfe und Dorn 2005).

Charakteristika der Studie	Borbély et al. (1999) Huber et al. (2003)	Huber et al. (2000, 2003)	Hinrichs et al. (2005)
Probanden	24 gesunde junge Männer (20-25 Jahre)	16 gesunde junge Männer (20-25 Jahre)	13 gesunde Personen, vorwiegend Frauen, (20-28 Jahre)
Studiendesign	1 Screeningnacht, 2 PSG-Nächte jeweils mit vorangehender Adaptationsnacht, Abstand zwischen den Studien Nächten: 1 Woche	3 Studientage im Wochenabstand, Schlafrestriktion auf 4 Stunden in der Nacht vor dem Tagesexperiment; 30 min Exposition; 10 min nach Ende der Exposition: Beginn einer dreistündigen Schlafuntersuchung am Tag	5 konsekutive PSG-Nächte: 1 Adaptationsnacht gefolgt von gepaarten Studien Nächten mit Verum- und Sham-Exposition während der gesamten Nacht
Exposition	3 Antennen (Abstand vom Kopf: 30 cm), lineare Polarisation senkrecht zur Bettoberfläche, EMF 900 MHz, Modulationsfrequenzen: 2, 8, 217 und 1736 Hz; Expositionsnacht: Ein- bzw Ausschalten alle 15 min; approximiertes Basisstationssignal randomisierte placebo-kontrollierte doppelblinde cross-over Studie, Expositionsdauer 8 h	2 Flachantennen beidseits des Kopfes im Abstand von je 11 cm; Mittelpunkt 4.2 cm oberhalb des Ohrkanals; EMF 900 MHz, Modulationsfrequenzen: 2, 8, 217 und 1736 Hz approximiertes Basisstationssignal	approximiertes Basisstationssignal: homogen, vertikal polarisierte GSM 1800 EMF, Pulsfrequenz 1736 Hz, Antenne in 1.5 m Abstand vom Kopf der Probanden; Fernfeldbedingung; max. SAR: 0.072 W/kg (gemittelt über 10 g) randomisierte placebo-kontrollierte doppelblinde cross-over Studie
Zielvariable	Schlaflatenz, Schlafstadienanteile, Schlaffeffizienz, quantitative EEG-Parameter (Spektralpower)		visuell (consensus) gescorte Schlafstadien Spektralpower für 5 Frequenzbänder und 6 EEG-Kanäle
Ergebnisse	WASO ↓ (p<.01) NREM: EEG-Amplitude im Spindelfrequenzbereich ↑ im Verlauf der Nacht abnehmende Unterschiede	Schlafatenz → Dauer der Schlafstadien → In den ersten 30 min des Schlafes: EEG-Amplitude 9.75-11.25 Hz ↑ EEG-Amplitude 12.25-13.25 Hz ↑	Kein Effekt für visuell gescorte Schlafstadien Keine signifikanten Effekte für Powerspektralwerte
Diskussion	EMF hat einen schlafanstößenden und das Schlaf-EEG beeinflussenden Effekt. Eine kurze Exposition hat einen Einfluss auf das Gehirn	EMF-Exposition im Wachzustand beeinflusst das EEG des nachfolgenden Schlafes	Die Hypothese eines Zusammenhangs zwischen Schlafstörungen und EMF von GSM 1800 Basisstationen konnte in diesem Design nicht bestätigt werden

Die effektive Feldstärke betrug 0.7 V/m für das GSM Signal und 1 V/m für das UMTS Signal. Zusammen mit einer Scheinexposition ergeben sich daraus vier Expositionsbedingungen, die den Probanden in einem (eingeschränkten) randomisierten cross-over Design zugeordnet wurden. Die Einschränkung ergibt sich daraus, dass jede Versuchsperson nach einer Eingewöhnungs-Testphase in unmittelbarem Anschluss nacheinander die Tests unter randomisierter Zuordnung der Sham-Exposition und zwei der drei Verum-Expositionsbedingungen absolvierte. Das Untersuchungsprogramm umfasste zum einen computerbasierte Tests zur Messung kognitiver Funktionen (Reaktionszeiten, Gedächtnisvergleich, selektive visuelle Aufmerksamkeit und komplexere Aufgaben). Zum anderen beantworteten die Probanden unmittelbar nach Ende jeder Sitzung eine Reihe von Fragen zu ihrem Wohlbefinden während des Experiments. Der am PC ausgefüllte Fragebogen zum Wohlbefinden ist Teil eines Fragebogens zur Lebensqualität, der als Papierversion validiert ist. Ein entsprechender Versuch mit 10 Probanden zeigte, dass zwischen der elektronischen und der Papierversion keine signifikanten Unterschiede bestanden. Jeder Testdurchlauf dauerte ca. 45 Minuten.

Während die Ergebnisse der kognitiven Tests keine konsistenten Ergebnisse erkennen ließen (es gab einzelne signifikante Ergebnisse im Sinne einer Verbesserung bzw. Verschlechterung der Testleistung unter Exposition, die jedoch angesichts der Vielzahl möglicher Kombinationen von Stichprobe und Expositionsart eher zufällig erscheinen), wurde unter UMTS-Exposition eine signifikante Verschlechterung des Wohlbefindens beobachtet (Abb. 10). Die Autoren beschreiben ihre Ergebnisse wie folgt: „*There was a clear statistically significant difference before the start of the procedure (i.e. training session) between group A (mean 5.72) and the group B (mean 1.83) with respect to the total sumscore ($p=0.004$), see Table 11.5. As also can be seen, the standard error of the mean in group A is substantially higher when compared to group B. Therefore, a comparison of the baseline values was tested non-parametric (Wilcoxon) which also shows a statistically significant difference ($p=0.0013$). The difference between placebo exposure and 2100 MHz exposure was statistically significant for subjects of both groups. No statistically significant difference could be observed between placebo exposure, 900 MHz exposure and 1800 MHz exposure*“ (Zwamborn et al. 2003, S. 49).

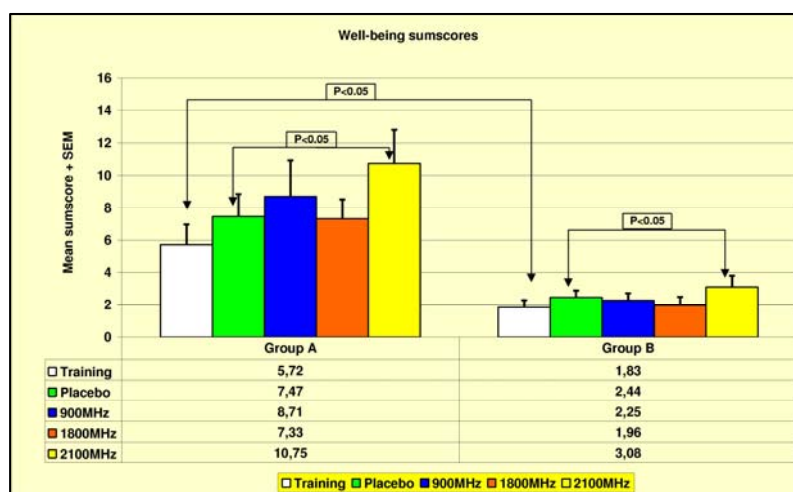


Abb. 10 Verteilung des Scores zum Wohlbefinden in Abhängigkeit von der Exposition bei Personen mit (Group A) und ohne (Group B) Symptome (aus Zwamborn et al. 2003)

Die Autoren diskutieren ihre Ergebnisse sehr vorsichtig: „*Interpretation of the results should be done carefully. It is noted that the dimension of the changes observed in the Well Being for UMTS-like exposure, though statistically significant, is relatively small. On the other hand, factors such as carry-over between sessions and the relative short exposure that is used might limit the effects observed*“ (Zwamborn et al. 2003, S. 59).

Aufgrund der Ergebnisse dieses Berichts, der am 30. September 2003 veröffentlicht wurde, forderte der niederländische Minister für Gesundheit, Soziales und Sport auch im Namen des Ministers für Wirtschaft, des Staatssekretärs für Wohnungswesen, Raumordnung und Umwelt sowie des Staatssekretärs für Arbeit und Soziales, das Gesundheitsministerium dazu auf, eine wissenschaftliche Bewertung der TNO-Studie sowie Vorschläge für eine adäquate Follow-up-Studie vorzulegen. Im Gesundheitsministerium wurde die Anfrage vom Komitee für elektromagnetische Felder bearbeitet. Der Bericht wurde am 28. Juni 2004 vorgelegt (Health Council of the Netherlands, 2004).

Das Komitee kam zu dem Ergebnis, dass die Studie sowohl hinsichtlich des Designs als auch hinsichtlich der Durchführung eine gute Qualität aufwies, es gab lediglich einige Anmerkungen zur Interpretation der Daten. So wurde u.a. darauf hingewiesen, dass die UMTS-Exposition in der Studie im Vergleich zur Situation im Feld, d.h. in der Umgebung von UMTS-Basisstationen, zwar kurz aber vergleichsweise hoch war, weshalb sich aus den Ergebnissen keine Rückschlüsse auf mögliche Effekte in der täglichen Lebensumwelt ziehen lassen. Weitere Empfehlungen betrafen eine Überprüfung der Validität des eingesetzten Fragebogens zum Wohlbefinden, eine Replikation der TNO-Studie durch unabhängige Wissenschaftler mit zur TNO-Studie identischen Expositionsbedingungen sowie demselben Fragebogen (wobei zusätzlich die Verwendung eines validierten Messinstruments für Wohlbefinden vorgeschlagen wird), ergänzt um Fragen zur Wahrnehmung des elektromagnetischen Feldes und zur Verbesserung des Wohlbefindens. Hinsichtlich der Stichprobe werden in Bezug auf Alter, Geschlecht und sozioökonomischen Status gematchte Gruppen empfohlen, wobei die Anzahl der Individuen pro Gruppe erhöht werden könnte. Das Komitee leitet aus den Ergebnissen der TNO-Studie einen dringenden Bedarf an weiteren Studien zum Einfluss von UMTS Exposition ab, wobei hinsichtlich der als relevant betrachteten Fragen auf den Bericht (Health Council of the Netherlands, 2004) verwiesen sei. Abschließend wird festgestellt: „*The Committee takes the view that it is not possible, on the basis of the results of the TNO study, to determine the existence of a causal relationship between exposure to electromagnetic fields and decreased well-being or adverse health effects*“ (Health Council of the Netherlands, 2004, S. 11).

A 6.1.3 Schweizer Anschlussstudie zur holländischen TNO-Studie.

Die Empfehlung zur Durchführung einer „TNO-Replikationsstudie“ wurde von der Forschungsstiftung Mobilkommunikation in der Schweiz aufgegriffen. Zum 1. September 2004 wurde ein Projekt mit dem Titel *Effects of UMTS radio-frequency fields on well being and cognitive functions in human subjects with and without subjective complaints* an eine Schweizer Arbeitsgruppe (Peter Achermann, Universität Zürich; Niels Kuster, ITIS Zürich und Martin Rösli, Universität Bern) vergeben. Ziel dieser

Studie ist es, den Effekt elektromagnetischer Felder auf Wohlbefinden und kognitive Funktionen mit einer verbesserten Methodik und einem Focus auf UMTS-Exposition zu replizieren. Es werden zwei UMTS-Expositionen unterschiedlicher Stärke (1 V/m und 10 V/m) und eine Sham-Exposition verwendet, und es wird mit einem randomisierten doppelblinden Design die Hypothese überprüft, dass das Wohlbefinden dosisabhängig beeinflusst wird, während kognitive Funktionen nicht betroffen sind. Die Untersuchung wird an 24 Probanden, die sich selbst als hypersensitiv gegenüber elektromagnetischen Feldern betrachten, und 60 Probanden ohne Symptome durchgeführt. Die Studie dauert bis ca. September 2005, d.h. mit Ergebnissen ist in Kürze zu rechnen.

A 6.2 Epidemiologische Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen

Epidemiologische Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen liegen aus Frankreich (Santini et al. 2002, 2003), Österreich (Hutter et al. 2002) und Spanien (Navarro 2003, Navarro et al. 2002, 2003) vor.

A 6.2.1 Studie aus Frankreich

In einer Studie aus Frankreich an 530 Personen (270 Männern, Durchschnittsalter 45 ± 20 Jahre und 260 Frauen, Durchschnittsalter 47 ± 19 Jahre) wurden per Fragebogen Informationen zu Alter, Geschlecht, geschätzte Distanz der Wohnung zu einer Basisstation (< 10 m, 10 bis 50 m, 50 bis 100 m, 100 bis 200 m, 200 bis 300 m und mehr als 300m) und Lokalisation der Antenne erhoben. Als Proxy für die Exposition wurden die Dauer der Exposition (erfasst über Wohndauer: gestuft von weniger als 1 Jahr bis mehr als 5 Jahre) und die Anwesenheit am Wohnort in Tagen/Woche und Stunden/Tag) gewählt. Zusätzlich wurden Informationen zur Präsenz von Transformatoren (im Umkreis von 10 Metern), Hochspannungsleitungen (im Umkreis von 100 Metern) sowie Radio- und Fernsehsendern (im Umkreis von 4 km) erhoben. Gefragt wurde ferner nach der Nutzung von Computern (> 2 Stunden/Tag) und Mobiltelefonen (> 20 Minuten/Tag). Als Zielvariable wurden 18 gesundheitliche Beschwerden (Non Specific Health Symptoms „NSHS“) abgefragt, die in der Häufigkeit ihres Auftretens auf einer vierstufigen Skala (nie, manchmal, oft und sehr oft) anzugeben waren.

Die am häufigsten geklagte Beschwerde waren Schlafstörungen (61% bei Frauen und 45.4% bei Männern: $p < 0.05$), gefolgt von Müdigkeit (57.5% bei Frauen und 41.4% bei Männern, Geschlechtsunterschiede statistisch nicht signifikant). Die Autoren führen aus, dass in Abhängigkeit von der geschätzten Distanz der Wohnung von der Mobilfunkbasisstation Unterschiede u.a. in der Müdigkeit (≤ 300 m vs. > 300 m; stärkere Müdigkeit bei der Gruppe, die näher an der Mobilfunkbasisstation lebt), der Prävalenz von Kopfschmerzen, Schlafstörungen und Unbehagen (≤ 200 m vs. > 200 m; höhere Prävalenz in der Gruppe, die näher an der Mobilfunkbasisstation lebt)

sowie der Prävalenz von Reizbarkeit, Gedächtnisproblemen und Schwindel (≤ 100 m vs. > 100 m; höhere Prävalenz in der Gruppe, die näher an der Mobilfunkbasisstation lebt) zu beobachten sind.

Die methodischen Probleme dieser Studie

- fehlende Informationen zur Rekrutierung der Teilnehmer
- fehlende Adjustierung der statistischen Auswertungen für Alter (Santini et al. 2003 beschrieben einen statistisch signifikanten Anstieg der Beschwerden mit dem Alter), Geschlecht und andere mögliche Einflussfaktoren, wie z.B. Erwartungshaltung zu gesundheitlichen Einflüssen (diese Information wurde gar nicht erhoben)
- die Verwendung arbiträr anmutender Unterteilungen der Distanz für verschiedene Zielparameter
- Verwendung einer geschätzten Distanz als Proxy für die Exposition (Distanz als Proxy für die Exposition ist völlig ungeeignet, vgl. Kap. A 4.3)

sind so groß, dass Seitz et al. (2005) Publikationen zu dieser französischen Studie für eine Berücksichtigung in ihrer Literaturübersicht bewusst gänzlich ausgeschlossen haben und Berg et al. (2004) auf eine Angabe der Ergebnisse dieser Untersuchung verzichtet haben, da die Mindestanforderungen an eine wissenschaftliche Studie nicht erfüllt sind.

Obwohl wir uns der Bewertung der französischen Studie durch die Kollegen nachdrücklich anschließen, sind die Ergebnisse hier wegen ihres unmittelbaren thematischen Bezugs der Vollständigkeit halber mit aufgeführt. Die Ergebnisse der Studie belegen zwar Effekte der Existenz von Mobilfunkbasisstationen auf Anwohner, ob diese Effekte jedoch mit elektromagnetischen Feldern zu tun haben, bleibt offen.

A 6.2.2 Studie aus Österreich

In Österreich wurde eine Pilotstudie zum Einfluss von Mobilfunkbasisstationen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden an insgesamt 365 Personen (59% Frauen) im Alter von 18 bis 91 Jahren durchgeführt (Hutter et al. 2002). Die Datenerhebung erfolgte an 10 Standorten (je fünf in Wien und in einer ländlichen Region in Kärnten). Es wurden nur Standorte ausgewählt, die mit Antennen im 900 MHz Betrieb arbeiteten und die seit mindestens zwei Jahren in Betrieb waren. Für die ländlichen Standorte galt darüber hinaus, dass keine andere Basisstation in der Nähe war. Ein weiterer Aspekt bei der Standortauswahl war, dass es im Vorfeld bei der Errichtung der Basisstation keine Proteste der Anwohner gegeben hatte.

Pro Standort wurden 36 Teilnehmer rekrutiert, je 18 Personen in zwei unterschiedlichen Entfernungsbereichen der Wohnung von der Mobilfunkbasisstation (≤ 200 m vs. > 200 m). Den Teilnehmern wurde lediglich mitgeteilt, dass die Studie zu umweltbedingten Auswirkungen auf die Gesundheit durchgeführt wird, es wurde kein expliziter Bezug zu den elektromagnetischen Feldern

von Mobilfunkbasisstationen hergestellt. Erhoben wurden mittels Fragebogen soziodemographische Daten, Daten zu elektromagnetischen Feldern im Haushalt, zu Benutzung von Mobiltelefonen und zur subjektiven Einschätzung des möglichen Einflusses verschiedener Umweltfaktoren auf die Gesundheit. Zur Erfassung des Ausmaßes gesundheitlicher Beschwerden und der Schlafqualität wurden validierte Fragebögen eingesetzt (Beschwerdeliste von von Zerrssen sowie der Pittsburgh Schlafqualitätsindex: PSQI). Zusätzlich wurden Laptop-basierte Tests zur Erfassung der Leistungen in einer Wahlreaktionsaufgabe (mit drei Stimuli), in einem Test zum Kurzzeit- und mittelfristigen Gedächtnis, sowie in einer Aufgabe zur Wahrnehmungsgeschwindigkeit (Vergleich zweier Ziffernsequenzen unter zeitlichem Druck) durchgeführt. Im Anschluss an die Tests wurde ein Termin zur Immissionsmessung vereinbart. Diese Messungen wurden in den Schlafzimmern der Teilnehmer mit einem Spektrumanalyzer von einem zertifizierten Wiener Institut (TGM) durchgeführt. Von 336 Personen liegen entsprechende Daten vor.

Untersucht wurden Effekte auf die Zielvariablen mittels Kovarianzanalyse mit den Kovariaten Bedenken hinsichtlich gesundheitlicher Risiken gegenüber der Basisstation, dem Alter, dem Geschlecht und der Nutzung von Mobiltelefonen sowie den Haupteffekten Region (städtisch/ländlich) und GSM Immission. Für keine der Messgrößen in den computerbasierten Tests ließ sich ein statistisch signifikanter Effekt der GSM Immission beobachten, wobei die Autoren den Einfluss auf die Wahrnehmungsgeschwindigkeit bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0.061$ als Tendenz bewerten (eine bessere Leistung bei geringeren Immissionswerten). Die subjektiv erfassten Beschwerden wurden zu drei Kategorien zusammengefasst: Erschöpfung, sowie Symptome die das Verdauungssystem bzw. das kardiovaskuläre System betreffen. Während die Ergebnisse für die ersten beiden Beschwerdenkomplexe nicht signifikant waren, ließ sich für die GSM Immission ein signifikanter Effekt auf kardiovaskuläre Beschwerden beobachten, der auch in der Kovarianzanalyse trotz des starken Geschlechtseffektes signifikant blieb ($p=0.007$). Eine Kovarianzanalyse für den PSQI-Score ließ schließlich erkennen, dass das Alter und die Bedenken gegenüber Basisstationen (siehe Abb. 11) signifikante Effekte aufweisen, während der Effekt der GSM Immission statistisch nicht signifikant war ($p=0.282$). Die Autoren weisen ausdrücklich darauf hin, dass eine Analyse der Daten ohne Berücksichtigung der Kovariate Bedenken hinsichtlich gesundheitlicher Risiken zu einem statistisch signifikanten Effekt der GSM Immission geführt hätte.

Obwohl die Ergebnisse dieser Pilotstudie bereits im Jahr 2002 auf einem Internationalen Workshop vorgestellt wurden (Hutter et al. 2002), steht eine peer-reviewed Publikation gegenwärtig leider noch aus.

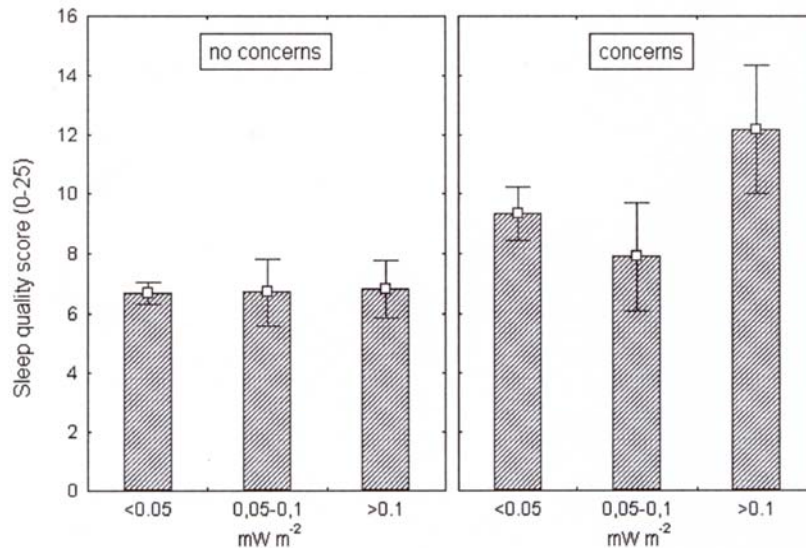


Abb.11 Mittelwerte und Standardfehler des Schlafqualitäts-Index (höhere Werte bedeuten eine schlechtere Schlafqualität) für Expositionsclassen, stratifiziert nach geäußerten Bedenken zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen der Basisstation (aus Hutter et al. 2002).

A 6.2.3 Studie aus Spanien

Eine weitere Studie, deren Qualität ähnlich wie die der in Kap. A 6.2.1 aufgeführten französischen Studien immer wieder kritisiert wird, wurde in La Norá, Murcia, Spanien, durchgeführt (Navarro et al. 2002, 2003, Navarro 2003). In dieser präliminären Studie sollte das von den Autoren als „Microwave Syndrome“ bezeichnete Beschwerdebild bei Anwohnern einer GSM-DCS 1800 MHz Mobilfunkbasisstation untersucht werden.

In den Schlafzimmern der Teilnehmer wurde mit einem tragbaren Breitband-Meßgerät in etwa 1,2 Metern Höhe und 1 Meter Abstand zur Wand bei manueller Ausrichtung die maximale Feldstärke am Kopfende des Bettes bestimmt. Die Messungen erfolgten an zwei Samstagen zur gleichen Uhrzeit. An der Studie nahmen 101 Personen (53% Frauen) im Alter ab 15 Jahren teil, wobei aufgrund von schwerwiegenden neurologischen oder psychiatrischen Erkrankungen in der Vorgeschichte nur Daten von 97 Personen in die Auswertung eingingen.

Zur Datenerhebung wurde ein von Santini (2002, 2003) verwendeter Fragebogen (vgl. Kap. A 6.2.1) eingesetzt, der ins Spanische übersetzt worden war. Insgesamt wurden 70% der verteilten Fragebögen ausgefüllt zurückgegeben, womit dieser Fragebogen von mehr als 5% der 1900 Einwohner des Ortes beantwortet wurde. Bei 95% der Teilnehmer wirkte die gemessene Exposition an sieben Tagen pro Woche mindestens sechs Stunden ein. Ferner nutzen 24% der Teilnehmer das Mobiltelefon mehr als 20 Minuten pro Tag. Hinsichtlich der Exposition wurden die Teilnehmer in zwei Gruppen unterteilt, zum einen Personen mit hoher Exposition (im Durchschnitt $0.11 \pm 0.19 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, n

= 47), die Angaben in weniger als 150 Metern Entfernung zur Basisstation (107 ± 57 m) zu wohnen und zum anderen solche mit geringer Exposition (im Durchschnitt $0.01 \pm 0.04 \mu\text{W}/\text{cm}^2$, $n = 50$), die Angaben, in mehr als 250 m Entfernung zur Basisstation (284 ± 24 m) zu wohnen.

Ein Vergleich des durchschnittlichen Ausprägungsgrades der auf einer vierstufigen Skala (0 = niemals, 1 = manchmal, 2 = oft und 3 = sehr oft) gemessenen Symptome zeigte, dass für die Merkmale Irritabilität, Kopfschmerzen, Übelkeit, Appetitlosigkeit, Unbehagen, Schlafstörungen, Depressionen, Konzentrationsprobleme und Schwindel in der Gruppe, die näher an der Basisstation wohnte, durchschnittlich höhere Scores zu beobachten waren. Allerdings war in dieser Gruppe der Anteil der Mobilfunknutzer mit 30% auch deutlich höher als in der weiter entfernt lebenden Bevölkerungsstichprobe. Die genannten Symptome ließen darüber hinaus eine signifikante Korrelation mit dem Logarithmus der gemessenen elektrischen Feldes erkennen.

Für diese spanische Studie gilt ähnlich wie für die unter 6.2.1 aufgeführte französische Studie, dass sie zahlreiche methodische Probleme aufweist:

- Es bleibt unklar, ob die zwei Gruppen, auf der Basis der selbst eingeschätzten Entfernung des Wohnortes vom Sendemast gebildet wurden oder mit einem Cut-off-Wert in den gemessenen Expositionen.
- Es ist unklar, was mit Personen ist, die in einem Umkreis von 150 bis 250m um die Basisstation wohnten.
- Unklar ist, ob sich die zwei Gruppen hinsichtlich relevanter Einflussgrößen wie Alter und Geschlecht unterscheiden, dafür hätte ggfs. in der Auswertung adjustiert werden müssen.
- Es ist unklar, welche Art von Korrelationen zur Überprüfung des Zusammenhangs zwischen dem Logarithmus der elektrischen Feldstärke und der (mit vier Merkmalsausprägungen gemessenen) Symptommhäufigkeit berechnet wurde.

Aufgrund der schwerwiegenden methodischen Mängel haben Seitz et al. (2005) auf eine Berücksichtigung dieser Studie ebenso wie auf die unter A 6.2.1 genannte französische Studie bewusst gänzlich verzichtet, während Berg et al. (2004) auf eine Angabe der Ergebnisse dieser Untersuchung nicht verzichtet haben. In diesem Review sind sie der Vollständigkeit halber aufgeführt.

Eine übersichtliche vergleichende Gegenüberstellung der Ergebnisse der genannten Studien aus Frankreich, Österreich und Spanien findet sich bei Berg et al. (2004) und ist hier als Tab. 5 übernommen worden:

Tab. 5 Bisherige Studien zu möglichen EMF-bezogenen Beschwerden, die durch Mobilfunkbasisstationen ausgelöst werden (aus Berg et al. 2004).

	Navarro et al. 2003	Hutter et al. 2002	Santini et al. 2002
Studiendesign	Querschnitt	Querschnitt	Querschnitt
Zahl der Teilnehmer	101	336	530
Expositionsschätzung	Durch Distanz (trotz Messungen)	Nein	Durch Distanz (Selbstangaben)
Frequenzbereich	1800 MHz	900 MHz	?
Messung	Ja, nicht Auswertung	Ja, für Gruppenbildung	Nein
Störgrößen	Nein	Ja	Unklar
Besorgnis	Nein	Ja	Nein
Methodik	Unklar	Nachvollziehbar	Unklar
Verblindung	Nein	Ja	Nein
Ergebnisinterpretation	weitreichend	angemessen	sehr weitreichend

Die in La Nora erhobenen Daten wurden unter Berücksichtigung von Alter, Geschlecht und Abstand von der Basisstation als Proxy für den Grad der Besorgnis durch Mobilfunkbasisantennen neu ausgewertet (Oberfeld et al. 2004). Die Ergebnisse wurden auf dem *3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields* (4.-8. October 2004, Kos, Griechenland) vorgestellt. Die erneute Datenauswertung basiert auf vollständigen Informationen für 94 der insgesamt 97 Teilnehmer (je 47 Männer und Frauen) mit einem medianen Alter von 39 Jahren. Diesem Manuskript sind detaillierte Angaben zur Verteilung der geschätzten Entfernung zur Basisstation zu entnehmen: < 10 m: n=7, 10 bis 50 m: n=6, 50 bis 100 m: n=9, 100 bis 200 m: n=30, 200 bis 300 m: n=14; > 300 m: n=28. Die Daten wurden mittels logistischer Regressionsanalyse ausgewertet, dazu wurden die gemessenen Immissionen in drei Kategorien klassifiziert (geringe Exposition: 0.02 – 0.04 V/m; mittlere Exposition: 0.05 – 0.22 V/m und hohe Exposition: 0.25 – 1.29 V/m – es bleibt offen, welcher Kategorie Expositionen von 0.23 bis 0.24 V/m zugeordnet wurden), wobei die Odds Ratios mit der geringen Exposition als Referenz ermittelt wurden. Es zeigte sich, dass in einem alters-, geschlechts- und distanz-adjustierten Ansatz das Odds Ratio bei mittlerer Exposition für die Symptome Müdigkeit, Kopfschmerzen, Schlafstörungen, depressive Verstimmung, Unwohlsein, Konzentrationprobleme und Hautprobleme signifikant erhöht war. Bei hoher Exposition war zusätzlich zu den bereits genannten Symptomen das Odds Ratio für folgende Beschwerden signifikant erhöht: Irritabilität, Übelkeit, Appetitverlust, Gedächtnisprobleme, visuelle Störungen, Schwindel und kardiovaskuläre Probleme. Lediglich für zwei der hier genannten Symptome war das Odds Ratio bei mittlerer Exposition höher als bei hoher Exposition: Kopfschmerzen (mittlere Exposition: OR 7.46, 95%-CI: 2.10 – 26.55; hohe Exposition: OR: 6.56, 95%-CI: 2.14 – 20.05) und Schlafstörungen (mittlere Exposition: OR 7.67, 95%-CI: 2.36 – 24.86; hohe Exposition: OR: 6.64, 95%-CI: 2.30 – 19.20). Die Autoren leiten aus ihrem Ergebnis folgendes ab: „Based on the data of this study the advice would be to strive for levels not higher than 0.02 V/M for the sum total, which is equal to a power density of 0.0001 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ or 1 $\mu\text{W}/\text{m}^2$, which is the indoor exposure value for GSM base stations proposed on empirical evidence by the Public Health Office of the Government of Salzburg in 2002” (Oberfeld et al. 2004). Leider liegen

die Daten nur als Kongressbericht vor, es bleibt abzuwarten, ob diese Ergebnisse in einer Zeitschrift mit Peer-Review Verfahren publiziert werden können.

A 6.2.4 Studie aus Deutschland

In einer vom Bundesamt für Strahlenschutz geförderten Pilotphase wurde die Machbarkeit einer *Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Felder von Mobilfunkbasisstationen* untersucht. Zu diesem Projekt, das jetzt in der Hauptphase gefördert wird, liegt ein Abschlussbericht der Pilotphase vom Juni 2004 vor (Berg et al. 2004). Die Projektleiter kommen zu dem Schluss, dass trotz der methodischen Schwierigkeiten epidemiologischer Studien zu diesem Thema eine solche Studie mit den entsprechenden epidemiologischen Methoden und messtechnischen Möglichkeiten machbar ist. Sie stellen heraus, dass zur Erhebung der Beschwerden valide, standardisierte und vielfach verwendete Erhebungsinstrumente zur Verfügung stehen. Hierzu zählt sicher auch das standardisierte Befragungsinstrumentarium, das in den infas Befragungen zur Anwendung kommt (infas 2004, 2005).

Da es sich bei den zu untersuchenden Zielparametern um akute Effekte handelt, sind Daten zu früherer oder kumulativer Exposition nicht erforderlich, d.h. es handelt sich um eine klassische Querschnittstudie, bei der Beschwerden und Exposition parallel erhoben werden (vgl. Kap. A 4.1.6). Die geplante Studie soll in drei Phasen durchgeführt werden: Phase I, die Pilotstudie der Machbarkeit ist bereits abgeschlossen. Die Phase II, die Erhebung der Basisdaten, ist gerade abgeschlossen, ein entsprechender Bericht ist auf der entsprechenden Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz noch nicht verfügbar. In dieser Phase sollten an einer Stichprobe von 30.000 Personen im Alter von 24 bis 69 Jahren, die gegenüber dem Studienziel blind sind, u.a. Daten zur geschätzten Lage der Wohnung zu einer Basisstation sowie zu möglichen EMF-bezogenen Beschwerden mittels eines umfangreichen Fragebogens (der in der Pilotphase erprobt wurde) erhoben werden. Die Basiserhebung soll Informationen über die Prävalenzen subjektiv vs. objektiv exponierter Personen sowie zur Prävalenz besorgter und gesundheitlich beeinträchtigter Personen ergeben. Daten zur Geokodierung der Standorte von Mobilfunkbasisstationen und die Wohnadressen der Studienteilnehmer werden herangezogen, um den Abstand zwischen Haushalt und Mobilfunkbasisstation(en) zu ermitteln. Dieser Abstand sowie die Himmelsrichtung, in der die Haushalte in Bezug zur Basisstation liegen, sind wichtige und notwendige Bestandteile für die Bestimmung des Expositionssurrogats. In Phase III der Studie soll eine vertiefende Analyse des Zusammenhangs zwischen Exposition und gesundheitlicher Beeinträchtigung an einer ausgewählten Stichprobe durchgeführt werden. Die Spezifizierung dieser Phase ist zusammen mit dem Abschlussbericht für Phase II zu erwarten.

Bezüglich weiterer Details sei auf den Zwischenbericht des Projekts nach Abschluss der Pilotphase (Berg et al. 2004) verwiesen. Von den Ergebnissen der Phase II, die mit den aus epidemiologischer Sicht und unter dem Aspekt der Expositionserfassung geeigneten Methoden durchgeführt wurde/wird, sind wissenschaftlich fundierte Aussagen zum Einfluss von Mobilfunkbasisstationen auf subjektiv empfundene Beeinträchtigungen der Gesundheit zu erwarten.

A 6.3 Experimentelle Feldstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen

A 6.3.1 Studie aus der Schweiz

Auf dem 6th International Congress der European Bioelectromagnetics Association (EBEA) haben Rösli et al. (2003b) die Ergebnisse einer Schweizer Pilotstudie vorgestellt, bei der in der Umgebung einer neu einzurichtenden Basisstation untersucht werden sollte, ob durch den Bau der Station bedingte psychologische Effekte sowie durch die Exposition mit elektromagnetischen Feldern mögliche physiologische Effekte mit dem vorgeschlagenen Studiendesign untersucht werden können. In einem Umkreis von 500 Metern wurden Teilnehmer rekrutiert, deren spätere Exposition als am höchsten angesehen wurde. Aus 76 identifizierten Haushalten haben 37 Personen initial teilgenommen, von ihnen haben 33 die Studie beendet. Die Teilnehmer haben über einen Zeitraum von sechs Wochen Schlaftagebücher ausgefüllt. Zusätzlich haben sie einmal wöchentlich (mittwochs) eine Urinprobe zur Bestimmung des morgendlichen Cortisollevels abgegeben. Bei einem Probanden wurde ein Aktometer zur Registrierung der Aktivität in der Nacht erprobt. Aufgrund logistischer Probleme konnte lediglich das Intervall, in dem die Station zu senden begann, untersucht werden. Aufgrund des dichten bereits bestehenden Mobilfunknetzes war der Beitrag der untersuchten Basisstation zur elektromagnetischen Gesamtexposition der Probanden gering. Es ließen sich nach Inbetriebnahme keine bedeutsamen Veränderungen in der Exposition beobachten, so dass dieser Aspekt nicht untersucht werden konnte. Die Ergebnisse der Studie wurden jedoch dahingehend interpretiert, dass Schlaftagebücher für entsprechende Untersuchungen ein nützliches Instrumentarium sind (siehe auch Danker-Hopfe und Dorn 2003b). Die Compliance der zufällig ausgewählten Stichprobe war gut. Die Daten reflektierten externe Einflüsse auf den Schlaf wie Alkohol- bzw. Kaffeekonsum und Wochentag weshalb sie als sensitive Outcome-Daten für entsprechende Studien angesehen werden. Die Aktometer-Daten lieferten zusätzliche Informationen während die Cortisolkonzentrationen im Urin sich für solche Kurzzeit-Analysen als weniger geeignet erwiesen.

A 6.3.2 Studie aus Deutschland

Im Rahmen des Deutschen Mobilfunkforschungsprogramms wurde eine Studie zum Thema *Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation - Experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte unter häuslichen Bedingungen* in einer Pilotphase an die Charité – Universitätsmedizin Berlin vergeben. Im Rahmen dieser Studie wurde die vorliegende Literaturübersicht erstellt. Vor dem Hintergrund, dass Hinweise darauf existieren, dass die Schlafparameter, die Gehirnströme (EEG) und die intellektuelle Informationsverarbeitung unter Mobilfunkexposition, d.h. bei Feldintensitäten unterhalb der geltenden Grenzwerte, beeinflusst sind, soll untersucht werden, ob dies auch im Falle der noch wesentlich schwächeren Felder der Basisstationen der Fall ist. Zum Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Schlafqualität

und das Wohlbefinden von Menschen im Umkreis von Basisstationen liegen einige widersprüchliche epidemiologische Studien vor.

Die Schwerpunkte des Projekts liegen in der Untersuchung diverser Schlafparameter bei Bevölkerungsgruppen die im näheren Umkreis von Basisstationen des Mobilfunks (500 m) Wohnen. Die Schlafqualität soll unter häuslichen Bedingungen parallel mittels Befragung und mittels Registrierung physiologischer Parameter (Schlaf-EEG) untersucht werden, und zwar mit und ohne Abstrahlung elektromagnetischer Signale durch Basisstationen. Dies soll in einer Doppelblind-Studie im cross-over Design geschehen. Die Auswertung der subjektiven und objektiven Daten soll Aufschluss geben über den Einfluss des HF-EMF auf die Schlafqualität. Ein möglicher Einfluss psychologischer Komponenten soll berücksichtigt und ausgewertet werden. Eine abgeschlossene Machbarkeitsstudie zu einer derartigen Untersuchung liegt vor.

Ziel des Vorhabens ist, in einer Doppelblind-Studie den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Basisstationen des Mobilfunks auf die Schlafqualität der Bevölkerung zu untersuchen.

Zunächst ist eine dreimonatige Pilotphase zu dieser Studie vergeben worden. Innerhalb dieser Zeit klärten die Forschungsnehmer die Einzelheiten der notwendigen Zusammenarbeit mit den Netzbetreibern und der Bundesnetzagentur und holten die Zustimmung der Ethikkommission ein. Ein erfolgreicher Abschluss der Pilotphase ist Voraussetzung für die Durchführung der Hauptstudie.

A 7 Elektrosensibilität / Elektromagnetische Hypersensitivität

Im Zusammenhang mit möglichen gesundheitlichen Effekten elektromagnetischer Felder ist eine Gruppe von Personen besonders zu erwähnen. Es handelt sich um solche, die an unspezifischen Symptomen, wie Kopfschmerzen, Schlafstörungen, Nervosität, Konzentrationsstörungen und/oder Hautirritationen leiden und die ihre Beschwerden auf elektromagnetische Felder in der Umwelt zurückführen. Eine Schweizer Fragebogenuntersuchung (Röögli et al. 2004) an n=429 Personen, die über gesundheitliche Probleme klagen, die sie auf die Exposition gegenüber EMF zurückführen, hat ergeben, dass die Personen im Vergleich zur allgemeinen Schweizer Bevölkerung älter waren (mittleres Alter: 51 Jahre, 57% Frauen), eine höhere Bildung hatten und häufiger verheiratet waren. Im Durchschnitt wurden 2,7 Beschwerden geklagt, darunter in erster Linie Schlafstörungen (58%), Kopfschmerzen (41%), Nervosität und Distress (19%), Müdigkeit (18%) und Konzentrationsprobleme (16%). Als Ursache für die Beschwerden wurden an erster Stelle Mobilfunkbasisstationen genannt (74%), gefolgt von Mobiltelefonen (36%), schnurlosen Telefonen (29%) und elektrischen Installationen (27%). Es gab keine spezifischen Zusammenhänge zwischen einzelnen Beschwerden und den Quellen, auf die sie zurückgeführt wurden. Auch gab es keine signifikanten Unterschiede der Symptomprävalenz zwischen den Geschlechtern.

In der internationalen Literatur werden für die oben beschriebene Symptomatik unterschiedliche Begriffe verwendet, was mitunter zu Verwechslungen bzw. Verwirrungen führen kann. Dies wird u.a. in der zusammenfassenden Betrachtung von Frick et al. 2004 (S. 8) deutlich, dort heisst es im Hinblick auf den deutschsprachigen Raum: es „werden unterschiedliche Bezeichnungen z.T. völlig diametral gehandhabt: Während Müller (Müller 2000) Elektrosensibilität (ES) als Attributierung von Beschwerden auf elektrische und magnetische Felder definiert, und Elektrosensitivität als die Fähigkeit beschreibt, elektrische und magnetische Felder direkt oder indirekt wahrzunehmen, werden diese Begriffe von Leitgeb (Leitgeb 1995) im genau entgegengesetzten Sinne benutzt“.

Leitgeb und Schröttner (2003) benutzen den Begriff *elektromagnetische Sensibilität* für die Fähigkeit der Wahrnehmung elektromagnetischer Exposition, während sie die von Betroffenen auf elektromagnetische Felder zurückgeführten Symptome als *elektromagnetische Hypersensitivität (EHS)* bezeichnen. Die Begriffe Elektrosensibilität bzw. elektromagnetische Hypersensitivität werden sowohl von Betroffenen verwendet, die ihre Beschwerden auf EMF zurückführen, als auch von Ärzten, um ein Syndrom ungeklärter Genese zu beschreiben.

Um dem Problem EHS näher nachzugehen, hat die WHO einen Workshop zum Thema „Electrical Hypersensitivity“ veranstaltet, der vom 25. bis 27. Oktober 2004 in Prag stattfand. Ziel des Workshops war eine sorgfältige Sichtung der wissenschaftlichen Evidenz für eine Entscheidung über einen möglichen Zusammenhang zwischen EMF Exposition und den von Betroffenen berichteten Symptomen sowie über weitere notwendige Forschung zur Schließung von Wissenslücken. Darüber hinaus wurde auf dem Workshop zusammengetragen, was bereits getan wurde und was in Zukunft getan werden kann, um elektromagnetisch hypersensitiven Personen zu helfen. Die Arbeitsgruppe,

die sich im Anschluss an das offizielle Programm zur Diskussion und Bewertung der wissenschaftlichen Beiträge traf, kam zu dem Ergebnis, dass EHS durch eine Vielzahl unspezifischer Symptome charakterisiert ist, die interindividuell differieren können. Die Symptome sind zweifellos real existent und können in ihrem Schweregrad stark variieren. Für einige Individuen kann sich daraus eine Änderung des Lebensstils ergeben. Da der Begriff EHS einen kausalen Bezug nahe legt, empfiehlt die Kommission die Verwendung der Bezeichnung „*Idiopathic Environmental Intolerance (IEI) with attribution to EMF*“, ein Begriff, der auf einem WHO Workshop zum Thema *International Program on Chemical Safety (IPCS)* eingeführt wurde, der 1996 in Berlin stattfand. IEI wurde beschrieben als:

- Eine erworbene Störung mit multiplen wiederkehrenden Symptomen
- Mit verschiedenen Umweltfaktoren assoziiert, die von der Mehrheit der Bevölkerung toleriert werden
- Nicht durch eine medizinische, psychiatrische oder psychologische Störung erklärbar

Die Mehrheit der Studien zeigt, dass IEI Individuen EMF Exposition nicht präziser erkennen können, als nicht-IEI Individuen. Im Großen und Ganzen zeigen gut kontrollierte doppelblinde Studien, dass die Symptome nicht mit EMF Exposition korreliert sind.

Da die Betroffenen unabhängig von der Ursache stark beeinträchtigt sind, sollte eine symptom-spezifische Behandlung unter folgenden Aspekten durchgeführt werden:

- Erhebung einer medizinischen und psychologischen Anamnese zur Erkennung spezifischer Ursachen für die Beschwerden
- Eine Untersuchung des Arbeitsplatzes und der häuslichen Umgebung hinsichtlich Faktoren, die zu den Symptomen beitragen könnten, wie Innenraumluftverschmutzung, exzessive Lärmbelastung, schlechte Beleuchtung oder ergonomische Faktoren. Eine Reduktion von Stress und andere Verbesserungen der Arbeitssituation können angemessen sein. Darüber hinaus kann überprüft werden, ob die EMF-Exposition die existierenden Standards nicht überschreitet.

Einige Studien deuten darauf hin, dass gewisse physiologische Reaktionen bei Betroffenen dazu tendieren, außerhalb der normalen Variationsbreite zu liegen. Wenn eine Hyperreaktivität des zentralen Nervensystems oder ein Ungleichgewicht des autonomen Nervensystems beobachtet wird, sollte dies weiter klinisch untersucht werden. Unter der Schirmherrschaft der WHO sollten Experten einen Entwurf erarbeiten, wie bei Personen mit IEI weiter vorzugehen ist. Diese Information soll dann den nationalen Entscheidungsträgern zur Implementierung zugeleitet werden. Denen wird empfohlen, die Beschwerden der in vielen Ländern ca. 2-3% Betroffenen ernstzunehmen und die Ärzteschaft entsprechend zu informieren. Es wird empfohlen ein Fact Sheet zu entwerfen, dem zu entnehmen ist, dass die IEI Symptomatik zum gegenwärtigen Zeitpunkt nicht auf EMF zurückgeführt werden kann. Das Fact Sheet sollte auch eine Warnung vor kommerziellen Produkten zur Abschirmung enthalten sowie Hinweise zur Verfahrensweise bei IEI. Da EMF nicht als kausaler Faktor für die IEI Symptome

etabliert werden konnte, wird im Hinblick auf weitere Forschung empfohlen, den Schwerpunkt auf die Untersuchung physiologischer Reaktionen zu legen. Bezüglich weiterer Details sei auf die entsprechende Homepage der WHO zu diesem Workshop verwiesen (http://www.who.int/peh-emf/meetings/hypersensitivity_prague2004/en/index.html), auf der die einzelnen Beiträge ebenso wie eine Zusammenfassung und der Bericht des Rapporteurs nachgelesen werden können.

Hingewiesen sei an dieser Stelle auch auf einen anderen kürzlich erschienen Review zum Thema EHS. Seitz et al. (2005) haben eine Literaturübersicht zum Thema elektromagnetische Hypersensitivität und subjektive gesundheitliche Beschwerden durch Mobilfunkkommunikation vorgelegt, in der die in den Jahren 2000 bis 2004 erschienen Arbeiten zu diesem Thema berücksichtigt wurden. Insgesamt erfüllten 13 Studien (7 Beobachtungsstudien und 6 experimentelle Studien) entsprechende Qualitätskriterien zum Einschluss in den Review. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass aufgrund methodischer Limitationen aus den wenigen epidemiologischen Beobachtungsstudien, die einen Zusammenhang zwischen Exposition und unspezifischen Symptomen einer beeinträchtigten Gesundheit gefunden haben, keine verlässlichen Schlussfolgerungen möglich sind, insbesondere können daraus keine kausalen Beziehungen abgeleitet werden.

Erwähnt sei an dieser Stelle auch noch einmal die in Kap. A 3.4 bereits erwähnte experimentelle Studie der Technischen Universität Graz, in der in einem Protektionsexperiment die Wirkung des Wegfalls der elektromagnetischen Exposition auf den Schlaf von Personen mit EHS untersucht wird. In der Studie, die unter dem Akronym EPROS (electrosensitives protected sleep) durchgeführt wird, wird in einem randomisierten doppelblinden Design der Schlaf in häuslicher Umgebung mit und ohne Abschirmung der elektromagnetischen Felder des Mobilfunkfrequenzbereichs am Schlafplatz der Probanden untersucht. In 11 möglichst konsekutiven Nächten werden Informationen zum Schlaf von Probanden mit EHS mittels EEG-, EOG- und EKG-Registrierung objektiv und mittels Fragebögen subjektiv erhoben. Die ersten zwei Nächte werden ohne Abschirmung untersucht, sie dienen der Adaptation. Danach folgen neun Nächte mit randomisierter Anordnung der Kontroll- und der abgeschirmten Versuchsbedingung. Für weitere Informationen siehe http://www.kht.tugraz.at/forschung_epros.html.

Abschließend sei eine deutsche Initiative zur Hilfe für Betroffene erwähnt. Als Anlaufstelle für Betroffene, d.h. für Personen, die sich durch „Elektrosmog“ gesundheitlich beeinträchtigt fühlen, wurde im Jahr 2003 das Projekt „Mainzer EMF-Wachhund“ unter Leitung von Joachim Schüz gestartet, das am 15. Januar 2005 abgeschlossen wurde (Mainzer EMF-Wachhund, Abschlussbericht 2005, Schüz et al. 2004, Schüz und Vollrath 2003). Gedacht war der Mainzer EMF-Wachhund als ärztlich-wissenschaftliche Anlaufstelle, primäres Nahziel war eine Quantifizierung des Problems durch eine landesweite Datenerhebung mittels Fragebogen. Bis zum 15. Januar 2005 gingen 204 Meldungen ein (103 Online und 99 postalisch). Von 189 Personen (90 Frauen und 99 Männer), die ihre gesundheitlichen Beschwerden auf Exposition mit elektromagnetischen Feldern zurückführten, waren ca. zwei Drittel im Alter zwischen 40 und 69 Jahren. Knapp zwei Drittel der Betroffenen (65%) leiden durchgängig an ihren Beschwerden, der Rest selten bis immer mal wieder. In der Stichprobe

bezeichnen sich 56% als „elektrosensibel“, während der Rest dies explizit verneinte (23%), sich nicht sicher ist (18%) oder keine Angabe dazu gemacht hat (8%). Hinsichtlich der Faktoren sehen 66% der gemeldeten Betroffenen die Ursache ihrer gesundheitlichen Beschwerden bei benachbarten Mobilfunkbasisstationen, 40% machen Mobiltelefone oder schnurlose Telefone verantwortlich. In Tab. 6 ist die Häufigkeit der sieben am häufigsten genannten Beschwerden dargestellt:

Die Tabelle macht deutlich, dass eine Beeinträchtigung des Schlafes die am häufigsten (53%) genannte Beschwerde ist, gefolgt von Müdigkeit und Konzentrationsstörungen (je 46%). Die Ergebnisse wurden auch auf dem WHO Workshop „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“ vorgestellt, der am 15. und 16. Juni 2005 in Genf stattgefunden hat (Neubauer et al. 2005).

Tab. 6 Häufigkeit der Nennung der am häufigsten auftretenden Beschwerden (n = 189 Probanden). Mehrfachnennungen waren möglich (aus Schüz und Vollrath 2003).

Beschwerden	Erheblich - Stark	Kaum - spürbar	Nicht/ keine Angabe
Schlafstörung	53%	25%	21%
Konzentrationsstörung	46%	34%	21%
Müdigkeit	46%	32%	22%
Mattigkeit	43%	30%	27%
Erschöpfung	37%	22%	41%
Vergesslichkeit	34%	34%	32%
Reizbarkeit	25%	46%	30%

A-0 Update der Literatur

In den folgenden Kapiteln wird ein Überblick der neuen Publikationen aus den Jahren 2005 bis 2007 gegeben. Insgesamt wurden drei Laborstudien (Hinrichs et al. 2005; Regel et al. 2006; Eltiti et al. 2007), vier Feldstudien (Hutter et al. 2006; Abdel-Rassoul et al. 2007; Heinrich et al. 2007; Leitgeb et al. 2007) und drei Umfragestudien in der Bevölkerung (Siegrist et al. 2005, Berg et al. 2006, Schreier et al. 2006) und zwei Umfragestudien unter Ärzten (Leitgeb et al. 2005, Huss et al. 2006) in das Update aufgenommen.

Die Human-Laborstudien, in denen der Einfluss elektromagnetischer Felder von Basisstationen untersucht wurde, sind in Kap. A-0 1 zusammengestellt. Die Feldstudien sind in Kap. A-0 2 dargestellt.

A-0 1 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen

Die Zahl der Untersuchungen zu möglichen Effekten von Mobilfunkbasisstationssignalen ist im Vergleich zur Anzahl der Studien, in denen der Effekt der Endgeräteexposition untersucht wird, nach wie vor gering.

A-0 1.1 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf.

Die bereits in Kap. A 6.1.1 ausführlich beschriebene Laborstudie von Hinrichs et al. (2005) zum Einfluss elektromagnetischer Felder, wie sie von Basisstationen ausgehen, auf den Schlaf ist inzwischen in der Somnologie publiziert worden und wird hier vollständigshalber noch einmal angeführt. Neue Studien, die einen möglichen Einfluss auf den Schlaf im Labor untersucht haben, sind nicht bekannt.

A-0 1.2 Human-Laborstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen auf die Befindlichkeit.

Eltiti et al. (2007) untersuchten den Einfluss elektromagnetischer Felder, wie sie von Basisstationen erzeugt werden, auf das Wohlbefinden bei 44 Personen, die sich selbst als „sensitiv“ bezeichneten und bei 114 Kontrollpersonen in einem doppelblinden Design. Die Gruppe der „sensitiven“ Probanden war signifikant jünger als die der Kontrollpersonen (46.1 ± 13.5 vs. 54.5 ± 15.23 Jahre), das Geschlechterverhältnis war vergleichbar (57% männlich). Eine weitere Ungleichheit bestand in der Häufigkeit chronischer Erkrankungen, die in der Kontrollgruppe signifikant größer war (38.3% vs. 21.4%). Die Befeldung erfolgte über eine Antenne, die 5m von den Probanden entfernt angebracht wurde, und durch eine Leinwand verdeckt war. Auf der Leinwand wurden die Instruktionen projiziert. Das GSM-Signal war ein kombiniertes Signal aus den 900 MHz und 1800 MHz Frequenzbändern,

welches sowohl einen Organisations- (886.8 MHz und 1877 MHz) - als auch Verkehrskanäle (888.8 MHz und 1879 MHz) beinhaltet, mit einer Leistungsdichte von 5mW/m^2 . Das UMTS-Signal hatte eine Frequenz von 2020 MHz mit einer Leistungsdichte von 10mW/m^2 . Es fanden insgesamt 4 Sessions statt, die im Abstand von mindestens einer Woche in einem zeitlichen Rahmen von ± 3 Stunden abgehalten wurden. Während die erste Session 15 Minuten lang dauerte und ohne Verblindung stattfand, wurden die folgenden drei unter doppelblinden Bedingungen mit einer Dauer von 50 Minuten durchgeführt. Bei allen Sessions beurteilten die Probanden ihr Wohlbefinden, das Auftreten von Symptomen und schätzten die Art der Befeldung ein. Zusätzlich wurden physiologische Kennwerte wie Puls- und Herzrate und Hautleitfähigkeit erhoben. Während der ersten, offenen Provokationsphase berichteten die sensitiven Personen ein geringeres Wohlbefinden sowohl unter GSM als auch unter UMTS im Vergleich zur Scheinbedingung. Die Kontrollpersonen gaben nur unter UMTS mehr Symptome im Vergleich zu Sham an. Unter doppelblinden Bedingungen wirkte sich eine Exposition mit GSM auf keine der beiden Gruppen aus. Unter UMTS bemerkten die sensitiven Probanden einen erhöhten Erregungszustand, der laut Autoren allerdings auf die Reihenfolge der Expositionen zurück zu führen sein dürfte. Unabhängig vom Expositionstyp war die Hautleitfähigkeit in der Gruppe der Sensitiven höher als in der Kontrollgruppe.

A-0 1.3 Schweizer Anschlussstudie zur holländischen TNO-Studie.

Die bereits unter Kap. A 6.1.3 erwähnte Schweizer TNO-Anschlussstudie wurde inzwischen von Regel et al. (2006) veröffentlicht. In dieser doppelblinden cross-over Studie wurden 84 Personen (43 Frauen, 41 Männer) untersucht, die sich selbst als „sensitiv“ gegenüber EMF bezeichneten sowie 33 „Nicht-sensitiv“ (14 Frauen, 19 Männer). Das Alter der Gesamtgruppe lag zwischen 20 und 60 Jahren mit einem Mittelwert von 38.7 ± 10.9 Jahren. Ca. eine Woche nach einer Basistestung fanden im Abstand von jeweils einer Woche die 3 Experimentalbedingungen statt, während der die Probanden unter einer von drei möglichen Expositionsbedingungen (Schein, UMTS 1 V/m, UMTS 10 V/m; SAR: 6.2 ± 1.8 und 620 ± 180 $\mu\text{W/kg}$ für 1 V/m und 10 V/m) sechs verschiedene kognitive Tests bearbeiteten und vier Fragebögen zur Befindlichkeit und Wahrnehmung der Feldstärke ausfüllten. Die Probanden wurden von hinten auf der linken Körperhälfte mit einer Antenne aus einer Entfernung von zwei Metern während 45 Minuten exponiert. Während dieser Zeit absolvierten sie alle Tests zweimal. Befindlichkeit und Wahrnehmung der Feldstärke korrelierten nicht mit dem aktuellen Expositionslevel. Unter Anwendung von gemischten linearen Modellen und eines Random Intercept Modells zeigte sich bei einer Feldstärke von 10V/m in der Gruppe der „Sensitiven“ im 2-Fach-Wahlreaktionstest im Gegensatz zur Sham und zur 1V/m Bedingung keine Abnahme der Bearbeitungsgeschwindigkeit. In der Gruppe der „Nicht-Sensitiven“ nahm die Genauigkeit der Bearbeitung im 1-Back Task unter 10V/m-Exposition ab. Diese Ergebnisse verloren nach Anwendung einer Bonferroni-Korrektur allerdings ihre Signifikanz.

A-0 2 Epidemiologische Studien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen

Epidemiologische Feldstudien zum Einfluss elektromagnetischer Felder von Mobilfunkbasisstationen liegen aus Deutschland (Heinrich et al. 2007), Österreich (Hutter et al. 2006; Leitgeb et al. 2007), und Ägypten (Abdel-Rassoul et al. 2007) vor. In einer Studie aus Deutschland (Berg et al. 2006) und zwei aus der Schweiz (Siegrist et al. 2005; Schreier et al. 2006) wurden Umfragen in der Allgemeinbevölkerung durchgeführt. Zur Erfahrung und Einstellung von Allgemeinmedizinern zum Thema Elektromog (Leitgeb et al. 2005) und Mobilfunkbasisstationen (Huss und Rössli 2006) wurden ebenfalls Umfragedaten publiziert.

A-0 2.1 Feldstudie aus Deutschland

Heinrich et al. (2007) untersuchten in einer Pilotstudie den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder einer UMTS-Mobilfunkbasisstation auf die Befindlichkeit und Elektrosensibilität von 95 Personen, die in unmittelbarer Umgebung („Sendeanlage auf Hauptgebäude“) arbeiteten während eines Untersuchungszeitraums von 3 Monaten (70 Arbeitstage). Die Mobilfunkantenne sendete ein UMTS-Signal mit mittlerer Frequenz von 2167,1 MHz, 5 MHz Bandbreite und mit einer Sendeleistung von ca. 20 W. Expositionsmessungen in den Arbeitsräumen ergaben Felder im Frequenzbereich von 60 kHz bis 2200 MHz. In einem doppelblinden Design wurde die Mobilfunkbasisstation im Abstand von ein, zwei oder drei Tagen ein- oder abgeschaltet. Mittels online-Fragebogen wurde bei Arbeitsbeginn und kurz vor Arbeitsende die Befindlichkeit anhand 21 Einzelsymptome erfasst, sowie die subjektive Einschätzung des jeweiligen Betriebszustands erfragt. Es zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen der tatsächlichen Exposition und dem Befinden, aber an Tagen mit schlechterem Befinden wurde eher vermutet, dass die Anlage in Betrieb sei.

A-0 2.2 Feldstudie aus Österreich

Die Ergebnisse einer österreichischen Pilotstudie aus dem Jahre 2002, die bereits ausführlich in Kap. A 6.2.2 beschrieben wurde, ist inzwischen publiziert worden (Hutter 2006).

Eine weitere Studie aus Österreich von Leitgeb et al. (2007), deren Vorarbeiten bereits in Kap. A 3.3 und Kap. A 3.4 erwähnt wurden, untersuchte den Einfluss von Mobilfunkbasisstationen auf die Schlafqualität von 44 Anwohnern, die unter chronischen Schlafstörungen litten und diese auf die Mobilfunksendeanlage zurückführten. In einem doppelblinden Studiendesign wurden die Personen in ihren Schlafzimmern in randomisierter Reihenfolge in 3 Nächten einmal mit einem Schirm abgeschirmt, einmal schein-abgeschirmt und einmal ohne Schirm untersucht. Immissionsmessungen konnten keine erhöhten Werte in den Schlafzimmern feststellen. Die Schlafqualität wurde mit zunehmender Immissionsstärke tendenziell besser bewertet. Bei 18% führte allein der Glaube an eine protektive Wirkung des Schirms zu einer subjektiv besseren Schlafqualität. Objektive Schlafparameter, die mit ambulanten Polygrafiegeräten erhoben wurden, wurden durch die Befeldung nicht beeinflusst.

A-0 2.3 Feldstudie aus Ägypten

In einer Studie, die in Menoufiya (Ägypten) durchgeführt wurde, wurden 37 Personen, die in einem Gebäude, auf deren Dach eine Mobilfunkbasisstation angebracht war, und 48 Personen, die in 10 m Entfernung auf der gegenüberliegenden Seite der Anlage arbeiteten mit Fragebögen zu demografischen Daten und Persönlichkeitsfaktoren untersucht, und einer allgemeinen und neurologischen Untersuchung, sowie einer Testbatterie unterzogen (Abdel-Rassoul et al. 2007). Als Kontrollgruppe dienten 80 Angestellte, die in 2 km Entfernung arbeiteten. Die Häufigkeit neuropsychiatrischer Symptome von Kopfschmerzen, Gedächtnisveränderungen, Schwindel, Tremor, depressiven Symptomen und Schlafstörungen war in der Gruppe der exponierten Personen signifikant höher und die Leistung in manchen Tests schlechter in anderen besser als in der Kontrollgruppe. Die Autoren schließen daraus, dass die Testbatterie gut geeignet sei, biologische Effekte, die von Mobilfunkbasisstationen ausgehen, zu einem frühen Zeitpunkt zu erfassen und fordern eine Revision der gesetzlichen Bestimmungen. Die Studie weist erhebliche Mängel auf. So fehlen konkrete Angaben zur Expositionsmessung, die präsentierten Expositionswerte wurden lediglich zu Beginn der Studie im Jahr 2000 auf dem Dach des Gebäudes erhoben. Die Untersuchungen der Personen fanden allerdings wesentlich später von März bis Dezember 2003 statt. Weder im Gebäude, noch gegenüber noch bei der Kontrollgruppe wurden Immissionsmessungen durchgeführt. Wann, wie und wo die Personen an den Leistungstests teilnahmen ist nicht beschrieben. So auch nicht, ob die untersuchenden Personen über den Status der Probanden („exponiert“ oder „nicht exponiert“) unterrichtet waren oder nicht. Damit sind die Aussagen dieser Studie mehr als begrenzt.

A-0 2.4 Umfragestudie aus Deutschland (Bevölkerung)

Im Zwischenbericht der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit in Auftrag gegebenen *Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch Felder von Mobilfunkbasisstationen* von Berg et al. (2006), deren Pilotstudie und Ziele bereits ausführlich in Kap. A 6.2.4 dargestellt wurden, wurden Ergebnisse von 30.047 interviewten Personen präsentiert. In einem bevölkerungsrepräsentativen Ansatz wurden Personen im Alter von 14 bis 69 Jahren befragt und die Standortdaten sämtlicher genehmigungspflichtiger Mobilfunkbasisstationen durch die Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post analysiert. 46.5% der deutschen Haushalte liegen demnach außerhalb eines Umkreises von 500 m einer Mobilfunkbasisstation. Die Besorgnis der Befragten zeigte ein deutliches Nord-Süd-Gefälle, mit dem geringsten Prozentsatz an subjektiver Beeinträchtigung in Mecklenburg-Vorpommern (6.2%) und der höchsten Rate in Bayern (13.0%). Die Sorge bzw. gesundheitliche Beeinträchtigung steigt mit der Nähe einer Basisstation und mit höherer Schulbildung und ist am höchsten in der Altersgruppe der 30 bis 50-Jährigen. Der Beschwerdescore (38 Beschwerden, die auf einer 4-stufigen Skala bewertet wurden) ist bei Frauen, Geschiedenen oder Getrennt Lebenden, bei steigendem Haushaltseinkommen und in unmittelbarer Nähe zu einer Mobilfunkbasisstation höher. Genauere Analysen der technischen Charakteristika der Sendeanlagen sind noch in Auswertung, weiters ist eine Messung der tatsächlichen Expositionssituation der Befragten geplant, da die Entfernung keine ausreichende Information über das Ausmaß der Exposition zulässt.

A-0 2.5 Umfragestudien aus der Schweiz (Bevölkerung)

Siegrist et al. (2005) befragten 1015 Deutsch- und Französisch-Schweizer in Telefoninterviews zur Risikowahrnehmung elektromagnetischer Felder von Mobiltelefonen, Mobilfunkbasisstationen und sechs anderer EMF-Quellen. Als risikoreichste Quelle wurden Hochspannungsleitungen genannt, gefolgt von Mobilfunkbasisstationen und Mobiltelefonen. Das Risiko wurde höher eingeschätzt, wenn der Handygebrauch seltener war, der Nutzen geringer bewertet wurde und von Personen, die weniger Vertrauen in die verantwortlichen Behörden hatten. Personen, die an paranormale Phänomene glauben und daran, dass die meisten Chemikalien Krebsverursacher seien, schätzten das Risiko ebenfalls höher ein, als solche die davon nicht überzeugt waren.

Eine weitere Studie aus der Schweiz, die 2006 von Schreier et al. publiziert wurde, untersuchte ebenfalls die Risikowahrnehmung gegenüber EMF in der Schweizer Allgemeinbevölkerung (Alter > 14 Jahre) anhand von 2048 Telefoninterviews. 5% der Befragten gaben an, hypersensitiv gegenüber elektromagnetischen Feldern zu sein. Die am häufigsten genannten Beschwerden unter diesen Hypersensitiven waren mit 43% Schlafstörungen, gefolgt von Kopfschmerzen mit 34%. Als Verursacher wurden v.a. Hochspannungsleitungen und Mobiltelefone genannt. 53% sorgten sich über Gesundheitsbeeinträchtigungen durch EMF ohne jedoch ihre eigenen Beschwerden darauf zurückzuführen.

A-0 2.6 Umfragestudie aus Österreich (Allgemeinmediziner)

Nur ein Drittel der ca. 200 befragten Allgemeinmediziner aus einer österreichischen Studie von Leitgeb et al. (2005) gab an, noch nie von ihren Patienten zum Thema Einfluss von „Elektrosmog“ auf die Gesundheit angesprochen worden zu sein. Bis zu 96% der Befragten gab an, dass Elektrosmog zumindest teilweise eine gesundheitsrelevante Rolle spielt. Lediglich 4% sagten, dass sie Informationen zu diesem Thema von den zuständigen Behörden erhalten haben. Das Wissen über Grenzwerte war entsprechend gering. Leitgeb et al. (2005) sehen dringenden Aufklärungsbedarf der Ärzteschaft, da diese die Anlaufstellen für Patienten in dieser Thematik seien.

A-0 2.7 Umfragestudie aus der Schweiz (Allgemeinmediziner)

In einer Umfrage unter 342 praktischen Ärzten in der Schweiz (Huss und Rösli 2006) gaben 69% an, bereits von mindestens einem Patienten zum Thema EMF konsultiert worden zu sein. Dabei wurden Schlafstörungen, Kopfschmerzen und Abgeschlagenheit als die häufigsten Symptome berichtet und Basisstationen, Hochspannungsleitungen und der Gebrauch von Mobilfunktelefonen als Quellen dieser Beeinträchtigungen genannt. Nach Einschätzung der Ärzte seien diese Zusammenhänge in 54% der Fälle plausibel. Die Autoren schlossen daraus, dass die Ärzte aufgrund der wissenschaftlichen Ungewissheit präventive Positionen einnehmen würden.

B Beschreibung der Studie

B 1 Ziele und Hypothesen

Die Übersicht der Publikationen der letzten Jahre zum Thema Mobilfunkbasisstationen zeigt eine anhaltende Verunsicherung nicht nur innerhalb eines Teils der Allgemeinbevölkerung sondern auch in der Ärzteschaft, die häufig mit Beschwerden, die von Patienten als Folge elektromagnetischer Einflüsse geäußert werden, konfrontiert wird. An erster Stelle findet sich am häufigsten ein Klagen über Schlafstörungen, welches v.a. auf die Nähe von Mobilfunkbasisstationen zurückgeführt wird.

2006 wurde die letzte der seit 2003 durchgeführten Befragungsreihe zur „Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks“ durchgeführt. Es wurden 2500 Personen einer repräsentativen Stichprobe aus der deutschen Bevölkerung ab einem Alter von 14 Jahren telefonisch interviewt. Die Ergebnisse dieser Umfrage stimmten mit jenen der Vorjahre sehr gut überein. Allgemein betrachtet nahm die Besorgtheit der Bevölkerung gegenüber möglicher Gefahren, die von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern des Mobilfunk ausgehen könnten, im Vergleich zu 2005 von 30% zwar auf 27% ab, dieses Ergebnis war aber statistisch nicht signifikant. Die Besorgtheit war gegenüber Mobilfunksendeanlagen nach wie vor größer (26% ziemliche oder starke Sorgen) als gegenüber Handys (17% ziemliche oder starke Sorgen). Das Gefühl der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch hochfrequente elektromagnetische Felder des Mobilfunks sank von 10% in 2005 auf 9% in 2006. An zweiter Stelle tatsächlicher oder befürchteter gesundheitlicher Beeinträchtigungen wurden - wie auch in den Jahren 2004 und 2005 - Schlafprobleme mit 11% genannt. Sie rangieren hinter Kopfschmerzen und Migräne, welche mit 17% in 2006 an erster Stelle stehen.

Zusammenfassend bedeutet das, dass sich nach wie vor mehr als ein Viertel der Bevölkerung Sorgen wegen der Auswirkung von EMF macht und dass konstant 11% in den jährlichen Umfragen des infas Instituts angeben, unter Schlafproblemen als Folge von EMF zu leiden bzw. befürchten, dass EMF zu Schlafstörungen führen könnten.

Ziel des Vorhabens ist, in einer Doppelblind-Studie den Einfluss hochfrequenter elektromagnetischer Felder von Basisstationen des Mobilfunks auf die Schlafqualität der Bevölkerung zu untersuchen.

Die Relevanz des Zielparameters Schlaf ergibt sich daraus- wie oben ausführlich dargestellt- dass ein gestörter Schlaf die am häufigsten genannte Beschwerde im Zusammenhang mit einer Exposition durch Mobilfunksignale ist. Zum anderen ist der Schlaf ein sehr komplexer biologischer Prozess, der vom Zentralen Nervensystem kontrolliert wird. Er ist ein gut definierter biologischer Zustand, der sensitiv auf externe Einflüsse reagiert, und er ist somit ein geeignetes Modell, um mögliche Effekte elektromagnetischer Felder auf das Zentrale Nervensystem zu untersuchen.

Als primäre Zielgröße soll der Schlafeffizienz-Index (SEI) herangezogen werden, als sekundäre Zielvariablen gelten die übrigen in Tab. 7a und 7b aufgeführten quantitativen Schlafparameter. Der Schlafeffizienz-Index, der die Gesamtschlafzeit in der Nacht im Verhältnis zur Bettzeit (Registrierdauer) ausdrückt, wurde als primäre Zielgröße ausgewählt, da die Machbarkeitsstudie zum beantragten Projekt gezeigt hat, dass dieser Index a) ein Merkmal ist, das von Nacht zu Nacht innerhalb einer Person vergleichsweise wenig schwankt und b) subjektiv empfundene Unterschiede in der Schlafqualität besonders gut widerspiegelt. Letzteres zeigt sich in statistisch signifikanten Unterschieden im Schlafeffizienz-Index zwischen „guten“ und „schlechten“ Schläfern, die mit dem Pittsburgh Sleep Quality Index gefunden wurden.

Tab. 7a Objektive Schlafparameter

Objektive Schlafparameter	Berechnung (Die Definitionen stammen aus der Bedienungsanleitung der automatischen Analyse von Somnomedics, Version 23.5.2005.)
Primäre Zielgröße	
SEI objektiv Sleep Efficiency Index	Objektive Schlafeffizienz (in %): TST/TIB * 100
Sekundäre Zielgrößen	
TIB objektiv Time in Bed	Objektive Bettzeit: Zeit zwischen dem "Licht aus" und dem "Licht an" Marker
TST objektiv Total Sleep Time	Objektive Gesamtschlafzeit: Zeit zwischen dem „Licht aus“- und dem „Licht an“-Marker abzüglich der „Wach-Phasen“
SOL1 Sleep Onset Latency 1	Objektive Einschlaflatenz Stadium 1: Zeit zwischen dem „Licht aus“-Marker und dem Beginn des Schlafstadiums 1 (Stadium 1 muss mindestens 2 Epochen vorliegen)
SOL2 Sleep Onset Latency 2	Objektive Einschlaflatenz Stadium 2: Zeit zwischen dem „Licht aus“-Marker und dem Beginn des Schlafstadiums 2 (Stadium 2 muss mindestens 1 Epoche vorliegen)
W Wachdauer objektiv	Objektive Wachdauer in Minuten bezogen auf TIB
WP Wachanteil	Objektiver Wachanteil in Prozent bezogen auf TIB

Tab. 7b Subjektive Schlafparameter

Subjektive Schlafparameter	Berechnung (Die Daten stammen aus den Morgen- und Abendprotokollen.)
Primäre Zielgröße	
SEI subjektiv Sleep Efficiency Index	Subjektive Schlafeffizienz (in %): TST/TIB * 100
Sekundäre Zielgrößen	
VAS Erholbarkeit	Visuelle Analogskala für Erholbarkeit: Niedrige Werte bedeuten eine größere Erholbarkeit (Minimum: 1 – Maximum: 100)
TIB subjektiv Time in Bed	Subjektive Bettzeit: Zeit von "Licht aus" bis "Wann sind Sie heute Morgen endgültig aufgestanden?"
TST subjektiv Total Sleep Time	Subjektive Gesamtschlafzeit: „Wie lange haben Sie insgesamt geschlafen?“
SOL Sleep Onset Latency	Subjektive Einschlafzeit: „Wie lange hat es anschließend [ab Zubettgehen] gedauert, bis Sie einschliefen?“
W Wachdauer subjektiv	Subjektive Wachdauer (in Minuten): „Wie lange waren Sie nachts wach?“

Es wird die Hypothese aufgestellt, dass sich die Schlafeffizienz in Nächten mit Exposition von der in Nächten ohne Exposition unterscheidet. Entsprechende Hypothesen werden auch für die übrigen Zielvariablen, d.h. die übrigen quantitativen Schlafparameter aufgestellt. Für Details zur statistischen Datenanalyse sei auf Kap. B 6.4 verwiesen.

B 2 Studiendesign

Da die epidemiologische Terminologie zur Charakterisierung der geplanten Studie im engeren Sinne nicht zutrifft, wird sie im Folgenden in Anlehnung an die Terminologie klinischer Studien als doppelblinde placebo-kontrollierte Studie mit cross-over Design beschrieben. Bei allen Studienteilnehmern wird der Schlaf sowohl unter der Verum-Situation (EMF-Exposition) als auch unter der Placebo-Situation (keine EMF-Exposition) untersucht (placebo-kontrollierte Studie). Ein Vorzug des cross-over Designs ist, dass jeder Studienteilnehmer seine eigene Kontrolle ist. Dies ist insbesondere deshalb wichtig, weil Schlafparameter eine im Vergleich zur intraindividuellen Variabilität deutlicher ausgeprägte interindividuelle Variabilität aufweisen (vgl. Abb. 12).

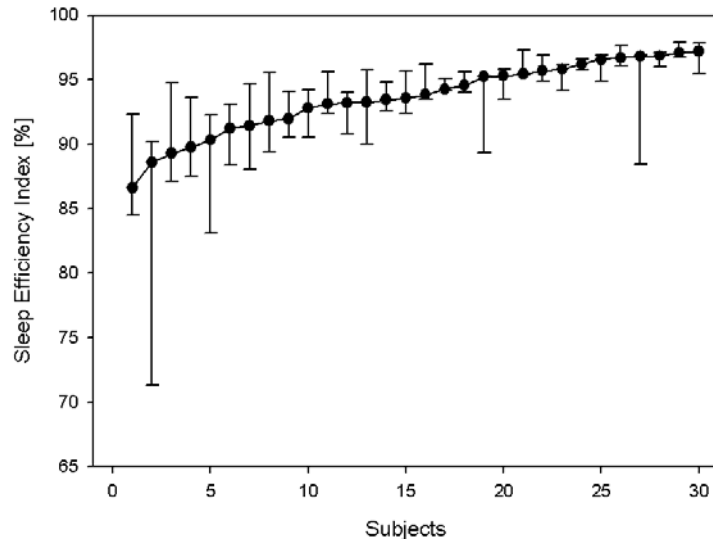


Abb. 12 Inter- und intraindividuelle Variation der Schlaffeffizienz bei n=30 männlichen Individuen, die insgesamt je dreimal polysomnografisch abgeleitet wurden.

Da weder die Studienteilnehmer noch die Studienmitarbeiter wussten, wann der Schlaf unter Expositionsbedingungen und wann er unter der Bedingung „nicht exponiert“ untersucht wurde, ist die Studie doppelblind. Als weitere Maßnahmen zur Sicherstellung der Blindung wurden:

- Indiskretionen vermieden, insbesondere an die Medien (dazu diente u.a. auch, dass die Mitarbeiter für die Expositionsbedingung blind waren)
- emotional nicht belastete Gebiete ausgewählt (siehe auch B 2.1)
- standortspezifische randomisierte Expositionsmuster gewählt (vgl. B 4.2)
- am Tag stets Sham-exponiert.

Die Untersuchungsbedingungen „exponiert“ und „nicht exponiert“ wurden durch Einsatz einer speziell für die Studie konfigurierten mobilen Mobilfunkbasisstationen realisiert. Die Einrichtung einer solchen Station war aufwändig, aber Grundvoraussetzung für konstante Expositionsbedingungen und eine doppelblinde Studiendurchführung. Eine Kooperation mit den Betreiberfirmen der Anlagen war deshalb zwingend notwendig (vgl. B 4.2).

B 2.1 Standortauswahl

Potenziell geeignete Studienorte mussten folgende Kriterien erfüllen:

- keine Mobilversorgung (durch **keinen** der Netzanbieter)
- nur schwache andere Hochfrequenzfelder (TV etc.)
- keine emotionale EMF-Diskussion im Vorfeld der Studie

Standorte, an denen es in der Vergangenheit heftige Auseinandersetzungen zwischen den Mobilfunkbetreibern und Anwohnern gegeben hat und an denen zu befürchten war, dass eine ergebnisoffene Kooperation der Teilnehmer nicht gewährleistet sei, sollten nach Möglichkeit nicht berücksichtigt werden. Allerdings gab es unter den tatsächlich eingeschlossenen Standorten einen Ort, an dem im Vorfeld heftige emotionale Diskussionen innerhalb der Bevölkerung geführt wurden. An diesem Standort ist es gelungen, durch eine ausführliche Information über die Studienziele die Bevölkerung von einer wissenschaftlich und nicht interessengeleiteten Studiendurchführung zu überzeugen, so dass schließlich Mobilfunkgegner und Mobilfunkbefürworter gleichermaßen an der Studie teilnahmen.

Zur Identifikation geeigneter Standorte wurde zum einen die Internetseite www.keinnetz.de konsultiert. Zum anderen wurde auf persönliche Erfahrungen/Kenntnisse von Mitarbeitern der Arbeitsgruppe, Freunden und Verwandten zurückgegriffen. Die erfolgreichste Methode zur Identifikation potenziell geeigneter Standorte war jedoch das Aufsuchen von Orten auf der Landkarte. Es wurde nach Orten in Tal-Lage gesucht, zu denen es nur eine Zufahrt gab. Orte, die dieses Charakteristikum aufweisen, erfüllen in aller Regel zumindest das Kriterium eines nicht mit Mobilfunk versorgten Ortes. Das weitere Prozedere der Standortrekrutierung ist in Abb. 13 schematisch zusammengefasst.

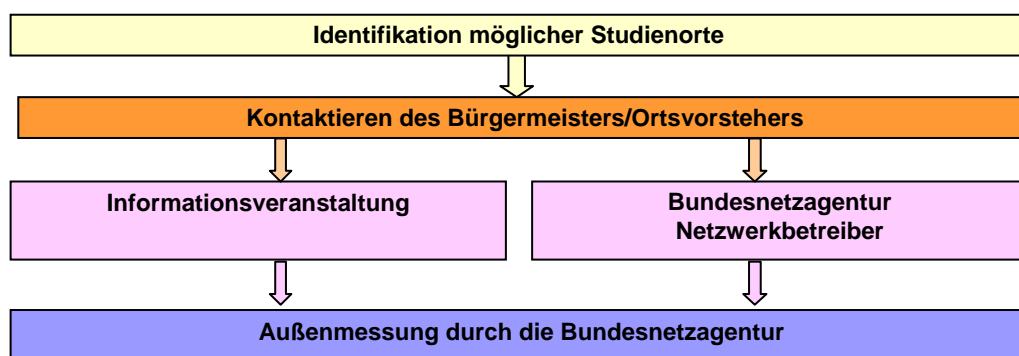


Abb. 13 Vorgehen zur Rekrutierung geeigneter Standorte

Nach Identifikation von potenziell geeigneten Orten wurde der Bürgermeister/Ortsvorsteher telefonisch kontaktiert und über unser Anliegen ausführlich informiert. Gleichzeitig wurde in diesem Telefonat abgefragt, ob das Kriterium einer nicht bestehenden Mobilfunkversorgung wirklich erfüllt war. Interessierte Bürgermeister / Ortsvorsteher erhielten schriftliche Informationen zur Studie, die sie dann mit ihren Kollegen in den lokalen politischen Verwaltungseinheiten (Ortsrat) diskutierten. Nachdem der

Ortsrat der Durchführung der Studie zugestimmt hatte wurden alle Einwohner des Ortes zu einer Informationsveranstaltung eingeladen, wobei Termin und Veranstaltungsort mit dem Bürgermeister/Ortsvorsteher vorher abgestimmt wurden. Eine für die Haushalte des Ortes ausreichende Anzahl von Einladungen wurde an die Bürgermeister/ Ortsvorsteher verschickt, die dann lokal die Verteilung (durch den Zeitungsaussträger, einen Schüler o.a.) übernommen haben.

Parallel zur Organisation der Informationsveranstaltung wurde die Bundesnetzagentur (BNetzA) kontaktiert, mit der Bitte, zu überprüfen, ob das zweite Kriterium, dass Studienstandorte erfüllen mussten, nämlich eine nur schwache Präsenz anderer Hochfrequenzquellen, erfüllt war. Darüber hinaus informierte die BNetzA uns über den ihr bekannten Stand der Mobilfunkversorgung an einem potenziellen Standort. Gleichzeitig mit der Bundesnetzagentur wurden auch die vier Betreiberfirmen (T-Mobile, Vodafone, E-Plus und O2) kontaktiert. Unsere zentralen Ansprechpartner wurden um Informationen zur aktuellen Netzversorgung gebeten sowie um Informationen über einen geplanten Netzausbau in der Region in den kommenden sechs Monaten; beide Informationen mussten von den jeweils regionalen Firmenvertretungen eingeholt werden.

Auf den Informationsveranstaltungen, an denen durchschnittlich 15 bis 20 Personen teilnahmen, wurden die Bewohner über Hintergründe und Ziele der Studie (einschließlich einiger Grundlagen zum Thema Schlaf) sowie über den geplanten Ablauf der Studie (siehe auch Kap. B 5) informiert, wobei es ausreichend Zeit für Diskussionen gab. Diese Veranstaltungen wurden mit wenigen Ausnahmen von der Studienleitung (Heidi Danker-Hopfe und Hans Dorn) durchgeführt, in wenigen Fällen von einem der beiden gemeinsam mit einer anderen Studienmitarbeiterin. Die Teilnehmer an der Informationsveranstaltung wurden darüber aufgeklärt, dass die Studie nur dann in ihrem Ort durchgeführt werden könne, wenn sich mindestens 30 Einwohner zur Teilnahme bereit erklärten, die die in Kap. B 3 aufgeführten Kriterien erfüllten. Bei weniger als 30 Teilnehmern war der enorme mit der Studie verbundene personelle und Kostenaufwand nicht zu rechtfertigen. Bei mehr als 40 Freiwilligen wurde die Datenerhebung vor Ort auf zweimal zwei Wochen ausgedehnt. In einem Durchgang konnten aufgrund der begrenzten Anzahl zur Verfügung stehender Registriergeräte maximal 36 Personen teilnehmen.

In drei Orten stellte sich vor bzw. nach der Informationsveranstaltung heraus, dass sie für eine Studienteilnahme nicht geeignet waren. In einem Ort gab es eine heftig emotional geführte Diskussion um einen Amateurfunker, in einem weiteren Ort Mobilfunkversorgung und in einem weiteren Ort wurde die Mindestteilnehmerzahl nicht erreicht.

In allen anderen Orten hatten die interessierten Einwohner nach der Informationsveranstaltung Zeit, ihre Mitbürger durch Mund-zu-Mund-Propaganda (in Sportvereinen, Chören, der Freiwilligen Feuerwehr etc.) für eine Studienteilnahme zu gewinnen. Nach zwei bis vier Wochen wurde uns mitgeteilt, ob die Rekrutierungsbemühungen vor Ort erfolgreich waren. Lediglich in einem Ort war das nicht der Fall. In den übrigen Orten wurde uns eine Liste mit den Namen, Anschriften und Telefonnummern der an einer Studienteilnahme interessierten Bewohner zur Verfügung gestellt. In Absprache mit dem Bürgermeister/Ortsvorsteher wurde dann ein Termin für das Ausfüllen der

Einmalfragebögen und der Einverständniserklärung (siehe Kap. B 5) vereinbart. Dieser Termin lag ca. eine Woche vor Beginn der Datenerhebung vor Ort (siehe Ablaufplan Studie als Schema in Kap. B 5).

Wenn sich ein Ort nach diesem Procedere für die Studiendurchführung qualifizierte, wurde vor Beginn der Studiendurchführung vor Ort, d.h. vor dem Ausfüllen der Einmalfragebögen und der Einverständniserklärung, die Bundesnetzagentur gebeten, einmalig einige Außenmessung durchzuführen, um sicherzustellen, dass der Ort nicht nur nach aktenskapendiger Datenlage, sondern auch nach aktuellen Messungen für eine Studienteilnahme geeignet war (siehe Kap. B 2.2).

Schließlich konnte die Studie in den in Abb. 14 dargestellten zehn Orten durchgeführt werden.



Abb. 14 Regionale Verteilung der Orte, in denen die Studie durchgeführt wurde.

Es handelt sich um Studienorte aus insgesamt fünf Bundesländern. In Niedersachsen und Schleswig-Holstein konnte je ein geeigneter Standort gefunden werden, in Bayern und Thüringen je zwei und in Hessen gleich vier. In den übrigen Bundesländern konnten mit der von uns verwendeten Methodik keine geeigneten Standorte identifiziert werden. Gleichzeitig wären bei einer größeren geografischen Streuung die Kosten für den Transport der Expositionseinrichtung um ein Vielfaches höher gewesen und hätten das Budget der Studie gesprengt.

B 2.2 Außenmessung durch die Bundesnetzagentur

Die vorliegende Studie hatte das Ziel, eventuelle Auswirkungen der Exposition durch elektromagnetische Felder von Mobilfunkbasisstationen auf den Schlaf der Anwohner zu untersuchen. Dies sollte im normalen Lebensumfeld der Menschen mit möglichst geringen durch das Experiment verursachten Veränderungen der Lebensführung geschehen. Damit die Mobilfunk-Immisionen während der Nachtstunden tatsächlich durch das Experiment gesteuert werden konnten, ließ sich, da der normale Betrieb vorhandener Basisstationen aus verschiedenen Gründen nicht unterbrochen werden kann, das Experiment nur mit einer experimentellen Basisstation durchführen, und zwar an Orten, die praktisch keine oder eine sehr schlechte Mobilfunkversorgung haben. Siedlungsgebiete mit dieser Bedingung sind in Deutschland bereits sehr selten. Wünschenswert war außerdem, dass die an den Studienorten durch Rundfunk oder sonstige Funkdienste vorliegenden elektromagnetischen Immisionen schwach gegenüber der experimentellen Mobilfunkexposition waren. Ist diese Bedingung erfüllt, so kann erwartet werden, dass die Studie empfindlich gegenüber den eventuellen Auswirkungen der Mobilfunkexposition ist.

Für die zunächst wegen geografischer Eigenschaften oder nach persönlicher Kommunikation identifizierten potentiellen Studienorte (siehe Kap. B 2.1) wurde hinsichtlich der Einschränkung einer Eignung infolge von zu erwartenden Fremdimmissionen jeweils eine Einschätzung durch die Bundesnetzagentur gegeben. Dies geschah anhand von Datenbanken über Funksendeanlagen. Zusätzlich gaben die Mobilfunk-Netzbetreiberfirmen Informationen zu Mobilfunkanlagen, die für die potentiellen Studienorte relevant sein konnten. Gab es danach keine grundsätzlichen Bedenken gegen den potentiellen Studienort, führte die Bundesnetzagentur zur Dokumentation der tatsächlich anzutreffenden Immissionen an jedem Studienort eine Außenmessung an einem repräsentativen mittleren Punkt im Ort durch. Hierfür wurde jeweils die geplante Position der experimentellen Basisstation genutzt.

Zur Anwendung kam- wie bei routinemäßigen Immissionsschutzmessungen der Bundesnetzagentur üblich- die Messvorschrift RegTP MV EMF 03 (Ausgabe Februar 2003). Das Verfahren ist so gestaltet, dass die maximal mögliche Summe der Immissionen erfasst wird (worst case). An allen Studienorten wurde die sehr schwache bzw. überhaupt nicht vorhandene Mobilfunkversorgung deutlich. Gleichzeitig war festzustellen, dass eine Grundversorgung mit Rundfunk in empfangswürdigen Feldstärken praktisch überall gegeben war. Daraus resultiert, dass es nicht möglich war, für alle Probanden in der Studie ein Feldstärkeverhältnis von 100:1 (=40 dB) zwischen Verum-Exposition und der Summe der Fremdsignale zu erreichen, wenn der Rundfunk einbezogen wurde (vgl. Kapitel C 1.13). Was den Mobilfunk betrifft, war jedoch davon auszugehen, dass die Sham-Exposition im Sinne des Experiments vernachlässigbar ist. Signale von DECT Schnurlostelefonen waren in allen Orten nachweisbar. Die Geräte wurden während des Untersuchungszeitraums gegebenenfalls ersetzt (vg. Kap. B5).

B 3 Studienpopulation

Es wurden die Mitglieder **aller** Haushalte geeigneter Studienorte zur Teilnahme an einer Informationsveranstaltung eingeladen. Teilnehmen konnten alle Personen mit vorhandener Einwilligungsfähigkeit deren Alter zumindest 18 Jahre (definiert als: 18.0 Jahre \pm 6 Monate) betrug. Sofern das 18. Lebensjahr noch nicht vollendet war, mussten die Eltern ihre Zustimmung schriftlich bekunden. Das beim Bundesamt für Strahlenschutz eingereichte Studienprotokoll sah vor, dass nur Personen teilnahmen, deren Wohnort \leq 500 m vom (möglichen) Standort der mobilen experimentellen Basisstation entfernt war. Da in den kleinen Studienorten nur sehr wenige interessierte Teilnehmer in einem größeren Abstand von der mobilen Basisstation wohnten (siehe Kap. C 1.12), wurden im Interesse einer guten Compliance der Bevölkerung insgesamt zunächst alle Freiwilligen - ungeachtet der Distanz des Wohnortes - berücksichtigt. Teilnehmer, die in mehr als 500 m Entfernung von der experimentellen Basisstation lebten wurden im Nachhinein von der weiteren expositionsbezogenen Datenauswertung ausgeschlossen (vgl. Kap. C 1.2). Zumindest hinsichtlich der Faktoren Alter und Geschlecht konnte die Repräsentativität der Stichprobe durch einen Vergleich mit den Einwohnerstatistiken überprüft werden (Kap. C 1.1).

B 4 Technische Rahmenbedingungen

B 4.1 Ausstattung der mobilen experimentellen Basisstation

Für die Studie wurde eine mobile Basisstation aus dem Disaster-Recovery-Management der Firma T-Mobile eingesetzt, die für die experimentellen Erfordernisse der Studie speziell konfiguriert wurde. Die Arbeiten zur Vorbereitung der Station für den Einsatz im Experiment sowie die Transporte und den jeweiligen Auf- und Abbau der Station und die Inbetriebnahme an den Studienorten übernahm die Firma T-Mobile.

Die mobile Basisstation beinhaltete in einem 10-Fuß-Container eine GSM 900 BTS und eine GSM 1800 BTS, eine Lüftungsanlage und eine Stromversorgung inkl. Akkupufferung für unterbrechungsfreien Betrieb bei kurzfristigen Netzausfällen. Der Container verfügte über einen Teleskop-Antennenmast, an dem jeweils zu den Einsätzen drei kombinierte 900 MHz / 1800 MHz – Sektorantennen in einer Höhe von ca. 10 m montiert wurden.

Die Ausstattung des Containers wurde für den Einsatz im Experiment durch weitere Geräte ergänzt: Für GSM 900 und GSM 1800 wurde je ein zusätzlicher GSM - Signalgenerator und ein Leistungsverstärker eingesetzt, deren Hochfrequenzsignale über Combiner zu den Sendesignalen der BTS hinzugefügt wurden. In die Antennenleitungen wurden für jeden Sektor Hochfrequenz-Leistungsrelais eingefügt, die mit Lastwiderständen verbunden waren. Mit dieser Anordnung konnten, durch eine Schaltspannung gesteuert, die BTS wahlweise mit den Antennen oder mit den Lastwiderständen verbunden werden. Somit konnte ohne eine Veränderung am laufenden Betrieb der BTS sowie der zusätzlichen Signalgeneratoren und Leistungsverstärker ein Ein- und Ausschalten der

experimentellen Exposition erfolgen. Zur Stromversorgung der Relais wurden Universalnetzgeräte eingesetzt. Zusätzlich wurden hinter den Relais auf der Antennenseite noch Richtkoppler eingefügt. Sie ermöglichten an ihrem Abzweig eine Überwachung der über die Antennen gesendeten Signale.

Für die Erfordernisse der Studie wurde eine Einrichtung zur doppelblinden Expositionssteuerung und zur Eigenüberwachung der experimentellen Basisstation von der Charité Universitätsmedizin entwickelt, aufgebaut und im Container integriert. Diese Einrichtung bestand aus zwei Laptops, einem speziellen Steuer- und Messinterface, einem Drucker sowie zugehörigen Kabeln und Netzgeräten.

Das Steuer- und Messinterface beinhaltete Ansteuerschaltungen und ein Miniaturrelais zum Schalten der Hochfrequenz-Leistungsrelais, eine Schaltstufe zur Zustandssignalisierung, einen 3-Kanal-Hochfrequenz-Pegelmesser und einen Spannungsmesser für die Stromversorgung. Der Pegelmesser war mit logarithmischen Gleichrichtern Analog Devices AD 8313 aufgebaut und arbeitete breitbandig von 0,1 bis 2500 MHz für Pegel von -65dBm bis -5dBm. Mit vorgeschalteten Dämpfungsgliedern 40dB lag der vorkommende Dynamikumfang an den Abzweigen der Richtkoppler sicher in diesem Bereich. Die Verbindung zum Computer erfolgte über einen einfachen Centronic Parallelport und einen USB-Anschluss zur Stromversorgung. Der Drucker wurde über eine serielle Verbindung vom Computer angesteuert. Die Signalisierung der ordnungsgemäßen Arbeitsweise der Anlage erfolgte über eine außen am Container angebrachte Leuchtdiode.

Die Computer arbeiteten mit Linux Debian Sarge, die Software war mit GNU C erstellt, ergänzt durch einige Shellscripte. Die gesamte Installation war mit den zwei Laptops doppelt vorhanden und so gestaltet, dass durch einfaches Umstecken des Interface und des Druckers im Falle eines Computerausfalls jederzeit ohne weitere Schritte der Weiterbetrieb erreicht werden konnte. Für den Betrieb der Expositionssteuerung und Eigenüberwachung war vor Ort, abgesehen vom Einschalten der Geräte, keine weitere Bedienung erforderlich.

Die Expositionssteuerung schaltete in den Wochen der Schlafmessung entsprechend der von Dr. Peter Schlattmann (Biometriker) vorgegebenen Randomisierungstabelle für einige Nächte abends ein und morgens aus. Die Ein- und Ausschaltzeitpunkte wurden gleich verteilt zufällig in den Intervallen 21:15 Uhr +/- 15 min bzw. 09:30 Uhr +/- 15 min festgelegt. Im Zeitraum vor den Schlaf-Messwochen wurde an einigen Tagen für die Expositionsmessungen bei den Probanden eingeschaltet. Einschaltzeiten gab es weiterhin jeweils für Tests während des Aufbaus der Station.

Die kalendarischen Informationen über den konkreten Ablauf der Studie waren in Konfigurationsdateien enthalten und mussten bei logistischen Modifikationen geändert werden. Bei diesen Anlässen wurden auch sicherheitshalber Protokolle archiviert. Ansonsten lief die Steuerung und Überwachung automatisch ohne Intervention.

B 4.2 Technische Überwachung der Expositionsanlage

Die Eigenüberwachung überprüfte im 5-Sekunden-Rhythmus:

- die Netzstromversorgung
- die Verbindung zum Steuer- und Messinterface
- die Stromversorgung des Steuer- und Messinterface
- Einhaltung von Minimal- und Maximalwerten für die Betriebsspannung
- Einhaltung von Minimal- und Maximalwerten der Hochfrequenzpegel in den Antennenleitungen, hierbei wurden Grenzwerte getrennt für die Zustände Sendebetrieb (Verum-Exposition) und für Nicht-Sendebetrieb (Sham) eingestellt.

Alle Messwerte wurden mit Uhrzeit und Datum zweifach in Dateien protokolliert. Ergaben alle Tests der Eigenüberwachung, dass das System fehlerfrei arbeitet, wurde in den Protokollen „OK“ eingetragen, ansonsten wurde das jeweilige Problem vermerkt. Jede halbe Stunde wurde außerdem ein Protokolleintrag mit dem Drucker ausgegeben, um eine nachträgliche Untersuchung bei einem evtl. Computerausfall zu ermöglichen. Solange „OK“ vermerkt werden konnte, wurde zugleich die Signalisierung aktiviert. Die oben genannte Schaltstufe erzeugt das außerhalb des Containers sichtbare Signal nur, wenn die Aktivierung periodisch wiederholt wird, so wurde erreicht, dass bei einem evtl. Computerfehler das Signal erlischt.

Um den doppelblinden Ablauf des Experiments zu ermöglichen, wurden ergänzend zum bereits Beschriebenen folgende Maßnahmen ergriffen:

- Die lesbaren und angezeigten Protokolldateien enthielten für die Zeiträume der Schlaf-Messwochen sämtliche für die Exposition relevanten Informationen nur in verschlüsselter Form. Ebenso erfolgte in diesen Zeiträumen die Druckerausgabe verschlüsselt.
- Die Randomisierungstabelle war vor Ort ausschließlich in verschlüsselter Form vorhanden.
- Anzeigen der Stromversorgung für die Relais waren abgedeckt.

An den jeweiligen Einsatzorten wurden die 900 MHz und 1800 MHz BTS in einem Testmodus in Betrieb genommen, in dem sie generische GSM-Signale ohne einen Netzbezug erzeugen. Dabei wurden je Sektor zwei GSM 900 Kanäle und zwei GSM 1800 Kanäle benutzt, also insgesamt 12 Sendekanäle der installierten BTS. Alle benutzten Kanäle arbeiteten mit maximaler Sendeleistung, und es waren alle Zeitschlitze belegt. Dies ergab sich aus den Bedingungen des Testmodus. Für eine zusätzliche Amplitudenmodulation sorgten die mit externen Geräten erzeugten Signale. Dazu wurde jeweils eine 6/8 Taktung eingestellt, d.h. 6 von 8 Zeitschlitzen waren belegt. Diese Signale mit einem 900 MHz – Kanal und einem 1800 MHz – Kanal wurden in allen Sektoren gleichmäßig abgestrahlt.

B 5 Datenerhebung

Die Datenerhebung erfolgte nach demselben Design, wie es in der Machbarkeitsstudie (Danker-Hopfe und Dorn 2003b) benutzt wurde und sich bewährt hat. Sie umfasste drei Bereiche: allgemeine anamnestische Daten, die zur Interpretation der Ergebnisse herangezogen werden, subjektive Daten und objektive Daten zur Schlafqualität. Zusätzlich wurden in dieser Studie objektive Messdaten zur Exposition erhoben. Der Ablauf der Studie ist schematisch in Abb. 15 dargestellt.

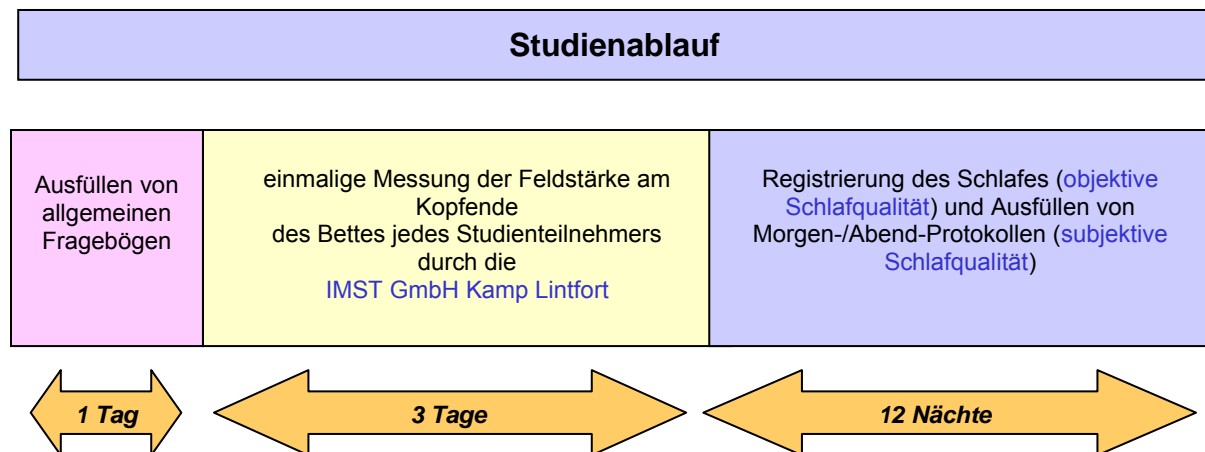


Abb 15 Studienablauf

Für die vorliegende Studie wurde ein Antrag zur Bescheinigung der ethischen Unbedenklichkeit bei der Ethik-Kommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin gestellt. Ein entsprechendes Votum wurde mit Schreiben der Ethikkommission vom 6. September 2005 erteilt.

Das Einholen der Einwilligungserklärung und das Ausfüllen der allgemeinen (im Studienverlauf einmalig auszufüllenden) Fragebögen erfolgte ein bis zwei Wochen vor Beginn der Expositionsmessung (Abb. 16). Wie bereits zuvor die Informationsveranstaltung wurde dieser Termin mit wenigen Ausnahmen von der Studienleitung (Heidi Danker-Hopfe und Hans Dorn) sowie einer weiteren Studienmitarbeiterin wahrgenommen. Dieser Termin wurde auch genutzt, um Termine für die individuelle Wohnraummessung (vgl. Kap. B 5.2.2.2) mit den Teilnehmern abzusprechen. Da für die Dauer der Datenerhebung DECT-Telefone als Quelle hochfrequenter elektromagnetischer Felder auszuschließen waren, wurden an diesem Abend auch an alle Teilnehmer, die zuhause DECT-Telefone verwendeten, als Ersatz entsprechende Schnurtelefone für die Studiendauer ausgegeben.



Abb. 16 Einholen der Einverständniserklärung und Ausfüllen der allgemeinen Fragebögen am ersten Studienstandort

Zuvor mit uns vereinbarte mögliche Termine (mögliche Messtage) und Zeitfenster für einzelne Messungen an den Messtagen wurden von unserem Kooperationspartner der IMST GmbH Kamp Lintfort (Projektleitung Dipl.-Ing. Markus Schubert) vorgegeben und von uns mit den Teilnehmern abgesprochen. Die vervollständigte Liste wurde dann an die IMST GmbH weitergeleitet.

An dieser Stelle sei erwähnt, dass die gesamte Logistik der Durchführung äußerst komplex war, wobei die zeitliche Koordination ein besonders kritischer Punkt war. Da die Laufzeit der Studie begrenzt war und die mobile Expositionsanlage nur für eine begrenzte Zeit zur Verfügung stand, waren Leerlaufzeiten möglichst zu vermeiden. Dies setzte eine äußerst hohe zeitliche Flexibilität bei der IMST GmbH, sowie den am Transport und Aufbau der experimentellen Basisstation beteiligten Personen voraus. Die Termine dieser beiden an der Studiendurchführung beteiligten Partner waren aufeinander abzustimmen und dass bei z.T. sehr kurzfristigen Entscheidungen über die Wahl der Standorte unsererseits. **Dafür, dass dies in ausgezeichneter Weise funktioniert hat, sei an dieser Stelle allen Beteiligten ganz herzlich gedankt!**

Die Durchführung der Wohnraummessung (Immissionsdaten im Schlafzimmer der Teilnehmer, vgl. Kap. B 5.2.2.2) erfolgte in der Woche, die der Erhebung unmittelbar vorausging.

Die in den drei Studienabschnitten erhobenen Daten sind in den folgenden Kapiteln getrennt für die allgemeinen Fragebögen (Kap. B 5.1), die zur Charakterisierung der Stichprobe dienten, die Daten zur Expositions-messung (Kap. B 5.2) sowie für die objektiven und subjektiven Schlafdaten (Kap. B 5.3) zusammengestellt.

B 5.1 Allgemeine Fragebögen

Wie bereits erwähnt, wurden zunächst Fragebögen ausgefüllt, die zur näheren Charakterisierung der Stichprobe herangezogen werden. Es wurden demografische Daten erhoben sowie folgende – mit wenigen Ausnahmen - validierten Testinstrumente eingesetzt:

- Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen (LISST)
- Pittsburgh Schlafqualitäts-Index (PSQI)
- Fragebogen zur Tagesschläfrigkeit: Epworth Schläfrigkeitsskala (ESS)
- Morgen-/Abend-Typ-Bestimmung (MEQ)
- Psychiatrische Anamnese (Zung Skalen zur Depression und zur Angst, SDS, SAS)
- Fragebogen zur Bestimmung von Persönlichkeitsmerkmalen: NEO-Fünf-Faktoren Inventar (NEO-FFI)
- Fragebogen zur Einstellung zum Mobilfunk (aus der infas-Befragung)

Für alle einmalig ausgefüllten Fragebögen gilt, dass sie von den Studienmitarbeitern zeitnah durchgesehen wurden, so dass fehlende Angaben soweit möglich, durch Nachfragen ergänzt werden konnten. Auf diese Weise konnte die Anzahl fehlender Werte in den allgemeinen Fragebögen auf ein Minimum reduziert werden.

B 5.1.1 Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen (LISST)

Das Landecker Inventar für Schlafstörungen wurde als Screeningverfahren von Schlafstörungen bei Erwachsenen entwickelt (Weeß et al. 2002). Es besteht aus 75 Fragen, von denen sich 50 auf charakteristische Merkmale unterschiedlicher Schlafstörungen beziehen. Das Vorhandensein körperlicher Erkrankungen wird mit 13 Fragen erfasst und die Einnahme von Medikamenten, der Konsum von Alkohol und Drogen mit den 12 restlichen Fragen. Die Auswertung des LISST liefert eine Einstufung des Patienten in folgenden Kategorien: Schlafbezogene Atemstörungen, Insomnische Störungen, Narkolepsien, Restless-Legs-Syndrome und Störungen des Schlaf-Wach-Rhythmus. Weniger häufige Schlafstörungen werden auf Itemebene operationalisiert und ohne zusätzlichen Auswertalgorithmus erfasst (Bsp. Sprechen im Schlaf). Mit zwei faktorenanalytisch gewonnenen Skalen werden das subjektive Leistungsvermögen und die subjektive Schlafqualität ermittelt.

Vergleiche mit polysomnographisch bestätigten Diagnosen im Schlaflabor zeigten eine hohe Übereinstimmung mit der Einschätzung im LISST: Der Prozentsatz betrug für Schlafbezogene Atemstörung 96,7%, für Narkolepsie 92,9%, für Restless-Legs-Syndrome 90,9% und für Insomnische Störungen 80,4% (Weeß et al. 2002).

B 5.1.2 Pittsburgh Schlafqualitätsindex (PSQI)

Dieses Selbstbeurteilungsverfahren erfasst quantitative Aspekte der Schlafqualität wie Schlafdauer, Einschlaf latenz, Anzahl der nächtlichen Aufwachereignisse, aber auch subjektive Aspekte der Schlaf tiefe und der Erholsamkeit des Schlafes (Buysse et al. 1989). Der PSQI umfasst 19 Selbstbeurteilungsfragen sowie fünf Fragen, die von einem Partner oder Mitbewohner beantwortet werden sollen, wobei in die Auswertung nur die selbst beurteilten Fragen eingehen. Die Beurteilungsbasis umfasst die zurückliegenden vier Wochen und insgesamt gehen sieben Komponenten in die Beurteilung ein: subjektive Schlafqualität, Schlaflatenz, Schlafdauer, Schlaffeffizienz, Schlafstörungen, Schlafmittelkonsum und Tagesmüdigkeit. Jede Komponente variiert auf einer Skala von 0 bis 3. Die Summe der sieben Komponenten ergibt einen Gesamtscore mit einem Range von 0 bis 21. In der Originalarbeit wird einem PSQI-Score > 5 eine Sensitivität zur Trennung "guter" und "schlechter" Schläfer von 89,6% zugewiesen. In einer Untersuchung an 80 Patienten mit primärer Insomnie (nach DSM-IV Kriterien) und 45 gesunden Kontrollen fanden Backhaus et al. (2002) für einen PSQI-Score > 5 eine Sensitivität von 98,7% und eine Spezifität von 84,4% als Marker für Schlafstörungen bei Insomniepatienten im Vergleich zu Kontrollen.

Die hier verwendete deutsche Version stammt von der DGSM (<http://www.charite.de/dgsm/dgsm/>).

B 5.1.3 Fragebogen zur Tagesschläfrigkeit: Epworth Schläfrigkeitsskala (ESS)

Bei der von Johns (1991) entwickelten Epworth Sleepiness Scale handelt es sich um einen Kurzfragebogen zur Erfassung der Einschlafneigung bzw. allgemeinen Tagesschläfrigkeit unabhängig von der Tages- und Wochenzeit. Die subjektiv eingeschätzte Einschlafneigung wird retrospektiv für acht typische Alltagssituationen erhoben. Die Bewertung der acht Alltagssituationen durch den Probanden erfolgt auf einer vierstufigen Skala (0 = würde niemals einnicken; 3 = hohe Wahrscheinlichkeit einzunicken). Der Gesamtscore ergibt sich als Summe aus den Einzelwahrscheinlichkeiten und variiert somit von 0 bis 24. In der Originalarbeit von 1991 ermittelte Johns für 30 gesunde Probanden mit einem mittleren Alter von 36 Jahren einen Durchschnittswert von 6 Punkten auf der Epworth Schläfrigkeitsskala, die individuellen Werte variierten von 2 bis 10. Bei einem Wert >10 wird von einer erhöhten Einschlafneigung ausgegangen (Johns 1991; Sauter et al. 2007). In der vorliegenden Studie wurde die deutsche Version der DGSM eingesetzt (<http://www.charite.de/dgsm/dgsm/>; Sauter et al. 2007).

B 5.1.4 Morgen-/Abend-Typ-Bestimmung (MEQ)

Der Morgen-Abend-Fragebogen („Morningness- Eveningness Questionnaire“ = MEQ) nach Horne und Östberg (1976) erhebt interindividuelle Differenzen der bevorzugten Zubettgehzeit sowie der bevorzugten Aktivitätsverteilung über den Tag und erlaubt eine Einteilung in 5 verschiedene Typen. Auf diese Weise lässt sich die individuelle Phasenlage der Circadianrhythmik einschätzen. Die

Auswertung der 19 Fragen führt zu einer Kategorisierung in „stark ausgeprägte Morgentypen“ (Score>69), „schwach ausgeprägte Morgentypen“ (Score=59-69), „Indifferenztypen“ (Score=42-58), „schwach ausgeprägte Abendtypen“ (Score=31-41) und „stark ausgeprägte Abendtypen“ (Score<31). Es wurde die deutsche Version von Östberg (1976) verwendet.

B 5.1.5 Selbstbeurteilungsskala zur Depression (SDS)

Die Selbstbeurteilungsskala zur Depression (SDS) ist ein von Zung (1965) entwickelter Fragebogen zur Aufdeckung und quantifizierbaren Abschätzung depressiver Zustände, für einen zeitlichen Bezugsrahmen, der die der Befragung vorangehende Woche umfasst. Der Fragebogen ist aus 20 Aussagen zusammengesetzt, bei denen der Proband entscheiden muss, wie oft die angesprochenen Symptome, Erlebnisse und Beschwerden aufgetreten sind. Zehn Behauptungen sind krankheitsorientiert (symptomatisch positiv) und beinhalten typische depressive Symptome, die anderen 10 Behauptungen sind gesundheitsorientiert (symptomatisch negativ formuliert) und beinhalten Erlebnis- und Verhaltensweisen, die bei Depressiven meist beeinträchtigt sind. Die 20 Items werden von den Probanden auf einer 4-stufigen Skala von „nie oder selten“ bis „meistens oder immer“ eingestuft, die je in Abhängigkeit davon, ob sie symptomatisch positiv oder negativ sind, mit Itemwerten von 1 bis 4 gewichtet werden. Die Summe der 20 Itempunktwerte ergibt einen Gesamtrohwert, der von 20 bis 80 variieren kann. Gesamtrohwerte bis 40 sprechen gegen das Vorliegen einer Depression, Scores von 41 bis 47 sprechen für eine leichte Depression, Punktwerte von 48 bis 55 für eine mäßige bis schwere Depression, während bei Werten über 55 eine schwere Depression angenommen werden muss (CIPS, 1986).

Referenzwerte für repräsentative Bevölkerungsstichproben sind in verschiedenen Ländern erhoben worden. Der Mittelwert des Gesamtrohwerts für gesunde Probanden im Alter von 18 – 62 Jahren lag in einer US-Studie von Zung (1971) bei 31. Jüngere und ältere Personen hatten höhere Gesamtwerte. Aktuelle, für die deutsche Bevölkerung repräsentative, Normwerte liegen unseres Wissens nicht vor.

Im Rahmen einer von uns in Zusammenarbeit mit der Firma SmithKline Beecham durchgeführten klinischen Studie (die noch nicht abgeschlossen ist), in der nicht schlafgestörte Personen als Kontrollgruppe untersucht wurden, kamen die Self-Rating Scales zur Depression und zur Anxiety als Screening-Instrumente zum Einsatz. Die Firma hat freundlicherweise zugestimmt, dass die dort erhobenen SDS- und SAS-Scores für diesen Bericht als Vergleichsdaten herangezogen werden. Der mittlere SDS-Score bei den bisher untersuchten n=93 Probanden betrug $32,6 \pm 8,5$, der Anteil von Probanden mit einem SDS > 40 betrug 18,3%.

B 5.1.6 Selbstbeurteilungsskala zur Angst (SAS)

Bei der von Zung (1971) entwickelten Self-Rating Anxiety Scale handelt es sich um eine Selbstbeurteilungsskala zur Erfassung von Angst als klinischer Erkrankungsform. Der zeitliche Bezugsrahmen ist wie bei der Self-Rating Depression Scale (SDS) die der Befragung vorangehende Woche. Der zum Selbstauffüllen konzipierte Fragebogen enthält 20 Kriterien für Angst, von denen 5 affektiv und 15 somatisch sind. Die Items sind teils symptomatisch positiv, teils symptomatisch negativ formuliert. Alle 20 Items werden vom Probanden nach ihrer Auftretenshäufigkeit in den letzten 7 Tagen auf einer 4-stufigen Skala (Itemwerte 1 bis 4) von "nie oder selten" bis "meistens oder immer" quantifiziert. Die Summe der 20 Itempunktswerte ergibt einen Gesamt-Rohwert, der von 20 bis 80 variieren kann. Rohwerte ab 36 gelten als Morbiditätshinweis.

Für eine als "Normale" bezeichnete Kontrollgruppe (n=100) im Alter von 18-62 Jahren wurde ein mittlerer Gesamtscore von $27,0 \pm 4,7$ mitgeteilt bzw. für 96 "Normale" im Alter von 20 bis 64 Jahren ein Wert von $27,2 \pm 6,4$ (CIPS, 1986). In einer Gruppe älterer „Normalpersonen“ ab 65 Jahren war der Gesamtrohwert mit $32,0 \pm 5,6$ höher (CIPS, 1986). Referenzwerte für repräsentative deutsche Bevölkerungsstichproben liegen soweit uns bekannt, in der Literatur nicht vor. Vergleichsdaten aus der bereits erwähnten Kontrollgruppe nicht schlafgestörter Probanden für eine klinische Studie mit der Firma SmithKline Beecham ergaben für die n = 96 vorliegenden Daten einen mittleren SAS-Score von $30,3 \pm 8,4$. Ein SAS-Score > 35 konnte bei 21,8% der Probanden beobachtet werden.

B 5.1.7 NEO-Fünf-Faktoren Inventar (NEO-FFI)

Das von Costa und McCrae (1992) eingeführte NEO-FFI ist ein multidimensionales Inventar, das fünf Bereiche individueller Unterschiede in der Persönlichkeit erfasst. Die deutsche Version stammt von Borkenau und Ostendorf (1993). Die Abkürzung „NEO“ in der Bezeichnung des Fragebogens leitet sich aus den Anfangsbuchstaben der nachfolgend beschriebenen Dimensionen *Neurotizismus*, *Extraversion* und *Offenheit für Erfahrungen* ab.

Umfangreiche faktorenanalytische Studien haben gezeigt, dass der Einschätzung von Personen in Fragebogen und auf Adjektivskalen fünf robuste Dimensionen zugrunde liegen (Borkenau und Ostendorf 1993): Das NEO-FFI erfasst mit seinen insgesamt 60 Items diese Dimensionen auf den Skalen Neurotizismus, Extraversion, Offenheit für Erfahrung, Verträglichkeit und Gewissenhaftigkeit, die wie folgt beschrieben werden:

➤ *Neurotizismus:*

Dieser Faktor beschreibt „individuelle Unterschiede in der emotionalen Stabilität und der emotionalen Labilität“. Personen mit hohen Werten neigen eher zu Nervosität, Ängstlichkeit, Traurigkeit, Unsicherheit, Verlegenheit, Gesundheits Sorgen, haben unrealistische Ideen, eine geringe Bedürfniskontrolle oder/und zeigen unangemessene Reaktionen auf Stress.

➤ *Extraversion:*

Hohe Werte sind mit einem Hang zu Geselligkeit, Gesprächigkeit, Personen-Orientierung, Herzlichkeit, Optimismus, Heiterkeit, Empfänglichkeit für Anregungen und Aufregungen assoziiert.

➤ *Offenheit für Erfahrung:*

Diese Skala erhebt das „Interesse an, und das Ausmaß der Beschäftigung mit neuen Erfahrungen und Eindrücken“. Starke Ausprägungen sprechen für die Wertschätzung neuer Erfahrungen und von Abwechslung, für Wissbegierde, Kreativität, Phantasie, Unabhängigkeit im Urteil, vielfältige kulturelle Interessen, sowie Interesse für öffentliche Ereignisse.

➤ *Verträglichkeit:*

Ein zentrales Merkmal dieser in erster Linie interpersonelles Verhalten beschreibenden Dimension ist der Altruismus. Personen, die hohe Werte zeigen, haben besonders viel Mitgefühl, Verständnis, Wohlwollen, Vertrauen in ihre Mitmenschen. Sie zeichnen sich durch eine hohe Kooperativität, Nachgiebigkeit und starkes Harmoniebedürfnis aus.

➤ *Gewissenhaftigkeit:*

Diese Dimension spielt eine wichtige Rolle in der Impulskontrolle. Dazu gehören bei starker Ausprägung eine große Ordnungsliebe, Zuverlässigkeit, Anstrengungsbereitschaft, Pünktlichkeit, Disziplin, und Ehrgeiz.

Die Items sind in Form von Aussagen formuliert, die fünfstufig nach dem Grad der Zustimmung (starke Ablehnung / Ablehnung / neutral / Zustimmung / starke Zustimmung) beurteilt werden (-2 für starke Ablehnung und +2 für starke Zustimmung). Die Items sind zum Teil positiv, zum Teil negativ gepolt. Alle Items gehen in jeweils eine Skala ein, pro Skala wird ein Summenwert gebildet (Borkenau und Ostendorf 1993).

Für jede der fünf Skalen liegen geschlechtsspezifische Normwerte vor. Die Normpopulation, die für die deutsche Normierung herangezogen wurde, setzte sich aus 2112 Probanden (1076 Frauen, 966 Männer) zusammen, deren Daten aus unterschiedlichen Studien mit verschiedensten Personengruppen stammen. Das mittlere Alter dieser Gesamtstichprobe lag bei 28,74 Jahren (Standardabweichung 11,31 Jahre). Die Altersverteilung war deutlich schief, da lediglich 10% älter als 46 waren. Für 1076 Frauen und 966 Männer liegen getrennte Normwerte für die einzelnen Skalen vor.

B 5.1.8 Fragebogen zur Einstellung zum Mobilfunk (nach infas-Interview)

Um die Einstellung der Teilnehmer an der Studie zum Mobilfunk zu erheben wurde ein Großteil des Fragenkatalogs aus den jährlichen Befragungen des Instituts für angewandte Sozialwissenschaften (infas) übernommen (infas 2006).

Es wurden insgesamt 16 Fragen zu diesem Thema gestellt. Sie betrafen einerseits den eigenen Gebrauch von Mobilfunktelefonen, den Wissensstand und die Beschäftigung mit dem Thema elektromagnetischer Felder, sowie andererseits die Risikowahrnehmung im Hinblick auf elektromagnetische Felder im Kontext anderer Umwelt- und Gesundheitsbelastungen mit gesundheitlichem Gefährdungspotenzial und Besorgtheit und die Einschätzung der gesundheitlichen Beeinträchtigung durch elektromagnetische Felder.

Die für diese Studie relevanten Fragen werden im Ergebnisteil in Kap. C 1.12. ausführlich beschrieben und im Vergleich zu den Ergebnissen der Befragungen des infas diskutiert.

B 5.2 Aufnahme und Dokumentation von hochfrequenten elektromagnetischen Immissionen (Bericht der Fa. IMST)

Der Bericht der Fa. IMST (Dipl. Ing Markus Schubert, Prof. Dr. M Wuschek, 2007 unveröffentlicht) wurde wörtlich übernommen und wird in den Kapiteln B 5.2 bis B 5.2.4 dargestellt.

B 5.2.1 Einleitung

Das Schlaflabor der Klinischen Psychophysiologie der Charité Berlin führt innerhalb eines Forschungsprojektes im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz die Studie „Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation“ durch. Hierbei handelt es sich um eine experimentelle Studie zur Objektivierung möglicher psychologischer und physiologischer Effekte durch Mobilfunk-Strahlung unter häuslichen Bedingungen.

Für die Durchführung der Studie wurden Orte ausgewählt, in denen möglichst geringe Immissionen durch Mobilfunk und vergleichsweise niedrige Immission durch Umgebungssignale vorlag. In diesen Orten wurde eine mobile Basisstation errichtet und ein definiertes Testsignal aus einem Signalgemisch aus GSM 900 und GSM 1800 Signalen unterschiedlicher Pulsstruktur zeitweise abgestrahlt. Der vorliegende Bericht fasst die Referenzmessungen der Immissionen durch die Teststation und die vorherrschenden Immissionen durch Umgebungssignale bei den Probanden (Referenzpunkt: Kopfende Bett) zusammen. Im Anhang sind die Immissionen für jeden Messpunkt detailliert dargestellt. [Anm. der Anhang des originalen IMST-Berichts enthält die individuellen Ergebnisse der Immissionsmessungen, die diesem Bericht nicht als Anhang beigefügt wurden.]

B 5.2.2 Messdurchführung

Die elektromagnetischen Felder, die durch die Test-Basisstation erzeugt wurden, wurden an insgesamt ca. 400 Schlafplätzen (Referenzpunkt: Kopfende Bett) in 10 verschiedenen Orten verteilt auf ganz Deutschland gemessen. Weiterhin wurden an den Schlafplätzen auch die Immissionen der Umgebungssignale gemessen. Hierbei wurde insbesondere der Frequenzbereich von 30 MHz bis 3 GHz untersucht, in dem Funkdienste wie UKW, TV analog, DVB-T, DAB, GSM, UMTS, DECT, WLAN, BOS, Datenfunk und Radar liegen. Die Messungen erfolgten isotrop und wurden nach 26. BImSchV [26. BImSchV] bzw. DIN VDE 0848-1[0848-1_2000] durchgeführt, wobei abweichend hiervon für zeitveränderliche Dienste keine Hochrechnung auf den maximalen Betriebszustand der betreffenden Anlage, sondern auf den für die Nacht (22 Uhr bis 6 Uhr) repräsentativen Betriebszustand erfolgte. Die Messungen wurden frequenzselektiv und für UMTS zusätzlich codeselektiv durchgeführt. Als Messtechnik wurde das Gerät „SRM-3000“ von Narda eingesetzt.

Bei der Messung wurden für jeden Funkdienst entsprechend angepasste Messgeräteeinstellungen (Frequenzbereich, Auflösebandbreite, Detektortyp, eventuell angesetzte Korrekturen) verwendet. Beim eingesetzten Gerät Narda SRM-3000 sind diese wie folgt:

Funkdienst	Frequenzbereich	Auflösebandbreite	Detektor	Korrekturen
UKW	87,5 - 108 MHz	200 kHz	Peak	keine
TV analog	47 - 68 MHz, 174 - 223 MHz, 470 - 790 MHz	300 kHz	Peak	-4 dB
DVB-T	174 - 230 MHz, 470 - 862 MHz	Kanalleistungs- messung	RMS	keine
DAB	223 - 230 MHz, 1452 - 1492 MHz	Kanalleistungs- messung	RMS	keine
GSM 900 downlink	920 - 960 MHz	200 kHz	RMS	keine
GSM 1800 downlink	1820 - 1880 MHz	200 kHz	RMS	keine
UMTS downlink	2110 - 2170 MHz	5 MHz oder codeselektiv	RMS RMS	keine +2 dB
DECT	1880 - 1900 MHz	1 MHz	RMS	-22,8 dB
WLAN	2400 - 2483,5 MHz	5 MHz	RMS	+6,4 dB
Datenfunk	420 - 470 MHz	30 kHz	Peak	-
Radar	1 - 3 GHz	1 MHz	Peak	entsprechend dem Testverhältnis
Lang-, Mittel- und Kurzwellen (LMK)	9 kHz - 30 MHz	10 kHz	Peak	keine

Tab. 8 Messgeräteinstellungen für die zu untersuchenden Funkdienste beim Narda SRM-3000.

B 5.2.2.1 Übersichtsmessung

Vor den Messungen an den Schlafplätzen der Probanden wurde am Beginn jeder neuen Messkampagne eine „Voruntersuchung“ an einem besonders bezüglich der Umgebungssignale exponierten Ort im Bereich der Gemeinde durchgeführt. Hierbei wurde, repräsentativ für den gesamten Ort, die Immission durch Lang-, Mittel- und Kurzwellenrundfunk im Frequenzbereich von 100 kHz bis 30 MHz gemessen. Weiterhin wurde eine Übersichtsmessung im Frequenzbereich 30 MHz bis 3 GHz vorgenommen, um die vorhandenen Umgebungssignale zu ermitteln, die an den Schlafplätzen zu messen waren.

Im Rahmen der Voruntersuchungen wurde darüber hinaus auch das Testsignal im Zeitbereich in einer solchen Auflösung aufgenommen, dass die Pulsstruktur des Testsignals erkennbar war.

B 5.2.2.2 Wohnraummessungen

Durch geeignete Aufstellung der Test-Basisstation bzw. Auswahl der Wohnungen seitens des Auftraggebers wurde ein Pegel des Testsignals im Bereich von 100-120 dB μ V/m an den Schlafplätzen angestrebt. Die Forderung, dass die Umgebungssignale im günstigsten Fall um 40 dB unter dem Testsignal liegen sollten, führte dazu, dass die eingesetzte Messtechnik in der Lage sein musste, Umgebungssignale bis herunter zu einer Mindestfeldstärke von 60 dB μ V/m noch sicher nachweisen zu können. Gleichzeitig musste aber davon ausgegangen werden, dass an einigen Schlafplätzen die Immission durch das Testsignal kleiner als 100 dB μ V/m sein würde.

Daher wurde in Abhängigkeit der Stärke des Testsignals unter Berücksichtigung des 40 dB Kriteriums ein effizientes, mehrstufiges Messverfahren entwickelt, das auch die Möglichkeit der Testsignalstärke kleiner 100 dB μ V/m einschließt:

- Zunächst wurde die Immission des Testsignals am Kopfende des Bettes mit der 3-Achsen-Sonde des NARDA SRM-3000 gemessen. Dabei wurde das Messgerät im Maxhold-Betrieb über dem Volumen des Kopfes der liegenden Person geschwenkt, um in diesem Bereich das Maximum des elektromagnetischen Feldes des Testsignals zu ermitteln. Sofern die Summenimmission der Testsignale oberhalb einer Feldstärke von 100 dB μ V/m lagen, wurden die Umgebungssignale an derselben Position gemessen. Aufgrund der eingeschränkten Empfindlichkeit der 3-Achsen-Sonde des NARDA Gerätes wurden hierzu in erster Linie bikonische Antennen eingesetzt.
- Im Falle, dass das Testsignal am Kopfende kleiner als 100 dB μ V/m ist (so dass der Nachweis, dass die Umgebungssignale am Bett mindestens 40 dB unter dem Testsignal liegen, nicht mehr möglich ist), wurde folgende Vorgehensweise praktiziert: Die Stärke des Testsignals wurde wie gehabt mit der 3-Achsen-Sonde am Kopfende gemessen. In einem zweiten Messdurchlauf wurde dann das Maximum der Test- und Umgebungssignale durch Abtastung des gesamten Zimmers mit der Schwenkmethode ermittelt. Aus dem Verhältnis zwischen dem Maximum des Testsignals und dem Maximum der Umgebungssignale im Zimmer sowie dem Messwert des Testsignals am Kopfende wurde auf die Größe der Umgebungssignale am Kopfende geschlossen. Für die Messungen wurden bikonische Antennen eingesetzt.
- Vor den Messungen wurden die Bewohner nach dem typischen Zustand des Schlafzimmers während der Nacht gefragt, vor allem hinsichtlich Fenster (offen oder geschlossen und eventueller Rollläden oder Jalousien). Dieser Zustand wurde während der Messungen hergestellt.

B 5.2.3 Messorte

Im folgenden Abschnitt werden die einzelnen Messorte für die Durchführung der Studie vorgestellt. Neben den administrativen Daten wird der Übersichtlichkeit halber exemplarisch der Verlauf der zeitlichen Struktur eines Testsignals dargestellt.

B 5.2.3.1 Frebershausen

Der erste Messort „Frebershausen“ befindet sich im Kellerwald, am Südrand des Nationalparks Kellerwald-Edersee. Als Ortsteil von Bad Wildungen, liegt es ungefähr 7,5 km westlich Bad Wildungen. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 13. – 15. November 2006 statt. Die Überblicksmessung zur Erfassung der vorhandenen Umgebungssignale wurde am Ortsrand in der unmittelbaren Umgebung der Kirche durchgeführt. Es werden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 9 zeigt die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
UKW	x	-
DECT	-	x

Tab. 9 Umgebungssignale in Frebershausen

Abb. 17 zeigt die Testbasisstation, die direkt vor dem Gebäude der Freiwilligen Feuerwehr errichtet wurde.



Abb. 17 Teststation in Frebershausen

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]	
Sektor 1	20	938,2	1821,0		
		939,0	1822,2		
Sektor 2	160	944,8	1820,6		
		959,6	1821,8		
Sektor 3	250	937,8	1820,2		
		938,6	1821,4		
Sektor 1-3					956,4
					1824,6

Tab. 10 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Frebershausen

Vor den Messungen bei den jeweiligen Probanden wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch ist diese im folgenden Bild für die Frequenz 956,4 MHz zu sehen, bei der sechs von acht Zeitschlitzen belegt sind.

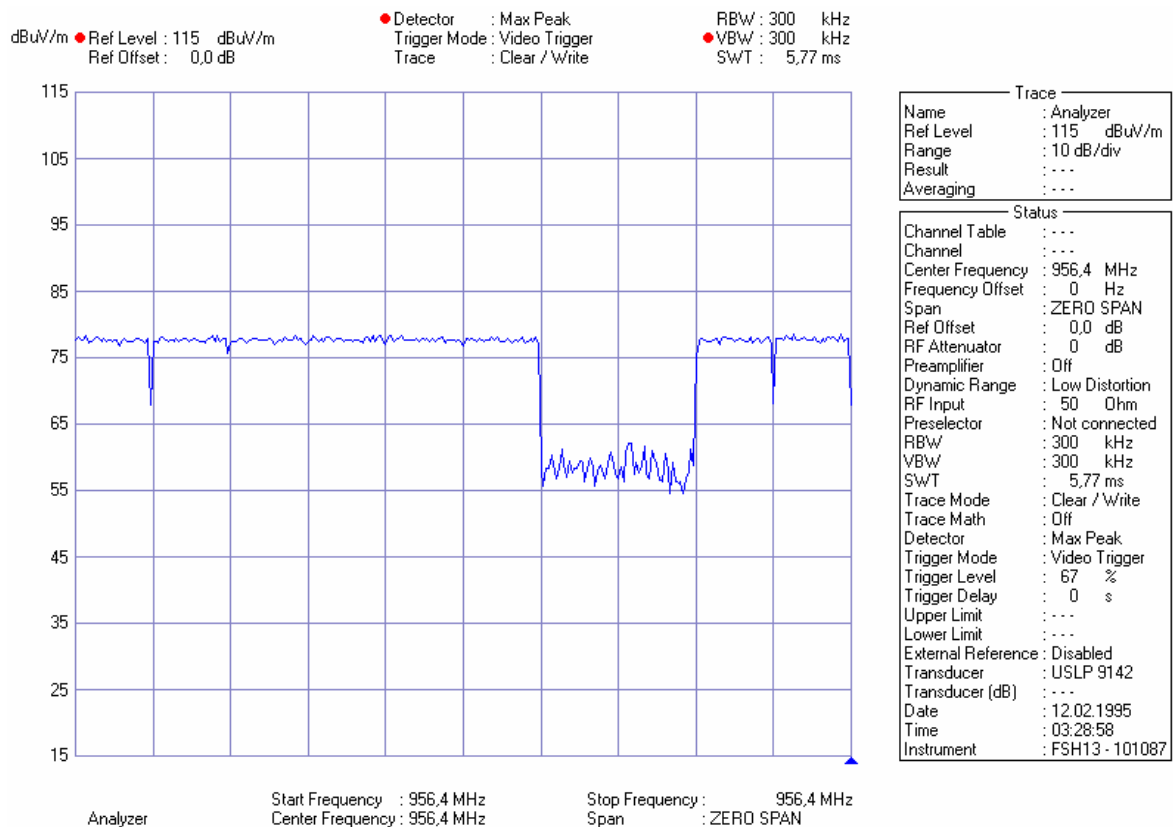


Abb. 18 Zeitsignal bei 956,4 MHz; 6 von 8 Zeitschlitzen sind belegt.

B 5.2.3.2 Ahlshausen

Die Ortschaft Ahlshausen liegt im südlichen Niedersachsen im Landkreis Northeim in der Gemeinde Kreiensen. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 05. – 07. Dezember 2006 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 11 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwelle	x	-
Analog-TV	x	-
UKW	x	-
DVB-T	x	-
DAB	x	-
DECT	-	x

Tab. 11 Umgebungssignale in Ahlshausen

Abb. 19 zeigt die Testbasisstation, die auf einem zentral gelegenen Bauerhofgelände errichtet wurde.



Abb. 19 Teststation in Ahlshausen

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	60	938,2 939,0	1821,0 1822,2	
Sektor 2	180	944,8 959,6	1820,6 1821,8	
Sektor 3	300	937,8 938,6	1820,2 1821,4	
Sektor 1-3				956,4 1824,6

Tab. 12 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Ahlshausen

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch ist ein einzelner Frame mit einer Dauer von 4,6 ms im folgenden Bild für die Frequenz 956,4 MHz zu sehen, bei dem sechs von acht Zeitschlitzten belegt sind.

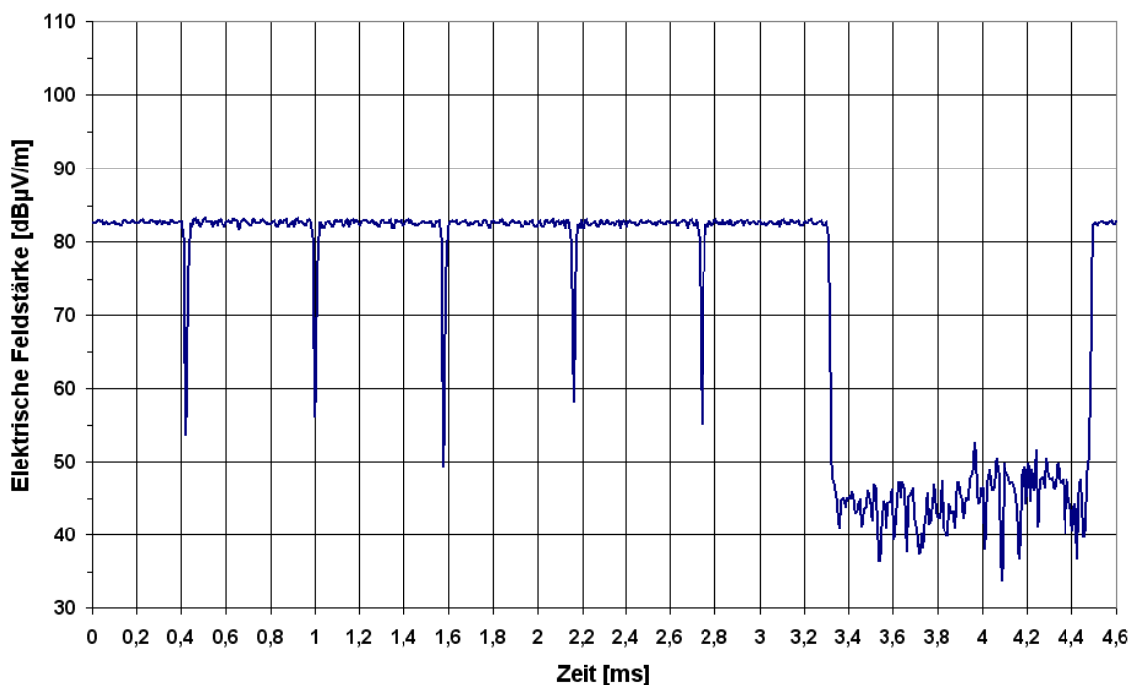


Abb. 20 Zeitsignal bei 956,4 MHz; 6 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.3 Tautenburg

Tautenburg ist eine Gemeinde im Nordosten des thüringischen Saale-Holzland Kreises und Teil der Gemeinde Camburg. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 23. – 25. Januar 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde erhöht am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tab. 13 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
DECT	-	x

Tab. 13 Umgebungssignale in Tautenburg

Abb. 21 zeigt die Testbasisstation, die zentral auf einem Parkplatz vor dem Kindergarten errichtet wurde.



Abb. 21 Teststation in Tautenburg

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	70	944,8 959,6	1820,6 1821,8	
Sektor 2	190	937,8 938,6	1820,2 1821,4	
Sektor 3	310	938,2 939,0	1821,0 1822,2	
Sektor 1-3				956,4 1824,6

Tab. 14 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Tautenburg

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch ist diese im folgenden Bild für die Frequenz 1824,6 MHz zu sehen, bei der sechs von acht Zeitschlitzten belegt sind.

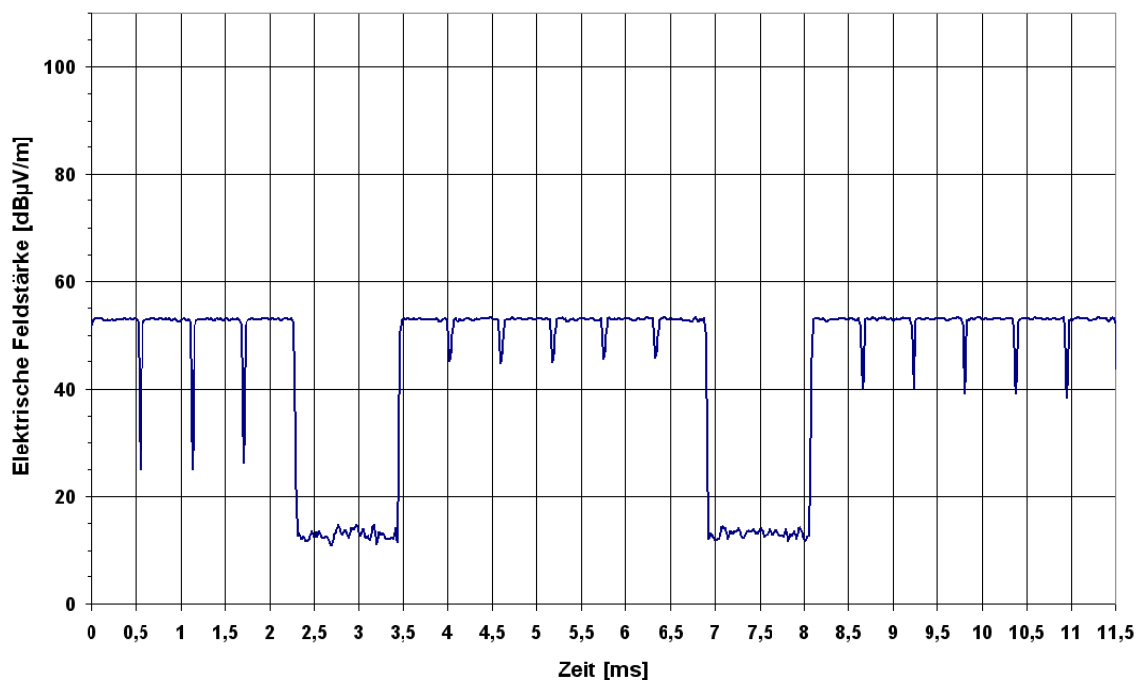


Abb. 22 Zeitsignal bei 1824,6 MHz; 6 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.4 Sillerup

Der Ort Sillerup gehört zum Gemeindegebiet von Lindewitt und liegt im Kreis Schleswig-Flensburg in Schleswig-Holstein. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 26. Februar – 01. März 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde zentral in der Ortschaft durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 15 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
Analog-TV	x	-
UKW	x	-
DVB-T	x	-
DAB	x	-
DECT	-	x
Umliegender Mobilfunk	x	-

Tab. 15 Umgebungssignale in Sillerup

Abb. 23 zeigt die Testbasisstation, die auf einem Parkplatz im Wohngebiet errichtet wurde.



Abb. 23 Teststation in Sillerup

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	90	942,0 942,4	1820,6 1821,0	
Sektor 2	210	951,2 959,6	1821,4 1821,8	
Sektor 3	330	941,6 941,2	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				953,8 1824,6

Tab. 16 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Sillerup

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch ist diese im folgenden Bild für die Frequenz 941,6 MHz zu sehen, bei der acht von acht Zeitschlitzten belegt sind.

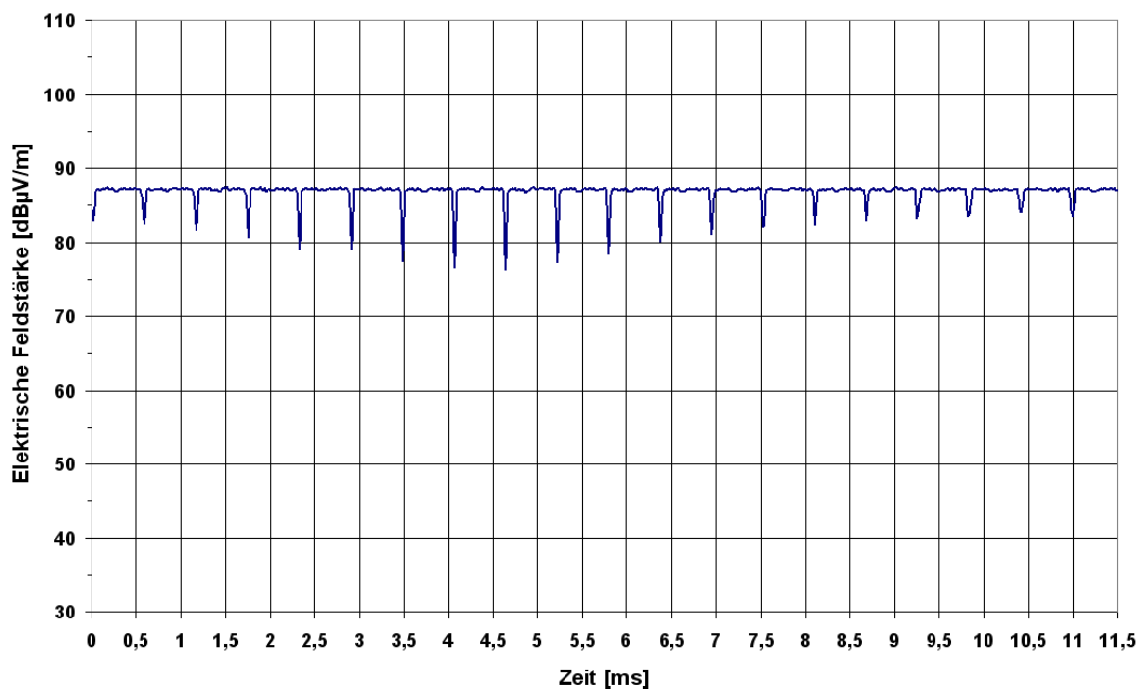


Abb. 24 Zeitsignal bei 941,6 MHz; 8 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.5 Ober-Werbe

Ober-Werbe ist ein Stadtteil von Waldeck im nordwestlichen Hessen im Landkreis Waldeck-Frankenberg. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 19. – 22. März 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde erhöht am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 17 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
UKW	x	-
DECT	-	x

Tab. 17 Umgebungssignale in Ober-Werbe

Abb. 25 zeigt die Testbasisstation, die zentral auf einem Parkplatz direkt vor der Freiwilligen Feuerwehr errichtet wurde.



Abb. 25 Teststation in Ober-Werbe

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	30	937,6 943,4	1820,6 1821,0	
Sektor 2	150	943,8 949,8	1820,6	
Sektor 3	270	956,0 956,6	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				959,6 1824,6

Tab. 18 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Ober-Werbe

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch sind mehrere Frames im folgenden Bild für die Frequenz 959,6 MHz zu sehen, bei denen sechs von acht Zeitschlitzten belegt sind.

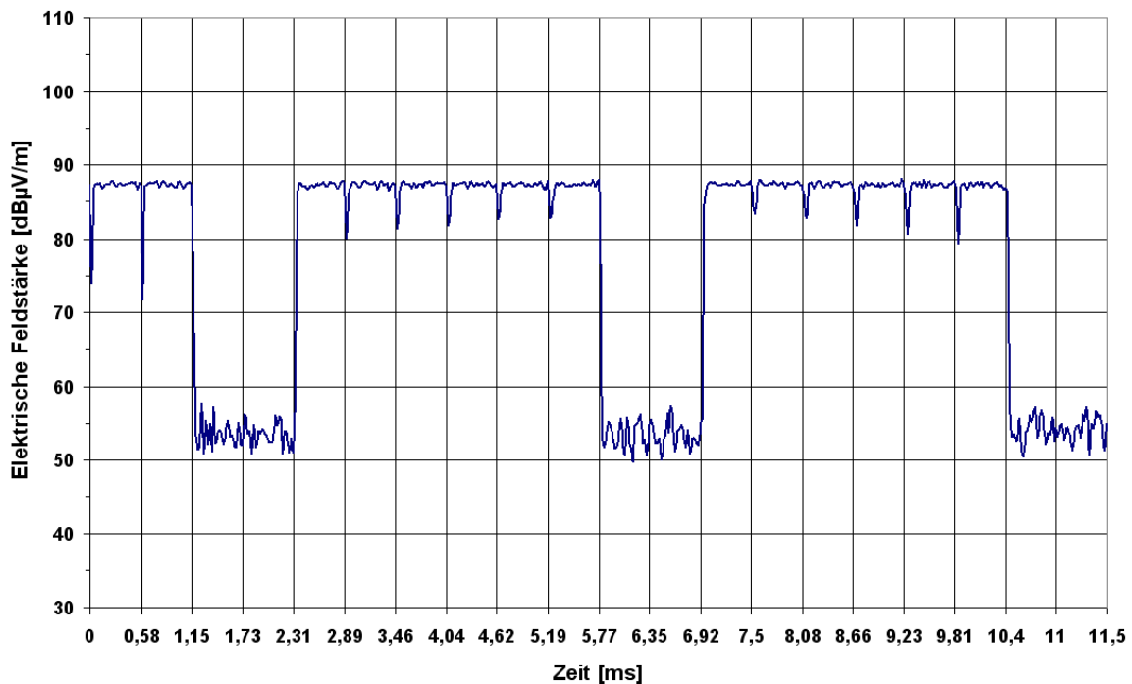


Abb. 26 Zeitsignal bei 959,6 MHz; 6 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.6 Mitterode

Mitterode liegt im nordöstlichen Teil von Hessen in der Nähe von Sontra. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 11. – 21. April 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde erhöht am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 19 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
Analog-TV	x	-
UKW	x	-
DVB-T	x	-
DAB	x	-
DECT	-	x

Tab. 19 Umgebungssignale in Mitterode

Abb. 27 zeigt die Testbasisstation, die zentral direkt vor der Freiwilligen Feuerwehr errichtet wurde.



Abb. 27 Teststation in Mitterode

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	80	938,8 944,2	1820,6 1821,0	
Sektor 2	200	939,4 942,8	1821,4 1821,8	
Sektor 3	320	942,2 943,8	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				958,6 1824,6

Tab. 20 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Mitterode

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch sind mehrere Frames im folgenden Bild für die Frequenz 938,8 MHz zu sehen, bei denen acht von acht Zeitschlitzten belegt sind.

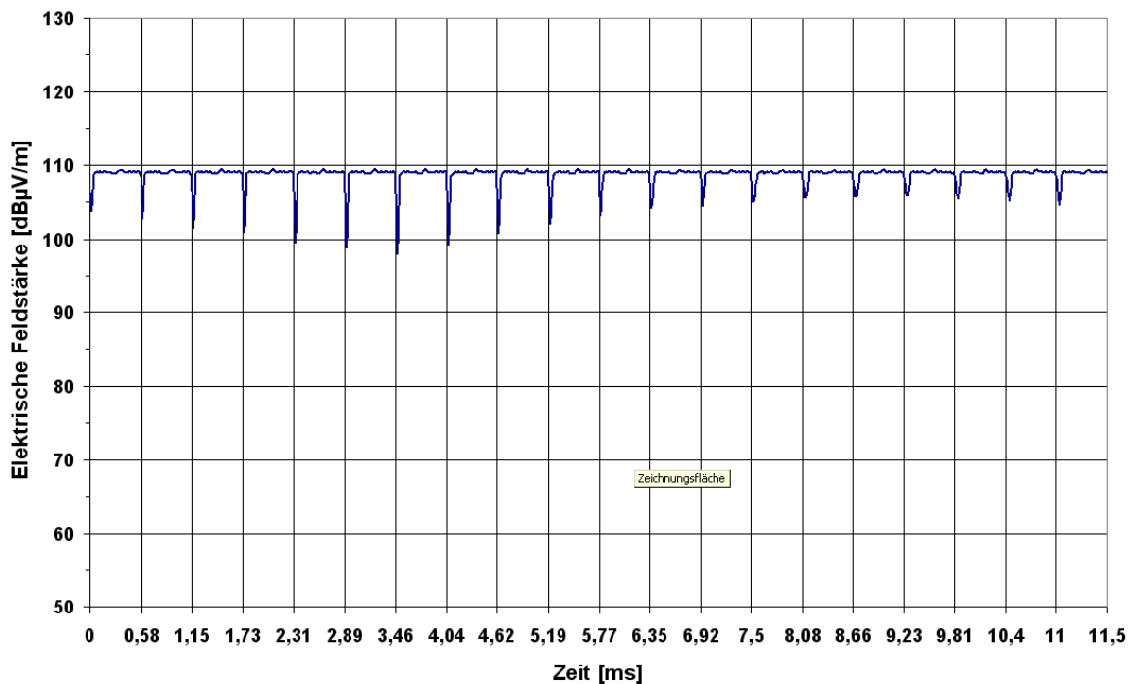


Abb. 28 Zeitsignal bei 938,8 MHz; 8 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.7 Licherode

Licherode ist ein Ortsteil der Gemeinde Alheim und liegt im Nordosten von Hessen, etwa 35 km südöstlich von Kassel. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 14. – 16. Mai 2007 und am 16. Juni 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde erhöht am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 21 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
UKW	x	-
DVB-T	x	-
DECT	-	x

Tab. 21 Umgebungssignale in Licherode

Abb. 29 zeigt die Testbasisstation, die zentral im Ort errichtet wurde.



Abb. 29 Teststation in Licherode

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	10	941,6 951,2	1820,6 1821,0	
Sektor 2	90	941,2 942,4	1821,4 1821,8	
Sektor 3	160	942,0 951,6	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				954,2 1824,6

Tab. 22 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Licherode

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch sind mehrere Frames im folgenden Bild für die Frequenz 1821,8 MHz zu sehen, bei denen acht von acht Zeitschlitzten belegt sind.

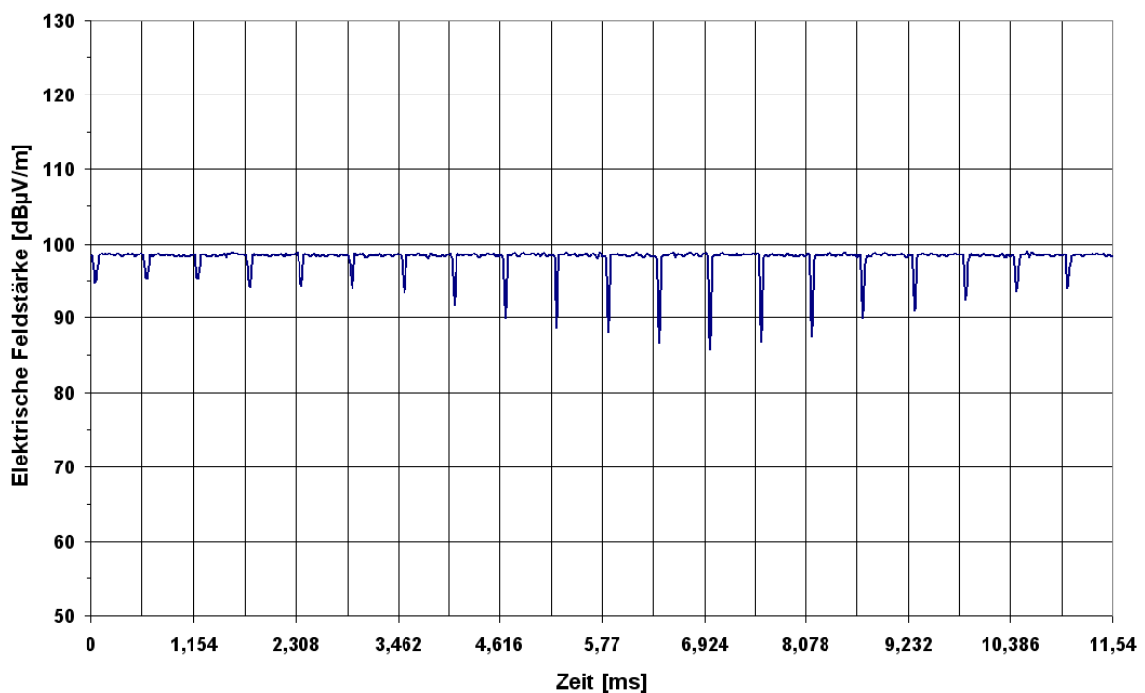


Abb. 30 Zeitsignal bei 1821,8 MHz; 8 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.8 Schöndorf

Schöndorf liegt im Westen von Thüringen, etwa 35 km südlich von Jena. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 25. – 27. Juni 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde erhöht am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 23 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwelle	x	-
Analog-TV	x	-
UKW	x	-
DECT	-	x
Umliegender Mobilfunk	x	-

Tab. 23 Umgebungssignale in Schöndorf

Abb. 31 zeigt die Testbasisstation, die zentral im Ort errichtet wurde.



Abb. 31 Teststation in Schöndorf

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	45	937,2 959,4	1820,6 1821,0	
Sektor 2	135	939,0 959,8	1821,4 1821,8	
Sektor 3	335	936,8 959,0	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				949,6 1824,6

Tab. 24 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Schöndorf.

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch ist diese im folgenden Bild für die Frequenz 939,0 MHz zu sehen, bei der acht von acht Zeitschlitzten belegt sind.

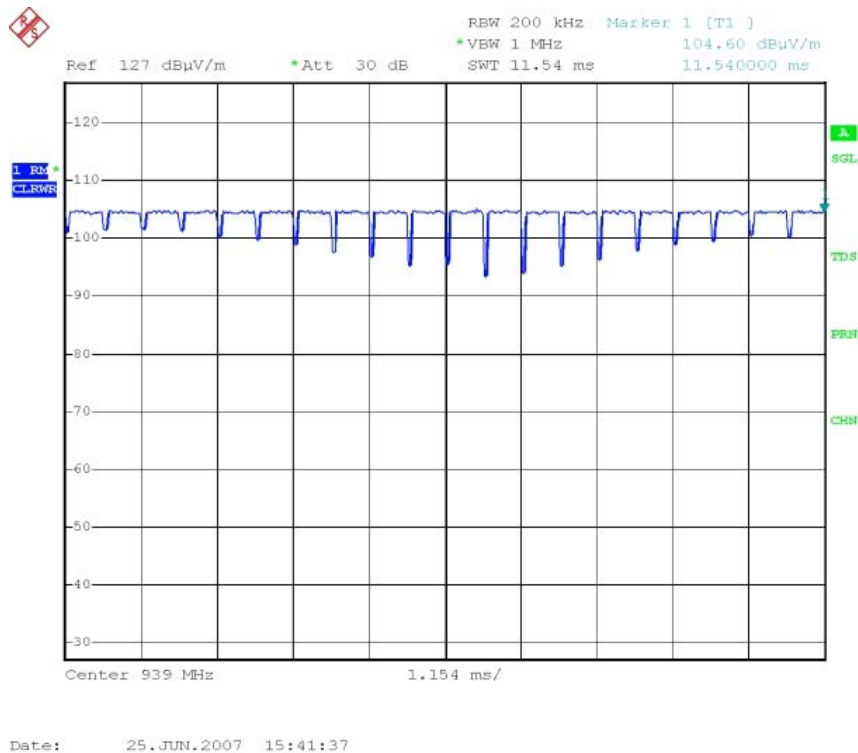


Abb. 32 Zeitsignal bei 939,0 MHz; 8 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.9 Weipoltshausen

Weipoltshausen ist ein Ortsteil der Gemeinde Üchtelhausen und liegt im Nordwesten von Bayern, etwa 5 km nördlich von Schweinfurt. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 06. – 08. August 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde erhöht am Ortsrand durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 25 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwelle	x	-
UKW	x	-
DVB-T	x	
DECT	-	x

Tab. 25 Umgebungssignale in Weipoltshausen

Abb. 33 zeigt die Testbasisstation, die zentral im Ort errichtet wurde.



Abb. 33 Teststation in Weipoltshausen

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	0	938,4 953,0	1820,6 1821,0	
Sektor 2	240	937,6 940,2	1821,4 1821,8	
Sektor 3	290	938,0 938,8	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				959,8 1824,6

Tab. 26 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Weipoltshausen

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch ist diese im folgenden Bild für die Frequenz 1824,6 MHz zu sehen, bei der sechs von acht Zeitschlitzten belegt sind.

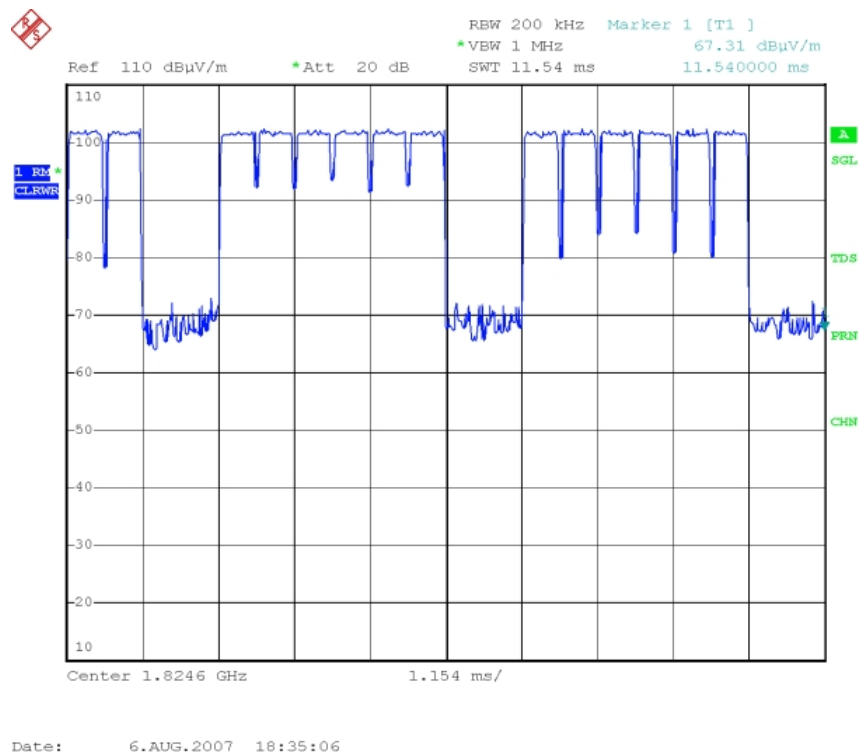


Abb. 34 Zeitsignal bei 1824,6 MHz; 6 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.3.10 Madenhausen

Madenhausen ist eine Gemarkung von Üchtelhausen und liegt in der Main-Rhön Region 10 km nördlich von Schweinfurt. Die Erfassung der elektromagnetischen Immissionen fand in der Zeit vom 28. – 29. August 2007 statt. Die Überblicksmessung zur Bestimmung der vorhandenen Umgebungssignale wurde zentral im Ort vor dem Gemeindehaus durchgeführt. Es wurden hierbei diejenigen Signale identifiziert, die in den einzelnen Wohnungen als Umgebungssignale aufgenommen werden. Tabelle 27 zeigt eine Übersicht über die vorhandenen Umgebungssignale.

System	ortsweit	wohnungsabhängig
Lang-, Mittel-, Kurzwellen	x	-
UKW	x	-
DVB-T	x	-
DAB	x	-
DECT	-	x

Tab. 27 Umgebungssignale in Madenhausen

Abb. 35 zeigt die Testbasisstation, die zentral im Ort in unmittelbarer Nähe des Gemeindehaus auf einem Parkplatz errichtet wurde.



Abb. 35 Teststation in Madenhausen

In der folgenden Tabelle sind die Sendefrequenzen der Teststation und die zu den Sektoren gehörende horizontale Ausrichtung zu sehen.

	Azimutale Ausrichtung [°]	Frequenzen GSM 900 in [MHz]	Frequenzen GSM 1800 in [MHz]	Frequenzen (6/8 Pulsung) in [MHz]
Sektor 1	160	937,6 939,2	1820,6 1821,0	
Sektor 2	250	938,0 941,0	1821,4 1821,8	
Sektor 3	340	938,4 942,4	1822,2 1822,6	
Sektor 1-3				952,4 1824,6

Tab. 28 Ausrichtung und Sendefrequenzen der Test-Basisstation in Madenhausen

Bei der Überblicksmessung wurde ferner die Zeitstruktur der einzelnen Testsignale aufgenommen. Exemplarisch sind mehrere Frames im folgenden Bild für die Frequenz 952,4 MHz zu sehen, bei denen sechs von acht Zeitschlitzten belegt sind.

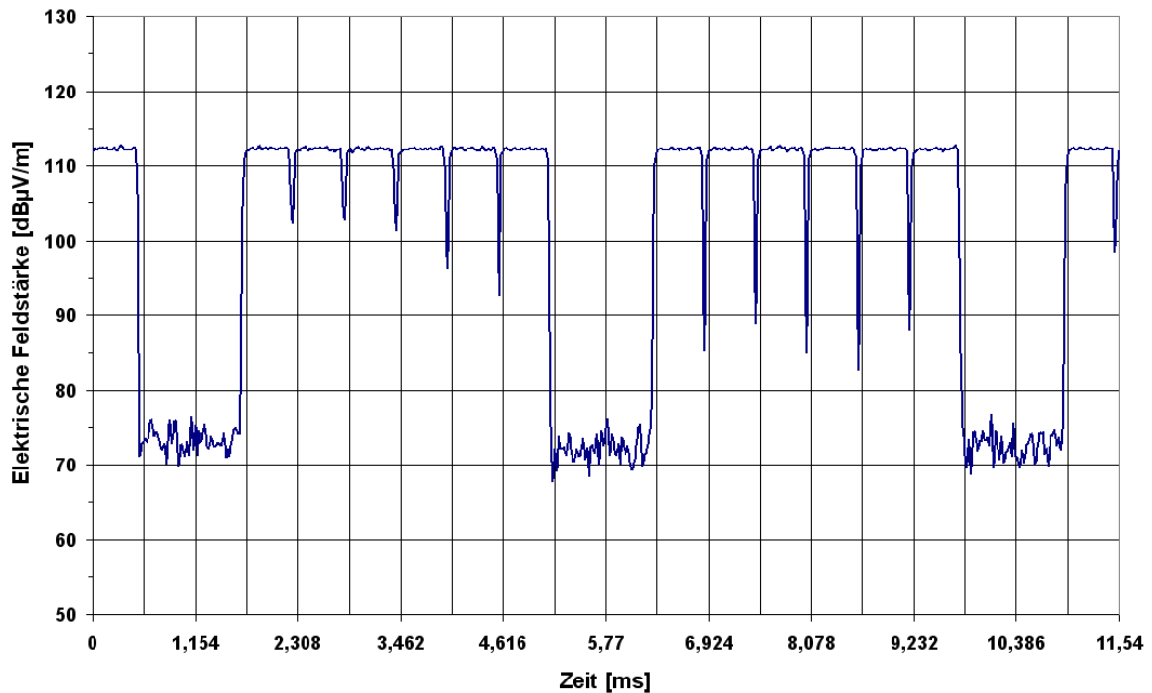


Abb. 36 Zeitsignal bei 952,4 MHz; 6 von 8 Zeitschlitzten sind belegt.

B 5.2.4 Literaturverzeichnis IMST-Bericht

[0848-1_2000] **DIN VDE 0848-1**, *Sicherheit in elektrischen, magnetischen und elektromagnetischen Feldern. Teil 1: Definitionen, Mess- und Berechnungsverfahren*. VDE-Verlag Berlin, August 2000.

[26. BImSchV] **26. BImSchV**, Sechszwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über elektromagnetische Felder – 26. BImSchV), BGBl. Jg. 1996 Teil I Nr. 66, 20.12.1996.

B 5.3 Daten zur Schlafqualität

Wie aus Abb. 15 bereits ersichtlich ist, wurden über einen Zeitraum von zwei Wochen in insgesamt 12 Nächten (sechs Nächte pro Woche) subjektive und objektive Daten zur Schlafqualität erhoben. Die Datenerhebung begann jeweils mit einer Nacht von Sonntag auf Montag, die als Adaptationsnacht gewertet wurde, d.h. sie diente der Gewöhnung an die Aufzeichnungssituation und an das Gerät. Da die Machbarkeitsstudie (Danker-Hopfe und Dorn, 2003b) gezeigt hat, dass bei erstmaliger Anwendung des Registriergeräts eine Adaptationsnacht zur Gewöhnung sinnvoll ist, wurden die subjektive Schlafbewertung sowie die objektiven Schlafparameter in der jeweils ersten Nacht der beiden Aufzeichnungszyklen zwar erhoben, diese Daten wurden in der weiteren Auswertung allerdings nicht berücksichtigt. Dies betraf jeweils die Nächte von Sonntag auf Montag. In diesen Nächten wurde Sham-exponiert.

Zur Durchführung der Datenerhebung waren über den gesamten Untersuchungszeitraum permanent zwei Mitarbeiter vor Ort. Die Ausgabe der Registriergeräte erfolgte täglich (Ausnahme der Sonntag zwischen den beiden Datenerhebungswochen, die Geräte, die am 2. Sonntag abends zum Einsatz kamen, wurden bereits am Samstag ausgegeben) in der Zeit von 13:30 bis 19:00 Uhr, in Einzelfällen wurden nach vorheriger Absprache Geräte auch noch später bzw. früher ausgegeben. Die Mitarbeiter haben sich soweit möglich nach den Wünschen der Studienteilnehmer gerichtet. Jeweils zu Beginn einer Untersuchungswoche (am Sonntag) wurde jedem Teilnehmer ein Ordner mit den Morgen- und Abendprotokollen ausgehändigt.

Eine Rückgabe der Geräte und der ausgefüllten Morgen- und Abendprotokolle erfolgte in der Regel in der Zeit zwischen 6:30 und 10:30, in Ausnahmefällen bei Bedarf aber auch früher oder später. Bei der Rückgabe der Geräte und des zugehörigen Morgen- und Abendprotokolls wurden eventuell mit dem Gerät aufgetretene Probleme besprochen und soweit möglich die Fragebögen auf Vollständigkeit der Angaben überprüft. Nach dem Auslesen der Geräte wurden diese erneut geladen und für die Ausgabe am Nachmittag vorbereitet. Die Datensicherung erfolgte durch Auslesen der Geräte an zwei PCs. Zusätzlich wurden die Daten am Ende jeden Tages doppelt auf optischen Datenträgern und auf einer externen Festplatte gesichert.

B 5.3.1 Daten zur subjektiven Schlafqualität

Subjektive Daten zur Schlafqualität wurden parallel zu den objektiven Daten zur Schlafqualität erhoben. Am Abend vor jeder ambulant registrierten Nacht wurde ein Abendprotokoll ausgefüllt und am Morgen nach jeder ambulant registrierten Nacht ein Morgenprotokoll. Es wurden die von der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin empfohlenen Morgen- und Abendprotokolle verwendet. Das Abendprotokoll umfasst insgesamt acht Fragen und das Morgenprotokoll 13 Fragen, die nachfolgend angeführt werden:

In Frage 1 des Abendprotokolls wird mit drei visuellen Analogskalen die aktuelle Befindlichkeit (zum Zeitpunkt des Ausfüllens am Abend) erfasst. Der Proband macht an der Position, die aktuell am besten zutrifft, einen senkrechten Strich. Für die Auswertung wird der Abstand vom linken Pol zur Markierung des Probanden (in mm) herangezogen:

1.	Wie fühlen Sie sich jetzt?		
	bedrückt	-----	unbeschwert
	matt	-----	frisch
	angespannt	-----	entspannt

In Frage 2 wird mit einer visuellen Analogskala die durchschnittliche Leistungsfähigkeit erfasst:

2.	Wie war heute Ihre durchschnittliche Leistungsfähigkeit?		
	gut	-----	schlecht

Mit Frage 3 wird erfasst, ob die Probanden sich tagsüber müde oder erschöpft gefühlt haben:

3.	Haben Sie sich heute müde oder erschöpft gefühlt?	<i>Wenn ja:</i>	ein wenig müde	ziemlich müde	sehr müde		ein wenig erschöpft	ziemlich erschöpft	sehr erschöpft
----	---	-----------------	----------------	---------------	-----------	--	---------------------	--------------------	----------------

Frage 4 erfasst den Tagschlaf: „Haben Sie heute tagsüber geschlafen?“ Falls die Antwort auf diese Frage „ja“ lautet, werden in drei Unterfragen die Dauer (insgesamt), die Häufigkeit und die Zeiten erfragt.

Mit Frage 5 wird das Vorkommen besonders starker Belastungen im Tagesverlauf abgefragt: „Hat es für Sie heute besonders starke Belastungen gegeben?“ Falls die Antwort „ja“ lautet, wird noch spezifiziert, ob die Belastung körperlicher, geistiger und/oder seelischer Natur war.

In Frage 6 wird der Konsum von Genussmitteln (Kaffee, schwarzer Tee, Coca-Cola, Bier, Wein oder Sekt, Spirituosen, Zigaretten sowie Zigarren und Pfeifen) in den letzten vier Stunden vor dem Zubettgehen unter dem Aspekt Menge und ob dies vergleichsweise wenig/normal/viel war, abgefragt.

Frage 7 erfasst die Bettgehzeit: „Wann sind Sie zu Bett gegangen?“

Bei Frage 8 kann mit Freitext eine Antwort auf folgende Frage gegeben werden: „Hat sich heute irgendetwas Außergewöhnliches ereignet, teilen Sie es uns bitte in Worten mit.“

Die Parameter Müdigkeit und Erschöpfung am Tag vor der Testnacht (Frage 3, Kapitel C 2.1.1), Tagschlaf (Frage 4, Kapitel C 2.1.2), außergewöhnliche Belastungen (Frage 5, Kapitel C 2.1.3), Konsum von Genussmitteln (Frage 6; Kapitel C 2.1.4), die Bettzeit (Frage 7, Kapitel C 2.1.5) und außergewöhnliche Ereignisse (Frage 8, Kapitel C 2.1.6) wurden unter dem Aspekt der Kontrolle möglicher Einflussfaktoren auf den Schlaf erhoben.

Das Morgenprotokoll umfasste insgesamt 13 Fragen (Fragen 9 bis 22):

In Frage 9 wird mit drei visuellen Analogskalen die aktuelle Befindlichkeit am Morgen erfasst:

9.	Wie fühlen Sie sich jetzt?
----	----------------------------

bedrückt	-----	unbeschwert
matt	-----	frisch
angespannt	-----	entspannt

In Frage 10 wird mit einer visuellen Analogskala die Erholbarkeit des Schlafes erfasst:

10.	Wie erholsam war Ihr Schlaf?
-----	------------------------------

sehr erholsam	-----	nicht erholsam
---------------	-------	----------------

Frage 11 erfasst die Zeit zwischen Zubettgehen und Lichtlöschen: „Wie lange waren Sie abends im Bett, bevor Sie versuchten zu schlafen (Licht löschten)?“

Frage 12 fragt nach der subjektiv empfundenen Einschlafzeit: „Wie lange hat es anschließend gedauert, bis Sie einschliefen?“ Gewählt werden kann zwischen einer Angabe in Minuten oder „sofort eingeschlafen“ oder „gar nicht eingeschlafen“. Darüber hinaus soll spezifiziert werden, ob dies vergleichsweise „sehr kurz“, „kurz“, „normal“, „lang“ oder „sehr lang“ war.

Frage 13 fragt nach dem nächtlichen Wach: „Waren Sie nachts wach?“ Falls diese Frage mit „ja“ beantwortet wird, soll angegeben werden, wie oft und ob das vergleichsweise „selten“, „normal“ oder „häufig“ war. Ferner wird nach der Dauer des Wachseins insgesamt gefragt, und ob dies vergleichsweise „kurz“, „normal“ oder „lang“ war. Schließlich wird noch erhoben, ob die Probanden in den Wachphasen vorwiegend aufgestanden sind oder im Bett geblieben sind.

In Frage 14 wird nach möglichen Ursachen für einen schlechten Schlaf gefragt: „Sofern Sie schlecht geschlafen haben, woran hat es dann gelegen?“ Ein mehrfaches Ankreuzen der vorgegebenen 12 Gründe („persönliche Probleme“, „Schmerzen“, „Geräusche/Lärm“, „körperliche Missempfindungen“, „berufliche Probleme“, „Herzbeschwerden“, „fremde Schlafumgebung“, „konnte nicht aufhören zu

denken“, „ich hatte geträumt“, „Atembeschwerden“, „Hunger oder Durst“, „Beschäftigung mit Banalitäten“, „innere Unruhe“, „starkes Schwitzen“, „ich musste zur Toilette“ und „weiß ich nicht“) war möglich. Zusätzlich gab es die Möglichkeit, eine andere Ursache als Freitext einzugeben.

Mit Frage 15 wurde erfasst, ob ein Proband geträumt hat: „Haben Sie nachts geträumt?“ Falls ja, sollte spezifiziert werden ob dies vergleichsweise „viel“, „mittel“ oder „wenig“ war und ob die Traum inhalte „angenehm“, „neutral“ oder „unangenehm“ waren.

Frage 16 betrifft das Aufwachen: „Wann sind Sie endgültig aufgewacht?“ Ferner sollte angegeben werden, ob das Aufwachen „von allein“ erfolgte oder durch „Weckung“ und ob der Aufwachzeitpunkt als „zu früh“, „genau richtig“ oder „zu spät“ empfunden wurde.

Mit Frage 17 wurde die Schlafdauer erfasst: „Wie lange haben Sie insgesamt geschlafen?“ Es sollte beurteilt werden, ob dies „sehr lang“, „ziemlich lang“, „eher lang“, „eher kurz“, „ziemlich kurz“ oder „sehr kurz“ war. Da bei diesen Antwortmöglichkeiten die Kategorie „normal“ nicht vorgesehen war, gab es hier häufig fehlende Angaben oder zwangsweise die Einordnung in eine der anderen Kategorien, weshalb dieser Aspekt bei der weiteren Auswertung nicht gesondert berücksichtigt wurde.

Frage 18 fragt nach dem Aufstehzeitpunkt: „Wann sind Sie heute Morgen endgültig aufgestanden?“

Frage 19 fragt nach der Medikamenteinnahme in den vorangegangenen 24 Stunden: „Haben Sie, seit Sie gestern Morgen aufgestanden sind, bis jetzt (auch nachts) Medikamente genommen?“ Falls ja, sollten das Präparat, die Dosis und Uhrzeit der Einnahme protokolliert werden.

In Frage 20 sollte die Qualität des Nachtschlafes im Vergleich zu den letzten vier Wochen vor der Untersuchung beurteilt werden: „besser“, „etwa genauso gut“ und „schlechter“.

In Frage 21 wurden Probleme mit dem Registriergerät erfasst: „Gab es Probleme mit dem ambulanten Registriergerät?“ Falls ja, konnte als Freitext die Art des Problems geschildert werden.

In Frage 22 wurde erhoben, ob nachts telefoniert wurde: „Haben Sie in der Zeit von 22:00 Uhr bis 06:30 Uhr telefoniert?“ Falls die Frage mit „ja“ beantwortet wurde, sollte spezifiziert werden, wann und wie lange telefoniert wurde.

Von den im Morgenprotokoll erhobenen Informationen wurden die Ursachen für einen schlechten Schlaf (Frage 14; Kapitel C 2.1.7), das Träumen (Frage 15, Kapitel C 2.1.8), Medikamenteneinnahme (Frage 19, Kapitel C 2.1.9), Probleme mit dem Registriergerät (Frage 21, Kapitel C 2.1.10) und nächtliche Telefonate (Frage 22, Kapitel C.2.1.11) als Einflussfaktoren diskutiert. Die Erholbarkeit (Frage 10), die Einschlaf latenz (Frage 12), die Wachzeit nach Schlafbeginn (Frage 13), die Gesamtschlafzeit (Frage 17), die Bettzeit (Fragen 7, 11 und 18) und die subjektive Schlaffeffizienz (Fragen 7, 11, 17 und 18) wurden als Zielp arameter herangezogen.

B 5.3.2 Daten zur objektiven Schlafqualität

Objektive Daten zur Schlafstruktur und Schlafqualität wurden mit dem ambulanten Registrierungssystem SOMNOscreen Neuro-Kombi der Firma SOMNOmedics (siehe Abb. 37) erhoben, wobei die in Tab. 7 (siehe Kap. B 1) aufgelisteten Parameter zur Auswertung herangezogen wurden: die „Time in Bed“ (TIB= Zeitdauer von "Licht aus" bis "Licht an" in min), die Total Sleep Time (TST= Objektive Gesamtschlafzeit: Zeit zwischen dem „Licht aus“- und dem „Licht an“-Marker abzüglich der „Wach-Phasen“), der Schlafeffizienz-Index (SEI= $TST/TIB * 100$) und die Sleep Onset Latency (SOL1= Zeit von Licht aus bis zum ersten Auftreten von NREM1, SOL2= Zeit von Licht aus bis zum ersten Auftreten von NREM2).

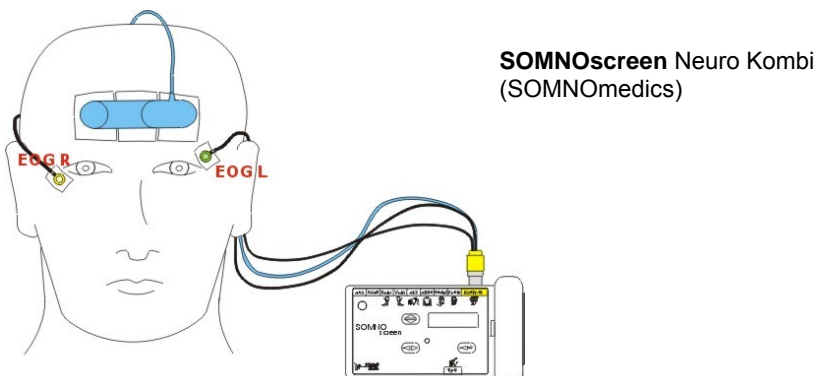


Abb. 37 Das in der Studie eingesetzte Gerät zur ambulanten Registrierung des Schlaf-EEG.

Da für die Studie nur 34 Geräte zur Verfügung standen, konnten an einem Standort in einem Durchgang jeweils nur 34 Personen parallel untersucht werden. Bei Überschreiten dieser Zahl, wurden zusätzlich QUISI[®]-Geräte eingesetzt, die wenn möglich an Studienteilnehmer verteilt wurden, deren Daten im nach hinein aufgrund der größeren Entfernung des Wohnortes von der Mobilfunkbasisstation (> 500 m) auszuschließen waren.

Sämtliche Schlaf-EEGs wurden einer doppelten Qualitätskontrolle unterzogen. In einem ersten Schritt wurden die Schlaf-EEGs auf ihre Richtigkeit bezüglich Datum, Uhrzeit und Länge im Vergleich zu den Angaben der Abend- Morgenprotokolle überprüft. Aufzeichnungen, die aufgrund von Bedienungsfehlern, abgelösten Elektroden oder aus anderen Gründen nicht automatisch analysierbar waren, wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. Im Falle einer abgelösten EEG-Elektrode (FP2), wurde das EEG mithilfe einer Rereferenzierung (EOG1 gegen EOG2) neu analysiert. Für den Fall, dass der Lagesensor „aufrecht“ anzeigte, obwohl im EEG eindeutig Schlaf zu sehen war, wurde dieser Kanal deaktiviert und die Aufzeichnung reanalysiert, da in der Voreinstellung der automatischen Auswertung eine Position „aufrecht“ unabhängig vom tatsächlichen EEG „wach“ wertete.

Bei allen Aufzeichnungen mussten sowohl die „Licht aus“- und „Licht an“ Marker nachträglich gesetzt werden. Dazu wurden die Zeitangaben aus den Morgen- und Abendprotokollen sowie die Informationen des Lagesensors, des EEGs und des EOGs herangezogen und die entsprechende Epoche markiert. In einem nächsten Schritt wurde der Einschlafzeitpunkt (definiert mit der ersten 30-Sekunden Epoche von Stadium 1 oder jedes anderen Schlafstadiums nach den neuen Kriterien der American Academy of Sleep Medicine, Iber et al., 2007) und der Aufwachzeitpunkt (erste Epoche „Wach“ nach dem letzten Schlafstadium) visuell erhoben und festgelegt.

Sämtliche Aufzeichnungen wurden ein zweites Mal von einer einzigen Person mit langjähriger Erfahrung in der visuellen Analyse von Schlafaufzeichnungen kontrolliert.

B 5.4 Maßnahmen zur Gewährleistung guter klinischer / epidemiologischer Praxis

Das Ziel der Studie, also eine von psychologischen Effekten unabhängige Untersuchung möglicher physiologischer Auswirkungen elektromagnetischer Felder von Mobilfunk-Basisstationen auf den Schlaf der Anwohner, ist nur mit einer doppelblinden Versuchsdurchführung erreichbar. Hierzu waren technische und organisatorische Maßnahmen erforderlich.

Die experimentelle mobile Basisstation, siehe Kap. B 4.1 war im Aufbau so beschaffen, dass im Betrieb die Expositionssituation nicht erkennbar war, auch nicht für die Studiendurchführenden. Stromaufnahme und äußere Signalisierung blieben konstant. Auch beim Betreten des Containers und Bedienen der Computer, z.B. zur Anzeige der Protokolle oder zur Modifikation der Kalenderplanung, kam es nicht zur Entblindung. Ein Eingriff in den automatischen Betrieb war nicht vorgesehen und auch nie erforderlich. Einmalig war wegen temperaturbedingter Veränderungen während des Sommers eine Korrektur von Grenzwerten der Eigenüberwachung nötig, auch diese Modifikation konnte wegen der Verschlüsselung der Protokolle „blind“ erfolgen.

Das Risiko einer eventuellen absichtlichen Entblindung der Studienteilnehmer durch einzelne Personen, die die Expositionssituation mit HF-Feldstärke-Indikatoren überprüfen könnten, wurde beachtet. Um Beeinträchtigungen zu erschweren, wurde das Studiendesign hinsichtlich der Exposition niemals bekannt gegeben. Auch die zufällige Wahl der Schaltzeitpunkte, siehe Kap. B 4.1 diente diesem Zweck. Die Studiendurchführenden vor Ort hatten sehr persönlichen Kontakt zur Bevölkerung, und gegen das Ziel der Studie gerichtete Aktivitäten der genannten Art wären sehr wahrscheinlich bemerkt worden. Im Zuge der Auswertung war vorgesehen, im Falle auffälliger Ergebnisse in einem einzelnen Studienort zeitliche Beziehungen in den Original-Schlafdaten zu untersuchen, die auf Störungen des normalen Ablaufes durch Benachrichtigungen hindeuten würden.

Neben der im Kap. B 4.2 beschriebenen Eigenüberwachung innerhalb der experimentellen mobilen Basisstation wurde eine weitere, externe Überwachung durchgeführt. Dazu richtete die IMST GmbH eine automatische Anlage zur Registrierung des Expositionssignals mit einer Antenne ein. Die Anlage

wurde jeweils in der Nähe der experimentellen Basisstation aufgestellt, eingeschaltet und unter Verschluss gehalten. Die Messergebnisse der Anlage waren während der Datenerhebung nicht zugänglich und wurden von der IMST GmbH aufbewahrt. Zu Kontrollzwecken stehen sie zur Verfügung.

Nach Abschluss der Datenerhebung wurden die Protokolle der experimentellen Basisstation automatisiert entschlüsselt und hinsichtlich der Schlaf-Untersuchungsnächte ausgewertet. Die Protokolle enthielten Informationen zum Sollzustand sowie Messwerte und das Ergebnis der Eigenüberwachung in numerischer Form für jeden 5-Sekunden-Abschnitt. Zunächst wurden für alle vollständig protokollierten Nächte arithmetische Mittelwerte der Parameter über den Zeitraum von 22:00:05 Uhr bis 09:14:55 Uhr gebildet. In diesem Zeitraum sollte jeweils konstant Verum- bzw. Sham-exponiert werden. Aus den Ergebnissen der Mittelung für alle Nächte wurden dann genau die Schlaf-Untersuchungsnächte entsprechend der realen Kalenderplanung ausgewählt.

Für alle Schlaf-Untersuchungsnächte wurde exakt die Kodierung für Verum- bzw. Sham-exposition erreicht, mit einer Ausnahme: Für Messzwecke war für den Vormittag nach der letzten Schlafnacht an einem Standort versehentlich bereits für morgens 8:00 Uhr das Einschalten der Exposition programmiert. Dies beeinträchtigte aber nicht das Expositionsschema, da es zufällig eine Verum-Nacht betraf und somit physisch kein Schaltvorgang stattfand. Dieses Ereignis blieb daher unberücksichtigt.

Das Ergebnis der Eigenüberwachung war während der Schlaf-Untersuchungsnächte zu 100% der Zeit "OK", d.h. es wurde immer entsprechend den programmierten Vorgaben gesendet bzw. nicht gesendet. Die Eigenüberwachung stellte dazu den Ist-Sendebetrieb anhand der in den Kabeln zu den Antennen übertragenen HF-Sendesignale fest, siehe Kapitel B 4.1.

Abschließend wurde die aus den Protokollen ermittelte Folge der Verum/Sham-Kodierungen für alle Schlaf-Untersuchungsnächte in die Form einer Randomisierungstabelle umgewandelt und schließlich mit der Original-Randomisierungstabelle des Biometrikers verglichen. Diese Original-Tabelle war zur Gewährleistung der doppelblinden Versuchsdurchführung bis dahin ausschließlich in verschlüsselter Form benutzt worden. Der abschließende Vergleich wurde zum Ausschluss von Fehlern vorgesehen.

Es wurde Übereinstimmung festgestellt, d.h., es wurde exponiert, wie vom Biometriker vorgegeben. Für die Zuordnung der Expositionsbedingung bei der Auswertung der Schlafdaten wurden die Datums- und Expositionsangaben aus den Protokollen benutzt. Datumsangaben sind z.T. maschinell erfasst, wiederholen sich in Fragebögen und gestatten eine zuverlässige Zuordnung.

B 6 Datenanalyse

Die Daten zur subjektiven und objektiven Schlafqualität wurden in EXCEL-Dateien gespeichert, und zur Auswertung mit einer EXCEL-Datei zu den Expositionsdaten gematcht. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm SAS (Version 9.1 für Windows). Zur Sicherung der Datenqualität wurde ein Großteil der Daten unabhängig doppelt eingegeben und automatisch abgeglichen. Die Ergebnisse der bereits erwähnten Machbarkeitsstudie wurden herangezogen, um a) den primären Zielparameter zu definieren und b) eine Fallzahlplanung für die Aufdeckung spezifischer Effekte durchzuführen.

B 6.1 Kriterien zur Auswahl des primären Zielparameters

Bei der Auswahl eines geeigneten Zielparameters wurden folgende Aspekte berücksichtigt. Der Zielparameter sollte:

- die Schlafqualität insgesamt abbilden, d.h. sowohl Störungen des Ein- als auch des Durchschlafprozesses reflektieren,
- einen Zusammenhang zur subjektiven Einschätzung der Schlafqualität aufweisen,
- ein Maß sein, das intraindividuell vergleichsweise wenig variiert,
- ein Maß sein, bei dem die intraindividuelle Variabilität kleiner ist als die interindividuelle Variabilität.

Der Parameter, der nach den Ergebnissen der bereits erwähnten Machbarkeitsstudie diese Kriterien am besten erfüllt, ist der Schlaffeffizienz-Index, der die Gesamtschlafzeit in der Nacht (d.h. unter Abzug aller Wachphasen) im Verhältnis zur Bettzeit (Registrierdauer, Indikator für die Zeit, in der die Probanden beabsichtigten, zu schlafen) angibt. Gleichzeitig ist der Schlaffeffizienz-Index ein Merkmal, das von Nacht zu Nacht innerhalb einer Person vergleichsweise wenig schwankt, was sich u.a. in einem kleinen durchschnittlichen Variationskoeffizienten widerspiegelt. Darüber hinaus ließ sich für dieses Merkmal in der Machbarkeitsstudie ein statistisch signifikanter Unterschied zwischen „guten“ und „schlechten“ Schläfern beobachten, die anhand einer standardisierten Skala zur subjektiven Bewertung der Schlafqualität (Pittsburgh Schlafqualitäts-Index) unterschieden wurden. Letzteres gilt auch für die Einschlafzeit, den NREM1-Anteil und den WACH-Anteil an der Zeit vom Einschlafen bis zum letzten Aufwachen (Sleep Period Time). Da aber für die letztgenannten Parameter der Variationskoeffizient größer ist, wird in diesem Zusammenhang dem Schlaffeffizienz-Index der Vorzug gegeben.

B 6.2 Auswahl sekundärer Zielparameter

Die objektiven Daten zu den Einschlafzeiten, Gesamtschlafzeit und der Bettzeit wurden als sekundäre Zielparameter explorativ ebenfalls ausgewertet.

Als weitere sekundäre Zielp Parameter wurden subjektive Informationen zur Schlafqualität aus den Morgen- und Abendprotokollen herangezogen: Erholbarkeit des Schlafes, Einschlaf latenz, Dauer von nächtlichen Wach-Phasen, Bettzeit sowie Gesamtschlafdauer. Aus diesen Informationen wurde ein Maß für die subjektive Schlafeffizienz ermittelt.

B 6.3 Fallzahlplanung

Die im nachfolgenden beschriebene Fallzahlplanung wurde von Dr. Peter Schlattmann für einen t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt.

Der primär zu untersuchende Zielp Parameter ist der Schlafeffizienz-Index. Die in der Machbarkeitsstudie beobachtete Differenz im Schlafeffizienz-Index zwischen „guten“ und „schlechten“ Schläfern in Höhe von ca. 3,0 % wird als Proxy für die Differenz zwischen den Bedingungen „exponiert“ und „nicht exponiert“ herangezogen. Zur Bestimmung der notwendigen Fallzahl wurde neben der Differenz auch die zugehörige Standardabweichung benötigt. Unter der Annahme einer Korrelation von 0,3 zwischen einzelnen Nächten (wie sie in der Machbarkeitsstudie beobachtet wurde) und einer Standardabweichung von ca. 9,0% ergibt sich eine geschätzte Standardabweichung für die Differenz von ca. 12,0%. Dies entspricht einer standardisierten Differenz von 0,25. Bei einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 und einer Power von 80% ergibt sich daraus ein Stichprobenumfang von 128 (vgl. Tab. 29). Bei einer höheren Power, von z.B. 90%, vergrößert sich der notwendige Stichprobenumfang auf 171. Bei gleichzeitiger Verringerung der zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit auf z.B. 0,01 und bei Beibehaltung einer Power von 90% wäre der Stichprobenumfang 242 (vgl. Tab. 29)

Die Tabelle zeigt bei einer vorgegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 bzw. 0,01 den erforderlichen Stichprobenumfang für verschiedene Kombination der standardisierten Effektdifferenz und der Power.

Die Datenerhebung wurde so angelegt, dass eine standardisierte Effektdifferenz von 0,2 mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 0,05 und einer Power von 90% nachgewiesen werden kann. Dafür wäre ein Stichprobenumfang von $n = 265$ Teilnehmern erforderlich. Um diese Target-Stichprobengröße zu erzielen, musste bei einer geschätzten Drop-out Rate von 10% ein geplanter Stichprobenumfang entsprechend auf $n = 294$ angesetzt werden.

Tab. 29 Fallzahlschätzung für verschiedene Kombinationen von Irrtumswahrscheinlichkeit, Power und standardisierter Effektdifferenz

Power	Standardisierte Differenz						
$\alpha = 0.05$							
	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40
.80	787	351	199	128	90	66	51
.85	900	401	227	146	102	76	59
.90	1053	469	265	171	119	88	68
Power	Standardisierte Differenz						
$\alpha = 0.01$							
	.10	.15	.20	.25	.30	.35	.40
.80	1172	523	296	191	134	99	77
.85	1309	584	330	213	149	110	85
.90	1492	665	376	242	169	125	97

Bei einer durchschnittlichen Stichprobengröße von ca. $n = 30$ pro Standort, wären 10 Standorte für die Durchführung der Untersuchung auszuwählen.

B 6.4 Statistische Auswertung

Alle statistischen Auswertungen für dieses Projekt wurden mit dem Statistikprogramm SAS (Version 9.1 für Windows) durchgeführt. Abbildungen wurden teils mit EXCEL und teils mit SigmaPlot (Version 9.0) erstellt.

Die Daten aus den einmalig auszufüllenden Fragebögen (siehe Kap. B 5.1), die zur Charakterisierung der Stichprobe herangezogen wurden, wurden entsprechend ihres Skalenniveaus (Ordinalskalenniveau oder Nominalskalenniveau) mit einem nicht parametrischen Wilcoxon-Test (Wilcoxon-Rangsummentest bzw. dem Äquivalent Mann-Whitney U-Test) bzw. einem χ^2 -Test auf geschlechts- bzw. altersbedingte Variationen überprüft. Zur Analyse des Zusammenhangs mit dem Alter wurde darüber hinaus – sofern das Skalenniveau es erlaubte – eine parameterfreie Korrelation (Spearman Rangkorrelationskoeffizient) berechnet.

Zur Beschreibung der Schlafdaten (subjektiv bzw. objektiv) wurde für die metrisch skalierten Daten zunächst für jeden Teilnehmer als zusammenfassendes Maß der Median der Schlafparameter getrennt für die 5 Nächte mit und die 5 Nächte ohne Exposition bestimmt. Dem Median wurde gegenüber dem arithmetischen Mittel der Vorzug gegeben, da er gegenüber Extremwerten robuster

ist. Die Mediane gehen als gepaarte Beobachtungen in die statistische Analyse ein. Die individuell ermittelten Differenzen wurden mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit ($p < 0,01$) auf Normalverteilung geprüft (Shapiro-Wilk test für $n < 50$; Kolmogorov-Smirnov für $n > 50$). Für normalverteilte Differenzen wurde die Nullhypothese, dass die mittlere Differenz gleich Null ist, mit dem Student's t-Test überprüft, für nicht normalverteilte Daten wurde der Vorzeichenrangtest von Wilcoxon für gepaarte Beobachtungen herangezogen. Getestet wurde jeweils mit einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 0,05$. Beide Tests sind den Daten angemessene spezielle Anwendungen einer einfaktoriellen Varianzanalyse. Für ordinalskalierte Daten bzw. nominalskalierte Daten mit wenigen Merkmalskategorien wurden individuelle Häufigkeitsverteilungen ermittelt, die dann mit entsprechenden nicht parametrischen Verfahren (χ^2 -Test) auf signifikante Unterschiede überprüft wurden. Bei 2x2 Feldertafeln wurde Fishers Exakter Test verwendet.

Zur Untersuchung psychologischer Effekte, d.h. von Effekten, die aus der Präsenz des Sendemastes als solchem – unabhängig von der EMF-Exposition – resultieren, wird die Stichprobe in Abhängigkeit von der Entfernung des Wohnortes zum Sendemast in zwei Gruppen untergliedert, wobei Probanden, die in einem Umkreis von 100 m um den Sendemast leben, zu einer Gruppe zusammengefasst werden, während Personen, die in einer Entfernung von 100 bis 500 m leben, die zweite Gruppe bilden. Unter der Annahme, dass die Nähe der Sendeanlagen einen psychologischen Effekt ausübt, wird die Hypothese überprüft, dass sich für die Nächte ohne Exposition der Schlaffeffizienz-Index zwischen den beiden Gruppen unterscheidet. Ein möglicher Zusammenhang zwischen den (subjektiven und objektiven) Schlafparametern und der Schlafqualität vor Beginn der Studie (Indikator: PSQI) bzw. der Entfernung des Wohnortes vom Sendemast wird auch korrelationsstatistisch analysiert. Dabei ist zu berücksichtigen, dass aufgrund der großen Fallzahl bereits kleine Korrelationskoeffizienten statistische Signifikanz erlangen. Darüberhinaus werden die Effekte des PSQI, der Entfernung (nicht klassifiziert), der Sichtbarkeit des Sendemastes vom Bett und vom Fenster, Sorgen um mögliche gesundheitliche Effekte des Sendemastes und des Mobilfunks im Allgemeinen sowie eine vorherige Beschäftigung mit dem Thema in einem linearen Modell (GENMOD) analysiert. Faktoren, die sich in diesem Modell als statistisch signifikant erweisen, werden post-hoc mit dem Wilcoxon Zwei-Stichproben-Test auch univariat auf statistische Signifikanz getestet.

Die Untersuchung der psychologischen Effekte nach dem skizzierten Design wird sowohl für den primären als auch für die sekundären Zielparameter durchgeführt, wobei Gruppenunterschiede mit dem Wilcoxon Zwei-Stichproben-Test berechnet werden.

Die Untersuchung der psychologischen Effekte nach dem skizzierten Design wird sowohl für den primären als auch für die sekundären Zielparameter durchgeführt.

Für die sekundären Zielparameter wird zunächst ebenfalls ein dem Skalenniveau angemessenes zusammenfassendes Maß bestimmt, das dann mit einem geeigneten Test für gepaarte Beobachtungen ausgewertet wird. Die Analyse der sekundären Zielparameter erfolgt explorativ und hypothesen-generierend, deshalb wird auf eine Korrektur der Irrtumswahrscheinlichkeit verzichtet.

C Ergebnisse

C 1 Charakterisierung der Stichprobe

C 1.1 Verteilung nach Alter und Geschlecht (n=397)

Wie bereits erwähnt (Kap. B 2.1) wurde die Studie an 10 Orten in fünf Bundesländern durchgeführt. Die 10 Studienorte hatten insgesamt 2856 Einwohner wobei die Einwohnerzahl zwischen 125 und 652 variierte. Von den 2856 Einwohnern waren 2329 im geeigneten Alter (> 17 Jahre). Von den 2329 Personen haben 397 (17,05%) initial an der Studie teilgenommen (vgl. Tab. 30).

Eine geschlechtsspezifische Aufschlüsselung ergab ein Geschlechterverhältnis von 51,5% Männer und 48,5% Frauen in der Gesamtbevölkerung sowie ein Geschlechterverhältnis von 49,1% Männer und 50,9% Frauen in der untersuchten Stichprobe. Diese leichte Verschiebung lässt sich mit einer stärkeren beruflichen Einbindung der Männer, die eine Studienteilnahme erschwerte (z.B. durch Schichtarbeit), erklären und stellt keine systematische Verzerrung da. Es gab keine signifikanten Unterschiede in der Zusammensetzung der Stichprobe nach Geschlechtern zwischen den Studienorten $\chi^2 = 4,6029$, $df=9$, $p = 0,8675$ (vgl auch Abb. 38)

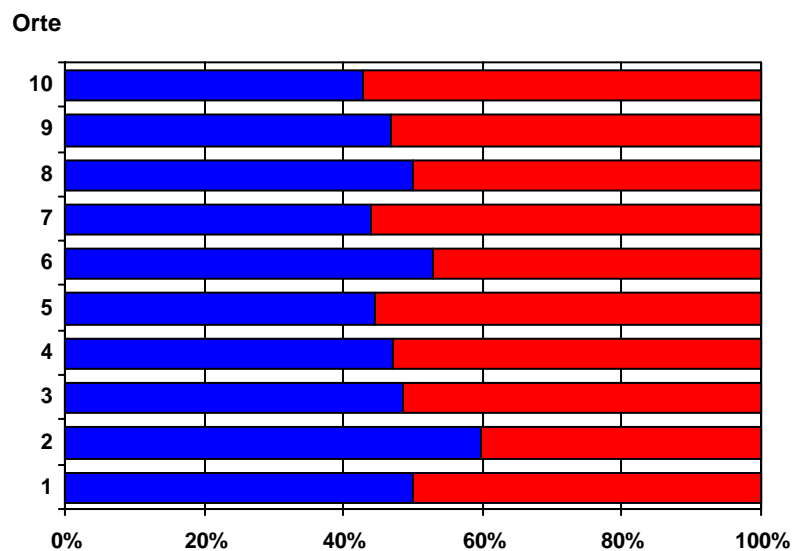


Abb. 38 Verteilung der Geschlechter in der Stichprobe nach Studienorten: blau: Männer, rot: Frauen.

Tab. 30 Verteilung der Gesamteinwohnerzahl, der Einwohner >17 Jahre und der untersuchten Stichprobe

								Stichprobe					
Einwohner				Einwohner >17 Jahre			männlich		weiblich		gesamt		
Ort	männlich	weiblich	gesamt	männlich	weiblich	gesamt	n	% Einwohner >17 Jahre	n	% Einwohner >17 Jahre	n	%	
1	90	110	200	84	87	171	17	20,24	17	19,54	34	19,88	
2	226	221	447	192	151	343	37	19,27	25	16,56	62	18,08	
3	167	145	312	144	130	274	16	11,11	17	13,08	33	12,04	
4	334	318	652	257	254	511	16	6,23	19	7,48	35	6,85	
5	94	86	180	81	72	153	16	19,75	20	27,78	36	23,53	
6	97	88	185	79	76	155	19	24,05	17	22,37	36	23,23	
7	83	103	186	69	79	148	22	31,88	28	35,44	50	33,78	
8	62	63	125	59	57	116	22	37,29	22	38,6	44	37,93	
9	145	135	280	116	109	225	15	12,93	17	15,6	32	14,22	
10	146	143	289	119	114	233	15	12,61	20	17,54	35	15,02	
Summe	1444	1412	2856	1200	1129	2329	195	16,25	202	17,89	397	17,05	
Mittel	144	141	286	120	113	233	20		20		40		

Eine geschlechtsspezifische Aufschlüsselung der Verteilung der Grundgesamtheit und der Stichprobe nach Altersklassen zeigt Abb. 39.

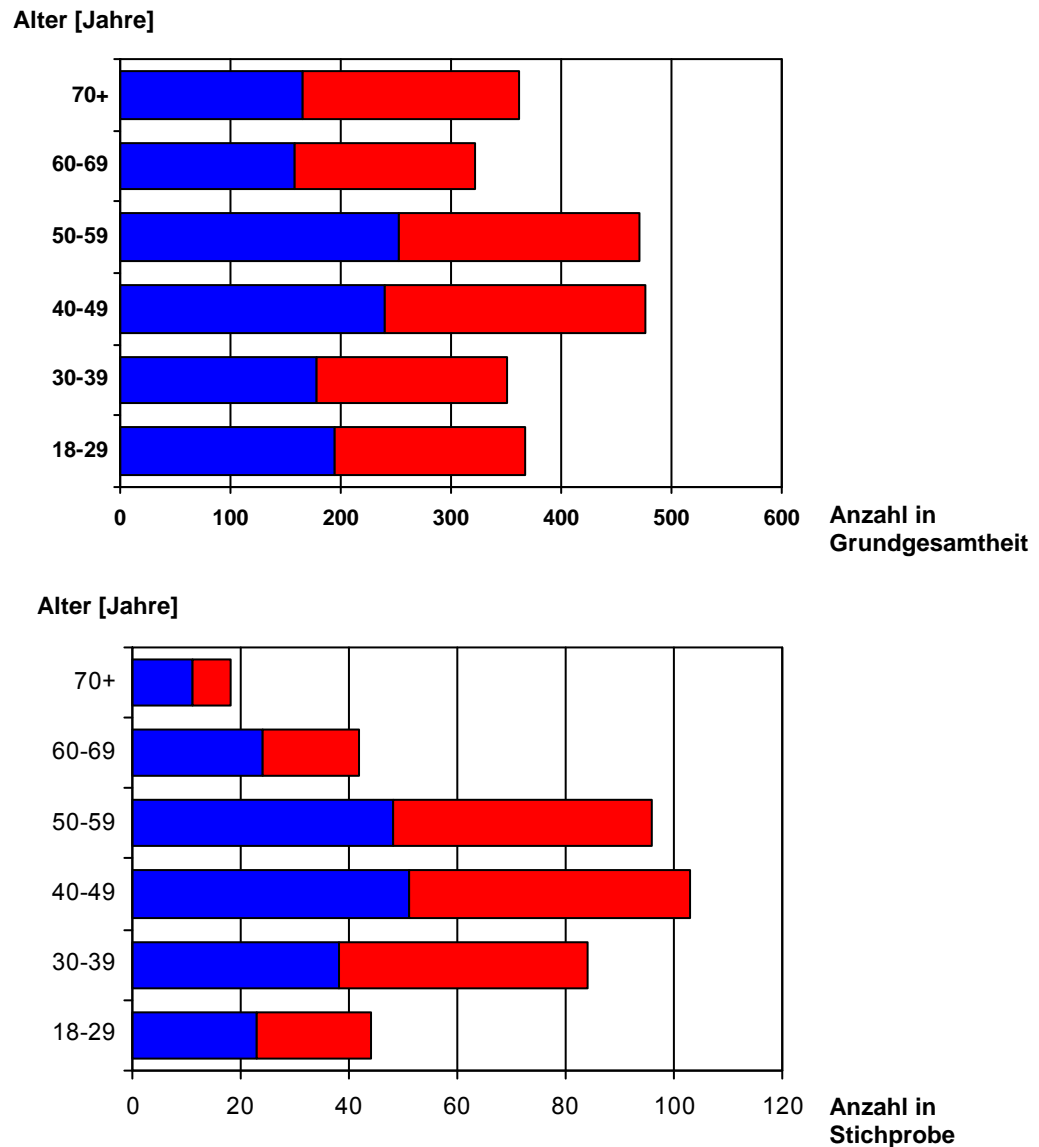


Abb. 39 Verteilung der Studienteilnehmer nach Geschlecht: blau: Männer, rot: Frauen, oben: Grundgesamtheit, unten untersuchte Stichprobe.

Es zeigt sich, dass die mittleren Altersgruppen (30 bis 60 Jahre) in der Stichprobe am stärksten vertreten sind. Die flankierenden Altersgruppen (18-29 Jahre und 60-69 Jahre) sind annähernd gleich gut besetzt, jedoch sind beide im Vergleich zur Grundgesamtheit etwas leicht unterrepräsentiert. Die Altersgruppe der 60-69-Jährigen ist im Vergleich zur Grundgesamtheit, wo sie 13,7% ausmacht, mit 10,8% der Stichprobe etwas unterbesetzt. Die Altersgruppe der 18-29-Jährigen, die in der Grundgesamtheit 15,7% ausmacht, ist in der Stichprobe prozentual nur mit 13,6% vertreten. Ausgeprägter ist die Abweichung für Personen ab 70 Jahre, die in der Bevölkerung 15,4% der Einwohner im Alter über 17 ausmachen, in der Stichprobe sind sie nur mit 4,5% vertreten, eine selektive Verzerrung nach Geschlechtern ist nicht zu beobachten.

Das mittlere Alter der Studienteilnehmer betrug $45,0 \pm 14,2$ Jahre, wobei die Männer geringfügig (aber statistisch nicht signifikant: $\chi^2 = 6,9427$, $df=5$, $p = 0,2249$) älter waren ($46,3 \pm 14,2$ Jahre) als die Frauen ($43,8 \pm 14,1$ Jahre) mit einer Variationsbreite von 18 – 81 Jahren.

C 1.2 Drop out Analyse

Von den 397 Personen, die initial an der Studie teilgenommen haben, mussten zunächst 21 für die weitere Datenanalyse ausgeschlossen werden, das sind 5,3% der ursprünglichen Stichprobe. Die Gründe für den Ausschluss sind in Tab. 31 zusammengestellt:

Tab. 31 Gründe für einen Drop-out, welche die ursprüngliche Stichprobe von 397 auf 376 Personen reduzierte.

Grund	Anzahl
• Berufsbezogene Gründe (unvorhergesehene Dienstreisen etc.)	5
• Gerät wurde nicht toleriert	5
• Hautprobleme	3
• Krankheiten (eigene oder eines Kindes)	3
• Probleme mit der Handhabung des Gerätes	2
• (sehr) alte pflegebedürftige Personen	2
• unklar	1

Die Drop-outs verteilten sich auf alle 10 Orte. In drei Orten gab es je einen Drop-out (DO), in vier Orten je zwei DOs, in zwei Orten drei und in einem Ort gab es vier DOs.

Das mittlere Alter der DOs entsprach mit $45,2 \pm 16,2$ Jahren ziemlich exakt dem mittleren Alter der Gesamtstichprobe. Ein Wilcoxon Test für unabhängige Stichproben ergab keinen Anhalt für eine statistisch signifikante Abweichung der Altersverteilung der DOs von der Gesamtstichprobe: $p = 0,8124$. Die Drop-outs verteilten sich auf beide Geschlechter annähernd gleichmäßig (10 Männer und 11 Frauen). Dies zeigt eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Geschlechterverhältnis in der Gesamtstichprobe. Entsprechend ließ sich kein signifikanter Unterschied in der Zusammensetzung der verbleibenden Stichprobe und der Drop-outs beobachten: $\chi^2 = 0,0199$, $df=1$, $p = 0,8877$.

Die Daten der in der Stichprobe verbliebenen 376 Teilnehmer wurden zur Charakterisierung der Stichprobe hinsichtlich der mittels einmalig auszufüllender Fragebogen erhobenen Daten herangezogen.

C 1.3 Zusammensetzung der Stichprobe nach Alter und Geschlecht (n = 376)

Die bereinigte Stichprobe setzte sich aus 185 Männern (49,2%) und 191 Frauen (50,8%) zusammen. Eine geschlechtsspezifische Aufschlüsselung nach Altersklassen ist Abb. 40 zu entnehmen.

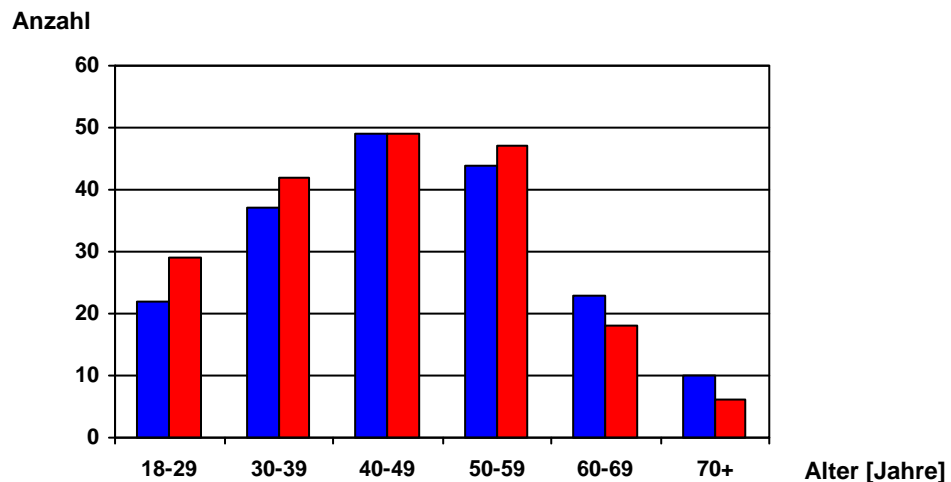


Abb. 40 Verteilung der bereinigten Stichprobe (n=376) nach Alter und Geschlecht. blau: Männer, rot: Frauen.

C 1.4 Ergebnisse des Landecker Inventars zur Erfassung von Schlafstörungen

Da für einen Teilnehmer kein vollständig ausgefüllter LISST Fragebogen vorlag liegen die Ergebnisse für den LISST nur für 375 Probanden vor.

Das Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen lieferte für 82 Probanden (21,9%) Anhaltspunkte für das Vorliegen einer Schlafstörung. Abb. 41 ist zu entnehmen, um welche Verdachtsdiagnosen es sich dabei handelte. Die Unterschiede in der Verteilung der Verdachtsdiagnosen zwischen den Geschlechtern sind statistisch signifikant: $\chi^2 = 11,9010$, $df=4$, $p = 0,0181$. Der Abbildung ist zu entnehmen, dass die Verdachtsdiagnose *Schlafbezogene Atmungsstörungen* (SBAS) bei Männern häufiger vorkommt, während bei Frauen die Verdachtsdiagnose einer *Insomnie* häufiger ist. Die Verdachtsdiagnose einer Narkolepsie wurde ausschließlich für Frauen gestellt.

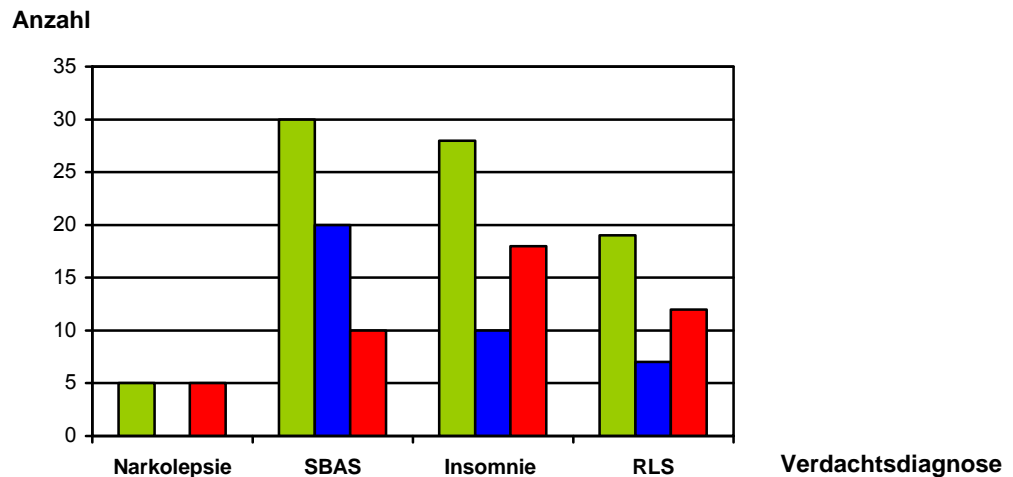


Abb. 41 Verteilung der Verdachtsdiagnosen aus dem LISST: blau: Männer, rot: Frauen, grün: Frauen und Männer.

Darüber hinaus gibt es signifikante Unterschiede in der Verteilung der Diagnosegruppen (einschließlich „gesund“) nach Altersgruppen: $\chi^2 = 53,2828$, $df=20$, $p < 0,0001$. In Abb. 42 ist die Verteilung der Personen mit einer schlafmedizinisch relevanten Verdachtsdiagnose im LISST nach Altersgruppen und Geschlechtern getrennt dargestellt.

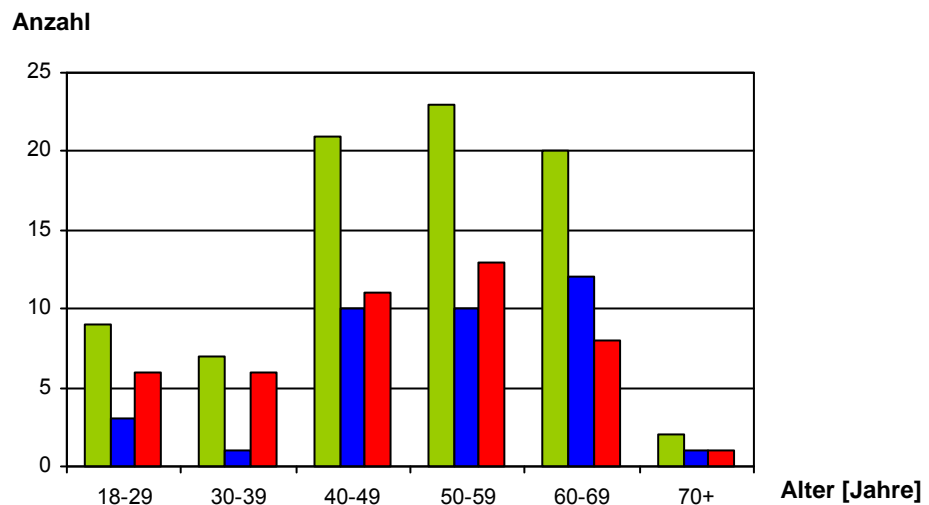


Abb. 42 Verteilung der Anzahl von Personen mit einer schlafmedizinisch relevanten Verdachtsdiagnose im LISST: blau: Männer, rot: Frauen, grün: Frauen und Männer.

Wie zu erwarten, ist die Prävalenz von Schlafstörungen gemessen an den Verdachtsdiagnosen aus dem LISST in den mittleren und höheren Altersklassen größer, wobei zu beobachten ist, dass die über 70-jährigen Personen, die an der Studie teilgenommen haben, deutlich seltener eine schlafmedizinisch relevante Verdachtsdiagnose im LISST hatten als die 40-69-Jährigen (nicht nur absolut, sondern auch prozentual). Bei geschlechtsspezifischer Betrachtung sind die Variationen der Diagnosehäufigkeiten lediglich für Männer statistisch signifikant: $\chi^2 = 42,1245$, $df=15$, $p = 0,0002$, jedoch nicht für Frauen: $\chi^2 = 28,9266$, $df=20$, $p = 0,0892$.

Dass Schlafstörungen im Alter wesentlich häufiger als in jungen Jahren sekundären Ursprungs sind, also auf andere körperliche Erkrankungen zurückzuführen sind (Foley et al. 1995), könnte in der vorliegenden Studie dazu geführt haben, dass eher gesunde ältere Personen teilgenommen haben. Darauf lässt eine geringere Anzahl schlafmedizinischer relevanter Diagnosen in den höheren Altersklassen schließen. Die höhere Anzahl an Frauen mit einer Verdachtsdiagnose „Insomnie“, sowie ein Überwiegen der männlichen Teilnehmer mit Verdachtsdiagnose „Schlafbezogene Atmungsstörungen“ im LISST stimmen sehr gut mit den Prävalenzen der entsprechenden Schlafstörungen überein. Dass ausschließlich Frauen (n=5) in der Kategorie „Narkolepsie“ auffällige Werte zeigten, steht im Gegensatz zur Prävalenzrate der Narkolepsie und dürfte eher auf eine Schwäche des Fragebogens zurückzuführen sein.

C 1.5 Ergebnisse des Pittsburgh Schlafqualitäts- Index

Die PSQI-Scores in der Stichprobe verteilen sich zwischen 1 und 18, der mittlere PSQI liegt bei $4,88 \pm 2,61$ (Median: 5,0) und ist damit höher als entsprechende Werte, die für gesunde (nicht schlafgestörte) Kontrollen publiziert wurden: $2,67 \pm 1,70$ (n = 52; Buysse et al. 1989); $3,3 \pm 1,80$ (n = 45; Backhaus et al. 2002); $2,7 \pm 1,3$ (n = 11; Inoue et al. 2002). In der Pilotstudie, die im Jahr 2002 zu diesem Projekt in Flachsmeer durchgeführt wurde, lag der mittlere PSQI-Wert jedoch um 0,5 Punkte höher: $5,38 \pm 2,86$ (Median: 5,0, n=97), bei einer insgesamt etwas geringeren Variationsbreite (1 bis 16). In einer Vergleichsstudie aus Österreich, in der eine repräsentative, nicht selektierte Bevölkerungsstichprobe untersucht wurde (n = 1049) lag der mittlere PSQI mit $4,55 \pm 3,71$ (Zeitlhofer et al. 2000) nur geringfügig unter dem hier beschriebenen.

Abb. 43 zeigt eine geschlechtsspezifische Verteilung der PSQI-Scores.

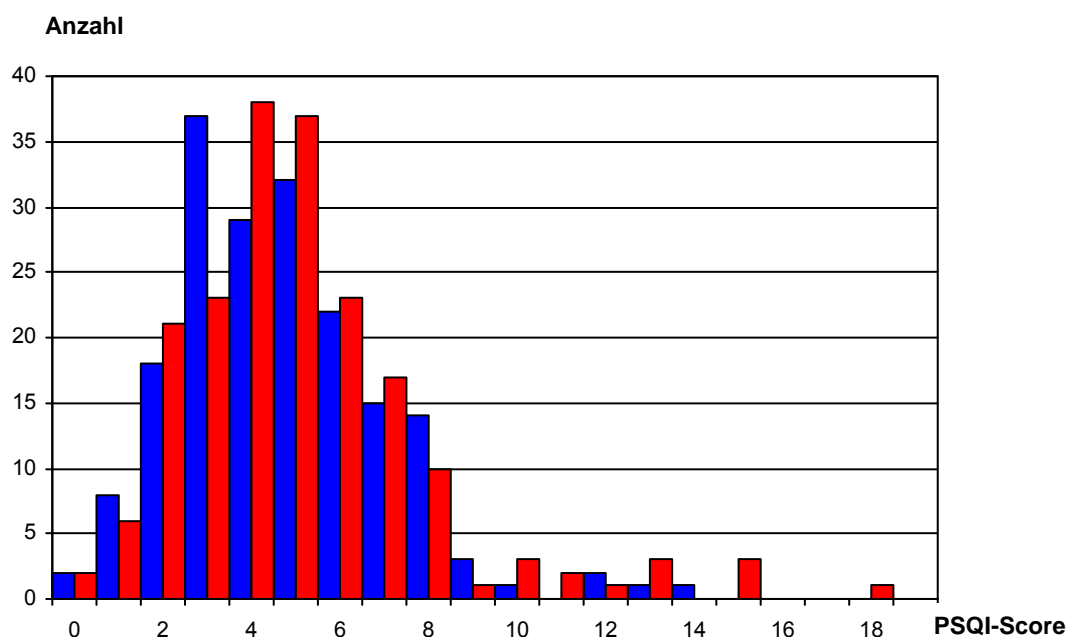


Abb. 43 Verteilung der PSQI-Scores nach Geschlechtern: blau: Männer, rot: Frauen.

Eine geschlechtsspezifische Analyse ergab, dass der mittlere PSQI bei Frauen deutlich höher ist als bei Männern: $5,06 \pm 2,83$ (Median: 5,0) vs. $4,69 \pm 2,34$ (Median: 4,0), dieser Unterschied erweist sich im zweiseitigen Wilcoxon Two-Sample Test jedoch nicht als statistisch signifikant: $p = 0,3483$.

Bei einem Cut-off Wert von $PSQI > 5$, sind 32,7% der $n = 376$ Probanden als schlechte Schläfer einzuordnen. Dieser Prozentsatz war in der österreichischen Vergleichsstudie mit 31,1% recht ähnlich (Zeitlhofer et al. 2000). In der Machbarkeitsstudie lag der Anteil der nach diesem Kriterium schlafgestörten Personen mit 35,1% etwas höher.

Die auf der Basis des arithmetischen Mittels des PSQI-Scores zu beobachtenden (statistisch nicht signifikanten) Unterschiede in der Schlafqualität zwischen Männern und Frauen spiegeln sich im Anteil „schlechter“ Schläfer ($PSQI > 5$) nicht wider. Er beträgt bei Frauen mit 33,51% und bei Männern 31,89%. Wie Abb. 43 zeigt, ist ein PSQI-Score von 3 bei Männern deutlich häufiger zu beobachten als bei Frauen, bei letzteren sind aber PSQI-Scores von 4 und 5 häufiger, so dass insgesamt die Verteilung von „guten“ und „schlechten“ Schläfern zwischen den Geschlechtern statistisch nicht signifikant unterschiedlich ist: $\chi^2 = 0,1115$, $df=1$, $p = 0,7385$.

Ein tendenziell höherer Anteil „schlechter“ Schläfer bei Frauen fand sich in der bereits erwähnten österreichischen Studie: 37,0% ($n = 556$) vs. 26,5% ($n = 494$; Zeitlhofer et al. 2000) sowie in einer japanischen Census-Studie von 1995 an einer Zufallsstichprobe 31,1% ($n = 951$) vs. 26,4% ($n = 920$) (Doi et al. 2001). Ganz deutliche Geschlechtsunterschiede fanden sich bei den 97 Probanden der Flachsmeer-Studie: 41,2% bei Frauen vs. 28,3% bei Männern.

Angemerkt sei an dieser Stelle, dass der mittlere PSQI schlafgestörter Patienten deutlich höher liegt. Bei 80 Patienten mit einer primären Insomnie nach DSM-IV betrug der mittlere PSQI: $12,5 \pm 3,80$ (Backhaus et al. 2002), und bei Patienten mit RLS ($n = 9$) bzw. RLS und PLMD ($n = 8$) fanden Inoue et al. (2002) PSQI-Werte von 12,6 bzw. 10,6.

Ein Zusammenhang zwischen dem PSQI-Score und dem Alter konnte in dieser Stichprobe nicht eindeutig nachgewiesen werden. Weder die Korrelation mit dem Alter (Spearman Rangkorrelation: $r_s = 0,0901$, $p = 0,0809$) war signifikant noch die Verteilung „guter“ und „schlechter“ Schläfer nach Altersklassen: $\chi^2 = 8,9423$, $df=5$, $p = 0,1114$. In einer Regressionsanalyse, in der Alter als kontinuierlicher und Geschlecht als kategorialer Einflussfaktor berücksichtigt wurden, zeigte sich dagegen eine statistisch signifikante Zunahme des PSQI-Scores mit zunehmendem Alter ($b = 0,0243$, $p = 0,0113$), während der Effekt des Geschlechts nicht signifikant war ($b = 0,4160$, $p = 0,1210$). Insgesamt wurden durch das regressionsanalytische Modell ($F = 4,18$, $df = 2,373$ $p = 0,0160$) aber nur 1,67% (adj. R^2) der Varianz des PSQI-Scores erklärt.

Foley et al. (1995, 1999) stellten in ihren Studien zu Schlafveränderungen bei älteren Personen fest, dass sich der Schlaf zwar im Alter verändert, dies aber nicht zwangsweise zur Äußerung von Beschwerden führt. Diese Ergebnisse stimmen auch mit der Beobachtung von Buysse et al. (1991)

überein, dass gesunde ältere Personen Veränderungen des Schlafs durchaus als „normal“ akzeptieren, wodurch die subjektive Schlafqualität im PSQI nur moderat schlechter beurteilt wird. In Studien, die repräsentative Bevölkerungsstichproben untersuchten, nahm die subjektive Schlafqualität im PSQI mit höherem Alter ebenso ab, wobei sich diese Effekte sowohl in einer japanischen Studie (Doi et al. 2001) als auch in der österreichischen Umfrage (Zeithofer et al. 2000) überwiegend in der Gruppe der Frauen zeigte.

C 1.6 Ergebnisse der Epworth Schläfrigkeitsskala

Der mittlere ESS-Score der Studienteilnehmer lag bei $7,6 \pm 3,5$ (Median: 8), die Variationsbreite betrug 0 bis 18. Die geschlechtsspezifische Verteilung der ESS-Scores ist Abb. 44 zu entnehmen.

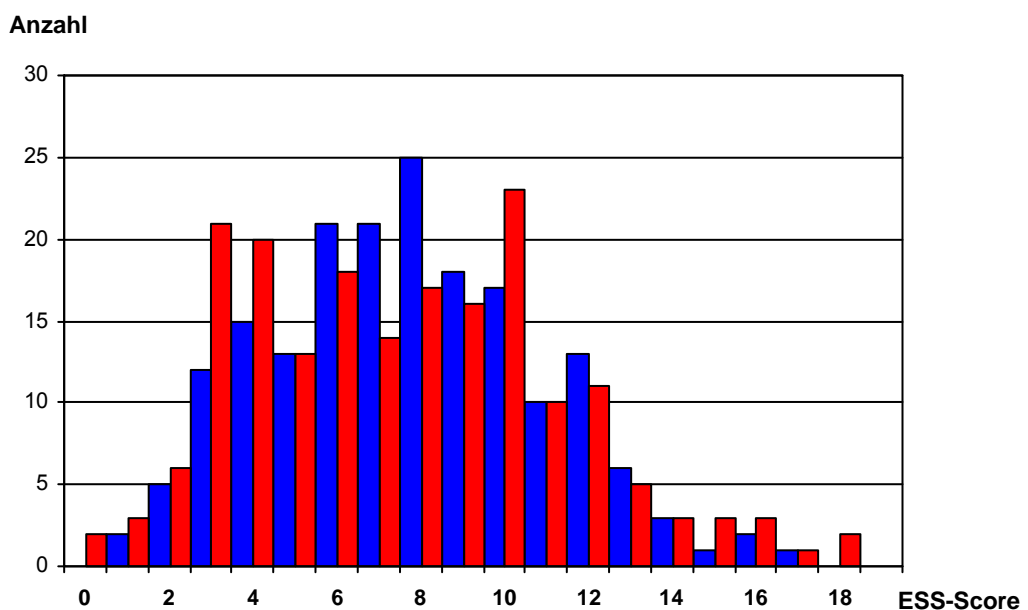


Abb. 44 Verteilung der ESS-Scores nach Geschlechtern: blau: Männer, rot: Frauen.

Es gab keine signifikanten Geschlechtsunterschiede: Männer: $7,7 \pm 3,2$ (Median: 8,0); Frauen $7,5 \pm 3,8$ (Wilcoxon Two-Sample Test: $p = 0,4315$; $\chi^2 = 12,9971$, $df=18$, $p = 0,7917$).

Insgesamt wiesen 19,7% der Probanden ($n=74$), d.h. fast jeder fünfte eine übermäßige Tagesschläfrigkeit definiert als ESS-Score > 10 auf. Auch im Hinblick auf diesen Cut-off Score von > 10 ließen sich keine nennenswerten Geschlechtsunterschiede beobachten: bei Frauen betrug der Anteil 19,9% und bei Männern 19,5% ($\chi^2 = 0,0113$, $df=1$, $p = 0,9154$).

Ein Zusammenhang zwischen dem ESS-Score und dem Alter konnte in dieser Stichprobe nicht beobachtet werden. Weder die Korrelation mit dem Alter (Spearman Rangkorrelation: $r_s = -0,0654$, $p = 0,2060$) war signifikant noch der Anteil von Personen mit übermäßiger Schläfrigkeit nach Altersklassen: $\chi^2 = 3,1437$, $df=5$, $p = 0,6778$. In einer Regressionsanalyse, in der Alter als kontinuierliche und Geschlecht als kategorialer Einflussfaktor berücksichtigt wurden, zeigte sich weder für das Alter ($b = -0,2420$, $p = 0,5070$) noch für das Geschlecht ein signifikanter Effekt ($b = -0,0149$, $p = 0,2507$). Insgesamt war das regressionsanalytische Model nicht signifikant: $F = 0,83$, $df =$

2,373 $p = 0,4367$), d.h. dass die beiden berücksichtigten Variablen keinen Beitrag zur Erklärung der Varianz des ESS-Scores liefern.

Der mittlere ESS-Score der Studienteilnehmer in der Machbarkeitsstudie lag bei $8,6 \pm 3,9$, es gab ebenfalls keine signifikanten Geschlechtsunterschiede: Männer: $8,3 \pm 3,5$ ($n=47$); Frauen $8,9 \pm 4,2$ ($n=58$; Wilcoxon Two-Sample Test: $p = 0,5130$). Insgesamt wiesen 21,9% der Probanden, d.h. fast jeder vierte einen ESS-Score > 10 auf, wobei ein Proband einen sehr auffälligen Score von 23 erreichte. Ein Geschlechtsunterschied wurde auch in einer Normierungsstudie der deutschen Version der ESS an 120 Männern und 119 Frauen nicht gefunden (Sauter et al. 2007), allerdings auch kein Unterschied zwischen verschiedenen Altersgruppen. Dabei ist zu beachten, dass in der Normierungsstudie „schlafgesunde“ Personen untersucht wurden, die nicht direkt mit der heterogenen Stichprobe der vorliegenden Studie verglichen werden können.

C 1.7 Ergebnisse des Fragebogens zur Morgen- Abendtyp-Bestimmung

Der mittlere MEQ-Score über alle Probanden beträgt $58,4 \pm 9,4$ (Median: 59) und fällt damit in den Übergang zwischen „Indifferenztypen“ und „schwach ausgeprägten Morgentypen“. Bei geschlechtsspezifischer Betrachtung fällt auf, dass der Score bei Männern geringfügig höher ist ($59,2 \pm 9,1$; Median: 60) als bei Frauen ($57,5 \pm 9,6$; Median: 58). Die Verteilungsunterschiede zwischen den Geschlechtern sind jedoch weder für den unklassifizierte Score ($p = 0,1095$) noch für die Verteilung nach Typen statistisch signifikant ($\chi^2 = 1,0597$, $df=3$, $p = 0,7868$). Da es in der Stichprobe insgesamt nur einen „stark ausgeprägten Abendtyp“ gab (eine Frau), wurden für die weitere Auswertung nach circadianen Typen, die Kategorien „stark ausgeprägte Abendtypen“ und „ausgeprägte“ Abendtypen zusammengefasst. Die Verteilung der nach Horne und Östberg definierten „circadianen Typen“ ist in Abb. 45 nach Geschlechtern getrennt dargestellt.

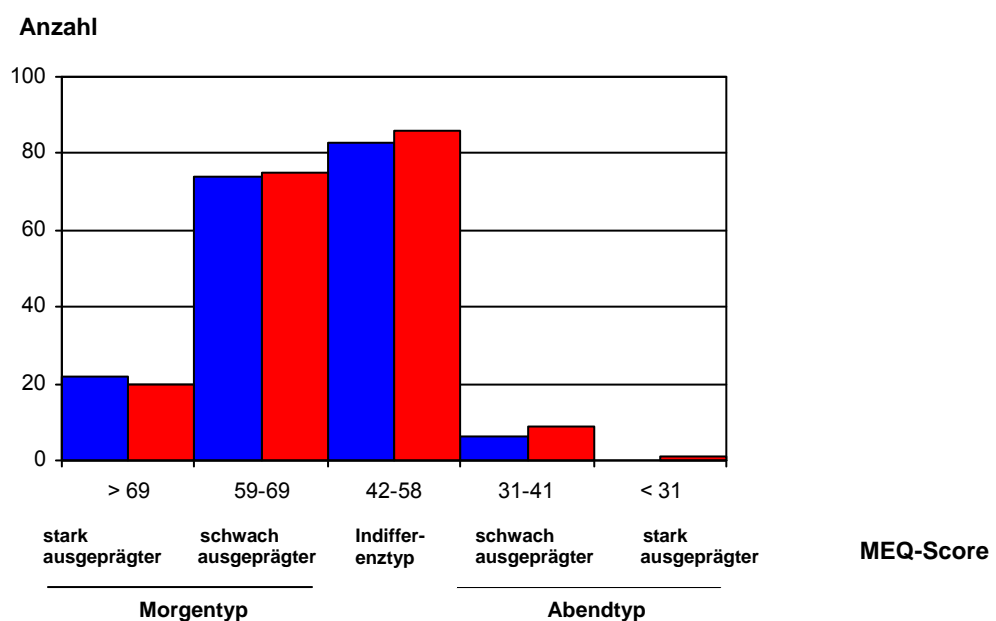


Abb. 45 Verteilung der Morgen-/Abendtypen nach Geschlechtern: blau: Männer, rot: Frauen.

Die Abbildung belegt, dass die Mehrheit sowohl der Männer (84,9%) als auch der Frauen (84,3%) entweder Indifferenztypen oder Morgentypen sind.

Anders als für den PSQI- und den ESS-Score lässt sich für den MEQ-Score eine signifikante Altersabhängigkeit beobachten. Das zeigt sich zum einen in einer positiven Korrelation zwischen dem Score und dem Alter ($r_s = 0,3734$, $p < 0,0001$). Die Zunahme des MEQ-Score mit steigendem Alter spricht für eine Verschiebung in Richtung Morgentypen mit zunehmendem Alter (siehe auch Abb. 46). Eine nach Altersklassen aufgeschlüsselte Verteilung der in Kategorien eingeteilten Typen weist ebenfalls signifikante Unterschiede auf: $\chi^2 = 65,8445$, $df=15$, $p < 0,0001$.

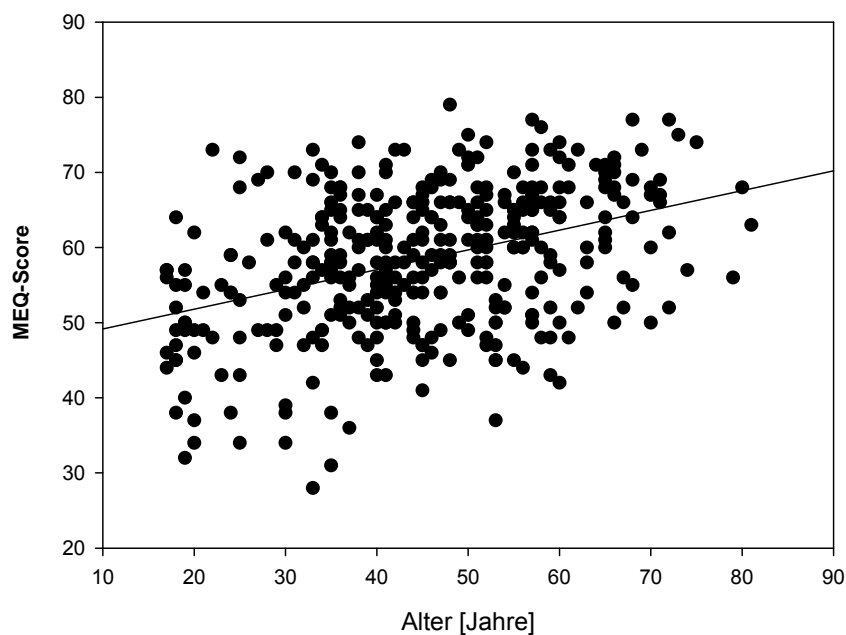


Abb. 46 Korrelation des MEQ-Scores mit dem Alter. Werte von 42-58 sind dem Indifferenztyp zuzuordnen, Werte unter 42 Abendtypen und über 58 Morgentypen.

Eine Regressionsanalyse mit dem Geschlecht und dem Alter als unabhängige Einflussgrößen belegt den nicht signifikanten Effekt des Geschlechts ($b = -1,1675$, $p = 0,1919$) sowie den signifikanten Effekt des Alters ($b = 0,2610$, $p < 0,0001$). Das regressionsanalytische Modell ($F = 35,57$, $df = 2,373$, $p < 0,0001$) erklärt 15,57% der Varianz der MEQ-Scores.

Eine signifikante Verschiebung bzw. Vorverlagerung in Richtung Morgentypus mit zunehmendem Alter konnten u.a. Buysse et al. (1991) im Vergleich von 44 jungen (Alter zwischen 20 und 30 Jahren) und 44 älteren Personen (Alter über 80 Jahre) anhand des MEQ von Horne und Östberg zeigen. Taillard et al. (2004) kritisierten, dass der Fragebogen von Horne und Östberg nur an Studenten validiert wurde und nicht an arbeitenden Personen. Daher untersuchten sie 566 Arbeiter mit einem mittleren Alter von 51,2 Jahren (Range 44-58 Jahre), die nicht in Schichtarbeit tätig waren und nicht unter Schlafstörungen litten. Eine Klassifikation nach Horne und Östberg zeigte eine Häufigkeit von 62,1% Morgentypen, 36,6% Indifferenztypen und nur 2,2% Abendtypen. Nach einer Hauptkomponentenanalyse unter Berücksichtigung aller Items konnten 3 Cluster bestimmt werden, anhand derer neue Cutoff-Scores gebildet wurden: Abendtypen haben nach dieser Klassifikation

einen Wert <53 und Morgentypen >64 . Unter Anwendung dieser neuen Klassifikation waren nur mehr 28,1% Morgentypen, 51,7% Indifferenztypen und 20,2% Abendtypen. Abendtypen zeigten besonders deutlich am Wochenende spätere Zubettgehzeiten, ein größeres Schlafbedürfnis und Schlafdefizit und eine deutlichere Schläfrigkeit am Morgen. Auch in dieser Studie zeigte sich eine positive Korrelation zwischen dem Alter und Morgentypen.

Eine epidemiologische Studie zur Morgen- und Abendtypologie in Neuseeland, die 2526 Personen im Alter zwischen 30 und 49 Jahren erfasste, fand ein Überwiegen von Morgentypen (49,8%), hingegen nur 5,6% waren Abendtypen in der Klassifikation nach Horne und Östberg (Paine et al. 2006). Nach Anwendung der Klassifikation von Taillard et al. (2004) wurde nur mehr etwa ein Viertel als Morgentypen (24,7%) und 26,4% als Abendtypen klassifiziert. Nach Berücksichtigung demografischer und sozioökonomischer Faktoren konnte erneut bestätigt werden, dass mit höherem Alter die Anzahl an Morgentypen zunimmt. Unter Berücksichtigung dieser Mängel des MEQ passen die hier erhobenen Scores gut zu den aus anderen Studien präsentierten, auch wenn kulturelle Unterschiede berücksichtigt werden müssen.

C 1.8 Ergebnisse der Selbstbeurteilungsskala für Depression

Für die Teilnehmer an dieser Studie konnte ein mittlerer SDS-Score von $31,9 \pm 6,5$ (Median: 32) ermittelt werden. Bei Männern war der durchschnittliche Score mit $31,0 \pm 6,3$ (Median 30) etwas geringer als bei Frauen: $32,7 \pm 6,6$ (Median 32; siehe Abb. 47). Dieser Unterschied ist statistisch signifikant (Wilcoxon Two-Sample Test: $p = 0,0294$).

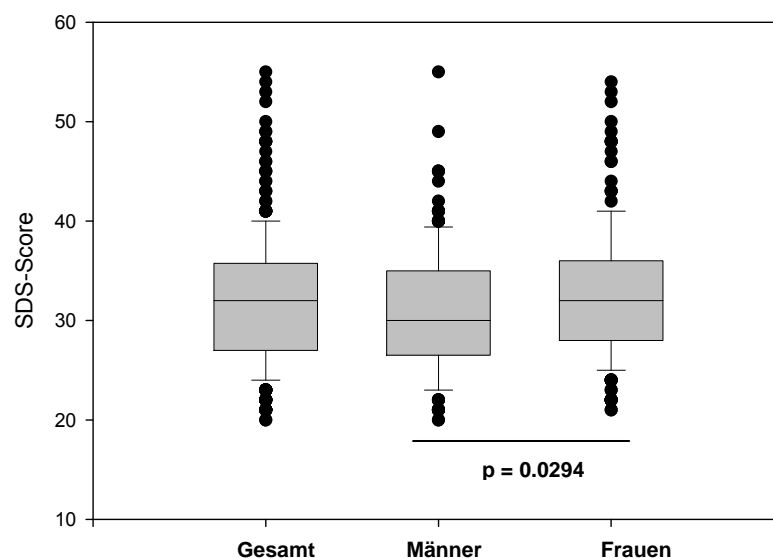


Abb. 47 Boxplots der Verteilung der SDS-Scores.

Dieser Geschlechtsunterschied spiegelt sich in der Häufigkeit mit der SDS-Scores beobachtet wurden, die indikativ für eine zumindest leichte depressive Störung sind, nicht wider (siehe Abb. 48; $\chi^2 =$

1,9164, $df=1$, $p = 0,1663$). Der Anteil von Probanden mit einem SDS-Score > 40 beträgt insgesamt 8,5% (6,5% bei Männern und 10,5% bei Frauen), davon entfallen 5,6% (5,4% bei Männern und 5,8% bei Frauen) auf einen Bereich (SDS-Score 41 bis 47), der auf eine leichte depressive Verstimmung hinweist und die restlichen 2,9% (1,1% bei Männern und 4,7% bei Frauen) auf Scores (48 bis 55), die Anhalt für eine mäßige Depression geben. SDS-Scores, die indikativ für das Vorliegen einer schweren Depression sind, wurden nicht beobachtet.

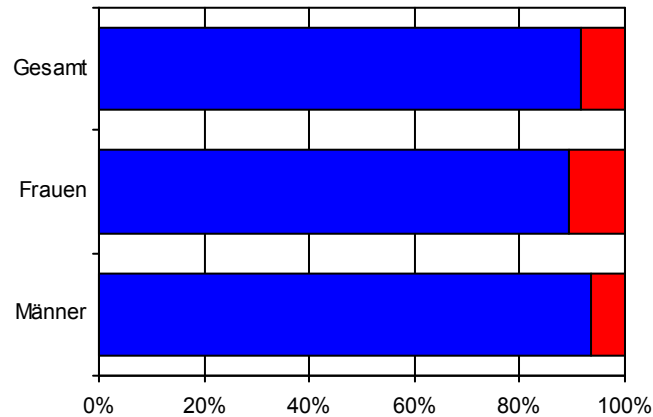


Abb. 48 Anteil an Teilnehmer mit unauffälligen (blau) und auffälligen (> 40 , rot) SDS-Scores.

Obwohl die Verteilung auffälliger und unauffälliger SDS-Scores nach Altersklassen keine statistisch signifikanten Unterschiede aufweist ($\chi^2 = 7,1008$, $df=5$, $p = 0,2133$), lässt sich für die nicht kategorisierten Scores eine positive Korrelation mit dem Alter beobachten: $r_s = 0,1811$, $p = 0,0004$. Abb. 49 verdeutlicht die höheren SDS-Scores mit steigendem Alter.

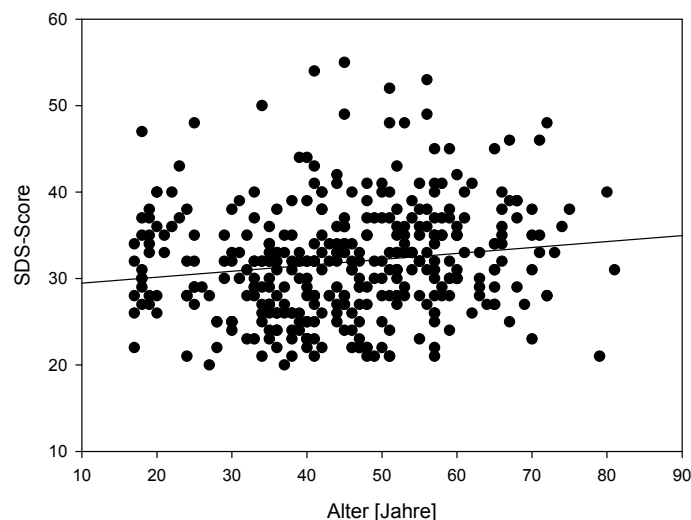


Abb. 49 Korrelation des SDS-Scores mit dem Alter.

Im regressionsanalytischen Modell ($F = 8,00$, $df = 2,373$, $p = 0,0004$) erwies sich sowohl der Einfluss des Geschlechts ($b = 1,7899$, $p = 0,0070$) als auch der Effekt des Alters ($b = 0,0736$, $p = 0,0019$) als statistisch signifikant. Diese beiden Variablen erklären 3,60% der Varianz der SDS-Scores.

Sowohl der SDS-Score als auch der Prozentsatz an Probanden, die einen auffälligen SDS-Gesamtwert hatten, waren in der untersuchten Stichprobe geringer als bei den 93 gesunden Probanden aus der SmithKline Studie (vgl. Kap. B 5.1.5), welche einen mittleren SDS-Score von $32,6 \pm 8,5$ aufwiesen und auch geringer als in der Machbarkeitsstudie (SDS-Score: $33,0 \pm 8,4$). Der Anteil von Probanden mit einem SDS-Score > 40 war in den zwei zuletzt genannten Studien doppelt so hoch wie in der hier präsentierten Stichprobe (20,0% in Machbarkeitsstudie, 18,3% in SmithKline Studie vs. 8,5%).

Der Gesamtrohwert von gesunden 261 Probanden im Alter von 18-62 Jahren einer US-Studie von Zung (1971) betrug 31 und ist damit vergleichbar mit jenem der hier präsentierten Stichprobe (31,9). Aus weiteren Studien wurde ersichtlich, dass der SDS-Score ab einem Alter von 60 linear zunimmt (Zung und Zung 1986). Aktuelle deutsche Normdaten repräsentativer Bevölkerungsgruppen liegen derzeit nicht vor.

C 1.9 Ergebnisse der Selbstbeurteilungsskala für Angst

In der vorliegenden Studie liegt der mittlere SAS-Score bei $30,4 \pm 6,2$ (Median: 30). Der mittlere SAS-Score ist bei Männern statistisch signifikant (Wilcoxon Two-Sample Test: $p < 0,0001$) niedriger: $28,8 \pm 5,2$ als bei Frauen: $32,0 \pm 6,7$ (siehe Abb. 50).

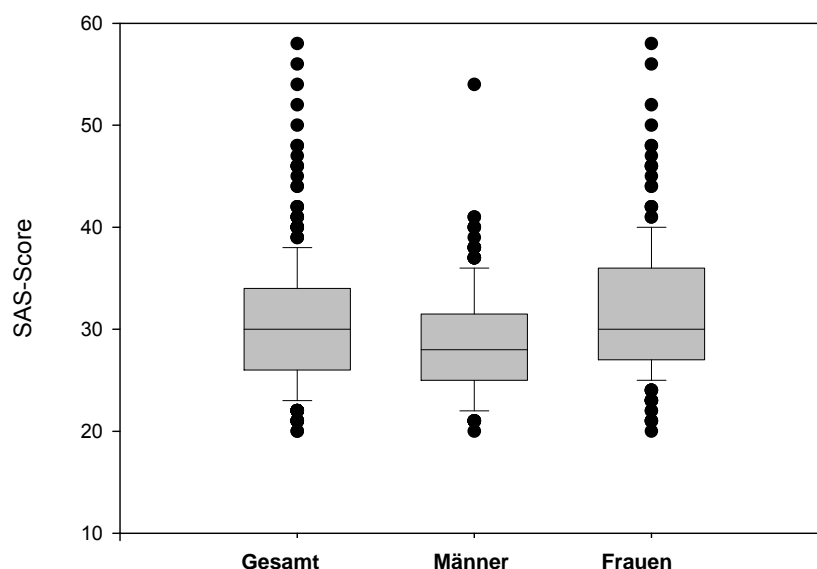


Abb. 50 Boxplots der Verteilung der SAS-Scores.

SAS-Scores, die indikativ für eine Angsterkrankung sind, finden sich bei insgesamt 18,6% der Teilnehmer. Auch hier lassen sich deutliche Geschlechtsunterschiede beobachten, der Anteil von

Frauen mit SAS-Scores > 35 beträgt 26,2%, bei Männern ist der entsprechende Anteil mit 10,8% weniger als halb so groß (siehe Abb. 51). Diese Verteilungsunterschiede sind statistisch signifikant: $\chi^2 = 14,6475$, $df=1$, $p = 0,0001$.

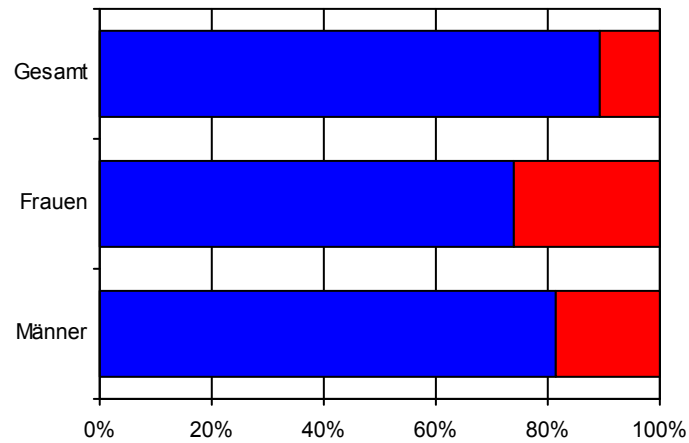


Abb. 51 Anteil an Teilnehmern mit unauffälligen (blau) und auffälligen (> 35, rot) SAS-Scores..

Obwohl die Verteilung auffälliger und unauffälliger SAS-Scores nach Altersklassen keine statistisch signifikanten Unterschiede aufweist: $\chi^2 = 8,4896$, $df=5$, $p = 0,1312$, lässt sich für die nicht kategorisierten Scores eine positive Korrelation mit dem Alter beobachten: $r_s = 0,2310$, $p < 0,0001$. Abb. 52 verdeutlicht die höheren SAS-Scores mit steigendem Alter.

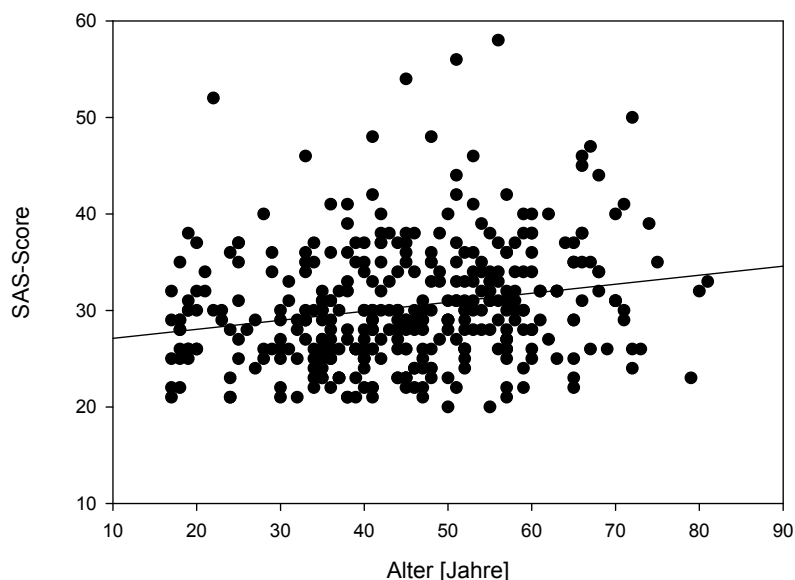


Abb. 52 Korrelation des SAS-Scores mit dem Alter.

Wie auf der Basis der univariaten Betrachtung zu erwarten, erwiesen sich im regressionsanalytischen Model sowohl das Geschlecht ($b = 3,4088$, $p > 0,0001$) als auch das Alter ($b = 0,1025$, $p < 0,0001$) als statistisch signifikante Einflussgrößen. Die beiden Variablen erklärten insgesamt 11,42% der Varianz

des SAS-Scores. Eine Zunahme des SAS-Scores mit Fortschreiten des Alters wurde auch in anderen Studien gefunden (CIPS, 1986). Aus epidemiologischen Studien ist bekannt, dass Frauen häufiger an Angsterkrankungen leiden als Männer, was sich auch in der hier präsentierten Studie wider spiegelt.

Im Vergleich mit einer im Durchschnitt 34 Jahre alten Gruppe (Range: 18-62 Jahre) „normaler“ Personen (SAS-Score: $27,0 \pm 4,7$; CIPS, 1986) lag der SAS-Score mit $30,4 \pm 6,2$ zwar ebenfalls im Normbereich, aber um 3 Punktwerte höher.

Referenzwerte für repräsentative deutschsprachige Bevölkerungsstichproben liegen soweit uns bekannt ist, in der Literatur nicht vor. Vergleichsdaten aus der bereits erwähnten Kontrollgruppe nicht schlafgestörter Probanden für eine klinische Studie mit der Firma SmithKline Beecham ergaben für die $n = 96$ vorliegenden Daten einen mittleren SAS-Score von $30,3 \pm 8,4$ und einen SAS-Score > 35 bei 21,8% der Probanden. Diese Werte entsprechen damit dem mittleren SAS-Score der vorliegenden Studie mit $30,4 \pm 6,2$ (Median: 30) ziemlich genau bzw. liegen etwas höher (SAS-Score > 35 bei 18,6% der untersuchten Probanden).

Für die Teilnehmer an der in Flachsmeer durchgeführten Studie konnte ein mittlerer SAS-Score von $32,3 \pm 7,0$ ermittelt werden, dieser Wert liegt höher als der für „Normale“ mitgeteilte Wert. Der Anteil von Probanden mit einem SAS-Score > 35 betrug 25,7%, wobei keine nennenswerten Unterschiede in der Verteilung der SAS-Scores zwischen den Geschlechtern zu beobachten war: $31,3 \pm 6,1$ bei Männern vs $33,1 \pm 7,5$ bei Frauen (Wilcoxon Two-Sample Test: $p = 0,3592$). Der Anteil von Probanden mit einem SAS-Score > 35 war bei Frauen mit 27,6% tendenziell etwas höher als bei Männern mit 23,4%.

C 1.10 Ergebnisse des Persönlichkeitsinventars NEO-FFI

Die Persönlichkeitsdimensionen wurden mit dem von Borkenau und Ostendorf (1993) ins Deutsche übersetzten NEO-Five Factor Inventory (Costa und McCrea 1992) erhoben. Im Folgenden werden die nach den fünf Komponenten aufgeschlüsselten Ergebnisse beschrieben und u.a. mit Daten für eine Normalpopulation (vgl. B 5.1.7) verglichen.

C 1.10.1 Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Neurotizismus

Der durchschnittliche Neurotizismus-Wert in der Stichprobe beträgt $1,56 \pm 0,50$ (Median: 1,58). Er liegt damit etwas über dem für eine Normalpopulation ermittelten Wert von $1,46 \pm 0,64$, zeigt aber eine geringere Streuung. Der Neurotizismus-Wert lässt wie auch Abb. 53 zu entnehmen ist, einen signifikanten Geschlechtsunterschied mit deutlich höheren Werten bei den Frauen in der Stichprobe erkennen: Frauen: $1,67 \pm 0,50$ (Median: 1,67), Männer: $1,46 \pm 0,47$ (Median: 1,42; Wilcoxon Two-Sample Test: $p < 0,0001$). Der für die Stichprobe beobachtete Unterschied ist damit dem Trend, der für die Normalstichprobe beobachtet wurde, entsprechend (Frauen: $1,99 \pm 0,69$, Männer: $1,66 \pm 0,67$).

Der höhere Wert für Neurotizismus bei Frauen spricht dafür, dass Frauen im Durchschnitt eine geringere emotionale Stabilität aufweisen als Männer, was sich darin äußert, dass sie leichter aus dem seelischen Gleichgewicht zu bringen sind, häufiger negative Gefühlszustände erleben bzw. von diesen geradezu überwältigt werden (Borkenau und Ostendorf, 1993).

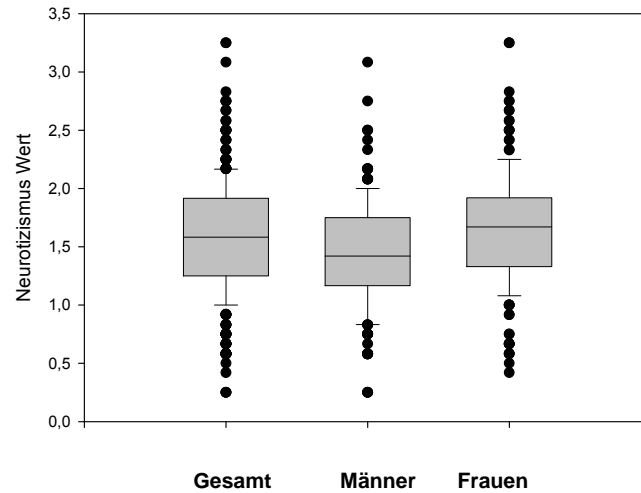


Abb. 53 Boxplots der Verteilung der Neurotizismus-Werte für Gesamtgruppe und für Männer und Frauen getrennt.

Eine Korrelationsanalyse ergab, dass der Faktor Neurotizismus positiv mit dem Alter korreliert: $r_s = 0,1275$, $p = 0,0133$ (siehe Abb. 54), wobei das Ergebnis zwar statistisch signifikant ist, das Alter jedoch nur knapp 2% der Varianz des Neurotizismus-Wertes erklärt.

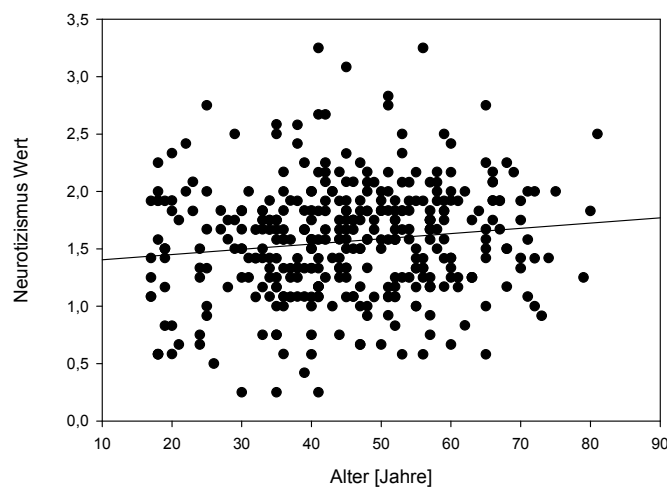


Abb. 54 Korrelation des Neurotizismus-Wertes mit dem Alter.

Eine Regressionsanalyse mit Alter und Geschlecht als unabhängige Prädiktoren ergab, dass sowohl das Alter ($b = 0,0052$, $p = 0,0038$) als auch das Geschlecht ($b = 0,2190$, $p < 0,0001$) einen Einfluss auf den Neurotizismus-Wert haben ($F = 13,05$, $df = 2,373$, $p < 0,0001$). Beide Variablen zusammen erklären 6,04% der Varianz des Faktors Neurotizismus.

C 1.10.2 Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Extraversion

Der durchschnittliche Wert für Extraversion in der Stichprobe beträgt $2,37 \pm 0,47$ (Median: 2,42). Er zeigt damit eine gute Übereinstimmung mit dem entsprechenden Wert, der für eine Normalpopulation ermittelt wurde: $2,36 \pm 0,57$. Der Wert für Extraversion lässt - wie auch Abb. 55 zu entnehmen ist, keine signifikanten Geschlechtsunterschiede erkennen: Frauen: $2,41 \pm 0,47$ (Median: 2,42), Männer: $2,33 \pm 0,47$ (Median: 2,33; Wilcoxon Two-Sample Test: $p = 0,1363$). Der für die Stichprobe beobachtete Unterschied ist dem Trend, der für die Normalstichprobe beobachtet wurde, entsprechend (Frauen: $2,39 \pm 0,58$; Männer: $2,34 \pm 0,56$).

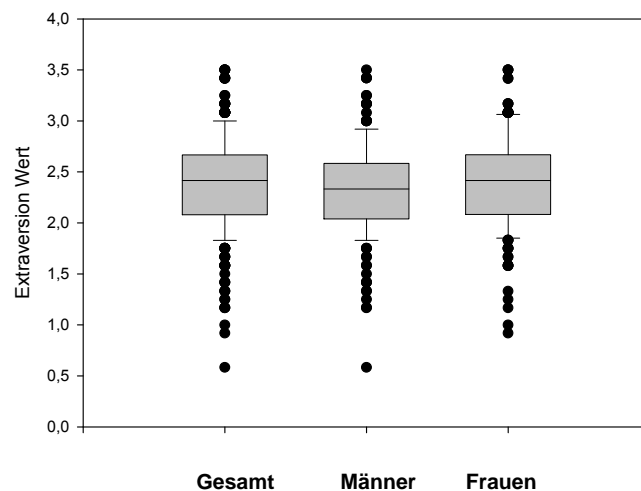


Abb. 55 Boxplots der Verteilung der Werte für Extraversion.

Eine Korrelationsanalyse ergab, dass der Wert für Extraversion negativ mit dem Alter korreliert: $r_s = -0,31995$; $p < 0,0001$ (siehe Abb. 56), d.h. mit zunehmendem Alter nimmt der Wert für Extraversion ab. Das bedeutet, dass neben der Geselligkeit auch die Lust, Aufregungen zu erleben, sinkt und Heiterkeit und Optimismus abnehmen.

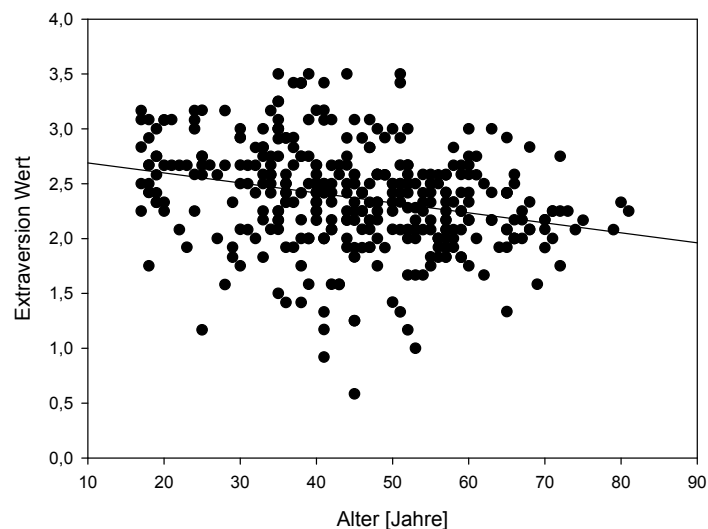


Abb. 56 Korrelation des Wertes für Extraversion mit dem Alter.

Eine Regressionsanalyse mit Alter und Geschlecht als unabhängige Prädiktoren ergab, dass nur das Alter ($b = -0,0089$, $p < 0,0001$) nicht aber das Geschlecht ($b = 0,0571$, $p = 0,2192$) einen Einfluss auf den Wert für Extraversion ($F = 16,06$, $df = 2,373$, $p < 0,0001$) haben. Beide Variablen zusammen erklären 7,44% der Varianz des Wertes für Extraversion.

C 1.10.3 Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Offenheit für Erfahrungen

Der durchschnittliche Wert für Offenheit in der Stichprobe beträgt $2,19 \pm 0,44$ (Median: 2,17). Er liegt damit unter dem entsprechenden Wert, der für eine Normalpopulation ermittelt wurde: $2,71 \pm 0,52$. Der in Abb. 57 dargestellte Unterschied in der Verteilung des Wertes für Offenheit zwischen den Geschlechtern, verpasst knapp die Grenze zur Signifikanz (Two-Sample Test: $p = 0,0591$). Bei Frauen beträgt der durchschnittliche Wert für Offenheit $2,23 \pm 0,43$ (Median: 2,25), bei Männern: $2,14 \pm 0,46$. Auch für diese Dimension der Persönlichkeit ist der Trend, dem für die Normalstichprobe beobachteten entsprechend (Frauen: $2,75 \pm 0,51$, Männer: $2,65 \pm 0,53$).

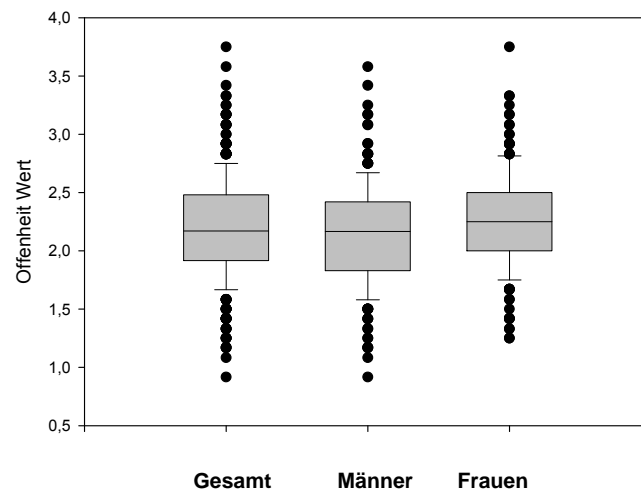


Abb. 57 Boxplots der Verteilung der Werte für Offenheit.

Eine Korrelationsanalyse ergab, dass der Wert für Offenheit nicht mit dem Alter korreliert ist: $r_s = 0,0829$, $p = 0,1085$ (siehe Abb. 58), d.h. das Interesse und das Ausmaß der Beschäftigung mit neuen Erfahrungen, Erlebnissen und Eindrücken variiert nicht altersabhängig.

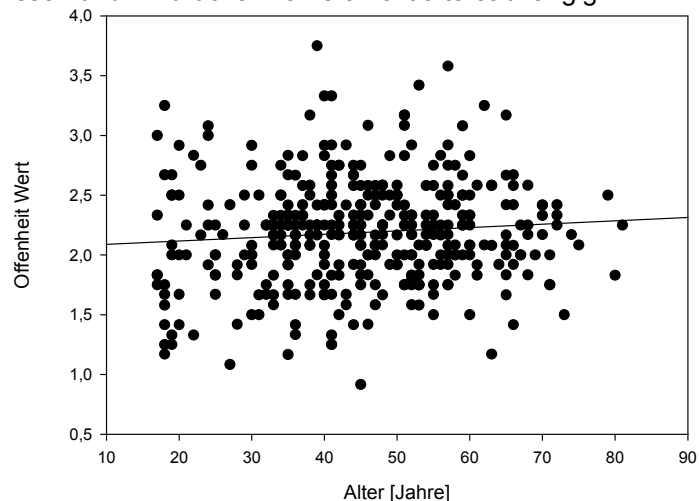


Abb. 58 Korrelation des Wertes für Offenheit mit dem Alter.

In einem regressionsanalytischen Model, in dem Alter und Geschlecht simultan als unabhängige Prädiktoren berücksichtigt wurden, wurde der Einfluss des Geschlechts signifikant ($b = 0,1025$, $p = 0,0251$) während der Einfluss des Alters nicht signifikant blieb ($b = 0,0031$, $p = 0,0597$). Beide Variablen zusammen erklären allerdings nur 1,59% der Varianz des Wertes für Offenheit. ($F = 4,02$, $df = 2,373$, $p = 0,0187$).

C 1.10.4 Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Verträglichkeit

Der durchschnittliche Wert für Verträglichkeit in der Stichprobe beträgt $2,55 \pm 0,42$ (Median: 2,58). Er liegt damit geringfügig über dem entsprechenden Wert, der für eine Normalpopulation ermittelt wurde: $2,44 \pm 0,49$. Der in Abb. 59 dargestellte Unterschied zwischen den Geschlechtern in der Verteilung des Faktors Verträglichkeit ist statistisch signifikant (Two-Sample Test: $p < 0,0001$). Bei Frauen beträgt der durchschnittliche Wert für Verträglichkeit $2,63 \pm 0,42$ (Median: 2,58), bei Männern: $2,47 \pm 0,40$ (Median: 2,50). Auch für diese Dimension der Persönlichkeit entspricht der Trend dem für die Normalstichprobe beobachteten (Frauen: $2,53 \pm 0,52$, Männer: $2,35 \pm 0,52$).

Aus dem signifikanten Geschlechtsunterschied lässt sich schließen, dass Frauen im Durchschnitt anderen mit mehr Verständnis, mehr Wohlwollen und Mitgefühl begegnen, dass sie stärker bemüht sind, anderen zu helfen während sie gleichzeitig überzeugter sind, dass andere sich ebenso hilfsbereit verhalten (Borkenau und Ostendorf, 1993). Höhere Werte sprechen auch für größeres zwischenmenschliches Vertrauen, stärkeres Harmoniebedürfnis und mehr Wille zu Kooperation und zu Nachgiebigkeit.

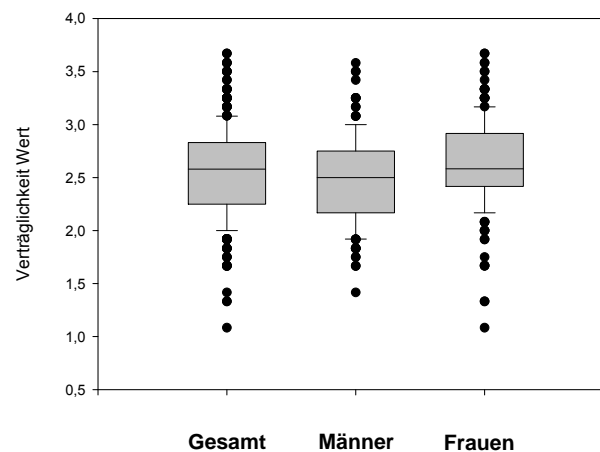


Abb. 59 Boxplots der Verteilung der Werte für Verträglichkeit.

Eine Korrelationsanalyse ergab, dass der Wert für Verträglichkeit nicht mit dem Alter korreliert ist: $r_s = -0,0957$; $p = 0,0637$ (siehe Abb. 60).

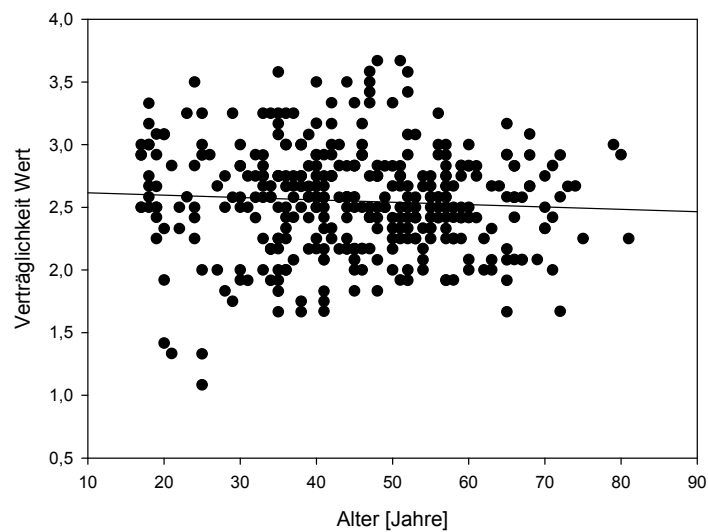


Abb. 60 Korrelation des Wertes für Verträglichkeit mit dem Alter.

Wie nach den Ergebnissen der univariaten Statistik zu erwarten, erwies sich der Einfluss des Alters in einem regressionsanalytischen Model als nicht signifikant ($b = -0,0015$, $p = 0,3382$) während der Einfluss des Geschlechts signifikant war ($b = 0,1609$, $b = 0,0002$). Beide Variablen zusammen erklären 3,53% der Varianz des Wertes für Verträglichkeit. ($F = 7,86$, $df = 2,373$, $p = 0,0005$).

C 1.10.5 Ergebnisse zum Persönlichkeitsfaktor Gewissenhaftigkeit

Der durchschnittliche Wert für die letzte der fünf Persönlichkeitsdimensionen, die Gewissenhaftigkeit, beträgt in der Stichprobe $2,81 \pm 0,45$ (Median: 2,83). Er stimmt damit recht gut mit dem entsprechenden Wert, der für eine Normalpopulation ermittelt wurde, überein: $2,53 \pm 0,63$. Wie Abb. 61 verdeutlicht, gibt es keinen bedeutsamen Unterschied in der Verteilung des Wertes für Gewissenhaftigkeit zwischen den Geschlechtern (Two-Sample Test: $p = 0,1758$). Bei Frauen beträgt der durchschnittliche Wert für Gewissenhaftigkeit $2,79 \pm 0,45$ (Median: 2,75), bei Männern: $2,84 \pm 0,45$ (Median: 2,83). Für diese Dimension der Persönlichkeit ist der Trend mit dem in der einer Normalstichprobe vergleichbar (Frauen: $2,53 \pm 0,64$, Männer: $2,56 \pm 0,62$).

Aus dem nicht signifikanten Geschlechtsunterschied lässt sich schließen, dass Männer und Frauen sich hinsichtlich des Faktors Gewissenhaftigkeit nicht nennenswert unterscheiden. Damit sind sie in Bezug auf Ordnungsliebe, Zuverlässigkeit, Anstrengungsbereitschaft, Pünktlichkeit, Disziplin und Ehrgeiz sehr ähnlich.

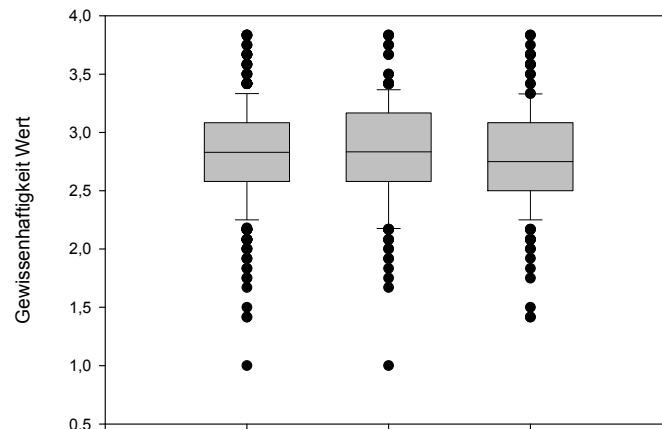


Abb. 61 Boxplots der Verteilung der Werte für Gewissenhaftigkeit.

Eine Korrelationsanalyse ergab, dass der Wert für Gewissenhaftigkeit mit dem Alter negativ korreliert ist: $r_s = -0,1845$, $p = 0,0003$ (siehe Abb. 62), was bedeutet, dass die Gewissenhaftigkeit mit zunehmendem Alter abnimmt.

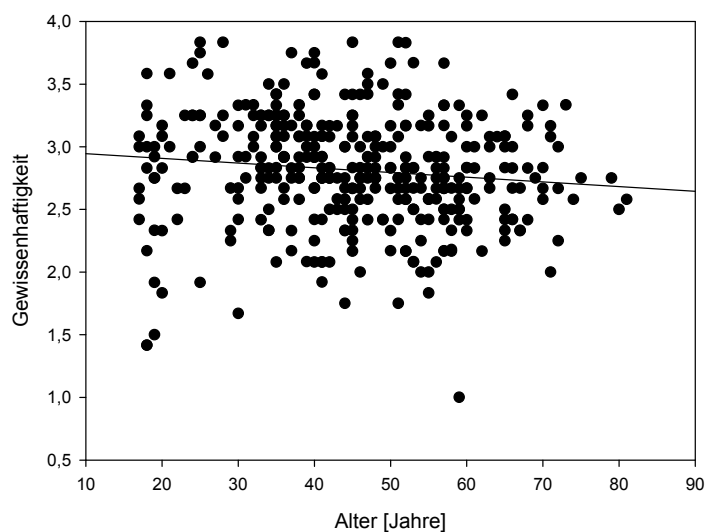


Abb. 62 Korrelation des Wertes für Gewissenhaftigkeit mit dem Alter.

Entgegengesetzt zur Dimension Verträglichkeit erwies sich der Einfluss des Alters in einem regressionsanalytischen Model als statistisch signifikant ($b = -0,0039$, $p = 0,184$), während der Einfluss des Geschlechts nicht signifikant war ($b = -0,0523$, $b = 0,2568$). Beide Variablen zusammen erklären jedoch nur 1,20% der Varianz des Wertes für Gewissenhaftigkeit. ($F = 3,27$, $df = 2,373$, $p = 0,0391$).

C 1.11 Ergebnisse des Fragebogens zur Einstellung zum Mobilfunk

Wie in Kap. B 5.1.8 bereits erwähnt wurde zur Überprüfung der Einstellung der Studienteilnehmer zum Mobilfunk ein Fragebogen eingesetzt, der auf der Basis der vom infas-Institut unter der Projektleitung von Janina Belz (infas 2004, 2005, 2006) durchgeführten Telefoninterviews für ausgewählte Items erstellt wurde.

Die erste Frage diente dazu, die Risikowahrnehmung im Hinblick auf elektromagnetische Felder im Kontext anderer Umwelt- und Gesundheitsbelastungen mit gesundheitlichem Gefährdungspotenzial einzuschätzen, wobei die Frage wie folgt formuliert wurde:

Bitte geben Sie zu jedem der folgenden Faktoren an, ob Sie sich wegen der möglichen Einflüsse auf die Gesundheit Sorgen machen. Die berücksichtigten Faktoren waren: Luftverschmutzung, Verkehrslärm, Teilnahme am Straßenverkehr, Nebenwirkung von Medikamenten, Radio- und Fernsehanlagen, Strahlung von elektrischen Geräten, Hochspannungsleitung, Mobilfunksendeanlage, starker Zigarettenrauch, Verzehr von Fleisch aus unbekannter Herkunft, übermäßiger Alkoholgenuss, Benutzung von Handys und Benutzung von schnurlosen Festnetztelefonen.

Für jeden dieser Faktoren konnte der Grad der Besorgnis auf einer vierstufigen Skala (*starke Sorgen – ziemliche Sorgen – wenig Sorgen – gar keine Sorgen*) angegeben werden. Die für diese Frage erzielten Ergebnisse sind in Abb. 63 dargestellt.

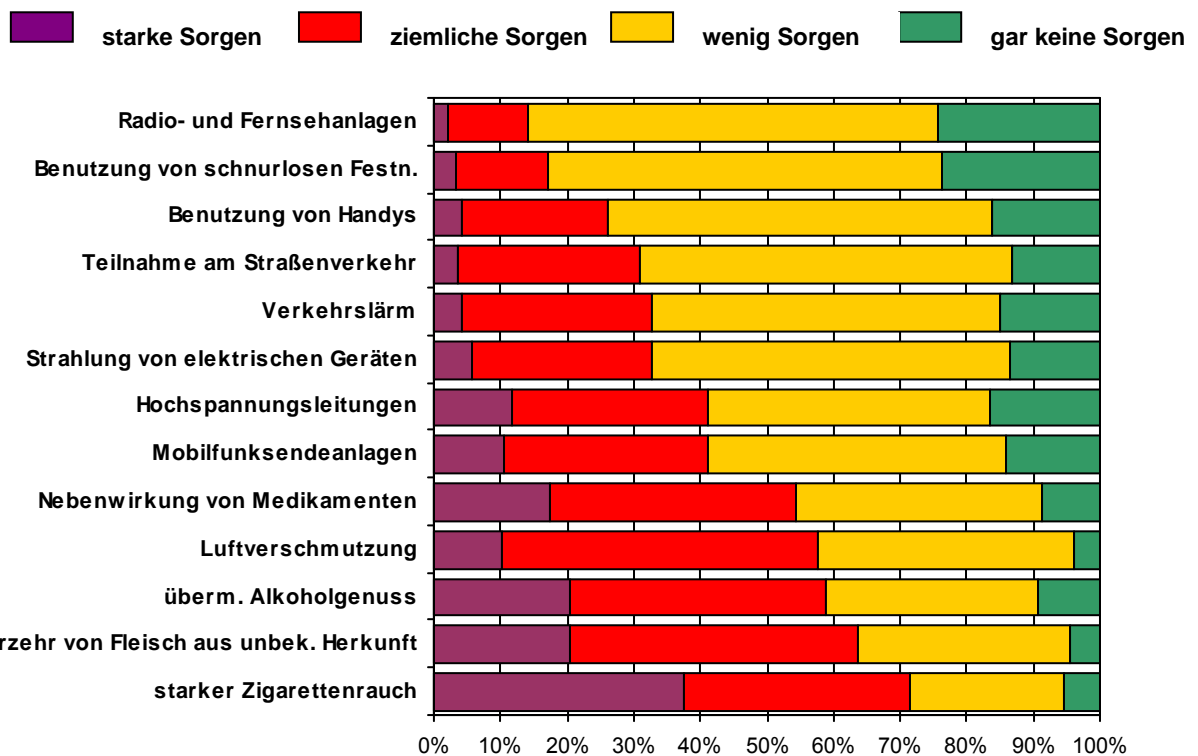


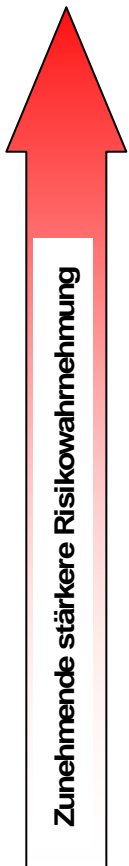
Abb. 63 Besorgtheit wegen Mobilfunk im Vergleich zu anderen Risikofaktoren.

Ein Vergleich des Rankings der einzelnen Faktoren in der Risikowahrnehmung in der vorliegenden Stichprobe mit dem entsprechenden Ranking in der infas-Umfrage von 2006 zeigt, dass die Ergebnisse hinsichtlich des Mobilfunks durchaus vergleichbar sind (Tab. 32). Der Vergleichbarkeit wegen, wurden die Faktoren „gentechnische veränderte Lebensmittel“ und „UV-Strahlung“, die erst in den Umfragen der Jahre 2005 und 2006 aufgenommen worden waren, hier nicht berücksichtigt.

Die Besorgnis wegen Mobilfunk-Sendeanlagen nimmt in beiden Untersuchungen mit Platz 6 (Rang 1 entspricht dem Faktor mit der höchsten Risikowahrnehmung) einen mittleren Platz ein, während das von der Benutzung von Handys sowie von schnurlosen Festnetztelefonen ausgehende Risiko vergleichsweise gering eingestuft wird (Ränge 11 und 12 in der vorliegenden Studie und Ränge 10 und 13 in der infas-Studie). Es kann also davon ausgegangen werden, dass die Teilnehmer an der vorliegenden Studie keine hinsichtlich ihrer Risikowahrnehmung (insbesondere im Hinblick auf den Mobilfunk) selektive Stichprobe darstellen. Für keinen dieser Faktoren ließen sich statistisch signifikante Geschlechtsunterschiede in der Risikowahrnehmung beobachten.

Tab. 32 Ranking des Grades der Besorgtheit durch Mobilfunk im Vergleich zu anderen Risikofaktoren.

Risikofaktor	Rang Stichprobe	Rang infas 2006
Starker Zigarettenrauch	1	4
Verzehr von Fleisch aus unbekannter Herkunft	2	2
Übermäßiger Alkoholgenuss	3	9
Luftverschmutzung	4	1
Nebenwirkung von Medikamenten	5	3
Mobilfunksendeanlagen	6	6
Hochspannungsleitungen	7	11
Strahlung von elektrischen Geräten	8	7
Verkehrslärm	9	8
Teilnahme am Straßenverkehr	10	5
Benutzung von Handys	11	10
Benutzung von schnurlosen Festnetztelefonen	12	13
Radio- und Fernsehanlagen	13	12



Dagegen ließen sich mit Ausnahme der Umweltfaktoren „Teilnahme am Straßenverkehr“ und „starkes Zigarettenrauchen“ altersbedingte Unterschiede in der Risikowahrnehmung beobachten. Mit Bezug zum Thema seien an dieser Stelle lediglich die altersbedingten Unterschiede in der Risikowahrnehmung von *Mobilfunksendeanlagen* (Abb. 64), *Benutzung von Handys* (Abb. 65) und *Benutzung von schnurlosen Telefonen* (Abb. 66) dargestellt.

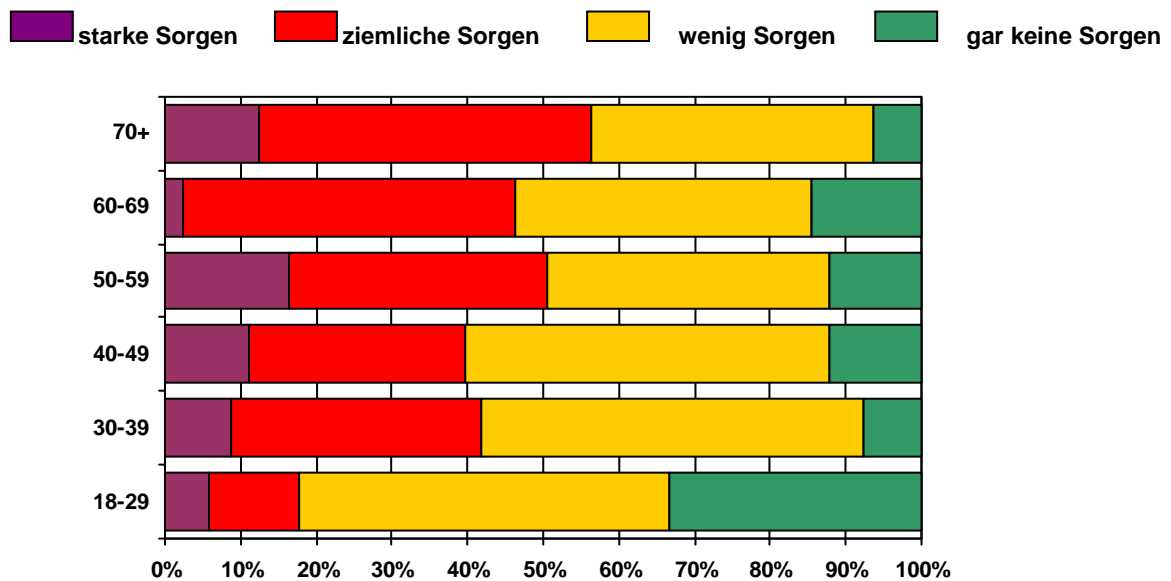


Abb. 64 Altersspezifische Risikowahrnehmung für den Faktor Mobilfunksendeanlage.

Die altersspezifische Aufgliederung lässt erkennen, dass der Umweltfaktor „Mobilfunksendeanlage“ mit steigendem Alter (Ausnahme: Altersklasse 60-69 Jahre) zunehmend als Risikofaktor wahrgenommen wird: $\chi^2 = 36,4056$, $df=15$, $p = 0,0015$. Am geringsten ist die Besorgnis in der jüngsten Altersgruppe.

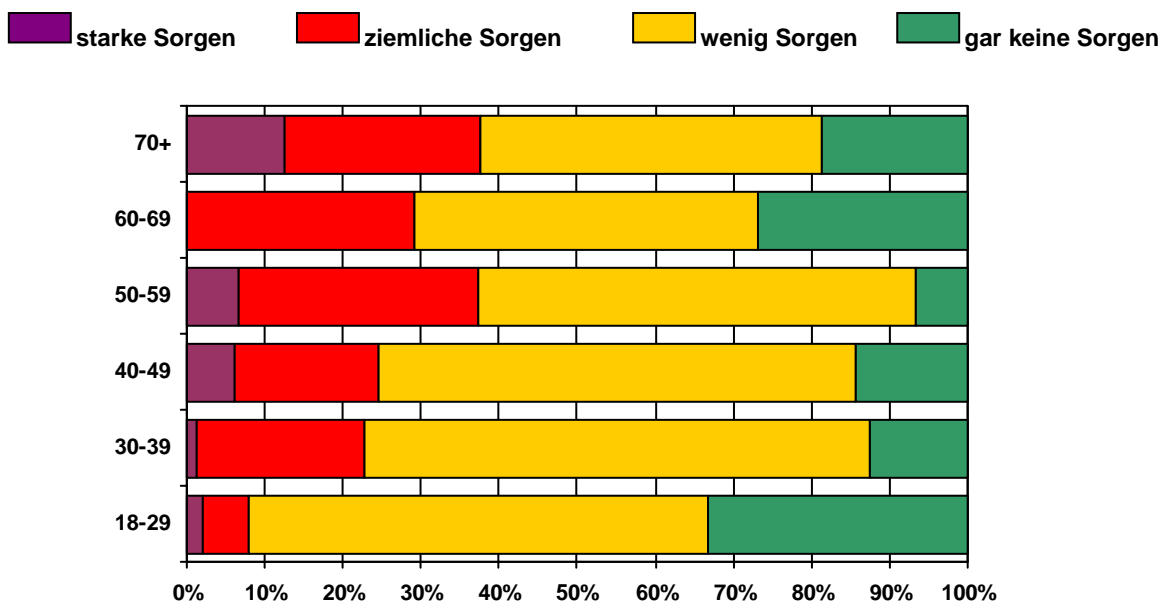


Abb. 65 Altersspezifische Risikowahrnehmung für den Faktor Handynutzung.

Die altersspezifische Aufgliederung lässt erkennen, dass auch der Umweltfaktor „Handynutzung“ mit steigendem Alter (Ausnahme: Altersklasse 60-69 Jahre) zunehmend als Risikofaktor wahrgenommen wird: $\chi^2 = 40,4576$, $df=15$, $p = 0,0004$. Am geringsten ist – auch hier - die Besorgnis in der jüngsten Altersgruppe.

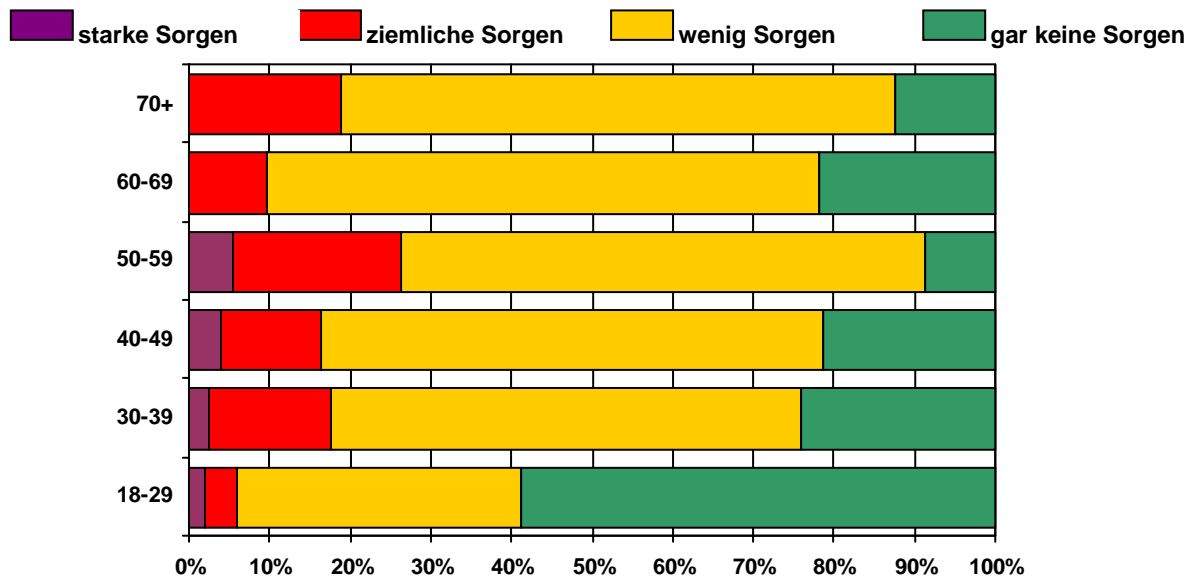


Abb. 66 Altersspezifische Risikowahrnehmung für den Faktor Nutzung von schnurlosen Festnetztelefonen.

Die Nutzung von schnurlosen Festnetztelefonen wird in der Altersgruppe der 50-59jährigen mit dem höchsten Risiko wahrgenommen, in der Altersgruppe der 18-29-Jährigen dagegen mit dem geringsten Risiko. Die altersspezifischen Verteilungsunterschiede in der Risikowahrnehmung sind statistisch signifikant: $\chi^2 = 54,4989$, $df=15$, $p = <0,0001$.

Auf die Frage: *Haben Sie in den letzten 6 Monaten gelegentlich oder öfters mit einem Handy telefoniert?* haben 273 (72,61%) der Studienteilnehmer und 76% der Befragten in der infas-Umfrage von 2006 (infas 2006) mit „ja“ geantwortet. Auch hier ist also die Übereinstimmung recht gut. Die Verteilung der ja/nein-Antworten weist sowohl signifikante Geschlechtsunterschiede auf ($\chi^2 = 16,7199$, $df=1$, $p = <0,0001$) als auch signifikante altersbedingte Unterschiede ($\chi^2 = 30,6923$, $df=5$, $p = <0,0001$). Männer nutzen ein Handy signifikant häufiger (82,6%) als Frauen (63,4%). Die altersbedingten Unterschiede in der Handynutzung sind Abb. 67 dargestellt. Es zeigt sich, dass die Zahl der Handynutzer mit zunehmendem Alter deutlich geringer wird.

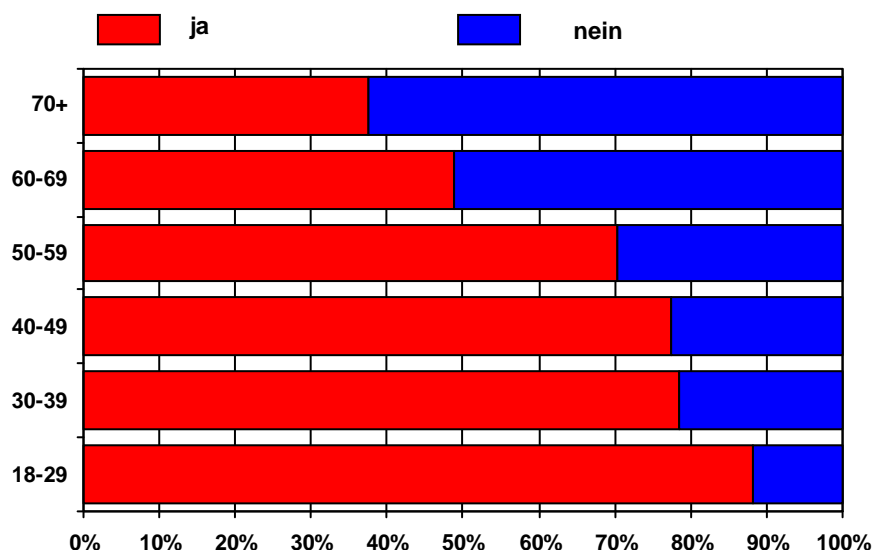


Abb. 67 Altersspezifische Nutzung von Mobiltelefonen.

Die Frage: *Benutzen Sie ein schnurloses Festnetztelefon?* wurde von 328 Studienteilnehmern (87,2%) und 83% der Befragten in der infas-Umfrage von 2006 (infas 2006) positiv beantwortet. Es gab keine signifikanten Geschlechtsunterschiede, wohl aber altersspezifische Unterschiede: $\chi^2 = 12,4488$, $df=5$, $p = =0,0291$ (siehe Abb. 68). Am häufigsten werden schnurlose Festnetztelefone von den 60-69-Jährigen und den 30-39-Jährigen Studienteilnehmern genutzt.

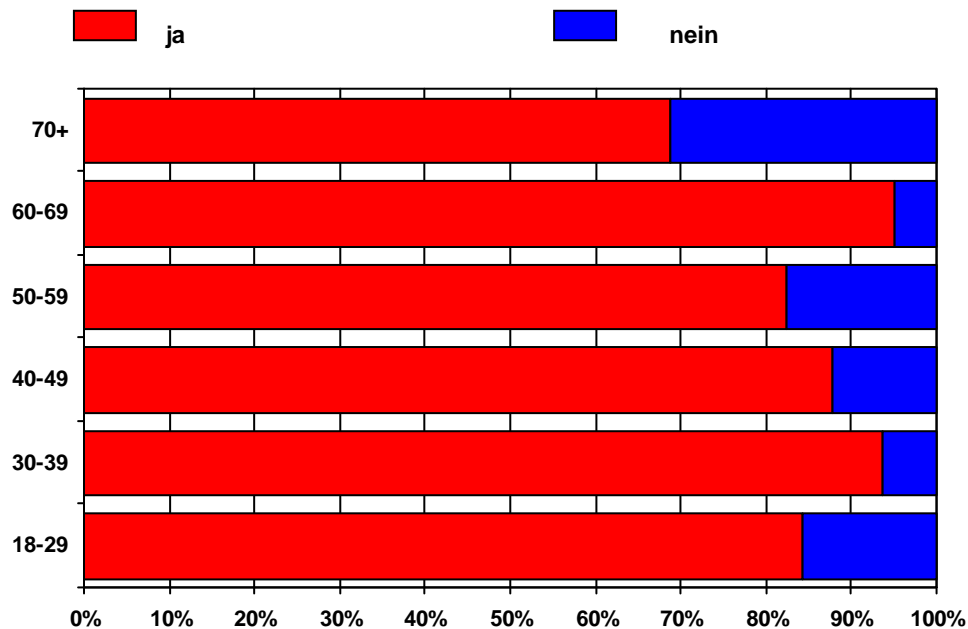


Abb. 68 Altersspezifische Nutzung von schnurlosen Festnetztelefonen.

Auf die Frage *Haben Sie sich vor der Befragung mit dem Thema elektromagnetische Felder des Mobilfunks beschäftigt?* konnte auf einer vierstufigen Skala: *noch nie beschäftigt, nur wenig beschäftigt, etwas beschäftigt* und *viel beschäftigt* geantwortet werden. Die Verteilung der Antworten in der Stichprobe und in der infas-Umfrage von 2006 ist in Abb. 69 dargestellt.

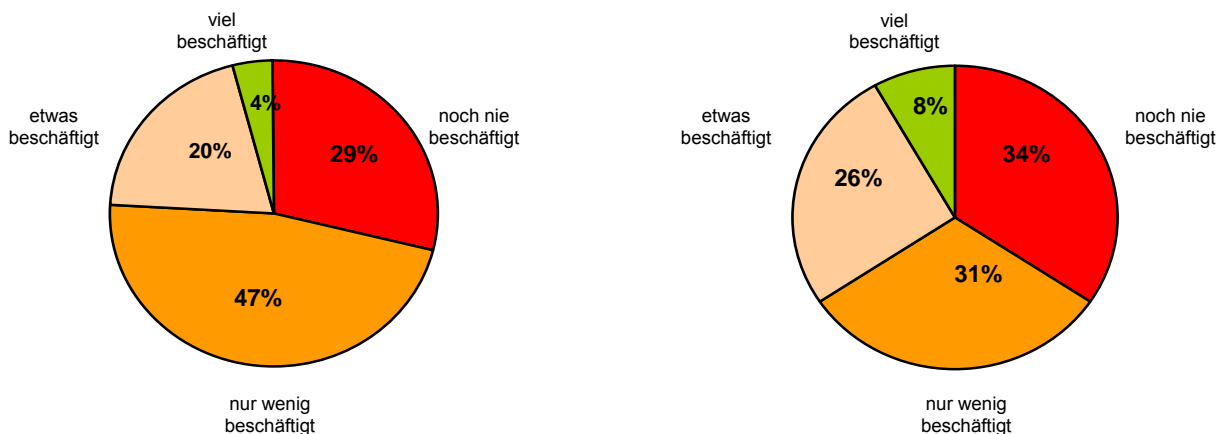


Abb. 69 Beschäftigung mit dem Thema „elektromagnetische Felder“ vor der Befragung: links: Stichprobe; rechts: Ergebnisse der infas-Umfrage von 2006.

Die Daten belegen, dass insgesamt der Anteil von Personen, die sich bereits vor der Befragung mit dem Thema elektromagnetische Felder beschäftigt hat, in der Stichprobe tendenziell etwas geringer ist als in der von infas befragten repräsentativen Bevölkerungsstichprobe. Signifikante Geschlechtsunterschiede sowie altersbedingte Unterschiede ließen sich dabei nicht beobachten.

Eine weitere Frage, die den Informationsstand der Bevölkerung erfasst: *Was würden Sie sagen: Sind Sie über elektromagnetische Felder im Zusammenhang mit Mobilfunk informiert?* führte zu den in Abb. 70 dargestellten Ergebnissen. Auch dieser Gegenüberstellung ist zu entnehmen, dass der durchschnittliche Informationsstand dem der Allgemeinbevölkerung weitestgehend entspricht. Tendenziell sind die Studienteilnehmer etwas weniger gut informiert.

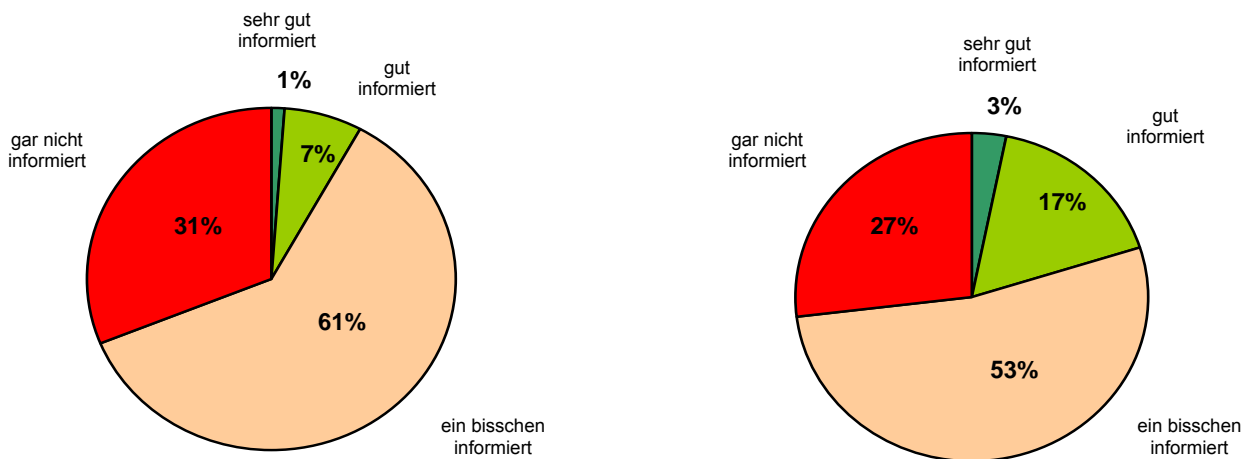


Abb. 70 Informationsstand der Bevölkerung: links: Stichprobe; rechts: Ergebnisse der infas-Umfrage von 2006.

Während der Anteil von Männern und Frauen, der sich vor der Befragung mit dem Thema elektromagnetische Felder des Mobilfunks beschäftigt hat, annähernd gleich ist, lassen sich im Grad der Informiertheit statistisch signifikante Unterschiede beobachten: $\chi^2 = 11,3399$, $df=3$, $p = =0,0097$. Der Anteil der sehr gut bis gut informierten Teilnehmer ist mit 9,16% bei den Männern deutlich höher als bei den Frauen (6,81%). Der Anteil der gar nicht informierten war bei Frauen mit 37,70% deutlich höher als bei Männern mit 24,32%. Es ist nicht auszuschließen, dass die männlichen Studienteilnehmer sich im Vorfeld der Befragung, die nach der Informationsveranstaltung zu Studie durchgeführt wurde (siehe Kap. B 2.1), eingehender informiert haben.

Neben den Geschlechtsunterschieden ließen sich auch altersbedingte Unterschiede im Grad der Informiertheit beobachten: $\chi^2 = 30,3781$, $df=15$, $p = =0,0106$ (siehe Abb. 71).

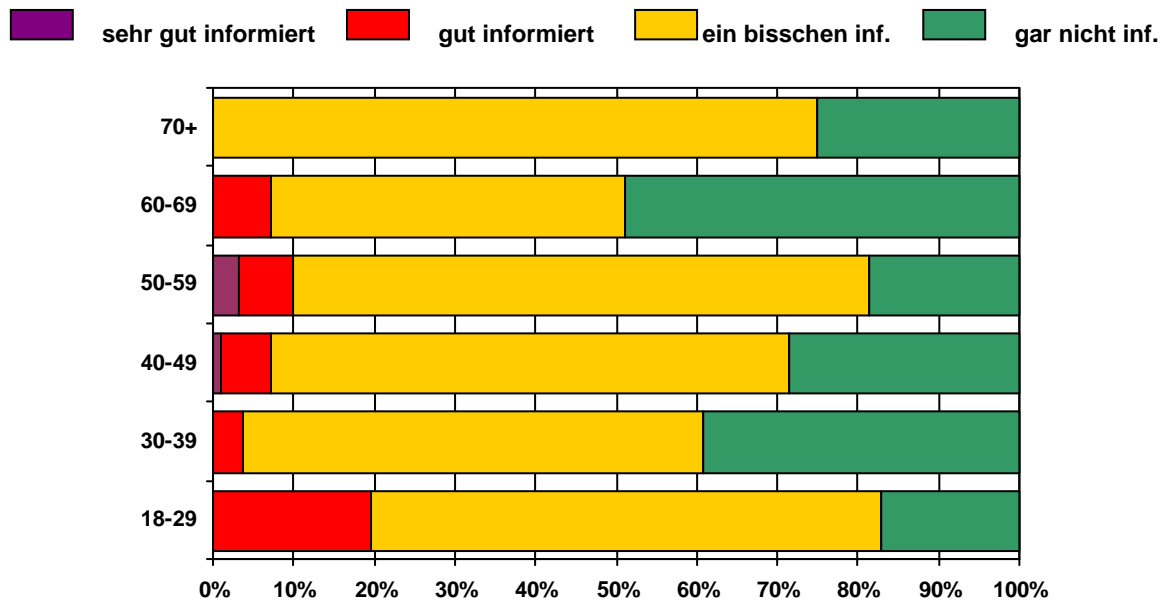


Abb. 71 Informationsstand der Bevölkerung aufgeschlüsselt nach dem Alter.

Schließlich wurden noch zwei Fragen zur gesundheitlichen Besorgnis bzw. zur gesundheitlichen Beeinträchtigung gestellt: *Machen Sie sich wegen möglicher gesundheitlicher Risiken durch elektromagnetische Felder, die von Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlosen Telefonen ausgehen starke Sorgen, ziemliche Sorgen, wenig Sorgen, gar keine Sorgen?* und *Wie stark fühlen Sie sich durch elektromagnetische Felder von Mobilfunksendeanlagen, Handys, schnurlosen Telefonen oder anderen Quellen in Ihrer Gesundheit beeinträchtigt?* Gewählt werden konnte hier zwischen den Antwortmöglichkeiten *stark beeinträchtigt*, *ziemlich beeinträchtigt*, *wenig beeinträchtigt* und *gar nicht beeinträchtigt*. Für die Darstellung (siehe Abb. 72 und Abb. 73) wurden die Kategorien starker und ziemlicher Besorgnis bzw. Beeinträchtigung sowie wenig bzw. gar keine Sorgen/Beeinträchtigung zusammengefasst.

Bezüglich der Besorgnis zeigt sich, dass der Anteil der Studienteilnehmer, die sich wegen der elektromagnetischen Felder des Mobilfunks Sorgen macht, in etwa dem Prozentsatz entspricht, der im Jahr 2003 für die Allgemeinbevölkerung beobachtet wurde. In den repräsentativen Umfragen ist der Anteil inzwischen auf 27% gesunken.

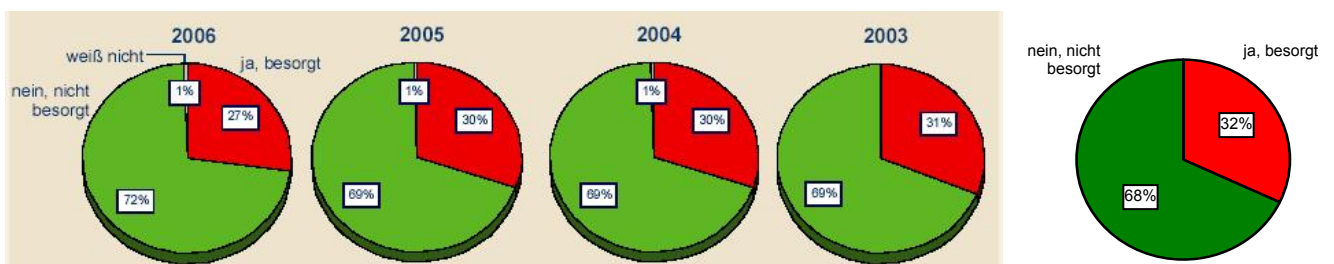


Abb. 72 Befragte, die wegen der elektromagnetischen Felder durch Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlose Telefone gesundheitlich besorgt sind. Links: Ergebnisse der repräsentativen Bevölkerungsumfragen (infas 2006), rechts: Stichprobenergebnis.

Geschlechtsspezifische Unterschiede ließen sich nicht beobachten, wohl aber altersabhängige: $\chi^2 = 29,2235$, $df=15$, $p = 0,0151$ (siehe Abb. 73 für die zusammengefassten Kategorien *besorgt ja/nein*). Die geringste Besorgnis findet sich in der jüngsten und in der ältesten Altersklasse, am höchsten ist sie bei den 50-59- Jährigen.

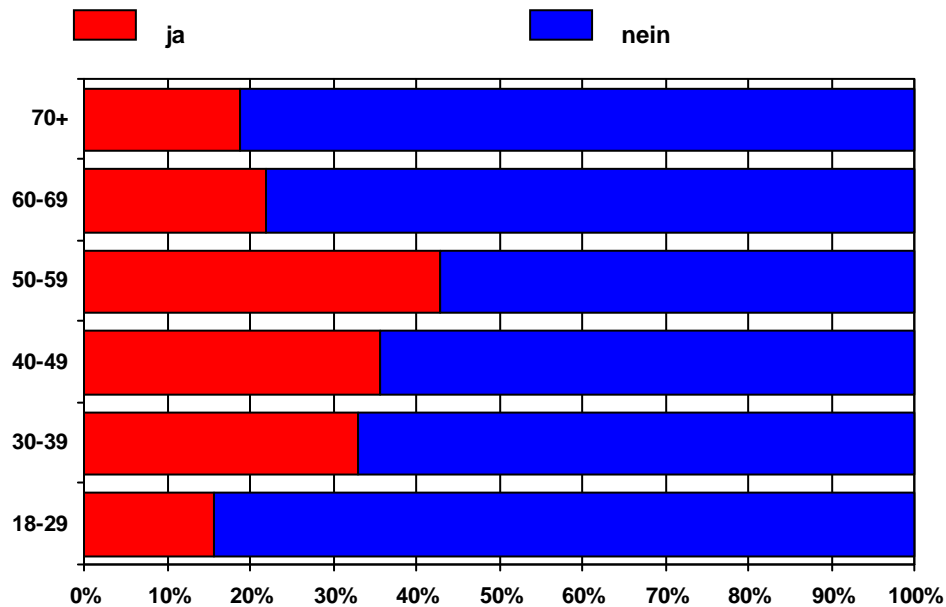


Abb. 73 Befragte, die wegen der elektromagnetischen Felder durch Mobilfunkseanlagen, Handys oder schnurlose Telefone gesundheitlich besorgt sind – aufgeschlüsselt nach Altersklassen.

Der Anteil der Studienteilnehmer, der sich gesundheitlich beeinträchtigt fühlt, liegt mit 13% ebenfalls etwas höher als in der von infas durchgeführten repräsentativen Bevölkerungsstichprobe (infas 2006; siehe Abb. 74). Diese Abweichungen lassen sich möglicherweise dadurch erklären, dass die Befragung nach einer Informationsveranstaltung durchgeführt wurde, in der über gesundheitliche Besorgnis und Beeinträchtigung informiert wurde. Möglicherweise hat dies das Antwortverhalten gerade bezüglich dieser beiden Fragen beeinflusst. Die Antworten auf die übrigen Fragen belegen jedoch eindeutig, dass es sich hier keineswegs um eine besonders informierte bzw. besorgte oder beeinträchtigte Bevölkerungsstichprobe handelt. Geschlechtsspezifische sowie altersspezifische Verteilungsunterschiede ließen sich nicht beobachten.



Abb. 74 Befragte, die wegen der elektromagnetischen Felder durch Mobilfunkseanlagen, Handys oder schnurlose Telefone gesundheitlich **beeinträchtigt** sind. Links Ergebnisse der repräsentativen Bevölkerungsumfragen (infas 2006), rechts: Stichprobenergebnis.

Insgesamt gibt es keinen Anhalt dafür, dass es sich um eine Stichprobe handelt, die sich hinsichtlich ihrer Einstellung zu Mobilfunk von der Normalbevölkerung unterscheidet.

C 1.12 Ergebnisse zur Entfernung des Wohnortes vom Sendemast

Bei der Auswahl des Standortes des mobilen Sendemastes wurde nicht nur auf eine ebene Stellfläche und eine Möglichkeit der Stromversorgung (Kraftstrom) geachtet, sondern auch darauf, dass es sich um eine zentrale Position handelte, so dass möglichst viele Einwohner des Ortes in geringer Distanz wohnten. An dieser Stelle sei noch einmal explizit erwähnt, dass die Entfernung zum Wohnort zwar zur Beschreibung der Stichprobe herangezogen wurde, dass sie jedoch nicht als Proxy für Exposition verwendet wird.

Die Verteilung der Wohnorte hinsichtlich der Distanz von der Sendeanlage ist in Abb. 75 dargestellt. Die kumulierte Häufigkeitsverteilung macht deutlich, dass 10,1% aller Studienteilnehmer in einem Umkreis von 50 m um die Sendeanlage wohnten, jeder 5. Teilnehmer (21,3%) lebte in einer Entfernung bis 100 m. Mehr als die Hälfte aller Studienteilnehmer (54,8%) wohnte in einem Umkreis bis zu 200 m, und nur knapp jeder 4 Studienteilnehmer (23,9%) wohnte in einer Entfernung von mehr als 300 m.

Eine Aufschlüsselung der Entfernung des Wohnortes von der mobilen Sendeanlage nach Geschlechtern (Abb. 76) belegt, dass es keine signifikanten Geschlechtsunterschiede gibt ($\chi^2 = 5,5249$, $df=10$, $p = 0,8535$), d.h. männliche und weibliche Studienteilnehmer sind in den Entfernungskategorien gleichhäufig vertreten.

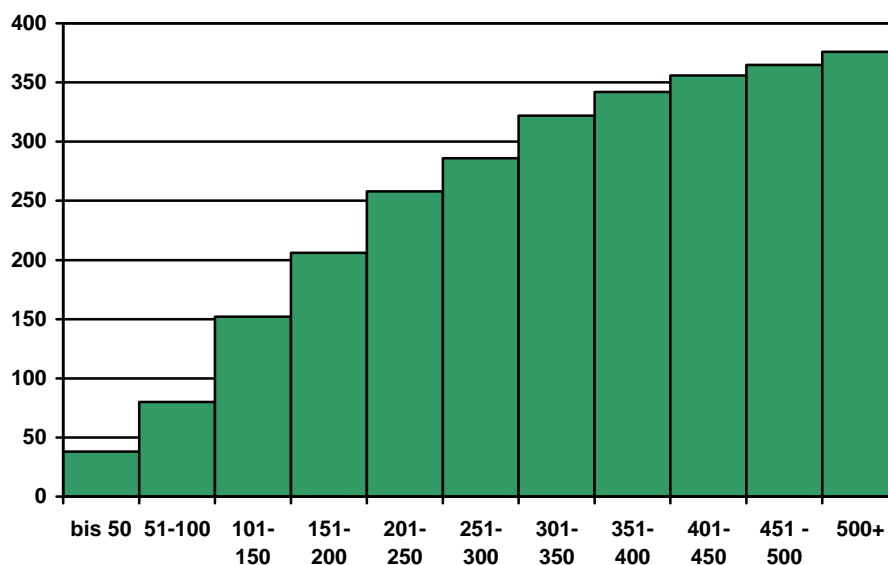


Abb. 75 Kumulierte Häufigkeitsverteilung der Entfernung des Wohnortes vom mobilen Sendemast.

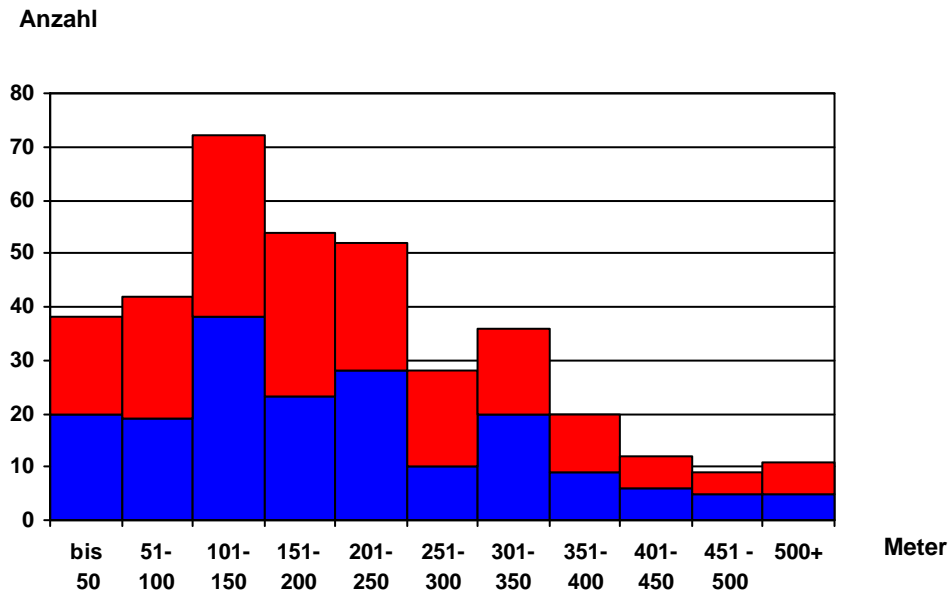


Abb. 76 Verteilung der Entfernung des Wohnortes vom mobilen Sendemast. Blau: Männer, rot: Frauen

Die mittlere Entfernung betrug $214,8 \pm 141,3$ m (Median 190 m). Auch für das nicht kategorisierte Merkmal „Entfernung von der mobilen Sendeanlage“ sind die Geschlechtsunterschiede – wie zu erwarten – nicht signifikant (Wilcoxon Two Sample Test: $p = 0,8599$), Männer: $216,0 \pm 141,6$ m (Median 190 m), Frauen: $213,7 \pm 141,3$ m (Median 190 m).

Von der Entfernung abhängige Unterschiede in der Altersstruktur der Stichprobe ließen sich nicht beobachten: $r_s = -0,0634$, $p = 0,2201$.

Insgesamt lebten 11 Personen in größerer als der maximal vorgesehenen Entfernung (500 m) vom Sendemast. Um die Compliance in den kleinen Studienorten nicht zu gefährden, durften sich alle Freiwilligen an der Studie beteiligen.

Nur vier (1,1%) der Studienteilnehmer konnten den Sendemast von ihrem Bett aus sehen. Vom Fenster des Schlafzimmers aus konnten 47 (12,5%) der Studienteilnehmer den Sendemast uneingeschränkt und 6 (1,6%) eingeschränkt sehen.

C 1.13 Expositionsverteilung

Die von der IMST GmbH bei allen Probanden durchgeführten individuellen Expositionsmessungen dienten dazu, die im Experiment erreichten Feldstärken unter der Verum- und unter der Sham-Bedingung festzustellen. Wichtigster Zielparameter der Messung war das Verhältnis (der Pegelabstand) zwischen der Verum-Bedingung und der Sham-Bedingung. Als zusätzliche Information lieferten die Messprotokolle Angaben über die Entfernung zur experimentellen Basisstation sowie zur Sichtbarkeit der Station vom Fenster bzw. vom Kopfende des Bettes der jeweiligen Probanden (siehe Kap. C 1.12).

Die Expositionsmessung erfolgte in Abhängigkeit von der Stärke der anzutreffenden Signale nach unterschiedlichen Verfahren (siehe Kap. B 5.2). Demnach gab es bevorzugt Messergebnisse vom Kopfende des Bettes (dem angenommenen Aufenthaltsort des Kopfes der Probanden während des Nachtschlafes). Konnten dort bis zu 40dB schwächere Umgebungssignale wegen der Rauschgrenze nicht mehr nachgewiesen werden, wurden ersatzweise Messungen als Maximalwertsuche im Raum durchgeführt. Zur Beschreibung des Verhältnisses zwischen Sham und Verum sind die absoluten Pegel nicht bedeutsam. Für eine zusätzliche Beschreibung der Verteilung der absoluten Feldstärkepegel (siehe unten) wurde in den Fällen, in denen es nur Messwerte aus der Maximalwertsuche gab, jeweils ein Kopfende-Wert geschätzt. Dazu wurden mittlere (Median) Pegeldifferenzen zwischen den bei vielen Probanden gleichzeitig vorhandenen Kopfende- und Maximalwertsuche-Messergebnissen herangezogen.

Für die einbezogenen Probanden ist die bestimmende Expositionsquelle unter der Verum-Bedingung das experimentelle Mobilfunk-Testsignal. Sonstige (umliegende) Mobilfunksignale waren bei diesen Messungen in Innenräumen nur selten überhaupt messbar. Diese Besonderheit ergab sich durch die spezielle Auswahl der Studienorte (siehe Kap B 2.1.). Es konnte also dafür gesorgt werden, dass hinsichtlich der Mobilfunksignal-Immisionen - deren eventuelle Auswirkungen zu untersuchen waren - während des Nachtschlafes der Probanden in dieser Studie tatsächlich die experimentelle Exposition bestimmend war.

Die stärksten Fremdsignale, also Expositionssignale unter der Sham-Bedingung, stammten praktisch durchweg vom Rundfunk - die empfangswürdige Versorgung für Siedlungsgebiete ist in Deutschland flächendeckend (vgl. Kap. B 2.2).

Lang- Mittel- und Kurzwellenrundfunk erreichten meist Feldstärken in der gleichen Größenordnung wie die experimentellen Mobilfunk-Testsignale. Aber aufgrund der im Vergleich zu denen des Mobilfunks sehr unterschiedlichen physikalischen Eigenschaften der Lang-, Mittel- und Kurzwellensignale und auch, weil sie - anders als der hier untersuchte, noch relativ junge Mobilfunk - schon etwa 80 Jahre in Deutschland präsent sind, sollte diesen Bereichen des Rundfunks im Rahmen der vorliegenden Studie keine Bedeutung beigemessen werden.

Bestimmende Fremdsignale waren demgemäß UKW-Rundfunk, VHF- und UHF-Analog-Fernsehen, digitaler Hörfunk (DAB-T) und digitales Fernsehen (DVB-T). Signale von schnurlosen digitalen (DECT) Telefonen (die den Mobilfunksignalen grundsätzlich ähnlich sind und daher als störend für das Experiment angesehen wurden) hatten nur bei wenigen Probanden einen größeren Anteil an den Fremdsignalen. Der Austausch der Geräte in den Haushalten der Studienteilnehmer für den Zeitraum der Studie (siehe Kap. B 5), war somit wirksam. WLAN wurde in Einzelfällen von Studienteilnehmern für die Untersuchungszeiträume in der Studie abgeschaltet. Sonstige Funkdienste hatten bei den Innenraummessungen keine Bedeutung.

In den Abbildungen 77 und 78 wird die Verteilung der Verhältnisse zwischen Feldstärken von Verum-Exposition und Sham-Exposition sowie die Verteilung der (absoluten) Kopfende-Feldstärkepegel des experimentellen Mobilfunk-Testsignals (Verum) dargestellt.

Abbildung 77 zeigt das Feldstärkeverhältnis vom experimentellen Mobilfunk-Testsignal zur Summe der Fremdsignale, in die alle Quellen ab 30 MHz einbezogen sind. Wenn im Sinne des Experiments innerhalb der Sham-Exposition ausschließlich der Mobilfunk betrachtet wird, würden sich viel höhere Feldstärkeverhältnisse ergeben. Diese können jedoch nicht in entsprechender Form dargestellt werden, da die hierfür erforderlichen Sham-Mobilfunk-Feldstärken, also der vorhandene (echte) Mobilfunk in den Innenräumen der Probanden in dieser Studie meist nicht messbar waren. Dies sollte bei den angestrebten Bedingungen nicht verwundern, schließlich konnten auch Mobiltelefone, obwohl sie für diese Signale eine hohe Empfindlichkeit aufweisen, i.d.R. keine Mobilfunk-Basisstation empfangen. Die erreichten Feldstärken des experimentellen Mobilfunk-Testsignals sind dagegen vergleichbar zu denen, wie sie für Anwohner von Mobilfunk-Basisstationen (bzw. für die meisten Bewohner von Städten) in Deutschland anzutreffen sind. In Abbildung 78 ist die Verteilung der im Experiment erreichten Verum-Feldstärken dargestellt.

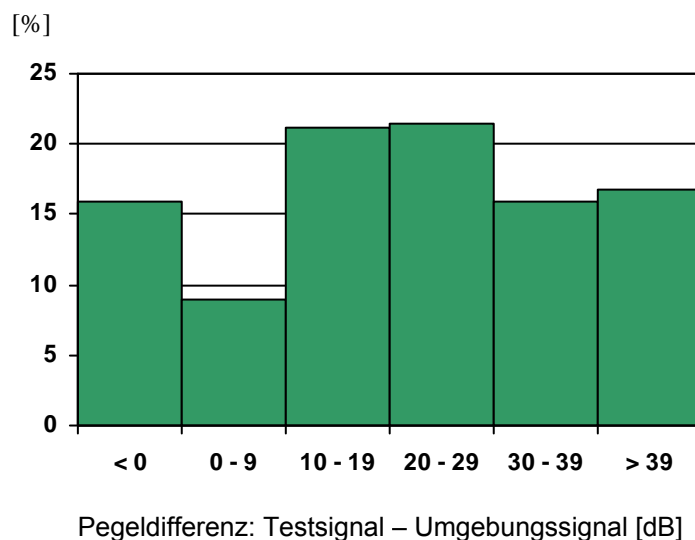


Abb. 77 Verteilung des Feldstärkeverhältnisses (als Pegeldifferenz in dB) der Verum-Exposition (experimentelles Mobilfunk-Testsignal) zur Summe aller Fremdsignale ab 30 Mhz.

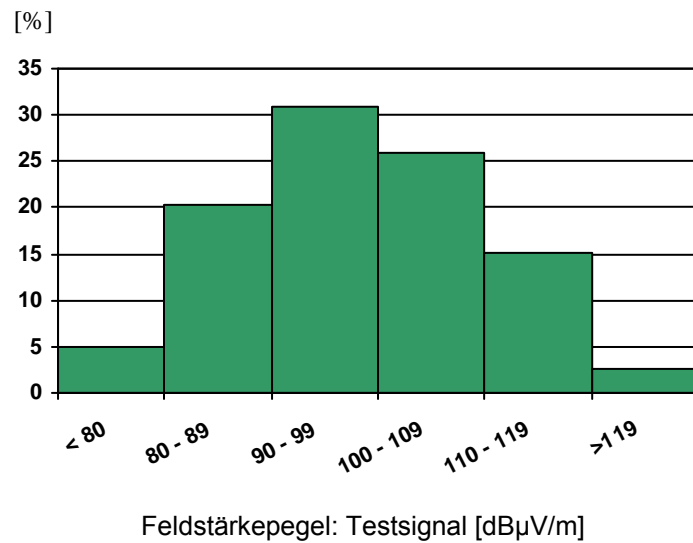


Abb. 78 Verteilung des absoluten Feldstärkepegels der Verum-Exposition (experimentelles Mobilfunk-Testsignal).

Korrelationen zwischen der Distanz der Entfernungen der Teilnehmer (Position im Schlafzimmer) zum Sendemast sind in Abbildung 79 dargestellt. Generell ist ein Absinken des Feldstärkepegels des Testsignals mit zunehmender Entfernung vom Sendemast zu beobachten, aber im Einzelfall kann die Feldstärke in 450 m Entfernung genauso groß/klein sein, wie in einer Entfernung unter 50 m vom Sendemast.

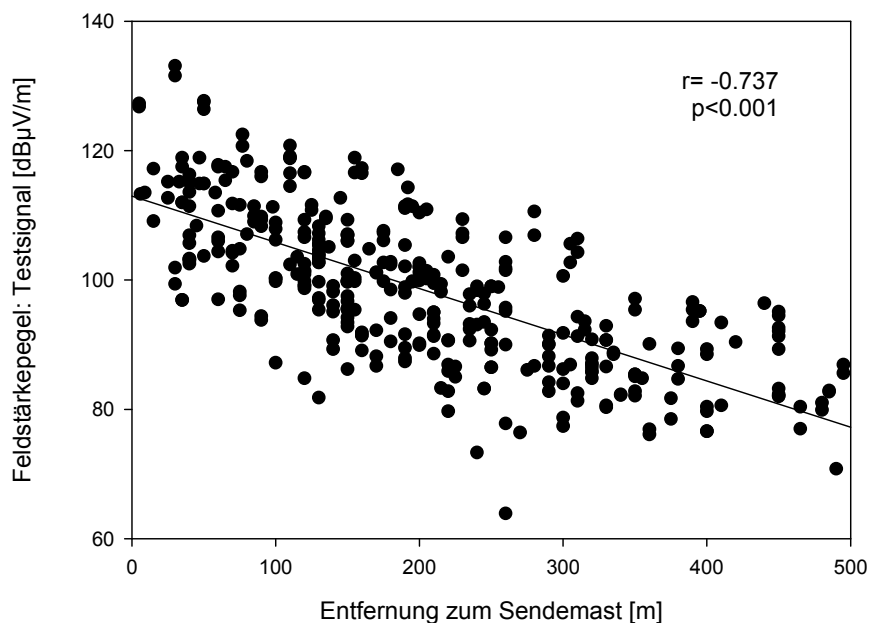


Abb. 79 Korrelation zwischen Feldstärkepegel und Entfernung zum Sendemast.

C 2 Subjektive Schlafqualität

Insgesamt umfasst die Studie $n = 4380$ Studienächte von 365 Probanden. Von den ursprünglich 376 wurden 11 Probanden aufgrund zu großer Entfernung von der Basisstation (>500 m vgl. dazu Kap. B 3 und C 1.12) ausgeschlossen. Subjektive Daten zur Schlafqualität, die mit dem Abend- und Morgenprotokoll der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin erhoben wurden, liegen für $n = 4353$ Nächte vor. Für 27 Nächte gibt es keine entsprechenden Daten, da die Studienteilnehmer aus beruflichen Gründen, urlaubsbedingt oder aufgrund sonstiger Gründe für einzelne Nächte nicht an der Studie teilgenommen haben. Die maximale Anzahl von Nächten, die aus diesen Gründen pro Person ausgefallen sind, ist zwei (6 Probanden), ansonsten handelt es sich jeweils um einzelne Nächte von verschiedenen Probanden.

Die erste Nacht, d.h. die Studiennacht N1, galt als Adaptationsnacht zur Gewöhnung an die Situation und an das Registriergerät. Diese Nacht wurde aus der weiteren Analyse ausgeschlossen. Die Notwendigkeit einer Adaptationsnacht wird durch die Zahl der ersten Nächte belegt, in denen die Probanden angaben, wegen des Registriergeräts schlecht geschlafen zu haben. Wie Abb. 80 zeigt, wird in 15% aller ersten Nächte das Registriergerät bzw. die damit verbundene veränderte Schlafsituation als ein Grund für einen schlechten Schlaf angeführt. In der zweiten Nacht wird das Registriergerät nur noch in 6% aller Nächte als Ursache eines schlechten Schlafes angeführt. Von Nacht drei an, bleibt dieser Anteil dann bei einem Wert um 1% stabil.

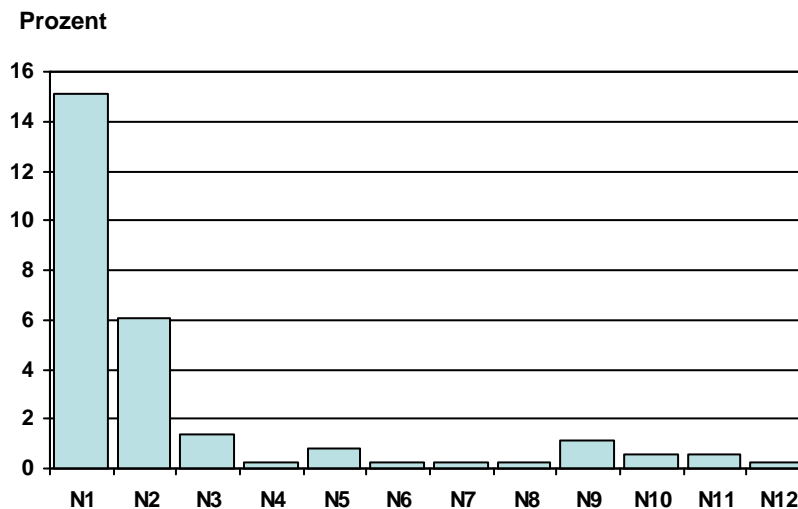


Abb. 80 Prozentualer Anteil der Nächte, in denen das Registriergerät (u.a.) als Grund für einen schlechten Schlaf angegeben wurde.

Über alle Nächte gemittelt beträgt der Prozentsatz der Nächte, in denen ein schlechter Schlaf auf das Registriergerät zurückgeführt wurde, 2,24%.

Neben der ersten Nacht wurde auch die siebte Nacht (N7) für die weitere Auswertung nicht berücksichtigt, da es sich dabei um eine Nacht von Sonntag auf Montag handelte (wie bei Nacht 1) und diese Nächte aufgrund einer Umstellung vom Wochenende auf den Wochenbeginn zu einer schlechteren Schlafqualität führen könnten.

Damit reduziert sich die Zahl der Nächte, die in die Auswertung eingingen und unter Berücksichtigung fehlender Nächte aus o.g. Gründen, auf $n = 3627$ Nächte, davon waren 50,04% ohne Exposition und 49,96% mit Exposition.

Einige der mittels Abend- und Morgenprotokolle erhobenen Informationen dienten als Zielvariablen zur Analyse eines möglichen Expositionseffekts auf die subjektive Schlafqualität bzw. -struktur (vgl. C.1.14.2), andere dienten der Kontrolle anderer Einflussfaktoren auf den Schlaf (vgl. C.1.14.1).

C 2.1 Verteilung von Einflussfaktoren auf den Schlaf

C 2.1.1 Müdigkeit und Erschöpfung am Tag vor der Testnacht

Wie Abb. 81 erkennen lässt, weicht die Anzahl von Probanden, die sich am Tag vor der Testnacht erschöpft bzw. müde gefühlt haben, vor einer Studiennacht mit Exposition nicht signifikant von der vor einer Studiennacht ohne Exposition ab. Dies wird durch die Ergebnisse von Fisher's Exaktem Test bestätigt: $\chi^2_{(1)} = 1,8854$, $p = 0,1713$.

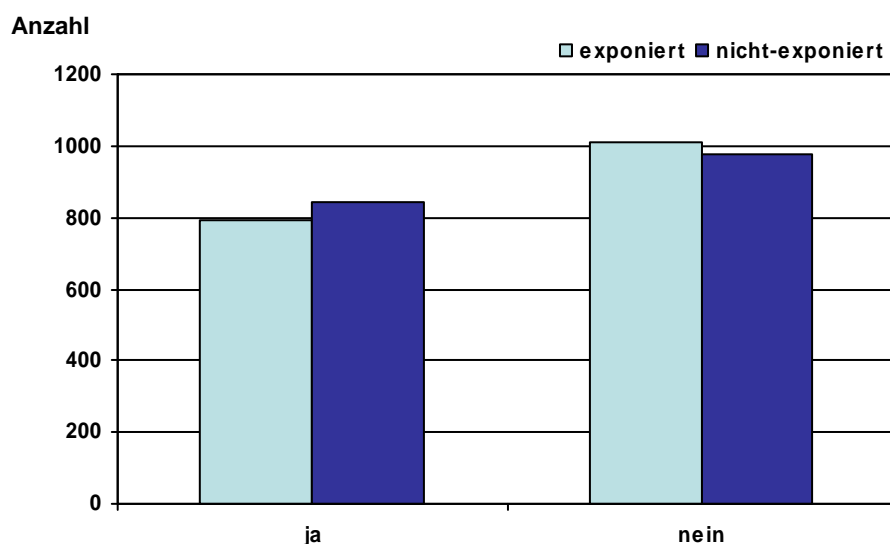


Abb. 81 Verteilung der Antworten auf die Frage: Haben Sie sich heute müde oder erschöpft gefühlt. Von den Probanden, die vor einer Testnacht die Frage nach Müdigkeit und Erschöpfung mit „ja“ beantwortet haben ($n = 1641$), waren 50,7% nur müde und nicht erschöpft sowie 13,0% erschöpft, aber nicht müde.

Auch die Verteilung des Schweregrades der Müdigkeit (Abb. 82) sowie der Erschöpftheit (Abb. 83) ließ keine bedeutsamen Unterschiede vor Nächten mit und ohne Exposition erkennen: Müdigkeit: $\chi^2_{(2)} = 1,0505$, $p = 0,5914$, Erschöpftheit: $\chi^2_{(2)} = 3,6639$, $p = 0,1603$.

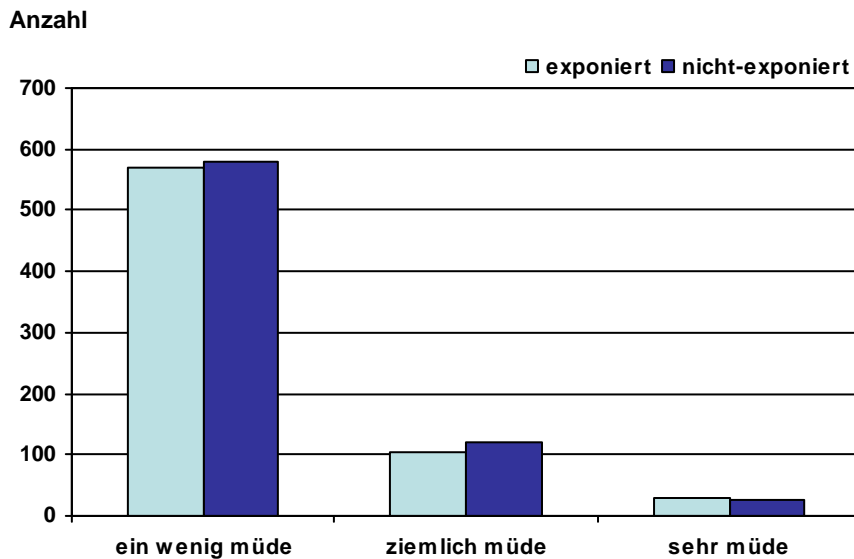


Abb. 82 Verteilung des Schweregrades der Müdigkeit vor Nächten mit und ohne Exposition.

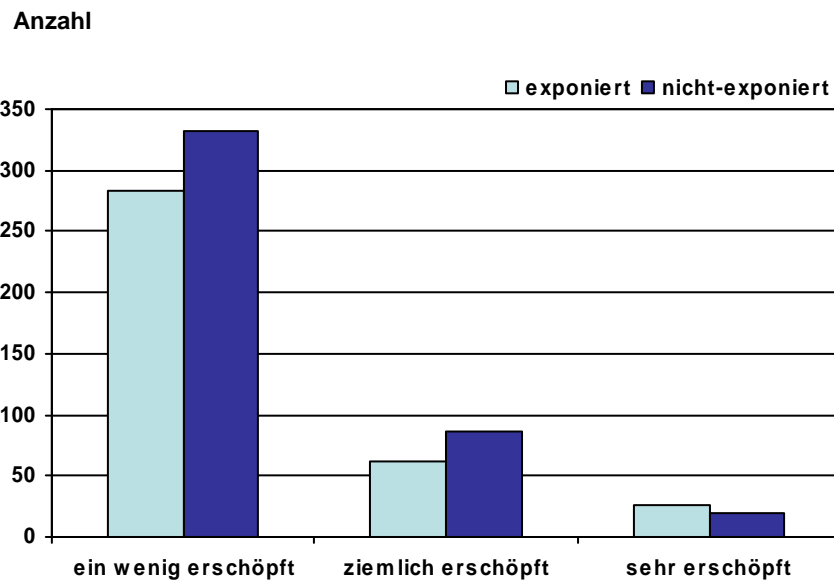


Abb. 83 Verteilung des Schweregrades der Erschöpftheit vor Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.2 Tagschlaf

Um zu überprüfen, ob das Tagschlafverhalten einen möglichen Effekt der Exposition mit elektromagnetischen Feldern in der folgenden Nacht beeinflusst, wurde überprüft, ob die Häufigkeit des Auftretens von Schlaf am Tag, dessen Dauer und zeitliche Organisation sich vor Nächten mit und ohne Exposition unterschieden hat. Insgesamt betrug die Häufigkeit, mit der am Tag vor der Studiennacht ein Tagschlaf abgehalten wurde, 21,5% (n=780). Wie Abb. 84 zu entnehmen ist, gibt es

dabei keine Unterschiede bezüglich nachfolgender Nächte mit und ohne Exposition, was nicht nur optisch evident ist, sondern auch durch die Ergebnisse von Fishers Exaktem Test für eine Vierfeldertafel bestätigt wird ($p = 0,8399$).

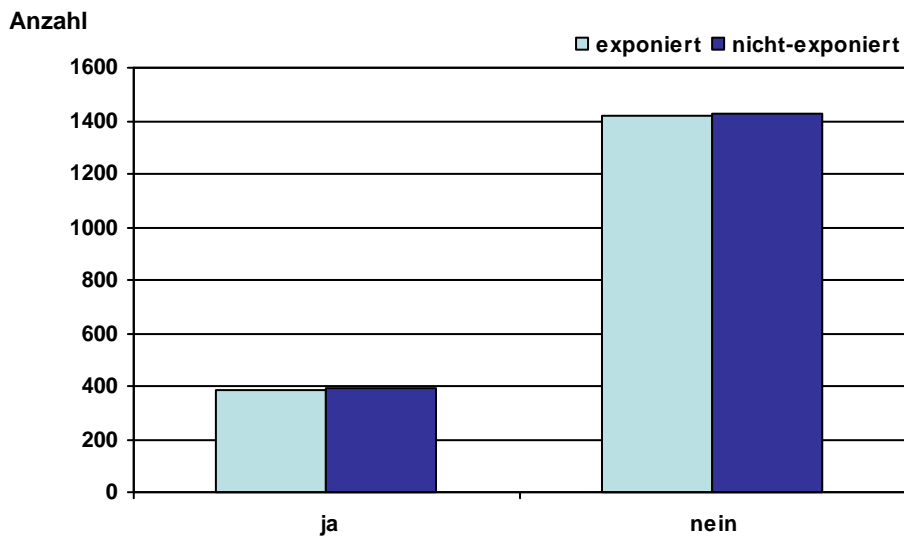


Abb. 84 Verteilung der Häufigkeit von Tagschlaf vor Nächten mit und ohne Exposition.

Auch die durchschnittliche Dauer des Tagschlafs lässt keine nennenswerte Unterschiede vor Nächten mit und ohne Exposition erkennen (Abb. 85). Anzumerken ist, dass die durchschnittliche Tagschlafdauer bei den Personen, die ein (oder mehrere) Schläfchen am Tag einlegen, mit durchschnittlich 51,9 min (vor Nächten ohne Exposition) bzw. 52,8 min (vor Nächten mit Exposition) vergleichsweise hoch ist. Auffällig ist, dass an 25% der Tage die Dauer des Schlafes 60 Minuten oder mehr beträgt.

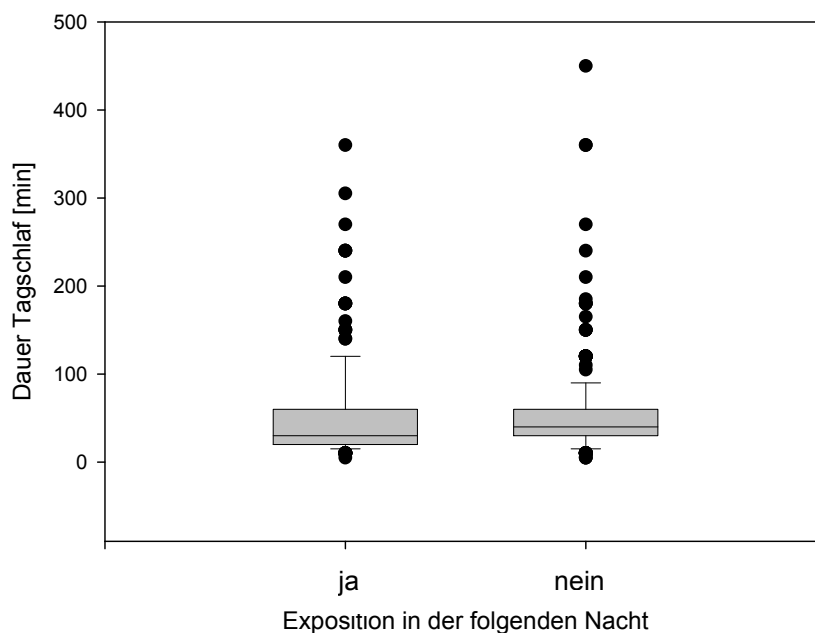


Abb. 85 Verteilung der Dauer von Tagschlaf am Tag vor Nächten mit und ohne Exposition: Wilcoxon Test: $p = 0,6615$.

An insgesamt 27 Tagen, d.h. an 3,5% der insgesamt 780 Tage, an denen überhaupt ein Tagschlaf eingelegt wurde, wurde mehr als einmal am Tag geschlafen: an 15 Tagen vor Nächten ohne Exposition und an 12 Tagen vor Nächten mit Exposition. Zu den 27 Tagen mit mehr als einer Tagschlafepisode, zählten 24 mit zwei Nickerchen, zwei mit drei und einer mit vier Nickerchen.

Einer der Teilnehmer ist an einem Sonntagabend in der Zeit ab 21:00 Uhr dreimal kurz eingenickt. Die Gesamtschlafzeit über alle drei Nickerchen betrug 15 Minuten. Ein zweiter Teilnehmer hat krankheitsbedingt um 10:00 Uhr, 13:00 und 17:00 jeweils einen Tagschlaf eingelegt, die Gesamtschlafzeit betrug 240 Minuten. Ein Proband, der um 8:30 Uhr eine Operation mit vorheriger sedativer Medikation hatte, hat danach während dieses Tages viermal mit einer Gesamtschlafdauer von 320 Minuten geschlafen.

C 2.1.3 Außergewöhnliche Belastungen

Im Abendprotokoll wird u.a. abgefragt, ob es am Tag vor den Studiennächten außergewöhnliche Belastungen gegeben hat. Bei gut einem Viertel der Studiennächte (26,3%) wurde die Frage mit ja beantwortet, es ließ sich jedoch kein Unterschied in der Verteilung zwischen Nächten mit (26,4%) und ohne Exposition (26,1%) beobachten (vgl. Abb. 86), was durch das Ergebnis von Fisher's exakten Test für eine Vierfeldertafel bestätigt wurde: $p = 0,8208$.

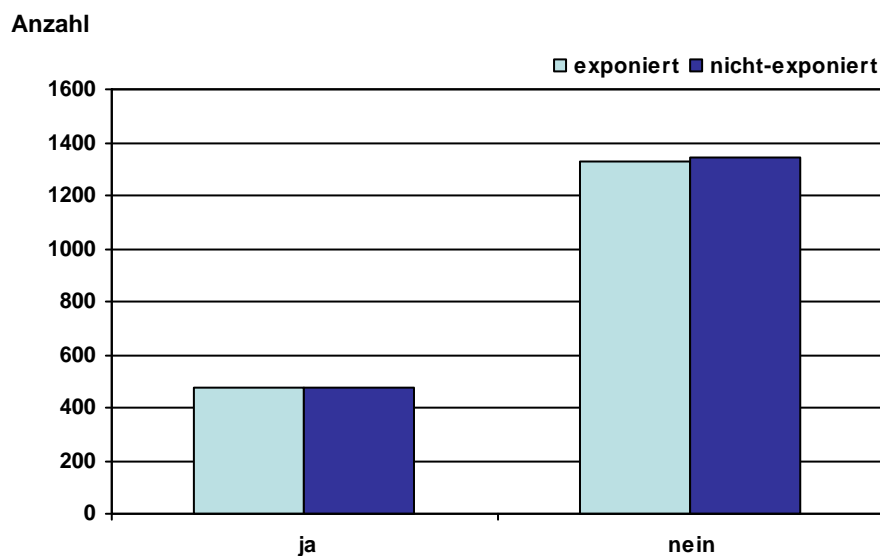


Abb. 86 Verteilung der Häufigkeit von starken Belastungen vor Nächten mit und ohne Exposition.

Für die Tage, an denen besondere Belastungen vorkamen, wurde näher nachgefragt, um welche Art von Belastung (körperlicher, geistiger oder seelischer Natur, bzw. einer Kombination daraus) es sich gehandelt hat. Wie Abb. 87 zu entnehmen ist, war die Belastung in den meisten Fällen (57,9%) körperlicher Natur; in einem Viertel der Fälle (25,5%) handelte es sich um eine Belastung seelischer

Natur und in 11,5% der Fälle um eine Belastung geistiger Natur. Die Kombination aus körperlicher und geistiger Natur wurde in 3,7% der Fälle genannt. Verteilungsunterschiede in der Art der Belastung am Tag vor Studienächten mit und ohne Exposition ließen sich nicht beobachten: $\chi^2_{(6)} = 11,8753$, $p = 0,0648$.

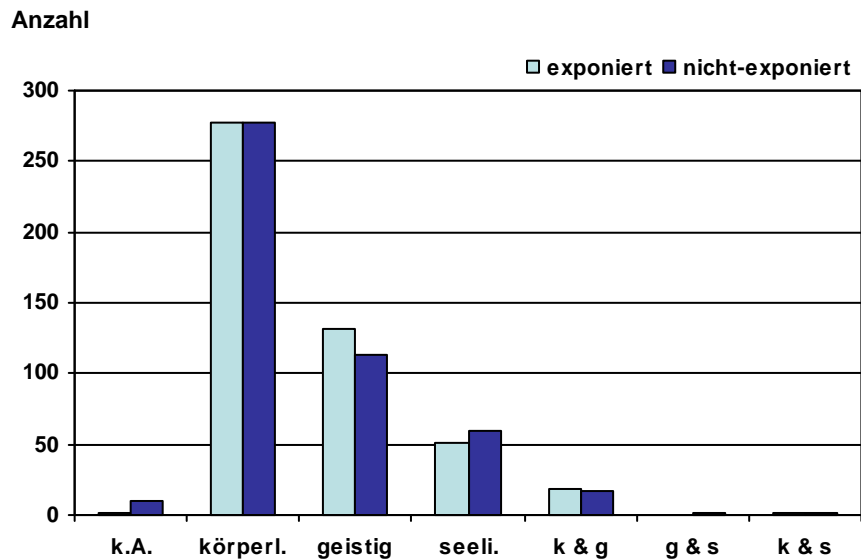


Abb. 87 Verteilung der Häufigkeit der Ursachen von starken Belastungen vor Nächten mit und ohne Exposition: k.A.: keine Angabe, körperl.: Belastung körperlicher Natur, geistig: Belastung geistiger Natur, seeli.: Belastung seelischer Natur, k & g: Belastung körperlicher und geistiger Natur, g & s: Belastung geistiger und seelischer Natur, k & s: Belastung körperlicher und seelischer Natur.

C 2.1.4 Konsum von Genussmitteln

Im Abendprotokoll, das unmittelbar vor dem Zubettgehen ausgefüllt werden sollte, wird darüber hinaus abgefragt, ob die Probanden in den letzten vier Stunden nichtalkoholische (Kaffee bzw. schwarzer Tee oder Coca-Cola) und/oder alkoholische (Bier, Wein bzw. Sekt oder Spirituosen) Getränke zu sich genommen haben und ob sie in den letzten vier Stunden Zigaretten oder Zigarren bzw. Pfeife geraucht haben. Zunächst wurde die Frage gestellt, ob überhaupt Genussmittel der genannten Kategorien in den letzten vier Stunden (vor dem Zubettgehen) konsumiert wurden. Diese Frage wurde für insgesamt 53,1% der Abende vor den Studienächten bejaht, wobei die Häufigkeit vor Nächten mit Exposition (52,9%) sich nicht signifikant ($p = 0,8154$) von der vor Nächten ohne Exposition (53,3%) unterschied (Abb. 88).

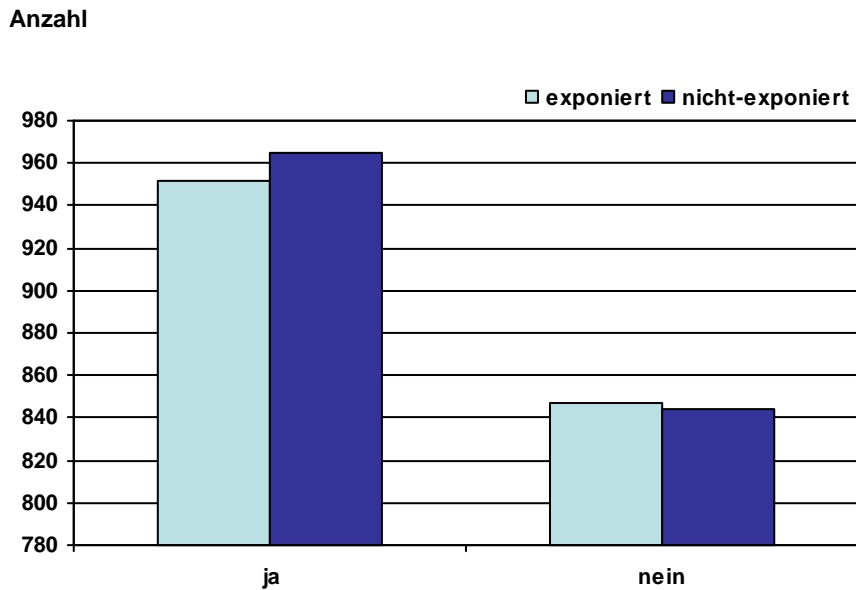


Abb. 88 Verteilung der Häufigkeit von Genussmittelkonsum vor Nächten mit und ohne Exposition.

Bei Unterscheidung des Genussmittelkonsums nach der Art des Genussmittels (Abb. 89) ist zu erkennen, dass weder die Häufigkeit des Konsums nicht alkoholischer Getränke (Kaffe- bzw. Teekonsums: $p = 0,4674$; Coca-Cola: $p = 0,2011$) noch die des Konsums alkoholischer Getränke (Bier: $p = 0,4959$; Wein bzw. Sekt: $p = 0,7804$; Spirituosen: $p = 0,8764$), sich vor Nächten mit und ohne Exposition signifikant unterschied.

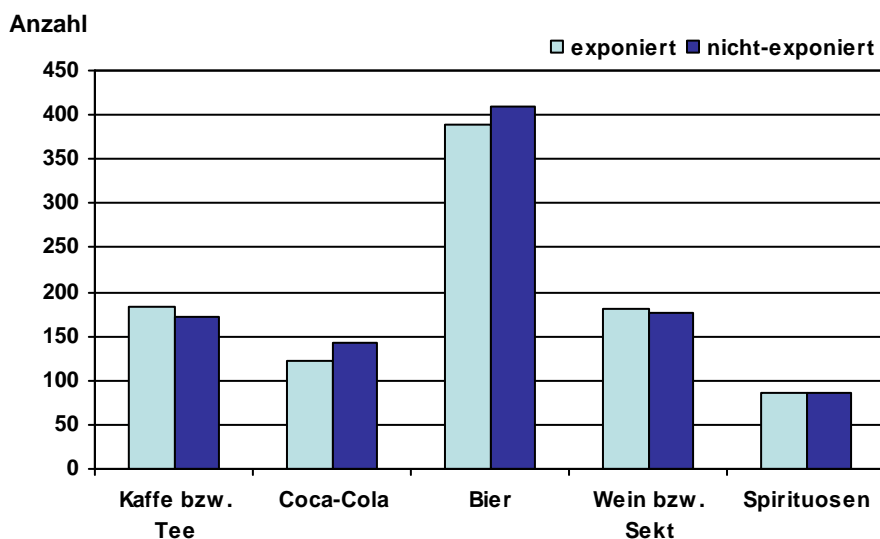


Abb. 89 Verteilung der Häufigkeit des Konsums verschiedener Genussmittel vor Nächten mit und ohne Exposition.

Auch hinsichtlich der Häufigkeit des Rauchens von Zigaretten ($p = 0,8329$) bzw. von Zigarren oder Pfeife ließen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Nächten mit und ohne Exposition in der folgenden Nacht beobachten ($p = 0,2925$) (Abb. 90).

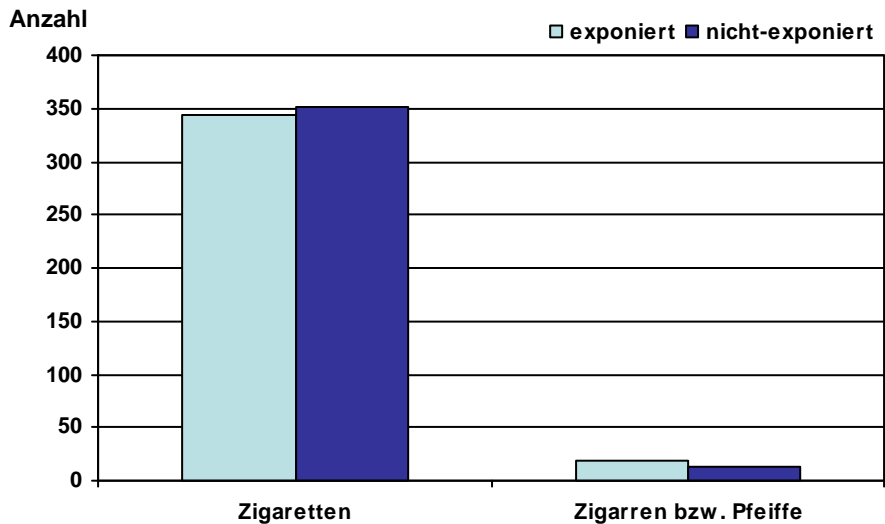


Abb. 90 Verteilung der Häufigkeit des Rauchens vor Nächten mit und ohne Exposition.

Eine detailliertere Betrachtung der aufgenommenen Menge an Genussmitteln zeigt, dass sich die Verteilung der Anzahl der konsumierten Tassen Kaffee bzw. Tee vor Nächten mit und ohne Exposition nicht signifikant unterschied: $\chi^2_{(5)} = 5,4277$, $p = 0,4119$ (Abb. 91).

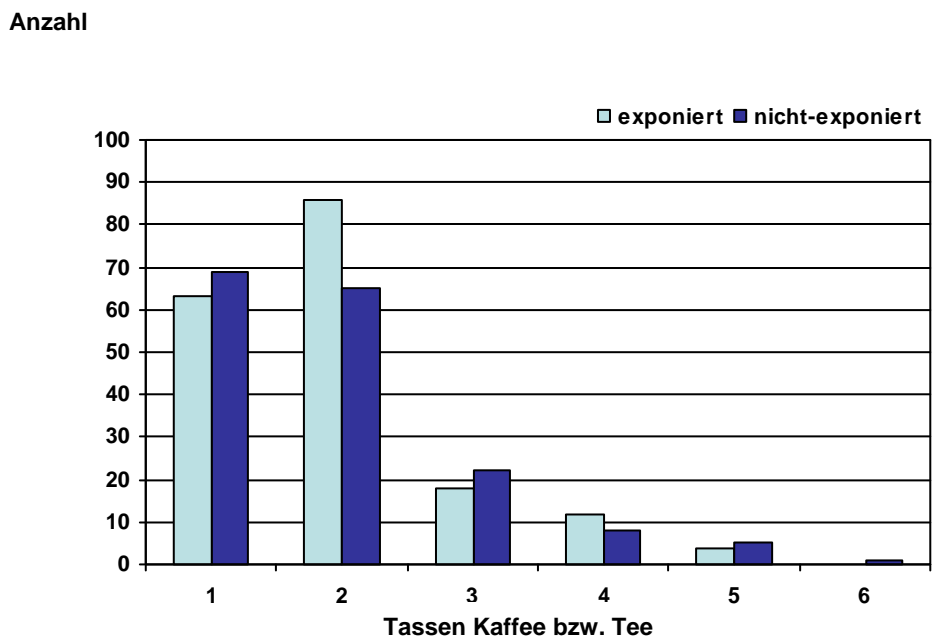


Abb. 91 Verteilung der aufgenommenen Menge (Tassen) an Kaffee bzw. Tee vor Nächten mit und ohne Exposition.

Dies gilt auch für den Coca-Cola-Konsum: $\chi^2_{(5)} = 1,6863$, $p = 0,8906$ (Abb. 92).

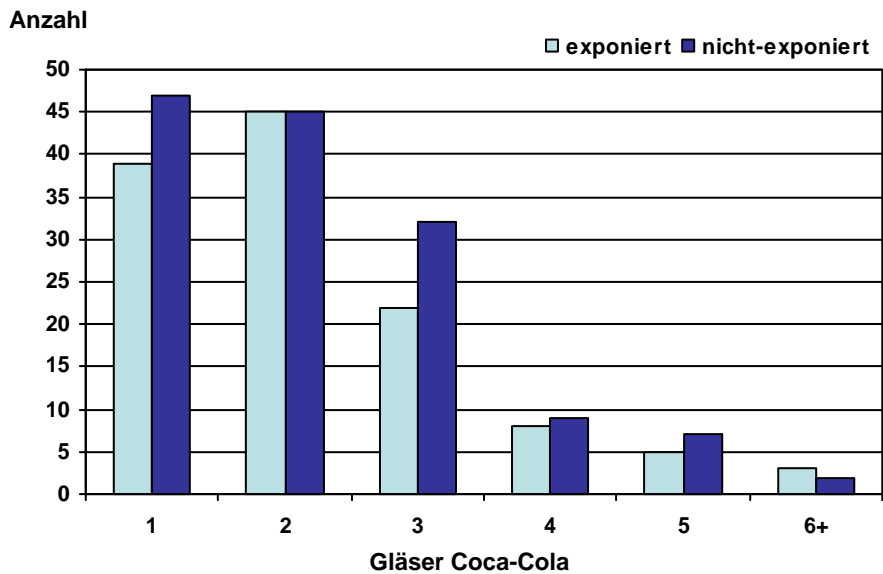


Abb. 92 Verteilung der aufgenommenen Menge (Gläser) an Coca-Cola vor Nächten mit und ohne Exposition.

Die aufgenommene Menge an alkoholischen Getränken vor Nächten mit und ohne Exposition lässt ebenfalls keine statistisch signifikanten Unterschiede erkennen: Bier: $\chi^2_{(7)} = 3,0132$, $p = 0,8838$ (Abb. 93), Wein bzw. Sekt: $\chi^2_{(5)} = 6,3549$, $p = 0,2732$ (Abb. 94) und Spirituosen: $\chi^2_{(5)} = 3,8087$, $p = 0,5717$ (Abb. 95).

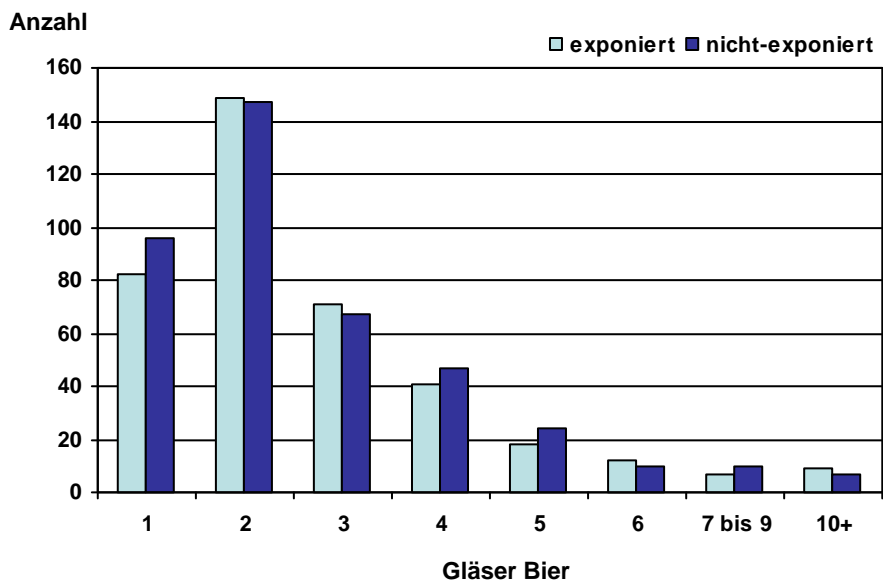


Abb. 93 Verteilung der aufgenommenen Menge (Gläser) an Bier vor Nächten mit und ohne Exposition.

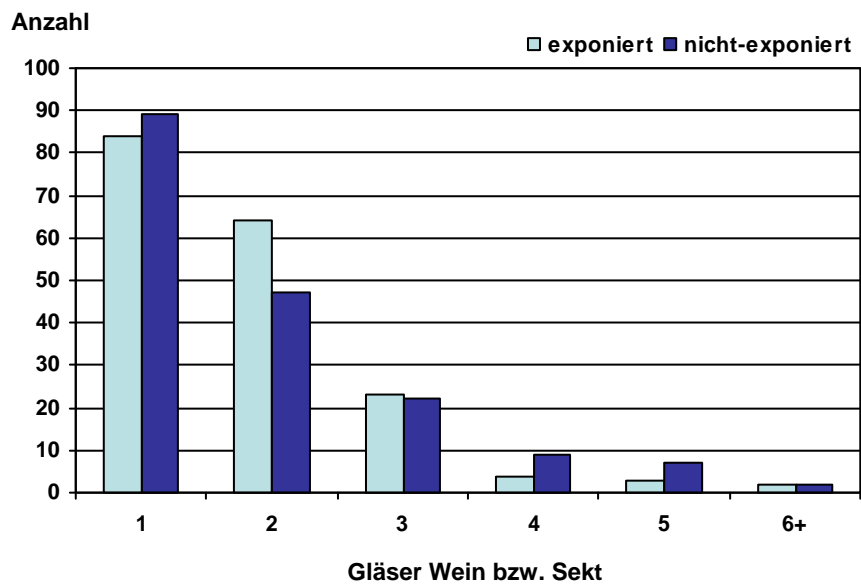


Abb. 94 Verteilung der aufgenommenen Menge (Gläser) an Wein bzw. Sekt vor Nächten mit und ohne Exposition.

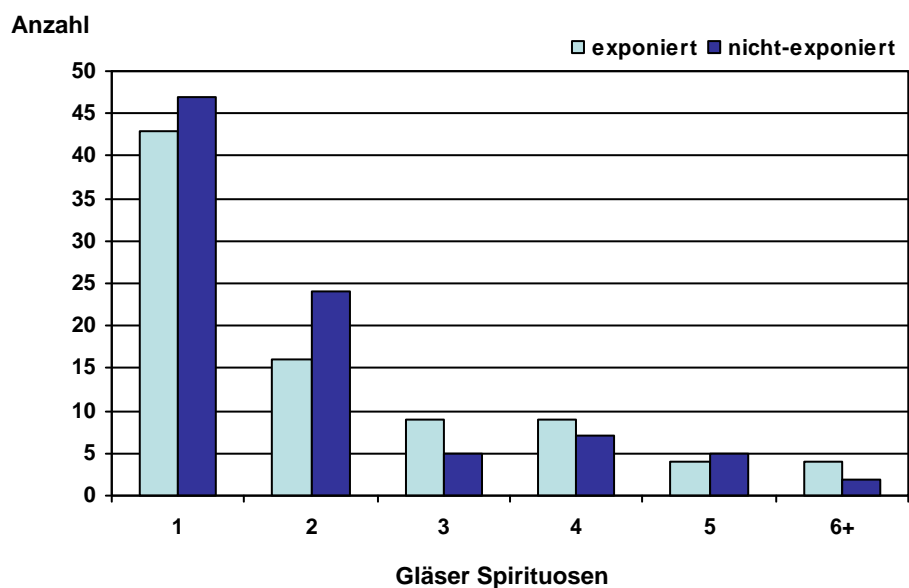


Abb. 95 Verteilung der aufgenommenen Menge (Gläser) an Spirituosen vor Nächten mit und ohne Exposition.

Auch hinsichtlich der Rauchgewohnheiten ließen sich keine Unterschiede in der Zahl der gerauchten Zigaretten an Abenden vor Nächten mit und ohne Exposition beobachten: $\chi^2_{(10)} = 5,7744$, $p = 0,83392$ (Abb. 96). Gleiches gilt für die Anzahl gerauchter Zigarren bzw. Pfeifen: $\chi^2_{(3)} = 1,0417$, $p = 0,5940$ (Abb. 97).

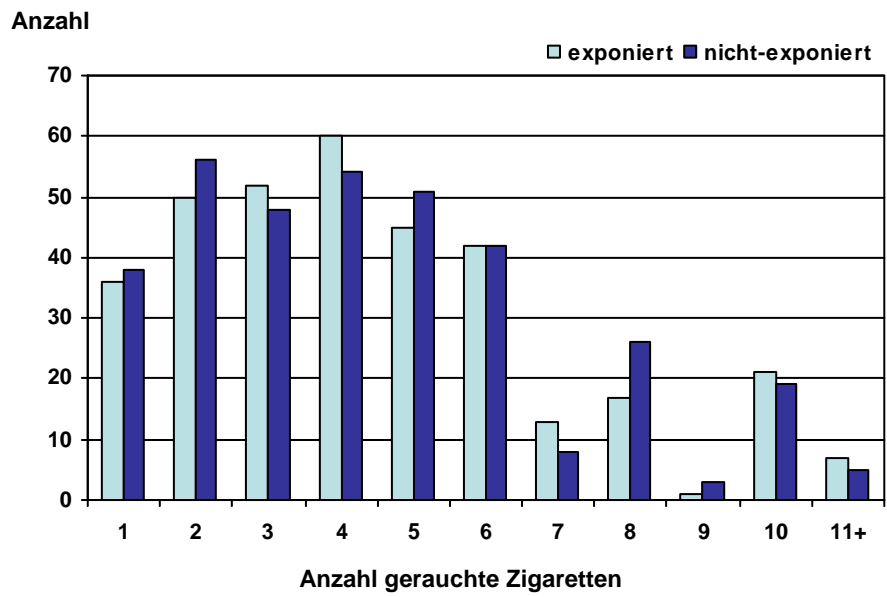


Abb. 96 Verteilung der Anzahl gerauchter Zigaretten vor Nächten mit und ohne Exposition.

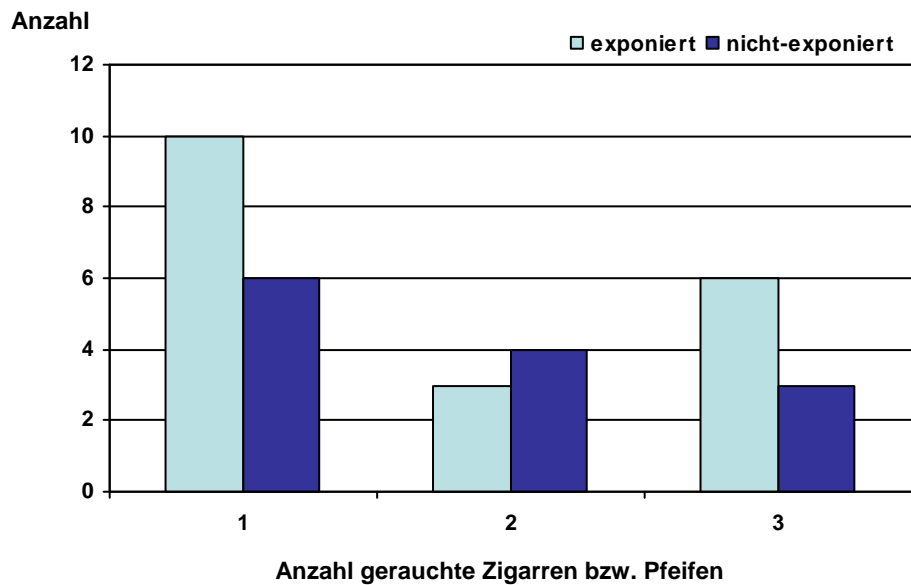


Abb. 97 Verteilung der Anzahl gerauchter Zigarren bzw. Pfeifen vor Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.5 Bettzeit

Wie Abb. 98 zu entnehmen ist, unterscheidet sich die Zubettgehzeit in Nächten mit und ohne Exposition nicht nennenswert, dies wird durch die Ergebnisse des Wilcoxon Tests bestätigt: $p = 0,6370$.

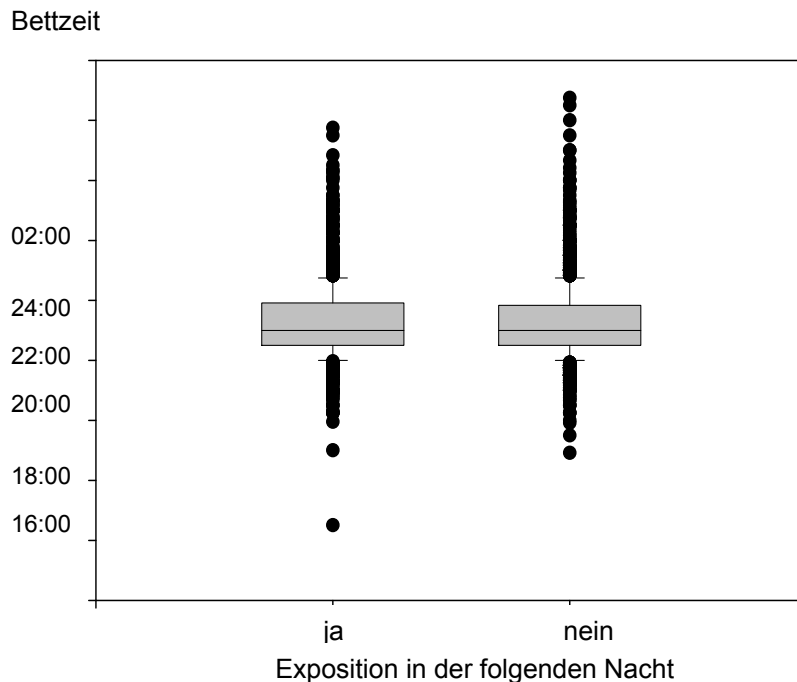


Abb. 98 Verteilung der Bettzeit vor Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.6 Außergewöhnliche Ereignisse

Die Häufigkeit, mit der das Auftreten eines außergewöhnlichen Ereignisses insgesamt berichtet wurde, betrug 6,2%, wobei das Vorkommen eines außergewöhnlichen Ereignisses vor Nächten mit Exposition mit 5,4% etwas niedriger war als vor Nächten ohne Exposition (7,1%). Dieser Verteilungsunterschied erwies sich als statistisch signifikant: $p = 0,0333$, (Abb. 99).

Das Auftreten solcher Ereignisse (Bsp. Tod eines Freundes, Geburt eines Enkelkinds, Betriebsfeier) ist natürlich unabhängig von der Expositionssituation der nachfolgenden Nacht. Da außergewöhnliche Ereignisse aber sowohl positiv als auch negativ sein können und den Schlaf auch in beide Richtungen bzw. auch gar nicht beeinflussen können, wurden diese Angaben auf Gruppenebene vernachlässigt und bei der Analyse auf individueller Ebene (Kap. C 2.2.2) berücksichtigt.

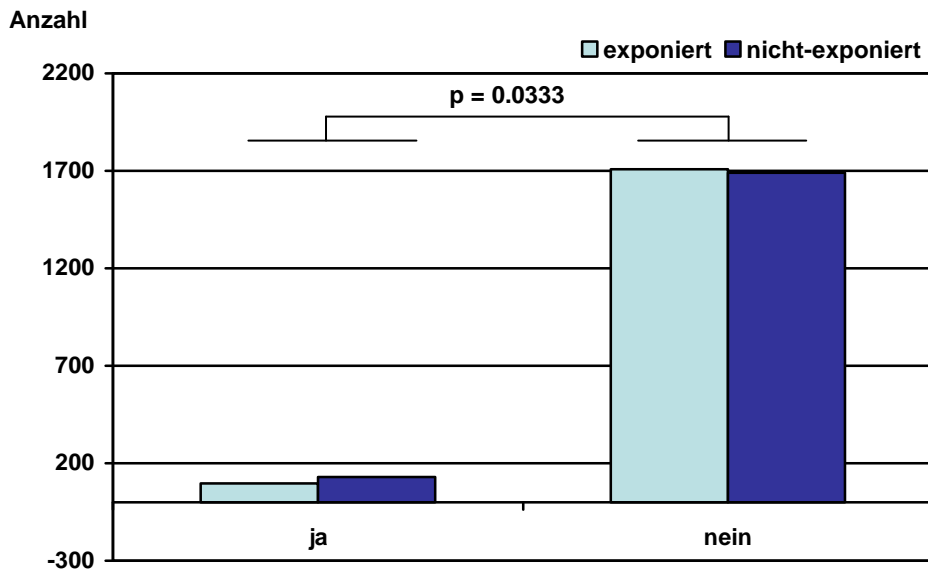


Abb. 99 Verteilung der Häufigkeit des Vorkommens außergewöhnlicher Belastungen vor Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.7 Ursachen für einen schlechten Schlaf

Eine Analyse der Häufigkeit, mit der Probanden angeben, schlecht geschlafen zu haben, ergab zunächst, dass für 44,0% der Studienächte ein schlechter Schlaf aufgetreten ist. In Nächten mit Exposition war ein schlechter Schlaf signifikant seltener (41,9%) als in Nächten ohne Exposition (46,0%): $p = 0,0132$ (Abb. 100).

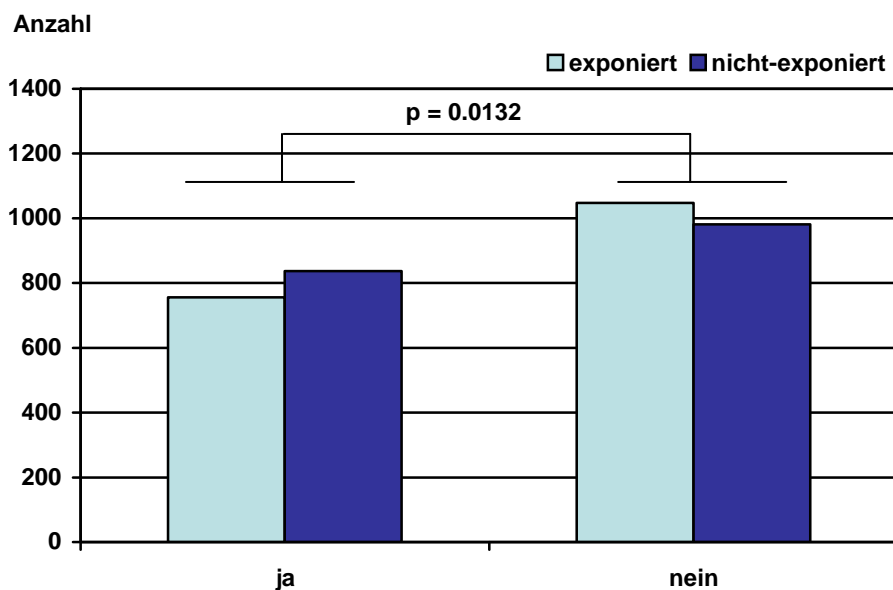


Abb. 100 Verteilung der Häufigkeit von schlechtem Schlaf in Nächten mit und ohne Exposition.

Bei der Frage nach den Ursachen für einen schlechten Schlaf konnte (mit Mehrfachnennungen) unter 16 Kategorien (darunter auch eine Kategorie „weiß ich nicht“) ausgewählt werden. Zusätzlich bestand die Möglichkeit, mit Freitext einen „sonstigen“ Grund für eine Störung anzugeben. Aus den Freitexten wurden zwei weitere Kategorien (Störung durch das Gerät und Störung durch Kinder) gebildet und eine Kategorie „Sonstiges“ beibehalten. Für diese insgesamt 19 Kategorien ist in Tab. 33 die Häufigkeit der Nennungen in Nächten mit und ohne Exposition (gesamt und getrennt) in absteigender Reihenfolge aufgelistet.

Tab. 33 Häufigkeit mit der verschiedene Faktoren als Ursache eines schlechten Schlafes genannt wurden. Vergleich der Expositions Nächte mit Nächten ohne Exposition.

	gesamt		unter Exposition		ohne Exposition		p
	n	%	n	%	n	%	
Toilettengang	947	26,2	479	26,6	468	25,7	0,5707
"weiß ich nicht"	264	7,3	128	7,1	136	7,5	0,7014
innere Unruhe	169	4,7	75	4,2	94	5,2	0,1567
Schmerzen	167	4,6	81	4,5	86	4,7	0,7518
Geräusche / Lärm	152	4,2	67	3,7	85	4,7	0,1593
Träumen	139	3,8	71	3,9	68	3,7	0,7955
Hunger / Durst	115	3,2	57	3,2	58	3,2	1,0000
konnte nicht aufhören, zu denken	106	2,9	54	3,0	52	2,9	0,8440
Sonstiges	103	2,9	43	2,4	60	3,3	0,1097
starkes Schwitzen	76	2,1	29	1,6	47	2,6	0,0482
körperliche Mißempfindungen	69	1,9	33	1,8	36	2,0	0,8083
Kind	61	1,7	30	1,7	31	1,7	1,0000
persönliche Probleme	44	1,2	26	1,4	18	1,0	0,2280
Aufzeichnungsgerät	42	1,2	20	1,1	22	1,2	0,8769
Beschäftigung mit Banalitäten	40	1,1	19	1,1	21	1,2	0,8740
berufliche Probleme	15	0,4	7	0,4	8	0,4	1,0000
Atembeschwerden	8	0,2	3	0,2	5	0,3	0,7263
Herzbeschwerden	7	0,2	3	0,2	4	0,2	1,0000

Insgesamt wurde ein Toilettengang mit deutlichem Abstand vor anderen Gründen als Ursache für einen gestörten Schlaf in der Nacht genannt (26,2%), gefolgt von nicht näher eingrenzbaeren Gründen („weiß ich nicht“, 7,3%), innerer Unruhe (4,7%), Schmerzen (4,6%) sowie Geräusche und Lärm (4,2%). Vergleichsweise selten, d.h. mit einer Häufigkeit < 0,5% wurden berufliche Probleme, Atem- oder Herzbeschwerden als Ursache eines gestörten Nachtschlafs genannt. Die Nächte mit

Herzbeschwerden (n=7) gehören zu 6 verschiedenen Personen, die Nächte mit Atembeschwerden (n=8) zu 7 Personen und die beruflichen Probleme (n=15) verteilen sich schließlich auf 10 Personen.

Für die genannten Einflussfaktoren ließen sich mit einer Ausnahme (starkes Schwitzen) keine Unterschiede in der Verteilung zwischen Nächten mit und ohne Exposition beobachten. Das starke Schwitzen kam in Nächten ohne Exposition statistisch signifikant häufiger vor (2,6 vs 1,6%, $p = 0,0482$) als in Nächten mit Exposition. Nächtliches Schwitzen wurde von 43 verschiedenen Personen angegeben, wovon 16 wiederholt schwitzten und 27 nur je einmal. Am häufigsten (27 Personen an insgesamt drei Standorten) wurde von Schwitzen in den Standorten, die in Sommermonaten untersucht wurden, berichtet. Zu bedenken ist darüber hinaus, dass bei 18 Tests ein Ergebnis schon rein zufallsbedingt als statistisch signifikant erwartet werden muss.

Anzumerken ist, dass in der Kategorie „Sonstiges“ eine etwaige Beeinträchtigung durch (die experimentellen) elektromagnetische(n) Felder in keinem Fall genannt wurde. In dieser Kategorie finden sich mit abnehmender Häufigkeit Störungen durch gesundheitliche Probleme, klimatische Bedingungen (Gewitter, Sturm, Hitze), Tiere (Hunde, Katzen, Pferde, Moskitos), Weckungen durch den Partner sowie Weckungen durch das Telefon oder Faxgerät u.a..

C 2.1.8 Träumen

Eine Analyse der Häufigkeit, mit der Probanden angaben, geträumt zu haben, ließ ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen Nächten mit und ohne Exposition erkennen $p = 0,1318$, Abb. 101). Insgesamt wurde für 1384 Nächte (38,4% aller Nächte) angegeben, dass in der Nacht geträumt wurde, davon entfielen 48,6% auf Nächte ohne und 51,5% auf Nächte mit Exposition.

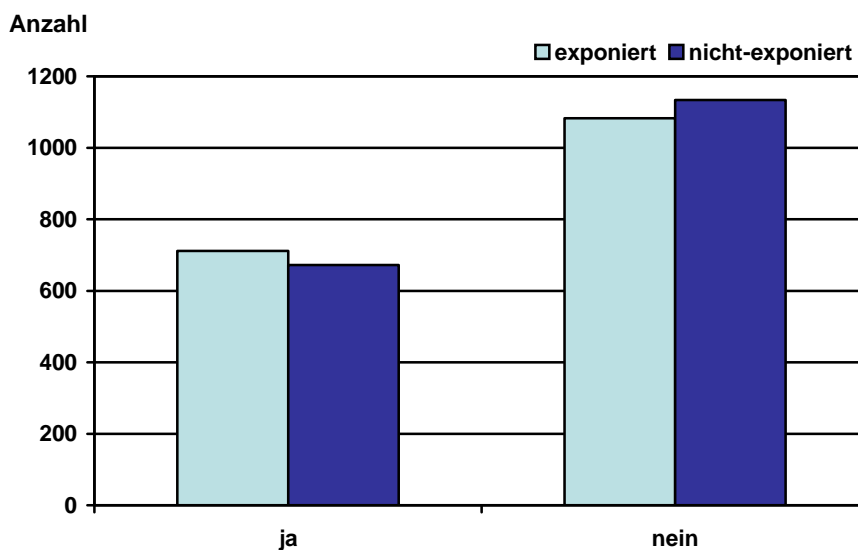


Abb. 101 Verteilung der Häufigkeit von Träumen in Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.9 Medikamente

Insgesamt wurde vor einem Drittel aller Studienächte (n= 1211, 33,7%) (mindestens) ein Medikament eingenommen, wobei es keine Unterschiede in der Häufigkeit zwischen Nächten mit (49,6%) und ohne Exposition (50,4%) gab (p = 0,8878, Abb. 102).

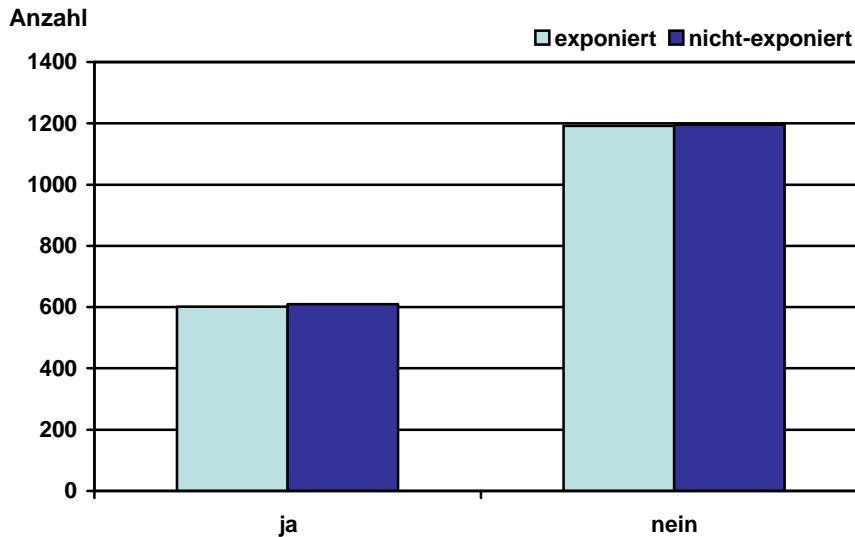


Abb. 102 Verteilung der Häufigkeit von Medikamenteneinnahme vor Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.10 Probleme mit dem Registriergerät

Die Häufigkeit der Studienächte, d.h. unter Ausschluss der Adaptationsnächte, in denen es es ein Problem mit dem Registriergerät gab, war mit 4,9% insgesamt recht gering. Auch für dieses Merkmal gab es keine Unterschiede (p = 0,3930, Abb. 103) in der Häufigkeit zwischen Nächten mit (46,6%) und ohne Exposition (53,5%).

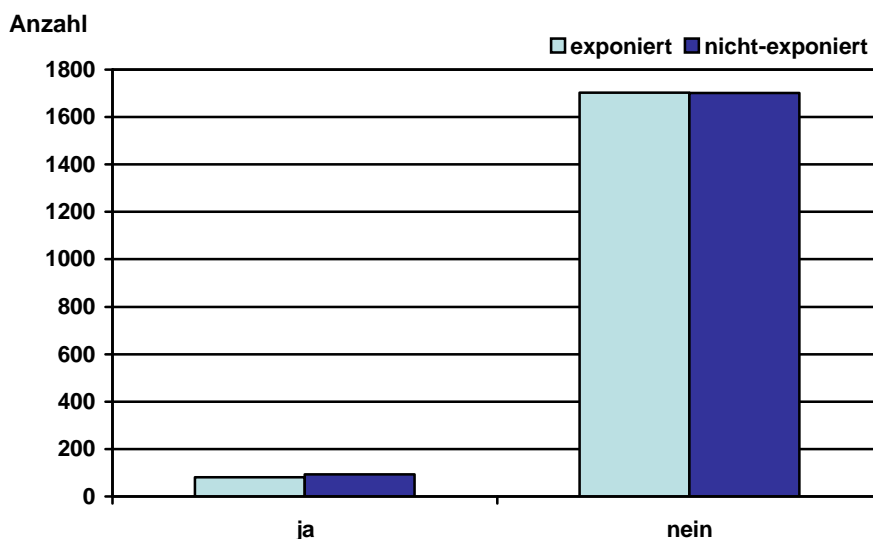


Abb. 103 Verteilung der Häufigkeit von Problemen mit dem Registriergerät in Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.1.11 Telefonate von 22:00 bis 06:30

Die Frage, ob in der Zeit zwischen 22:00 und 06:30 Uhr telefoniert wurde, wurde nach 83 Nächten (2,3%) mit „Ja“ beantwortet, wobei die „ja-Antworten“ sich zu 56,6% auf Nächte mit Exposition und zu 43,4% auf Nächte ohne Exposition bezogen. Statistisch signifikante Verteilungsunterschiede ließen sich nicht nachweisen ($p = 0,2234$, Abb. 104).

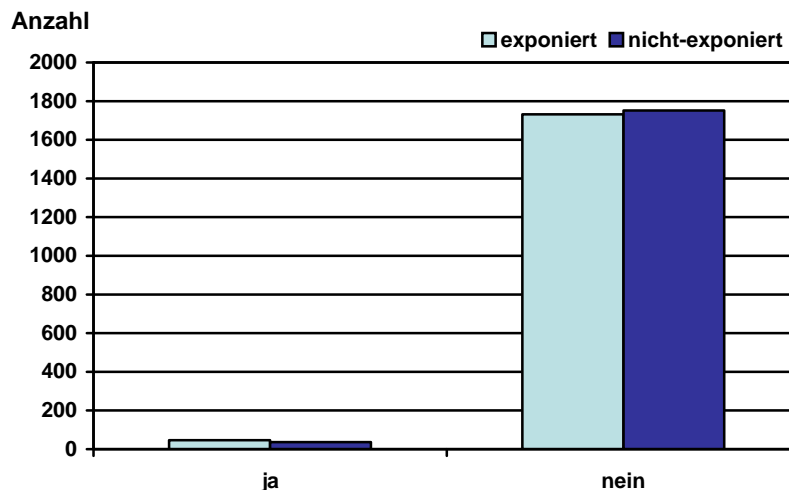


Abb. 104 Verteilung der Häufigkeit von Telefonaten in der Zeit von 22:00 bis 06:30 Uhr in Nächten mit und ohne Exposition.

C 2.2 Unterschiede in der subjektiven Schlafqualität zwischen Nächten mit und ohne Exposition

Als Zielparameter wurden die Erholbarkeit des Schlafes (VAS= Visuelle Analogskala), die Einschlaf latenz in Minuten (SOL), die Wachzeit nach Schlafbeginn in Minuten sowie die Gesamtschlafdauer (TST= Total Sleep Time) in Minuten, die Bettzeit (TIB= Time in Bed von „Licht aus“ bis „Licht an“) in Minuten und die aus den Daten des Protokolls ermittelte Schlafeffizienz (TST / TIB) herangezogen.

Die Analyse eines möglichen Expositionseffekts erfolgte auf zwei Ebenen. Zum einen wurde unter Ausschluss der Nächte 1 und Nacht 7 für jeden Probanden pro Expositionsbedingung sowohl ein arithmetisches Mittel als auch ein Median als robustes Maß für die Schlafqualität ermittelt. Die Verteilung der individuellen Differenzen zwischen den berechneten Parametern wurde auf eine signifikante Abweichung in der zentralen Tendenz von Null überprüft. Zum anderen wurden die Unterschiede in den Parametern, die zur Beschreibung der subjektiven Schlafqualität herangezogen wurden, auf individueller Ebene einem Test auf signifikante Unterschiede unterzogen.

Für die Berechnung der individuellen arithmetischen Mittel und Mediane standen ausreichend Nächte mit und ohne Exposition zur Verfügung (siehe Tab. 34).

Tab. 34 Subjektive Schlafqualität: Häufigkeit der Probanden, die 5 mal, mind. 4 mal oder weniger als 3 mal exponiert wurden für jeden Parameter.

Merkmal	% Probanden mitNächten pro Expositionsbedingung		
	je 5	mind. 4	< 3
Visuelle Analogskala „Erholsamkeit“	92,1	99,5	0,0
Einschlaflatenz (SOL)	88,5	99,2	0,0
Wachzeit nach Schlafbeginn (WASO)	77,3	94,3	<0,1
Gesamtschlafzeit (TST)	82,7	98,4	0,0
Bettzeit (TIB)	75,5	94,3	<0,1
Schlafeffizienz-Index (TST / TIB)	70,3	89,3	<0,1

C 2.2.1 Ebene der Gruppe: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf der Basis individueller Mittelwerte

Erholsamkeit des Schlafes

Die Erholsamkeit des Schlafes wurde im Morgenprotokoll mit einer visuellen Analogskala erfasst, auf der niedrigere Werte eine größere Erholsamkeit anzeigen. Für dieses Merkmal zeigt sich eine erhebliche individuelle Variation in der Bevölkerung sowohl bei Berücksichtigung der aus den Daten berechneten individuellen arithmetischen Mittel als auch der Mediane (Abb. 105 und Tab. 35 und Tab. 36). Tendenziell ist die Erholsamkeit unter Exposition etwas höher als bei Nicht-Exposition. Die Verteilung der individuellen Differenzen variiert aber dennoch sowohl für die Differenzen zwischen den arithmetischen Mittelwerten ($p = 0,0971$) als auch zwischen den Medianen ($p = 0,5891$) zufällig um Null (Abb. 105 und Tab. 37).

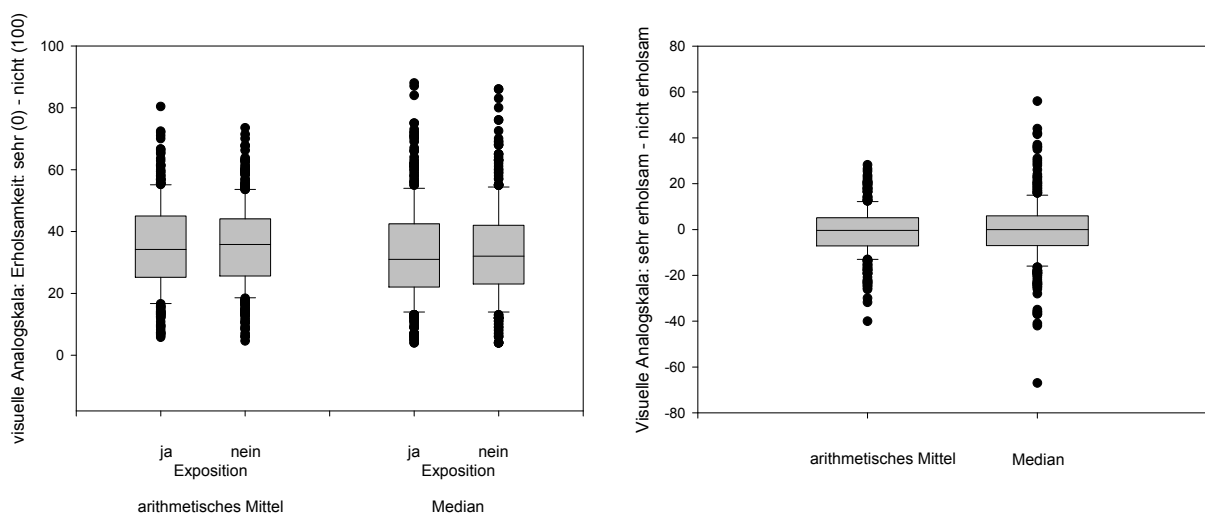


Abb. 105 Boxplots der Verteilungen des Grades der Erholsamkeit des Schlafes am Morgen nach Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: negative Differenzen entsprechen einer besseren Erholsamkeit unter der Expositionsbedingung.

Einschlaflatenz

Die Einschlaflatenz zeigt sowohl unter Exposition als auch unter Scheinexposition eine deutlich schiefe Verteilung (Abb. 106). Dies gilt sowohl bei Berechnung von individuellen arithmetischen Mittelwerten als auch bei Berechnung individueller Mediane. Unter Exposition gibt es einen Probanden, der einen deutlichen Ausreißerwert sowohl im arithmetischen Mittel (Einschlaflatenz 233 min) als auch im Median (Einschlaflatenz 285 min) aufweist. Dieser Proband wird in der Diskussion gesondert berücksichtigt. Auch für die Einschlaflatenz gilt, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen der Verum- und der Scheinexpositionsbedingung zu beobachten sind (Abb. 106 und Tab. 35 und 36). Die individuellen Differenzen in der Einschlaflatenz variieren ausgeprägt aber zufällig um Null, die Einschlaflatenz ist im Mittel für die individuell berechneten arithmetischen Mittel unter Exposition um 0,36 Minuten kürzer ($p = 0,4103$; Tab. 37). Bei Heranziehung individueller Mediane ist die Einschlaflatenz unter Exposition um 0,19 Minuten länger ($p = 0,8268$) (Abb. 106).

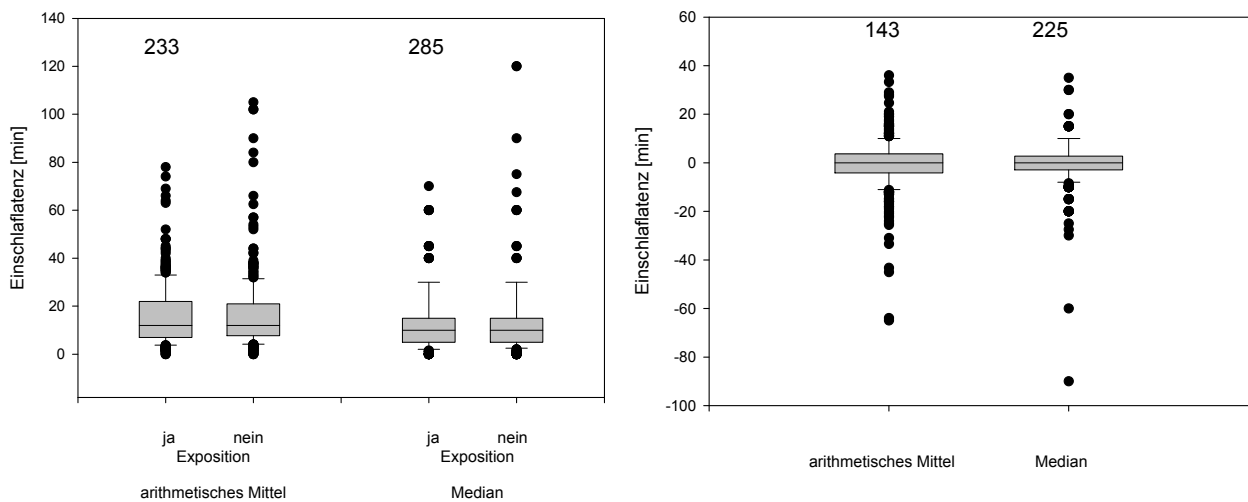


Abb. 106 Boxplots der Verteilungen der Einschlaflatenz in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: negative Differenzen entsprechen kürzeren Einschlaflatenzen unter der Expositionsbedingung.

Wach nach Schlafbeginn

Die Variable Wach nach Schlafbeginn lässt ebenso wie die Einschlaflatenz eine deutlich schiefe Verteilung erkennen (Abb. 107; Tab. 35 und 36), was auch an ausgeprägten Unterschieden zwischen dem arithmetischen Mittel und dem Median der jeweiligen Verteilungen abzulesen ist. Generell lassen sich jedoch auch für dieses Merkmal keine signifikanten Verteilungsunterschiede zwischen Nächten mit und ohne Exposition erkennen. Dies wird auch dadurch belegt, dass die individuellen Differenzen sowohl für die arithmetischen Mittel ($p = 0,3279$) als auch für die Mediane ($p = 0,8770$) bei großer individueller Variation nicht signifikant von Null verschieden sind (Abb. 107 und Tab. 37).

Tab. 35 Deskriptive Statistiken subjektiver Schlafparameter unter Exposition

Pr > D: Irrtumswahrscheinlichkeit des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung

Variable:	N	Mean	SD	Pr > D	Max	P75	Median	P25	Min
Basis individuelle arithmetische Mittel									
VAS: Erholbarkeit: sehr (0) - nicht (100)	365	35,04	14,24	>0,1500	80,4	45,0	34,2	25,2	5,8
Einschlaflatenz [min]	365	16,43	16,97	<0,0100	232,5	22,0	12,0	7,0	0,0
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	12,80	20,88	<0,0100	181,8	17,0	6,3	1,8	0,0
Gesamtschlafzeit [min]	365	398,29	57,32	>0,1500	615,0	440,0	402,0	361,0	161,3
Time in Bed [min]	363	437,25	60,67	0,0756	650,0	476,0	443,0	398,5	246,4
Schlafeffizienz-Index [%]	363	91,83	8,67	<0,0100	146,8	97,2	92,6	87,5	36,8
Basis individuelle Mediane									
VAS: Erholbarkeit: sehr (0) - nicht (100)	365	32,93	16,02	<0,0100	88,0	42,0	31,0	22,0	4,0
Einschlaflatenz [min]	365	13,96	18,27	<0,0100	285,0	15,0	10,0	5,0	0,0
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	9,12	20,00	<0,0100	210,0	10,0	4,0	0,0	0,0
Gesamtschlafzeit [min]	365	398,82	58,80	<0,0100	600,0	435,0	405,0	360,0	165,0
Time in Bed [min]	363	436,23	64,14	>0,1500	659,0	475,0	435,0	395,0	221,0
Schlafeffizienz-Index [%]	363	92,31	7,86	<0,0100	117,5	97,7	93,8	89,0	38,0

Tab. 36 Deskriptive Statistiken subjektiver Schlafparameter unter Schein-Exposition

Pr > D: Irrtumswahrscheinlichkeit des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung

Variable:	N	Mean	SD	Pr > D	Max	P75	Median	P25	Min
Basis individuelle arithmetische Mittel									
VAS: Erholbarkeit: sehr (0) - nicht (100)	365	35,94	13,33	0,0709	73,5	44,0	35,8	25,8	4,6
Einschlaflatenz [min]	365	16,79	15,41	<0,0100	105,0	21,0	12,0	8,0	0,0
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	11,74	15,86	<0,0100	108,8	15,4	6,0	2,0	0,0
Gesamtschlafzeit [min]	365	396,39	51,76	>0,0150	606,0	432,0	399,0	363,3	246,0
Time in Bed [min]	363	434,07	57,16	>0,1500	622,0	471,3	435,0	399,9	287,4
Schlafeffizienz-Index [%]	363	91,96	8,86	<0,0100	155,7	97,1	92,8	87,5	50,8
Basis individuelle Mediane									
VAS: Erholbarkeit: sehr (0) - nicht (100)	365	33,25	15,61	<0,0100	86,0	42,0	32,0	23,0	4,0
Einschlaflatenz [min]	365	13,76	14,36	<0,0010	120,0	15,0	10,0	5,0	0,0
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	7,85	13,54	<0,0100	120,0	10,0	5,0	0,0	0,0
Gesamtschlafzeit [min]	365	396,79	54,70	<0,0100	600,0	420,0	400,0	360,0	240,0
Time in Bed [min]	363	432,98	60,26	0,1363	615,0	476,0	434,0	395,0	259,0
Schlafeffizienz-Index [%]	363	92,29	8,48	<0,0100	168,2	97,0	93,5	88,7	54,6

Tab. 37 Deskriptive Statistiken der individuellen Differenzen der subjektiven Schlafparameter (Exposition minus Schein-Exposition)

$p > |t|$: Irrtumswahrscheinlichkeit des gepaarten t-Tests

$p \geq |S|$: Irrtumswahrscheinlichkeit des Vorzeichenrangtests nach Wilcoxon

$Pr > D$: Irrtumswahrscheinlichkeit des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung

Variable:	N	Mean	SD	$p > t $	$p \geq S $	$Pr > D$	Max	P75	Median	P25	Min
Basis individuelle arithmetische Mittel											
VAS: Erholsamkeit: sehr (0) - nicht (100)	365	-0,91	10,43	0,0971	0,1070	0,0242	28,2	4,8	-0,4	-7,0	-40,0
Einschlaflatenz [min]	365	-0,36	12,86	0,5911	0,4103	<0,0100	142,5	3,7	0,0	-4,0	-65,0
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	1,07	16,21	0,2097	0,3279	<0,0100	105,0	3,0	0,0	-2,3	-88,8
Gesamtschlafzeit [min]	365	1,91	39,18	0,3532	0,4592	>0,1500	134,0	24,0	1,5	-24,0	-126,8
Time in Bed [min]	363	3,18	37,14	0,1033	0,1767	0,0148	132,8	48,0	24,0	3,3	-120,3
Schlafeffizienz-Index [%]	363	-0,13	6,71	0,7038	0,9952	<0,0100	20,4	3,5	0,1	-3,7	-33,9
Basis individuelle Mediane											
VAS: Erholsamkeit: sehr (0) - nicht (100)	365	-0,32	13,52	0,6565	0,5891	<0,0100	56,0	6,0	0,0	-7,0	-67,0
Einschlaflatenz [min]	365	0,19	14,98	0,8056	0,8268	<0,0100	225,0	3,0	0,0	-2,5	-90,0
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	1,27	14,62	0,0986	0,8770	<0,0100	125,0	0,0	0,0	-0,5	-45,0
Gesamtschlafzeit [min]	365	2,03	41,52	0,3518	0,3877	<0,0100	140,0	30,0	0,0	-30,0	-135,0
Time in Bed [min]	363	3,25	41,12	0,1329	0,2906	<0,0100	157,0	25,0	0,0	-20,0	-125,0
Schlafeffizienz-Index [%]	363	0,02	6,16	0,9443	0,8376	<0,0010	20,0	2,8	0,0	-2,8	-50,7

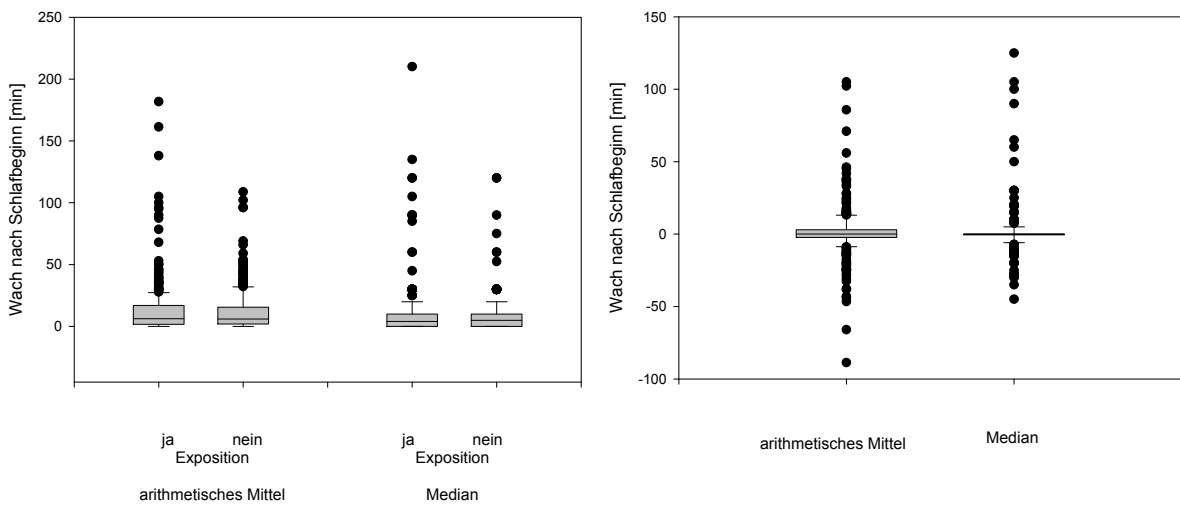


Abb. 107 Boxplots der Verteilungen der Wachzeit [min] nach Schlafbeginn in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer längeren Wachzeit nach Schlafbeginn unter der Expositionsbedingung.

Gesamtschlafzeit

Sowohl die Verteilung der Mediane als auch die der arithmetischen Mittel variiert unter beiden Expositionsbedingungen (Verum und Sham) um einen Wert von ca. 400 Minuten. Es lassen sich keine expositionsabhängigen Verteilungsunterschiede beobachten (Abb. 108; Tab. 35 und 36). Bei ausgeprägten individuellen Unterschieden zwischen den Expositionsbedingungen variieren die Werte sowohl für die arithmetischen Mittelwerte ($p = 0,3532$) als auch für die Mediane ($p = 0,3877$) nur zufällig um Null (Abb. 108, Tab. 37).

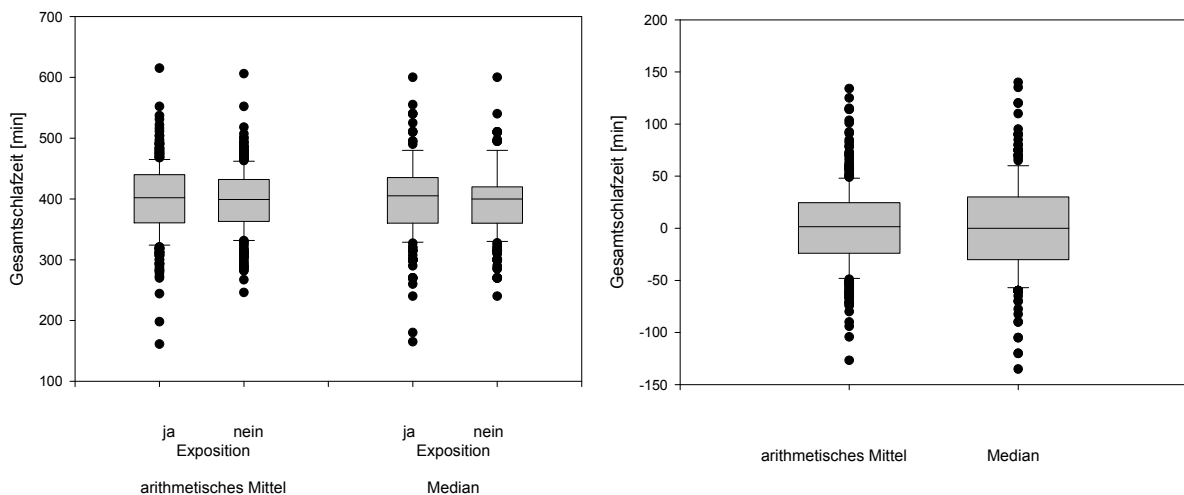


Abb. 108 Boxplots der Verteilungen der Gesamtschlafzeit [min] in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer höheren Gesamtschlafzeit unter der Expositionsbedingung.

Bettzeit (Zeit von „Licht aus“ bis „Licht an“)

Die Verteilung der Zeit, die im Bett verbracht wurde, um zu schlafen von „Licht aus“ bis „Licht an“ (=Time in Bed) ist in Abb. 109 und Tab. 35 und 36 für die arithmetischen Mittel und die Mediane der Individualwerte getrennt nach den Expositionsbedingungen dargestellt. Auch hier lassen sich keine expositionsabhängigen Unterschiede in der Verteilung beobachten. Dies wird durch eine Analyse der individuellen Differenzen zwischen den Expositionsbedingungen (Abb. 109; Tab. 37) bestätigt. Im Mittel weichen die individuellen Differenzen nicht signifikant von Null ab (arithmetische Mittel: $p = 0,1033$; Mediane: $p = 0,2906$).

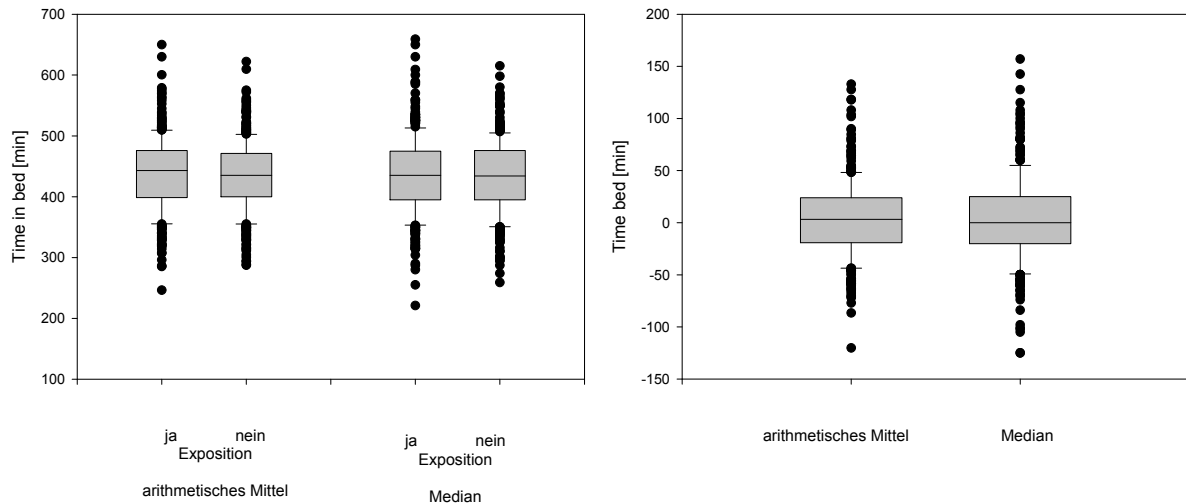


Abb. 109 Boxplots der Verteilungen der Time in Bed: „Licht aus“ bis „Licht an“ [min] in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer längeren Time in Bed unter der Expositionsbedingung.

Schlafeffizienz

Die Verteilung der Schlafeffizienz, die ausdrückt, wie viel Prozent der Zeit, die zum Schlafen im Bett verbracht wurde (Time in Bed, „Licht aus“ bis „Licht an“) auch wirklich geschlafen wurde (Gesamtschlafzeit), ist in Abb 110, Tab. 35, 36 und 37 dargestellt. Theoretisch bzw. für objektive Schlafdaten ist die Schlafeffizienz damit ein Index, der maximal den Wert 100 annehmen kann. Wie Abb. 110 erkennen lässt, nimmt die auf der Basis subjektiver Angaben berechnete Schlafeffizienz bei einer nicht unerheblichen Anzahl von Probanden einen Wert über 100% an. Dies bedeutet, dass die Probanden angeben, länger geschlafen zu haben, als sie überhaupt Zeit im Bett verbracht haben. Ein Erklärungsansatz für diese vermeintliche Diskrepanz findet sich in der Diskussion der Ergebnisse. Die individuellen Differenzen (Abb. 110, Tab. 37) der arithmetischen Mittel ($p = 0,9952$) und der Mediane ($p = 0,8376$) weichen nicht signifikant von Null ab.

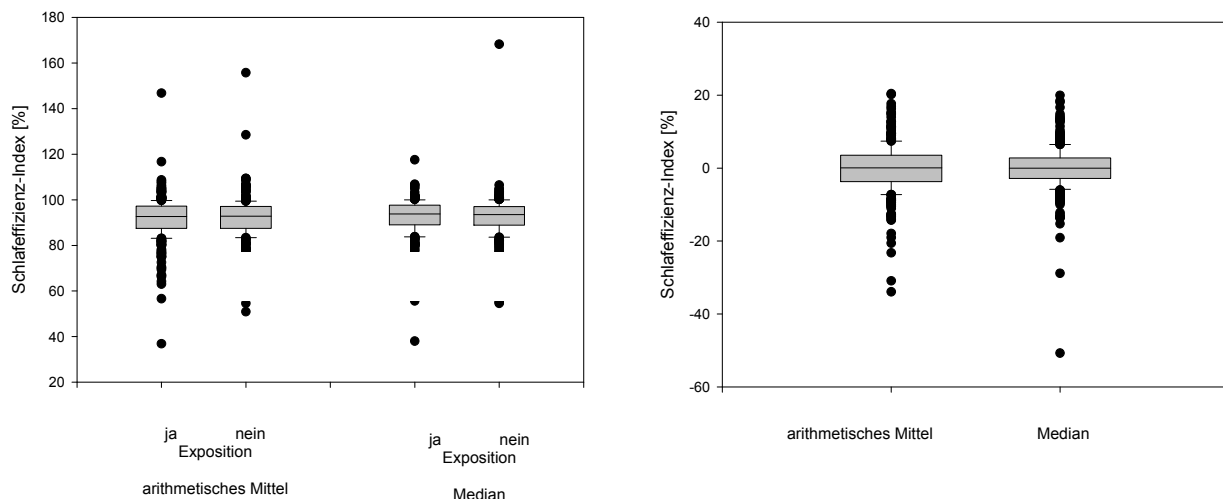


Abb. 110 Boxplots der Verteilungen der Schlafeffizienz-Index [%] in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer höheren Schlafeffizienz unter der Expositionsbedingung.

C 2.2.2 Ebene des Individuums: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf individueller Basis

Eine Überprüfung von Unterschieden in der Verteilung der subjektiven Schlafparameter in Abhängigkeit von der Exposition auf **individueller** Ebene hat für die in Tab. 38 merkmalspezifisch zusammengestellte Anzahl von Probanden zu einem statistisch signifikanten ($p < 0.05$) Ergebnis geführt.

Tab. 38 Anzahl von Probanden mit statistisch signifikanten Unterschieden (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0.05$) in den Merkmalsverteilungen zwischen Nächten mit und ohne Exposition: E: GSM-Expositionsbedingung, NE: Scheinexposition, %¹ = % der Gesamtstichprobe, %² = % der Probanden mit einem signifikanten Ergebnis.

Merkmal	Anzahl Probanden mit $p < 0.05$ im Mann-Whitney-U-Test					
	N		E besser NE		NE besser E	
	n	% ¹	n	% ²	n	% ²
Visuelle Analogskala „Erholsamkeit“	10	2,7	6	60,0	4	40,4
Einschlaf latenz (SOL)	12	3,3	7	58,3	5	41,7
Wach nach Schlafbeginn (WASO)	8	2,2	7	87,5	1	12,5
Gesamtschlafzeit (TST)	13	3,6	6	46,2	7	53,8
Bettzeit (TIB)	14	3,8	8	57,1	6	42,9
Schlafeffizienz-Index (TST / TIB)	14	3,8	9	64,3	5	35,7
Summe	71		42	59,2	29	40,8

Die Tabelle macht deutlich, dass bei den getesteten sechs Variablen zur Beschreibung der subjektiven Schlafqualität insgesamt 71 mal auf individueller Ebene signifikante Unterschiede zwischen den beiden Expositionsbedingungen zu beobachten waren. Zu den 71 signifikanten Ergebnissen tragen 57 Probanden aus allen 10 Studienstandorten (Anzahl 2 bis 9 pro Standort) bei, wobei 45 Probanden jeweils nur für eines der genannten Merkmale entsprechende Unterschiede aufweisen. 10 Probanden zeigen in zwei dieser Merkmale statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen und zwei Probanden weisen Unterschiede in drei Merkmalen auf.

Die Tabelle macht ferner deutlich, dass für keines der Merkmale, die bei multiplen Testen schon per Zufall zu erwartende Häufigkeit signifikanter Ergebnisse von 5% bei einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0.05$ überschritten wurde (Variation von 2,2 bis 3,8%).

Eine detaillierte Betrachtung der 10 statistisch signifikanten Ergebnisse ließ für die Erholbarkeit des Schlafs erkennen, dass sie unter Exposition in 60% der Fälle besser war als unter der Nicht-Expositionsbedingung. Die Einschlafzeit war unter Exposition bei 58,3% der 12 Probanden kürzer als unter Nicht-Exposition. Bei 87,5% der insgesamt 8 Probanden war der subjektive Wachanteil unter Exposition kürzer, bei 57,1 % von insgesamt 14 Probanden die Zeit zwischen „Licht aus“ und „Licht an“ länger und die aus den subjektiven Angaben berechnete Schlafeffizienz bei 64,3% von 14 Probanden besser. Insgesamt lässt sich also unter subjektivem Aspekt ein tendenziell besserer Schlaf unter Exposition beobachten. Die einzige Ausnahme stellt die Gesamtschlafzeit dar, die bei 53,8% von insgesamt 13 Probanden mit einem signifikanten Ergebnis auf individueller Ebene unter Exposition kürzer war.

Aufgrund der zu geringen Fallzahl erfolgt eine Bewertung möglicher Einflussfaktoren dieser Ergebnisse auf individueller Ebene und nicht auf statistischer Basis. Eine Übersicht der Probanden, welche eine signifikante Änderung in (mindestens) einem subjektiven Parameter aufwiesen, und die dazugehörigen Differenzen der Mittelwerte zwischen Verum- und Scheinexposition findet sich in Tab. A1 im Anhang für die subjektive Schlafqualität. Um eine größtmögliche Anonymität zu gewähren sind den nachfolgend beschriebenen Probanden Nummern zugeordnet, die chronologisch nach der Reihung der Variablen im Anhang vergeben wurden.

Bettzeit

Die Einflussgröße „Bettzeit“, also die Zeit im Bett von „Licht aus“ bis „Licht an“ verbracht wird, wird als unabhängig von der Exposition postuliert. Wann eine Person zu Bett geht bzw. aufsteht hängt im Wesentlichen von ihren Aktivitäten ab, die sie am Tage zuvor durchgeführt hat bzw. die sie für den nächsten Tag geplant hat. Falls sich ein Einfluss einer Exposition in einem erhöhten Schlafbedürfnis mit längerer Bettzeit oder gegenteilig in größerer nächtlicher Wachzeit niederschlägt, wird dieser Effekt in der Schlafeffizienz deutlicher sichtbar als in der Bettzeit. Dennoch muss die Bettzeit berücksichtigt werden, da sie als Referenzzeit zur Gesamtschlafzeit herangezogen wird und die daraus resultierende Schlafeffizienz entsprechend beeinflusst. 14 Personen zeigten unter Exposition

eine signifikante Veränderung in der Bettzeit, acht Personen eine längere (Pbd. 34, Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 39, Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42, Pbd. 43), sechs Personen (Pbd. 5, Pbd. 23, Pbd. 32, Pbd. 44, Pbd. 45, Pbd. 46) eine kürzere Dauer der im Bett verbrachten Zeit (siehe Tab. A1 im Anhang). Sechs dieser insgesamt 14 Personen zeigten keine zusätzlichen Veränderungen, die die Erholbarkeit, die Schlaffeffizienz oder einen weiteren der in Tabelle 38 angeführten Parameter betroffen hätten. Vier dieser sechs Personen (Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42, Pbd. 43) lagen während der Expositionsbedingungen länger im Bett, zwei kürzer (Pbd. 44, Pbd. 45). Von den Probanden, die in zwei Parametern signifikante Ergebnisse aufwiesen, war bei vier Personen (Pbd. 34, Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 39) in Expositions Nächten die mittlere Bettzeit und parallel dazu die Gesamtschlafzeit verlängert, bei einer Person (Pbd. 32) waren diese beiden Parameter signifikant kürzer als in den Scheinexpositions Nächten. Eine Person (Pbd. 23) verbrachte während der Expositions Nächten im Mittel weniger Zeit im Bett und hatte auch weniger Wachzeiten. Dabei zeigte sich, dass diese Person vor den Expositions Nächten an drei Tagen insgesamt 240 Minuten geschlafen hatte, vor Tagen ohne Exposition hingegen nur einmal 20 Minuten lang. Dies könnte ein Erklärung dafür sein, warum die Bettzeit während der Expositions Nächten reduziert war. Weiters fiel auf, dass diese Person in allen Scheinexpositions Nächten mindestens einen Grund für eine schlechtere Schlafqualität genannt hat, jedoch in keiner einzigen der Expositions Nächten. Dazu zählten in vier Nächten „Gang zur Toilette“, in zwei Nächten „innere Unruhe“ und in jeweils einer „Träume“ bzw. „Nicht Aufhören können zu denken“.

Bei zwei Personen (Pbd. 5, Pbd. 46) war gemeinsam mit einer geringeren Bettzeit eine höhere Schlaffeffizienz in den Expositions Nächten zu sehen, was von einer der beiden Personen auch subjektiv im Mittel signifikant besser in Bezug auf die Erholbarkeit bewertet wurde (Pbd. 5).

Erholbarkeit des Schlafes

Insgesamt bewerteten sechs Personen (Pbd. 1, Pbd. 2, Pbd. 3, Pbd. 4, Pbd. 5, Pbd. 6) die Erholbarkeit ihres Schlafes während der Expositions Nächten als signifikant besser, vier (Pbd. 7, Pbd. 8, Pbd. 9, Pbd. 10) hingegen signifikant schlechter. Bei fünf der sechs Probanden, die die Erholbarkeit besser bewerteten, unterschied sich kein weiterer Parameter zwischen den Schein- und Expositions Nächten (Pbd. 1, Pbd. 2, Pbd. 3, Pbd. 4, Pbd. 6). Bei genauerer Analyse der Daten aus den Morgen- und Abendprotokollen dieser fünf Probanden zeigten sich verschiedene Gründe, die während der Scheinexpositions Nächten für schlechteren Schlaf angegeben wurden wie z.B. störendes Aufnahmegerät, Beschäftigung mit Banalitäten (Pbd. 1), Schmerzen nach einer Zerrung (Pbd. 2), berufliche Probleme (Pbd. 3), Heuschnupfen und Aufwachen des Kindes (Pbd. 4), die während der Expositions Nächten nicht genannt wurden und in einem Fall Knieschmerzen (Pbd. 6), die medikamentös behandelt wurden. Bei den negativeren Bewertungen der Erholbarkeit in Expositions Nächten fanden sich folgende Gründe in den Abend- und Morgenprotokollen: Alkoholgenuss (Wein und Spiritouosen) vor vier Expositions Nächten im Gegensatz zu keinem Alkoholkonsum in den Scheinexpositions Nächten (Pbd. 7), häufigerer und größerer Alkoholkonsum vor Expositions Nächten als vor Scheinexpositions Nächten (vier vs. zwei Tage) (Pbd. 8), Schlaf am Abend vor vier Expositions Nächten (zwischen 60 und 240 Minuten Dauer) im Gegensatz zu einmal vor einer Scheinexpositionsnacht (Dauer 60 Minuten) und tendenziell dazu längere Einschlaf- und Wachphasen

in Expositions Nächten (Pbd. 9). Eine Person (Pbd. 10) bewertete die Erholbarkeit nach Expositions Nächten im Mittel gering signifikant schlechter ($p=0,037$) und die Gesamtschlafzeit war in den Expositions Nächten signifikant kürzer, die Schlafeffizienzen unterschieden sich allerdings nicht zwischen den Expositionsbedingungen. Die schlechteste Erholbarkeit wurde von dieser Person nach einer Expositionsnacht berichtet, in der „Wetterfühligkeit“ als Grund für eine schlechte Schlafqualität angegeben wurde.

Schlaflatenz

Die subjektive Schlaflatenz war bei sieben Personen (Pbd. 16, Pbd. 17, Pbd. 18, Pbd. 19, Pbd. 20, Pbd. 21, Pbd. 22) in den Expositions Nächten signifikant kürzer und bei fünf (Pbd. 11, Pbd. 12, Pbd. 13, Pbd. 14, Pbd. 15) länger. Nur drei der insgesamt 12 Personen zeigten neben einer veränderten Schlaflatenz auch signifikante Unterschiede in einem weiteren Parameter (Pbd. 17, Pbd. 19, Pbd. 20). Dies war bei allen drei Personen eine Kombination aus signifikant kürzeren Schlaflatenzen und signifikant weniger Wachzeiten nach Schlafbeginn in Expositions Nächten. Bei Analyse der Abend- und Morgenprotokolle fällt bei einer Person (Pbd. 17) ein wesentlich höherer Konsum koffeinhaltiger Getränke (Kaffee, Cola) und doppelt so langer Schlaf am Abend (insgesamt 180 min vs. 90 min) vor Nächten mit Scheinexposition auf. Weiters wurden von dieser Person in drei Scheinexpositions Nächten „Unruhe“ und in zwei „Schmerzen“ im Gegensatz zu einer einzigen Expositionsnacht, in der nur „Schmerzen“ angegeben wurden, vermerkt. Eine weitere Person (Pbd. 19) mit signifikant längeren Einschlafzeiten und längerer nächtlicher Wachzeit unter Scheinexposition gab in ihren Morgen- und Abendprotokollen bei den drei längsten Einschlafzeiten „Nicht Aufhören können zu denken“, „innere Unruhe“ und „große Problemlösung“ als Gründe für eine schlechte Schlafqualität an. In keiner einzigen Expositionsnacht traten diese Ursachen auf. Die dritte Person (Pbd. 20) mit reduzierten Einschlafzeiten, geringeren nächtlichen Wachzeiten und in der Folge signifikant besseren Schlafeffizienzen während der Expositions Nächte berichtete über „Beschäftigung mit Banalitäten“, die sie während einer Scheinexpositionsnacht am längsten wach bleiben ließ. Diese Person hielt auch vor allen fünf Scheinexpositions Nächten einen Mittagsschlaf mit einer Dauer zwischen 10 und 60 Minuten und nur an drei Tagen vor einer Expositionsnacht (Dauer 15-30 Minuten).

Einflüsse, die zu einer längeren Schlaflatenz unter Scheinexposition bei vier Probanden geführt haben könnten, da sie vor oder in den Expositions Nächten nicht oder nicht in derselben Häufigkeit auftraten, waren: bei drei Probanden (Pbd. 16, Pbd. 21, Pbd. 22) „Lärm“, bei einem „Schmerzen“ und „Beschäftigung mit Banalitäten“ (Pbd. 16), bei einem Probanden (Pbd. 18) „Dienst bei Feuerwehr“ und mehr Tagschlaf vor Scheinexpositions Nächten (150 Minuten an zwei Scheinexpositionstagen vs. 30 Minuten vor einer Expositionsnacht) und zusätzlich geäußert von Pbd. 22 „Krämpfe in Waden“, „seelische Belastung“ und „nicht Aufhören können zu denken“. Längere Einschlafzeiten in Expositions Nächten wurden von insgesamt fünf Personen (Pbd. 11, Pbd. 12, Pbd. 13, Pbd. 14, Pbd. 15) angegeben, wobei keine einzige dieser Personen eine Veränderung in den anderen Parametern zur Beschreibung der Schlafqualität aufwies. Als Einflussfaktoren sind folgende zu nennen: „Beschäftigung mit Banalitäten“ und „innere Unruhe“ (Pbd. 11), mehr Tagschlaf vor Expositions Nächten (Pbd. 12), „berufliche Probleme“ und „Schmerzen“ vor Expositions Nächten (Pbd.

13), „geistige Belastung“ und „innere Unruhe“, sowie unterschiedliche Medikamenteneinnahme (L-Thyroxin) vor 4 Expositionsnächten im Gegensatz zu einer nur einmaligen Einnahme vor einer Scheinexpositionsnacht (Pbd. 14), bzw. Einnahme von Medikamenten zur Behandlung einer Herzinsuffizienz an zwei Tagen vor einer Scheinexpositionsnacht mit nachfolgendem Absetzen der Medikamente, aber Einnahme an vier Tagen vor einer Expositionsnacht (Pbd. 15).

Wach nach Schlafbeginn

Der Parameter „Wach nach Schlafbeginn“ war in den Expositionsnächten bei sieben Probanden (Pbd. 17, Pbd. 19, Pbd. 20, Pbd. 23, Pbd. 24, Pbd. 25, Pbd. 26) kürzer und nur bei einer Person länger (Pbd. 27). Bei drei Probanden (Pbd. 17, Pbd. 19, Pbd. 20) trat die geringere Wachzeit gemeinsam mit einer kürzeren Schlaflatenz auf, mögliche Gründe dafür führten zu vergleichsweise schlechterer Schlafqualität in Scheinexpositions Nächten und wurden zuvor bereits beschrieben. Auch die Zusammenhänge einer geringeren Wachzeit kombiniert mit einer kürzeren Bettzeit eines Probanden (Pbd. 23) wurden bereits zuvor geschildert.

Ein Proband (Pbd. 24) mit einem erhöhten Body Mass Index von 39 (entspricht Fettsucht), dessen nächtliche subjektive Wachzeiten sowohl im Median als auch im Mittelwert in den Expositionsnächten 5 Minuten kürzer waren als in den Scheinexpositions Nächten, wurde im LISST eindeutig der Kategorie „Schlafbezogene Atmungsstörungen“ zugeordnet und zeigte ein erhöhtes Tagschlafbedürfnis (Mittagsschlaf an 10 von 12 Untersuchungstagen) mit einer durchschnittlichen Dauer von 64 Minuten (30 bis 150 Minuten). Auch in der Epworth Schläfrigkeitsskala war der Gesamtwert zur Erfassung der Einschlafneigung am Tage erhöht. Es wurden von dieser Person lediglich für eine Expositionsnacht „körperliche Missempfindungen“ als Ursache für eine schlechtere Schlafqualität in den Abend- und Morgenprotokollen angegeben, dennoch wurden alle Nächte als in der Schlafqualität vergleichbar wie in den Wochen zuvor eingestuft. Eine weitere Person (Pbd. 25), die in den Expositionsnächten im Mittel um 7 Minuten weniger lange wach war, gab bei unbeeinträchtigter Schlafeffizienz in einer Nacht unter Scheinexposition „Schwitzen“ als Ursache schlechter Schlafqualität an, in zwei weiteren Scheinexpositions Nächten konnte sie keinen Grund für subjektiv schlechten Schlaf nennen, bewertete die Wachzeit während dieser Nächte aber als „normal“. „Lärm“ und „Aufstehen, um die Heizung auszumachen“ wurden von einem Studienteilnehmer (Pbd. 26) als Ursachen für schlechteren Schlaf in drei der fünf Scheinexpositions Nächten angegeben. Auch in diesem Fall unterschied sich die Wachzeit zwischen den zwei Bedingungen im Mittelwert nur sehr gering, nämlich um 6,2 Minuten. Die einzige Person (Pbd. 27), die in den Expositionsnächten eine längere Wachdauer in Minuten aufwies (Mittelwert: 12,6 vs. 8,0 Minuten), wertete die Wachzeiten sämtlicher 12 Nächte als „normal“ und auch die Schlafeffizienzen unterschieden sich nicht signifikant. Entsprechend wurde auch in keiner Nacht eine beeinträchtigte Schlafqualität angegeben.

Gesamtschlafzeit

Die subjektive Gesamtschlafzeit war bei insgesamt sechs Personen (Pbd. 34, Pbd. 35, Pbd. 36, Pbd. 37, Pbd. 38, Pbd. 39) während der Expositionsnächte größer und variierte bei vier dieser sechs Probanden parallel zur Bettzeit (siehe oben Pbd. 34, Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 39), bei den zwei anderen

(Pbd. 36, Pbd. 37) ergab eine Analyse der Abend- und Morgenprotokolle, dass der Schlaf eines Probanden (Pbd. 36) in allen vier Scheinexpositions Nächten (eine wurde vom Probanden wegen einer Reise ausgelassen) durch das Kind (dreimal) oder durch Schwitzen wegen Hitze (einmal) gestört wurde, hingegen nur in zwei der fünf Expositions Nächten. Bei dem zweiten Probanden (Pbd. 37) war die Bettzeit tendenziell ($p=0,060$) in Expositions Nächten länger und der Proband klagte in keiner einzigen Nacht über eine Beeinträchtigung der Schlafqualität und beurteilte den Schlaf von vier Scheinexpositions Nächten und fünf Expositions Nächten im Vergleich zu den letzten Wochen als gleich gut und eine Scheinexpositions Nacht als besser.

Bei insgesamt sieben Probanden (Pbd. 10, Pbd. 28, Pbd. 29, Pbd. 30, Pbd. 31, Pbd. 32, Pbd. 33) war die subjektive Gesamtschlafzeit in den Expositions Nächten kürzer als in den Nächten ohne Exposition. Während bei einem Probanden eine kürzere Gesamtschlafzeit in Expositions Nächten mit einer kürzeren Bettzeit zusammen auftrat (Pbd. 32), müssen bei sechs Studienteilnehmern andere Gründe für eine geringere Gesamtschlafzeit in den Expositions Nächten berücksichtigt werden: Für einen Probanden (Pbd. 28) standen nur drei Expositions Nächten für eine Auswertung zur Verfügung, da er während zwei weiterer Expositions Nächten aufgrund einer auswärtigen Tagung nicht teilnehmen konnte. Auffallend bei diesem Probanden ist, dass in jeweils zwei Nächten pro Expositionsbedingung ein nicht „Aufhören können zu denken“ als Grund für eine Beeinträchtigung der Schlafqualität angegeben wurde. In zwei der Expositions Nächten fühlte sich der Proband zusätzlich durch das ambulante Registriergerät gestört, in der dritten zur Verfügung stehenden Expositions Nacht durch einen nächtlichen Telefonanruf. Diese Störungen des Schlafs traten in keiner der Scheinexpositions Nächten auf. Bei einem Studienteilnehmer (Pbd. 29), bei dem die Gesamtschlafzeiten aufgrund unvollständiger Angaben von nur vier Expositions Nächten mit fünf Scheinexpositions Nächten verglichen werden konnten, war die subjektive Gesamtschlafzeit in den Expositions Nächten knapp signifikant kürzer ($p=0,044$). Die Schlafqualität wurde in sämtlichen Nächten als beeinträchtigt erlebt, wobei in drei Scheinexpositions- und vier Expositions Nächten der Gang auf die Toilette als Ursache genannt wurde, in einer Expositions Nacht „innere Unruhe“ und in vier Scheinexpositions- und drei Expositions Nächten als Grund „weiß nicht“ angekreuzt wurde. Ein Proband (Pbd. 30), der unter Exposition im Mittel weniger lange schlief, gab für eine Expositions Nacht „Lärm“ als Ursache schlechter Schlafqualität an, alle anderen Nächte waren subjektiv unbeeinträchtigt. Bei dieser Person unterschieden sich weder die Wachzeiten noch die Schlaffeffizienzen zwischen den Expositionsbedingungen. Die drei Nächte mit der kürzesten Schlafdauer waren auch die Nächte mit der kürzesten Bettzeit und traten jeweils während einer Expositionsbedingung auf. Die Schlaffeffizienzen und nächtlichen Wachzeiten waren bei einer Person (Pbd. 31) ebenfalls unverändert im Gegensatz zur subjektiven Gesamtschlafzeit. Diese war in den Expositions Nächten im Mittel geringer. In den zwei Nächten mit der geringsten Gesamtschlafzeit hatte diese Person am Nachmittag zuvor einen Mittagsschlaf gehalten, was als mögliche Ursache für die kürzeren Gesamtschlafzeiten bedacht werden muss. Auch bei einer weiteren Person (Pbd. 33) mit geringerer Gesamtschlafzeit in den Expositions Nächten fand sich ein Unterschied in der Häufigkeit der Mittagsschlafchen, die vor jeder Expositions Nacht, aber nur vor vier Scheinexpositions Nächten abgehalten wurden. In den Morgen- und Abendprotokollen wurde täglich Alkoholkonsum vermerkt, der sich aber in der Menge

zwischen den Expositionsbedingungen nicht unterschied. Es fanden sich keine Anhaltspunkte für eine Beeinträchtigung des Schlafs, auch die Schlafeffizienzen und nächtlichen Wachzeiten waren nicht signifikant verschieden. Mögliche Einflüsse für eine geringere subjektive Gesamtschlafzeit für Proband 10 wurden bereits zuvor geschildert.

Schlafeffizienz

Der primäre Zielparameter „subjektive Schlafeffizienz“ zeigte bei insgesamt 14 Studienteilnehmern eine signifikante Veränderung, neun (Pbd. 5, Pbd. 20, Pbd. 46, Pbd. 47, Pbd. 48, Pbd. 49, Pbd. 50, Pbd. 51, Pbd. 52) davon wiesen in den Expositions Nächten eine höhere Schlafeffizienz auf, fünf (Pbd. 53, Pbd. 54, Pbd. 55, Pbd. 56, Pbd. 57) eine geringere. Von den neun waren bei zwei (Pbd. 46, Pbd. 5), wie zuvor berichtet, geringere Bettzeiten mit einer höheren Schlafeffizienz verbunden. Bei einem weiteren (Pbd. 20) waren im Vergleich zu den Scheinexpositions Nächten neben einer höheren Schlafeffizienz auch die Wachzeiten und Einschlafzeiten verkürzt. Dieser Fall wurde bereits zuvor geschildert.

Damit bleiben sechs Probanden, deren Schlafeffizienz als einziger Parameter unter Exposition besser war als in den Scheinexpositions Nächten. Ein Studienteilnehmer (Pbd. 47), für den nur von vier Expositions Nächten vollständige Angaben zur Berechnung der Schlafeffizienz vorhanden waren, gab an, vor zwei Scheinexpositions Nächten im Gegensatz zu keiner einzigen Expositionsnacht Alkohol konsumiert zu haben. Für eine dieser beiden Nächte gab er auch eine schlechte Schlafqualität ohne Angabe von Gründen an. Die subjektive Gesamtschlafzeit war in dieser Nacht am geringsten. Alle anderen Nächte wurden als gleich wie in den Wochen zuvor bewertet. Ein Studienteilnehmer (Pbd. 48), dessen Mittelwerte sich in der Schlafeffizienz um nur 2,7% zwischen den Expositions- und Scheinexpositions Nächten unterschieden (98,7% vs. 96,0%) und dessen Schlafqualität in sämtlichen Nächten als nicht beeinträchtigt beurteilt wurde, hielt vor der Nacht mit der geringsten Schlafeffizienz (=88,5%) um 22:00 Uhr ein 180 Minuten dauerndes Nickerchen und ging um 2:30 endgültig zu Bett. In dieser Scheinexpositionsnacht betrug die Schlaflatenz 30 Minuten im Gegensatz zu 5 bis maximal 15 Minuten in allen anderen Nächten. Ein Proband (Pbd. 49) hatte in zwei von fünf Scheinexpositions Nächten eine Erkältung, die mit einer reduzierten subjektiven Schlafeffizienz einherging. In zwei Scheinexpositions Nächten wurde von dieser Person „innere Unruhe“ als Ursache für schlechteren Schlaf angegeben. Ein knapp signifikanter Unterschied in der Schlafeffizienz zwischen den Expositions- und den Scheinexpositions Nächten (97,2% vs. 93,7%; $p=0.047$) beruhte bei einem weiteren Probanden (Pbd. 50) ebenfalls auf einer einmalig verlängerten subjektiven Schlaflatenz von 30 Minuten sowie „Schmerzen“ im Gegensatz zu 5 bis 15 Minuten dauernden Latenzen in allen anderen Nächten und fehlenden Beschwerden in den Expositions Nächten. Ein Proband (Pbd. 51) mit einer geringeren Schlafeffizienz in Scheinexpositions Nächten gab in zwei Nächten „innere Unruhe“ als Ursache für eine schlechte Schlafqualität an, jedoch in keiner einzigen Expositionsnacht. Aus den Abend- und Morgenprotokollen eines Studienteilnehmers (Pbd. 52) waren keine Gründe ersichtlich, die die höheren Schlafeffizienzen in den Expositions Nächten erklärt hätten bis auf die Tatsache, dass nur für vier Expositions Nächten vollständige Angaben im Gegensatz zu fünf Scheinexpositions Nächten vorlagen.

Eine schlechtere Schlafeffizienz bei fünf Probanden in den exponierten Nächten war mit folgenden Auffälligkeiten in den Abend- und Morgenprotokollen verknüpft: bei einem Probanden (Pbd. 53) war die geringste Schlafeffizienz in einer Expositionsnacht mit einem vorausgegangenen Tagschlaf von 270 Minuten Dauer verbunden und es lagen nur für vier Scheinexpositionsnächte vollständige Angaben vor. Eine Person (Pbd. 54) gab für drei Expositionsnächte als Ursache einer schlechten Schlafqualität „Schmerzen“ im Gegensatz zu keinen Schmerzen in Nächten ohne Exposition an. Diese drei Nächte wiesen die niedrigste Schlafeffizienz auf. Ein Proband (Pbd. 55) hatte die geringste subjektive Schlafeffizienz nachdem er nach eigener Einschätzung am Vortag viel Alkohol konsumiert hatte. Diese Nacht war eine Expositionsnacht, für eine weitere Expositionsnacht gab dieser Proband an, aufgrund von Schmerzen schlecht geschlafen zu haben. Diese Vorkommnisse wurden nur von Expositions Nächten berichtet, von denen darüber hinaus aufgrund unvollständiger Angaben nur vier Nächte zur Auswertung vorlagen. Eine Person (Pbd. 56) hatte laut eigenen Angaben während drei Scheinexpositions Nächten Wachzeiten zwischen fünf und 15 Minuten und für diese drei Nächte alle Schlaf latenzen mit 10 Minuten angegeben, dennoch wurde die Gesamtschlafzeit höher angegeben als die Bettzeit. Da dies ausschließlich diese drei Nächte betrifft, für die im Morgen- und Abendprotokoll ein jeweils 60 Minuten langer Mittagsschlaf eingetragen wurde, ist zu vermuten, dass dieser Schlaf zur subjektiven Gesamtschlafzeit hinzugerechnet wurde. Dementsprechend hoch sind die Schlafeffizienzen dieser Nächte, die zwischen 101 und 103% liegen. Da nur vor einer einzigen Expositionsnacht ein Mittagsschlaf mit einer Dauer von 60 Minuten durchgeführt wurde und die Gesamtschlafzeit geringer überschätzt wurde, kann nicht von einem eindeutig systematischen Fehler ausgegangen werden.

Für Pbd. 57 lassen sich aufgrund der Morgen- und Abendprotokolle keine Ursachen für eine geringere Schlafeffizienz unter Exposition erkennen.

Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass für insgesamt 50 Personen sehr deutliche Hinweise in den Morgen- und Abendprotokollen zu finden waren, die die untersuchten subjektiven Parameter in die eine oder andere Richtung beeinflussten. Nur bei sieben Probanden waren keine eindeutigen Einflussfaktoren aus den Abend- und Morgenprotokollen ersichtlich. Die Richtung der Veränderungen unter Exposition war allerdings widersprüchlich:

Bei der Analyse der Wachzeiten konnte für eine Person eine Abnahme der nächtlichen Wachzeiten unter Exposition (Pbd. 24) und im Gegensatz dazu bei einer anderen eine Zunahme unter Exposition (Pbd. 27) anhand der Abend- und Morgenprotokolle nicht eindeutig geklärt werden. Für die subjektive Gesamtschlafzeit lieferten die Angaben der Protokolle auch jeweils für eine Person für eine Zunahme unter Exposition (Pbd. 37) und eine mit einer Abnahme der Gesamtschlafzeit (Pbd. 29) keine eindeutigen Hinweise. Der Hauptparameter „subjektive Schlafeffizienz“ war unter Exposition bei einem Probanden signifikant höher (Pbd. 52) und bei zwei Teilnehmern geringer (Pbd. 56, Pbd. 57) als unter

Scheinexposition, ohne dass in den Protokollen dieser Probanden eindeutige Einflussfaktoren festgestellt werden konnten. Für Proband 52 stellte sich allerdings bei der Analyse der objektiven Messung der Schlafqualität heraus, dass der Einflussfaktor „Bettzeit“ in Expositions Nächten signifikant kürzer war. Dieses Ergebnis wird nachfolgend diskutiert (Kap. C 3.2.2).

Auffallend war, dass fünf der sieben Probanden übergewichtig waren und einer adipös, davon wurde eine Person (Pbd. 24) im LISST der Kategorie „Schlafbezogene Atmungsstörungen“ zugeordnet, vier weitere Personen gaben im LISST häufiges Schnarchen oder Schnarchen in Rückenlage an, ohne dass daraus allerdings eine erhöhte Tagesschläfrigkeit in der Epworth Schläfrigkeitsskala oder eine Schlafbezogene Atmungsstörung im LISST resultierte.

Werden auf Gruppen-Basis hingegen die individuellen arithmetischen Mittel und Mediane herangezogen, zeigt sich weder für den primären noch für die sekundären Parameter zur Erfassung der subjektiven Schlafqualität ein signifikanter Unterschied zwischen der Expositions- und der Sham-Bedingung.

C 3 Objektive Schlafqualität

C 3.1 Drop out Analyse der Schlaf-EEG Daten

Von ursprünglich 376 Probanden mussten 11 aufgrund einer zu großen Wohndistanz vom Sendemast (>500 m) ausgeschlossen werden. Auf objektive Daten von sieben weiteren Personen musste verzichtet werden, da sie wegen einer begrenzten Anzahl von zur Verfügung stehenden Geräten mit einem anderen System (Quisi) abgeleitet werden mussten (vgl. dazu B 5.3.2). Dazu zählten aber auch Personen, die ursprünglich mit dem Somnomedics Gerät abgeleitet wurden, aber aufgrund wiederholter Schwierigkeiten mit der Handhabung des Geräts zu Quisi wechselten. Nach Durchsicht und Kontrolle der verbliebenen 358 Probanden mussten die Daten von insgesamt 23 Personen komplett ausgeschlossen werden, da für diese Probanden weniger als die Hälfte (minus Nacht 1 und Nacht 7), d.h. fünf Aufnahmen mit ausreichender Datenqualität vorlagen. Neben einer unzureichenden Aufnahmequalität, Fehlbedienungen des Geräts bzw. Ablösen von Elektroden zählten auch ausgelassene Nächte aufgrund von Krankheit oder Urlaub zu den Gründen für das Fehlen einzelner Nächte.

In der nachfolgenden Tabelle 39 findet sich eine Übersicht über die Häufigkeiten und Ursachen von Dropouts für die in der Auswertung verbliebenen 335 Probanden pro Nacht, ohne Rücksicht auf die Expositionssituation, da die Qualitätskontrolle vor der Entblindung durchgeführt wurde.

Tab. 39 Übersicht der ausgefallenen bzw. ausgeschlossenen EEG-Schlaf-Daten für alle 12 Nächte (N=Nacht)

	Ausgelassen	Fehler	Ungenügende Qualität	gesamt	%
N1	18	23	35	76	22,7
N2	4	12	15	31	9,3
N3	4	8	8	20	6,0
N4	2	14	2	18	5,4
N5	2	7	4	13	3,9
N6	7	17	4	28	8,4
N7	5	12	6	23	6,9
N8	3	9	8	20	6,0
N9	4	8	3	15	4,5
N10	3	7	2	12	3,6
N11	6	8	5	19	5,7
N12	7	9	7	23	6,9
gesamt	65	134	99	298	7,4

C 3.2 Unterschiede in der objektiven Schlafqualität zwischen Nächten mit und ohne Exposition

Die Analyse eines möglichen Expositionseffekts erfolgte wie bei den objektiven Parametern auf zwei Ebenen. Zum einen wurde unter Ausschluss der Adaptationsnächte (Nacht 1 und Nacht 7) für jeden Probanden pro Expositionsbedingung sowohl ein arithmetisches Mittel als auch ein Median als robustes Maß für die Schlafqualität ermittelt. Die Verteilung der individuellen Differenzen zwischen den berechneten Parametern wurde auf eine signifikante Abweichung in der zentralen Tendenz von Null überprüft. Zum anderen wurden die Unterschiede in den Parametern, die zur Beschreibung der objektiven Schlafqualität herangezogen wurden, auf individueller Ebene einem Test auf signifikante Unterschiede unterzogen.

Als Zielparame-ter wurden der Schlafeffizienzindex (SEI), die Bettzeit (TIB), die Gesamtschlafzeit (TST), die Einschlaf latenzen zum Stadium NREM1 (zwei Epochen NREM1, SOL1) und zum Stadium NREM2 (SOL2) sowie die Wachzeit in Minuten und in % der TIB herangezogen.

Der Auswertung der objektiven Schlafqualität liegen Daten von insgesamt 335 Individuen zugrunde. Die Gründe für die Reduktion der Stichprobe um $n=30$ im Vergleich zur Auswertung der subjektiven Daten sind in Kap. C 3.1 ausführlich dargelegt.

Für die Berechnung der individuellen arithmetischen Mittel und Mediane standen ausreichend Nächte mit und ohne Exposition zur Verfügung. Für $n = 204$ Individuen (60,9%) standen je Expositionsbedingung fünf Nächte zur Auswertung zur Verfügung. Für 90,7 % der Stichprobe lagen pro Expositionsbedingung mindestens vier Nächte vor, die in der Analyse berücksichtigt werden konnten. Die Zahl der Individuen, in denen für eine (der beiden oder beide) Expositionsbedingung weniger als drei Nächte zur Verfügung standen betrug weniger als 0,1%.

C 3.2.1 Ebene der Gruppe: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf der Basis individueller Mittelwerte

Schlafeffizienz

Die Schlafeffizienz, die sich als Quotient aus der Gesamtschlafzeit und der Bettzeit errechnet, liegt im Mittel zwischen 92 und 93% (Abb. 110, Tab. 40, 41) und ist damit vergleichsweise gut. Der Schiefe der Verteilung ist jedoch zu entnehmen, dass es in der Stichprobe auch eine ganze Reihe von Probanden mit schlechterer Schlafeffizienz gibt, die in Einzelfällen auf um die 75% sinken kann. Insgesamt zeigt sich in der Bevölkerung sowohl bei Berücksichtigung der aus den Daten berechneten individuellen arithmetischen Mittelwerten als auch der Mediane eine erhebliche individuelle Variabilität. Die Verteilung der individuellen Differenzen variiert aber dennoch sowohl für die Differenzen zwischen den arithmetischen Mitteln ($p = 0,6347$) als auch zwischen den Medianen ($p = 0,3755$) zufällig um Null (Abb. 110 und Tab. 42).

Tab. 40 Deskriptive Statistiken der Objektiven Schlafqualität unter Exposition
 Pr > D: Irrtumswahrscheinlichkeit des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung

Variable:	N	Mean	SD	Pr > D	Max	P75	Median	P25	Min
Basis individuelle arithmetische Mittel									
Schlafeffizienz-Index [%]	335	92,21	3,6	0,0997	<0,0100	98,2	94,8	93,0	90,1
Time in Bed [min]	335	430,95	54,4	0,0528	0,0224	561,9	468,2	435,5	394,0
Gesamtschlafzeit [min]	335	397,19	50,4	0,0686	<0,0100	533,3	434,4	401,3	362,6
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	335	12,15	8,3	0,1550	<0,0100	47,5	16,1	9,6	6,6
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	335	13,46	8,4	0,1275	<0,0100	49,0	17,2	11,5	7,9
Wach nach Schlafbeginn [min]	335	26,86	15,3	0,1083	<0,0100	106,5	34,0	23,0	15,6
Wach nach Schlafbeginn [%]	335	6,21	3,4	0,1058	<0,0100	23,2	8,0	5,4	3,8
Basis individuelle Mediane									
Schlafeffizienz-Index [%]	335	92,49	3,7	0,0990	<0,0100	98,4	95,1	93,2	90,6
Time in Bed [min]	335	431,02	58,1	0,0546	0,0162	595,9	469,1	435,4	393,6
Gesamtschlafzeit [min]	335	397,30	53,8	0,0477	0,0635	573,0	432,5	402,5	360,0
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	335	10,99	7,8	0,1572	<0,0100	48,1	14,2	8,5	5,8
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	335	12,42	7,9	0,1092	<0,0100	48,6	15,7	10,6	6,5
Wach nach Schlafbeginn [min]	335	25,63	15,3	0,1114	<0,0100	100,3	32,9	22,4	14,1
Wach nach Schlafbeginn [%]	335	5,93	3,4	0,1125	<0,0100	24,8	7,6	5,1	3,5

Tab. 41 Deskriptive Statistiken der Objektiven Schlafqualität unter Schein-Exposition

Pr > D: Irrtumswahrscheinlichkeit des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung

Variable:	N	Mean	SD	Pr > D	Max	P75	Median	P25	Min
Basis individuelle arithmetische Mittel									
Schlafeffizienz-Index [%]	335	92,26	3,6	0,1051	<0,0100	97,8	94,8	93,0	90,7
Time in Bed [min]	335	427,57	52,7	0,0530	0,0218	552,2	466,5	432,3	392,5
Gesamtschlafzeit [min]	335	394,48	48,8	0,0582	<0,0100	506,9	428,5	397,0	363,3
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	335	12,56	9,0	0,1486	<0,0100	59,5	15,7	10,2	6,8
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	335	13,76	8,9	0,1360	<0,0100	61,4	17,0	11,5	7,5
Wach nach Schlafbeginn [min]	335	26,17	15,3	0,1180	<0,0100	108,7	32,6	22,4	15,9
Wach nach Schlafbeginn [%]	335	6,14	3,4	0,1257	<0,0100	22,9	7,8	5,3	3,8
Basis individuelle Mediane									
Schlafeffizienz-Index [%]	335	92,59	3,6	0,1312	<0,0100	98,1	95,1	93,6	90,8
Time in Bed [min]	335	428,21	56,4	0,0470	0,0720	540,9	471,6	432,3	388,7
Gesamtschlafzeit [min]	335	394,97	51,8	0,0366	>0,1500	516,5	433,5	397,5	357,5
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	335	11,32	8,5	0,1366	<0,0100	58,9	14,4	9,0	5,7
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	335	12,62	8,4	0,1352	<0,0100	59,2	16,1	10,5	6,7
Wach nach Schlafbeginn [min]	335	24,92	15,3	0,1277	<0,0100	111,0	30,9	20,9	14,7
Wach nach Schlafbeginn [%]	335	5,78	3,4	0,1477	<0,0100	24,3	7,1	5,0	3,6

Tab. 42 Objektiven Schlafqualität: Differenzen zwischen Exposition und Scheinexposition

$p > |t|$: Irrtumswahrscheinlichkeit des gepaarten t-Tests

$p \geq |S|$: Irrtumswahrscheinlichkeit des Vorzeichenrangtests nach Wilcoxon

$Pr > D$: Irrtumswahrscheinlichkeit des Kolmogorov-Smirnov-Tests zur Überprüfung der Normalverteilung

Variable:	N	Mean	SD	$p > t $	$p \geq S $	$Pr > D$	Max	P75	Median	P25	Min
Basis individuelle arithmetische Mittel											
Schlafeffizienz-Index [%]	335	-0,05	2,2	0,6570	0,6347	<0,0100	16,2	1,1	-0,1	-1,2	-8,3
Time in Bed [min]	335	3,38	35,6	0,0834	0,0678	>0,1500	125,4	25,7	2,3	-18,5	-124,9
Gesamtschlafzeit [min]	335	2,71	35,0	0,1575	0,1087	0,1331	122,5	25,1	4,4	-18,8	-125,5
Einschlaf latenz Stadium 1 [min]	335	-0,41	5,8	0,1898	0,3288	<0,0100	20,0	2,6	-0,1	-3,0	-31,4
Einschlaf latenz Stadium 2 [min]	335	-0,31	5,6	0,3177	0,3444	<0,0100	17,6	2,7	-0,1	-3,2	-33,5
Wach nach Schlafbeginn [min]	335	0,68	8,6	0,1471	0,1952	<0,0100	30,1	5,1	0,5	-3,7	-35,6
Wach nach Schlafbeginn [%]	335	0,07	2,2	0,5487	0,4152	<0,0100	7,7	1,1	0,1	-1,0	-16,7
Basis individuelle Mediane											
Schlafeffizienz-Index [%]	335	-0,10	2,1	0,3755	0,3867	0,0108	8,0	1,1	0,0	-1,4	-6,7
Time in Bed [min]	335	2,81	41,1	0,2113	0,4914	<0,0100	149,7	22,3	0,1	-21,4	-113,6
Gesamtschlafzeit [min]	335	2,33	41,2	0,3016	0,4205	0,0224	152,5	24,8	0,5	-20,3	-121,8
Einschlaf latenz Stadium 1 [min]	335	-0,33	5,8	0,2996	0,2702	<0,0100	23,9	2,4	-0,3	-3,2	-35,4
Einschlaf latenz Stadium 2 [min]	335	-0,20	5,6	0,5028	0,4659	<0,0100	23,7	2,9	-0,2	-3,0	-34,6
Wach nach Schlafbeginn [min]	335	0,71	9,2	0,1607	0,3646	<0,0100	43,4	5,7	0,2	-4,1	-33,3
Wach nach Schlafbeginn [%]	335	0,15	2,1	0,1896	0,2385	<0,0100	7,5	1,3	0,1	-1,0	-7,3

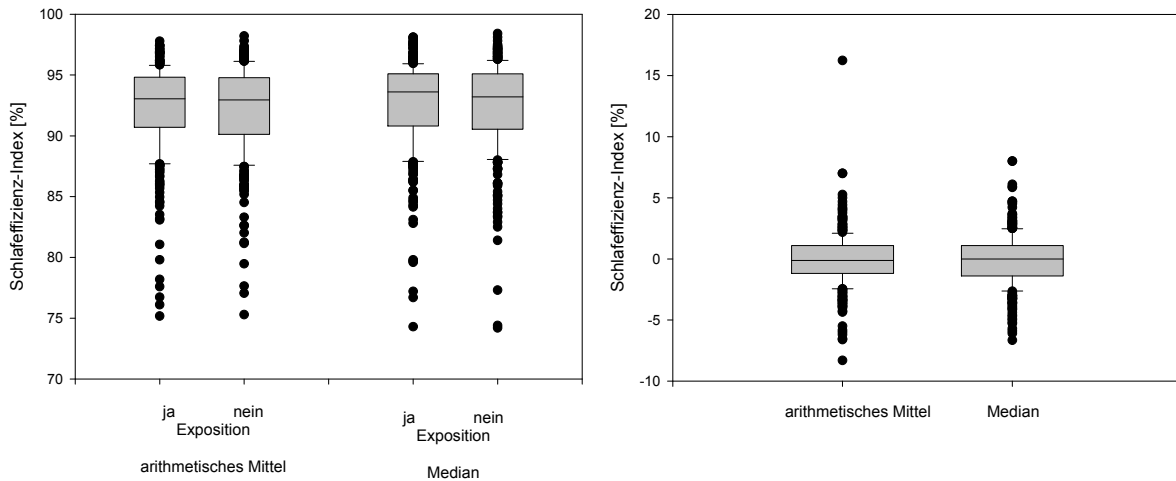


Abb. 110: Boxplots der Verteilungen des Schlafeffizienz-Index [%] in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer höheren Schlafeffizienz unter der Expositionsbedingung.

Time in Bed (Zeit von „Licht aus“ bis „Licht an“)

Die Verteilung der Zeit, die im Bett verbracht wurde, um zu schlafen von „Licht aus“ bis „Licht an“ (Time in Bed) ist in Abbildung 111 und in den Tabellen 40 und 41 für die arithmetischen Mittel und die Mediane der Individualwerte getrennt nach den Expositionsbedingungen dargestellt. Auch hier lassen sich keine expositionsabhängigen Unterschiede in der Verteilung beobachten. Dies wird durch eine Analyse der individuellen Differenzen zwischen den Expositionsbedingungen (Abb. 111 und Tab. 42) bestätigt. Im Mittel weichen die individuellen Differenzen nicht signifikant von Null ab (arithmetische Mittel: $p = 0,0834$; Mediane: $p = 0,4914$).

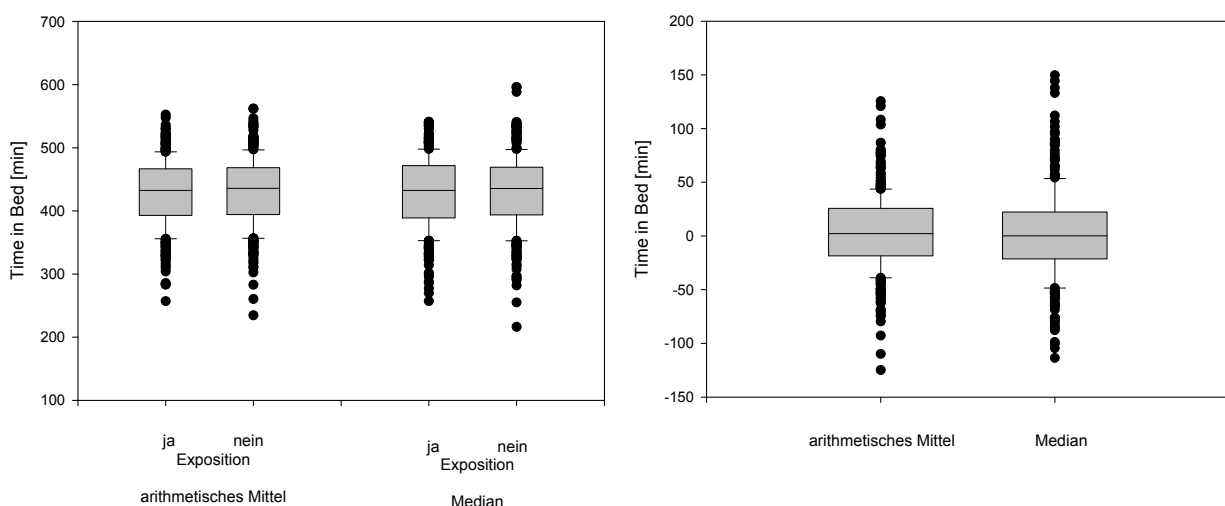


Abb. 111 Boxplots der Verteilungen der Time in Bed: „Licht aus“ bis „Licht an“ [min] in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer längeren Time in Bed unter der Expositionsbedingung.

Gesamtschlafzeit

Wie schon die subjektiven Angaben zur Gesamtschlafzeit variieren sowohl die Verteilung der Mediane als auch die der arithmetischen Mittel unter beiden Expositionsbedingungen (Verum und Sham) um einen Wert von ca. 395-400 Minuten. Es lassen sich keine expositionsabhängigen Verteilungsunterschiede beobachten (Abb. 112; Tab. 40, Tab. 41, Tab. 42). Bei ausgeprägten individuellen Unterschieden zwischen den Expositionsbedingungen, variieren die Werte sowohl für die arithmetischen Mittel ($p = 0,1575$) als auch für die Mediane ($p = 0,3016$) nur zufällig um Null.

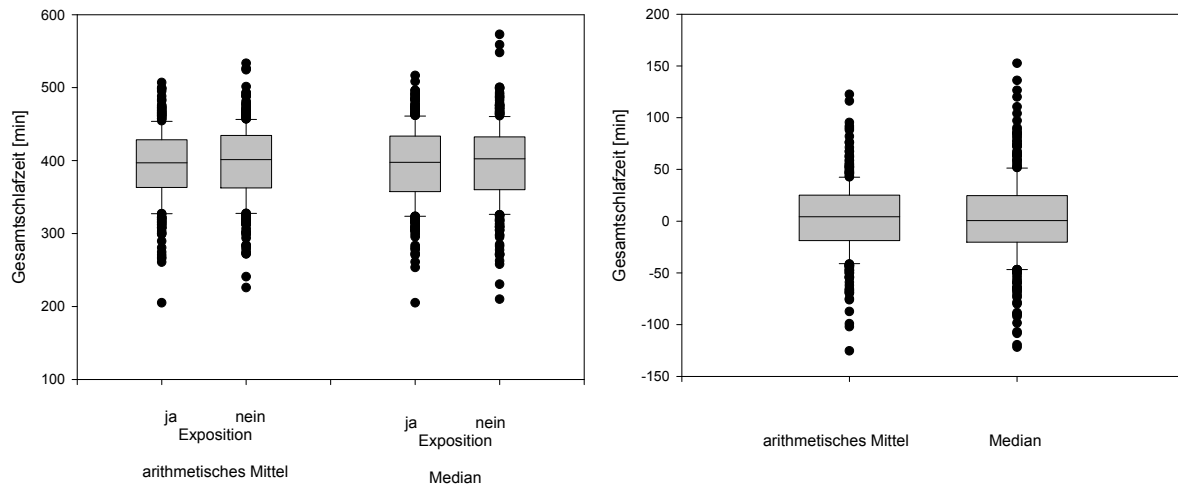


Abb. 112 Boxplots der Verteilungen der Gesamtschlafzeit [min] in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einer höheren Gesamtschlafzeit unter der Expositionsbedingung.

Einschlaflatenz Stadium NREM1

Die Zeit vom „Licht aus“ bis zum Auftreten von zwei (konsekutiven) Epochen NREM1 zeigt sowohl unter Exposition als auch unter der Scheinexposition (wie schon die subjektiv empfundene Einschlaflatenz) eine deutlich schiefe Verteilung (Abb. 113). Dies gilt sowohl bei Berechnung von individuellen arithmetischen Mittelwerten als auch bei der Berechnung individueller Mediane. Auch für die Einschlaflatenz gilt, dass keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Verum- und der Schein- Expositionsbedingung zu beobachten sind (Abb. 113, Tab. 40, Tab. 41). Die individuellen Differenzen in der Einschlaflatenz variieren ausgeprägt aber zufällig um Null, die Einschlaflatenz bis zum Stadium NREM1 ist im Mittel für die individuell berechneten arithmetischen Mittel unter Exposition um 0,41 min kürzer ($p = 0,3288$). Bei Heranziehung individueller Median ist die Einschlaflatenz unter Exposition um 0,33 min ($p = 0,2702$) kürzer (Abb. 113 und Tab. 42).

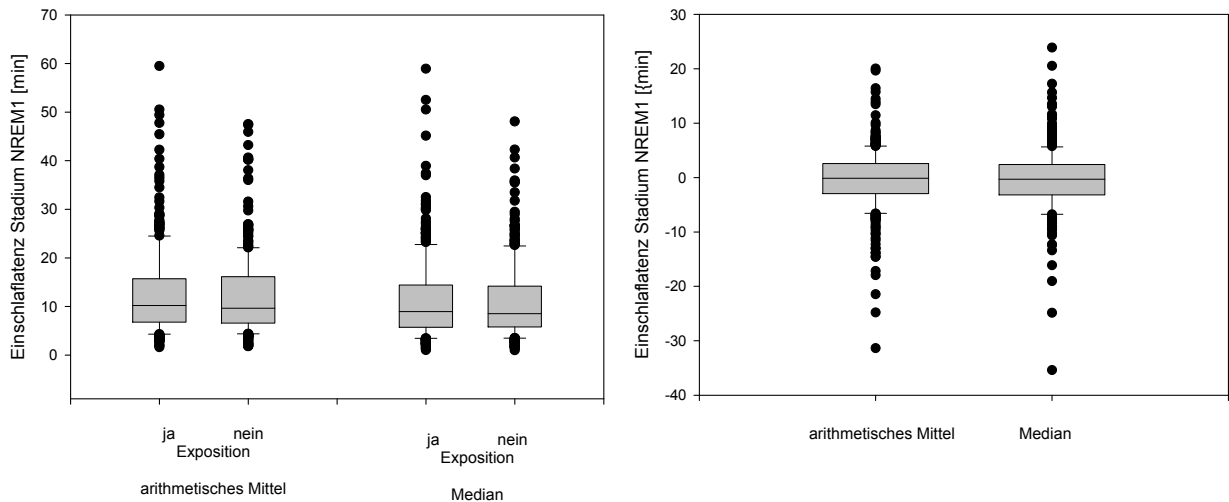


Abb. 113 Boxplots der Verteilungen der Einschlaflatenz zum Stadium NREM1 in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: negative Differenzen entsprechen kürzeren Einschlaflatenzen unter der Expositionsbedingung.

Einschlaflatenz Stadium NREM2

Die Zeit von „Licht aus“ bis zum ersten Auftreten einer Epoche NREM2-Schlaf zeigt ebenfalls sowohl unter Exposition als auch unter der Scheinexposition eine deutlich schiefe Verteilung (Abb. 114). Dies gilt sowohl bei Berechnung von individuellen arithmetischen Mittelwerten als auch bei Berechnung individueller Mediane. Auch für die Einschlaflatenz zum Stadium NREM2 gilt, dass keine nennenswerten Unterschiede zwischen der Verum- und der Scheinexpositionsbedingung zu beobachten sind (Abb. 114, Tab. 40 und Tab. 41). Die individuellen Differenzen in der Einschlaflatenz variieren ausgeprägt aber zufällig um Null (arithmetische Mittel $p = 0,3444$; Mediane: 0,4659). (Abb. 114 und Tab. 42).

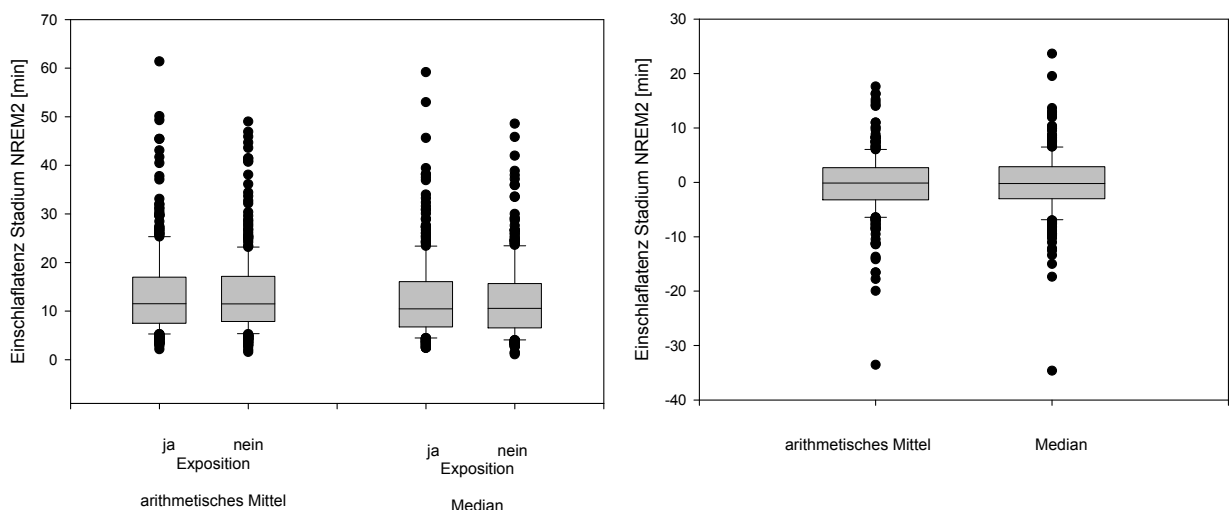


Abb. 114 Boxplots der Verteilungen der Einschlaflatenz zum Stadium NREM2 in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: negative Differenzen entsprechen kürzeren Einschlaflatenzen unter der Expositionsbedingung.

Wach

Der Wachanteil (sowohl in Minuten als auch in % der TIB) lässt ebenso wie die Einschlaf latenzen eine deutlich schiefe Verteilung erkennen (Abb. 115 und Abb. 116), was auch an entsprechenden Unterschieden zwischen dem arithmetischen Mittel und dem Median der jeweiligen Verteilungen abzulesen ist (Tab. 40, Tab. 41). Generell lassen sich jedoch auch für dieses Merkmal keine signifikanten Unterschiede zwischen Nächten mit und ohne Exposition erkennen. Dies wird auch dadurch belegt, dass die individuellen Differenzen sowohl für die arithmetischen Mittel (Minuten: $p = 0,1952$; % TIB: $p = 0,4152$) als auch für die Mediane (Minuten: $p = 0,3646$, % TIB: $p = 0,2385$) bei großer individueller Variation nicht signifikant von Null verschieden sind (Abb. 115, Abb. 116, Tab. 42).

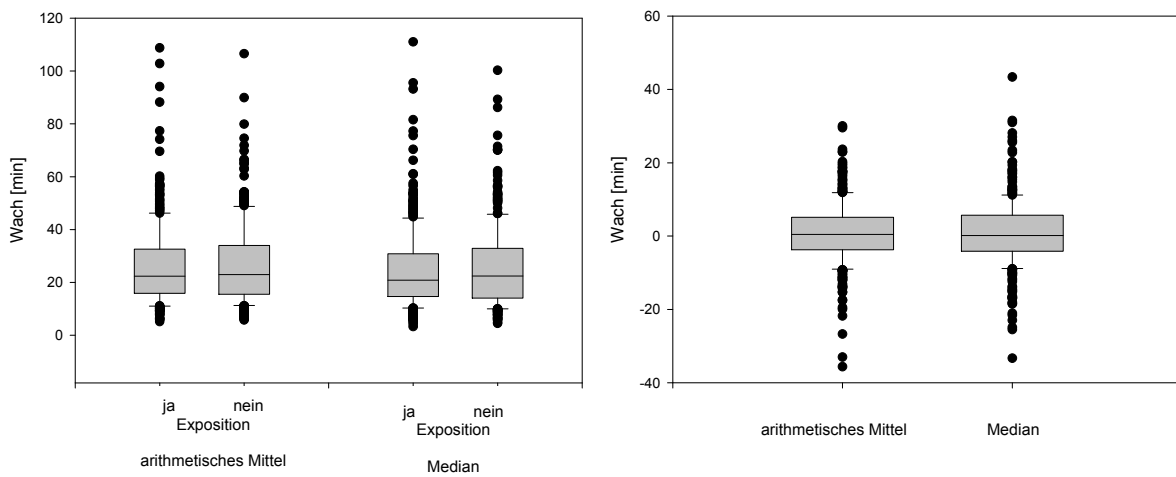


Abb. 115 Boxplots der Verteilungen der Wachzeit [min] innerhalb der Time in Bed in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einem längeren Wach nach Schlafbeginn unter der Expositionsbedingung.

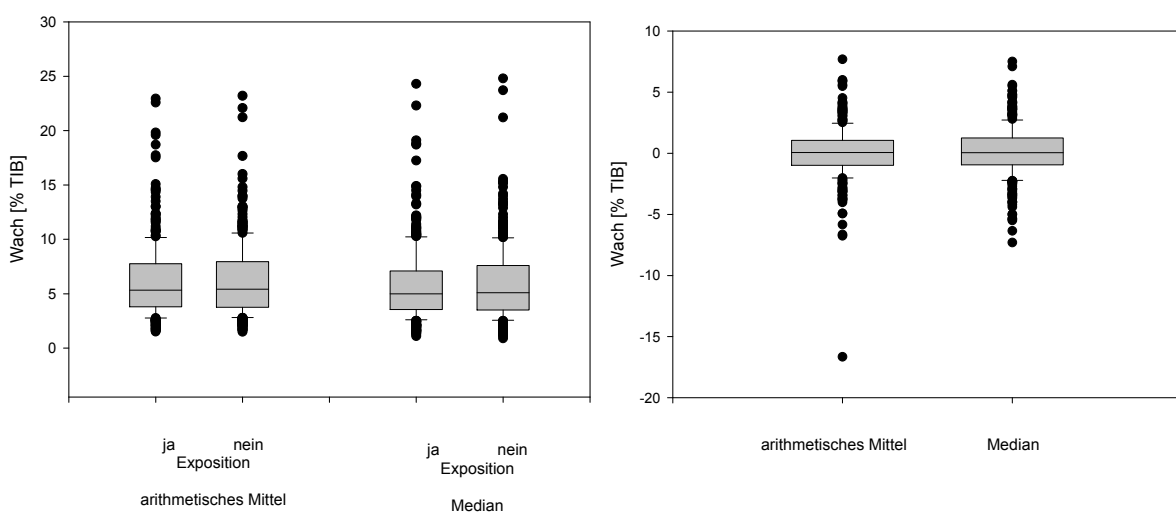


Abb. 116 Boxplots der Verteilungen der Wachzeit [% TIB] innerhalb der Time in Bed in Nächten mit und ohne Exposition: links: expositionsspezifische Verteilungen, rechts: Verteilung der individuellen Differenzen: positive Differenzen entsprechen einem längeren Wach nach Schlafbeginn unter der Expositionsbedingung.

C 3.2.2 Ebene des Individuums: Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen auf individueller Basis

Eine Überprüfung von Unterschieden in der Verteilung der objektiven Schlafparameter in Abhängigkeit von der Exposition auf **individueller** Ebene hat für die in Tab. 43 merkmalspezifisch zusammengestellte Anzahl von Probanden zu einem statistisch signifikanten Ergebnis ($p < 0.05$) geführt.

Tab. 43 Anzahl von Probanden mit statistisch signifikanten Unterschieden (Mann-Whitney-U-Test: $p < 0.05$) in den Merkmalsverteilungen zwischen Nächten mit und ohne Exposition: E: GSM-Expositionsbedingung, NE: Scheinexposition, %¹ = % der Gesamtstichprobe, %² = % der Probanden mit einem signifikanten Ergebnis.

Merkmal	Anzahl Probanden mit $p < 0.05$ im Mann-Whitney-U-Test					
	N		E besser NE		NE besser E	
	n	% ¹	n	% ²	n	% ²
Einschlaflatenz Stadium 1 (SOL1)	6	1,8	2	33,3	4	66,7
Einschlaflatenz Stadium 2 (SOL2)	7	2,1	3	42,9	4	57,1
Wachdauer [W min]	8	2,4	2	25,0	6	75,0
Wachanteil [W %]	11	3,3	4	36,4	7	63,6
Gesamtschlafzeit (TST)	12	3,6	10	83,3	2	16,7
Time in Bed (TIB)	14	4,2	8	57,1	6	42,9
Schlafeffizienz-Index (SEI)	8	2,4	0	0,0	8	100,0
Summe	66		29	44,0	37	56,0

Die Tabelle macht deutlich, dass bei den getesteten sieben Variablen zur Beschreibung der objektiven Schlafqualität insgesamt 66 mal auf individueller Ebene signifikante Unterschiede zwischen den beiden Expositionsbedingungen zu beobachten waren. Zu den 66 signifikanten Ergebnissen tragen 36 Probanden (aus allen 10 Studienstandorten: Anzahl 2 bis 7 pro Standort) bei, wobei 15 Probanden jeweils nur für eines der genannten Merkmale entsprechende Unterschiede aufweisen. 14 Probanden zeigten in zwei dieser Merkmale statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen, fünf Probanden wiesen Unterschiede in drei und zwei Probanden Unterschiede in vier Merkmalen auf.

Die Tabelle macht ferner deutlich, dass für keines der Merkmale die bei multiplen Testen schon per Zufall zu erwartende Häufigkeit signifikanter Ergebnisse von 5% bei einer zweiseitigen Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ überschritten wurde (Variation von 1,8 bis 4,2%).

Eine genauere Betrachtung der statistisch signifikanten Ergebnisse ließ erkennen, dass in den Expositionsbedingungen die Einschlafzeiten zu Stadium 1 in 33,3% der 6 Fälle und zu Stadium 2 in 42,8% der 7 Fälle kürzer sind. Ein Viertel der 8 Probanden mit signifikantem Ergebnis, wies eine geringere Wachdauer unter Exposition auf, dreiviertel eine höhere. Bezogen auf die Gesamtschlafzeit zeigten vier Personen unter Exposition einen geringeren Wachanteil in Prozent. Die Gesamtschlafzeit war bei 10 von 12 Personen unter Exposition erhöht. Die Bettzeit war so, wie auch in der subjektiven Bewertung (vgl. Tab. 38), bei 57,1% von insgesamt 14 Personen unter Exposition länger. Die Schlafeffizienz war hingegen bei sämtlichen 8 Personen, die einen signifikanten Unterschied zeigten, unter Exposition geringer.

Auch auf der individuellen Ebene erfolgt aufgrund der geringen Fallzahl eine Beschreibung der möglichen Einflussfaktoren für die Ergebnisse der einzelnen Personen. Eine Übersicht der Probanden, welche eine signifikante Änderung in (mindestens) einem objektiven Parameter aufwiesen, und die dazugehörigen Differenzen der Mittelwerte zwischen Verum- und Scheinexposition findet sich in Tab. A2 im Anhang. Auch bei der Fallanalyse der objektiven Daten wird auf mögliche Einflussgrößen, die in den Abend- und Morgenprotokollen vermerkt sind, zurückgegriffen. Um eine größtmögliche Anonymität zu gewähren sind den nachfolgend beschriebenen Probanden Nummern zugeordnet, die chronologisch nach der Reihung der ergänzenden Tabellen im Anhang vergeben wurden.

Bettzeit

Wie bereits unter C 2.2.2 erläutert, hängt die Dauer der Bettzeit in der Regel von Aktivitäten des vergangenen Tages und des bevorstehenden nächsten ab. Da die Bettzeit als Zeit zwischen „Licht aus“ und „Licht an“ definiert ist und für die Markierung dieser Zeitpunkte in den objektiven Schlafdaten die Angaben der Abend- und Morgenprotokolle berücksichtigt wurden, stimmen die Ergebnisse für fünf Probanden (Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42) objektiv wie subjektiv überein. Dennoch hatten neun weitere Probanden ein signifikantes Ergebnis in der objektiven Bettzeit, welches subjektiv nicht signifikant war oder umgekehrt. Diese Abweichungen sind einerseits dadurch bedingt, dass die Zubettgehzeiten nachträglich- nach Vorgabe jeden Morgen- von den Probanden in das Protokoll eingetragen werden mussten, was aus verschiedenen Gründen unterschiedlich präzise gemacht wurde. Andererseits wird bei diesem Parameter auch deutlich, wie Unterschiede von wenigen Minuten (objektiv – subjektiv) die Signifikanz eines Ergebnisses bedingen bzw. diese zu Fall bringen. Insgesamt war die Bettzeit bei 14 Probanden unter Exposition signifikant verändert, bei acht davon war sie verlängert (Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42, Pbd. 70, Pbd. 71, Pbd. 78) und bei sechs verkürzt (Pbd. 9, Pbd. 52, Pbd. 74, Pbd. 75, Pbd. 79, Pbd. 80). Alle fünf Probanden, deren mittlere subjektive und objektive Bettzeit übereinstimmte (Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42), wiesen eine längere Bettzeit und parallel dazu eine längere Gesamtschlafzeit unter Exposition auf. Eine weitere Person (Pbd. 78) zeigte zwar eine längere Bettzeit unter Exposition, alle anderen Parameter blieben aber unverändert. Bei zwei Teilnehmern (Pbd. 70, Pbd. 71) war eine längere Bettzeit mit einer längeren Gesamtschlafzeit und einer höheren prozentuellen Wachzeit und Wachdauer in Minuten zu beobachten. Proband 71 hielt vor vier Expositions Nächten im Gegensatz zu nur zwei Scheinexpositions Nächten einen Tagschlaf und verbrachte in Expositions Nächten signifikant

mehr Zeit im Bett. Proband 70, von dem aufgrund eines Bedienungsfehlers nur vier Scheinexpositionsnächte zur Auswertung zur Verfügung standen, schlief an vier Nachmittagen vor einer Expositionsnacht zwischen 30 und 50 Minuten lang im Gegensatz zu zwei Nachmittagen mit je 30 Minuten vor einer Scheinexpositionsnacht. In der PSG zeigte sich nach den Tagschläfchen ein erhöhter Wachanteil und eine längere Wachdauer bei insgesamt längerer Bettzeit in Expositions Nächten.

Vier Personen blieben im Mittel in den Expositionsbedingungen kürzer im Bett, ohne dass andere objektive Parameter auch betroffen gewesen wären (Pbd. 9, Pbd. 52, Pbd. 79, Pbd. 80). Bei einem dieser vier Teilnehmer (Pbd. 9) war neben einer kürzeren Bettzeit der subjektive Erholungswert unter Exposition geringer. Mögliche Gründe wurden zuvor bei den Daten zur subjektiven Erholbarkeit genannt (Kap. C 2.2.2). Bei einer anderen Person (Pbd. 52) war der subjektive Schlaffeffizienz-Index in Expositions Nächten höher, ohne dass andere subjektive Parameter oder eindeutige Gründe in den Morgen- und Abendprotokollen gefunden werden konnten (Kap. C 2.2.2). Die objektive Bettzeit war hingegen signifikant geringer, was zu einer subjektiven Verbesserung in der Schlaffeffizienz in Scheinexpositions Nächten beigetragen haben könnte, auch wenn sich sämtliche anderen objektiven Parametern zwischen den Expositionsbedingungen nicht unterschieden. Zwei Personen (Pbd. 74, Pbd. 75) verbrachten in den Expositions Nächten im Mittel weniger Zeit im Bett und schliefen parallel dazu kürzer.

Gesamtschlafzeit

Bei insgesamt zwölf Probanden war die Gesamtschlafzeit unter Exposition signifikant verändert, bei zehn davon war sie verlängert (Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42, Pbd. 61, Pbd. 70, Pbd. 71, Pbd. 76, Pbd. 77) und bei zwei verkürzt (Pbd. 74, Pbd. 75). Eine signifikant kürzere Gesamtschlafzeit bei den letzteren zwei Probanden war - wie zuvor geschildert - mit einer kürzeren Bettzeit verbunden, aber mit keinen weiteren Veränderungen in den untersuchten Schlafparametern. Die Gesamtschlafzeit war bei zwei Probanden (Pbd. 76, Pbd. 77) während der Expositions Nächten im Mittel länger, ohne dass signifikante Unterschiede in der Bettzeit, in den Wachzeiten oder den Schlaffeffizienz-Indizes zwischen den Expositionsbedingungen aufgetreten wären. Proband 76 ging in einer Scheinexpositionsnacht erst um 2:30 Uhr zu Bett, schlief aber nach dem Aufstehen zur gewöhnlichen Uhrzeit noch zusätzlich am Vormittag. Insgesamt wirkte sich diese Nacht nur auf die mittlere Gesamtschlafzeit, nicht jedoch auf die Wachdauer, die Wachanteile oder die Schlaffeffizienz aus. Proband 77 ging sehr regelmäßig zu Bett mit einer durchschnittlichen Bettzeit von 7,0 bis 7,3 Stunden. Es gab allerdings zwei „Ausreißernächte“, die den signifikanten Unterschied in den Gesamtschlafzeiten erklären können: die einzige Nacht, in der unter sieben Stunden geschlafen wurde, war eine Scheinexpositionsnacht mit der kürzesten Bettzeit, die längste Zeit im Bett wurde hingegen in einer Expositionsnacht mit 8,5 Stunden und einer Gesamtschlafzeit von 8 Stunden und 22 Minuten erreicht. Bei fünf Probanden (Pbd. 35, Pbd. 38, Pbd. 40, Pbd. 41, Pbd. 42) war die längere Gesamtschlafzeit - wie schon zuvor geschildert - mit einer objektiv und subjektiv signifikant längeren Bettzeit verbunden. Mögliche Gründe für zwei weitere Probanden mit längerer Gesamtschlafzeit (Pbd.

70, Pbd. 71), die neben einer signifikant längeren Bettzeit einen höheren Wachanteil aufwiesen, wurden ebenfalls zuvor ausgeführt. Eine nachfolgend beschriebene Person (Pbd. 61) schlief im Mittel in den Expositions Nächten länger.

Einschlaflatenzen

Die Latenz zu Stadium 1 war bei vier Teilnehmern (Pbd. 33, Pbd. 58, Pbd. 59, Pbd. 60) in Expositions Nächten im Mittel signifikant länger und bei zwei Personen kürzer (Pbd. 61, Pbd. 62). Die Latenz von Stadium 2 war ebenso bei vier Probanden länger (Pbd. 33, Pbd. 58, Pbd. 63, Pbd. 64) und bei drei kürzer (Pbd. 39, Pbd. 61, Pbd. 62).

Eine Person (Pbd. 61) schlief unter Exposition signifikant schneller ein (Einschlaflatenz Stadium 1 und Einschlaflatenz Stadium 2) und im Mittel länger, subjektiv wurden alle Nächte in Bezug auf die Schlafqualität gleich bewertet. Im Protokoll berichtete dieser Proband vor Scheinexpositions Nächten von mehr außergewöhnlichen Ereignissen (u.a. Beerdigung), die das Einschlafen verzögert haben können. Eine weitere Person (Pbd. 62) schlief im Mittel unter Exposition ebenfalls schneller ein (Einschlaflatenz Stadium 1 und Stadium 2) und bewertete alle Nächte gleich. Diese Person zeichnete sich durch sehr spätes Zubettgehen (in sechs Nächten nach 2:00 Uhr) und sehr kurzen Gesamtschlaf aus, der durch Tagschlaf kompensiert wurde. Die Latenzen zu Stadium 1 und 2 waren im Mittel in beiden Expositionsbedingungen sehr kurz und unterschieden sich um lediglich 3,4 (Latenz von Stadium 1) und 3,5 (Latenz von Stadium 2) Minuten und erreichten maximal 10,5 Minuten. Die kürzesten Schlaflatenzen wurden in den Expositions Nächten erhoben, in denen auch am spätesten zu Bett gegangen wurde, was den signifikanten Unterschied erklären könnte. Die Latenz von Stadium 2 war bei einer Person unter Exposition kürzer (Pbd. 39), ohne dass noch andere Bereiche der objektiven Schlafqualität betroffen gewesen wären. Von Proband 39 wurde allerdings die subjektive Gesamtschlafzeit und die Bettzeit unter Exposition signifikant länger eingeschätzt (vgl. Kap. C 2.2.2). Im Abend- und Morgenprotokoll wurde vermerkt, dass zwei Medikamente zur Behandlung von Depressionen, die Nebenwirkungen auf das Zentralnervensystem in Form erhöhter Schläfrigkeit haben können, ausschließlich an insgesamt drei Tagen vor einer Expositionsnacht eingenommen wurden.

Bei zwei Personen betraf die längere Einschlaflatenz neben Stadium 1 auch Stadium 2 (Pbd. 33, Pbd. 58) ohne dass andere objektive Parameter involviert gewesen wären. Auffallend ist bei einem der beiden Teilnehmer (Pbd. 58) mehr Tagschlaf vor Expositions Nächten als vor Scheinexpositions Nächten. Proband 33 fällt durch täglichen Alkoholkonsum auf und gab - wie zuvor in Kap. C 2.2.2 dargestellt - ebenfalls häufiger Mittagsschlaf vor Expositions Nächten an, was zu verlängerten Einschlaflatenzen geführt haben könnte sowie zu subjektiv kürzeren Gesamtschlafzeiten unter Exposition. Eine Verlängerung der Latenz zu Schlafstadium 1 unter Exposition bei einem Probanden (Pbd. 59), ohne dass andere Parameter betroffen waren, fiel mit Expositions Nächten zusammen, vor denen zweimal eine starke geistige Belastung und einmal beruflicher Stress angegeben wurde. Ein Proband (Pbd. 60) mit einer signifikant verlängerten Latenz zu Stadium 1 unter Exposition hatte auch prozentuell mehr Wachanteil am Gesamtschlaf und eine signifikant geringere

Schlafeffizienz und wird nachfolgend diskutiert. Bei Proband 63 fanden sich im Abendprotokoll täglich Angaben zum Alkoholkonsum unterschiedlicher Art und Menge und vor Expositions Nächten zusätzlich ein größerer Zigarettenkonsum in den letzten vier Stunden vor dem Schlafengehen, was zu einer längeren Einschlaf latenz aufgrund der anregenden Wirkung geführt haben könnte. Proband 64 hatte in den Expositions Nächten im Mittel längere Einschlaf latenzen zu Stadium 2 und eine signifikant geringere Schlaf effizienz. Im Abend- Morgenprotokoll finden sich Angaben, dass der Schlaf in vier Expositions Nächten und hingegen nur in zwei Scheinexpositions Nächten gestört wurde. Von zwei Scheinexpositions Nächten waren die PSG-Daten nicht auswertbar gewesen, da sämtliche Kanäle in beiden Nächten nach jeweils ca. 90 Minuten gestört bzw. ausgefallen waren. Ein Blick auf die Einschlaf latenzen dieser Nächte zeigt allerdings, dass die Latenz zu Stadium 2 einmal bei 12 und einmal bei 33 Minuten lag, was deutlich über dem Maximum der ausgewerteten Scheinexpositions Nächten (4,2 Minuten vs. 26,7 in Expositions Nächten) lag und das Ergebnis entsprechend verzerrt hat.

Wachdauer und Wachanteil

Die Wachdauer in Minuten war unter Exposition bei insgesamt sechs Probanden verlängert (Pbd. 66, Pbd. 67, Pbd. 68, Pbd. 69, Pbd. 70, Pbd. 71) und bei zwei Probanden verkürzt (Pbd. 49, Pbd. 65). Der Wachanteil in Prozent bezogen auf die Gesamtschlafdauer war unter Exposition bei sieben Probanden verlängert (Pbd. 15, Pbd. 60, Pbd. 66, Pbd. 68, Pbd. 69, Pbd. 70, Pbd. 71) und bei vier Probanden (Pbd. 49, Pbd. 65, Pbd. 72, Pbd. 73) verkürzt.

Proband 49 war objektiv weniger lange wach (in Minuten und Prozent), was sich nur im subjektiven, nicht hingegen im objektiven Schlaf effizienz-Index niederschlug. Die Gründe (Erkältung in Scheinexpositions Nächten) wurden in der Fallanalyse der subjektiven Schlafqualität (Kap. C 2.2.2) bereits dargestellt. Proband 65 konnte in 3 von 5 Scheinexpositions Nächten nicht aufhören zu denken und gab in einer weiteren Scheinexpositionsnacht „Gang auf Toilette“ als Ursache für eine beeinträchtigte Schlafqualität an. „Nicht-Aufhören können zu denken“ wurde hingegen nur einmal in einer Expositionsnacht vermerkt. Bei Proband 72 mit einer signifikant kürzeren prozentuellen Wachanteil in Expositions Nächten fiel in den Morgen- und Abendprotokollen auf, dass nur vor einer Scheinexpositionsnacht abends ein 30 Minuten langes Schläfchen abgehalten wurde, was sich auf den nachfolgenden Schlaf ausgewirkt hat. Die Gesamtschlafzeit eines anderen Teilnehmers (Pbd. 73) wies prozentuell unter Exposition weniger Wachanteile auf, alle anderen Parameter unterschieden sich jedoch nicht. Dieser Teilnehmer nahm Medikamente gegen Hypertonie und berichtete in einer Scheinexpositionsnacht von Schwitzen als schlafstörendem Faktor. Dennoch war in dieser Scheinexpositionsnacht der Prozentsatz an Wach nicht auffallend höher. Im LISST sind klare Hinweise auf eine Insomnie zu finden, auch der PSQI-Gesamtwert ist erhöht. Hinzu kommt ein massiv erhöhter BMI (Adipositas).

Lediglich eine Person (Pbd. 67) hatte unter Exposition eine längere Wachdauer in Minuten, jedoch nicht prozentual, und ohne dass weitere Maße der objektiven Schlafqualität betroffen gewesen wären. In den Abend- und Morgenprotokollen fanden sich Hinweise auf größeren Alkoholkonsum vor

Expositions Nächten und eine Störung des Schlafs durch Toilettenbesuch in einer Expositionsnacht und durch das PSG-Gerät in drei Expositions Nächten (nur einmal in Scheinexpositionsnacht).

Bei allen anderen sieben Probanden (Pbd. 15, Pbd. 60, Pbd. 66, Pbd. 68, Pbd. 69, Pbd. 70, Pbd. 71), die im Mittel in den Expositions Nächten relativ (in Prozent) länger wach waren, war auch mindestens ein weiterer Parameter verändert. In vier Fällen (Pbd. 60, Pbd. 66, Pbd. 68, Pbd. 69) führte ein längerer nächtlicher Wachanteil an der Gesamtschlafzeit und bei den drei letzteren zusätzlich eine größere Wachzeit in Minuten bei unveränderter mittlerer Bettzeit zu einer Reduktion der Schlafeffizienz-Indizes. Der Schlaf von Proband 66 war in fast allen Nächten stark fragmentiert durch wiederholte kurze Wachphasen und relativ viel Bewegung. In den Morgen- und Abendprotokollen wurden alle Nächte gleich bewertet, im LISST fanden sich keine Indizien für eine Schlafstörung, ein Bandscheibenvorfall wurde als chronische Erkrankung angegeben. Proband 68 schlief vor einer Expositionsnacht bereits abends ungewollt auf dem Sofa ein und hatte in der Epworth Schläfrigkeitsskala einen auffälligen Wert, was auf eine erhöhte Tagesschläfrigkeit hinweist. Proband 69 konsumierte jeden Abend 2-3 Gläser Spirituosen und bewertete die Menge vor sämtlichen Expositions Nächten als „normal“, die Beurteilung der Menge konsumierten Alkohols vor Scheinexpositions Nächten fiel hingegen als „wenig“ und „normal“ aus.

Für einen Teilnehmer (Pbd. 60) mit einem um im Mittel 1,7 Prozent höheren objektiven Wachprozentsatz und mit verlängerter Einschlaf latenz zu Stadium 1 unter Exposition konnten keine eindeutigen Hinweise in den Morgen- und Abendprotokollen gefunden werden. Der PSQI-Gesamtwert war allerdings erhöht und lieferte damit Hinweise für eine beeinträchtigte Schlafqualität. Für Pbd. 15 wurden mögliche Einflussfaktoren einer längeren subjektiven Schlaf latenz in den Expositions Nächten bereits geschildert (vgl. Kap. C 2.2.2), die auch den objektiv höheren prozentuellen Wachanteil sowie eine geringere Schlafeffizienz in Expositions Nächten bedingen können.

Bei zwei zuvor beschriebenen Probanden (Pbd. 70, Pbd. 71) war eine erhöhte Wachdauer mit einer längeren Bett- und Gesamtschlafzeit vergesellschaftet.

Schlafeffizienz

Insgesamt war die Schlafeffizienz bei acht Probanden (Pbd. 15, Pbd. 60, Pbd. 64, Pbd. 66, Pbd. 68, Pbd. 69, Pbd. 81, Pbd. 82) unter Exposition signifikant verringert. Zwei Probanden (Pbd. 81 und Pbd. 82) hatten eine geringere Schlafeffizienz unter Exposition als einzigen veränderten Parameter. Für Proband 81 fanden sich in den Abend- und Morgenprotokollen mehr Gründe für eine Beeinträchtigung des Schlafs in Expositions Nächten, wie u.a. häufigerer Tagschlaf vor Expositions Nächten, dreimal Aufsuchen der Toilette in Gegensatz zu keinem einzigen Mal in Scheinexpositions Nächten. Proband 82 konsumierte täglich Alkohol und fiel in der PSG dadurch auf, dass er in vier Nächten im Verlauf der Nacht eine aufrechte Position während des Schlafes einnahm, was ein Hinweis auf Schnarchen bzw. beeinträchtigte Atmung sein könnte. Dies wurde durch die Angaben des Probanden im LISST eindeutig bestätigt. Dort fanden sich zusätzlich Hinweise auf zwei weitere potentielle Störungen des Schlafs nämlich nächtliches Zähneknirschen und rhythmische Bewegungen des Kopfes. Diese

Einflussfaktoren wurden mit der automatischen Analyse der ambulanten PSG nicht erfasst, beeinflussen aber die Schlafeffizienz.

Die Ergebnisse zu den objektiven Schlafeffizienzen aller anderen Probanden wurden im Zusammenhang mit den anderen objektiven Parametern bereits beschrieben.

Zusammenfassung

Bei vier Personen konnten keine eindeutigen Hinweise in den Abend- und Morgenprotokollen gefunden werden, die Unterschiede zwischen der Verum- und der Scheinexposition in der objektiven Schlafqualität erklären hätten können. Dies betraf eine Person (Pbd. 60) mit einer signifikant verlängerten Latenz zu Stadium 1, prozentuell höherem Wachanteil am Gesamtschlaf und einer signifikant geringeren Schlafeffizienz in Expositions Nächten und einen Teilnehmer (Pbd. 66) mit erhöhtem Wachanteil und Wachdauer und geringerer Schlafeffizienz in Expositions Nächten. Bei zwei Probanden (Pbd. 72, 73) verbesserte sich der Schlaf unter Exposition in Form eines reduzierten Wachanteils. Drei dieser vier Personen mit signifikanten Unterschieden ist gemein, dass sie an chronischen Krankheiten leiden (Rheuma, Bandscheibenvorfall, Hypertonie), zwei der vier sind übergewichtig und eine Person adipös. Der Gesamtwert der Epworth Schläfrigkeitsskala und des PSQI liegt bei zwei Personen über dem Grenzwert und weist auf eine erhöhte Einschlafneigung bzw. eine reduzierte Schlafqualität hin. Inwiefern diese Einflussfaktoren in unterschiedlichen Nächten verschieden stark zum Tragen kamen, konnte mit der reduzierten ambulanten Ableitung (ohne Atmungsparameter, EKG und Sensoren zur Erfassung von Beinbewegungen) und den subjektiven Angaben nicht geklärt werden.

Ein Vergleich auf Gruppen-Basis führte zu keinem einzigen signifikanten Unterschied in den objektiven Parametern zwischen den Expositions- und Scheinexpositions Nächten.

C 4 Einflussfaktor Exposition

Die in der Innenraummessung zur Erfassung der Exposition der Probanden während des Schlafs (Kap. B 5.2.2.2 und C 1.13) erhobenen Feldstärkepegel wurden nach der Häufigkeit ihres Auftretens in der Gesamtgruppe aller Probanden, für die subjektive Schlafdaten vorliegen, in Quartile eingeteilt (Tab. 44) und werden nachfolgend für die Diskussion eines möglichen Einflusses der Exposition auf die individuell signifikanten Unterschiede herangezogen.

Tab. 44 Feldstärkepegel (dB μ V/m) und Verteilung in Gesamtgruppe aller Probanden (n=363)

Quartile	Prozent	Feldstärkepegel (dB μ V/m)
1. Quartil	25%	<90,0
2. Quartil	50% Median	90,0-98,9
3. Quartil	75%	99,0-106,9
4. Quartil	100%	>106,9

C 4.1 Einflussfaktor Exposition und subjektive Schlafqualität

In Tab. A1 des Anhangs sind die Quartile für die Probanden mit signifikanten Unterschieden in den Parametern zur subjektiven Schlafqualität zwischen den Expositionsbedingungen dargestellt. Werden die Probanden in zwei Gruppen aufgeteilt, die sich in der Richtung der Veränderung der subjektiven Schlafqualität unter Exposition (Verschlechterung vs. Verbesserung) unterscheiden, ergeben sich folgende Häufigkeiten (Tab. 45):

Tab. 45 Feldstärkepegel (Quartile) und Verteilung nach Verbesserung vs. Verschlechterung in subjektiven Schlafparametern unter Exposition

Quartile	Verbesserung		Verschlechterung		Gesamt
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
1. Quartil	10	17,5	2	3,5	21,0
2. Quartil	9	15,8	8	14,0	29,8
3. Quartil	8	14,0	5	8,8	22,8
4. Quartil	7	12,3	8	14,0	26,3
gesamt	34	59,6	23	40,3	99,9

Wie aus Tabelle 45 ersichtlich wird, sind sowohl in der Gruppe mit besserer als auch in der Gruppe mit schlechterer subjektiver Schlafqualität unter Exposition alle vier Quartile der erhobenen Feldstärkepegel vertreten.

Die sieben Probanden, für die in den Abend- und Morgenprotokollen keine eindeutigen weiteren Einflussfaktoren gefunden werden konnten (vgl. Kap. C 2.2.2), wurden folgenden Gruppen zugeordnet:

Verbesserung: Pbd. 24 (2. Quartil), Pbd. 37 (2. Quartil), Pbd. 52 (3. Quartil)

Verschlechterung: Pbd. 27 (2. Quartil), Pbd. 29 (4. Quartil), Pbd. 56 (1. Quartil), Pbd. 57 (3. Quartil)

Auch hier zeigt sich kein systematischer Unterschied im Feldstärkepegel und der Richtung der Veränderung der subjektiven Schlafqualität.

C 4.2 Einflussfaktor Exposition und objektive Schlafqualität

In Tab. A2 des Anhangs sind die Quartile für die Probanden mit signifikanten Unterschieden in den Parametern zur objektiven Schlafqualität zwischen den Expositionsbedingungen dargestellt. Es ergeben sich in Abhängigkeit von der Richtung der Veränderung unter Exposition folgende Häufigkeiten (Tab. 46):

Tab. 46 Feldstärkepegel (Quartile) und Verteilung nach Verbesserung vs. Verschlechterung in objektiven Schlafparametern unter Exposition

Quartile	Verbesserung		Verschlechterung		Gesamt
	Anzahl	Prozent	Anzahl	Prozent	
1. Quartil	4	11,1	5	13,9	25,0
2. Quartil	3	8,3	6	16,7	25,0
3. Quartil	6	16,7	6	16,7	33,4
4. Quartil	2	5,6	4	11,1	16,7
gesamt	15	41,7	21	58,4	100,1

Wie aus Tabelle 46 ersichtlich wird, sind sowohl bei Verbesserung als auch bei Verschlechterung der subjektiven Schlafqualität unter Exposition alle vier Quartile der erfassten Feldstärkepegel aufgetreten, wobei insgesamt das vierte Quartil unterrepräsentiert war. Die vier Probanden, für die in den Abend- und Morgenprotokollen keine eindeutigen weiteren Einflussfaktoren gefunden werden konnten (vgl. Kap. C 3.2.2), wurden folgenden Gruppen zugeordnet:

Verbesserung: Pbd. 72 (2. Quartil), Pbd. 73 (3. Quartil)

Verschlechterung: Pbd. 60 (3. Quartil), Pbd. 66 (2. Quartil)

Damit zeigt sich auch hier kein Unterschied zwischen der Stärke der Feldpegel (in Quartilen) und der Richtung der Veränderung.

C 5 Psychologische Einflussfaktoren

C 5.1 Subjektive Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI) und Entfernung vom Sendemast

Zur Analyse eines möglichen psychologisch bedingten Einflusses der Präsenz des Sendemastes auf die Schlafqualität wurden die Studienteilnehmer post hoc in zwei Gruppen unterteilt. Eine Gruppe umfasste Probanden, die in einem Umkreis bis zu 100 m um den Standort der mobilen Basisstation wohnten und die zweite Gruppe Probanden, die in einer Entfernung von 101 bis 500 m wohnten.

Zunächst wurde überprüft, ob sich die Schlafqualität in den beiden Gruppen unabhängig von der Studiensituation unterscheidet. Dazu wurden die Daten des Pittsburgh Schlafqualitätsindex (Kap. B 5.1.2) herangezogen. Dieser Fragebogen zählt zu jenen, die im Verlauf der Studie einmalig ausgefüllt wurden, und zwar zu einem Zeitpunkt als die mobile Basisstation noch nicht vor Ort war. Der Gesamtscore kann also als studienunabhängiger Indikator der Schlafqualität der Probanden herangezogen werden.

Die PSQI-Scores zeigen, dass die subjektive Schlafqualität bei den 80 Probanden, die in einer Distanz ≤ 100 m zum Sendemast wohnten mit $4,6 \pm 2,4$ (Median 4,0) durchschnittlich etwas besser war, als bei den 285 Personen (PSQI-Score: $5,0 \pm 2,7$; Median 5,0), die in einer größeren Distanz wohnten. Im Wilcoxon-Test erweist sich der Verteilungsunterschied jedoch nicht als statistisch signifikant: $p = 0,2735$. Bei Klassifikation der Probanden in „gute“ (PSQI-Score ≤ 5) und „schlechte“ (PSQI-Score > 5) Schläfer erreichen die Verteilungsunterschiede (Abb. 117) ebenfalls keine statistische Signifikanz: $p = 0,1409$.

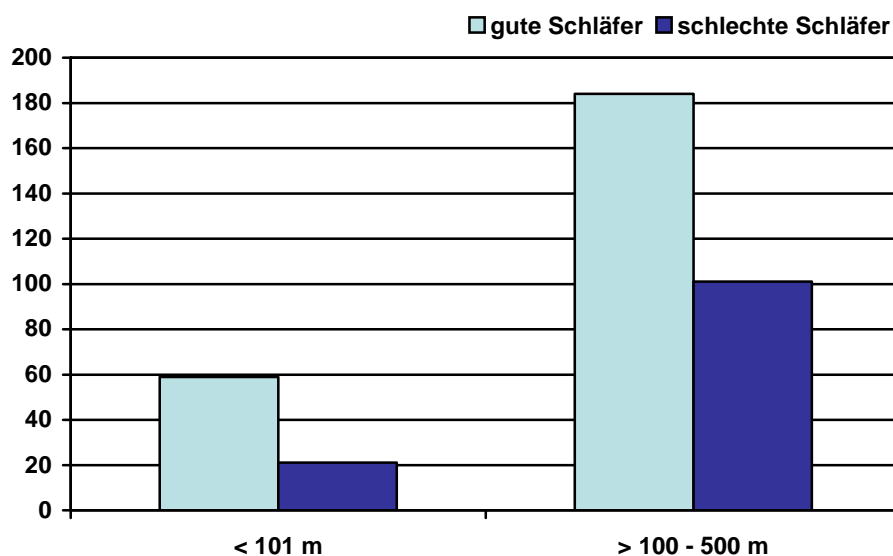


Abb. 117 Verteilung „guter“ (PSQI ≤ 5) und „schlechter“ Schläfer nach Entfernung zur Basisstation.

C 5.2 Psychologische Einflussfaktoren und subjektive Schlafqualität

C 5.2.1 Einflussfaktoren Entfernung vom Sendemast und PSQI-Gesamtscore

Ausgehend von der Überlegung, dass die schlichte Präsenz einer Basisstation möglicherweise einen psychologisch bedingten Effekt auf die Schlafqualität haben könnte, und unter der Annahme, dass dieser Effekt bei Personen, die in unmittelbarer Nähe (≤ 100 m) zur Basisstation leben, ausgeprägter ist als bei Personen, die in größerer Distanz wohnen, wurde die Hypothese aufgestellt, dass sich die subjektive Schlafqualität (auch) in Nächten ohne Exposition zwischen den beiden auf der Basis der Entfernung definierten Gruppen unterscheidet. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die aus den Abend- und Morgenprotokollen ermittelten individuellen arithmetischen Mittel und Mediane für Nächte ohne Exposition auf statistisch signifikante Unterschiede überprüft (Tab. 47).

Es zeigte sich, dass weder für den primären Zielparameter „subjektive Schlafeffizienz“ noch für die sekundären Parameter „Visuelle Analogskala für Erholbarkeit“, „subjektive Bettzeit“ und „subjektive Wachdauer“ entsprechende Verteilungsunterschiede in Abhängigkeit von der Entfernung beobachtet werden konnten. Statistisch signifikante Unterschiede ließen sich lediglich für die „subjektive Gesamtschlafzeit“ (Basis Mediane) und die „subjektive Einschlafzeit“ beobachten (Basis arithmetisches Mittel und Mediane). Abweichend von der Hypothese eines schlechteren Schlafes in größerer Nähe zur Basisstation war die subjektive Einschlafzeit in dieser Gruppe um ca. 3 Minuten kürzer und die subjektive Gesamtschlafzeit um 15 bzw. 25 Minuten länger (Tab. 47).

Eine korrelationsstatistische Analyse des Zusammenhangs der subjektiven Schlafparameter mit der Entfernung ergab, dass mit Ausnahme der Einschlafzeit (die als Median der Einschlafzeit für nicht exponierte Nächte ermittelt wurde), die übrigen subjektiven Schlafparameter nicht mit der Entfernung korrelierten (Tab. 48). Für die Einschlafzeit gilt, dass sie mit zunehmender Entfernung von der Basisstation zunimmt. Andererseits sind die subjektiven Schlafparameter mit Ausnahme der Bettzeit und der Gesamtschlafzeit auf Basis der Mediane – wie zu erwarten – signifikant mit dem PSQI-Score korreliert (Range der signifikant von Null verschiedenen Korrelationskoeffizienten: -0,3094 bis 0,2205; Tab. 48). Dieses Ergebnis belegt, dass die TIB kein geeigneter Indikator für Schlafqualität ist. Es zeigt sich, dass die Erholbarkeit des Schlafes positiv mit dem PSQI-Score korreliert ist, d.h. je höher die Schlafqualität vor Beginn der Studie, desto erholsamer wurde der Schlaf während der Studie in den Nächten mit Sham-Exposition empfunden. Je höher der PSQI-Score vor Beginn der Studie (d.h. je schlechter die Schlafqualität) desto länger war in den Sham-Nächten die subjektive Einschlafzeit und die subjektive Wachdauer nach Schlafbeginn.

Andererseits ist mit zunehmend schlechter Schlafqualität vor Beginn der Studie eine geringere Gesamtschlafzeit (signifikant auf Basis der Mittelwerte) sowie eine geringere Schlafeffizienz während der Studie zu beobachten. Der Zusammenhang ist für die Schlafeffizienz am ausgeprägtesten, was die Bedeutung dieses Zielparameters für die Analyse eines möglichen Zusammenhangs mit EMF-Exposition unterstreicht.

Tab. 47 Vergleich individueller Differenzen der subjektiven Zielparameter zwischen Personen mit Wohndistanz ≤ 100 m und > 100 m von Basisstation entfernt

Variable:	Distanz ≤ 100 m			Distanz 101 – 500 m			Wilcoxon
	N	Mean \pm SD	Median	N	Mean \pm SD	Median	p
Basis individuelle arithmetische Mittel							
VAS: Erholbarkeit: sehr (0) - nicht (100)	80	37,2 \pm 13,3	38,7	285	35,6 \pm 13,3	35,4	0,3314
Einschlafzeit [min]	80	14,4 \pm 14,8	11,0	285	17,5 \pm 15,5	13,0	0,0206
Wach nach Schlafbeginn [min]	80	12,7 \pm 18,2	5,1	285	11,5 \pm 15,2	6,0	0,7383
Gesamtschlafzeit [min]	80	404,5 \pm 45,6	403,5	285	394,1 \pm 53,2	396,0	0,1588
Time in Bed [min]	79	442,3 \pm 53,6	437,8	284	431,8 \pm 58,0	432,3	0,1969
Schlafeffizienz-Index [%]	79	92,6 \pm 10,4	93,2	284	91,8 \pm 8,4	92,7	0,9923
Basis individuelle Mediane							
VAS: Erholbarkeit: sehr (0) - nicht (100)	80	34,9 \pm 16,6	33,0	285	32,8 \pm 15,3	32,0	0,3373
Einschlafzeit [min]	80	11,1 \pm 11,4	10,0	285	14,5 \pm 15,0	14,5	0,0076
Wach nach Schlafbeginn [min]	80	7,8 \pm 11,6	3,0	285	7,9 \pm 14,1	7,9	0,9209
Gesamtschlafzeit [min]	80	408,4 \pm 47,7	415,0	285	393,5 \pm 56,2	390,0	0,0288
Time in Bed [min]	79	440,0 \pm 60,0	434,0	284	431,0 \pm 60,3	434,0	0,3425
Schlafeffizienz-Index [%]	79	93,8 \pm 10,8	93,5	284	91,9 \pm 7,7	93,5	0,2898

Tab. 48 Korrelation der subjektiven Schlafparameter mit der Entfernung und mit dem PSQI-Gesamtscore. r = Pearson Korrelationskoeffizient

Variable:	N	Entfernung		PSQI-Score	
		r	p	r	p
Basis_individuelle arithm. Mittel					
Erholsamkeit	365	-0,0265	0,6135	0,2205	< 0,0001
Einschlaflatenz [min]	365	0,0993	0,0580	0,2160	< 0,0001
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	-0,0084	0,8736	0,1917	0,0002
Gesamtschlafzeit [min]	365	0,0023	0,9652	-0,1378	0,0084
Time in Bed [min]	363	-0,0086	0,8699	0,0610	0,2394
Schlafeffizienzindex	363	0,0222	0,6732	-0,3017	< 0,0001
Basis_individuelle Mediane					
Erholsamkeit	365	-0,0099	0,8505	0,1935	0,0002
Einschlaflatenz [min]	365	0,1388	0,0079	0,2017	0,0001
Wach nach Schlafbeginn [min]	365	-0,0373	0,4777	0,1492	0,0043
Gesamtschlafzeit [min]	365	-0,0399	0,4476	-0,0929	0,0764
Time in Bed [min]	363	-0,0031	0,9533	0,0724	0,1685
Schlafeffizienzindex	363	-0,0171	0,7448	-0,3094	< 0,0001

C 5.2.2 Subjektive Schlafqualität während der Studie und weitere psychologische Einflussfaktoren

Abschließend wurde die Bedeutung psychologischer Einflussfaktoren für die subjektiven Schlafparameter noch mit einem allgemeinen linearen Modell analysiert. Als unabhängige (kontinuierliche) Einflussgrößen wurden der PSQI-Score (als Indikator der Schlafqualität vor Beginn der Studie) und die Entfernung zum Sendemast herangezogen. Die Sichtbarkeit des Sendemastes vom Bett und vom Fenster während der Studie sowie Sorgen wegen möglicher gesundheitlicher Einflüsse durch eine Mobilfunksendeanlage, Sorgen wegen möglicher gesundheitlicher Einflüsse durch den Mobilfunk (Mobilfunksendeanlagen, Handys oder Schnurlostelefone) und das Ausmaß der Beschäftigung mit dem Thema elektromagnetische Felder und Mobilfunk vor Beginn der Studie wurden als binäre Variable berücksichtigt (vgl. Fragebogen in Kap. C 1.11).

Als Zielparameter wurden die arithmetischen Mittel und die Mediane der individuellen Schlafparameter in den Nächten **ohne** Exposition herangezogen. Die in Tab. 49 - 54 dargestellten Ergebnisse belegen, dass für alle Merkmale (Ausnahme Modell mit dem Median der Gesamtschlafzeit als Zielvariable), die Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score) der wesentlichste Einflussfaktor ist. Während der PSQI-Score für die Erholsamkeit des Schlafes der einzige signifikante Einflussfaktor ist, kommt für drei („Einschlaflatenz“, „Wach nach Schlafbeginn“ und „Schlafeffizienz“) der fünf verbleibenden Parameter der Faktor „Sorgen wegen möglicher Einflüsse auf die Gesundheit durch

Mobilfunksendeanlagen“ als signifikante Einflussgröße dazu, was die Bedeutung dieses psychologischen Faktors unterstreicht. Sorgen in dieser Hinsicht hingen mit einer signifikant längeren Schlaflatenz, längeren Wachdauer nach Schlafbeginn und geringeren Schlafeffizienz zusammen. Die Einschlaf latenz variiert darüber hinaus auch signifikant mit der Entfernung zum Sendemast, sie wird mit zunehmender Entfernung vom Sendemast länger. Diese Beobachtung spricht weder für eine physiologische noch für eine psychologische Relevanz, sondern ist vermutlich am ehesten als Zufallsbefund zu bewerten.

Bei der Gesamtschlafzeit und der Bettzeit ist (neben dem PSQI-Score) von signifikanter Bedeutung, ob die Personen sich vorab mit dem Thema elektromagnetische Felder des Mobilfunks bereits beschäftigt haben oder nicht. Beschäftigung mit diesem Thema war mit einer geringeren Gesamtschlafzeit und einer geringeren Bettzeit korreliert.

Tab. 49 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Erholbarkeit des Schlafes**.

Variable:	Erholbarkeit arithm. Mittel		Erholbarkeit Median	
	r	p	r	P
Konstante	3,4430	< 0,0001	3,3308	< 0,0001
PSQI-Score	0,0351	< 0,0001	0,0426	< 0,0001
Entfernung	-0,0001	0,7582	-0,0001	0,6793
Sichtbarkeit vom Fenster	0,0210	0,7362	0,0755	0,3245
Sichtbarkeit vom Bett	-0,0090	0,9651	-0,0687	0,7861
Besorgnis wegen Sendemast	-0,0888	0,0963	-0,0956	0,1452
Besorgnis wegen Mobilfunk	-0,0148	0,7885	0,0222	0,7443
Beschäftigung mit Thema	0,0340	0,4924	0,0275	0,6505

Tab. 50 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Einschlaflatenz**.

Variable:	Einschlaflatenz arithm. Mittel		Einschlaflatenz Median	
	r	p	r	P
Konstante	2,0921	< 0,0001	1,8485	< 0,0001
PSQI-Score	0,0811	< 0,0001	0,0829	< 0,0001
Entfernung	0,0010	0,0039	0,0013	0,0001
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,0890	0,4291	-0,0855	0,4492
Sichtbarkeit vom Bett	0,2673	0,4777	0,3034	0,4075
Besorgnis wegen Sendemast	-0,1972	0,0496	-0,1960	0,0493
Besorgnis wegen Mobilfunk	-0,0983	0,3484	-0,1168	0,2583
Beschäftigung mit Thema	0,1250	0,1709	0,1211	0,1773

Tab. 51 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf **Wach nach Schlafbeginn**.

Variable:	Wach nach Schlafbeginn arithm. Mittel		Wach nach Schlafbeginn Median	
	r	p	r	P
Konstante	2,4451	< 0,0001	2,5567	< 0,0001
PSQI-Score	0,1221	< 0,0001	0,1030	< 0,0001
Entfernung	-0,0001	0,8237	0,0001	0,8360
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,2160	0,1906	-0,2883	0,0522
Sichtbarkeit vom Bett	-0,0490	0,9260	-0,1631	0,7396
Besorgnis wegen Sendemast	-0,4733	0,0023	-0,4633	0,0015
Besorgnis wegen Mobilfunk	0,1501	0,3595	0,0592	0,7005
Beschäftigung mit Thema	-0,1422	0,2944	-0,0582	0,6627

Tab. 52 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Gesamtschlafzeit**.

Variable:	Gesamtschlafzeit arithm. Mittel		Gesamtschlafzeit Median	
	r	p	r	P
Konstante	5,9846	< 0,0001	5,9922	< 0,0001
PSQI-Score	-0,0065	0,0111	-0,0040	0,1396
Entfernung	0,0001	0,7855	-0,0001	0,8661
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,0098	0,6347	-0,0158	0,4723
Sichtbarkeit vom Bett	-0,0049	0,9421	-0,0141	0,8450
Besorgnis wegen Sendemast	0,0286	0,1106	0,0273	0,1534
Besorgnis wegen Mobilfunk	-0,0058	0,7544	0,0008	0,9667
Beschäftigung mit Thema	0,0345	0,0355	0,0310	0,0753

Tab. 53 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Bettzeit**.

Variable:	Bettzeit arithm. Mittel		Bettzeit Median	
	r	p	r	P
Konstante	6,0085	< 0,0001	6,0017	< 0,0001
PSQI-Score	0,0059	0,0227	0,0068	0,0135
Entfernung	0,0001	0,8527	0,0001	0,7394
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,0105	0,6165	-0,0120	0,5898
Sichtbarkeit vom Bett	0,0078	0,9202	0,0141	0,8653
Besorgnis wegen Sendemast	-0,0163	0,3727	-0,0224	0,2476
Besorgnis wegen Mobilfunk	0,0181	0,3385	0,0246	0,2203
Beschäftigung mit Thema	0,0419	0,0121	0,0317	0,0735

Tab. 54 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Schlafeffizienz**.

Variable:	Schlafeffizienz arithm. Mittel		Schlafeffizienz Median	
	r	p	r	P
Konstante	4,6057	< 0,0001	4,5901	< 0,0001
PSQI-Score	-0,0119	< 0,0001	-0,0117	< 0,0001
Entfernung	-0,0001	0,7678	-0,0001	0,2795
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,0022	0,8836	-0,0103	0,4578
Sichtbarkeit vom Bett	-0,0294	0,5932	-0,0036	0,9439
Besorgnis wegen Sendemast	0,0416	0,0011	0,0457	0,0001
Besorgnis wegen Mobilfunk	-0,0214	0,1039	-0,0177	0,1537
Beschäftigung mit Thema	-0,0048	0,6843	-0,0038	0,7272

C 5.3 Psychologische Einflussfaktoren und objektive Schlafqualität

C 5.3.1 Einflussfaktoren Entfernung vom Sendemast und PSQI-Gesamtscore

Ausgehend von der in C 5.1.2 bereits geäußerten Überlegung, dass die schlichte Präsenz einer Basisstation möglicherweise einen psychologisch bedingten Effekt auf die Schlafqualität haben könnte, und unter der Annahme, dass dieser Effekt bei Personen, die in unmittelbarer Nähe (≤ 100 m) zur Basisstation leben, ausgeprägter ist als bei Personen, die in größerer Distanz wohnen, wurde überprüft, ob sich möglicherweise die objektive Schlafqualität in Nächten ohne Exposition zwischen den beiden auf der Basis der Entfernung definierten Gruppen unterscheidet. Zur Überprüfung dieser Hypothese wurden die aus den aufgezeichneten Schlafdaten ermittelten individuellen arithmetischen Mittelwerte und Mediane für Nächte ohne Exposition auf statistisch signifikante Unterschiede überprüft (Tab. 55).

Es zeigte sich, dass weder für den primären Zielparamester „objektive Schlafeffizienz“ noch für die sekundären Parameter „Bettzeit“, „Gesamtschlafzeit“, „Einschlaflatenzen zu den Stadien 1 und 2“, „Wachdauer in Minuten“ und „Wachanteil in % der Bettzeit“ entsprechende Verteilungsunterschiede in Abhängigkeit von der Entfernung beobachtet werden konnten (Tab. 55).

Die Ergebnisse einer korrelationsstatistischen Analyse ließen keinen Zusammenhang zwischen Indikatoren der objektiven Schlafqualität und der Entfernung des Wohnortes von Sendemast erkennen (Tab. 56). Keiner der berechneten Korrelationskoeffizienten ließ sich als statistisch signifikant von Null verschieden nachweisen und dies, obwohl bei einer Fallzahl von $n=320$ ein Korrelationskoeffizient von 0,2000 bereits statistische Signifikanz auf dem 0,1%-Niveau bei einer Power von 0,85 erreicht hätte.

Abweichend von den Ergebnissen für die subjektiven Schlafparameter ließ sich für die objektiven Schlafparameter ebenfalls kein statistischer Zusammenhang mit dem PSQI-Score erkennen. Alle Korrelationskoeffizienten waren $< 0,1000$ (Tab. 56). Dieses Ergebnis unterstreicht, dass die subjektive Schlafwahrnehmung (die sich auch im PSQI ausdrückt) kein zuverlässiger Prädiktor der objektiven Schlafdaten darstellt.

Tab. 55 Vergleich individueller Differenzen der objektiven Zielparameter zwischen Personen mit Wohndistanz ≤ 100 m und > 100 m von Basisstation entfernt

	Distanz ≤ 100 m			Distanz 101 – 500 m			Wilcoxon
Variable:	N	Mean \pm SD	Median	N	Mean \pm SD	Median	p
Basis individuelle arithmetische Mittel							
Schlafeffizienzindex	76	91,8 \pm 4,0	92,8	259	92,4 \pm 3,5	93,1	0,3105
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	76	12,9 \pm 8,7	10,7	259	12,5 \pm 9,0	9,8	0,6011
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	76	14,1 \pm 8,9	12,3	259	13,7 \pm 8,9	11,3	0,6536
Wachdauer der TIB [min]	76	28,5 \pm 16,6	23,3	259	25,5 \pm 14,9	21,8	0,1143
Wachanteil an TIB [%]	76	6,5 \pm 3,6	5,5	259	6,0 \pm 3,4	5,3	0,1628
Gesamtschlafzeit [min]	76	399,8 \pm 40,3	401,8	259	392,9 \pm 51,0	395,8	0,4671
Time in Bed [min]	76	435,7 \pm 45,0	432,0	259	425,2 \pm 54,6	433,7	0,3488
Basis individuelle Mediane							
Schlafeffizienzindex	76	92,0 \pm 4,0	93,2	259	92,8 \pm 3,5	93,7	0,1685
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	76	11,7 \pm 7,9	9,7	259	11,2 \pm 8,6	8,9	0,4561
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	76	13,1 \pm 8,2	12,0	259	12,5 \pm 8,4	10,4	0,4581
Wachdauer der TIB [min]	76	27,3 \pm 16,1	21,3	259	24,2 \pm 14,9	20,7	0,0773
Wachanteil an TIB [%]	76	6,3 \pm 3,7	5,2	259	5,6 \pm 3,3	4,9	0,0604
Gesamtschlafzeit [min]	76	398,8 \pm 45,0	399,1	259	393,8 \pm 53,6	395,0	0,5904
Time in Bed [min]	76	436,9 \pm 49,8	431,1	259	425,7 \pm 58,0	433,7	0,2760

Tab. 56 Korrelation der objektiven Schlafparameter mit der Entfernung und mit dem PSQI-Gesamtscore. r = Pearson Korrelationskoeffizient

Variable:	N	Entfernung		PSQI-Score	
		r	p	r	p
Basis_individuelle arithm. Mittel					
Schlafeffizienzindex	335	0,0103	0,8513	-0,0214	0,6970
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	335	0,0006	0,9920	0,0927	0,0902
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	335	0,0054	0,9219	0,0698	0,2029
Wachdauer der TIB [min]	335	-0,0537	0,3270	0,0208	0,7048
Wachanteil an TIB [%]	335	-0,0452	0,4098	0,0163	0,7663
Gesamtschlafzeit [min]	335	-0,0428	0,4345	0,0273	0,6185
Time in Bed [min]	335	-0,0397	0,4690	0,0407	0,4576
Basis_individuelle Mediane	335				
Schlafeffizienzindex	335	0,0286	0,6026	-0,0016	0,9773
Einschlaflatenz Stadium 1 [min]	335	-0,0166	0,7627	0,0773	0,1583
Einschlaflatenz Stadium 2 [min]	335	-0,0265	0,6286	0,0457	0,4041
Wachdauer der TIB [min]	335	-0,0638	0,2441	-0,0018	0,9740
Wachanteil an TIB [%]	335	-0,0687	0,2096	-0,0063	0,9093
Gesamtschlafzeit [min]	335	-0,0609	0,2665	0,0516	0,3461
Time in Bed [min]	335	-0,0595	0,2775	0,0607	0,2679

C 5.3.2 Objektive Schlafqualität während der Studie und weitere psychologische Einflussfaktoren

Wie für die subjektiven Schlafparameter wurde die Bedeutung psychologischer Einflussfaktoren auch für die objektiven Schlafparameter mit einem allgemeinen linearen Modell analysiert. Als unabhängige (kontinuierliche) Einflussgrößen wurden der PSQI-Score (als Indikator der Schlafqualität vor Beginn der Studie) und die Entfernung zum Sendemast herangezogen. Die Sichtbarkeit des Sendemastes vom Bett und vom Fenster während der Studie sowie Sorgen wegen möglicher gesundheitlicher Einflüsse durch eine Mobilfunksendeanlage, Sorgen wegen möglicher gesundheitlicher Einflüsse durch den Mobilfunk allgemein (Mobilfunksendeanlagen, Handys oder Schnurlostelefone) und das Ausmaß der Beschäftigung mit dem Thema elektromagnetische Felder und Mobilfunk vor Beginn der Studie wurden als binäre Variable berücksichtigt (vgl. Fragebogen in Kap. C 1.11).

Als Zielparameter wurden die arithmetischen Mittel und die Mediane der individuellen Schlafparameter in den Nächten ohne Exposition herangezogen. Die in Tab. 57 - 63 dargestellten Ergebnisse unterstreichen, dass die über den PSQI erfasste subjektive Schlafqualität für objektive Schlafparameter als Einflussfaktor von deutlich geringerer Bedeutung ist. Der PSQI ist lediglich für die Einschlaflatenzen (Stadium1: arithmetisches Mittel und Median – Tab. 58, Stadium 2: arithmetisches

Mittel – Tab. 59) bedeutsam: mit steigendem PSQI-Wert, indikativ für abnehmende Schlafqualität, nimmt die objektive Einschlafzeit zu. Für beide Einschlafzeiten ist der PSQI-Wert die einzig signifikante Einflussgröße.

Für die Schlaffeffizienz (Tab. 57) und die Wachdauer in Minuten (Tab. 60) ließ sich im allgemeinen linearen Modell konsistent für das arithmetische Mittel und den Median ein signifikanter Einfluss des Faktors „Besorgnis wegen Sendemast“ nachweisen. Die Wachdauer in Minuten ist bei Personen, die sich ziemliche bzw. starke Sorgen machen, um 3,9 Minuten (arithmetisches Mittel) bzw. 4,5 Minuten (Median) höher als bei Personen, die sich nur wenig bzw. gar keine Sorgen machen. Die Schlaffeffizienz war bei diesen Personen um 0,8% (arithmetisches Mittel) bzw. 1,0% niedriger.

Das allgemeine lineare Modell für Einflussfaktoren auf die aus den individuellen Daten berechneten individuellen Mediane des Wachanteils (in % der Bettzeit) ergab einen signifikanten Effekt der Faktoren „Besorgnis wegen Sendemast“ und „Besorgnis wegen Mobilfunk“ (Tab. 61). Der Wachanteil ist bei Personen, die sich starke oder ziemlich Sorgen wegen möglicher Einflüsse von Mobilfunksendeanlagen auf die Gesundheit machen um 0,82% größer (Mediane: 6,26% vs. 5,44%). Im Gegensatz dazu ist der Wachanteil, bei Personen, die sich starke oder ziemliche Sorgen wegen elektromagnetischer Felder im Allgemeinen (Mobilfunksendeanlagen, Handys oder schnurlose Telefonen) machen, um 0,1% niedriger als bei Personen, die sich wenig bzw. gar keine Sorgen machen. Da die Veränderungen im Wachanteil nur den Median betreffen, widersprüchlich und v.a. die letztere Differenz so gering ist, sind diese weder physiologisch bedeutsam noch eindeutig interpretierbar.

Für die Gesamtschlafzeit und die Bettzeit erwies sich lediglich die vorherige Beschäftigung mit dem Thema als relevante Einflussgröße, wobei dies allerdings jeweils nur für das aus den Individualdaten berechnete arithmetische Mittel gilt (Tab. 62, Tab. 63). Diejenigen, die sich vorab mit dem Thema etwas oder viel beschäftigt haben, haben eine um 11,8 Minuten geringere Gesamtschlafzeit und eine um 12,4 Minuten kürzere Bettzeit als Personen, die sich vor der Befragung noch nie oder nur wenig mit dem Thema beschäftigt haben.

Tab. 57 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Schlafeffizienz**.

Variable:	Schlafeffizienz arithm. Mittel		Schlafeffizienz Median	
	r	p	r	p
Konstante	92,5289	< 0,0001	92,4191	< 0,0001
PSQI-Score	-0,1019	0,1791	-0,7081	0,2955
Entfernung	-0,0005	0,7915	-0,0002	0,9029
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,2471	0,6726	-0,1511	0,7930
Sichtbarkeit vom Bett	0,2869	0,8791	0,2888	0,8765
Besorgnis wegen Sendemast	1,1432	0,0267	1,5355	0,0025
Besorgnis wegen Mobilfunk	-0,5658	0,2891	-0,9153	0,0816
Beschäftigung mit Thema	-0,0705	0,8828	0,1799	0,7025

Tab. 58 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Einschlaf latenz Stadium 1**.

Variable:	Einschlaf latenz Stadium 1 arithm. Mittel		Einschlaf latenz Stadium 1 Median	
	r	p	r	P
Konstante	3,8355	0,4163	3,3646	0,4505
PSQI-Score	0,4148	0,0260	0,3570	0,0426
Entfernung	0,0041	0,3480	0,0034	0,4182
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,4896	0,7333	-0,5607	0,6797
Sichtbarkeit vom Bett	5,4260	0,2418	5,5380	0,2062
Besorgnis wegen Sendemast	-0,9204	0,4677	-1,9183	0,1093
Besorgnis wegen Mobilfunk	0,6923	0,5976	1,0847	0,3815
Beschäftigung mit Thema	1,3392	0,2546	1,2545	0,2588

Tab. 59 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Einschlaflatenz Stadium 2**.

Variable:	Einschlaflatenz Stadium 2 arithm. Mittel		Einschlaflatenz Stadium 2 Median	
	r	p	r	P
Konstante	5,3082	0,2557	5,6978	0,1979
PSQI-Score	0,3896	0,0346	0,3307	0,0584
Entfernung	0,0043	0,3265	0,0024	0,5588
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,6684	0,6383	-0,8912	0,5084
Sichtbarkeit vom Bett	5,6576	0,2175	5,2316	0,2289
Besorgnis wegen Sendemast	-0,9394	0,4540	-1,9650	0,0984
Besorgnis wegen Mobilfunk	0,6813	0,5997	1,2497	0,3097
Beschäftigung mit Thema	1,0326	0,3748	0,9798	0,3742

Tab. 60 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Wachdauer (min)**.

Variable:	Wachdauer (min) arithm. Mittel		Wachdauer (min) Median	
	r	p	r	P
Konstante	25,6693	0,0015	25,1744	0,0016
PSQI-Score	0,3259	0,3069	0,3067	0,3316
Entfernung	0,0009	0,9072	0,0004	0,9552
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,6308	0,7976	-0,8438	0,7290
Sichtbarkeit vom Bett	-0,2191	0,9780	0,1310	0,9867
Besorgnis wegen Sendemast	-5,9495	0,0061	-6,8883	0,0013
Besorgnis wegen Mobilfunk	3,1387	0,1622	4,0005	0,0720
Beschäftigung mit Thema	1,1992	0,5512	0,2142	0,9144

Tab. 61 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf den **Wachanteil (% TIB)**.

Variable:	Wachzeit (% TIB) arithm. Mittel		Wachzeit (% TIB) Median	
	r	p	r	P
Konstante	6,2589	0,0006	5,8052	0,0011
PSQI-Score	0,0679	0,3444	0,0550	0,4346
Entfernung	0,0002	0,9021	-0,0003	0,8579
Sichtbarkeit vom Fenster	-0,0959	0,8625	-0,1573	0,7718
Sichtbarkeit vom Bett	-0,2836	0,8739	0,1624	0,9260
Besorgnis wegen Sendemast	-0,9503	0,0517	-1,4184	0,0030
Besorgnis wegen Mobilfunk	0,4784	0,3437	1,0552	0,0331
Beschäftigung mit Thema	0,1429	0,7524	-0,1650	0,7100

Tab. 62 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: nicht sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: nicht sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Gesamtschlafzeit**.

Variable:	Gesamtschlafzeit arithm. Mittel		Gesamtschlafzeit Median	
	r	p	r	P
Konstante	383,4150	<0,0001	392,4226	<0,0001
PSQI-Score	0,6341	0,5326	1,2810	0,2361
Entfernung	-0,0034	0,8869	-0,0062	0,8083
Sichtbarkeit vom Fenster	-13,7608	0,0791	-14,2563	0,0873
Sichtbarkeit vom Bett	13,4747	0,5940	5,6632	0,8333
Besorgnis wegen Sendemast	-1,5794	0,8193	-1,5805	0,8299
Besorgnis wegen Mobilfunk	-4,1897	0,5580	-0,5192	0,9456
Beschäftigung mit Thema	13,8445	0,0308	6,8406	0,3159

Tab. 63 Ergebnisse (r = Regressionskoeffizient; p = Irrtumswahrscheinlichkeit von r) der Analyse des Einflusses der Schlafqualität vor Beginn der Studie (PSQI-Score), der Entfernung der Wohnung vom Sendemast, der Sichtbarkeit des Mastes vom Fenster (Default: nicht sichtbar), der Sichtbarkeit des Mastes vom Bett (Default: nicht sichtbar), Besorgnis wegen einer Mobilfunksendeanlage (Default: ziemliche bis starke Sorgen), Besorgnis wegen des Mobilfunks allgemein (Default: ziemliche bis starke Sorgen) und Beschäftigung mit dem Thema (Default: etwas bis viel beschäftigt) mittels eines allgemeinen linearen Modells (GENMOD) auf die **Bettzeit**.

Variable:	Bettzeit arithm. Mittel		Bettzeit Median	
	r	p	r	P
Konstante	413,8903	<0,0001	420,9336	<0,0001
PSQI-Score	1,1561	0,2907	1,8724	0,1107
Entfernung	-0,0017	0,9470	-0,0066	0,8116
Sichtbarkeit vom Fenster	-13,0544	0,1218	-14,7183	0,1039
Sichtbarkeit vom Bett	13,6022	0,6173	9,8110	0,7369
Besorgnis wegen Sendemast	-8,8232	0,2359	-8,4631	0,2892
Besorgnis wegen Mobilfunk	-0,4794	0,9504	0,7734	0,9254
Beschäftigung mit Thema	14,9294	0,0306	8,6933	0,2404

Zusammenfassend lässt sich damit festhalten, dass sich psychologisch interpretierbare Einflussfaktoren wie die Besorgnis und die Beschäftigung mit dem Thema elektromagnetische Felder des Mobilfunks in der subjektiven und objektiven Schlafqualität niederschlagen.

Die Sorge um mögliche Einflüsse auf die Gesundheit durch Mobilfunksendeanlagen führte sowohl subjektiv als auch objektiv zu einer geringeren Schlafeffizienz. Damit verbunden war auch eine erhöhte subjektive wie objektive Wachdauer (in Minuten). Eine dazu im Widerspruch stehende Abnahme des Wachanteils, wenn sich die Sorge neben Mobilfunksendeanlagen auch auf Handys und schnurlose Telefone bezog, muss aber aufgrund der geringen Differenz der Mediane von 0,1% zwischen dem Wachanteil besorgter und nicht-besorgter Personen und der fehlenden Signifikanz im Mittelwert am ehesten als statistischer Zufall gewertet werden. Die subjektive Einschlafzeit verlängerte sich mit zunehmender Entfernung vom Sendemast. Diese knapp signifikante Beobachtung dürfte auch aufgrund fehlender physiologischen und psychologischer Relevanz ebenfalls am ehesten als Zufallsbefund zu bewerten sein.

Subjektiv führte die Sorge um die Gesundheit hervorgerufen durch Mobilfunkanlagen zu einer längeren Einschlafzeit, die objektiv allerdings keine Entsprechung fand.

Die Beschäftigung mit dem Thema elektromagnetische Felder des Mobilfunks variierte bezüglich des Mittelwerts sowohl subjektiv als auch objektiv mit der Bettzeit und Gesamtschlafzeit: Personen, die sich mit dem Thema vor Beginn der Studie mit dem Thema noch nie oder nur wenig beschäftigt

hatten, wiesen eine längere Bettzeit und Gesamtschlafzeit auf als jene, die sich etwas bzw. viel mit dem Thema auseinandergesetzt hatten.

Der PSQI-Gesamtwert, welcher die subjektive Schlafqualität zeitlich nahe zum Beginn der Studie erfasste, korrelierte mit sämtlichen subjektiven Schlafparametern während der Studie bis auf die subjektive Bettzeit und mit keiner einzigen objektiven Variable. Im linearen Modell unter Berücksichtigung aller psychologischer Einflussfaktoren variierte der PSQI - Gesamtwert auch mit der subjektiven Bettzeit dahingehend, dass eine schlechtere Schlafqualität im PSQI mit einer längeren Bettzeit zusammenhing. Die Anwendung des linearen Modells auf die objektiven Schlafparameter zeigte lediglich für die Schlaflatenzen zu den Stadien 1 und 2 eine Zunahme der Latenzen bei gleichzeitiger Abnahme der Schlafqualität.

C 6 Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Studie wurde in zehn deutschen Orten, die über keine Mobilfunkversorgung verfügen, für die Dauer von zwei Wochen eine mobile Basisstation errichtet, um mögliche physiologische - durch die erzeugten elektromagnetischen Felder (GSM) - und psychologische Effekte - durch die Anwesenheit der Sendeanlage - auf die Schlafqualität zu untersuchen. Dazu wurden die Teilnehmer in einem doppelblinden placebo-kontrollierten Design im Zeitraum von zwei Wochen während fünf Nächte in randomisierter Form exponiert und während sieben Nächte (davon zwei Adaptationsnächte) scheinexponiert. Alle Teilnehmer füllten zu Beginn Fragebögen zu subjektiver Schlafqualität (Pittsburgh Sleep Quality Index), Schlafstörungen (Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen), Tagesschläfrigkeit (Epworth Schläfrigkeitsskala), Fragebogen zur Morgen- und Abendtypbestimmung, Selbstbeurteilungsskalen zu Depression und Angst (Zung), Persönlichkeit (Fünf-Faktoren Persönlichkeitsinventar) und Einstellung zu Mobilfunk (infas Fragebogen) aus. Die Exposition (u.a. Feldstärkepegel) in den Schlafzimmern der Teilnehmer wurde vorzugsweise am Kopfende des Bettes gemessen. Während des Untersuchungszeitraums von zwei Wochen wurden alle Probanden in zwölf Nächten zuhause ambulant polygraphiert. Die erste und die siebte Nacht (jeweils Sonntag auf Montag) dienten der Adaptation und gingen nicht in die Auswertung ein. Parallel zur Messung der objektiven Schlafqualität wurde die subjektive Schlafqualität mittels Abend- und Morgenprotokollen von den Teilnehmern täglich ausgefüllt. Aus diesen Protokollen wurden zusätzlich zur Bewertung der subjektiven Schlafqualität Informationen über mögliche Einflussfaktoren auf die Schlafqualität entnommen.

Insgesamt nahmen 397 Personen initial an der Studie teil. Davon schieden 21 wegen unterschiedlicher Gründe (z.B. beruflich, Krankheit, Unverträglichkeit der Elektroden) aus der Studie vorzeitig aus. Von den verbliebenen 376 waren 191 Frauen und 185 Männer, überwiegend im mittleren Alterssegment (30-60 Jahre). Die Gesamtgruppe war hinsichtlich der Fragebogen zur Schlafqualität, Schlafstörungen, Tagesschläfrigkeit, Depression und Angst, Morgen- und Abendtyps, Persönlichkeitsfaktoren und Einstellung zu Mobilfunks repräsentativ für die Allgemeinbevölkerung (im Vergleich zu verfügbaren Normwerten).

Die primären Zielparameter waren die objektive und subjektive Schlafeffizienz, welche als Index aus dem Verhältnis der Zeit, in der geschlafen wurde, zu der im Bett verbrachten Zeit („Licht aus“ bis „Licht an“) abzüglich der Wachzeiten berechnet wurde.

Als sekundäre Parameter wurden zur Erfassung der subjektiven Schlafqualität die „Erholsamkeit“ am Morgen, die „subjektive Einschlaf latenz“, die nächtliche „Wachdauer“ (geschätzt in Minuten), die „Gesamtschlafzeit“ (geschätzt abzüglich der nächtlichen Wachzeiten) und die „Bettzeit“ (von „Licht aus“ bis „Licht an“) erhoben. Als sekundäre objektive Parameter wurden die „Latenz zu Stadium 1“ und die „Latenz zu Stadium 2“, die „Wachdauer“ (in Minuten), „der Wachanteil“ (Prozent der Gesamtschlafzeit), die „Gesamtschlafzeit“ und die „Bettzeit“ herangezogen.

Die Vergleiche der individuellen Mittelwerte auf Gruppenniveau zeigten weder einen Unterschied in den objektiven noch in den subjektiven primären und sekundären Zielparametern zur Erfassung der Schlafqualität. Lediglich eine Person erwies sich in der Analyse der Gruppenmittelwerte als Ausreißer mit verlängerten subjektiven Schlaflatenzen unter Exposition, auf der Ebene der individuellen Analyse unterschieden sich die subjektiven Schlafparameter zwischen beiden Expositionsbedingungen jedoch nicht signifikant. Objektiv standen aufgrund wiederholter Bedienungsfehler des Gerätes durch diesen Probanden nur 5 Nächte zur Verfügung, die wegen äußerst schlechter Datenqualität ebenfalls nicht analysiert werden konnten.

Bei Betrachtung der Differenzen der Mittelwerte zwischen Verum- und Scheinexposition auf der individuellen Ebene, zeigten sich signifikante Unterschiede bei 36 Personen in der objektiven Schlafqualität und bei 57 in der subjektiven Schlafqualität. Weder für die objektive noch für die subjektive Schlafqualität überschritt die Häufigkeit signifikanter Ergebnisse der untersuchten Merkmale die bei multiplem Testen per Zufall zu erwartende Häufigkeit.

Eine Einzelfallanalyse unter Zuhilfenahme der Abend- und Morgenprotokolle brachte bei 50 der 57 Personen sehr deutliche Hinweise auf Einflussfaktoren, die unabhängig von der Expositionsbedingung waren und die zu Unterschieden in den subjektiven Parametern zwischen den Bedingungen beigetragen haben können. In der Fallanalyse der objektiven Schlafqualität mussten bei 32 der 36 Personen Angaben aus den Abend- und Morgenprotokollen berücksichtigt werden, die ebenfalls mit hoher Wahrscheinlichkeit Unterschiede zwischen den Expositions- und den Scheinexpositions Nächten verursacht haben.

Insgesamt wurden bei 49 Individuen Verbesserungen (objektive Schlafqualität: 15; subjektive Schlafqualität: 34) und bei 44 Verschlechterungen (objektive Schlafqualität: 21; subjektive Schlafqualität: 23) unter Exposition beobachtet. Elf Probanden zeigten sowohl in der subjektiven als auch in der objektiven Schlafqualität Unterschiede zwischen den Expositionsbedingungen, sieben in Form einer Verbesserung und drei in Form einer Verschlechterung der untersuchten Parameter. Nur bei einer Person (Pbd. 52) hing eine „negative“ Veränderung in der objektiven Schlafqualität (geringere Bettzeit) mit einer „positiven“ Veränderung in der subjektiven Schlafqualität (höhere Schlaffeffizienz) zusammen.

In den Abend- und Morgenprotokollen war ein schlechter Schlaf in Nächten mit Exposition signifikant seltener (41.9%) als in Nächten ohne Exposition (46.0%). Dieses Ergebnis spiegelt sich auch in der Einzelfallanalyse wider, in der die Parameter zur Beschreibung der subjektiven Schlafqualität bei insgesamt 59,2% unter Exposition eine Verbesserung aufwiesen und nur bei 40,8% unter Scheinexposition.

Der Einflussfaktor „Alkohol“, welcher im Abendprotokoll erfasst wurde und den Konsum alkoholischer Getränke für den Zeitraum von vier Stunden vor dem Schlafengehen erhoben hatte, führte bei mehreren Versuchspersonen zu höheren Wachanteilen bzw. zu einer geringeren Schlaffeffizienz. Von

Alkohol ist bekannt, dass er (bei nicht chronischem Gebrauch) zwar eine einschläffördernde Wirkung hat, allerdings im Verlauf der Nacht das Durchschlafen empfindlich stören kann und zu einer Zunahme der Wachzeit führt. Weitere Einflussfaktoren, die zufallsbedingt vor bzw. in Expositions Nächten häufiger oder weniger oft als in Scheinexpositions Nächten genannt wurden, waren „Tagschlaf“, Einnahme von „Medikamenten“ mit zentralnervöser Wirkung oder Nebenwirkungen, „Konsum koffeinhaltiger Getränke“, „geistige und seelische Belastung“, „nicht Abschalten können“, sowie „positive und negative Ereignisse“.

Bei Berücksichtigung der Feldstärkepegel zeigte sich kein Zusammenhang von Verbesserungen oder Verschlechterungen der objektiven oder subjektiven Schlafqualität in einer der vier Feldstärkepegel-Gruppen (Quartile).

Die vorliegenden Ergebnisse liefern damit keinen Anhalt für eine Beeinflussung der Schlafqualität durch Mobilfunkbasisstationen auf physiologischer Ebene, da sich keine signifikanten Unterschiede auf Gruppenebene in sämtlichen Zielparametern der objektiven und subjektiven Schlafqualität zeigen und die (statistisch betrachtet) geringe Anzahl an Personen, die zwischen den Bedingungen signifikante Unterschiede in (mindestens) einem Parameter aufwiesen, kein einheitliches Bild liefert. Es waren dabei annähernd gleich viele Verbesserungen als auch Verschlechterungen unter Exposition zu beobachten, die zusätzlich unabhängig von der Größe des Feldstärkepegels waren.

Laborstudien, die Effekte auf die objektive und subjektive Schlafqualität durch Simulation von Signalen von Basisstationen untersuchten, kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen: während Studien aus der Schweiz (Borbély et al. 1999, Huber et al. 2000, 2003) v.a. einen schlafanstoßenden Effekt in Form einer reduzierten Wachdauer nach Schlafbeginn bei GSM 900MHz bei jungen Männern fanden und einen Anstieg der Spektralpower im NREM-Schlaf, konnte eine deutsche Studie unter Applikation von 1736 Hz gepulsten GSM 1800 MHz Basisstationssignalen keine Effekte auf die Ergebnisse der visuellen Auswertung oder der Powerspektren finden (Hinrichs et al. 2005). Solche detaillierten Analysen der Schlaf-EEGs waren in der vorliegenden Studie aufgrund der ambulanten Methode der Schlafaufzeichnung und der damit verbundenen Limitierung an Kanälen, sowie der Fülle an Daten (über 4400 PSGs), die nicht alle visuell gescort werden konnten, nicht möglich. Eine schlafanstoßende Wirkung in Form reduzierter Wachzeiten konnte aber nicht bestätigt werden.

Auf psychologischer Ebene wurde, ausgehend von der Überlegung, dass die schlichte Präsenz einer Basisstation möglicherweise einen Effekt auf die Schlafqualität haben könnte, die subjektive Schlafqualität für Nächte ohne Exposition von Personen, die in unmittelbarer Nähe (≤ 100 m) zur Basisstation lebten, mit jener von Personen, die weiter entfernt wohnten (101 – 500 m) verglichen. Es zeigte sich lediglich für die „subjektive Gesamtschlafzeit“ (Basis Mediane) und die „subjektive Einschlaf latenz“ (Basis arithmetisches Mittel und Mediane) ein signifikanter Unterschied. Abweichend von der Hypothese eines schlechteren Schlafes in größerer Nähe zur Basisstation war die subjektive Einschlaf latenz in dieser Gruppe um ca. 3 Minuten kürzer und die subjektive Gesamtschlafzeit um 15 bzw. 25 Minuten länger. Eine entsprechend signifikante positive Korrelation zwischen Entfernung und

Einschlaflatenz ($r = 0,1388$; $p = 0,0079$) in Scheinexpositionsnächten kann - wie auch das zuvor geschilderte Ergebnis – am ehesten als Zufallsergebnis gewertet werden. Diese Annahme wird auch dadurch bestätigt, dass sich die objektiven Schlafparameter zwischen den beiden Gruppen mit unterschiedlicher Entfernung vom Sendemast nicht unterschieden und kein einziger objektiver Schlafparameter mit dem Maß der Entfernung korrelierte.

Auch die bloße Sichtbarkeit der Sendeanlage vom Fenster oder vom Bett aus stellte keinen Einflussfaktor auf die Zielparameter der objektiven und subjektiven Schlafqualität dar. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, dass nur vier (1,1%) der Studienteilnehmer den Sendemast von ihrem Bett aus sehen konnten. Vom Fenster des Schlafzimmers aus konnten 47 (12,5%) der Studienteilnehmer den Sendemast uneingeschränkt und 6 (1,6%) eingeschränkt sehen.

Die subjektive Schlafqualität, die vor Beginn der Studie in Form des PSQI erhoben wurde, war hingegen mit allen Parametern der subjektiven Schlafqualität während der Scheinexpositionsnächte bis auf die Bettzeit signifikant korreliert: ein höherer Gesamtscore (= schlechtere Schlafqualität) hing mit einer geringeren Erholbarkeit, mit einer längeren Einschlaflatenz, mit längeren nächtlichen Wachzeiten und mit einer geringeren Gesamtschlafzeit und Schlafeffizienz zusammen. Im Gegensatz dazu korrelierten die Parameter zur Erfassung der objektiven Schlafqualität nicht mit dem PSQI-Gesamtwert.

In der vorliegenden Studie konnten eindeutige Effekte allein durch die Existenz einer Mobilfunkbasisstation verbunden mit der Besorgnis über mögliche gesundheitliche Risiken auf den primären objektiven und subjektiven Schlafparameter „Schlafeffizienz“ und die sekundären Zielparameter objektive und subjektive „Wachdauer nach Schlafbeginn“ und „subjektive Einschlaflatenz“ nachgewiesen werden. Diese Parameter waren bei größerer Besorgnis signifikant negativ beeinflusst. Da die Daten dieser Analyse aus Scheinexpositionsnächten stammen, in denen die Teilnehmer nicht exponiert waren, können physiologische Effekte ausgeschlossen werden. Auf eine weitere Frage zum Ausmaß von Sorgen, die den Mobilfunk allgemein (Mobilfunksendeanlagen, Handys und schnurlose Telefone gleichermaßen) betrifft, konnten keine Effekte auf die subjektiven Parameter gefunden werden. Objektiv betrachtet variierte diese Art der Sorge ausschließlich mit dem Median des Wachanteils in Prozent, wobei Personen mit ziemlich oder stark ausgeprägten Sorgen um 0,1% weniger Wachanteil aufwiesen als jene, die sich wenig oder gar nicht sorgten. Da dieses Ergebnis aufgrund der physiologischen Bedeutungslosigkeit und des nicht signifikanten Unterschiedes zwischen den Mittelwerten als statistischer Zufallsbefund gewertet wurde, lassen sich die Ergebnisse dahingehend interpretieren, dass die Sorge sehr spezifisch gegenüber Mobilfunksendeanlagen zum Tragen kam.

Diese Annahme wird durch zahlreiche Umfragestudien unterstützt, in denen wiederholt Schlafstörungen als häufigste Beschwerde im Zusammenhang mit Mobilfunkbasisstationen genannt wurden (vgl. Rössli et al. 2004; Santini et al. 2002, 2003; Schreier et al. 2006 bei „Hypersensitiven“) oder als zweithäufigste gesundheitliche Beeinträchtigung (infas 2004, 2005, 2006) erhoben wurden.

Personen, die angaben, sich bis zum Beginn der Studie „etwas“ oder „viel“ mit dem Thema elektromagnetische Felder im Zusammenhang mit Mobilfunk beschäftigt hatten, wiesen im linearen Modell sowohl subjektiv als auch objektiv eine geringere Bett- und Gesamtschlafzeit auf. Da die Dauer der Zeit, die im Bett verbracht wurde im wesentlichen von den Anforderungen des vorangegangenen und nachfolgenden Tages abhängt und die subjektive Gesamtschlafzeit mit der subjektiven Bettzeit hoch korreliert ist ($r = 0,7660$; $p < 0,0001$), sind diese beiden Maße allein nicht geeignet, um den qualitativen Aspekt des Schlafs zu beurteilen. Wie auch in der Einzelfallanalyse der subjektiven und objektiven Schlafparameter zu sehen war, kann eine reduzierte Bettzeit zu einer geringeren Wachzeit und damit zu einer höheren Schlafeffizienz führen. Dieses Phänomen wird auch in der Therapie der Insomnie (=„Schlaflosigkeit“ bzw. Ein- oder/ und Durchschlafstörung) zunutze gemacht, indem eine Verkürzung der Bettzeit zu einer höheren Schlafeffizienz führen soll im Gegensatz zu einer längeren Bettzeit mit entsprechend höherem Anteil an Wachzeiten. Darüber hinaus konnte auf der Ebene des PSQI gezeigt werden, dass mit zunehmend schlechter Schlafqualität vor Beginn der Studie eine geringere Gesamtschlafzeit sowie eine geringere Schlafeffizienz während der Studie zu beobachten war, jedoch keine signifikante Korrelation mit der Bettzeit. Der Zusammenhang war für die Schlafeffizienz am stärksten ausgeprägt, was die Bedeutung dieses Zielparameters für die Analyse eines möglichen Zusammenhangs mit EMF-Exposition unterstreicht. Da aber im GENMOD Modell die Beschäftigung mit dem Thema „EMF und Mobilfunk“ weder die subjektive noch objektive Schlafeffizienz noch die subjektiven und objektiven Einschlafzeiten und Wachzeiten beeinflusste, und die reine Beschäftigung mit dem Thema nichts über die Richtung der Einstellung oder eventuelle Besorgnis aussagt, kann das Ergebnis nicht eindeutig interpretiert werden.

Da dies die erste doppel-blinde placebo-kontrollierte Studie ist, die den Einfluss einer Mobilfunkbasisstation unter häuslichen Bedingungen in einer großen repräsentativen Gruppe der deutschen Allgemeinbevölkerung untersucht hat, ist ein direkter Vergleich mit bisherigen Studien nur mit Einschränkungen möglich. Eine Studie von Leitgeb et al. (2007) untersuchte 44 elektrosensible Personen in ihrer häuslichen Umgebung, die alle über Schlafstörungen klagten und diese auf „Elektrosmog“ u.a. von Mobilfunksendeanlagen zurückführten. Die Erfassung der Schlafstörung erfolgte anhand der subjektiven Angaben der Teilnehmer und mittels Pittsburgh Schlafqualitätsindex. Die Schlafstörungen wurden allerdings nicht polygrafisch diagnostiziert (z.B. hinsichtlich Atmungsstörungen, Beinbewegungen, insomnischer Beschwerden). Auf die Frage nach aktuellen Gesundheitsbeschwerden gaben nur 48% Schlafstörungen als derzeitiges Problem an, aber 82% nannten Schlafstörungen als Beschwerde, die sie durch Elektrosmog erlitten. In randomisierter Reihenfolge wurden die Teilnehmer jeweils drei Nächte unter drei verschiedenen Bedingungen untersucht: abgeschirmt (unter „Elektrosmog“-Schirm), schein-abgeschirmt (unter „Sham-Schirm“) und ohne Schirm. Die subjektive Schlafqualität (Fragebogen von Saletu et al., 1987) verbesserte sich mit zunehmender Immissionsstärke statistisch nicht signifikant, und es zeigte sich kein Zusammenhang bezüglich des vom Mobilfunk stammenden Immissionsanteils und der subjektiven Schlafqualität. Bei neun Prozent der Probanden führte eine Verringerung des „Elektrosmogs“ zu verlängerten Einschlafzeiten (Licht aus bis zum ersten Stadium 1, 2 oder 3). In der hier präsentierten Studie war die Einschlafzeit zu Stadium 1 bei zwei Personen unter Verum-Exposition kürzer und bei vier unter

Scheinexposition kürzer (entspricht insgesamt 1,8% der Gesamtgruppe). Die Latenz zu Stadium 2 war bei drei Teilnehmern unter Verum-Exposition kürzer, bei vier unter Scheinexposition (entspricht insgesamt 2,1% der Gesamtgruppe).

In einer Feldstudie zum Einfluss von Mobilfunkbasisstationen auf die Gesundheit und das Wohlbefinden an insgesamt 365 Personen (59% Frauen) im Alter von 18 bis 91 Jahren aus 10 österreichischen Standorten (je fünf in Wien und in einer ländlichen Region), die über Antennen im 900 MHz Betrieb verfügten und die seit mindestens zwei Jahren in Betrieb waren, wurde ebenfalls der Pittsburgh Schlafqualitätsindex zur Erfassung der Schlafqualität eingesetzt (Hutter et al 2002, 2006). Neben Immissionsmessungen in den Schlafzimmern der Teilnehmer mit einem Spektrumanalyzer wurden auch kognitive Tests am Computer durchgeführt. Während die kognitive Leistung nicht signifikant beeinflusst war, zeigte sich ein signifikanter Effekt der GSM Immission auf kardiovaskuläre Beschwerden. Die Faktoren Alter und Bedenken gegenüber Basisstationen hinsichtlich gesundheitlicher Risiken hatten signifikante Effekte auf den PSQI, während der Einfluss der GSM-Immission nicht signifikant war.

Diese Ergebnisse sind mit denen der vorliegenden Studie vereinbar, wonach nicht die Exposition an sich die Schlafqualität messbar beeinflusst, sondern eher Bedenken gegenüber der möglichen gesundheitlichen Folgen, die von Mobilfunksendeanlagen ausgehen könnten. Dieser Nocebo-Effekt, der nachteilige Symptome durch Erwartungshaltungen infolge von z.B. Sorgen (Neubauer et al. 2005) beinhaltet, wurde in ähnlicher Weise von Heinrich et al. (2007) berichtet. Sie fanden einen Zusammenhang zwischen der Vermutung, dass eine UMTS-Basisstation in unmittelbarer Umgebung des Arbeitsplatzes von 95 Personen in Betrieb sei und der Äußerung von schlechterem Befinden am Tage im Gegensatz zu Tagen, an denen kein Betrieb der Anlage angenommen wurde. Es zeigte sich kein Zusammenhang mit der tatsächlichen Exposition.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die vorliegende Studie keine Hinweise auf physiologische (Kurzzeit-)Effekte einer Mobilfunkbasisstation auf die objektive und subjektive Schlafqualität in einer großen repräsentativen Bevölkerungsgruppe gefunden hat. Im Gegensatz dazu führte die Sorge um die Gesundheit zu einer signifikant schlechteren Schlafqualität, obwohl die Anlage nicht in Betrieb war.

D Literatur

- Abdel-Rassoul G, OA El-Fateh, MA Salem, A Michael, F Farahat, M El-Batanouny M and Salem E 2007: Neurobehavioral effects among inhabitants around mobile phone base stations. - *Neurotoxicology* 28(2), 434-40.
- Achermann P 2003: Effect of RF EMF of type GSM on sleep and the sleep EEG. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , pres_Achermann.pdf.
- Ahlbom A 2005: Studies on base stations and other telecommunication towers. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/ahlbom_bsw.pdf.
- Altpeter E, M Rössli, T Abelin 2003: Studies on the short-wave broadcasting station Schwarzenburg: What did we learn? - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 03.pres_Altpeter.pdf.
- American Academy of Sleep Medicine 2nd ed. 2005: ICSD-2 – International Classification of Sleep Disorders.
- American Psychiatric Association 2000: Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders DSM-IV-TR (Text Revised), Washington.
- Ardoino L, E Barbieri and P Vecchia 2004: Determinants of exposure to electromagnetic fields from mobile phones. – *Rad. Protect. Dosimetry* 111, 403-406.
- Backhaus J, K Junghanns, A Broocks, D Riemann and F Hohagen 2002. Test-retest reliability and validity of the Pittsburgh Sleep Quality Index in primary insomnia. – *J. Psychosomatic Res.* 53, 737-740.
- Barnett J 2005: Understanding public responses to precautionary action and device. - Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/barnett_bsw.pdf.
- Bayrisches Landesamt für Umweltschutz 2004: EMF-Monitoring in Bayern. Messungen der elektromagnetischen Felder (EMF) in Wohngebieten.
- Berg G, J Breckenkamp, M Blettner, J Schüz, B Schehofer, J Wahrendorf, P Potthoff, E Schroeder und U Reis 2004: Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher

- Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen. – Zwischenbericht zum Abschluss der Pilotphase. - http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_verg/epi_020.html.
- Berg G, J Breckenkamp, M Blettner, J Schüz, B Schehofer, J Wahrendorf, P Potthoff, E Schroeder und U Reis 2006: Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen. Zwischenbericht zum Abschluss der Basiserhebung. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/epidemiologie/epidemiologie_verg/epi_020.html.
- Berger H 1929: Über das Elektroenkephalogramm des Menschen. – Arch. Psychiat. Nervenkrankh 87, 527-570.
- Berz R, Th Dierks, A Federspiel, Th König and H Lehmann 2003: Compared effects of GSM, UMTS, DECT and WLAN exposition on cerebral functions, signal perception and response. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 17.pres_Berz.pdf.
- Borbély AA, R Huber, T Graf, B Fuchs, E Gallmann and P Achermann 1999: Pulsed high-frequency electromagnetic field affects human sleep and sleep electroencephalogram. - Neuroscience Letters 275, 207-210.
- Borkenau P und F Ostendorf 1993. NEO-Fünf-Faktoren Inventar (NEO-FFI) nach Costa und McCrae. Handanweisung. Göttingen: Hogrefe.
- Bornhausen M, M. Stangassinger, M. Erhard, M. Stohrer, J. Detlefsen, S. Schelkshorn, J. Eberle, O. Petrowicz 2003: Detecting and analyzing eventual cognitive, biochemical, and immunological consequences of chronic exposure to electromagnetic GSM- and UMTS-fields of mobile communication in three generations of rats. Research Project. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , pres_Bornhausen.pdf.
- Bornkessel C, M Schubert und M Wuschek 2005: Bestimmung der realen Feldverteilung von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern in der Umgebung von UMTS-Sendeanlagen. Zwischenbericht „Literaturstudie zu bestehenden Mess- und Berechnungsverfahren“. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_verg/dosi_025.html.
- Borraz O and D Salomon 2005: Regulating the risks of mobile phone base stations: a comparative study in 5 countries. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/salomon_borraz_bsw.pdf.

- Bortkiewicz A, M Zmyslony, A Szykowska and E Gadzicka 2004: Subjective symptoms reported by people living in the vicinity of cellular phone base stations: review (article in Polish). – Med. Pr. 55, 345-351.
- Bundesnetzagentur 2005: Statistik Standortmitbenutzung von Mobilfunkanlagen. Persönliche Mitteilung.
- Buyse DJ, CF Reynolds 3rd, TH Monk, SR Berman and DJ Kupfer 1989: The Pittsburgh Sleep Quality Index: a new instrument for psychiatric practice and research. – Psychiatry Res 28, 193-213.
- Buyse DJ, CF Reynolds 3rd, TH Monk, CC Hoch, AL Yeager and DJ Kupfer 1991: Quantification of subjective sleep quality in healthy elderly men and women using the Pittsburgh Sleep Quality Index (PSQI). - Sleep 14(4), 331-8.
- Cardis E 2005: Evaluation of general population radiofrequency exposure on a pilot study in France. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/cardis_bsw.pdf.
- CIPS Collegium Internationale Psychiatriae Scalarum 1986. Internationale Skalen für Psychiatrie. Beltz, Weinheim.
- Costa PT and RR McCrae 1992: Revised NEO Personality Inventory (NEO PI-R) and NEO Five Factor Inventory. Professional Manual. Odessa, FL: Psychological Assessment Resources.
- Danker-Hopfe H and H Dorn 2003a: Sleep quality of residents near mobile base stations (a feasibility study). - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , pres_Danker-Hopfe.pdf.
- Danker-Hopfe H. und H Dorn 2003b: Untersuchung der Schlafqualität bei Anwohnern einer Basisstation. Abschlußbericht zur Machbarkeitsstudie für eine Datenerhebung mit Fragebögen und automatischer Schlaf-EEG-Auswertung unter häuslichen Bedingungen. Erstellt für das Ministerium für Soziales, Frauen, Familie und Gesundheit des Landes Niedersachsen.
- Danker-Hopfe H und H Dorn 2004: Untersuchungen an Probanden unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern von Mobiltelefonen. Literaturübersicht erstellt im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz. (WWW Dokument). URL http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/biologie/biologie_verg/bio_verg_80_1studie.pdf.
- Danker-Hopfe H und H Dorn 2005: Biological effects of electromagnetic fields at mobile phone frequencies on sleep: Current state of knowledge from laboratory studies. – Somnology 9, 1-7.
- Danker-Hopfe H, M Schäfer, H Dorn, P Anderer, B Saletu, G Gruber, J Zeitlhofer, D Kunz, MJ Barnanoj, SL Himanen, B Kemp, Th Penzel, J Röschke and G Dorffner, 2005: Percentile

- reference charts for selected sleep parameters for 20- to 80-year-old healthy subjects from the SIESTA database. – *Somnology* 9, 3-14.
- Doi Y, M Minowa M, M Uchiyama and M Okawa 2001: Subjective sleep quality and sleep problems in the general Japanese adult population. - *Psychiatry Clin Neurosci* 55(3), 213-5.
- Eltiti S, D Wallace, A Ridgewell, K Zougkou, R Russo, F Sepulveda, D Mirshekar-Syahkal, P Rasor, R Deeble and E Fox 2007: Does short-term exposure to mobile phone base station signals increase symptoms in individuals who report sensitivity to electromagnetic fields? A double-blind randomized provocation study. - *Environ Health Perspect* 115(11), 1603-8.
- Foley DJ, AA Monjan, SL Brown, EM Simonsick, RB Wallace and DG Blazer 1995. Sleep complaints among elderly persons: an epidemiologic study of three communities. - *Sleep* 18(6), 425-32.
- Foley DJ, AA Monjan, EM Simonsick, RB Wallace and DG Blazer 1999. Incidence and remission of insomnia among elderly adults: an epidemiologic study of 6,800 persons over three years. - *Sleep* 22 Suppl 2, S366-72.
- Forschungsgemeinschaft Funk e.V. (FGF) 2004: Jahresbericht 2004. - <http://www.fgf.de/fup/publikat/index.html>.
- Fox E 2005: Base stations and electromagnetic hypersensitivity symptoms: A review of scientific studies. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/fox_bsw.pdf.
- Frick U, M Meyer, S Hauser und P Eichhammer 2004: Machbarkeitsstudie: Verifizierung der Beschwerden „Elektrosensibler“ vor und nach einer Sanierung. – Schriftenreihe des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, BMU-2004-638.
- Geschwentner D, M Kreuzer, C Pölzl, W Weiss und G Ziegelberger 2005: Tagungsbericht: 3. Fachgespräch des Bundesamts für Strahlenschutz zum Thema: „Das Deutsche Mobilfunk Forschungsprogramm – eine Zwischenbilanz“, Berlin, 28. April 2005 (www.deutsches-mobilfunk-forschungsprogramm.de).
- Haarala C 2003: Effects of mobile phones on the prevalence of subjective symptoms in adults and children. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 13.pres_Haarala.pdf.
- Hajak G und E. Rüter 1985: *Insomnie – Schlaflosigkeit -: Ursachen, Symptomatik und Therapie.* – Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York.
- Hansen V 2003: RF head exposure system for EEG_Measurements during sleep. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications*

- provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 08.pres_Hansen.pdf.
- Health Council of the Netherlands 2000: GSM base stations. – The Hague: Health Council of the Netherlands; publication no. 2000/16E.
- Health Council of the Netherlands 2004: TNO study on the effects of GSM and UMTS signals on well-being and cognition. The Hague: Health Council of the Netherlands, publication no. 2004/13E (Download unter www.healthcouncil.nl).
- Heinrich S, A Ossig, S Schlittmeier und J Hellbrück 2007: Elektromagnetische Felder einer UMTS-Mobilfunkbasisstation und mögliche Auswirkungen auf die Befindlichkeit – eine experimentelle Felduntersuchung. – *Umweltmed Forsch Prax* 12(3), 171-180.
- Hinrichs H, Heinze HJ and M Rotte 2005: Human sleep under the influence of a GSM 1800 electromagnetic far field. – *Somnology* 9, 185-191.
- Horne JA and O Östberg 1976: A self-assessment questionnaire to determine morningness-eveningness in human circadian rhythms. - *Int J Chronobiol* 4, 97-110.
- Huber R, J Schuderer, T Graf, K Jütz, AA Borbély, N Kuster, and P Achermann 2003: Radio frequency electromagnetic field exposure in humans: Estimation of SAR distribution in the brain, effects on sleep and heart rate. – *Bioelectromagnetics* 24, 262-276.
- Huber R, T Graf, KA Cote, L Wittmann, E Gallmann, D Matter, J Schuderer, N Kuster, AA Borbély and P Achermann 2000: Exposure to pulsed high-frequency electromagnetic field during waking affects human sleep EEG. – *NeuroReport* 11, 3321-3325.
- Huber R, V Treyer, AA Borbély, J Schuderer, JM Gottselig HP Landolt, E Wirth, T Berthold, N Kuster, A Buck and P Achermann 2002: Electromagnetic fields, such as those from mobile phones, alter regional blood flow and sleep and waking EEG. – *J Sleep Res* 11, 289-295.
- Huss A and M Rössli 2006: Consultations in primary care for symptoms attributed to electromagnetic fields – a survey among general practitioners. *BMC Public Health* 6, 267.
- Hutter HP, H Moshhammer und M Kundi 2002: Mobile Telephone base-stations: Effects on Health and wellbeing. – *Proceedings of Biological Effects of EMFs 2nd International Workshop*, Rhode, October 2002, pp344-352.
- Hutter HP, H Moshhammer, P Wallner und M Kundi 2004: Public perception of risk concerning celltowers and mobile phones. – *Soz.- Präventivmed.* 49, 62-66.
- Hutter HP, H Moshhammer, P Wallner and Kundi M 2006: Subjective symptoms, sleeping problems, and cognitive performance in subjects living near mobile phone base stations. - *Occup Environ Med* 63(5), 307-13.
- Infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH 2004: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen. Abschlussbericht über die

- Befragung im Jahr 2003. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.htm.
- Infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH 2005: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen. Abschlussbericht über die Befragung im Jahr 2004. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_verg/risiko_021.htm.
- Infas – Institut für angewandte Sozialwissenschaft GmbH 2006: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen. Abschlussbericht der Befragung 2006. http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/risikokommunikation/risikokommunikation_abges/risiko_021.htm
- Inoue Y, K Nanba, Y Honda, Y Takahashi, and H Arai H 2002: Subjective sleep quality and suggested immobilization test in restless leg syndrome and periodic limb movement disorder. - *Psychiatry Clin Neurosci* 56(3), 293-4.
- Johns MW 1991: A new method for measuring daytime sleepiness: the Epworth sleepiness scale. – *Sleep* 14, 540-545.
- Kuster N 2005: Assessment of human exposure by electromagnetic radiation from wireless devices in home and office environments. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/bsw_kuster.pdf.
- Kuster N and J Schuderer 2003: Dosimetric requirements in assessing the impact of mobile communication on sleep disorders. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session=,07.pres_Kuster.pdf.
- Kuster N, J Schuderer, A Christ, P Futter and S Ebert 2004: Guidance for exposure design of human studies addressing health risk evaluations of mobile phones. – *Bioelectromagnetics* 25, 524-529.
- Leitgeb N 2005: Epidemiologic studies on mobile phone base station exposure. Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/leitgeb_bsw.pdf.
- Leitgeb N 2007: Untersuchung der Schlafqualität bei elektrosensiblen Anwohnern von Basisstationen unter häuslichen Bedingungen. - Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz 709, 1-127.
- Leitgeb N and J Schröttner 2003: Electrosensitivity and electromagnetic hypersensitivity. – *Bioelectromagnetics*. – 24: 387-394.

- Leitgeb B, Schröttner J and M Böhm 2005: Does “electromagnetic pollution” cause illness? An inquiry among Austrian general practitioners. - *Wien Med Wochenschr* 155(9-10), 237-41.
- Lönn S, U Forssén, P Vecchia, A Ahlbom and M Feychting 2004: Output power levels from mobile phones in different geographical areas; implications for exposure assessment. – *Occup. Environ. Med* 61, 769-772.
- Lowden A and T Åkerstedt 2003: Effects of cell phone exposure on sleep and EEG recordings (planned study). - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 15.pres_Lowden.pdf.
- Maier R and G Schaller 2003: Electromagnetic field emissions and cognitive processes. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 18.pres_Maier.pdf.
- Mainzer EMF-Wachhund 2005: <http://www.mainzer-emf-wachhund.de/EMF-Bericht.pdf>.
- Mann K and J Röschke 2003: Effects of high-frequency electromagnetic fields. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 11.pres_Mann.pdf.
- Mann K und J Röschke 1996: Effects of pulsed high-frequency electromagnetic fields on human sleep. – *Neuropsychobiology* 33, 41-47.
- Mann K und J Röschke 2004: Sleep under exposure to high-frequency electromagnetic fields. – *Sleep Med Rev* 8, 95-107.
- Mann S 2005: Laboratory and volunteer trials of an RF personal dosimeter. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/mann_bsw.pdf.
- Marsalek E 2005: Necessities for public acceptance of mobile phone and wireless-infrastructure. - Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/marsalek_bsw.pdf.
- Mild KH 2005: Occupational RF exposure from base station antennas on roof-tops and buildings. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/hanssonmild_bsw.pdf.

- Navarro EA 2003: Measurement of environmental microwave levels in Spain. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session=,06.pres_Navarro.pdf.
- Navarro EA, J Segura, C Gómez-Perretta, M Portolés, C Maestu and JL Bardasano 2002: About the effects of Microwave exposure from cellular phone base stations: A first approach. - Proceedings of Biological Effects of EMFs 2nd International Workshop, Rhode, October 2002, pp 353-385.
- Navarro EA, J Segura, M Portoles, C Gomez-Perretta de Mateo 2003: The Microwave syndrome: A preliminary study in Spain. – *Electromagnetic Biology and Medicine* 22: 161-169.
- Neitzke H-P, J Osterhoff und H Voigt 2003: Biologische Wirkungen schwacher HF-Felder und Empfehlungen zur Begrenzung der Exposition durch Funksendeanlagen.
- Neitzke HP, J Osterhoff, K Peklo, H Voigt und T Wohlatz 2004: Bestimmung der Exposition von Personengruppen, die im Rahmen des Projektes „Querschnittstudie zur Erfassung und Bewertung möglicher gesundheitlicher Beeinträchtigungen durch die Felder von Mobilfunkbasisstationen“. 2. Zwischenbericht. - http://www.emf-forschungsprogramm.de/forschung/dosimetrie/dosimetrie_verg/dosi_020.html.
- Neubauer G 2005: Study on the feasibility of future epidemiological studies on health effects of mobile telephone base stations: Dosimetric criteria for an epidemiological base station study. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/neubauer_bsw.pdf.
- Neubauer G, M Rösli, M Feychting, Y Hammerius, L Kheifets, N Kuster, I Ruiz, J Schüz and J Wiart 2005: Study on the feasibility of future epidemiological studies on health effects of mobile Telephone base stations: dosimetric criteria for an epidemiological base station study. – Seibersdorf (AU): Seibersdorf Research. <http://www.mobile-research.ethz.ch>.
- Oberfeld G, AE Navarro, M Portoles, C Maestu and C Gomez-Perretta 2004: The microwave syndrome – further aspects of a Spanish study. Paper presented at the 3rd International Workshop on Biological Effects of Electromagnetic Fields, 4-8 October 2004, Kos, Greece.
- Östberg O 1976: Zur Typologie der circadianen Phasenlage. Ansätze zu einer praktischen Chronohygiene. In Hildebrandt G (Hrsg): *Biologische Rhythmen und Arbeit. Bausteine zur Chronobiologie und Chronohygiene der Arbeitsgestaltung*. Springer-Verlag, Wien, S. 117-137.
- Paine SJ, PH Gander and N Travier 2006: The epidemiology of morningness/eveningness: influence of age, gender, ethnicity, and socioeconomic factors in adults (30-49 years). - *J Biol Rhythms* 21(1), 68-76.
- Penzel T 2003: Basic aspects of sleep diagnosis and hypersomnia. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop

- zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 02.pres_Penzel.pdf.
- Ravazzani P 2005: The EC coordination Action EMF-NET and the radio base stations and health issues. Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/ravazzani_bsw.pdf.
- Regel SJ, S Negovetic, M Rösli, V Berdinas, J Schuderer, A Huss, U Lott, N Kuster and P Achermann 2006: UMTS base station-like exposure, well-being, and cognitive performance. - *Environ Health Perspect* 114(8), 1270-1275.
- Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post 2005: Jahresbericht 2004.
- Renn O 2005: Strategies for communication on base stations. - Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/renn_bsw.pdf.
- Repacholi MH 2001: Health risks from the use of mobile phones.- *Toxicology Letters* 120, 323-331.
- Repacholi MH 2002: Assessment of the health effects of EMF exposure. – U.R.S.I. Radio Science Bulletin 301, 14-24.
- Riemann D 2003: Basic aspects of sleep and sleep disorders. – Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 01.pres_Riemann.pdf.
- Rösli M, A Huss und N Schreier 2005: Repräsentative Befragung zu Sorgen und gesundheitlichen Beschwerden im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern in der Schweiz. Institut für Sozial- und Präventivmedizin, Bern. <http://www.umweltschweiz.ch/imperia/md/content/luft/nis/gesundheit/repraesentative-emf-befragung.pdf>.
- Rösli M, C Braun-Fahrländer and M Egger 2003c: How can we investigate possible effects from mobile phone radiation on sleep quality in real life situations? - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 04.pres_Rösli.pdf.
- Rösli M, M Moser, Y Baldinini, M Meier und C Braun-Fahrländer 2004: Symptoms of ill health ascribed to electromagnetic field exposure – a questionnaire survey. – *Int J Hyg Environ Health* 207, 141-150.
- Rösli M, R. Rapp und C Braun-Fahrländer 2003a: Hochfrequente Strahlung und Gesundheit - eine Literaturanalyse. - *Gesundheitswesen* 65, 378-392.

- Röösli M, Y Baldini, M Egger and C. Braun-Fahrländer 2003b: Sleeping disorders and mobile phone base stations: A pilot study. - Budapest, European Bioelectromagnetics Association (EBEA), 6th International Congress.
- Röschke J and K Mann 2003: The influence of 900 MHz EMF on sleep in man. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 12.pres_Röschke.pdf.
- Rowley J 2005: Wireless networks – regulatory good practice. - Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/rowley_bsw.pdf
- Roy C 2005: Workshop on base Stations and Wireless Networks, 15-16 June 2005, Geneva, Switzerland, Rapporteur's Report. - http://www.who.int/peh-emf/meetings/base_stations_-june05/en/index.html.
- Saletu B, P Wessely, J Grünberger, M Schultes 1987: Erste klinische Erfahrungen mit einem neuen schlafanstoßenden Benzodiazepin, Cinolazepam, mittels eines Selbstbeurteilungsbogens für Schlaf- und Aufwachqualität (SSA). *Neuropsychiatrie* 1, 169-176.
- Sandström M, J Wilén, G Oftedal and K Hansson Mild 2001: Mobile phone use and subjective symptoms. Comparison of symptoms by users of analogue and digital mobile phones. – *Occup Med* 51, 25-35.
- Santini R, P Santini, JM Danze, P Le Ruz and M Seigne 2002: Study of the health of people living in the vicinity of mobile phone base stations: I Influences of distance and sex (in French). – *Pathologie Biologie* 50, 369-373.
- Santini R, P Santini, JM Danze, P Le Ruz and M Seigne 2003: Symptoms experienced by people in vicinity of base stations: II Incidences of age, duration of exposure, location of subjects in relation to the antennas and other electromagnetic factors (in French). – *Pathologie Biologie* 51, 412-415.
- Sauter C, R Popp, H Danker-Hopfe, A Büttner, B Wilhelm, R Binder, W Böhning, H-G Weeß und die AG Vigilanz der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin 2007: Normdaten zur deutschen Epworth Schläfrigkeitsskala. Ergebnisse einer Multicenter Studie. *Somnologie* 11, 272-278.
- Schmid G, C Sauter, R Stepansky, I Lobentanz, and J Zeitlhofer 2003: Study to investigate possible influences of UTMS on human visual perception. - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session= , 09.pres_Schmid.pdf.

- Schreier N, A Huss and M Rösli 2006: The prevalence of symptoms attributed to electromagnetic field exposure: a cross-sectional representative survey in Switzerland. - *Soz Präventivmed* 51(4): 183-4.
- Schüz J and S Mann 2000: A discussion of potential exposure metrics for use in epidemiological studies on human exposure to radiowaves from mobile phone base stations. – *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 10, 600-605.
- Schüz J und L Vollrath 2003: Der Mainzer EMF-Wachhund: "Elektrosmog"-Phänomenen auf der Spur. – *Ärzteblatt Rheinland-Pfalz* 11, 20-21.
- Schüz J, C Petters und L Vollrath 2004: Der Mainzer EMF-Wachhund: Erfahrungsbericht nach einjähriger Feldphase. – *Umweltmed. Forsch. Prax* 9: 347-348.
- Seitz H, D Stinner, T Eikmann, C Herr and M Rösli 2005: Electromagnetic hypersensitivity (EHS) and subjective health complaints associated with electromagnetic fields of mobile phone communication – a literature review published between 2000 and 2004. – *Sci Tot Environ* (in press).
- Siegrist M, TC Earle, H Gutscher and C Keller 2005: Perception of Mobile Phone and Base Station Risks. - *Risk Analysis* 25(5): 1253-1264.
- Silvi AM, A Zari and G Licitra 2001: Assessment of the temporal trend of the exposure of people to electromagnetic fields produced by base stations for mobile telephones. – *Rad Protect Dos* 97, 387-390.
- Somnomedics. Medizinische Geräte für Schlafdiagnostik u. Therapie. Bedienungsanleitung. DOMINO. Version vom 23.5.2005. D-97270 Kist.
- Taillard J, P Philip, JH Chastang and B Bioulac 2004: Validation of Horne and Ostberg morningness – eveningness questionnaire in a middle – aged population of French workers. *J Biol Rhythms* 19(1): 76-86.
- Valberg P 2005: Modulated RF energy. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/valberg_bsw.pdf.
- Vecchia P 2005: Local decision making for the installation of mobile telephony base station: possible options. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/vecchia_bsw.pdf.
- Veyret B 2005: A review of non-thermal health effects from RF fields. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/veyret_bsw.pdf.
- Walker M 2005: The Mobile Revolution. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/walker_bsw.pdf.

- Weeß HG, M Schürmann und R Steinberg 2002: Das Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen. In H Schulz (Hrsg.) Kompendium Schlafmedizin (5. erg. Lfg. 9/02 Kap. III – 2.3.2): Landsberg/Lech: Ecomed.
- Wiat J 2005: Personal RF exposure assessment. – Vortrag auf dem WHO Workshop: „Base Stations and Wireless Networks: Exposures and Health Consequences“; 15./16. 6. 2005, Genf. http://www.who.int/peh-emf/meetings/archive/wiat_bsw.pdf.
- World Health Organisation 2000: Electromagnetic fields and public health: mobile telephones and their base stations. – Fact sheet N° 193.
- World Health Organisation 2002: Herstellen eines Dialogs über die Risiken elektromagnetischer Felder. – WHO Genf.
- World Health Organisation 2005: International Statistical Classification of Diseases and Health related Problems (The ICD-10 Second Edition, WHO Genf.
- World Health Organisation and World Federation of Sleep Research Societies 1999: Report of an International Consensus Conference organised by the WHO and the WFSRS, 13.-15. October 1996, Sleep 22. Suppl 3.
- Zeitlhofer J, A Schmeiser-Rieder, G Tribl, A Rosenberger, J Bolitschek, G Kapfhammer, B Saletu, H Katschnig, B Holzinger, R Popovic and M Kunze 2000: Sleep and quality of life in the Austrian population. - Acta Neurol Scand 102(4), 249-57.
- Zung WW 1965: A Self-Rating Depression Scale. - Arch Gen Psychiatry 12, 63-70.
- Zung WW 1971: A rating instrument for anxiety disorders. - Psychosomatics 12(6), 371-9.
- Zung, WWK and EM Zung 1986: Use of the Zung Self-Rating Depression Scale in the elderly. In T. L. Brink (Ed.): Clinical gerontology: A guide to assessment and intervention. New York: Haworth.
- zur Nieden A, CEW Herr, M Lindenstruth and Th Eikmann 2003: Frequency and duration of mobile phone use and self-reported sleep quality according to the Pittsburg Sleep Quality Index (PSQI). - Vortrag gehalten auf dem von COST 281 und der Forschungsgemeinschaft Funk e.V. gemeinsam veranstaltetem Workshop zum Thema *Can electromagnetic fields in mobile communications provoke sleep disorders and other cognitive changes?* 7. - 10. Dezember 2003, Immenstaad, http://www.cost281.org/documents.php?node=76&dir_session=,14.pres_zurNieden.pdf.
- Zwamborn APM, SHJA Vossen, BJAM van Leersum, MA Ouwens and WN Mäkel 2003: TNO report: Effects of Global Communication systems radio-frequency fields on Well Being and Cognitive Functions of human subjects with and without subjective complaints. – TNO Physics and Electronics Laboratory, The Hague, The Netherlands.

E Liste der Abkürzungen

ADM	Arbeitskreis deutsches Markt- und Sozialforschungsinstitut e.V.
ATC	Austrian Research Centers
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
BImSchV	Bundes-Immissionsschutzverordnung
BMI	Body Mass Index
BOS	Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben
BTS	Base Transceiver Station (GSM-Basisstation)
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
CATI	Computer Assisted Telephone Interview
CIPS	Collegium Internationale Psychiatriae Scalorum
COST	European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research
DAB	Digital Audio Broadcasting (engl.) → Digitale Radio Übertragung
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunications
df	degrees of freedom
DGSM	Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin
DKFZ	Deutsches Krebsforschungszentrum
DMF	Deutsches Mobilfunkforschungsprogramm
DO	Drop out
DSM-IV-TR	Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, Fourth Edition, Text Revision
DVB-T	Digital Video Broadcasting – Terrestrial (engl.) → Digitales terrestrisches Fernsehen
EBEA	European Bioelectromagnetics Association
ECOLOG	Institut für sozial-ökologische Forschung und Bildung gGmbH
EEG	Electroencephalogram / Elektroenzephalogramm
EHS	Elektromagnetisches Hypersensitivitäts Syndrom
ELF	Extremely Low Frequency
EMF	Electromagnetic Fields / elektromagnetische Felder
EMV	ElektroMagnetische Verträglichkeit

EPROS	Electrosensitives protected sleep study
ESS	Epworth Schläfrigkeitsskala
FGF	Forschungsgemeinschaft Funk e.V.
FM	Frequenzmodulation
GHz	Gigahertz
GmbH	Gesellschaft mit beschränkter Haftung
GSM	Global System of Mobile Communication (engl) → Globales System für Mobilkommunikation (Mobilfunkstandard)
HF	Hochfrequenz
ICD-10	International Classification of Diseases – Version 10
ICSD	International Classification of Sleep Disorders
IEEE	Institute of Electric and Electronic Engineers
IEI	Idiopathic Environmental Intolerance
IF	Intermediate Frequencies
IMST	Informationstechnik, Mobilfunk, Satellitenfunktechnik
infas	Institut für angewandte Sozialwissenschaften
IPCS	International Program on Chemical Safety
ITIS	Information Technologies in Society
IZMF	Informationszentrum Mobilfunk
LISST	Landecker Inventar zur Erfassung von Schlafstörungen
LMK	Lang-, Mittel- und Kurzwellentonrundfunk
MEQ	Morningness- Eveningness Questionnaire
MHz	Megahertz
ms	Millisekunden
MTHR	Mobile Telecommunications and Health Research
N/n	Number (Anzahl)
NEO	Neurotizismus-Extraversion-Offenheit
NEO-FFI	NEO-Fünf-Faktoren Inventar
NREM	Non Rapid Eye Movement
NREM1	Stadium 1 im NREM-Schlaf
NRPB	National Radiation Protection Board

NSHS	Non Specific Health Symptoms
PLMD	Periodic Limb Movement Disorder (Periodische Bewegungen von Armen und/oder Beinen)
PSG	Polysomnografie
PSQI	Pittsburgh Sleep Quality Index / Pittsburgh Schlafqualitätsindex
RBW	Resolution bandwidth (engl.) → Auflösungsbreite
RegTP	Regulierungsbehörde für Telekommunikation und Post
REM	Schlafstadium: Rapid Eye Movement
RF	Radio Frequency
RLS	Restless Legs Syndrome
RMS	Root Mean Square (engl.) → Effektivwert
SAS	Selbstbeurteilungsskala für Angst
SBAS	Schlafbezogene Atmungsstörung
SDS	Selbstbeurteilungsskala für Depression
SEI	Schlafeffizienz-Index
SOL	Sleep Onset Latency (=Schlaflatenz)
SPT	Sleep Period Time (=Gesamtschlafzeit inkl. Wachzeiten)
TIB	Time in Bed (=Bettzeit)
TST	Total Sleep Time (=Gesamtschlafzeit)
TÜV	Technischer Überwachungsverein
UHF	Ultra High Frequencies (engl.)
UKW	Ultrakurzwelle
UMTS	Universal Mobile Telecommunications System
UV	ultraviolett
VAS	Visuelle Analogskala
VHF	Very High Frequencies (engl.)
WASO	Wake after Sleep Onset
WFSRS	World Federation of Sleep Research Societies
WHO	World Health Organisation
WLAN	Wireless Local Area Network
ZNS	Zentrales Nervensystem

Korrespondenzanschrift:

Prof. Dr. Heidi Danker-Hopfe
Interdisziplinäre Schlafforschung
der Klinik und Hochschulambulanz für Psychiatrie und Psychotherapie
Charité – Universitätsmedizin Berlin
Campus Benjamin Franklin
der Freien Universität Berlin
Eschenallee 3
14050 Berlin
Tel.: 030 8445 8600
Fax: 030 8445 8393
e-mail: heidi.danker-hopfe@charite.de